





وزارة التعليم العالي

الدراسة الوطنية المتعددة التخصصات

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ECOLE POLYTECHNIQUE

Département: ... GENIE CIVIL ...  
Auteur: ... M<sup>r</sup> A. CHARIF ...  
Evénement Ingénieurs: M<sup>lle</sup> ... LOUATI .. Meriana.  
M<sup>lle</sup> ... GHELGHOUM Fatiha.

مصلحة الهندسة المدنية  
موجه: السيد ع. شريف  
تلميذ مهندس: لواتي مريمه  
شغورم فتحة

البيطون الرملي - رمال الكثبان

- الموضوع

- الملخص: الهدف من هذا المشروع هو دراسة عينات من البيطون المكون من رمال الكثبان بإضافة أو عدم إضافة مواد مساعدة ، بغية التوصل إلى الحل الأمثل ، ويهدف هذا العمل إلى تقييم ثروة جيولوجية محلية وهي "رمال الكثبان" الموجودة بوفرة في نواحي الجنوب بينما ليست هذه هي الحال بالنسبة للبحر.  
إن النتائج المحصل عليها تشير إلى أن المقامات الميكانيكية للبيطون الرملي ليست مرتفعة بالقدر الذي يؤهلها للإستعمال في أغراض البناء. ونشير مع ذلك إلى أن إدخال بعض التحسينات الناتجة من إضافة بعض المواد يمكن أن ترفع هذه المقامات.

Sujet: ..... BETON DE SABLE ..... SABLE DE DUNES.....

Résumé: L'objectif de ce projet est d'étudier des compositions de béton de sable de dune, avec ou sans adjonction de fillers et d'adjuvants en vue d'une optimisation.  
Notre travail vise la valorisation d'une ressource géologique locale "Sable de dunes" qui abonde dans les régions du sud ce qui n'est pas le cas du gravier.  
Les résultats obtenus tendent à montrer que les résistances mécaniques du "Béton de Sable" ne sont pas assez élevées pour des usages structurels. Toutefois, on notera que l'introduction de certaines améliorations (fillers, adjuvants) relève ce seuil de résistances.

Subject: ..... SAND CONCRETE ..- DUNE SAND.....

Abstract: The aim of this project is to study concrete mixes based on dune sand with or without adjonction of fillers and additives in order to optimise.  
Our work aspire to exploit a local geological resource "Dune Sand" which abound in the south regions of Algeria unlike the gravels.  
The results show that the mechanical strengths of sand concrete are not high enough for a structural use.  
However with adjonction of fillers and additives these strengths can be raise.

Je dédie ce travail :

. (/-) mon père et à ma mère:

Qu'ils voient en ce travail beaucoup plus leur  
oeuvre que la mienne, et le gage de l'amour que je  
leur porte.

. (/-) mes frères et soeurs :

En témoignage de mon affection.

. (/-) tous ceux qui m'ont prodigué conseils.  
Et tous ceux qui ont su sauvegarder l'amitié  
qui nous lie et qui nous liera.... toujours.

FATIHA

. *A* mon père

. *A* ma mère

En gage de l'amour que je leur porte.

. *A* Tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce travail

*M* ERIAMA

---0---

-----

Que Monsieur CHARIF trouve ici l'expression de notre gratitude pour l'aide précieuse qu'il nous a apporté durant notre travail.

Nous reiterons nos remerciements à Monsieur DESCHAMPS pour son aide et nous tenons à exprimer notre gratitude à l'ensemble des professeurs qui ont participé à notre formation.

Nous tenons à remercier Messieurs ZERGOUN et MOUAICI pour leur aide et l'attention accordée à ce projet.

Nous remercions également Mademoiselle OUSTANI pour le soin apporté à la mise en forme de cet ouvrage, sans oublier Mademoiselle DEBOUCI pour son soutien moral.

Nous ne saurons terminer sans remercier tout le personnel du CNERIB et tout particulièrement l'équipe de la DCMT pour leur sourire et leur amabilité.

---oOo---

- S O M M A I R E -

---

	<u>Page</u>
Introduction	
I. - Objectifs et présentation de l'étude .....	2
1. Objectifs de l'étude	
2. Présentation de l'étude	
II.- Synthèse bibliographique .....	6
III.- Caractéristiques du sable utilisé .....	15
1. Etude granulométrique	
2. Masse volumique apparente et masse spécifique	
3. Compacité et pourcentage de vide	
4. Equivalent de sable	
5. Analyses chimiques	
6. Observations microscopiques	
7. Analyse diffractométrique	
8. Conclusion	
IV. - Généralités sur les essais .....	28
1. Dispositions communes	
2. Propriétés du béton frais	
3. Propriétés du béton durci	

V. - Détermination de la composition de base (ciment sable - eau) .....	46
VI.- Etude de l'influence des fillers et adjuvants sur la composition de base .....	52

CONCLUSION.

BIBLIOGRAPHIE

-----

## / / - ) N N E X E S

### - Annexe 1 : Etude de l'extensométrie

- . Graphe 1 : Composition sable - ciment - eau  
Ciment 330Kg/m<sup>3</sup>
- . Graphe 2 : Composition avec filler (2)
- ;
- . Graphe 3 : Influence de la granulométrie des  
fillers calcaires.
- . Graphe 4 : Influence de la nature des fillers.

### - Annexe 2 : Etude du retrait.

- . Graphe 1 : Influence des dosages en ciment.
- . Graphe 2 : Influence de la nature des fillers.
- . Graphe 3 : Influence de la granulométrie des  
fillers calcaires.
- . Graphe 4 : Influence du pourcentage en fillers  
calcaires.
- . Graphe 5 : Influence du pourcentage en chaux.  
Influence des adjuvants.

### - Annexe 3 : Etude des résistances en compression.

- . Influence de la nature des fillers.

./.

- . Influence granulométrie des fillers calcaires.
  - . Influence du pourcentage en fillers.
  - . Graphe 1 : Influence du pourcentage en fillers calcaires.
  - . Graphe 2 : Influence du pourcentage en chaux.
- Annexe 4 : Analyse granulométrique par sédimentométrie.

## INTRODUCTION :

Le béton est une pierre artificielle obtenue en mélangeant en proportions convenables et de manière homogène le ciment, le gravier, le sable et l'eau. Le ciment et le gravier entrent dans la composition du béton dans les proportions de 15 et 50 pour cents en poids ((pour un dosage en ciment de 350Kg par m<sup>3</sup> de mélange), et confèrent au béton sa résistance, soit une résistance de 270 bars.

Le béton de sable est un béton constitué de ciment, d'eau et essentiellement de sable (70%), sable de dunes dans notre cas, sans utilisation de graviers, compte tenu de l'insuffisance de ce matériau dans les régions du Sud Algérien, insuffisance qui induit un coût élevé du cadre bâti, influencé sensiblement par les coûts de transport.

Une solution judicieuse consisterait en une exploitation rationnelle de toutes les ressources locales.

On peut s'intéresser sur la dénomination de "BETON DE SABLE". Pourquoi le terme "Béton" et non pas "Mortier" ? La réponse est simple :

Le mortier classique utilise un fort dosage en ciment (400 à 600Kg par m<sup>3</sup>), alors que notre but pour le béton de sable est d'utiliser les dosages habituels du béton classique (250 à 350Kg par m<sup>3</sup>) ; de plus ce matériau sera appelé à remplacer le béton de structure et non le mortier d'enduits.

*devisé" du béton léger  
300 ≤ X ≤ 1850 Kg/m<sup>3</sup>.*

- 1 -

*beton normal.  
2200 ≤ X ≤ 2600 Kg/m<sup>3</sup>.*

## I. OBJECTIFS ET PRESENTATION DE L'ETUDE

### 1. OBJECTIF DE L'ETUDE :

Dans le but de concevoir et construire un ouvrage, l'ingénieur doit toujours avoir à l'esprit deux sortes de connaissances distinctes mais inséparables :

- les unes ont pour objet d'élaboration d'une oeuvre rationnelle aux points de vue type, forme et dimensions compte tenu des conditions mécaniques et physiques qui s'imposent ;
- Les autres ont trait à la science expérimentale relative aux matériaux qui seront mis en oeuvre ;

En ce sens, le soucis majeur de l'ingénieur est l'étude des matériaux de construction et la recherche de composition de béton afin d'obtenir des matériaux de plus en plus performants en donnant une importance primordiale à l'aspect économique. C'est dans ce cadre que le sable de dunes (constituant des réserves surabondantes dans les régions du Sud) devrait être mis à profit par une utilisation rationnelle dans les bétons de sable.

La quantité de sable entrant dans la composition du béton de sable étant très élevée et vu que l'exploitation de ce matériau ne nécessitera pas de dépenses, le béton qu'on en fabriquera sera très économique et permettra de débloquer la situation au Sud.

## Evaluation des réserves :

La superficie du gisement de sable étant estimée à 1.075.886m<sup>2</sup>, l'épaisseur moyenne de la couche sableuse étant de 6m, on peut alors calculer le volume de sable, soit 6.455.316m<sup>3</sup>.

Vu que la masse volumique apparente des sables est de 1,50t/m<sup>3</sup> on a alors une estimation de la masse sableuse soit 9.682.974t. Or la masse de sable moyenne que nous aurons à utiliser dans le béton de sable est de 1,350t par m<sup>3</sup> de béton, nous en déduisons la masse de béton que nous pouvons produire soit 7.200.000m<sup>3</sup>.

Une construction R + 2 consomme une quantité de béton équivalente à (50m<sup>3</sup>), le nombre d'habitations que nous pouvons construire serait de (144.000)!

## 2. PRESENTATION DE L'ETUDE :

Le sable contient un pourcentage important de vides notamment les sables de dunes dont le pourcentage de vides peut atteindre 50% dû à l'arrangement des grains entre eux ; et c'est le remplissage total de ces vides par les grains plus fins du ciment qui explique les forts dosages de ce dernier dans les mortiers classiques. Ces forts dosages en plus du prix prohibitif de l'opération ont un inconvénient d'importance : les variations dimensionnelles relatives (retrait donc fissuration) qui résultent de l'hydratation des grains anhydres du ciment et leur transformation en cristaux.

Dans le but d'éviter ces inconvénients nous pouvons :

- . Augmenter la compacité du sable en procédant à une correction granulométrique par l'adjonction de fillers ;

. Créer une granularité aussi continue que possible entre zéro et la dimension du plus gros grain de sable, toujours par l'adjonction d'un filler.

Le sable utilisé dans notre étude est du sable de dunes de Hassi Bahbah.

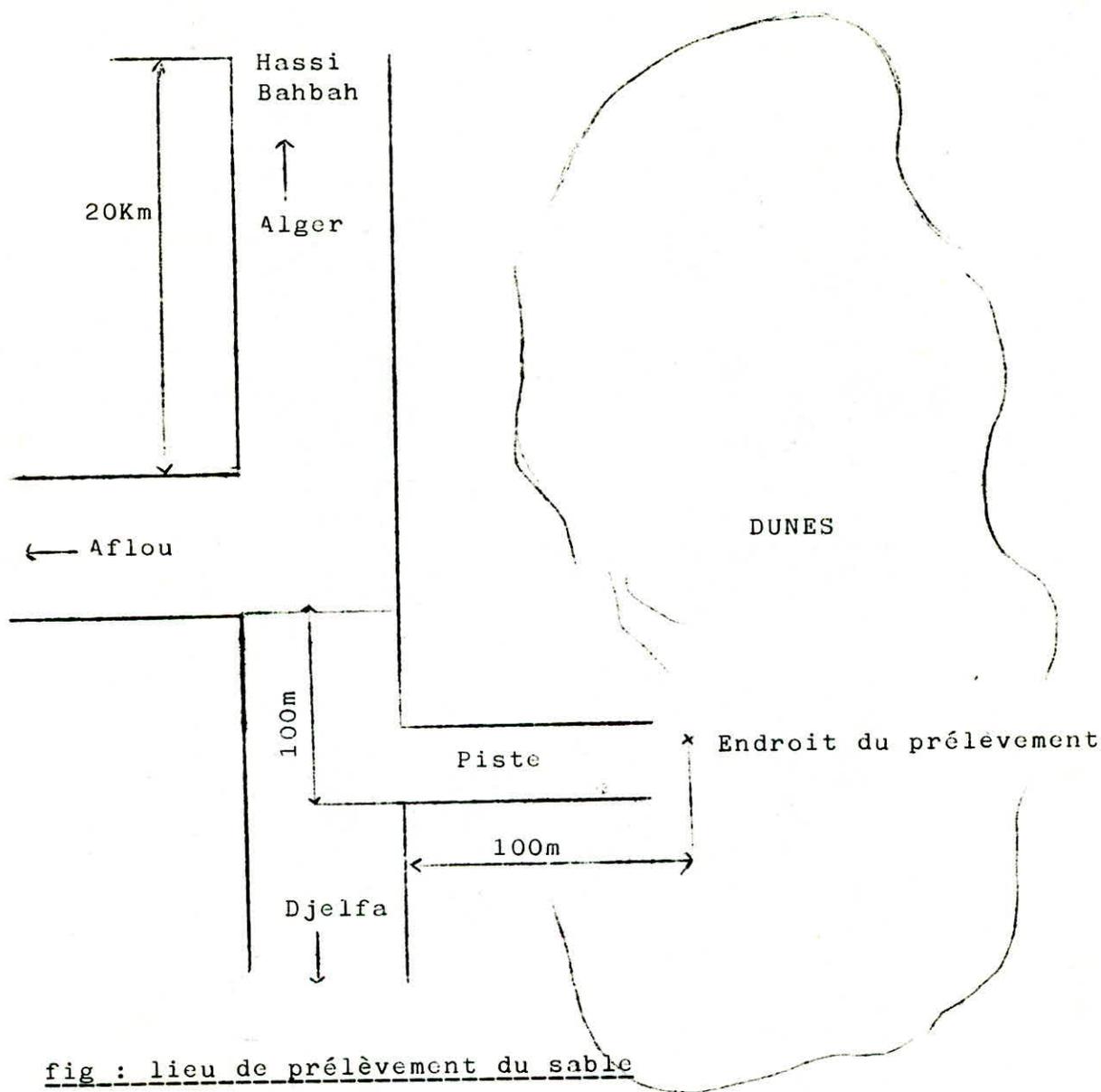


fig : lieu de prélèvement du sable

Le prélèvement a été fait à 0,50m de la surface, la quantité prélevée est d'une tonne.

Les fillers qu'on aura à utiliser sont :

- . Fillers calcaires de Hassi Bahbah (restes de concassage 0/3mm que nous avons tamisé) ;
- . Fillers calcaires de la carrière de Bab El Oued (restes de concassage 0/3mm que nous avons tamisé) ;
- . Sable de dunes de Hassi Bahbah : tamisat du tamis 0,25 ;
- . Chaux aérienne de Saïda : chaux grasse broyée ;

De plus nous aurons à utiliser des adjuvants provenant de Granitex (Oued Smar).

- Métaplast SP : un plastifiant réducteur d'eau
- Métaplast PR : un plastifiant - fluidifiant
- Méda - air : un entraîneur d'air.

L'étude en laboratoire comporte plusieurs phases :

- Détermination des caractéristiques du sable utilisé ;
- Détermination de la formule de base (ciment - sable - eau) ;
- Etude de l'influence des fillers et adjuvants sur cette formule de base.

## -II- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Le seul document sur les bétons de sable dont on s'est inspiré est le résultat d'une étude entreprise en France par les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées de Bordeaux et Blois.

Leur étude s'articule de la façon suivante :

### A - L'étude de base :

L'étude a été faite avec un sable 0/3 de garonne.

Elle comportait les phases suivantes :

Phase 1 : RECHERCHE D'APRES UNE COMPOSITION SIMPLE : CIMENT - SABLE - EAU, SANS CORRECTION GRANULAIRE NI ADJUVANT D'UNE FORMULE A MINIMUM DE CIMENT, donnant en compression à 28j avec une bonne maniabilité des résultats voisins de ceux qui sont admis pour les matériaux de construction traditionnels (briques, parpaings).

La formule retenue sur cinq essais est la suivante :

<u>Formule</u> :	{	ciment C P J	300Kg/m <sup>3</sup>	<u>Résultats</u>	{	Rc à 28j	82
		sable 0/3 roulé					daN/cm <sup>2</sup>
		de garonne	1600Kg/m <sup>3</sup>				
		eau	320l /m <sup>3</sup>				maniabilité 8

Phase 2 : RECHERCHE DE LA MEILLEURE CORRECTION POSSIBLE DE LA COURBE DU SABLE DANS SES ELEMENTS FINS A L'AIDE DE FINES CALCAIRES. Trois fillers ont été utilisés et les bétons de sable résultants, soumis à des essais rhéologiques et mécaniques. Cette phase a permis le choix d'un filler et d'une formule.

La correction par filler V (75% de grains inférieurs à 20  $\mu$  m) donne les meilleures performances mécaniques et rhéologiques :

<u>Formule</u> :	{	ciment C P J	300Kg/m3	<u>Résultats</u> :	{	Rc à 28j	202 daN/cm <sup>2</sup>
		sable 0/3 de					
		garonne	1325Kg/m3				
		filler V	130Kg/m3				maniabilité
		eau	240l /m3				L.P.C. 10s

Phase 3 : DIMINUTION DU DOSAGE EN CIMENT. Les résistances mécaniques obtenues étant nettement supérieures à celles visées primitivement :

<u>Formule</u> :	{	ciment C P J	250Kg/m3	<u>Résultats</u> :	{	Rc à 28j	130 daN/cm <sup>2</sup>
		sable 0/3 de					
		garonne	1350Kg/m3				
		filler V	130Kg/m3				maniabilité
		eau	240l /m3				L.P.C. 15s

Phase 4 : ESSAI DE DIVERS ADJUVANTS (plastifiants et fluidifiants) en recherchant la teneur en eau donnant une maniabilité de 6 à 8.

ON DEFINIT LA FORMULE DE BASE.

Phase 5 : ESSAIS COMPLETS SUR CETTE FORMULE DE BASE.

<u>Formule</u> :	Ciment C P J	250Kg/m3
	Sable 0/3 de garonne	1350Kg/m3
	Filler V	130Kg/m3
	Eau	240l /m3
	Adjuvant plastifiant	0,5Kg/m3

Résultats :

- Ressuage : 2,9%
- Perméabilité : 0,248 cm<sup>3</sup>/ cm<sup>2</sup> et en 24h
- Retrait à 27j : 495  $\mu$  /m
- Début de prise : 7 à 8h
- Maniabilité LPC : 7<sub>s</sub>
- Résistances mécaniques : en daN/cm<sup>2</sup>

	<u>Traction</u>	<u>Compression</u>
à 7 j	2,5	110
à 28 j	4,1	173

Sur cette étude de base ont été effectuées plusieurs applications en construction (bâtiments neufs, rénovation de bâtiments anciens) en voirie et en assainissement.

B - Les extensions de l'étude de base :

L'extension de l'étude de base a été faite avec 2 sables :

- . un sable de dune de la commune de LEGE
- . un sable de dépôt géologique ancien extrait à la limite des communes de St Christoly de Blaye et de St Savin.

Cette étude a pour but :

- . défectuer le choix du filler paraissant le mieux adapté ,
- . d'ébaucher des formules de base de béton de sable sur lesquelles seront faites des études plus poussées sur d'autres critères que la maniabilité.

Quatre fillers (calcaires) ont été utilisés, ils ont été choisis pour leur caractéristiques granulométriques différentes :

- . Filler V : le plus fin (75% de grains inférieurs à 20 $\mu$ m)
- . Chaux X : 72% de grains inférieurs à 40 $\mu$ m
- . Filler R : 62% de grains inférieurs à 40 $\mu$ m
- . Filler F3 : 20% de grains inférieurs à 40 $\mu$ m et 75% inférieurs à 200 $\mu$ m.

L'étude comporte pour chacun des fillers plusieurs séries d'essais. Les choix effectués s'appuient principalement sur la maniabilité optimale. Puis sur les formules retenues est effectuée une série d'essais.

1/ - Sable de dune de LEGE :

Ses caractéristiques sont :

- . Granularité : de classe 0/1 mm, fin, homométrique. Les dimensions de la majorité des grains (83%) se situent entre 0,3 et 0,6 mm.
- . Propreté : sable très propre, ES = 91
- . Pourcentage de vides : 40%

Deux formules ont été retenues :

	1	2
Ciment C P J	330Kg/m3	330Kg/m3
Sable 0/1 mm	1340Kg/m3	1355Kg/m3
Filler R	130Kg/m3	-
Filler F3	-	110Kg/m3
Plastifiant Pl	1,65Kg/m3	1,65Kg/m3
Eau	250 l/m3	270 l/m3

Les résultats obtenus sont :

	1	2
. <u>Maniabilité</u>	6 s	7 s
. <u>Rc à 28j</u>	162 daN/cm2	136 daN/cm2

2/ - Sable du dépôt géologique :

- . Granularité : 0/2,5mm. Cette granularité est assez proche de celle des sables alluvionnaires de rivière
- . Propreté : ES = 62 et teneur en matières organiques 1%
- . Pourcentage de vides : 30%.

Une formule a été retenue :

Ciment C P J	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable	1365Kg/m <sup>3</sup>
Filler V	150Kg/m <sup>3</sup>
Plastifiant Pl	1,65Kg/m <sup>3</sup>
Eau	270 l/m <sup>3</sup>

Les résultats obtenus sont :

. <u>Maniabilité</u> :	5,5s
. <u>Rc à 28j</u> :	202 daN/cm <sup>2</sup>

3/ - Conclusion de l'étude d'extension :

- . A chaque type de sable semble correspondre une correction granulaire précise : les deux fillers les mieux adaptés pour le sable de dune (sable fin) sont les moins fins c'est à dire les fillers R et F3.
- . Les performances obtenues ne présentent pas d'anomalies et sont conformes aux objectifs préalablement fixés c'est à dire celle des briques, parpaings... (béton non structuré) ; seule la teneur en air occlus est un peu trop élevée.

C/ - L'étude méthodologique :

Elle comprend trois parties :

1. Approche générale :

Trois éléments ont été arbitrairement fixés en fonction des résultats acquis au cours des études de base :

- . La nature du sable : roulé siliceux de Loire
- . La nature du ciment : C P J (le plus utilisé par le bâtiment en France)
- . L'emploi systématique d'un plastifiant.

Par contre des ajouts d'éléments fins de nature et de caractéristiques diverses (ciment, chaux, fillers calcaires, siliceux, cendres volantes...) ont été utilisés, combinés ou non, à des dosages variables.

Dans chaque cas, certaines caractéristiques de matériaux et de mélanges ont été mesurées.

L'intérêt primordial pour le béton de sable est l'économie en ciment et gravillons, dans la mesure où les fines d'apport permettent une maniabilité, une compacité et une résistance minimale avec un retrait inférieur ou égal à celui d'un béton classique.

La méthodologie à suivre est :

- . DETERMINATION DES OPTIMUMS EN CIMENT ET FINES D'APPORT POUR UN SABLE, UN CIMENT, ET DES FINES DONNEES. CETTE DETERMINATION PEUT SE FAIRE DE FAÇON TRES RAPIDE, TRES SIMPLE ET TRES PRECISE, SUR MELANGES SECS, AU MANIABILIMETRE A MORTIER.

- REALISATION DE DEUX FORMULES :

- . DOSAGE EN FINES DE 10 ET 15%
- . DOSAGE EN CIMENT = OPTIMUM EN CIMENT -  
DOSAGE EN FINES CHOISI

2. Application de la méthode retenue à l'étude d'une formule :

Cette application avait pour objectif d'établir la formule d'un béton de sable avec :

- . Un sable 0/2,5 mm roulé de loire,
- . Des fines calcaires 0/90 microns comme correcteur pour améliorer la compacité.

Comme conclusion des expériences, il a été noté que :

- . 10% de fines calcaires, équivalent à 4% de ciment du point de vue résistances,
- . On ne gagne rien, en passant de 10 à 20% de fines,
- . Le temps de fin de prise est de l'ordre de 11H00 à 13H00.

3. Expérimentation en vraie grandeur :

Les essais ont été faits en deux temps :

- . Fabrication à la centrale avec essais de pompage et de mise en oeuvre
- . Utilisation dans un ~~mur~~ non porteur.

La formule utilisée est la suivante :

- . 10% de fines calcaires à 0/90 microns 200Kg/m<sup>3</sup>
- . 15% de ciment C P J 300Kg/m<sup>3</sup>
- . 75% de sable 0/2,5mm de loire 1500Kg/m<sup>3</sup>

On a constaté que :

- . Les résistances mécaniques sont du même ordre que celles de l'étude en laboratoire,
- . Il est possible d'utiliser des consistances très variables sans pour cela changer les résistances à 28j,
- . Les retraits en vraie grandeur contrairement à ceux obtenus en études sont un peu forts,
- . Il est nécessaire de tenir compte de l'important retard de prise naturel de ce matériau.

D - Conclusion :

En plus des propriétés déjà énumérées le béton de sable se prête à la fabrication de produits dérivés divers :

- . Le béton cellulaire,
- . Le mortier à long retard de prise ,
- . Le béton d'injection,
- . Le micro béton,
- . Le béton de sable à usage routier.

### - III - CARACTERISTIQUES DU SABLE UTILISE :

Les propriétés d'un béton dépendent des caractéristiques des éléments constitutants, et vu que notre béton est constitué essentiellement de sable, il est donc important de procéder à une étude des caractéristiques de ce sable.

#### 1. Etude granulométrique :

Cette étude a été faite conformément à la norme NF P 18 - 304.

- a - Définition : la granulométrie est la science ayant pour objet la mesure des dimensions et la détermination de la forme de grains.
  
- b - Méthode : la granulométrie fait appel au tamisage à travers une série de tamis d'ouvertures de mailles décroissantes et à la pesée du refus pour chaque tamis.
  
- c - Résultats :

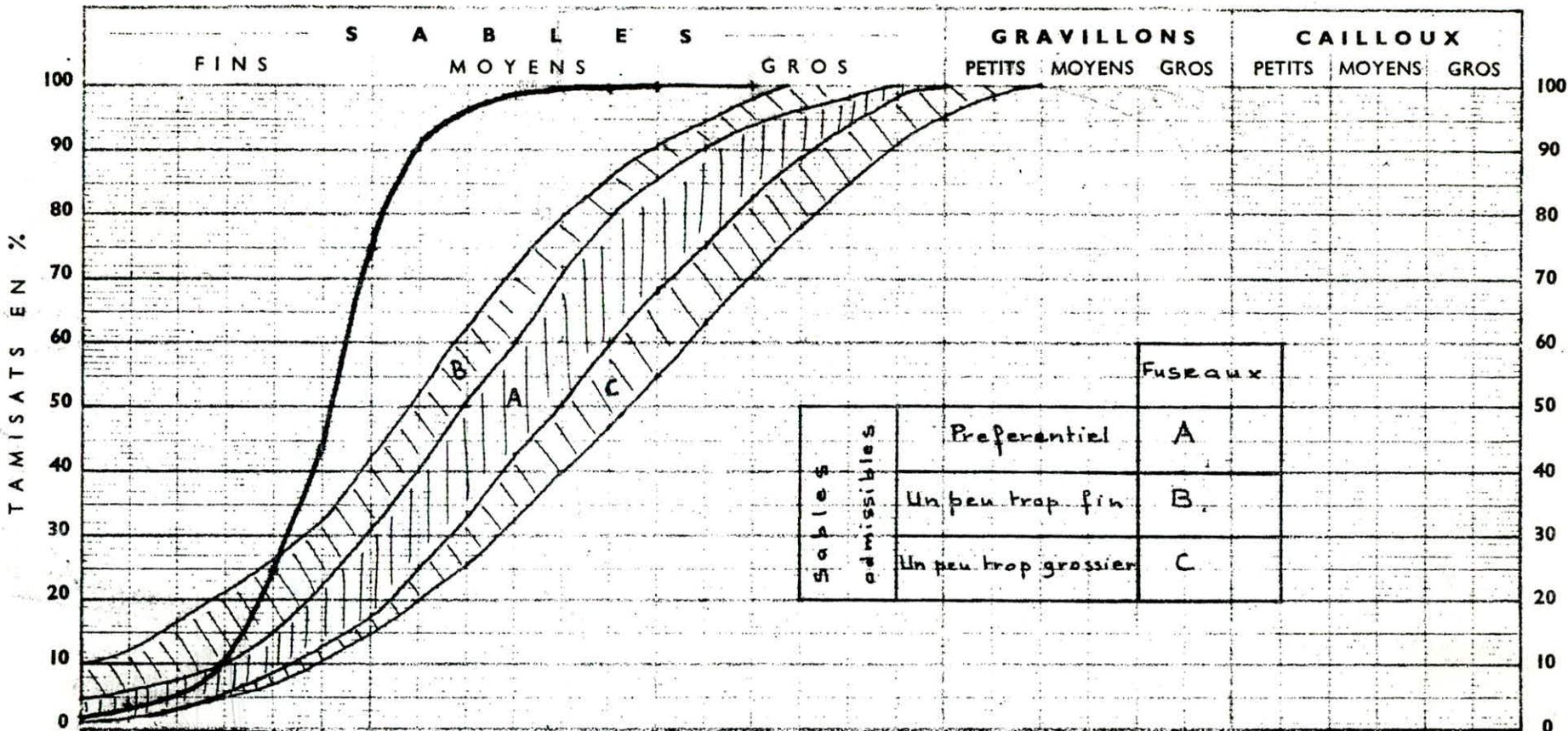
Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant :

Poids total = 2000g

Tamis (mm)	2,000	1,250	1,000	0,630	0,425	0,315	0,250	0,200	0,160	0,125	0,100	0,080	Fond
Poids du refus cumulé (g)	0,20	1,10	2,65	24,92	157,59	502,00	1127,22	1518,78	1794,44	1899,34	1922,04	1961,34	1998,34
Pourcen- tage de refus cumulé	0,01	0,06	0,13	1,25	7,88	25,10	56,36	75,94	89,92	94,97	96,10	98,07	99,92
Pourcen- tage de tamisat	99,99	99,94	99,87	98,75	92,12	74,90	43,64	24,06	10,28	5,03	3,90	1,93	0,08

# ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS NORME NF P 18-304

HEMMERLE, PETIT et Cie.



Sables admissibles	Préférentiel	A
	Un peu trop fin	B
	Un peu trop grossier	C

MODULES	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
TAMIS	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
PASSOIRES	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	
TAMISAT %	1,93	3,30	5,03	10,28	24,06	43,64	74,90	92,12	98,75		99,87	99,94	99,99																			
QUANTITÉ %																																

**OBSERVATIONS :**

Il s'agit d'un sable de granularité continue, contenant 2% de farine.

**DÉSIGNATION DU GRANULAT :**

Sable de dune de Djelfa

Le MARS 1985

n°

ÉDITÉE PAR L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR).

La courbe granulométrique qui traduit la distribution pondérale des granulats élémentaires est donnée par le graphe .

d - 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 inférieure à 0,5mm, il s'agit alors 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 / 0,63mm.

*classe ?*

e - Module de finesse :

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

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

On a alors :  $M_f = 1,16.$

f - Conclusion :

Il s'agit d'un sable dont le pourcentage en éléments fins est supérieur à 75.

G.DREUX propose :

- . des fuseaux dans lesquels doit se situer la courbe granulométrique. Notre courbe se situe au dessus de ces fuseaux limites, notre sable présente donc une majorité d'éléments fins, et ne convient pas à la confection de béton ;
- . un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8, au dessous - c'est à dire notre cas - le sable a une majorité d'éléments fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau, d'où une diminution des résistances mécaniques.

017 →  
+ les grains  
sont fins

2. Masse volumique apparente et masse spécifique :

a - Masse volumique apparente :

C'est la masse du matériau sec par unité de volume en vrac (c'est à dire avec volume des vides).

Le principe est de remplir de sable une mesure de volume connu (à l'aide d'un entonnoir pour qu'il n'y ait pas tassement de sable) et d'en déterminer la masse.

Les résultats de trois essais sont les suivants :

./.

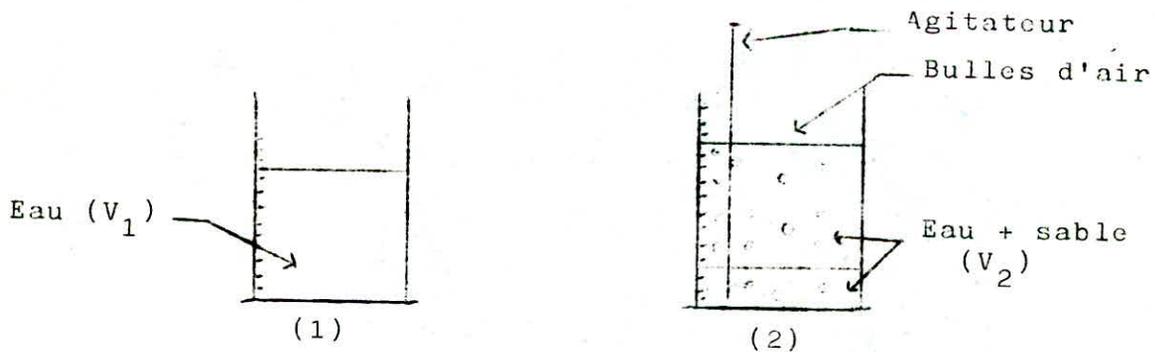
Volume connu (cm <sup>3</sup> )	Masse du sable sec (g)	Masse volumique (g/m <sup>3</sup> )
980	1380	1,41
980	1390	1,42
980	1395	1,42

La masse volumique apparente moyenne du sable est : 1420Kg/m<sup>3</sup>

b - Masse spécifique :

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps sec sans tenir compte du volume des vides.

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.



P (g)	V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>2</sub> - V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue $d_2 = \frac{P}{V_2 - V_1}$ (g/cm <sup>3</sup> )
500	600	795	195	2,56
500	600	792	192	2,60
500	600	795	195	2,56

La masse spécifique moyenne de ce sable est : 2570Kg/m<sup>3</sup>

3. Compacité et pourcentage de vide :

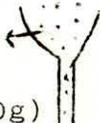
a - Définition :

Un sable compact est un sable dense, serré, plein avec le moins de vides possibles.

$$\text{Compacité} = \frac{\text{Volume des pleins (c'est à dire volume réel des grains)}}{\text{Volume total apparent (pleins et vides)}}$$

$$\text{Pourcentage de vide} = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume apparent}}$$

sable sec  
(a=500g)




(b) volume apparent du sable

(1)

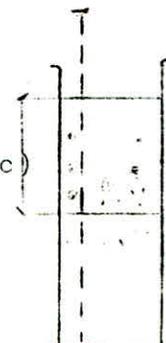


(2)

volume réel des grains (d-c)

volume de l'eau

← Eau



d (volume total)

(1) dans (2)

Ce qui donne :

$$\text{Compacité} = \frac{d - c}{b} \times 100$$

$$\text{Pourcentage de vide ou porosité} = \frac{(b - (d - c))}{b} \times 100$$

b - Résultats :

a (g)	b (cm <sup>3</sup> )	c (cm <sup>3</sup> )	d (cm <sup>3</sup> )	d - c (cm <sup>3</sup> )	Volume des vides b - (d - c) (cm <sup>3</sup> )	Compaci- té %	Porosité %
500	355	600	795	195	160	54,93	45,10
500	355	600	792	192	163	54,08	45,92
500	355	600	795	195	160	54,93	45,10

Donc :

La compacité est de 55%

La porosité est de 45,5%

Remarque : La compacité peut être calculée d'une autre manière

$$\text{Compacité} = \frac{\text{Densité apparente}}{\text{Densité absolue}} = \frac{1,42}{2,57} \times 100 = \underline{55,25\%}$$

c - Conclusion :

D'après G.DREUX, on peut admettre pour les sables une compacité variant de 0,60 à 0,70 pour la confection d'un béton, or le sable qu'on utilisera a une compacité de 0,55, il se situe hors des limites imposées, il ne conviendra donc pas à la confection d'un béton.

4. Equivalent de sable :

a - But et principe :

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

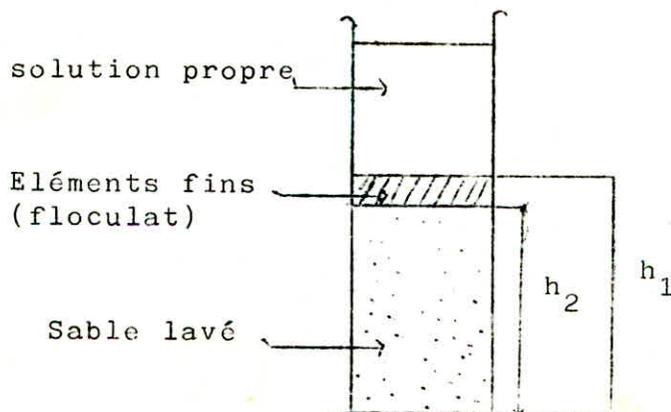
L'essai a été fait conformément à la norme NF P 08 - 501. le principe consiste à opérer, sur un échantillon de sable, un lavage énergique, de manière à le séparer de ses matières ultra-fines de nature argileuse ou humique, que l'on fait flocculer.

On mesure :

. La hauteur  $h_1$  :

sable propre + éléments fins

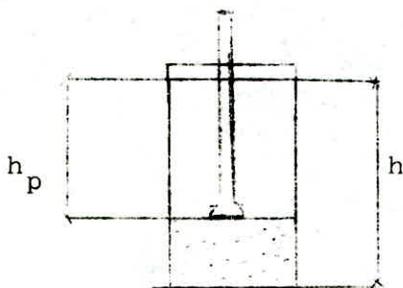
. La hauteur  $h_2$  de sable propre seulement.



L'équivalent de sable est alors :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Remarque : On distingue  $ES_v$  (ES visuel) suivant que  $h_2$  est mesurée à vue et  $ES_p$  (ES piston) avec  $h_2$  mesurée sous le poids d'un piston.



$$h'_2 = h - h_p \quad \text{avec } h = 43\text{cm.}$$

b - Résultats :

Le tableau suivant rassemble les résultats de trois essais effectués.

Essais	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$ES_v$ %	$h_p$ (cm)	$h'_2$ (cm)	$ES_p$ %
(1)	10,15	9,45	93,10	34,00	9,00	88,67
(2)	10,50	9,30	88,57	34,45	8,55	81,43
(3)	10,10	9,80	97,03	36,90	6,10	60,40

Donc :

ES<sub>v</sub> (moyen) = 93 %

ES<sub>p</sub> (moyen) = 77 %

c - Conclusion :

D'après le tableau proposé par G.DREUX, il s'agit d'un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

5. Analyse chimique :

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

a - Contrôle des matières organiques :

Il s'agit de l'humus (acides organiques) qui retarde, arrête la prise et réduit la résistance à la traction. On procède à l'essai colorimétrique conformément à la norme NF P 18-301, dont le principe est de laver une certaine quantité de sable à l'aide d'une solution à 3% de Na OH et de laisser reposer pendant 24H00. On comparera la couleur obtenue avec les suivantes :

./.

COULEUR	QUALITE DE SABLE
Jusqu'au jaune pâle	convenable pour tous travaux
Jusqu'au jaune vif	convenable pour enduits fins
Jusqu'au orangé	acceptable pour constructions grossières
Jusqu'au rouge brun clair à foncé	Sable inacceptable

Après 24H00 nous avons obtenu une couleur jaune pâle, nous en concluons que notre sable ne contient pratiquement pas de matières organiques, il CONVIENDRA DONC POUR TOUS TRAVAUX.

b - Contrôle des sulfates :

Ce contrôle est fait dans le but de mettre en évidence (si elles existent) les traces gypseuses nuisibles à la prise et aux résistances mécaniques du béton.

Cet essai consiste à laver une certaine quantité de sable avec de l'eau distillée, de filtrer, chauffer à 50°C après avoir ajouté de l'acide chlorhydrique. On ajoute ensuite du chlorure de baryum : un précipité blanc indique la présence de sulfates.

Les résultats obtenus lors de l'essai indique qu'il N'Y A PAS DE SULFATES.

c - Contrôle des sulfures :

On procède comme suit : verser de l'acide chlorhydrique sur le sable. Un dégagement de sulfure d'hydrogène révèle les sulfures.

Les résultats obtenus lors de l'essai n'ont révélé aucune trace de sulfures. Toutefois on note qu'il y a effervescence lors de l'ajout de l'acide chlorhydrique, notre sable contient donc des traces de calcaire.

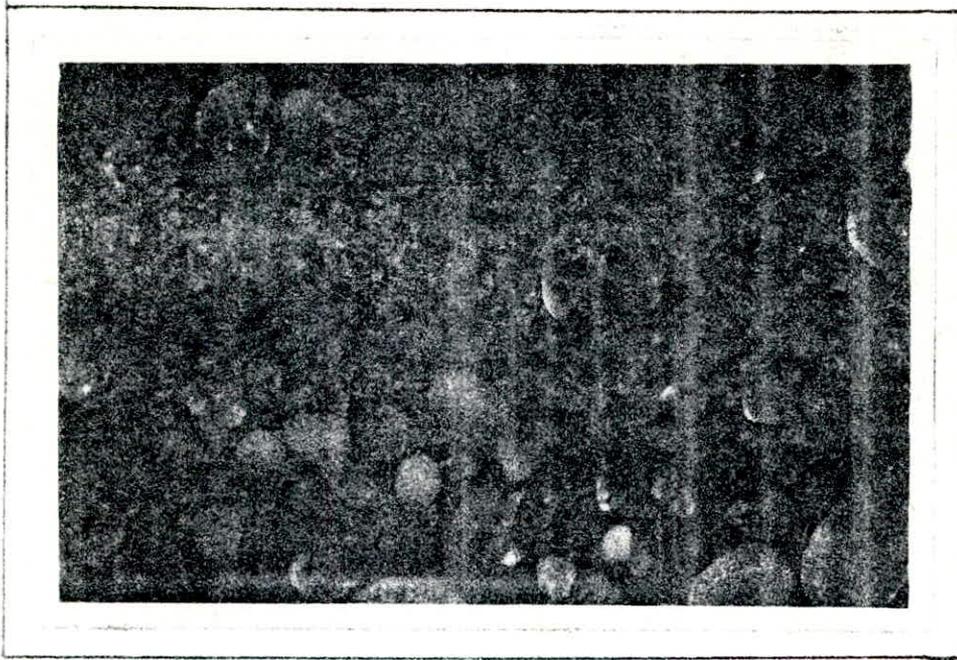
6. Observations microscopiques :

C'est un sable fin, en apparence très uniforme composé de grains sub-arondis, en majorité proches de 0,2 à 0,3mm de diamètre apparent.

Le modelé rond et mat de nombreux grains est très caractéristique du remaniement éolien. (photo)

Une patine ferrugineuse, irrégulière, existe sur certaines particules, ce qui donne à l'ensemble du sable une coloration ocre claire.

Le sable est en quasi totalité composé de grains de quartz. Les minéraux associés sont très rares : quelques grains opaques non déterminés.



Agrandissement : 50 fois

7. Analyse diffractométrique : (diagramme)

La poudre obtenue par broyage du sable présente une teinte légèrement rose, due à la présence des hydroxydes de fer de la patine des particules. Ces hydroxydes ne sont pas décelés sur le diffractogramme.

L'Analyse, effectuée avec le rayonnement du Cobalt a débuté à  $5^{\circ} 2$  Théta, afin de détecter les phases cristallines à partir d'un maximum de 20,5 Angstroems. Le diffractogramme met en évidence :

- 1) L'absence de toute phase argileuse :  
Aucune réflexion n'est enregistrée entre  $5$  et  $14^{\circ}$  là où peuvent se situer les principales raies des argiles : Bentonites à  $60^{\circ}$ , Chlorite à  $7,3^{\circ}$ , Illite à  $10,3^{\circ}$  ou Kaolinite à  $14,7^{\circ}$ .
- 2) La prépondérance du quartz déjà notée à l'observation microscopique : toutes les réflexions sont celles du spectre du quartz alpha ( $SiO_2$  de basse température).
- 3) Des traces de Calcite ( $CO_3Ca$ ) par une faible réflexion à  $34^{\circ}$ . Il y a donc parmi le quartz, quelques fragments de spat h, sans doute moins de 1%.

./.

quartz

# Différentiellogramme d'un sable de dune

Rad. Co K $\alpha$  = 1,77 Å

35 kV. 10 mA.

$\frac{1}{2}^\circ$  2 $\theta$ /min =  $\frac{1}{2}$  cm/min.

$1 \cdot 10^4$  Imp/sec - CT : 3,4 s

5° (2 $\theta$ ) } 20,

quartz

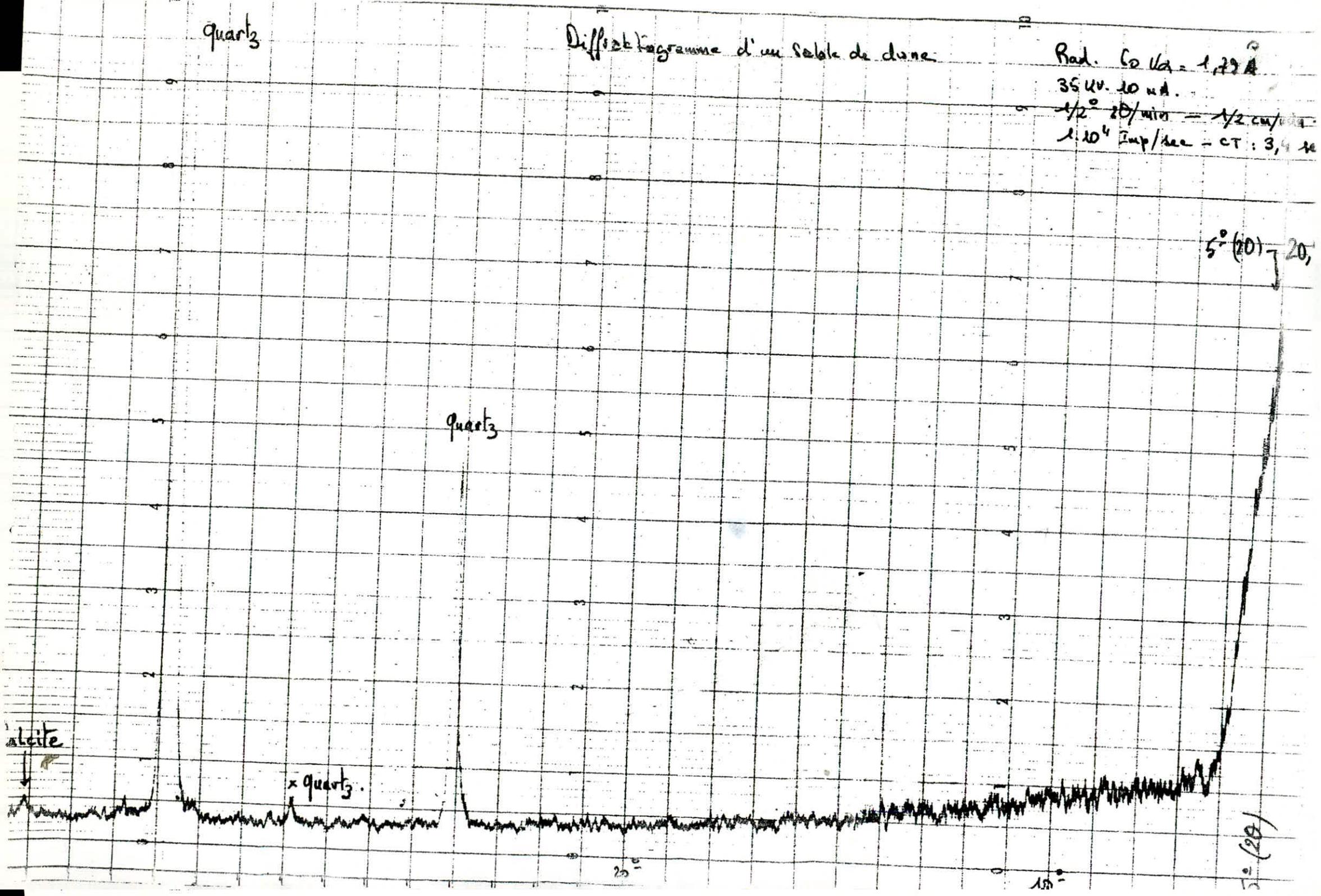
alcite

x quartz.

25°

15°

5° (2 $\theta$ )



## 8. Conclusion :

L'étude des caractéristiques du sable montre que ce dernier a des propriétés contradictoires pour la confection de béton, ainsi d'après l'analyse granulométrique et le calcul des compacité et pourcentage de vide, le sable de dunes ne convient pas pour la confection de béton, par contre d'après l'état de propreté et l'analyse chimique, le sable serait bon pour la confection de béton de haute qualité.

Il s'agira donc pour nous de "profiter" des qualités que le sable de dunes présente et de procéder aux corrections granulométrique et de compacité.

#### IV-GENERALITES SUR LES ESSAIS :

Les diverses qualités d'un béton doivent être constamment vérifiées pour cela nous distinguerons plusieurs essais.

##### 1. Dispositions communes :

###### a - Malaxage :

Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques des mortiers et bétons. Non seulement le sable doit être régulièrement dispersé mais aussi et surtout que le ciment soit bien réparti entre et autour de tous les grains inertes, il faut en outre que le ciment ne soit pas regroupé en grumeaux, mais régulièrement entouré d'une pellicule d'eau.

Le malaxage pour les différents essais a été fait conformément à la norme NF P 15-403 dans un malaxeur à axe vertical à cuve tournante.

Le malaxeur étant en position de fonctionnement, on verse/dans<sup>l'eau</sup> la cuve, on ajoute le liant et on met en marche pendant une minute, dans les trentes dernières secondes on introduit le sable le malaxeur étant en marche.

La durée total du malaxage sera de cinq minutes.

###### b - Serrage du béton :

Le béton doit être mis correctement en place dans les coffrages, pour cela la vibration est le moyen le plus utilisé et le plus efficace.

La vibration permet la "liquéfaction" du béton et son tassement d'où une augmentation de la compacité et une diminution de la teneur en air, ce qui améliore les performances du béton (augmentation des résistances mécaniques, résistances au gel et aux eaux agressives et de la pérennité).

La vibration agit en diminuant ou en annulant les frottements :

- . Frottement interne du béton dû aux multiples contacts des grains entre eux, ces contacts s'annuleront momentanément lors de la vibration,
  
- . Frottement du béton au coffrage ou aux armatures.

La vibration dépend en particulier de la plasticité du béton suivant les appareils, un béton destiné à être mis en place par vibration devrait avoir un affaissement au cône d'Abrams compris entre 2 et 8 cm.

La vibration est d'autant plus efficace que sa fréquence est élevée.

Mais un excès de vibration peut provoquer de la ségrégation du fait des densités différentes entre la pâte du ciment et les granulats.

Le serrage de notre béton a été fait par aiguille vibrante conformément à la norme NF P 18-422.

L'aiguille utilisée a un diamètre de 25mm pour des éprouvettes cylindriques 16 x 32cm et une fréquence de vibration de 5500 tours/min. Le moule ayant été rempli de béton en deux couches, on descend l'aiguille verticalement dans l'axe de l'éprouvette et on la retire lentement pendant les cinq dernières secondes, pour éviter la formation des bulles d'air.

c - Conservation des éprouvettes :

De leur confection à leur essai, les éprouvettes sont conservées à la température de 20° c, à un degré près : les vingt - quatre premières heures dans leur moule, ensuite en salle de brouillard ou immergées. Elles sont essuyées, mais non séchées, juste avant l'essai.

d - Précaution contre la dessiccation :

La dessiccation est l'action d'enlever au corps l'humidité qu'il renferme, elle s'accompagne de formation de microfissures qui diminuent les propriétés mécaniques du corps.

L'influence d'une dessiccation est d'autant plus sensible que l'éprouvette est petite et surtout si elle a été conservée dans l'eau. Il conviendra donc d'éviter la dessiccation depuis le moment où elles seront retirées du milieu dans lequel elles auront été conservées pour être transférées à la salle d'essai.

e - Détermination de la masse de l'éprouvette et de sa masse volumique :

Après avoir été essuyées, les éprouvettes sont pesées avec une erreur relative inférieure à 1/1000. La masse volumique est calculée en divisant sa masse par le volume (réel) de l'éprouvette.

2. Propriétés du béton frais :

Les propriétés du béton frais agissent sur les caractéristiques du béton durci et conditionnent les résistances mécaniques et l'homogénéité de ces résistances, les retraites, l'enrobage des armatures, l'aspect au démoulage et la perennité.

On recherche un matériau qui présente les qualités suivantes :

- . Maniabilité suffisante pour remplir le plus facilement et le plus rapidement possible le moule sans qu'il soit trop liquide,
- . Présente après la mise en place la compacité optimale (le minimum de vide) afin d'obtenir après durcissement la plus forte résistance mécanique, et la meilleure durabilité,
- . Conserver en tout point la même homogénéité.

a - Essai de l'ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton ; elle se définit comme la facilité offerte à sa mise en place.

L'essai qui nous permet de déterminer l'ouvrabilité du béton est l'essai d'affaissement par le cône d'Abrams suivant la norme NF P 18-451. Il consiste à remplir le tronc de cône (30cm de haut, 10 et 20cm de diamètre) de béton en quatre couches recevant chacune vingt cinq coups de tige de 16mm de diamètre.

Après arasement, le moule est enlevé et l'on mesure l'affaissement du pâte de béton. On prend la moyenne de trois essais successifs.

Un classement des consistances a été donné par G.Dreux :

Catégories de consistance	Affaissement au cône d'Abrams (cm)
Béton ferme	0 - 2
Béton plastique	3 - 7
Béton mou	8 - 15

b - Essais de prise :

Les réactions qui se passent dès l'instant où l'eau est ajoutée au ciment et qui se poursuivent dans le temps sont très complexes.

Plusieurs théories ont été émises concernant le phénomène de prise. D'après la théorie cristalloïdale de le Chatelier, les constituants anhydres du ciment portland artificiel, mis en présence d'eau, donneraient naissance à des hydrates qui précipiteraient en donnant des micro-cristaux : cela correspondrait au début de la prise. Le durcissement serait dû à la multiplication et à l'adhérence des cristaux formés.

L'essai de prise a été fait conformément à la norme NF P 15-431 à l'aide de l'appareil classique de prise "vicat". Il a pour but de déterminer les temps de :

- Début de prise :

C'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et celui où l'aiguille de vicat s'arrête à une distance du fond de 2,5mm.

- Fin de prise :

Elle se situe au moment où l'aiguille s'arrête à 2,5mm du niveau supérieur.

3. Propriétés du béton durci :

Une fois qu'on a obtenu un béton frais jouissant de certaines qualités - Une bonne maniabilité et des temps de début et fin de prise conformes aux normes - nous devons encore vérifier les propriétés du béton durci.

Il est donc indispensable de contrôler les résistances mécaniques aussi bien en compression qu'en traction ; le retrait qui doit être limité ; le module d'élasticité qui doit être le plus grand possible car plus sa valeur est grande plus le béton est moins déformable. De plus le béton durci doit assurer une bonne étanchéité, et être un mauvais conducteur de la chaleur et des ondes sonores.

a - Détermination des caractéristiques mécaniques des bétons :

Depuis toujours la résistance mécanique est considérée comme la qualité essentielle à rechercher pour un béton. Il est donc indispensable de contrôler les résistances de rupture à la compression et à la traction.

- Essai de compression :

La norme NF P 18-406 définit l'essai de rupture par compression des éprouvettes en béton.

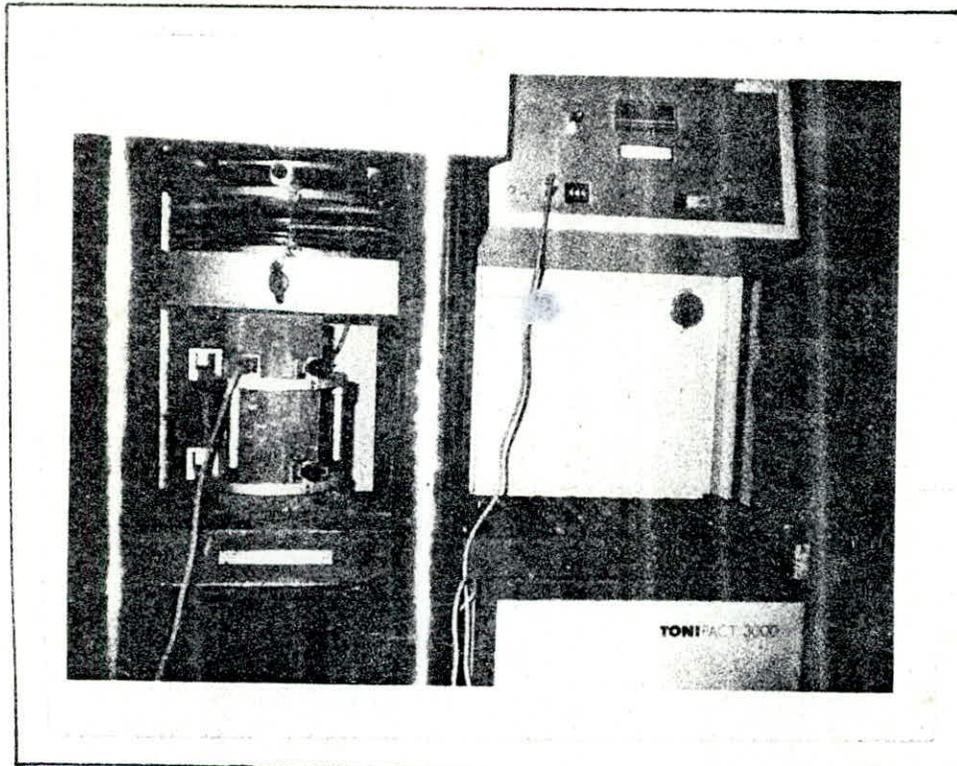
Les éprouvettes doivent être des éprouvettes cylindriques d'éclatement 2 (16 x 32cm), la machine d'essai est une presse hydraulique à deux plateaux horizontaux, l'un d'eux est monté sur rotule.

Pendant l'essai, on applique la charge d'une manière continue et sans chocs. La vitesse de chargement est constante et égale à  $(5 \pm 2)$  bars par seconde, ce qui correspond pour la presse à  $(10 \pm 4)$  kN par seconde.

./.

Toutefois lors de l'étude extensométrique pour les nécessités de l'essai - une vitesse de chargement plus faible a été adoptée soit 4 kN par seconde.

La résistance à la rupture est exprimée sous forme de contraintes ( $\sigma_{28}$ ).



- Essai de traction :

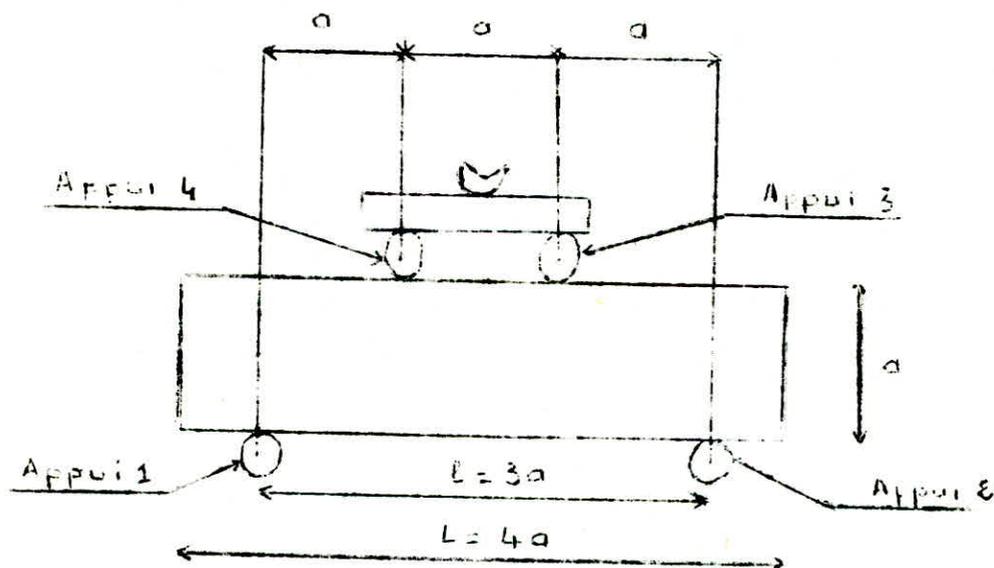
La résistance à la rupture en traction est celle obtenue par l'ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION défini par la norme NF P 18-407.

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques 7 x 7 x 28 cm.

./.

L'appareil de chargement doit transmettre la charge à des appuis horizontaux définissant exactement la ligne d'application de celle-ci et la répartissant sur l'éprouvette aussi uniforme que possible.

Cet essai est réalisé comme suit :



Les appuis (1) et (3) oscillent autour d'axes passant par leur centre, parallèles au grand axe de l'appareil et de l'éprouvette et situés dans le plan de flexion.

La charge est appliquée aux appuis (3) et (4) par l'intermédiaire d'une rotule.

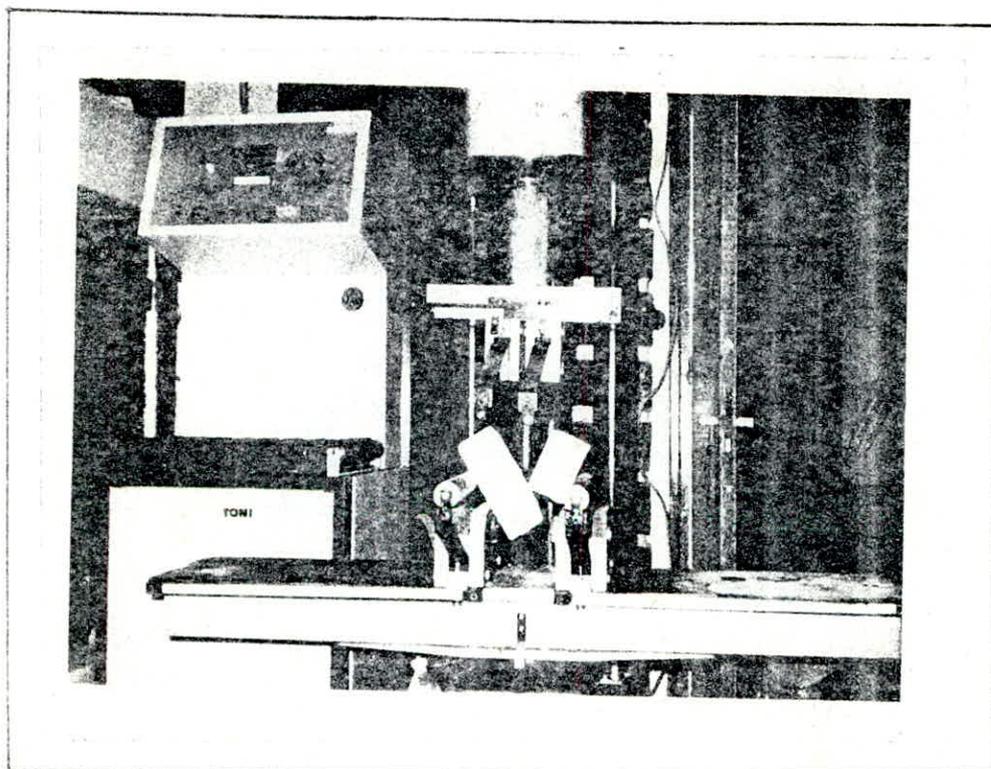
La charge est appliquée d'une manière continue et sans chocs. La vitesse de chargement est constante est égale à  $(0,5 \pm 0,1)$  bars par seconde, ce qui correspond pour la presse à  $(1 \pm 0,2)$  kN par seconde.

La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

La résistance à la rupture exprimée sous forme de contrainte est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{28} = 1,8 \frac{F}{a^2}$$

- où - F : la charge de rupture (daN) ;  
- a : l'arête de la base de l'éprouvette prismatique (cm) ;  
-  $\sigma_{28}$  : la contrainte de rupture en traction (daN/cm<sup>2</sup>).



b - Retrait du béton :

Le béton est un matériau en évolution : ses propriétés se modifient constamment au cours de son existence. suivant l'état de l'atmosphère, la température et les charges appliquées, le béton sera le siège de transformations diverses.

En l'absence de toute charge, le béton se déforme. Ces déformations sont liées à l'humidité du milieu de conservation. Pour les bétons conservés à l'air, on observe une diminution des dimensions initiales. Ce phénomène porte le nom de RETRAIT.

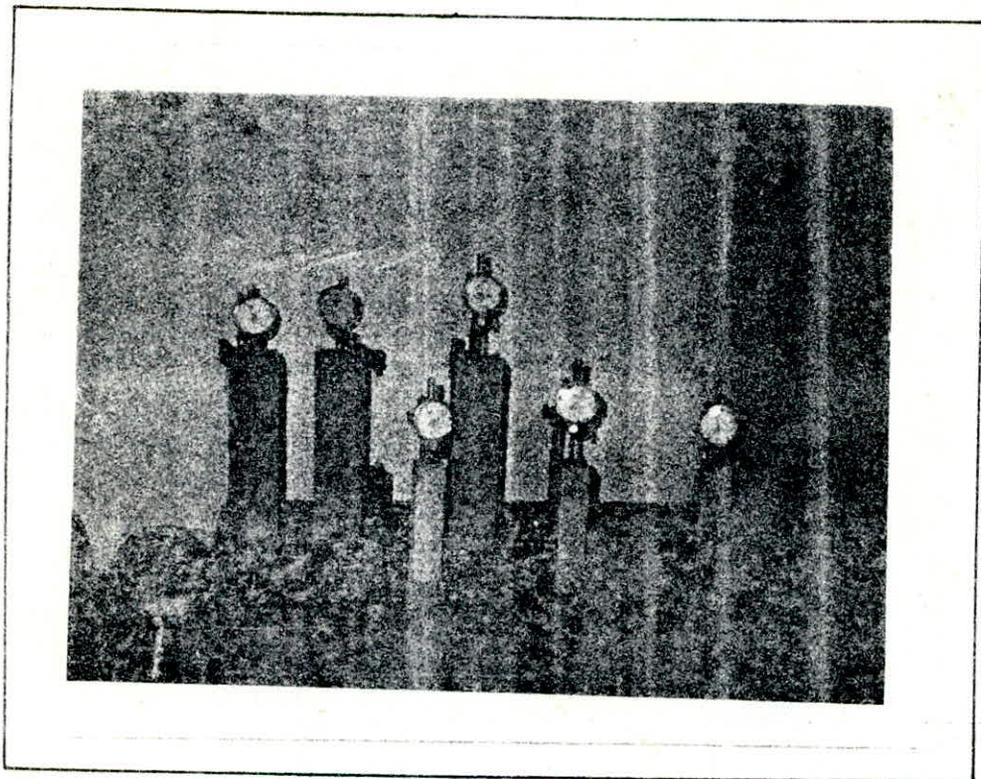
Il existe plusieurs sorte de retraits :

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

On mesure le retrait à l'aide de comparateur, sur éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16cm conservées à l'air.

retrait

(à 50 - 60°C)  
au sud ?



c - Etude extensométrique :

c.1. Définition

On appelle extensométrie l'ensemble des techniques permettant la mesure des contraintes qui apparaissent dans un corps donné conformément à la théorie de l'élasticité, lorsque ce dernier est soumis à des sollicitations extérieures.

Maintenant l'extensométrie ne se borne plus au côté mesure de ces contraintes, mais recouvre les procédés qualitatifs de mise en évidence et d'observation des contraintes.

./.

## C.2. B u t s

Les sciences telles que la statique, la dynamique, ou la résistance des matériaux, se révèlent assez vite limitées quant au calcul des structures. Il est donc apparu des techniques expérimentales d'analyse des contraintes et de mesure de ces contraintes. Le but de l'extensométrie est donc de suppléer à la RDM.

En réalité, les techniques extensométriques ne font que MESURER LES DEFORMATIONS d'une structure, ce qui peut permettre d'en CALCULER LES CONTRAINTES.

## C.3. Notion de base de mesure :

D'après la théorie d'élasticité, les déformations qui interviennent dans les relations sont très localisées sur la structure. En pratique, on ne peut faire la mesure que sur une longueur finie, qu'on appellera , BASE DE MESURE : on mesurera la déformation de cette base, en admettant que ses dimensions sont suffisamment petites pour que l'on puisse considérer la déformation uniforme suivant sa direction.

## C.4. Procédés utilisés en extensométrie :

De nombreux procédés sont actuellement employés pour l'étude des contraintes des matériaux, la plupart des phénomènes physiques étant mis à contribution pour ces études : phénomènes mécaniques, optiques, acoustiques, électriques....

## C.5. Présentation de quelques extensométries :

### - Les extensométries mécaniques :

Destinés à mesurer les variations de distances entre deux points de la pièce étudiée.

La chaîne de mesure comprend essentiellement trois organes :

- . Le capteur : constitué de deux pointes appliquées contre la surface de la structure et dont on mesure le déplacement relatif.
- . Un dispositif d'amplification : nécessaire en raison des faibles grandeurs mises en jeu (l'ordre de grandeur des allongements relatifs  $\frac{\Delta l}{l}$  s'étend de  $10^{-6}$  à  $10^{-3}$ ).
- . Un dispositif de lecture et d'enregistrement :

- Les jauges extensométriques :

Ces jauges reposent sur le principe qu'un fil soumis à une traction ou une compression, dans son domaine élastique, voit sa section, longueur et résistivité varier, et par là sa résistance. La variation de résistance est liée à la variation de longueur par une relation de la forme :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

où K est une constante appelée facteur de jauge.

- L'extensométrie par revêtement :

Il s'agit de recouvrir la structure à étudier d'un revêtement ayant des propriétés élastiques ou optiques : les vernis craquelants, les revêtements à réseaux pour Moiré, les revêtements photoélastiques.

- La photoélasticimétrie :

C.6. Procédé utilisé lors de l'étude :

Le dispositif utilisé est un extensomètre mécanique à trois capteurs de déplacement L.V.D.T. donnant un signal électrique proportionnel aux variations de distances entre deux sections d'une éprouvette de diamètre 160mm.

Par l'adjonction de trois capteurs supplémentaires fixés sur la couronne supérieure, il permet aussi une mesure des déformations transversales.

- Description de l'appareil :

L'appareil comprend l'extensomètre mécanique, le coffret électronique et deux tables traçantes.

- L'extensomètre mécanique est constitué de deux couronnes qui sont rendues chacune solidaires d'une section de l'éprouvette grâce à trois pointeaux montés à 120°.

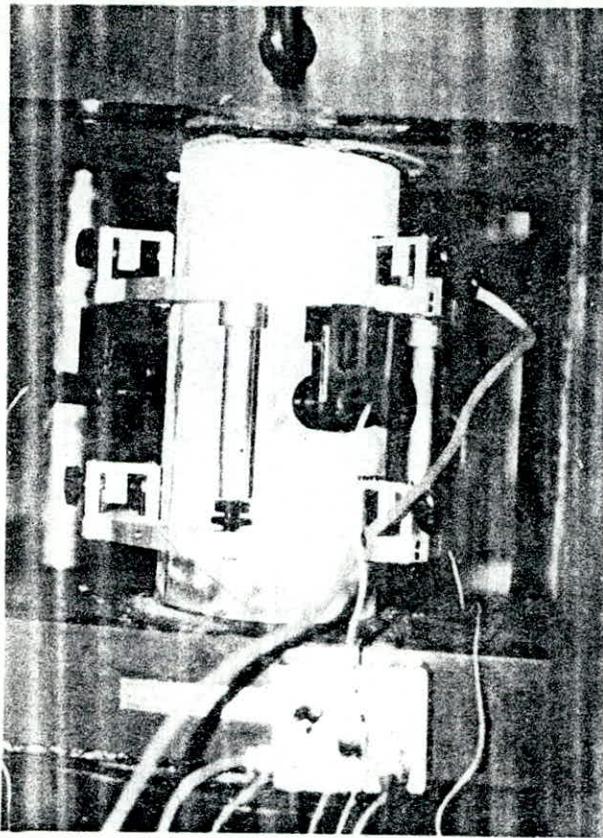
Les déplacements relatifs de ces deux couronnes sont captés par trois capteurs de déplacements linéaires.

Un conditionneur réalise la moyenne des trois informations délivrées par ces capteurs. Trois entretoises anodisées en rouge permettent d'assembler les deux couronnes entre elles, assumant ainsi deux fonctions :

. La mise en place simultanée des deux couronnes sur l'éprouvette ;

. La définition de la longueur de base de 160mm ;

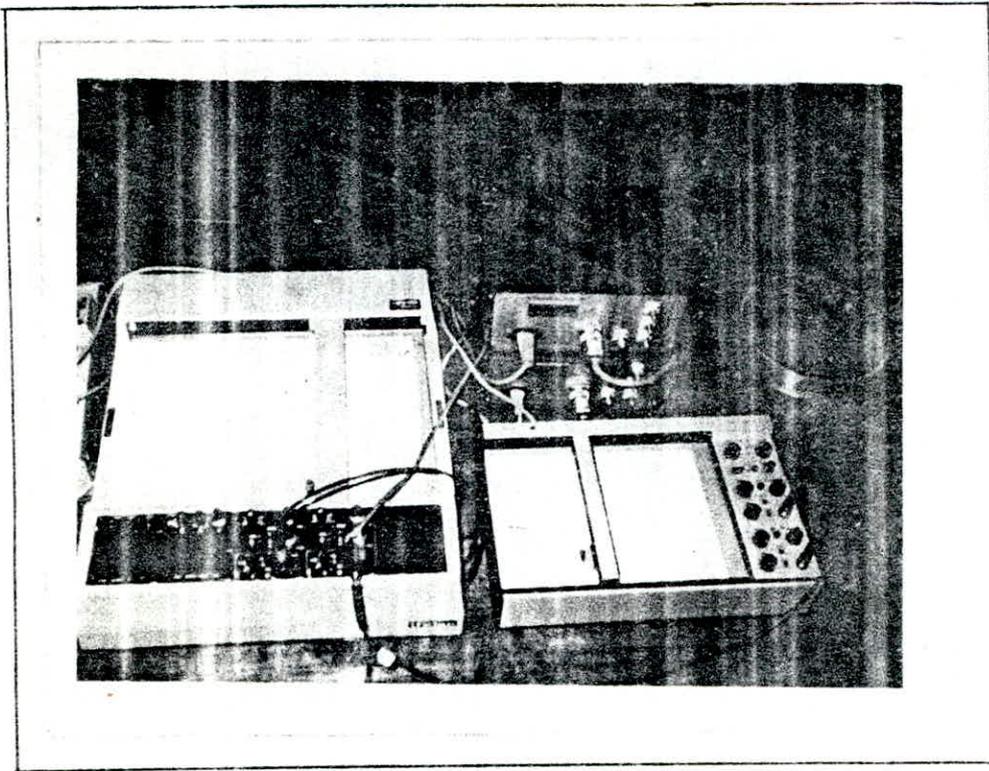
Sur la couronne inférieure trois vis micrométriques permettent d'effectuer le réglage du zéro de chaque capteur.



- Le coffret électronique comporte trois fonctions principales :
  - . Une visualisation de la lecture sur un indicateur numérique ;
  - . Un conditionnement de la mesure à trois voies, chaque voie correspondant à un capteur ;
  - . Une double sommation qui permet de connaître la valeur moyenne du déplacement des deux couronnes ( $\Delta L$ ) et la valeur moyenne de la déformation ( $\frac{\Delta L}{L}$ ).

- Les tables traçantes permettent de reproduire des courbes contraintes - déformations longitudinales et transversales. En abscisse, nous avons les déformations données par les capteurs de déplacements et en ordonnée, les forces données par les capteurs de forces incorporés dans la presse.

./.



B - Objectifs de l'essai :

Il s'agit de mesurer les déformations d'une éprouvette de béton sollicitée en compression simple. Nous sommes donc en présence d'un état de contrainte uniaxiale.



- . Longitudinalement, il se produit une contraction  $\Delta L$  et la déformation est  $\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L}$
- . Transversalement, on a un allongement  $\Delta l$  et la déformation  $\epsilon_2 = \frac{\Delta l}{l}$

Les relations expérimentales classiques donnent :

$$* \boxed{\varepsilon_2 = -\mu \varepsilon_1}$$

où :  $\mu$  est le coefficient de Poisson et le signe moins indique que les deux déformations sont de sens contraires.

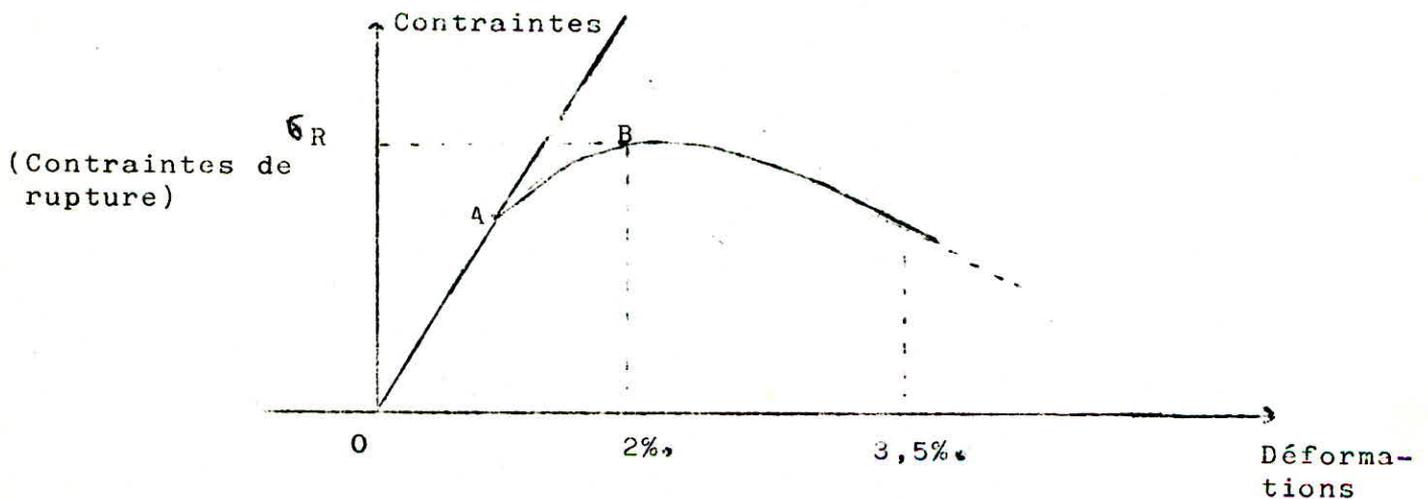
$$* \boxed{\sigma = E \cdot \varepsilon}$$

où :  $E$  : est le module d'élasticité ou module d'Young ;

$\sigma$  : la contrainte appliquée ;

$\varepsilon$  : La déformation qui en résulte ;

L'allure générale du comportement en compression du béton est la suivante :



- . Pour de petits chargements, la parabole présente un tronçon rectiligne (O A) ; il s'agit du domaine élastique où nous avons la relation suivante :

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

où E module d'Young est le coefficient angulaire de la droite OA :  $E = \frac{t}{g \cdot d}$  .

- . Pour<sup>des</sup> chargements plus élevés (au delà de A) on parlera de domaine plastique.

Le but de notre essai est de déterminer les valeurs des modules d'élasticité et coefficient de Poisson à partir de l'exploitation de la courbe contrainte - déformation et en appliquant la formule précédente.

On notera que le nombre de variables influençant E est considérable. E sera d'autant plus élevé que :

- . Le béton est plus compact et plus résistant ;
- . Le béton est plus âgé ; ceci est dû à l'influence des réactions chimiques de durcissement qui augmentent la résistance ;
- . Le ciment est de meilleure qualité ;
- . Les contraintes appliquées sont plus faibles ;
- . La pièce est conservée en atmosphère plus humide.

./.

## -V- DETERMINATION DE LA COMPOSITION DE BASE : (ciment - sable - eau)

### 1. Introduction :

Les facteurs qui sont à prendre en compte dans l'étude de la composition d'un béton sont nombreux. Diverses méthodes ont été mises au point pour en tenir compte.

Le béton de sable a une composition différente de celle des bétons traditionnels, de ce fait il n'obéira pas aux lois (Pour la plupart empiriques) établies pour les bétons traditionnels. On n'utilisera donc pas une méthode bien définie pour la détermination de la composition de béton de sable (méthodes Valette, Dreux, Joisel,...) mais on se basera sur les essais de recherche en laboratoire, on aboutira alors à une formule de composition convenable qui résultera d'un compromis entre diverses formules qui chacune conférerait au béton certaines qualités en même temps que des défauts ( par exemple une quantité importante d'eau de gâchage confère au béton une bonne ouvrabilité, par contre elle diminue les résistances mécaniques).

Il s'ensuit qu'une formule de béton ne peut guère prétendre être la meilleure et la seule valable parce que calculée en toute rigueur à partir d'une théorie.

### 2. Détermination de la formule :

Il s'agit de rechercher d'après une composition simple : ciment-sable - eau, une formule à dosage optimum en ciment pour le sable utilisé.

Le choix de cette formule est basé sur l'ouvrabilité et essentiellement sur les valeurs des résistances mécaniques qui devront être voisines de celles qui sont admises pour les matériaux de construction traditionnels (briques, parpaings..).

Sur cette formule, on fera plusieurs corrections : ajout de fines, d'adjuvants pour améliorer les ouvrabilités et résistances.

Trois formules respectivement dosées à 300, 330, 350Kg de ciment au m<sup>3</sup> de mélange ont été soumises à différents essais. Les résultats sont les suivants :

a - Dosage à 300Kg/m<sup>3</sup> :

En premier lieu, nous avons procédé à des essais d'affaissement au cône d'Abrams afin de déterminer les dosages en sable et en eau nécessaires pour l'obtention d'un béton plastique.

Dosage Affaissement (cm)	Ciment CPA (Kg/m <sup>3</sup> )	Sable (Kg/m <sup>3</sup> )	Eau (l/m <sup>3</sup> )	E / C
1	300	1625	320	1,07
7,5	300	1485	370	1,23
5,5	300	1485	340	1,13

./.

Nous avons adopté la troisième formule, soit :

Ciment CPA 325	:	300Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63	:	1485Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	340 l/m <sup>3</sup>

Avec cette formule nous avons confectionné six éprouvettes cylindriques 16 x 32cm pour les essais de compression à 7j et 28 jours (trois éprouvettes pour chaque essais), trois éprouvettes prismatiques 7 x 7 x 28cm pour l'essai de traction par flexion à 28j, et trois éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16cm pour le calcul du retrait. Les résultats obtenus sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	7j	2045
	28j	2045
- Début - Fin	de prise	5H00 6H15
Ouvrabilité (cm)		5,5
Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7j	48
	28j	76
	Traction à 28j	10
Retraits à ( $\sigma$ m/m)	7j	677
	14j	856
	20j	995

b - Dosage à 330Kg/m<sup>3</sup> :

La formule qui a donné un béton plastique est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable	:	1485Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	340 l/m <sup>3</sup>

Comme précédemment nous avons confectionné six éprouvettes cylindriques et six prismatiques, de plus nous avons procédé à l'étude extensométrique à 28j.

Les résultats obtenus sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à (Kg/m <sup>3</sup> )	7j	2055
	28j	2065
- Début	de prise	4H30
- Fin		6H00
Ouvrabilité (cm)		5,5
Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7j	59
	28j	94
	Traction à 28j	12
Retraits à ( $\epsilon$ m/m)	7j	520
	14j	895
	28j	990
Module d'élasticité en compression à 28j (daN/cm <sup>2</sup> )		191.000

c - Dosage à 350Kg/m<sup>3</sup> :

La formule qui a donné un béton plastique est la suivante :

Ciment CPA 325	:	350Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63	:	1485Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	340 l/m <sup>3</sup>

Les résultats sont :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à (Kg/m <sup>3</sup> )	7j	1985
	28j	1935
- Début - Fin	de prise	6H30 8H30
Ouvrabilité (cm)		5,2
Résistance Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7j	60
	28j	93
	Traction à 28j	-
Retraits à $\mu\text{m/m}$	7j	344
	14j	927
	28j	1071
Module d'élasticité en compression à 28j (daN/cm <sup>2</sup> )		87.000

Remarque : les éprouvettes dosées à 350Kg de ciment par M3 de béton ont été conservées à l'air libre.

d - Conclusion :

Pour les trois dosages, les résistances obtenues sont faibles mais ceci était prévisible vu le faible pourcentage en ciment (15%) par rapport au fort pourcentage en sable (70%).

On notera :

- Une masse volumique proche de celle d'un béton traditionnel ;
- Une assez bonne ouvrabilité ;
- De faibles résistances mécaniques ;
- Un fort retrait ;
- Une déformabilité (E) relativement bonne.

Nous avons opté pour un dosage en ciment de 330Kg par m<sup>3</sup> de béton, car il donne des résistances proches de celles du dosage à 350Kg par m<sup>3</sup> et meilleures que celles du dosage à 300Kg par m<sup>3</sup>.

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

### 1. Introduction :

Cette étude a été faite dans le but d'améliorer les caractéristiques mécaniques du béton étudié. Pour cela nous aurons à corriger la granulométrie de notre sable par l'adjonction de fillers dans un premier temps et d'adjuvants dans un autre temps.

On effectuera alors le choix du/ des fillers et adjuvants paraissant les mieux adaptés parmi ceux proposés.

Il est à noter qu'il n'existe pas de méthodologie bien adaptée, il a donc été nécessaire de procéder par approximations.

### 2. Influence des fillers :

#### a - Fillers utilisés :

Nous avons utilisé trois types de fillers :

##### - Fillers calcaires :

La nature minérologique calcaire a été choisie afin de bénéficier de l'affinité qui existe entre calcaire et cristaux d'hydrates de ciment.

##### - Fillers calcaires de Hassi Bahbah :

Nous avons utilisé les restes de concassage 0/3mm d'une carrière se trouvant à Hassi Bahbah.

Nous avons pris le tamisat du tamis 1mm.

- Fillers calcaires de la carrière de Bab El Oued :

Vu que les caractéristiques des restes de concassage 0/3mm de la carrière de Bab El Oued sont les mêmes que celles de Hassi Bahbah, il est plus intéressant de s'approvisionner d'une carrière plus proche.

On a utilisé dans un premier temps le tamisat du tamis 0,25mm en suite le tamisat du tamis 0,1mm, nous pourrons ainsi étudier l'influence de la granulométrie des fillers sur les caractéristiques du béton de sable.

- Fillers siliceux :

Le sable de dunes de Hassi Bahbah tamisé (tamisat 0,25mm) a été utilisé comme filler siliceux, vu que l'étude diffractométrique a montré que le sable est de nature essentiellement siliceuse.

Le choix a été fait pour deux raisons :

- . L'étude de l'influence de filler siliceux sur les caractéristiques du béton de sable.
- . Il serait intéressant d'utiliser le sable (la partie la plus fine) comme filler pour confectionner un béton qui présenterait de bonnes caractéristiques.

- Chaux :

La chaux utilisée est de la chaux aérienne de Saïda (chaux broyée DIN 1060).

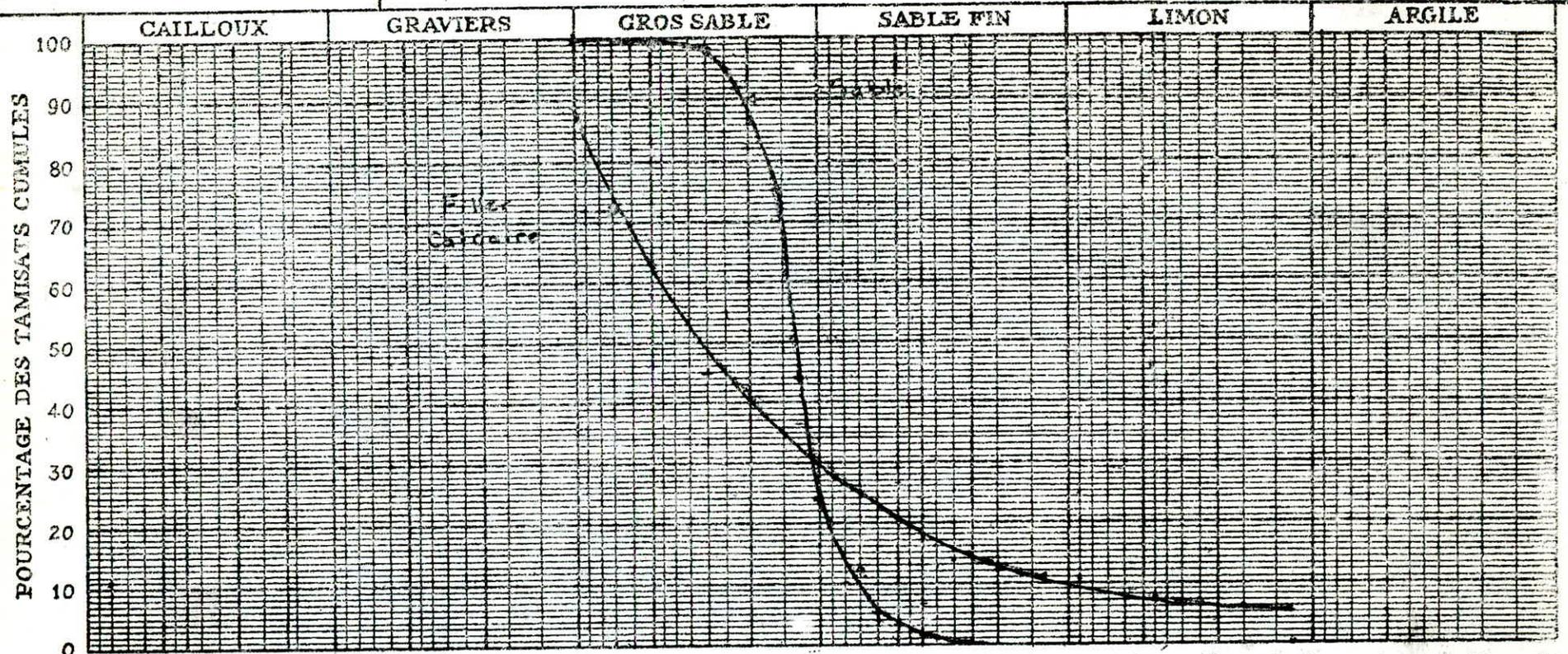
La production de chaux étant importante dans notre pays, il serait intéressant d'effectuer des études sur son utilisation comme correcteur granulaire.

Les courbes granulométriques des différents fillers sont représentées ci-après.

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

DOSSIER :

### S. 6 ET S. 7 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE



Module	200	100	80	50	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,1	0,08	0,05	0,02	0,01	5 $\mu$	2 $\mu$	1 $\mu$	0,5 $\mu$	0,2	
		100	63	40	25	12,5	6,3	2,5	1,25	0,5												
		50	48	46	44	41	38	34	31	27	24	21	20	18								

Diamètre équivalent (Sédimentométrie)

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

b - Résultats et commentaires :

Pour tous les essais, nous avons confectionné six éprouvettes cylindriques 16 x 32cm pour l'essai de compression (trois à 7 jours et trois à 28 jours), trois éprouvettes prismatiques 7 x 7 x 28 pour l'essai de traction et trois éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16cm pour le retrait. Faute de temps pour les derniers essais nous n'avons confectionné que trois éprouvettes cylindriques pour 7 jours, pour cette raison, on comparera les résultats des différents résultats obtenus à 7 jours.

Comme pour l'étude de base, le sable utilisé est mis à l'étuve (50°C) pendant 24H00 et tamisé (nous avons utilisé le tamisat du tamis 1mm).

Le ciment utilisé est le ciment portland artificiel 325 car c'est le plus utilisé dans le bâtiment.

Les pourcentages en fillers et en ciment ont été choisis respectivement de 10 et 15 pour cent dans un premier temps et ce conformément à l'étude bibliographique.

Pour la suite de l'étude le pourcentage en ciment est resté constant/<sup>par</sup>contre celui des fillers nous l'avons fait varier pour étudier l'influence du pourcentage en fillers sur le béton de sable.

- Fillers calcaires de Hassi Bahbah (filler (1)) :

Après des essais d'affaissement la formule adoptée est la suivante :

./.

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1385Kg/m <sup>3</sup>
Filler (1) 10%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Les résultats sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	7j	2020
	28j	2065
Ouvrabilité	cm	5,5
- Début		6H30
- Fin	de prise	8H00
Retraits à m/m	7j	1453
	14j	2794
	21j	2828
Résistances mécaniques daN/cm <sup>2</sup>	En compression 7j	49
	à 28j	77
	En traction à 28j	-
Module d'élasticité en compression		-

- Fillers calcaires de Bab El Oued :

. Fillers (2) :

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

La formule adoptée est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m3
Sable 0/0,63mm	:	1385Kg/m3
Filler (2) 10%	:	220Kg/m3
Eau	:	340 l/m3

Les résultats sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S	
Masse volumique à	7j	2110	
Kg/m3	28j	2110	
Ouvrabilité	cm	5	
- Début		5H30	
- Fin	de prise	7H00	
Retraits à	7j	480	
m/m	14j	750	
	24j	795	
Résistances mécaniques	En compression	7j	64
	à	28j	84
daN/cm2	En traction à	28j	-
Module d'élasticité en compression			131.500
daN/cm2			

- Filler (3) :

Nous avons utilisé le tamisat du tamis 0,1mm, la formule adoptée est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1310Kg/m <sup>3</sup>
Filler (3) 10%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	340 l/m <sup>3</sup>

Les résultats sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S	
Masse volumique à	7j	2110	
Kg/m <sup>3</sup>	28j	-	
Ouvrabilité	cm	7	
- Début		6H30	
- Fin	de prise	7H30	
Retraits à	7j	580	
↗ m/m	14j	880	
	21j	900	
Résistances mécaniques	En compression	7j	64
	à	28j	-
daN/cm <sup>2</sup>	En traction à		
	7j		16
Module d'élasticité en compression			-
daN/cm <sup>2</sup>			

Nous avons adopté un autre pourcentage, la formule est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m3
Sable 0/0,63mm	:	1355Kg/m3
Filler (3) 8%	:	175Kg/m3
Eau	:	340 l/m3

Les résultats sont alors les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à	7j	2095
Kg/m3	28j	-
Ouvrabilité (cm)		7
- Début		4H15
de prise		
- Fin		6H30
Résistances mécaniques	En compression 7j	56
	28j	-
daN/cm2	En traction à 7j	13
Module d'élasticité en compression		-
daN/cm2		

De nouveau, nous avons fait varier le pourcentage en filler, la formule adoptée est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1385Kg/m <sup>3</sup>
Filler (3) 11%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Les résultats sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à Kg/m <sup>3</sup>	7j	2075
	28j	2085
Ouvrabilité	cm	7
- Début		4H15
- Fin	de prise	6H00
Retraits à m/m	7j	590
	14j	840
	21j	850
Résistances mécaniques	En compression à 7j	56
	28j	85
daN/cm <sup>2</sup>	En traction 28j	18
Module d'élasticité en compression	7j	90.000
	28j	215.800
	daN/cm <sup>2</sup>	

Un dernier pourcentage a été adopté, la formule est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1255Kg/m <sup>3</sup>
Filler (3) 12%	:	265Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Les résultats obtenus sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à	7j	2090
Kg/m <sup>3</sup>	28j	-
Ouvrabilité	cm	9
- Début		4H45
- Fin	de prise	7H00
Retraits à	7j	-
m/m	14j	
	21j	
Résistances mécaniques	En compression	7j
		28j
daN/cm <sup>2</sup>	En traction à 7j	12
Module d'élasticité en compression		-
daN/cm <sup>2</sup>		

- Commentaires :

Par cette étude on recherche la granulométrie et le pourcentage en fillers calcaires donnant les meilleures résistances mécaniques.

On a constaté que plus le filler est fin (tamisat du tamis 0,1mm) meilleures sont les résistances en compression, Nous pouvons expliquer ceci par le fait que plus le filler est fin plus sa granulométrie est voisine de celle d'un liant, mieux il remplit les vides, ce qui améliore la compacité du béton, donc sa résistance.

On note aussi que pour un même rapport  $\frac{E}{C}$ , plus le filler est fin, plus grande est l'ouvrabilité, ce qui est logique vu que les particules fines jouent le rôle de lubrifiant.

De plus le meilleur pourcentage en fillers calcaires est de 10% en poids.

- Fillers siliceux :

Nous avons adopté un seul pourcentage, soit 10%, la formule choisie après des essais d'affaissement est la suivante :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1385Kg/m <sup>3</sup>
Filler siliceux 10%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	340 l/m <sup>3</sup>

Les résultats obtenus sont les suivants :

E S S A I S		R E S U L T A T S	
Masse volumique à Kg/m <sup>3</sup>	7j	2100	
	28j	2100	
Ouvrabilité	cm	4,5	
- Début	de prise	6H00	
- Fin		8H00	
Retraits à mm/m	7j	273	
	14j	500	
	21j	545	
Résistances mécaniques daN/cm <sup>2</sup>	En compression à	7j	55
		28j	90
	Traction à 28j		14
Module d'élasticité en compression daN/cm <sup>2</sup>		-	

- Chaux :

Nous avons adopté différents pourcentages, soit 7, 8, 9, 11, 12 pour cent, les formules et les résultats sont les suivants :

. Formule (1) :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1450Kg/m <sup>3</sup>
Filler (chaux) 7%	:	155Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à	7j	2100
Kg/m <sup>3</sup>	28j	-
Ouvrabilité	cm	5
- Début	de prise	4H00
- Fin		6H15
Retraits à	7j	-
m/m	14j	
	21j	
Résistances mécaniques	Compression	7j
		28j
daN/cm <sup>2</sup>	Traction à	11
	7j	

. Formule (2) :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1430Kg/m <sup>3</sup>
Filler (chaux) 8%	:	175Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à 7j Kg/m <sup>3</sup>		2120
Ouvrabilité	cm	8
- Début - Fin	de prise	6H15 7H30
Retraits à m/m	7j 14j 21j	680 860 890
Résistances mécaniques daN/cm <sup>2</sup>	Compression à 7j	78
	Traction à 7j	14

Formule (3) :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1405Kg/m <sup>3</sup>
Filler (chaux) 9%	:	200Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à 7j Kg/m <sup>3</sup>		2090
Ouvrabilité cm		4
- Début - Fin	de prise	3H30 4H15
Retraits à m/m	7j 14j 21j	191 - -
Résistances mécaniques daN/cm <sup>2</sup>	Compression à 7j	71
	Traction à 7j	-

• Formule (4) :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1485Kg/m <sup>3</sup>
Filler (chaux) 11%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	350 l/m <sup>3</sup>

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à	7j Kg/m <sup>3</sup> 28j	2040
Ouvrabilité	cm	5
- Début	de prise	4H00
- Fin		5H00
Retraits à	7j 14j 21j m/m	575 880 905
Résistances mécaniques daN/cm <sup>2</sup>	Compression à 7j	57
	28j	90
	Traction à 28j	-
Module d'élasticité en compression daN/cm <sup>2</sup>		-

. Formule (5) :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m3
Sable 0/0,63mm	:	1340Kg/m3
Filler (chaux) 12%	:	265Kg/m3
Eau	:	380 l/m3

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à 7j Kg/m3		2035
Ouvrabilité cm		3
- Début		3H30
- Fin de prise		4H15
Retraits à 7j 14j 21j $f_r$ m/m		-
Résistances mécaniques daN/cm2	Compression à 7j	75
	Traction à 7j	-
Module d'élasticité en compression daN/cm2		-

. Commentaires :

Cette étude nous a permis de déterminer le pourcentage en chaux donnant les meilleures résistances mécaniques.

D'après les résultats obtenus, on constate que le pourcentage optimum est de 8%. Toutefois si on augmente le pourcentage en chaux au delà de 11%, les résistances mécaniques augmentent mais au détriment de l'ouvrabilité.

On note aussi que les retraits sont aussi forts que pour la composition de base.

3 - Conclusion :

A partir de cette étude nous avons fait ressortir deux formules qui présentent d'assez bons résultats, à améliorer toutefois.

- Avec fillers calcaires : tamisat du tamis 0,1mm

. <u>Formule</u> :	. Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
	. Sable 0/0,63mm	:	1310Kg/m <sup>3</sup>
	. Filler (3) 10%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
	. Eau	:	340 l/m <sup>3</sup>

. <u>Résultats</u> :	. RC à 7jours	64 daN/cm <sup>2</sup>
	. Ouvrabilité	7cm.

- Avec la chaux :

. <u>Formule</u> :	}	. Ciment CPA 325	:	330Kg/m3
		. Sable 0/0,63mm	:	1430Kg/m3
		. Filler (chaux) 8%	:	175Kg/m3
		. Eau	:	350 l/m3

. <u>Résultats</u> :	}	. Rc à 7 jours	78 daN/cm2
		. Ouvrabilité	8 cm.

Sur ces deux formules nous avons étudié l'influence des adjuvants.

Les résistances mécaniques obtenues pour la composition avec fillers siliceux ne sont pas satisfaisantes, ceci ne signifie pas qu'il faille les rejeter comme fillers correcteurs. Il serait intéressant d'étudier son action pour différents pourcentages.

C - Influence des adjuvants :

Les adjuvants sont des produits qui ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et béton ou à leur surface lorsqu'ils sont encore frais, améliorent certaines de leur propriétés.

1.- Adjuvants à utiliser :

Pour améliorer certaines qualités du béton de sable, nous avons choisis les adjuvants suivants :

- Plastifiants - réducteurs d'eau : (Médaplast SP)

Ce sont des adjuvants qui permettent soit une réduction de la teneur en eau pour une même ouvrabilité, soit une augmentation de l'ouvrabilité à une même teneur en eau.

Ils lubrifient les grains de ciment, ceux qui sont défloculés et individualisés, cette dispersion facilite le mouillage.

- Plastifiants - retenteurs d'eau : (Médaplast P.R.)

Ils comportent souvent des produits très fins qui augmentent la viscosité du béton frais et partant sa cohésion ; le ressuage est très diminué.

- Entraîneurs d'air : (Méda - air)

Leur rôle est de créer dans le béton des bulles d'air qui possèdent une courbe granulométrique continue dont le domaine recouvre celui des ciments et des sables les plus fins des mortiers et béton.

Les bulles d'air jouent le rôle d'un fluide en remplaçant une partie de l'eau de gâchage.

2.- Résultats et commentaires :

Par manque de temps, nous n'avons pu tester qu'un seul adjuvant soit le plastifiant réducteur d'eau - Méda - plast SP -.

Le dosage utilisé est celui spécifié par le document Granitex soit 0,5% du poids du ciment. (c'est la limite supérieure donnée).

./.

Les formules et résultats sont les suivants :

- Composition avec filler (3) (10%) :

. Formule :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m <sup>3</sup>
Sable 0/0,63mm	:	1310Kg/m <sup>3</sup>
Filler (3) 10%	:	220Kg/m <sup>3</sup>
Plastifiant	:	1,65Kg/m <sup>3</sup>
Eau	:	320 l/m <sup>3</sup>

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S	
Masse volumique à 7j Kg/m <sup>3</sup>		2100	
Ouvrabilité cm		4	
- Début de prise		3H45	
- Fin		5H45	
Retraits à 7j		319	
(7 m/m 14j		540	
Résistances mécaniques daN/cm <sup>2</sup>	En compression à 7j	74	
	En traction à 7j	13	

- Composition avec chaux (8%) :

. Formule :

Ciment CPA 325	:	330Kg/m3
Sable 0/0,63mm	:	1430Kg/m3
Filler (chaux) 8%	:	175Kg/m3
Plastifiant	:	1,65Kg/m3
Eau	:	340 l/m3

Résultats :

E S S A I S		R E S U L T A T S
Masse volumique à 7j Kg/m3		2040
Ouvrabilité	cm	3
- Début - Fin	de prise	3H30 5H15
Retraits à m/m	7j 14j	621 1045
Résistances mécaniques daN/cm2	En compression à 7j	71
	En traction à 7j	10

### Commentaires :

Les résultats obtenus ne sont pas ceux qu'on attendait. On peut expliquer ceci par le fait qu'un adjuvant peut agir différemment suivant :

- . Le dosage utilisé
- . La granulométrie du sable
- . La nature du liant.

Par manque de temps nous n'avons pu faire varier le dosage en adjuvant (à l'intérieur des limites proposées par Granitex soit 0,2 et 0,5 pour cent du poids du ciment), essais qui auraient été intéressant de faire.

On notera que les valeurs du retrait ont nettement baissé pour la composition avec le filler F3 contrairement à celles de la chaux qui ont nettement augmenté.

D'une façon générale nous remarquons que le comportement du filler calcaire en présence de l'adjuvant est meilleur que le comportement de la chaux.

-D - CONCLUSION :

Les résultats présentés dans cette partie d'étude ne permettent que d'exposer avec beaucoup de prudence et de réserve les conclusions qui suivent. Mais il semble que trois chemins se présentent qui pourraient servir de point de départ à des études plus détaillées et structurées.

- La nature de filler qui semble la mieux adaptée au sable de Djelfa est la nature calcaire, ainsi que la chaux ;
- La granulométrie la mieux adaptée est la plus fine ;
- Les pourcentages optimaux sont de 8% pour la chaux et de 10% pour les fillers calcaires.

De plus il nous semble intéressant de faire varier :

- Le pourcentage en filler F2 qui a donné des résultats relativement bons ;
- Le dosage en eau pour les différentes compositions ;
- Le dosage en adjuvant et en utiliser d'autres types (plastifiants reteneurs d'eau ; entraîneurs d'air) ;

On note que les comparaisons entre les différentes compositions pour l'extensométrie, les résistances en compression, le retrait, sont traités en annexes.

On notera en dernier lieu que lors des confections le béton de sable présente un fort ressuage, exception faite des compositions avec la chaux.

CONCLUSION :

Cette étude nous a initié aux travaux de recherches en laboratoire  
Elle n'est qu'une ébauche, ou une introduction à un travail  
beaucoup plus général qui devrait être entrepris dans chacune  
des régions de notre pays, où le sable diffère par sa granulomé-  
trie, son état de propreté, sa porosité....

- . Les bétons de sables

Document du laboratoire régional de Bordeaux

- . Nouveau guide du béton

George Dreux (Edition Eyrolles)

- . La pratique des ciments et des bétons

Michel Venuat (Edition du moniteur)

- . Technologie des matériaux de construction -tome 1-

Emile Olivier

- . Notions sur les matériaux de construction et la pratique des travaux

G.Toulemonde (Edition E.C.S.)

- . Nouveau traité de matériaux de construction -tomel-

M.Duriez et J. Arrambide (Edition Dunod)

- . Encyclopédie Vishay d'analyse des contraintes

- . Traité de béton armé -tomel-

A Guerrin et R.C. Lavour (Edition Dunod)

- . Normes AFNOR.

(7-) N N E X E . 1 .

Nous avons rassemblé certaines courbes obtenues en extensométrie, dans le but de procéder à une interprétation et d'établir une comparaison entre les courbes, suivant :

- L'influence de la nature des fillers ajoutés ;
- L'influence de la granulométrie des fillers ajoutés ;
- L'influence du pourcentage en fillers.

. Graphe 1 :

Composition : sable - ciment - eau.

Ciment 330Kg/m<sup>3</sup>.

Nous avons rassemblé les courbes de déformations longitudinale et transversale.

Nous constatons que la déformation longitudinale maximale est de 1,5‰ et la déformation transversale est de 0,27‰, nous obtenons alors un coefficient de Poisson ( $\nu$ ) égal à 0,18, ce qui est conforme aux valeurs obtenues pour le béton classique.

Par contre le module d'Young ( $E = 191.000 \text{ daN/cm}^2$ ) est assez faible, ce qui est prévisible du fait que le béton n'est pas très résistant.

. Graphe 2 :

Composition avec filler 2 (10%).

Idem que graphe 1.

Nous avons les mêmes constatations que pour le graphe 1, sauf que l'ajout de fines diminue le module d'Young et les déformations (la déformation longitudinale maximale est de 0,99% et  $\mu = 0,18$ ).

. Graphe 3 : Influence de la granulométrie des fillers.

Nous avons établi la comparaison entre les compositions :

- Dosage à 330Kg/m<sup>3</sup> en ciment sans ajout ;
- Avec filler 2 ;
- Avec filler 3 ;

On constate que pour un même pourcentage de fines à granulométrie différentes, le module d'Young croît avec la finesse des fillers. Ceci peut être expliqué par le fait que plus les ajouts sont fins, plus ils remplissent au mieux les vides, donnent au béton une bonne compacité, donc une bonne résistance, d'où un module d'élasticité grand.

. Graphe 4 : Influence de la nature des fillers.

La comparaison a été établie pour les compositions :

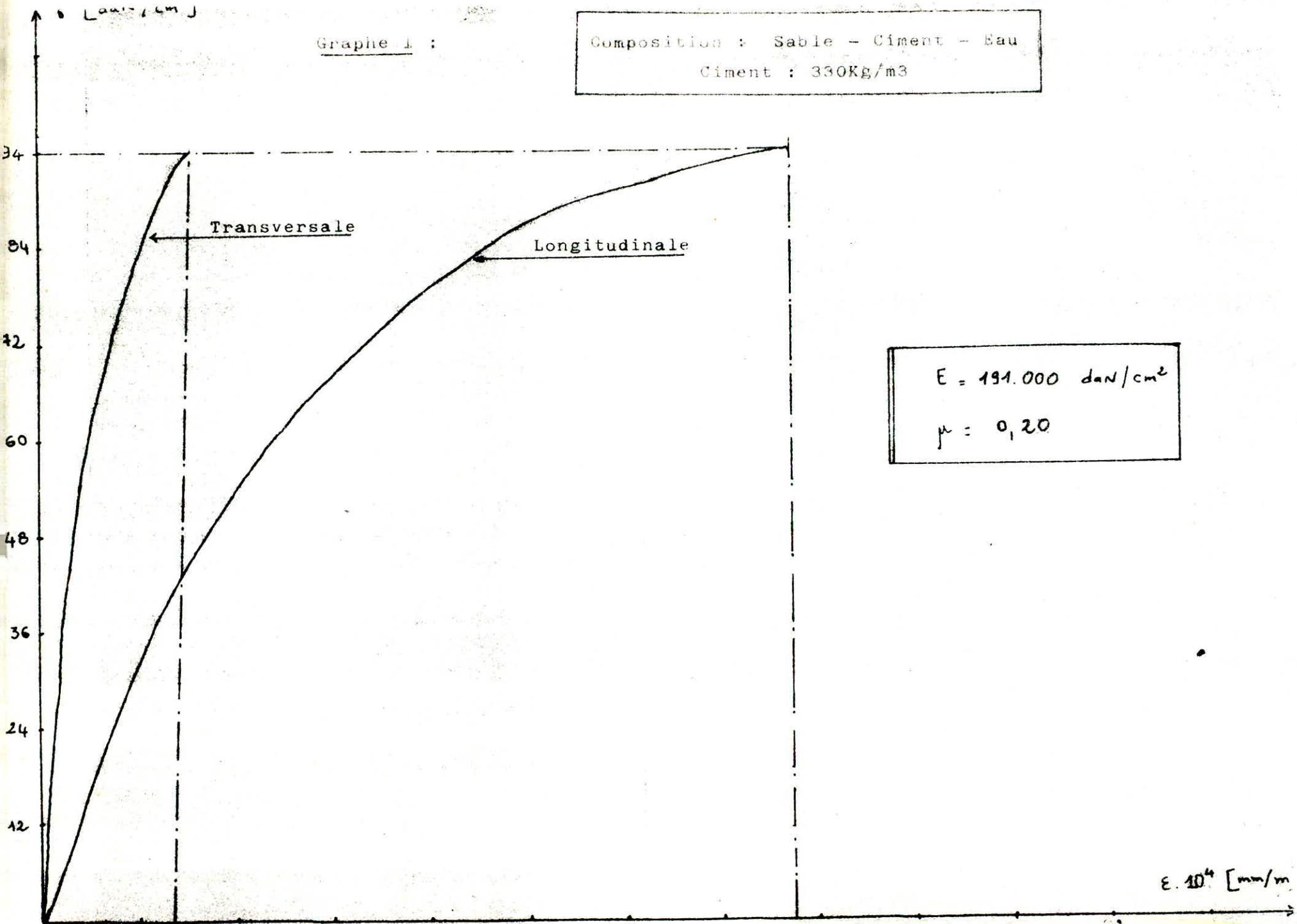
- Dosage à 330Kg/m<sup>3</sup> en ciment sans ajouts ;
- Avec fillers 2 ;
- Chaux ;

Avec un pourcentage égal en fillers calcaires et en chaux (10%), le module d'élasticité varie au profit du filler calcaire.

./.

Graphe 1 :

Composition : Sable - Ciment - Eau  
Ciment : 330Kg/m<sup>3</sup>



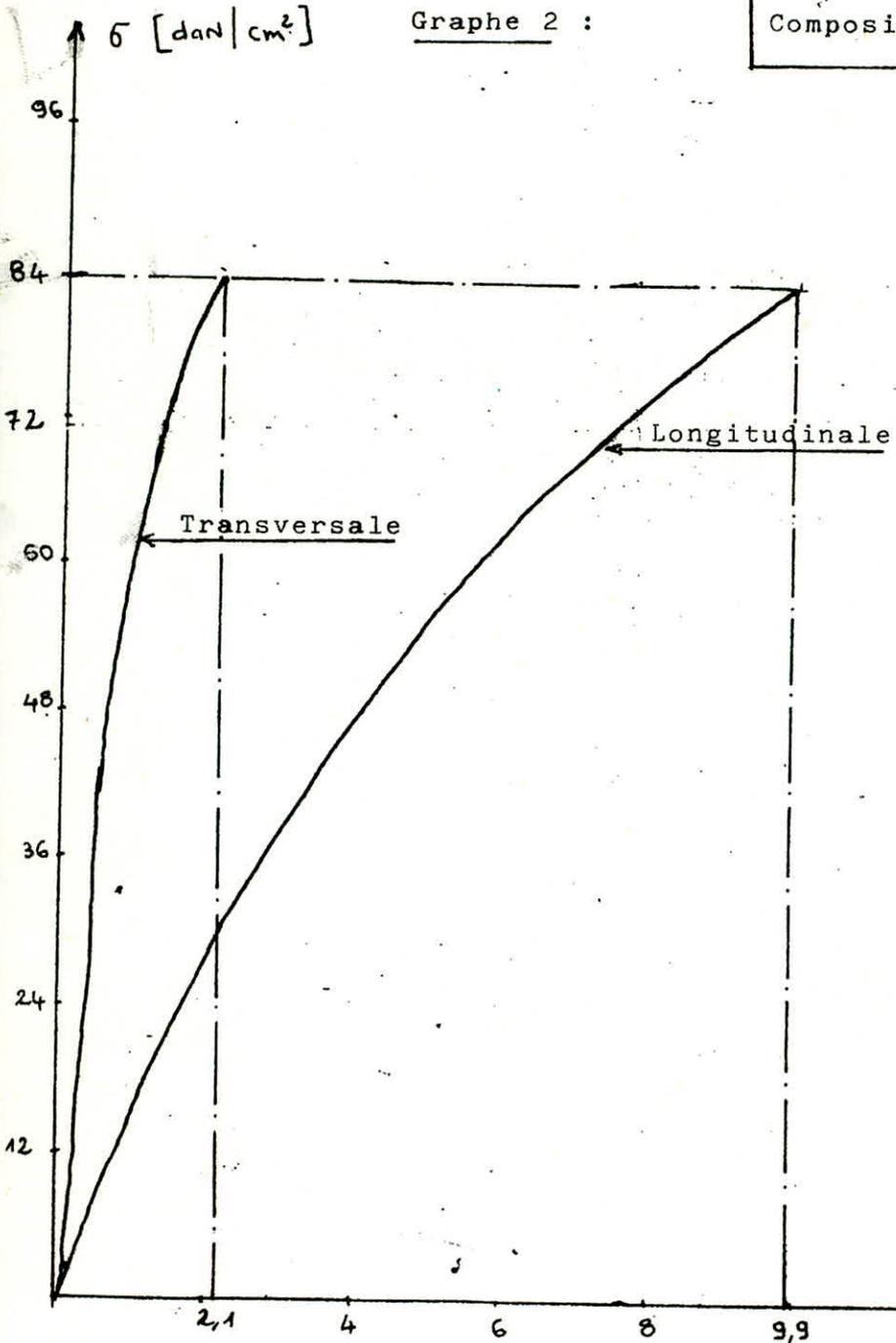
$$E = 191.000 \text{ daN/cm}^2$$

$$\mu = 0,20$$

$\epsilon \cdot 10^4 \text{ [mm/m]}$

Composition avec filler (2)

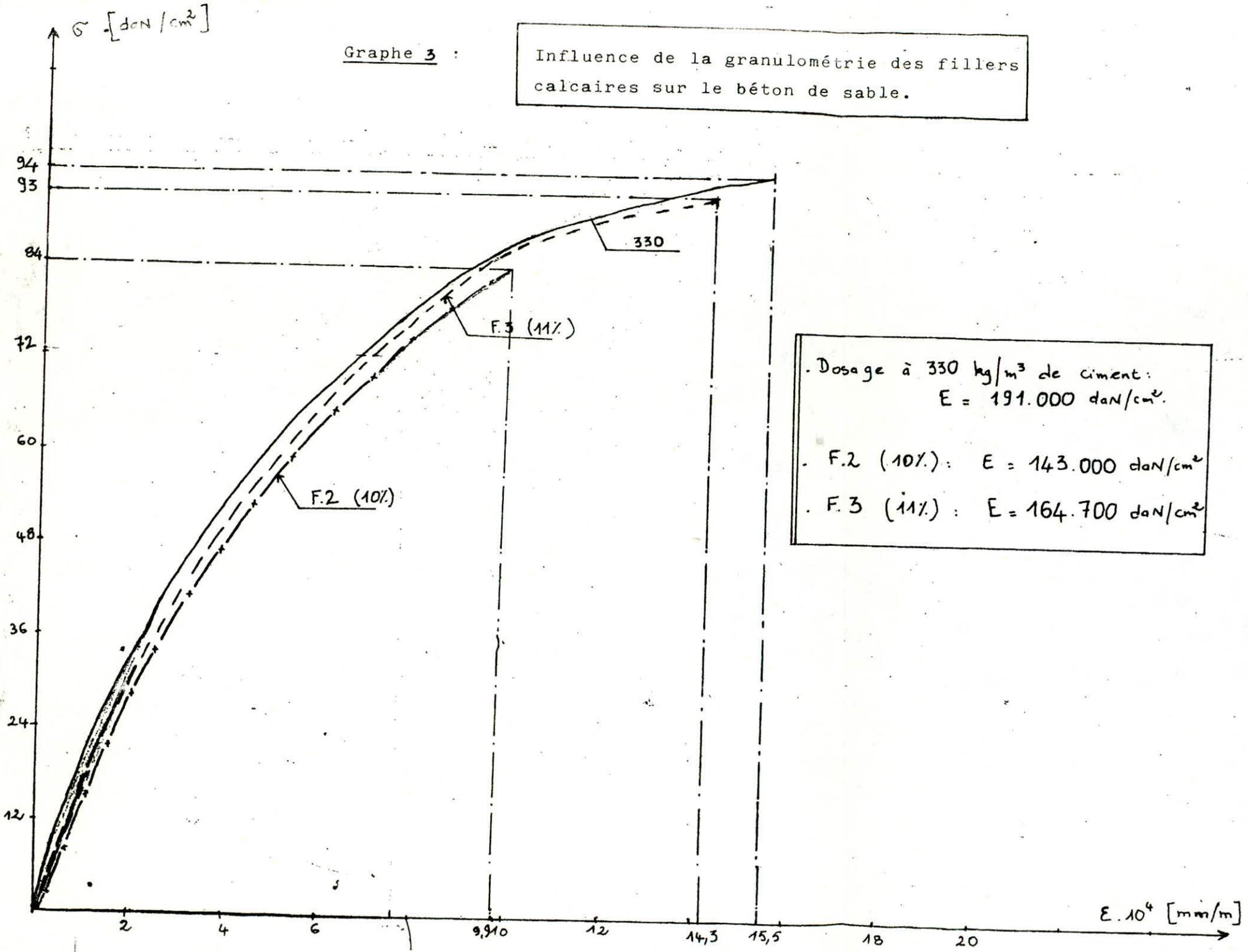
Graphe 2 :



F.2 :  $E = 143.000 \text{ daN/cm}^2$   
 $\mu = 0,20$

Graph 3 :

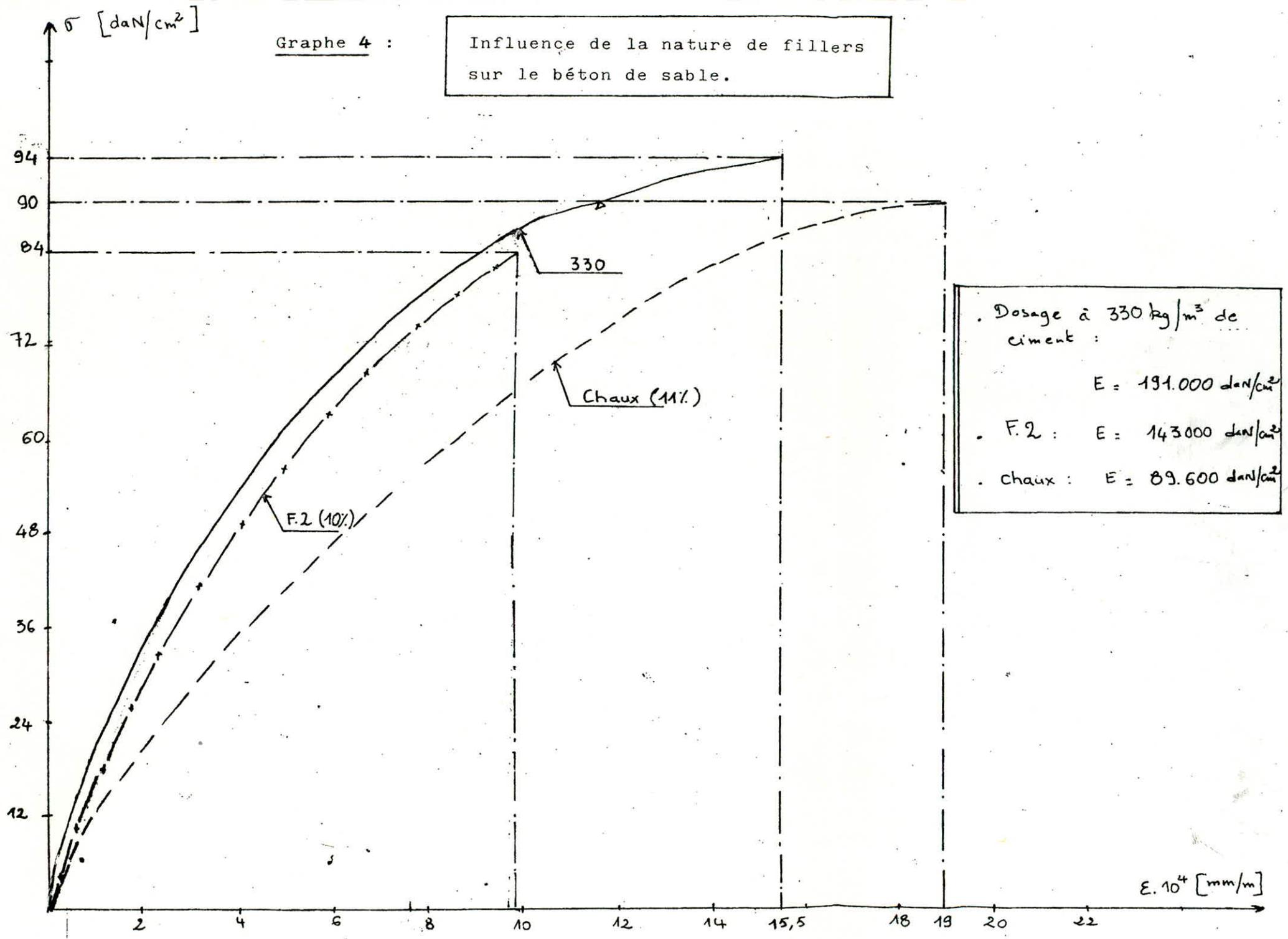
Influence de la granulométrie des fillers calcaires sur le béton de sable.



Dosage à 330 kg/m<sup>3</sup> de ciment:  
E = 191.000 daN/cm<sup>2</sup>.  
F.2 (10%): E = 143.000 daN/cm<sup>2</sup>.  
F.3 (11%): E = 164.700 daN/cm<sup>2</sup>.

Graph 4 :

Influence de la nature de fillers sur le béton de sable.



Nota :

- La comparaison aurait pu être plus concluante si nous avions pu faire l'étude extensométrique pour l'ensemble des compositions ;
- Les valeurs des modules d'Young et coefficient de Poisson ont été calculée pour une contrainte égale à 30% de la contrainte de rupture.

L'étude extensométrique, permet aussi de calculer la variation relative du volume de l'éprouvette sous l'effet du chargement.

La variation de volume se calcule de la façon suivante :

$$V = \pi R^2 \cdot H$$

où :

V : volume de l'éprouvette cylindrique de rayon R et de hauteur H.

La dérivée logarithmique nous donne :

$$\frac{dV}{V} = 2 \frac{dR}{R} + \frac{dH}{H}$$

$$\epsilon_1 = \frac{dH}{H} \quad \text{Déformation longitudinale}$$

$$\epsilon_2 = \frac{dR}{R} \quad \text{Déformation transversale.}$$

Or :

$$\epsilon_2 = -\nu \epsilon_1$$

d'où :

$$\boxed{\frac{dV}{V} = (1 - 2\nu) \epsilon_1}$$

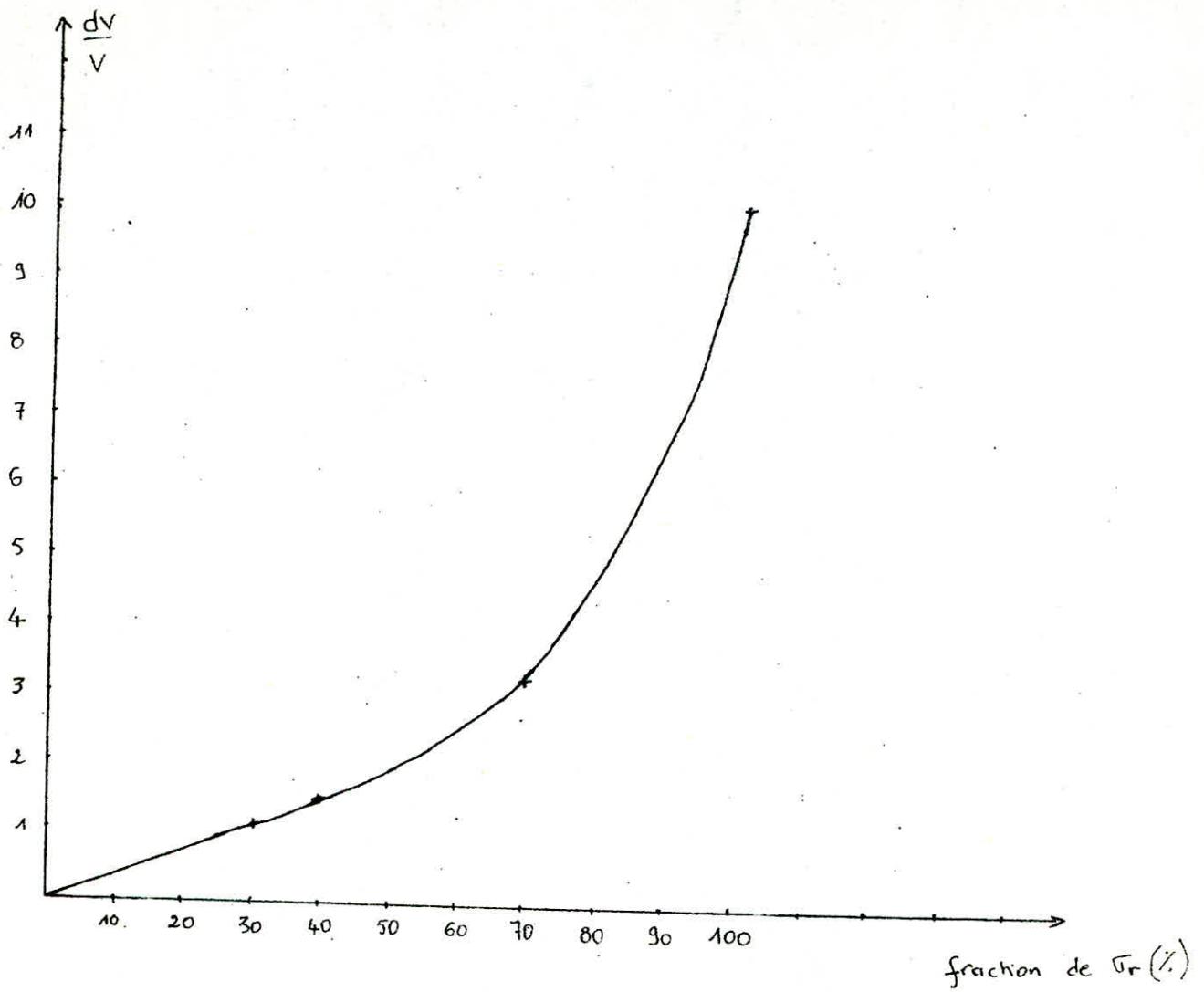
Nous n'avons pu faire le calcul de la variation de volume que pour les graphes suivants :

- Grappe 1 : composition : sable - ciment - eau  
Ciment 330Kg/m<sup>3</sup>.
- Grappe 2 : composition avec filler 2.

Les résultats obtenus sont les suivants :

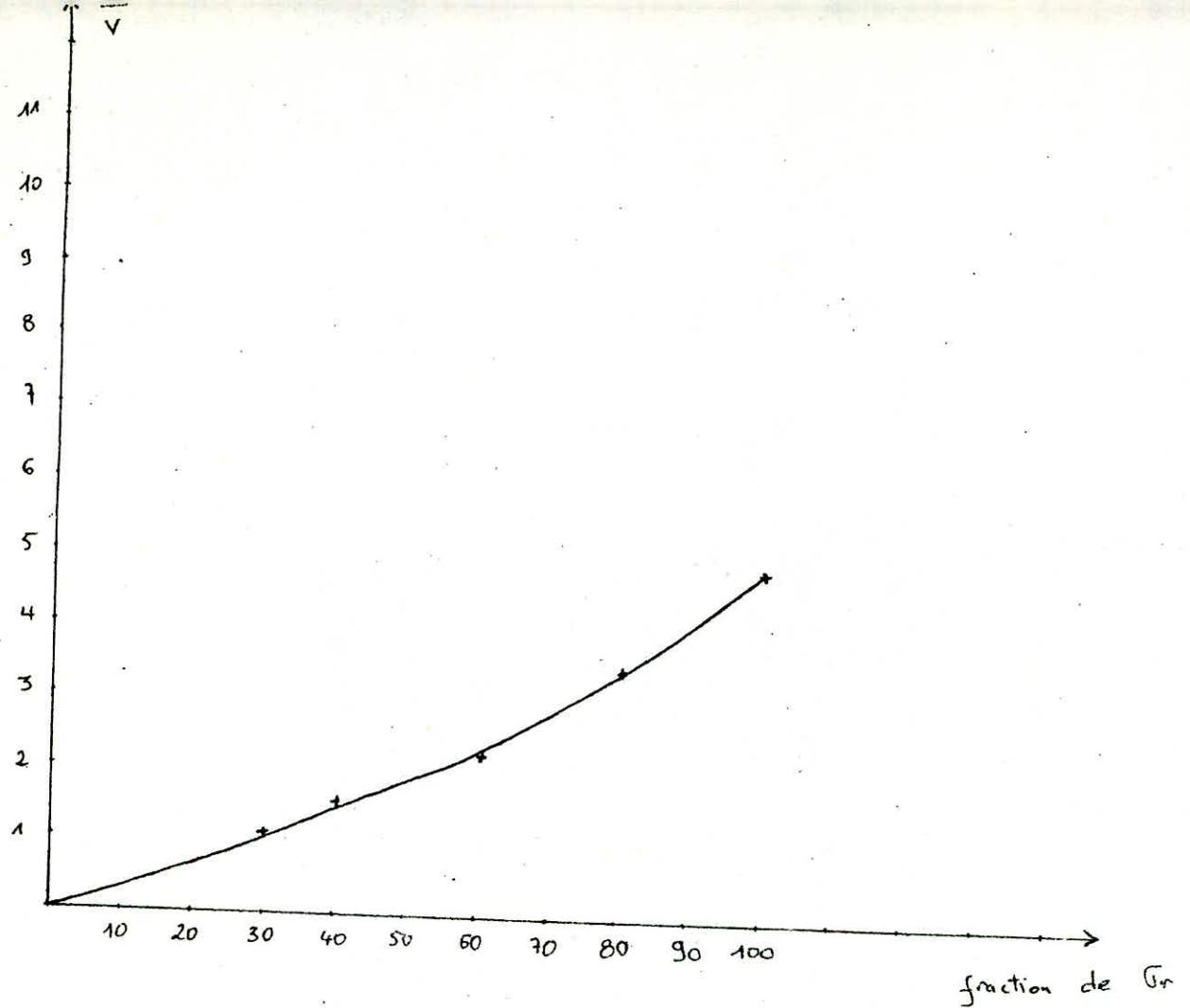
- Grappe 1 :

	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\mu$	dV/V
30% $\sigma_r$	1,9	0,35	0,18	1,12
40% $\sigma_r$	2,5	0,5	0,2	1,5
70% $\sigma_r$	6,1	1,4	0,22	3,3
100% $\sigma_r$	15,5	2,7	0,17	10,1



• Graphe 2 :

	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\mu$	$dV/V$
30% $\sigma_r$	1,6	0,3	0,19	1,12
40% $\sigma_r$	2,55	0,5	0,19	1,55
60% $\sigma_r$	3,45	0,6	0,17	2,25
80% $\sigma_r$	5,15	0,85	0,17	3,45
100% $\sigma_r$	7,7	1,4	0,18	4,9



Interprétation :

La variation de volume peut être expliquée par le fait qu'en appliquant des charges sur les éprouvettes, il y a apparition de microfissures avant que celles-ci ne deviennent visibles à l'œil et par la rupture.

Nous avons rassemblé certaines courbes du retrait en fonction du temps, afin de procéder à une interprétation et établir une comparaison entre les courbes suivant les critères énoncés en annexe 1.

. Graphe 1 : Influence des dosages en ciment.

Nous constatons que plus le dosage en ciment augmente plus le retrait augmente. Ceci est logique puisque le retrait est une fonction croissante du dosage en ciment, car c'est le retrait de la pâte pure qui conditionne celui du béton. De plus l'excès de ciment exige plus d'eau de mouillage, la fixe trop vite, dégage trop de chaleur et engendre un retrait thermique trop accentué.

. Graphe 2 : Influence de la nature des fillers.

Nous avons comparé les graphes des compositions suivantes :

- Dosage à 330Kg de ciment, sans ajout ;
- Composition avec filler siliceux,
- Composition avec filler calcaire F.3. ;
- Composition avec la chaux comme filler.

Des trois <sup>fillers</sup>/utilisés, nous constatons que la composition avec filler siliceux est celle qui présente le retrait le plus faible, et la composition avec la chaux vient en deuxième

## Position

La composition avec la chaux accuse un moindre retrait relativement à la composition sans ajout car la chaux augmente de volume avec la prise, ce gonflement interne s'oppose au retrait. Les fillers siliceux ne sont pas avides d'eau, ce qui explique le faible retrait de la composition avec filler siliceux.

### . Graphe 3 : Influence de la granulométrie des fillers calcaires.

Nous avons comparé les graphes des compositions suivantes :

- Dosage à 330Kg de ciment sans ajout
- Composition avec filler (2) (10%) ;
- Composition avec filler (3) (10%) ;

Nous constatons que plus le filler est fin, plus le retrait est grand car la surface totale des grains est plus grande, donc exige plus d'eau qui laissera plus de vides en s'évaporant, conditions propices pour le retrait.

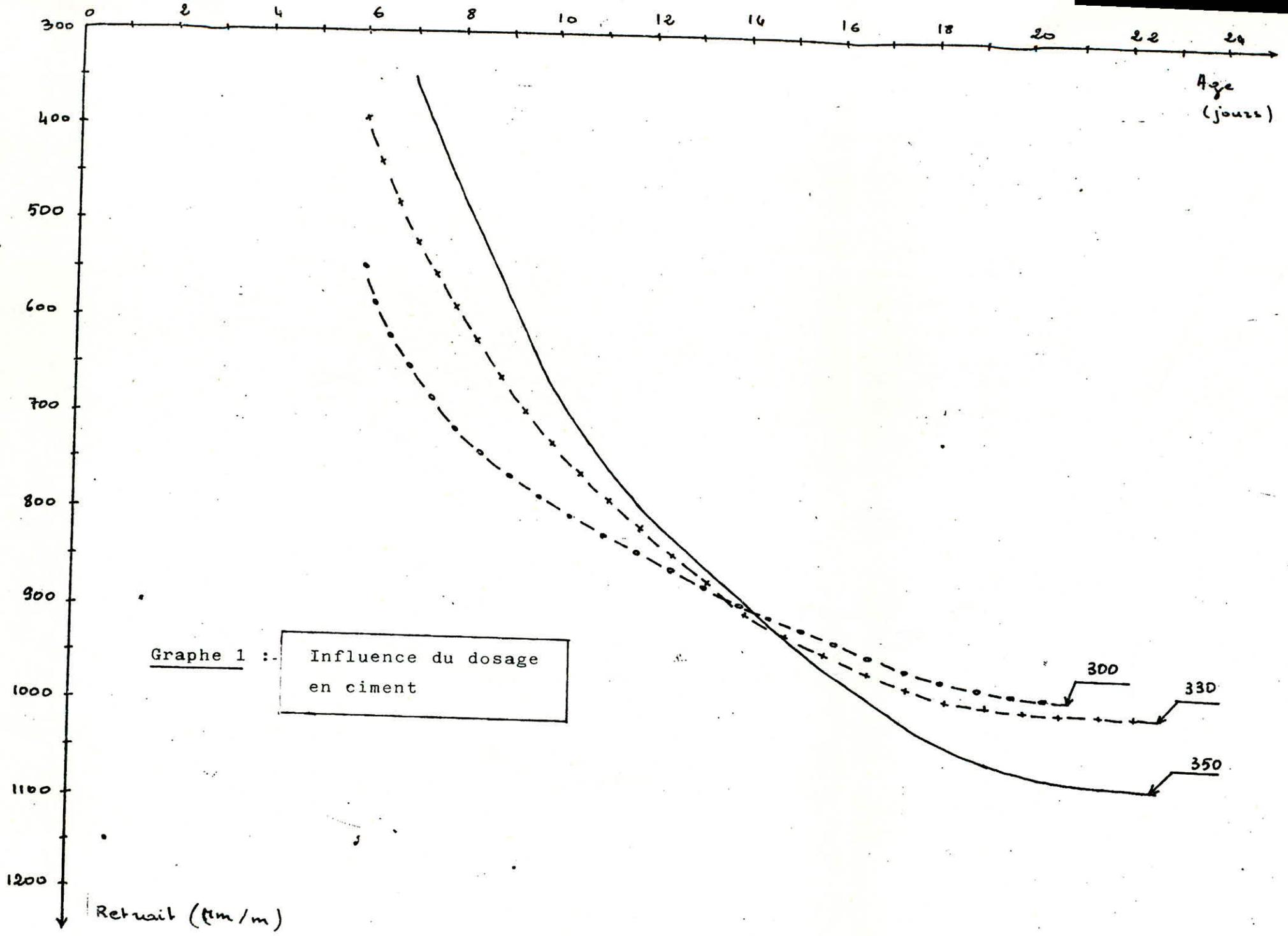
### . Graphe 4 : Influence du pourcentage en filler calcaires.

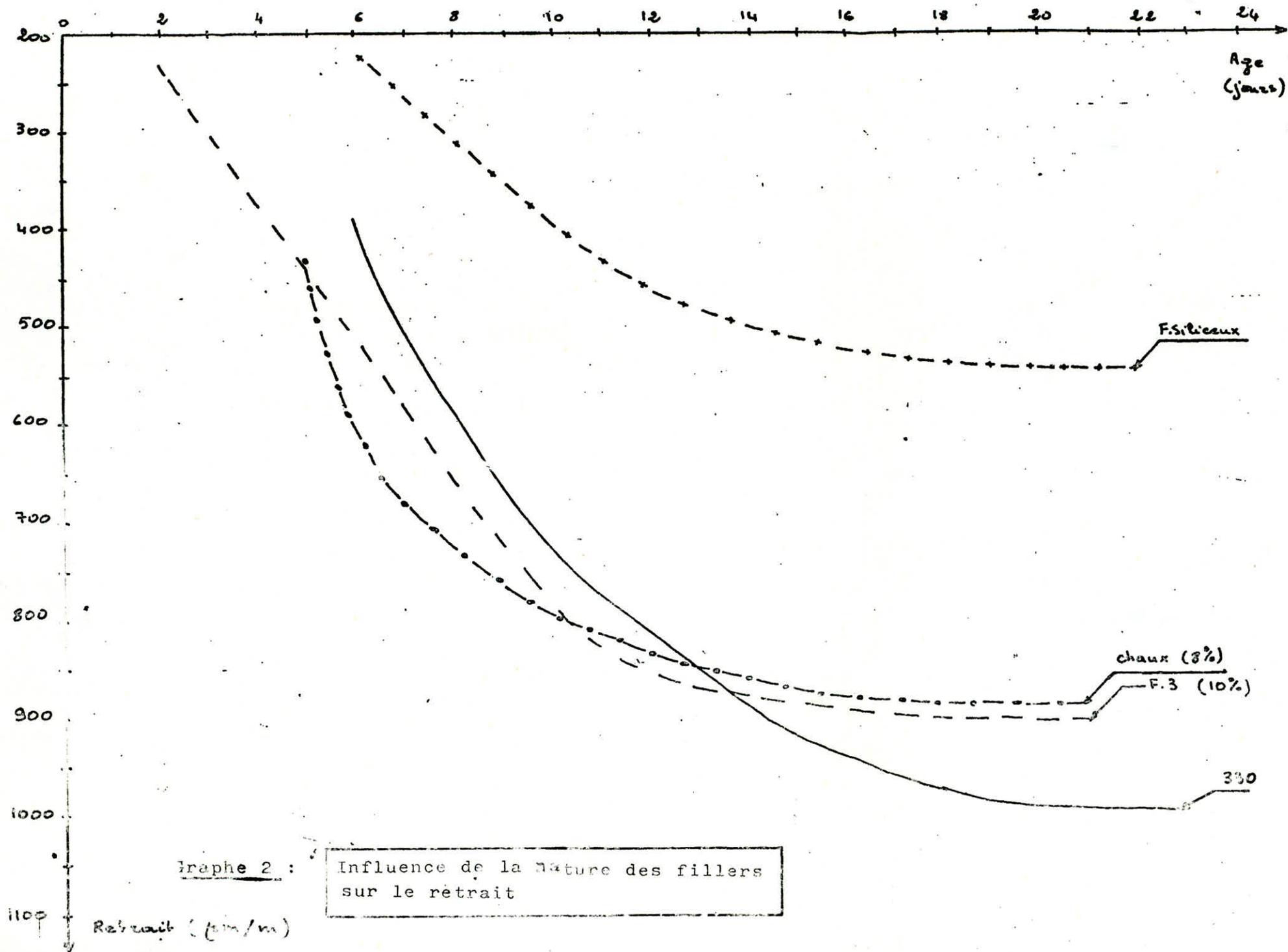
- Dosage à 330Kg de ciment sans ajout ;
- Composition avec filler (3) à 10% ;
- Composition avec filler (2) à 11%.

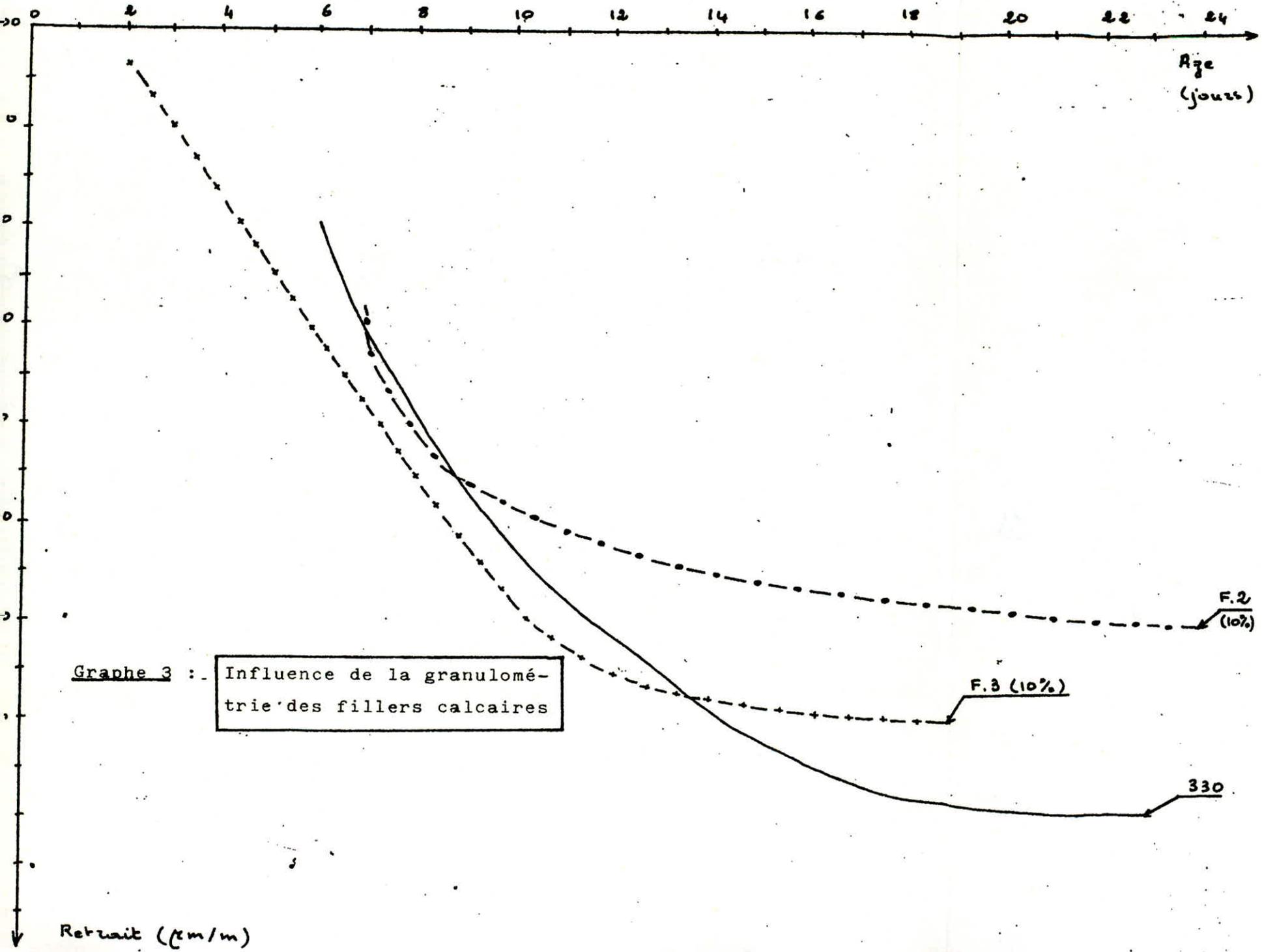
On constate que plus le pourcentage augmente, plus le retrait diminue, car le béton est plus compact.

### . Graphe 5 : Influence du pourcentage en chaux.

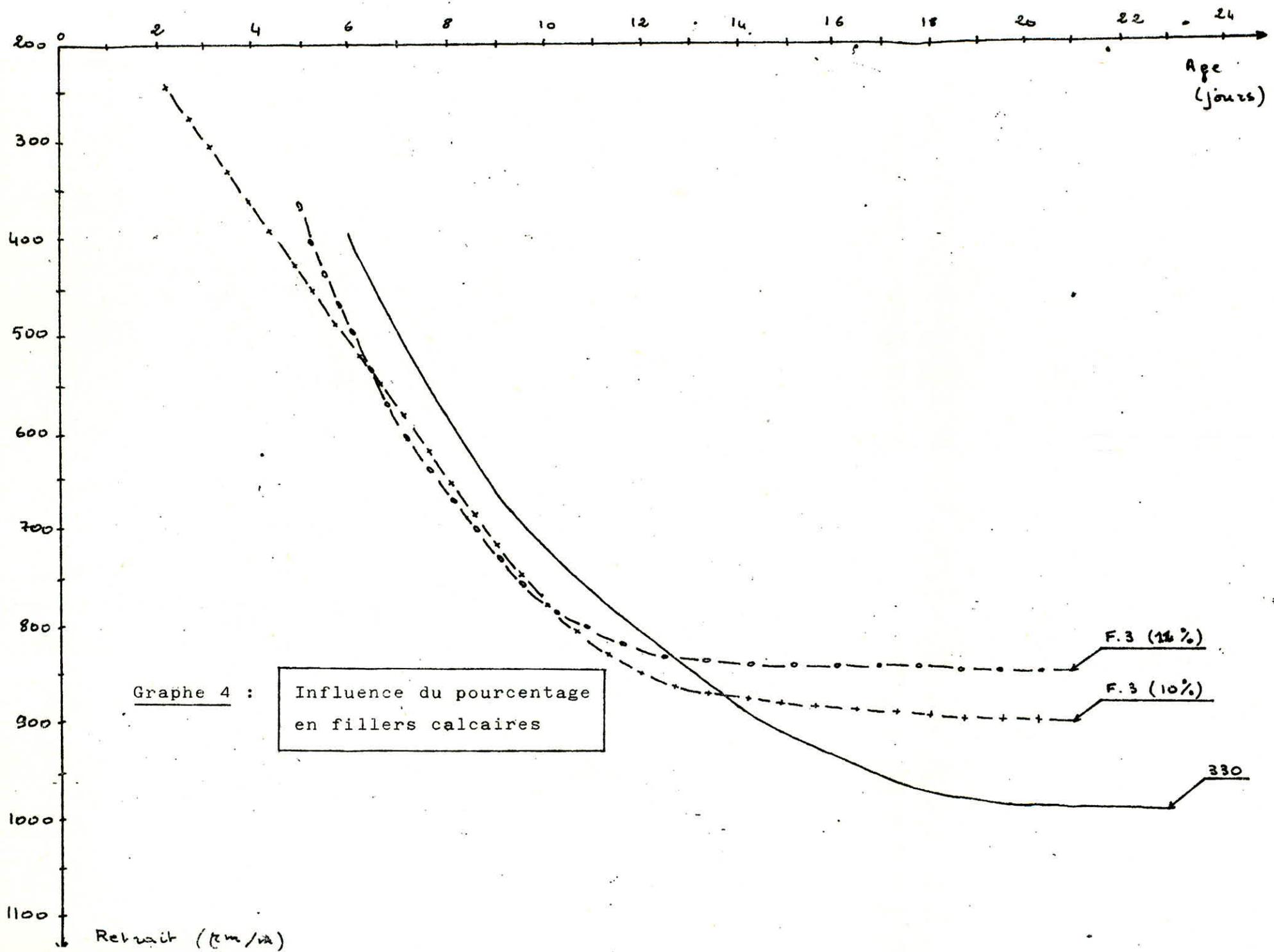
- Dosage à 330Kg de ciment sans ajout ;
- Composition avec la chaux à 8% ;
- Composition avec la chaux à 11%.



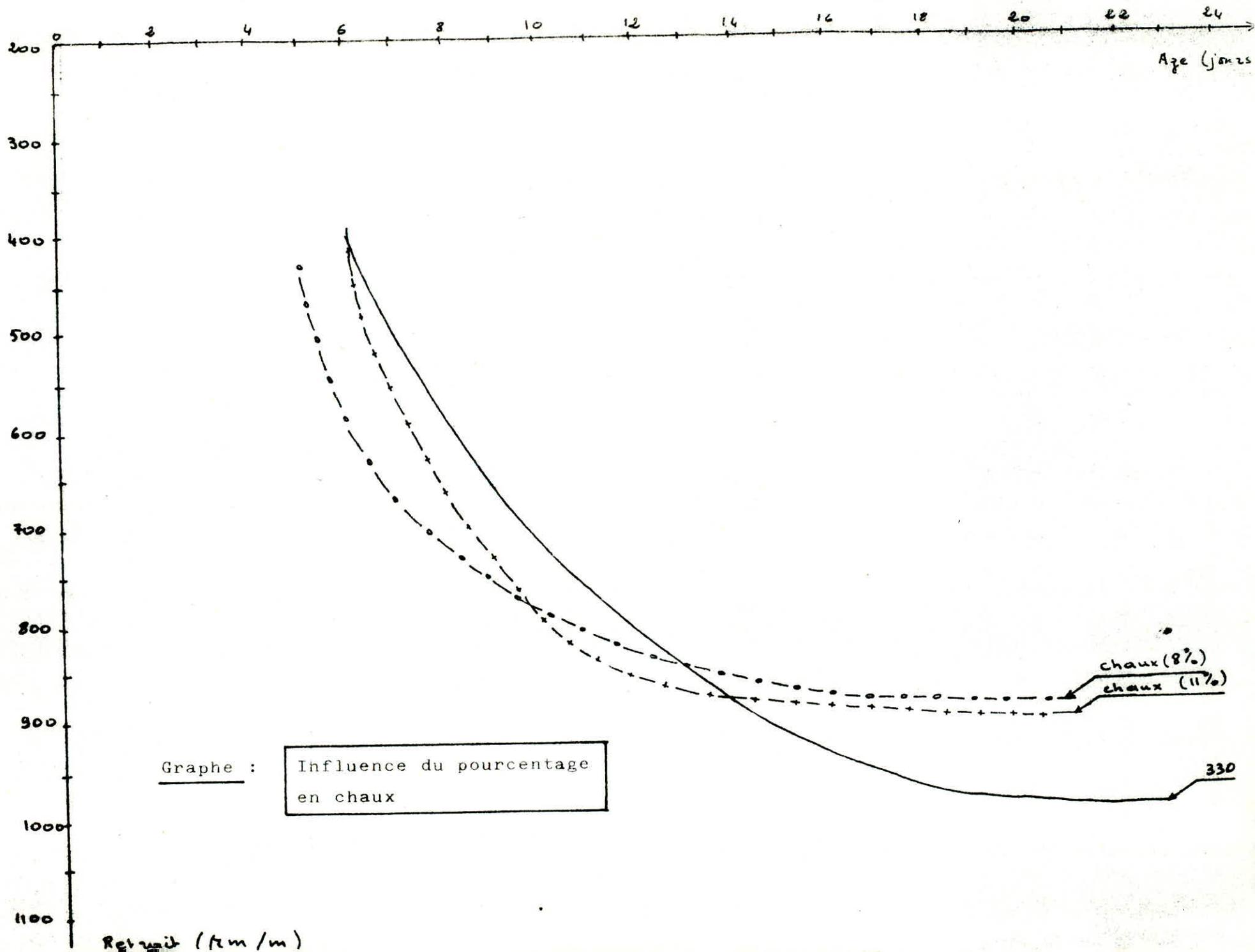




Graph 3 : Influence de la granulométrie des fillers calcaires



Graphe 4 : Influence du pourcentage en fillers calcaires



Graphé :

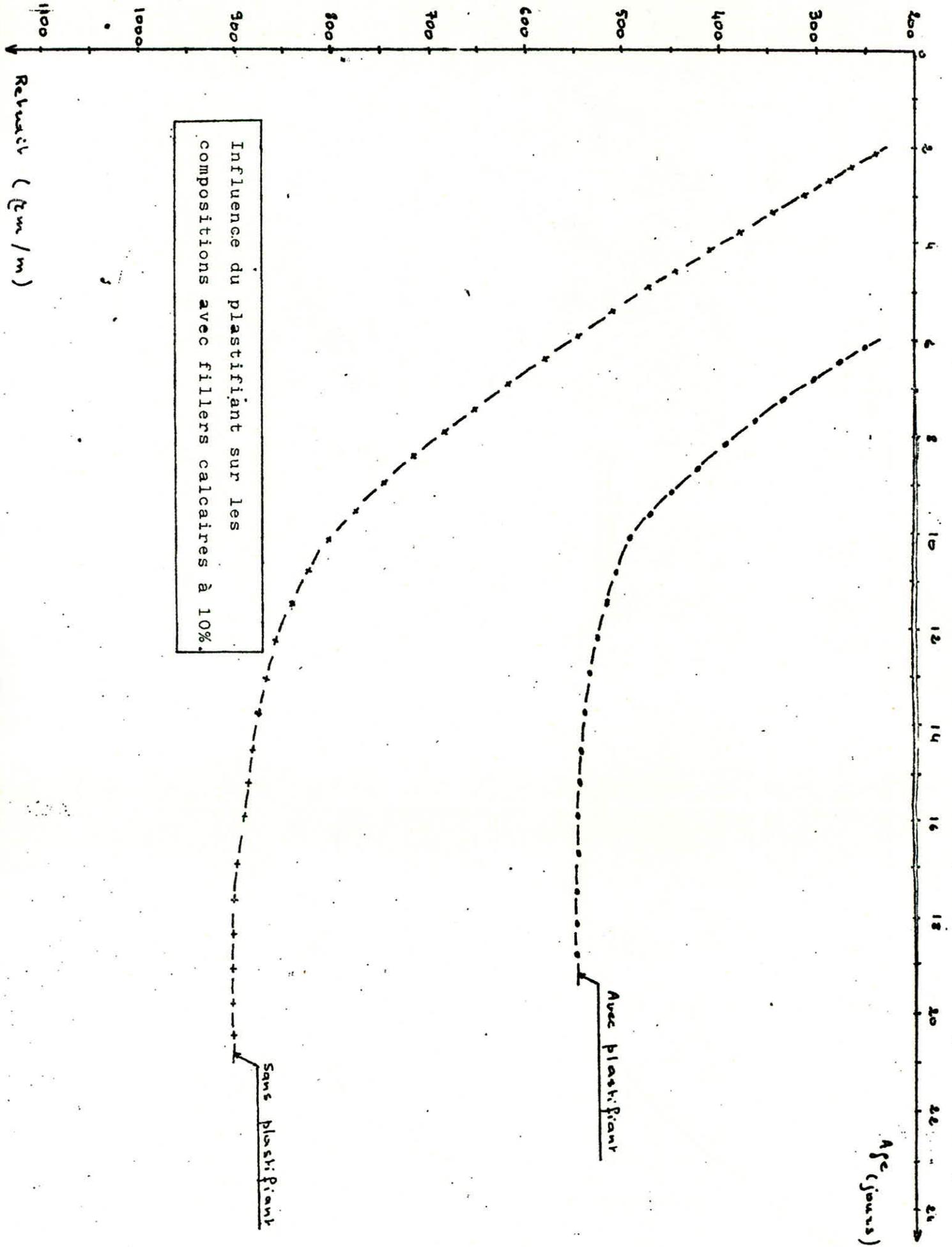
Influence du pourcentage  
en chaux

Retrait (cm/m)

Age (jours)

chaux (8%)  
chaux (11%)

330



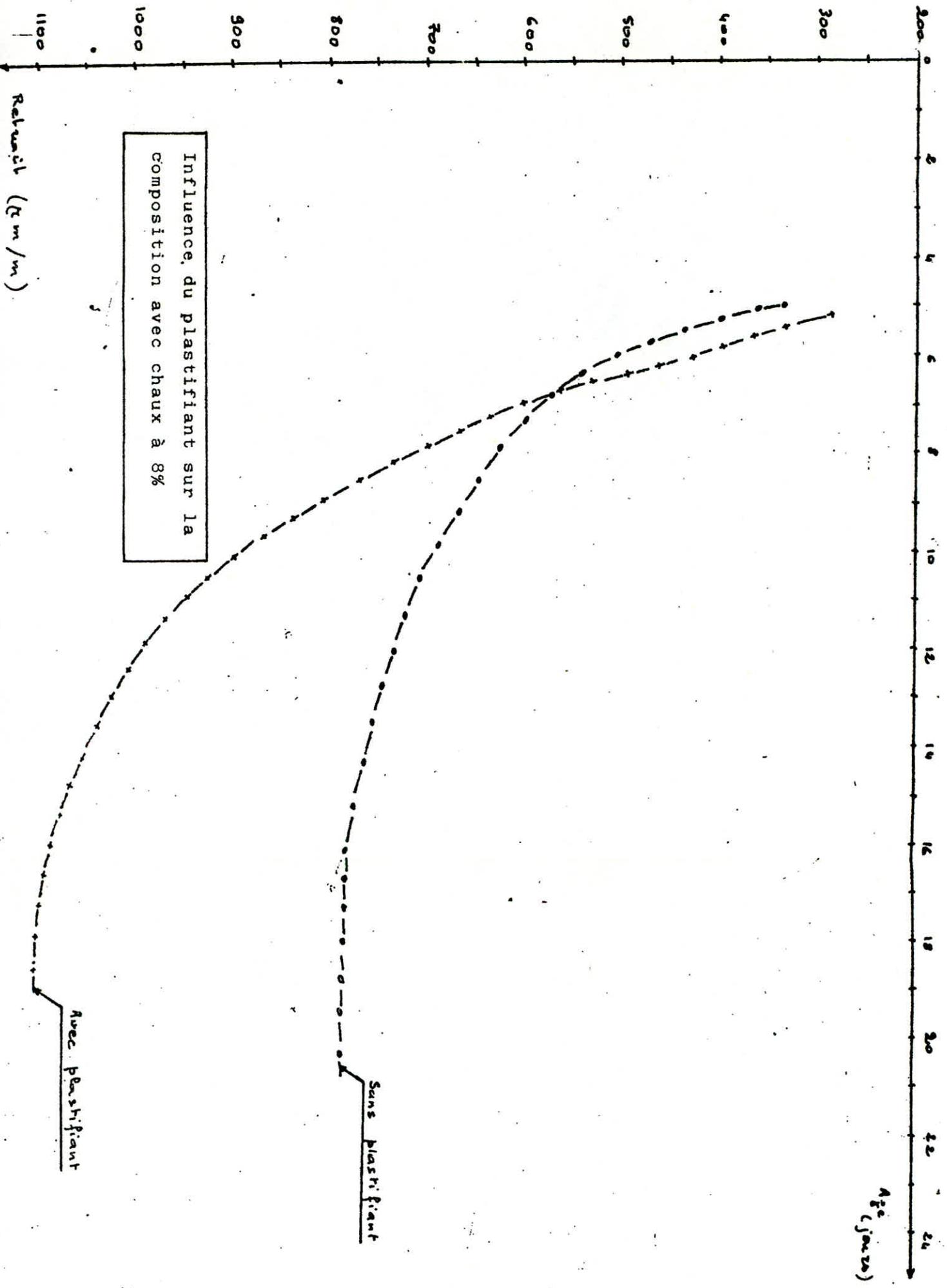
Influence du plastifiant sur les compositions avec fillers calcaires à 10%.

Retrait ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )

Age (jours)

Avec plastifiant

Sans plastifiant



Retrait (cm/m)

Age (jours)

Influence, du plastifiant sur la composition avec chaux à 8%

Avec plastifiant

Sans plastifiant

Le retrait diminue avec la diminution du pourcentage en chaux.

Nota :

Le retrait est mesuré à l'aide de comparateurs gradués au centième de mm. La pièce où sont installées les éprouvettes 4 x 4 x 16cm ne réunit pas les conditions exigées pour un laboratoire, c'est à dire une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  et une humidité de 50%, mais un enregistreur de température et d'humidité a été installé afin d'enregistrer les deux grandeurs précédentes dans la pièce sur une feuille (voir modèle ci-après), renouvelable chaque semaine après étalonnage de l'appareil.

Un calcul rapide montre que la température moyenne au fil des semaines est de  $17^{\circ}\text{C}$  et le degré d'humidité est de 60%.

On notera aussi que le retrait est très faible les deux premiers jours ce qui nous semble inexplicable.



(7-) N N E X E . 3 .

Nous avons comparé les différentes valeurs obtenues pour les résistances en compression et ceci suivant les critères énoncés en annexe 1.

- Influence de la nature des fillers :

Nous avons rassemblé les différentes valeurs dans un tableau :

Fillers Résistances daN/cm <sup>2</sup>	330	Fillers calcaire F.3 10%	Siliceux 10%	Chaux 8%
à 7j	59	64	55	78
à 28j	94	-	89	-

On constate que l'ajout de fillers calcaires et de chaux améliore les résistances en compression, ceci est peut être dû à l'affinité entre calcaire et cristaux d'hydrates de ciment.

- Influence de la granulométrie des fillers calcaire :

De même que précédemment nous avons rassemblé les résultats dans un tableau :

./.

Filler Résistan- ces daN/cm <sup>2</sup>	Filler 1	Filler 2	Filler 3
à 7j	49	64	64
à 28j	77	84	-

Nous remarquons que plus le filler est fin plus la résistance en compression est meilleure. Nous expliquons ceci par le fait que plus le filler est fin mieux il remplit les vides et plus le béton est compact et par là même plus résistant.

- Influence du pourcentage en fillers :

- Graphe 1 : Influence du pourcentage en fillers calcaires.
- Graphe 2 : Influence du pourcentage en chaux .

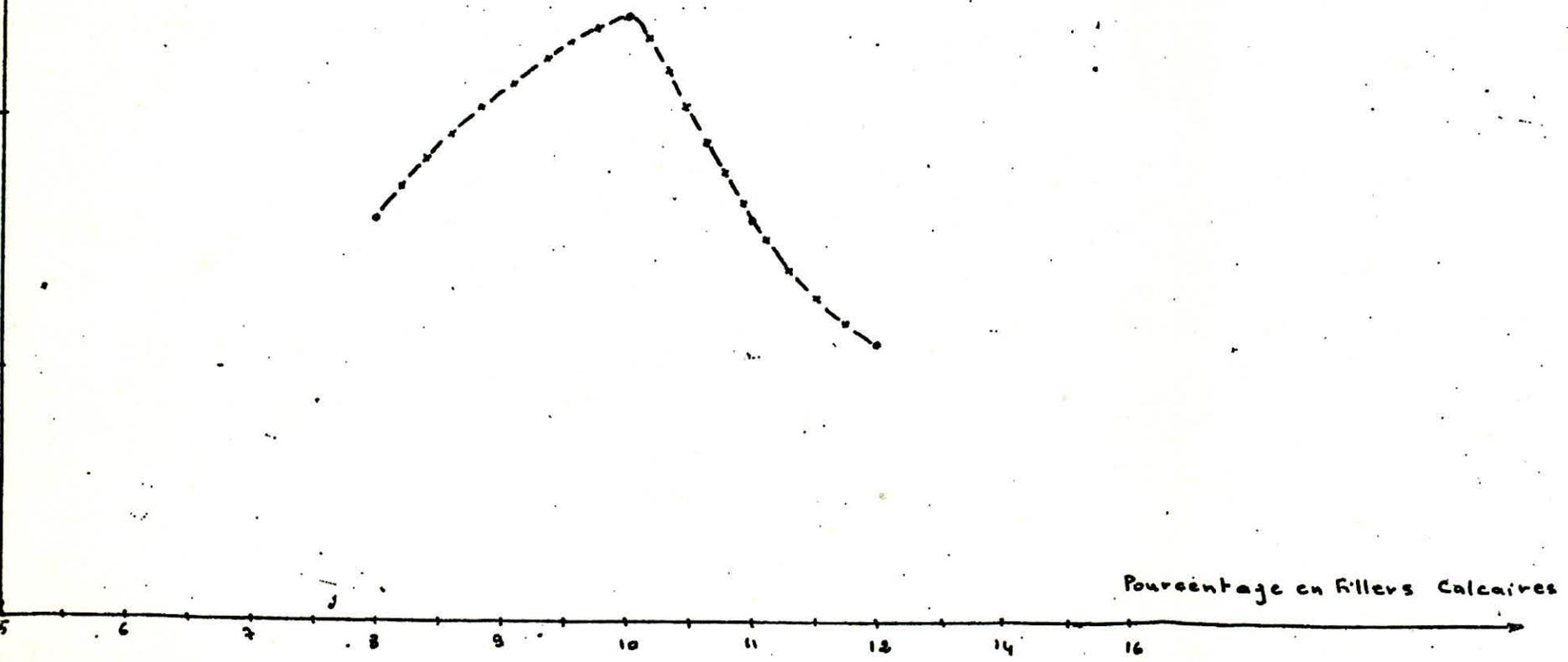
Nous constatons que suivant la nature du filler le pourcentage optimal est différent, ainsi pour les fillers calcaires il est de 10% et pour la chaux comme filler de 8%.

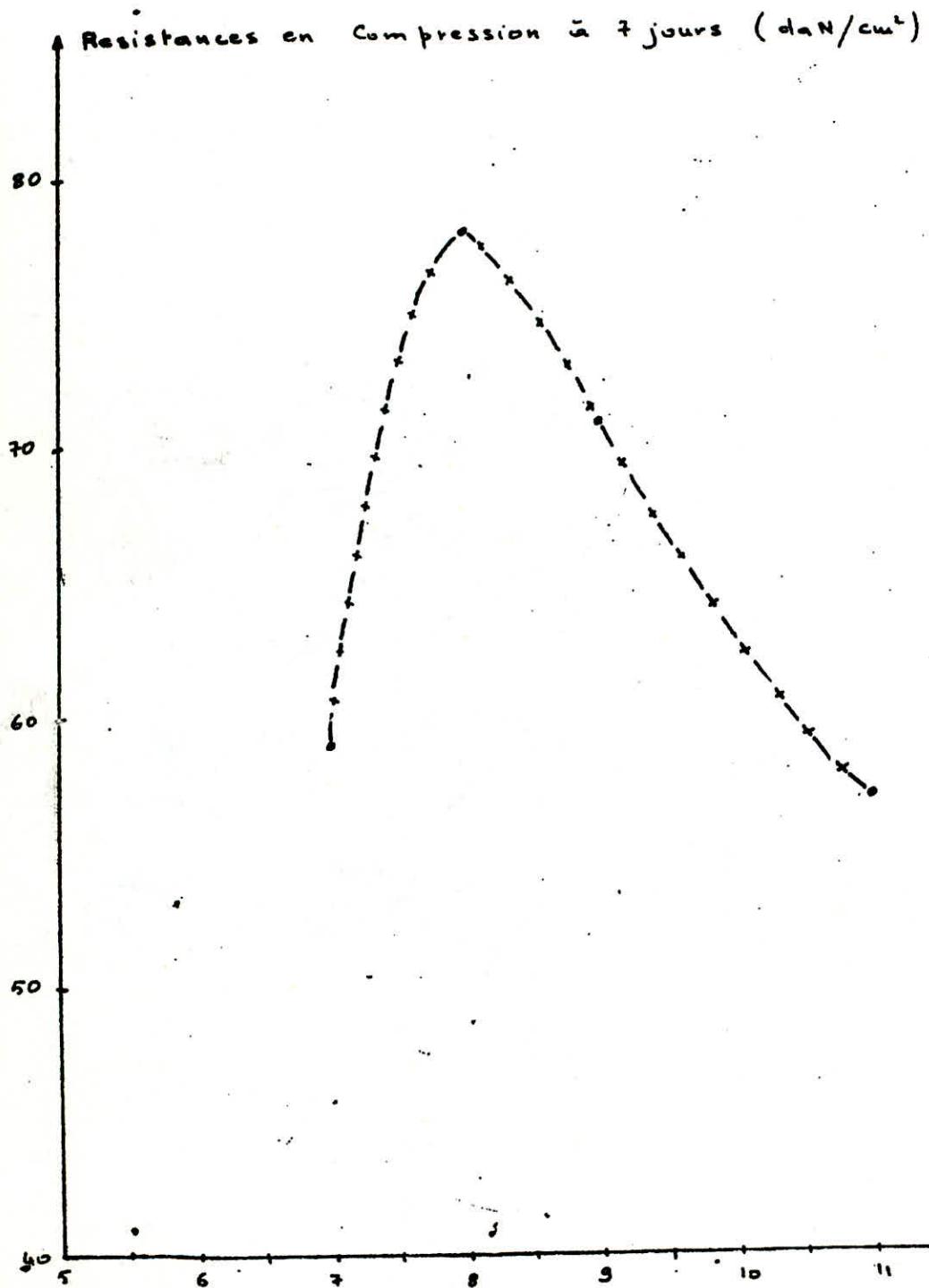
Remarque :

Pour que la comparaison soit plus concluante il faut que le dosage en eau soit constant, car la quantité d'eau ajoutée a une influence non négligeable sur les résistances mécaniques.

Resistances en Compression à 7 jours ( $\text{daN/cm}^2$ )

Graphe 1 : Influence du pourcentage en fillers calcaires sur les résistances en compression





Graphe 2 : Influence du pourcentage en chaux sur les résistances en compression

## (7-) N N E X E . 4 .

### . Généralités :

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 diamètre des grains et 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 ;
- Des éprouvettes de 2 litres de contenance ;
- Un défloculant : hexamétaphosphate de sodium ;
- Un agitateur manuel pour l'omogénéisation de la suspension avant essai ;
- Un thermomètre ;
- Un chronomètre.

### . Préparation de l'échantillon :

Mettre à imbiber 20,20g 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.

On notera après chaque lecture la température.

. Corrections, calculs et présentation des résultats :

On calcul les lectures corrigées R, tenant compte de la température.

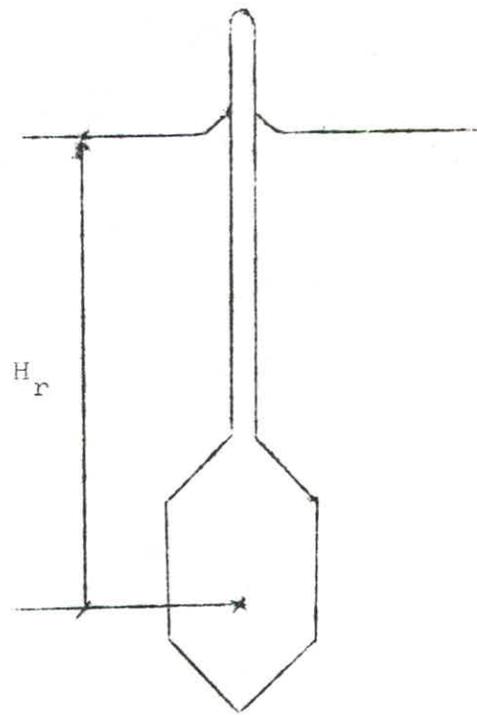
A l'instant t, à la profondeur  $H_r$  à laquelle est faite la mesure de densité, il n'y a plus de particules de diamètre supérieur à D, car leur sédimentation est plus rapide. D'autre part, au même instant t, la concentration de la suspension en particules de diamètre inférieurs ou égaux à D à la profondeur  $H_r$  est la même qu'à l'instant initial.

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

$$p = 0,916 \times R_1$$

./.

où :  $R_1$  : lecture corrigée.



Densimètre

C.N.E.R.I.B.

- (//) ANALYSE / EDIMENTOMETRIE -

DOSSIER : béton de sable

DATE : 11.06.85

ECHANTILLON : carrière Jobert

OPERATEUR :

$$R_i = R C_c + C_m - O_d$$

$$P = \frac{V}{wv} \frac{S}{s-1} \frac{R_i}{10}$$

$$H_r = H_o - G (R=Em)$$

Défloculant 9R 00

$$P = F V \frac{HR}{HR}$$

P = % à 100

Temps de lecture	Lecture	TP	Facteur F	Prof.Effective Hr	en	Lecture corrigée R <sub>1</sub>	% GRAINE % Ech. P.D.P.
15"	15	23	0,580		0,080	15,58	17
30"	14	23	0,580		0,056	14,580	13,31
1'	13.5	23	0,580		0,040	13,54	12,40
2'	12.5	23	0,580		0,028	13,08	11,98
5'	11	23	0,580		0,018	11,58	10,60
10'	9	23	0,580		0,013	9,580	8,77
20'	7.5	23	0,580		0,009	8,08	7,40
40'	6.5	23	0,580		0,006	7,08	6,48
80'	6	23	0,580		0,004	6,58	6,02
4h	5	24,5	1,140		0,0026	6,14	5,62
24h	4	24	0,790		0,001	4,79	4,38

