

2 oc

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Genie Civil*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

BETON DE SABLE
DE CONCASSAGE
(CARRIERE JOBERT)

Proposé par :

C.M.E.R.I.B

Etudié par :

BATATA .A
NAFA .A

Dirigé par :

CHARIF .A

PROMOTION : Juin 89



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Genie Civil*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*BETON DE SABLE
DE CONCASSAGE*

(CARRIERE JOBERT)

Proposé par :

C.MERIB

Etudié par :

BATATA .A

NAFA .A

Dirigé par :

CHARIF .A

PROMOTION : *Juin 89*



IN THE NAME OF GOD, MOST GRACIOUS, MOST MERCIFUL

A mon père , A ma mère

A mes frères

A mes amis (es)

A/HAKIM

A mes parents

A tous ceux que

J'estime et que

J'adore .

KARIM

REMERCIEMENTS

Nous remercions , Monsieur A.CHARIF , notre promoteur pour la confiance qu'il a placé en nous et son aide particuliere .

Nous exprimons nos remerciements les plus sincères à Monsieur R. OUMAZIZ , Ingenieur au C.N.E.R.I.B qui n'a managé aucun de ses efforts pour nous aider a mener à bien notre travail .

Nous remercions tout particulièrement Monsieur R. MOUACI , Responsable du Laboratoire Matériaux , dont l'aide constante et les judicieux conseils nous ont été très précieux .

Nous remercions également Hassina pour le soin apporté à la mise en forme de cet ouvrage .

Nous ne saurons terminer sans remercier tout le personnel du C.N.E.R.I.B et tout particulièrement l'équipe de La D.T pour leur sourire et leur aimabilité .

CHAPITRE UN : GENERALITES

I - 1	Introduction	1
I - 2	Definitions	3
I - 3	Schema d'étude	3
I - 4	Synthese bibliographique	4

CHAPITRE DEUX : ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES MATERIAUX

	Introduction	6
II - 1	Caracterisation des sables	6
II - 1 - 1	Etude granulometrique	6
II - 1 - 2	Classe du sable	15
II - 1 - 3	Module de finesse	15
II - 1 - 4	Masse volumique	16
II - 1 - 5	Compacité et porosité	18
II - 1 - 6	Equivalent sable	19
II - 1 - 7	Sedimentometrie	21
II - 1 - 8	Analyse chimique	23
II - 1 - 9	Analyse mineralogique	24
	- Tableau Recapitulatif	25
	- Commentaire	25
II - 2	Caracteristiques des composants	27
II - 2 - 1	Fines	27
II - 2 - 2	Ciment	33

CHAPITRE TROIS : DETERMINATION DE LA COMPOSITION OPTIMALE

III - 1	Generalités sur les essais	35
III - 1 - 1	Dispositions Communes	35
	a - Malaxage	35
	b - Vibration	36
	c - Conservation des éprouvettes	37
	d - Precaution contre la dessiccation	37
	e - Determination de la masse volumique de l'éprouvette	37
III - 1 - 2	Essai sur beton frais	38
	a - Essai d'ouvrabilité	38
III - 1 - 3	Essai sur beton durci	42
	a - Essai de compression	42
	b - Essai de traction	43
III - 2	Etude des composition de beton de sable	44
III - 2 - 1	Compositions avec sable non lavé	45
III - 2 - 2	Compositions avec sable lavé	49
III - 3	Caracteristiques des propriétés physico-mecaniques	50

CHAPITRE QUATRE : ETUDE DU RETRAIT

IV - 1	Introduction	54
IV - 2	Differents types de retrait	54
IV - 3	Effet du Retrait	57
IV - 4	But de L'essai	58
IV - 4 - 1	But de L'essai	58
IV - 4 - 2	Presentation	58
IV - 4 - 3	Resultats et interpretation	60

CHAPITRE CINQ : ETUDE DE L'EXTENSOMETRIE

V		
V - 1	Definition	65
V - 2	But de L'essai	65
V - 3	Methode de mesure	66
V - 4	Extensometres employes aux Laboratoires	66
V - 5	Materiel utilise lors de L'etude	67
V - 6	Objectif de L'etude	70
V - 7	Interpretation des courbes	72

CHAPITRE SIX : ETUDE DE L'INFLUENCE DE DIVERS PARAMETRES SUR LES CARACTERISTIQUES DU MATERIAU

VI - 1	Maniabilite	80
VI - 2	Resistance	83
VI - 3	Equivalent sable	87
VI - 4	Etude d'un cas de "chargement"	88
VI - 4 - 1	Definition	88
VI - 4 - 2	Caracteristique du gravillon	88
VI - 4 - 3	Effet du chargement	90
VI - 5	Effet de La chaux	96

CHAPITRE SEPT : CONCLUSION

VII - 1	Conclusion	
VII - 2	Perspective d'avenir	98
		99

CHAPITRE UN

GENERALITES

I - 1 INTRODUCTION.

La prise en charge par le CNERIB de travaux de recherches et d'études sur le béton de sable de concassage et de dunes à fort pourcentage de fines inutilisables pour la confection des bétons courants, rentre dans le cadre de l'optimisation et valorisation des matériaux à base de matière première locale ou de sous-produits industriels et autres. L'objectif du projet est d'étudier l'opportunité de confectionner et d'exploiter un matériau à base de liant hydraulique dont le squelette granuleux ne serait constitué que de sable.

Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'un béton tire du granulat une bonne partie de sa résistance et plus particulièrement du gros granulats. D'où la nécessité d'employer des granulats de qualité et de dimensions maximales.

D'autre part, le dosage en ciment devra être d'autant plus élevé que les grains sont plus fins, car la surface spécifique du granulat (surface totale des grains par unité de volume) décroît rapidement en fonction de la grosseur des grains.

Aussi, remplacer la partie gros granulats par du

sable aboutit à augmenter le pourcentage des vides entre les granulats vides qui seront à remplir puisque la compacité d'un mélange dépend des performances. En général, les vides intergranulaires sont remplis par le liant ce qui explique le fort dosage en ciment de celui-ci dans les mortiers classiques.

On ne pourrait pour un béton remplir tous les vides par le ciment, les raisons du coût économique que cela représenterait d'une part mais également à cause des variations dimensionnelles du béton qui en résulteraient.

À notre avis trois (03) solutions sont possibles pour remédier à ce problème :

- Augmenter la compacité naturelle du sable, c'est-à-dire combler une partie des vides par l'utilisation d'un filler.
- Créer une granulométrie aussi continue que possible entre zéro et la dimension du plus gros grain de sable connue pour les micro-bétons.
- Réaliser un compactage qui diminuerait le pourcentage des vides.

Dans le cadre de notre projet, un premier travail d'investigation de la première solution a été envisagé.

I - 2 DEFINITIONS

La notion de "Béton de sable" doit être définie et être différenciée s'il y a lieu, de celle des "bétons" au sens traditionnel du terme et des "mortiers"

Les définitions proposées des termes "Mortier" et "béton" sont:

- Mortier : "Agglomérat artificiel de grains de sable réunis par un liant (chaux ou ciment), utilisé pour lier des éléments d'une construction ou pour faire des enduits".
- Béton : "Agglomérat artificiel de cailloux, de graviers et de sable réunis entre eux au moyen d'un liant hydraulique".

Ainsi, ce qui distingue le béton de sable des bétons traditionnels réside essentiellement en leur moindre dosage en gravillon, tandis que ce qui les distingue des mortiers traditionnels réside en leur moindre dosage en liant et surtout en leur destination, de même nature que celle des bétons traditionnels peu sollicités.

I - 3 SCHEMA D'ETUDE.

Les études menées sur le béton de sable de concassage étant à un stade d'investigation un plan d'étude

axé sur la caractérisation du matériau a été mis en place :

- Caractéristique physico-chimique et mécanique des composants du béton de sable.
- Etude de composition du béton de sable.

Caractéristiques mesurées

- Maniabilité.
- Masse volumétrique.
- Résistance en compression et traction.

Recherche de la composition optimale

- Composition avec sable non lavé.
 - Composition avec sable lavé.
- Etude de l'influence de divers paramètres sur les caractéristiques du matériau.
 - Etude extensométrique.
 - Etude du retrait.
 - Examen des perspectives d'avenir.

I - 4 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Une recherche bibliographique pour examiner les diverses expériences et études qui ont été faites dans le domaine a été effectuée, et ceci afin de dégager si possible des informations pour la mise au point du

matériau et connaître les performances obtenus avec des matériaux du même type (Béton de sable de dunes, de rivières.....).

Les documents relatifs au béton de sable sont en très petit nombre surtout vis à vis de l'option choisie (confection d'un béton structural à base de sable de concassage).

Il semble que peu de pays se soient intéressés à ce sujet. Les études existantes (en Suède, Espagne...) concernent généralement les possibilités d'utilisation de ce type de sable pour les bétons traditionnels et ce, selon la nature de la roche mère (gneiss, calcaire dur, mi-dur, tendre,.....).

Quant au sable de dune et de rivière, des études ont été faites dans certains pays particulièrement en ALGERIE, FRANCE, URSS.

Les objectifs de ces travaux étant la mise au point d'un matériau hydraulique à base de sable aux performances mécaniques modestes, mais aux caractéristiques rhéologiques bien adaptées à une grande facilité de mise en œuvre sans vibrations et au retrait limité.

CHAPITRE DEUX

ETUDE PHYSICO - CHIMIQUE

DU MATERIAU

INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques physico-chimiques de nos matériaux.

Les caractéristiques du béton sont intimement liées avec celle des matériaux qui le composent. C'est pour cela qu'il est indispensable de déterminer les caractéristiques de ces composants.

III - 1 CARACTERISATION DES SABLES

L'étude des caractéristiques a été faite aussi bien pour le sable non lavé (S.N.L) que pour le sable lavé (S.L).

Le lavage du sable a été fait comme suit :

- Tamisage du sable (étuvé) à l'aide du tamis de maille 0.08.

Le refus de ce dernier est lavé énergiquement à l'eau et cela jusqu'à ce que l'eau traversant le tamis (de maille 0.08) en ressort claire.

III - 1 - 1 ETUDE GRANULOMETRIQUE

A - ANALYSE GRANULOMETRIQUE A SEC

Cette étude a été faite conformément à la norme (NFP - 18 304).

a - Definition .

La granulometrie est la science ayant pour objet la mesure des dimensions et la determination de la forme de grains

b - Methode .

La granulometrie fait appel au tamisage a travers une serie de tamis d'ouvertures de mailles decroissantes et a la pesée du refus pour chaque tamis.

c - Resultats .

Les resultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant:

1 - Sable non Lave (SNL). Poids de l'échantillon 2000gr

Dimensions Tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulés (g)	Refus Cumulé %	Tamisé en %
3.15	9.16	9.16	0.458	99.542
2.5	21.82	30.98	1.549	98.451
2.	108	138.98	6.949	93.051
1.6	249.86	388.84	19.449	80.551
1.25	220.54	609.38	30.469	69.53
1.00	96.46	705.84	35.292	64.708
0.80	117.64	823.48	41.174	58.826
0.63	145	968.48	48.424	51.576
0.5	90.12	1058.6	52.93	47.07
0.4	114.16	1172.76	58.638	41.362
0.315	96.66	1269.42	63.471	36.529
0.25	75	1344.42	67.221	32.779
0.21	37.46	1381.88	69.094	30.906
0.16	69.5	1451.38	72.569	27.431
0.125	94.08	1545.46	77.273	22.727
0.1	38.68	1584.14	79.207	20.793
0.08	78.14	1662.54	83.127	16.873
Fond	336	1998.54	99.927	0.073

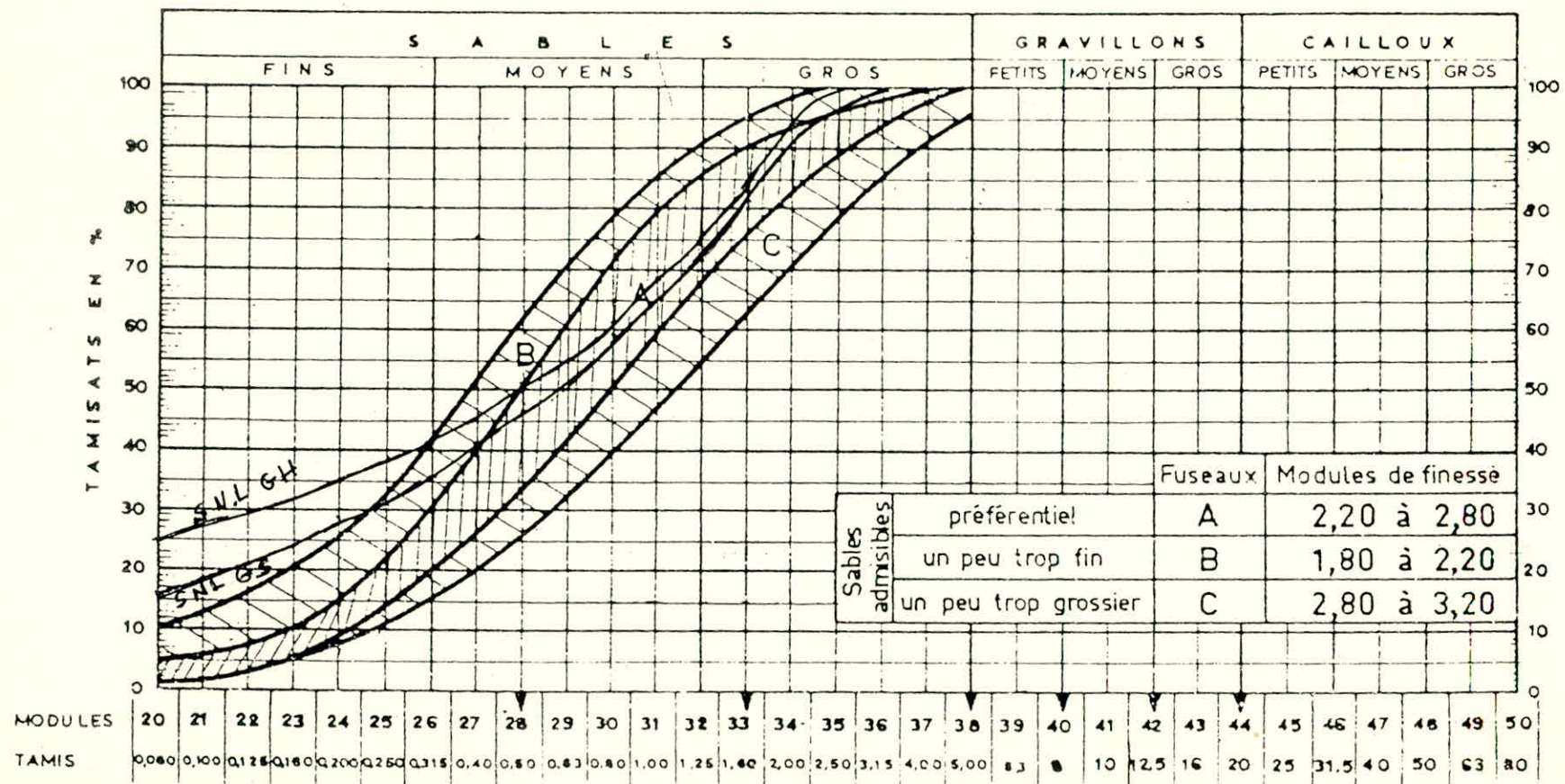


Fig. 8. — Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton.

2 - Sable lave (S.L) poids de l'échantillon 2000gr

Dimensions Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus Cumulés	Refus Cumulés %	Tamisé Cumulé %
3.15	17.46	17.46	0.873	99.127
2.5	23.44	40.90	2.045	97.955
2.	157.46	198.36	9.918	90.082
1.6	324.50	522.86	26.143	73.856
1.25	248.56	771.42	38.571	61.429
1.00	196.30	967.72	48.386	51.614
0.80	147.32	1115.04	55.752	44.248
0.63	182.56	1297.6	64.88	35.12
0.50	120.56	1418.26	70.913	29.807
0.40	99.10	1517.36	75.868	24.132
0.3/5	120.14	1637.50	81.875	18.125
0.25	73.30	1710.80	85.54	14.46
0.20	51.16	1761.96	88.098	11.902
0.16	60.64	1822.6	91.13	8.87
0.125	70.72	1893.32	94.666	5.334
0.10	52.58	1945.9	97.295	2.705
0.08	37.22	1983.12	99.156	0.844
Fond	11.70	1994.82	99.741	0.259

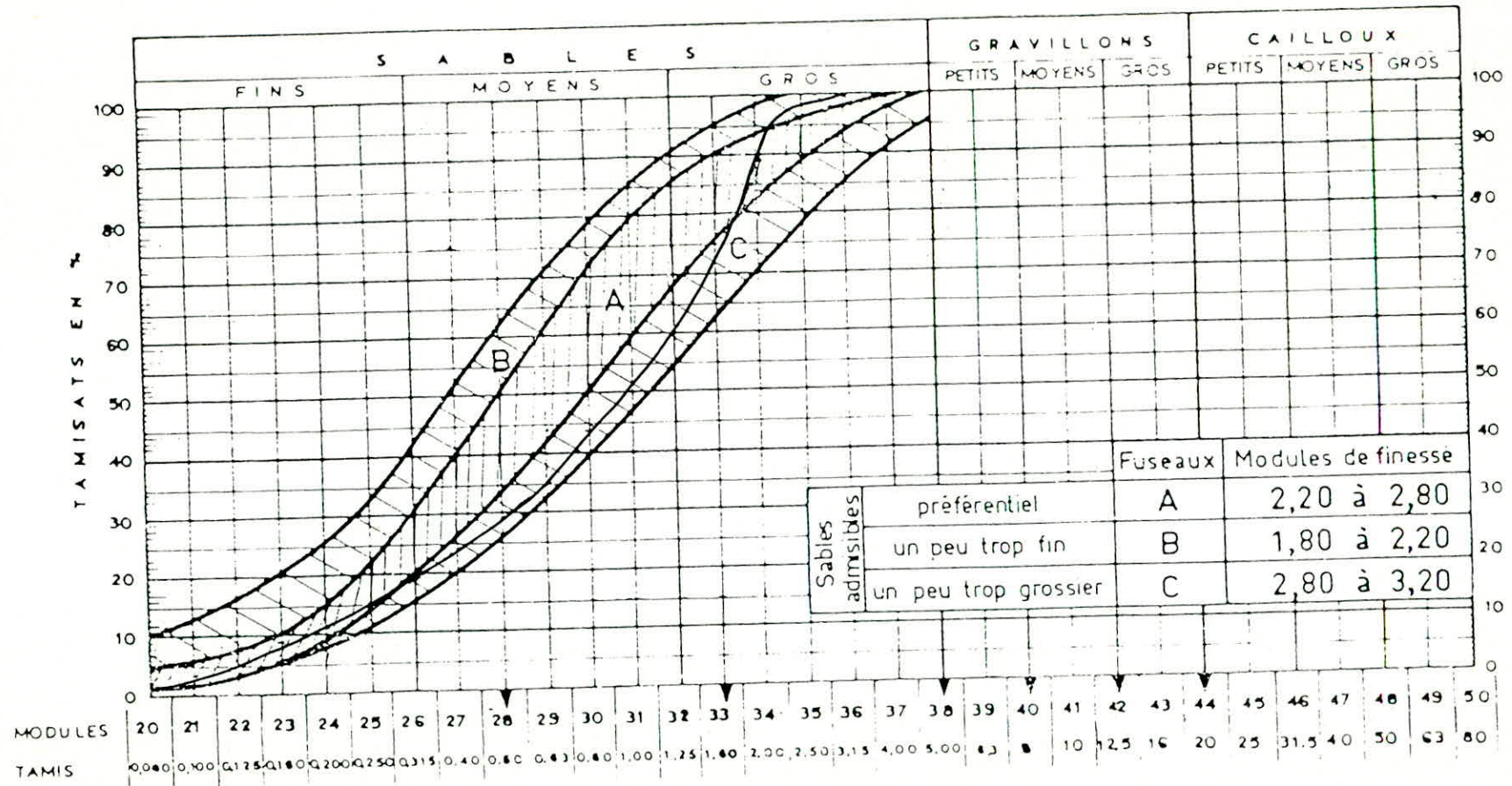


Fig. 8. Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton.

Dans notre cas le sable non lavé contient beaucoup d'éléments fins de moins de 80μ . Le tamisage à sec nous permet difficilement d'apprécier le diamètre des grains ainsi que leur proportion :

- Obstruction des mailles
- Poussieres

B . Analyse Granulométrique humide.

Elle est réalisée de la façon suivante :

On pèse une certaine quantité de sable (2000gr), on fait passer ce sable par le tamis de maille de 0.08 tout en lavant, on élimine ainsi les fins. Ces dernières sont recueillies dans un bac. Le lavage est terminé lorsque l'eau passant à travers le tamis en ressort claire.

On laisse decanter les fins dans le bac, le syphoner, puis le porter à l'étuve. Le refus du tamis 0.08 sera mis lui aussi dans l'étuve pour séchage à une température de 30°C pendant 24 h.

Pour le refus du tamis 0.08, l'analyse granulométrique sera faite comme précédemment; tandis que pour les fines contenues dans le bac, elles seront pesées. Ce qui nous donnera le réel pourcentage des fines dans notre sable.

Poids de l'échantillon (2000gr)

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulés (g)	Refus Cumulés %	Tamisat %
3.15	7.42	7.42	0.371	99.629
2.50	19.24	26.66	1.333	98.667
2.	92.82	119.48	5.974	94.026
1.6	228.36	347.84	17.392	82.608
1.25	210.48	558.32	27.916	72.084
1.00	89.12	647.44	32.372	67.628
0.80	108.92	756.36	37.818	62.182
0.63	125.88	882.24	44.112	55.888
0.50	79.36	961.6	48.08	51.92
0.40	105.24	1066.84	53.342	46.658
0.315	85.46	1152.3	57.615	42.385
0.25	69.18	1221.48	61.074	38.926
0.20	29.42	1250.9	62.545	37.455
0.16	60.70	1311.6	65.58	34.42
0.125	87.32	1398.92	69.946	30.054
0.1	28.48	1427.4	71.37	28.63
0.08	72.82	1500.22	75.011	24.989
Fond	497.56	1997.58	99.879	0.121

II - 1 - 2 CLASSE DES SABLES

Nos sables satisfont aux conditions suivantes :

— Refus sur le tamis de maille 1.56 $D=0$

Refus sur le tamis de maille D est compris entre 1 et 15% .

Donc selon la norme (NFP 18.304) ils sont de classe 0/2,5 .

II - 1 - 3 MODULE DE FINESSE

Le module de finesse est appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante .

Il est égal au centième ($1/100$) de la somme des refus exprimés en % sur le tamis de la série suivante :

0.16 — 0.315 — 0.630 — 1.25 — 2.5 — 5 — 10 — 20 —
40 — 80 mm .

Sable	Analyse Granulométrique	M f
S.N.L	Humide	1.965
S.N.L	Sèche	2.165
S.L	Sèche	2.785

II - 1 - 4 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE

A - Masse volumique apparente.

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume en vrac ; c'est le volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

Mode opératoire :

On remplit une mesure de 1000 cm³ et on détermine la masse. Le remplissage se fait à l'aide d'un entonnoir disposé à une hauteur constante de la mesure, afin d'éviter tout tassement éventuel.

La masse volumique apparente est donnée par :

$$d = M/V$$

M = poids du granulat contenu dans le récipient

V = Volume du Récipient.

Les résultats des essais sont les suivants :

Sable	Volume cm ³	Masse du Sable (g)	Masse volumique (g/cm ³)	Masse volumique moyenne
S-N-L	1000	1.546	1.546	1.540
	1000	1.540	1.54	
	1000	1.534	1.534	
S-L	1000	1.300	1.300	1.300
	1000	1.305	1.305	
	1000	1.295	1.295	

B - Masse Volumique absolue.

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains (volume absolu).

Mode opératoire :

Méthode de l'éprouvette graduée

Mettre dans une éprouvette graduée (500 cm³) un volume V₁ d'eau.

Peser une masse M₁ de sable (300 gr) et l'introduire dans l'éprouvette avec précaution et lentement.

Lire le nouveau volume V₂

Le volume absolue (V₂ - V₁)

La masse spécifique est donnée par

$$\gamma_{abs} = \frac{P}{V_2 - V_1}$$

Sable	V ₁ (cm ³)	V ₂ (cm)	V ₂ - V ₁ (cm ³)	P (g)	γ_{abs} (gr/cm ³)	γ_{abs} Moy (kg/m ³)
S.N.L	300	420	120	300	2.5	2500
	300	420	120	300	2.5	
	300	420	120	300	2.5	
S.L	300	410	110	300	2.73	2730
	300	410	110	300	2.73	
	300	410	110	300	2.73	

II_1.5 COMPACITE ET POROSITE

A - Compacité

La compacité est le rapport du volume plein du matériau sur le volume apparent.

Mode Opératoire.

On pèse une certaine quantité de sable sec (300gr) que l'on verse sans tasser dans une éprouvette graduée et on lit le niveau V .

Ce niveau V représente le volume apparent du matériau.

Dans une deuxième éprouvette contenant un volume V' d'eau, on reverse le sable de la première éprouvette, soit V_1 le volume atteint par l'eau.

Le volume des vides est égal à : $V + V' - V_1$.

La compacité sera donc :

$$c = \frac{V_1 - V'}{V}$$

B - Porosité

La porosité est par définition le complément à l'unité de la compacité

$$P = \frac{S}{V} = 1 - C$$

Le tableau suivant regroupe les résultats de cet essai :

Sable	Masse gr	$V' \text{ cm}^3$	$V \text{ cm}^3$	$V_1 \text{ cm}^3$	$V_1 - V' \text{ cm}^3$	Compacité %	Porosité %
S.N.L	300	300	200	420	120	60	40
	300	300	200	420	120	60	40
	300	300	200	420	120	60	40
S.L	300	300	235	410	110	46.8	53.2
	300	300	235	410	110	46.8	53.2
	300	300	240	410	115	47.9	52.1

d'où on a pour :

le S.N.L $c = 60\%$ $D = 40\%$

le S.L $c = 47.16\%$ $D = 52.84\%$

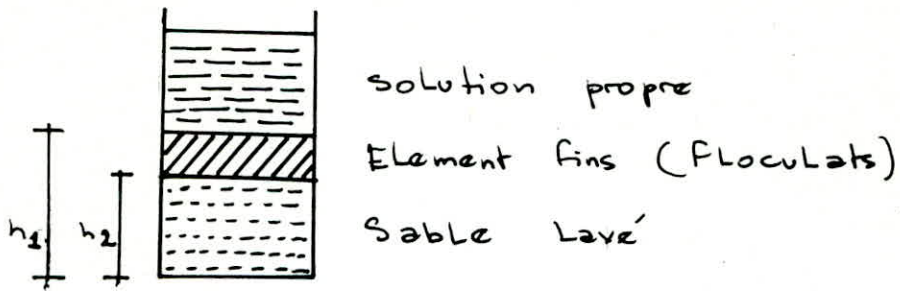
II - 1 - 6 EQUIVALENT SABLE.

Le but de cet essai est de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses, limoneuses ou ultra fines contenu dans le sable. L'essai a été fait conformément à la norme (NF 2 18-598).

Le principe consiste à opérer sur un échantillon de sable au lavage énergique de manière à le séparer de ses matières ultra-fines, que l'on fait flocculer. On mesure :

La hauteur h_1 : Sable propre + éléments fines

La hauteur h_2 : Sable propre seulement.



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

La valeur du sable est donné sous la forme :

$$ES_v = 100 \cdot h_2 / h_1$$

$$ES_p = 100 \cdot h'_2 / h_1$$

Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

Sable	Essais	h_1	h_2	h'_2	ES_v (%)	ES_p (%)
S.N.L	(1)	11.6	6.7	6.5	57.76	56.03
	(2)	11.8	7	6.5	59.32	55.08
	(3)	11.3	6.7	6.4	59.29	56.64
S.L	(1)	10.4	10.1	9.7	97.11	93.27
	(2)	10.1	9.9	9.5	98.02	94.06
	(3)	10.4	10.2	9.6	98.08	92.30

Donc en moyen, l'équivalent sable est égal à :

pour le S.N.L : $E_{SV} = 58.75\%$

$$E_{SP} = 55.92\%$$

pour le S.L : $E_{SV} = 97.74\%$

$$E_{SP} = 93.21\%$$

II - 1 - 7 SEDIMENTOMETRIE

Generalités : La sédimentrie est un essai qui complète l'analyse granulométrique. Elle s'applique aux éléments de diamètre inférieur à 0.1 mm

Les grains de diamètre différent se sédimentent dans un milieu liquide au repos à vitesse différente.

La relation entre diamètre des grains, vitesse de sédimentation est donnée par la loi de Stokes

$$V = \gamma \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \gamma} D^2$$

V = Vitesse de chute de la particule (cm/s)

D = Diamètre de la particule (cm)

γ_s = Poids spécifique de la particule (g/cm^3)

γ_w = Poids spécifique du liquide (g/cm^3)

γ = Viscosité du liquide

Execution de l'essai

Mettre à imbibier 20.20 g de matériau sec dans une éprouvette avec la moitié de la contenance de l'éprouvette en défloculant et bien agiter.

Reposer 24 heures le densimètre, on ajoute rigoureusement 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.

A des temps réguliers, on lit sur le densimètre, sans oublier de prendre la température.

N.B : Des corrections de lecture doivent être faites pour éliminer les erreurs de :

- variation de température
- lecture du ménisque
- au défloculant.

Mais on ne prendra en considération que de correction dû à la variation de température.

Les résultats obtenus sont formulés sous forme de tableau.

Temps lecture	Lecture	Tp	Facteur F	D	Lecture corrigée	% graine inférieur à D
5"	10	16.5	0.57	0.08	9.43	25
30"	10	16.5	0.57	0.056	9.43	25
1'	9	16.5	0.57	0.040	8.43	22.3
2'	8	16.5	0.57	0.028	7.43	19.69
5'	7	16.5	0.57	0.018	6.43	17.04
10'	5	16	0.64	0.013	4.36	11.55
20'	4	16.5	0.57	0.009	3.43	9.01
40'	4	16.5	0.57	0.006	3.43	9.01
80'	3	17	0.50	0.004	2.5	6.63
4h	2	18	0.35	0.0026	1.65	4.37
24h	1	15	0.78	0.001	0.22	0.58

II - 1 - 8 ANALYSE CHIMIQUE

L'analyse chimique de notre sable a donné les résultats suivants :

Composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P.F
%	6.61	2.05	0.84	47.66	1.08	1.33	0.38	0.23	39.39

II_1_9 ANALYSE MINÉRALOGIQUE

L'analyse minéralogique de notre sable a donné les résultats suivants

Composants	%
CALCITE CaCO_3	85-86
QUARTZ	4-5
MUSCOVITE	5-6
FELDSPATHS	1-2
Autres $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1-2

L'analyse de notre sable par diffraction Rx a montré que c'est un sable calcaire contenant les minéraux suivants :

- Calcite forte prédominance et les autres de moindre teneur, quartz, feldspath, Muscovite / illite et probablement $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

C

Calcite: C

MgSO₄ · 2H₂O?

Feldspars

Quartz: Q

45-a-1

20

C

Q

Muscovite

LHS 89-13

Muscovite/Alkls

Tableau Récapitulatif.

TYPE DE SABLE	S.N.L	S.L
Granulométrie	continue fines 25%	continue fines 0.84%
Classe de sable	0/2,5	0/2.5
Module de finesse	1.965	2.785
Masse volumétrique apparente (Kg/m^3)	1540	1300
Masse spécifique Kg/m^3	2500	2730
Compacité %	60	47.16
Parasite %	40	52.84
Es _v %	58.79	97.74
Es _p %	55.92	93.21

Commentaires

Granulométrie : On remarque que la courbe granulométrique du sable étudié est étalée et présente une proportion importante en fines choses qui justifient en partie la non-utilisation de ce type de sable pour les bétons courants. Comme on peut noter aussi que les courbes granulométriques ne s'insèrent pas dans le fuseau des

sables courant préconise par M^r DREUX.

Aussi a-t-on trouvé judicieux de procéder à une analyse granulométrique humide afin de mieux préciser la proportion des fins.

- 16% d'éléments inférieur à 80 μ en granulométrie sèche.

- 25% d'éléments inférieur à 80 μ en granulométrie humide.

Ces valeurs nous montrent qu'elles sont supérieures au pourcentage de fines tolérées par les normes (2%) pour l'utilisation courante de ce type de sable.

Module de finesse : Caractéristiques importantes pour les sables courants composés de gros éléments et surtout des sables des dunes (grains homogènes). Le module de finesse dans notre cas, donne une signification imprécise de la finesse du sable, celui-ci étant composé en majorité d'éléments fins et très fins.

Equivalent Sable : Ce sable ayant un équivalent sable inférieur à 65% (à vue) et 60% (à piston) est donc impropre (Georges DREUX).

Mais son lavage a permis d'améliorer l'équi-

valent sable ce qui le rend très propre avec un risque de défaut de plasticité.

Conclusion : On remarque que le lavage change les caractéristiques du sable et permet d'améliorer certaines propriétés au détriment d'autres.

En effet, le lavage permet de le nettoyer (éliminer les fines), mais augmente la porosité et diminue la plasticité du béton.

Aussi, il serait intéressant d'aboutir à un matériau (pouvant allier la propreté, la compacité, et la plasticité) ayant un pourcentage de fines offrant les meilleures caractéristiques possibles.

II - 2 CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS

II - 2 - 1 FINES

a. INTRODUCTION :

Les normes s'accordent pour définir comme fines les éléments passant par le tamis de maille 80 μ . Le comportement des fines dépend de la dimension des grains et de leur nature.

On distingue généralement deux (02) catégories :

- fines actives et fines inertes.

Fines Inertes : Les fines inertes sont des fines qui adhère peu à la surface des grains de sable ce qui facilitera le dépoussiérage par simple ventilation à l'air, ces fines pourront améliorer l'ouvrabilité quand elles sont en proportions limitées. Elles auront aussi à un certain degré de finesse d'autres effets favorable :

- Dispersion de la pâte de ciment : par des fines de même dimension avec création de formes cristallines ayant un effet d'accélération des réactions.
- Activité pouzzolanique : c'est à dire combinaison de la chaux libre provenant du ciment avec certaines fines siliceuses.

Fines Actives : Ce sont celles qui présentent des propriétés colloïdales c'est à dire qui ont des propriétés de surface dues :

- à leur petite dimension.
- à leur charge électrique

Généralement, on suppose que le comportement colloïdal se manifeste au dessous de 2μ (argiles,). Ces fines sont caractérisées par :

- Une demande importante en eau.
- Une grande adhésivité sur les grains de sables

elles formeront une pellicule stable autour des grains nuisant à leur adhésivité avec le liant donc à la résistance mécanique.

— Elles peuvent avoir une aptitude au gonflement provoquant des déformations thermo-hygrométriques des bétons (Retrait gonflement)

b - CARACTERISTIQUES DES FINES

Poids spécifique

L'essai a été fait conformément à la norme (NF 18-558) P.S = 2.70 gr/cm³

Surface spécifique

Elle a été faite selon la norme (NFE 15-442)

$$S.S.B = 3456 \text{ cm}^2/\text{g}.$$

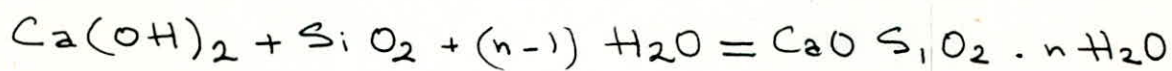
c - ACTIVITE POZZOLANIQUE

Le ciment portland lors de son hydratation, libère de la chaux, qui peut avoir un effet nuisible sur le béton durci.

Cette chaux se combinant à de l'aluminate trico-
eique (Al_2O_3) et en présence de sulfate de
chaux (CaSO_4) donne lieu à un sel.

Si on élimine la chaux libre, le risque de formation de ce sel disparaît de sorte que le ciment verra sa résistance augmenter.

Pour cela, on fabrique un ciment au pouzzolane en ajoutant au ciment portland de la pouzzolane naturelle ou artificielle (cendres volcaniques, argile, schiste, calcine). Ces pouzzolanes possèdent la propriété de fixer la chaux libérée par le ciment grâce à la silice qu'elle renferme selon la réaction suivante :



Les fines contenues dans notre sable renferment un bon pourcentage en silice. On a pensé que cette silice pourrait fixer une certaine quantité de chaux qui améliorera dans le temps la résistance.

Pour vérifier ceci, on a procédé à deux (02) essais.

ESSAI N° 1

On a coulé des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ cm avec un mélange en fines et chaux aériennes en proportions suivantes :

Composition N° 1 100% de chaux aérienne

Composition N° 2 40% de fines et 60% de chaux aérienne.

Composition N° 3 60% de fines et 40% de chaux aérienne.

Composition N° 1 Après cuisson des fines à
600°C pendant 2H, on a réalisé
le mélange suivant :

60% de fines et 40% de chaux.

Les moules sont restés immergés dans l'eau pendant
45 jours

Observation

Composition N° 1 : aucun changement de l'état de
la pâte

Composition N° 2 : Après trois (03) semaines.
Début de durcissement.

Composition N° 3 : Après 10 jours. Début de durcissement

Composition N° 4 : Après 2 jours, Début de prise.

Interpretation

- Composition N° 1 est une composition témoin, en effet, la chaux étant aérienne ne fera pas prise tant qu'elle est immergée dans l'eau.
- Les trois (03) autres compositions montrent que la prise provient des réactions chimiques entre les fines et la chaux et non pas de la prise de la chaux.
- La prise est d'autant plus rapide que le dosage en

fines est important.

La cuisson des fines a considérablement accéléré la réaction.

ESSAI N° 2

Essai de la pouzzolanite (FDP N° 15.462 oct 61)
c'est un essai réservé au ciment pouzzolanique pour le contrôle de la pouzzolanité.

Comme il a été dit plus haut, la pouzzolane ajoutée au ciment permet de réduire la quantité de l'hydrate de chaux d'hydrolyse dans la pâte de ciment.

Cette essai consiste à déterminer chimiquement la teneur en chaux (après une période déterminé) qui doit être inférieure à celle de saturation en comparaison avec l'alconite de la solution elle même. Le report du point de coordonne, Alconité total, teneur en CaO sur un repère. Si le point est en dessous de l'isotherme de solubilité donc l'essai est positif. Pour notre cas on fera l'essai pour les mélanges suivants

* 10 g de ciment + 10 g de fines

* 15 g de ciment + 5 g de fines

* 10 g de ciment + 10 g de fines cuites .

* 15 g de ciment + 5 g de fines cuites

Resultats

Par manque de materiel et de temps , L'essai n'a pas été fait

CONCLUSION

Les fines serviront non seulement comme element de remplissage ameliorant la compacite mais seront d'un apport appreciable pour ameliorer la resistance .

II - 2 - 2 CIMENT

Un ciment utilise dans la confection d'un beton reclame les qualites suivantes .

- Haute resistance mecanique .
- Meilleure onctuosite de la pate a l'eau pour permettre une mise en oeuvre correcte et facile .
- Ductilite suffisante pour reduire la tendance a la fissuration et attenuer la fragilite' .

Plusieurs essais ont été effectues conformement aux regles francaises AFNOR afin de connaitre la propriete du ciment utilise' .

a - Essais physiques

- Masse volumique = 2.9767 g/cm^3
- Surface Specificque Blaine = $4082.5 \text{ cm}^2/\text{g}$
- Eau % pâte prise = 27.6%
- Debut de prise = 2h 18
- Fin de prise = 4h 08

b - Essais mecaniques

AGE	COMPRESSION Kgf/cm ²	FLEXION Kgf/cm ²
02 jours	95.73	21.21
07 jours	146.26	30.81
28 jours	277.29	51.38

c - Composition chimique

SiO ₂	H ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO Libre	R-Ins	P.A.F
23.20	5.82	2.18	54.90	1.69	6.37	0.84	0.65	0.50	7.51	4.90

Le ciment presumé de classe CPA 325 s'est
revelé de classe 250.

CHAPITRE TROIS

DETERMINATION DE LA

COMPOSITION OPTIMALE

III - 1 GENERALITES SUR ESSAIS

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

III - 1 - 1 DISPOSITION COMMUNE

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 doit être reparti entre et autour de tous les grains inertes. Le malaxage consiste aussi à fabriquer à partir de matériaux granuleux de forme et de matière différentes un mélange homogène et permet aussi le contrôle de la plasticité et de la correction du dosage en eau si celui-ci est nécessaire. Le malaxeur utilisé est celui avec axe vertical et à cuve tournante. Le malaxeur étant en position de fonctionnement, on verse dans la cuve le sable et le ciment et on le met en marche. Au bout de trente (30) secondes, on ajoute l'eau graduellement.

La durée totale du malaxage sera de quatre (04) minutes.

b - Vibrations

Elles ont été effectuées selon la norme (NFP 18 422) la vibration est devenue le moyen le plus courant pour donner au béton sa compacité maximale. par élimination des vides d'airs et parfait remplissage des moules. Elle agit en diminuant considérablement les frottements internes des grains constitutifs et tend à conférer au béton les qualités d'un liquide (pendant le temps qu'elle agit).

La vibration est d'autant plus efficace que sa fréquence est élevée, mais il convient de citer qu'avec un temps de vibration insuffisant, on risque fort d'abord un béton mal serré de mauvaise compacité donc de résistance moindre et qu'avec plus de temps on risque d'engendrer des segregations (nids de graviers, poches d'air.) Pour notre cas, on n'a pas à craindre la segregation du béton vu l'absence de gros granulats. Le serrage de notre béton a été fait par aiguille vibrante. L'aiguille utilisée à un diamètre de 25 mm

et une fréquence de vibration de 5500 tours/mn.

c - Conservation des éprouvettes

Ces éprouvettes sont conservées à une température variante de 18°C à 20°C pendant 24h dans leur moule, et après démoulage, elles sont immergées dans l'eau, puis retirées 24h avant chaque essai.

Remarque : Il aurait été préférable d'avoir un bac thermostatique pour fixer la température de l'eau lors de la conservation à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ selon la norme (NFP 15 401)

d - Précaution contre la dessiccation

La dessiccation se traduit par la perte du béton de l'humidité qu'il renferme. Cette dernière peut laisser des mauvaises traces sur le béton et cela en générant des fissurations qui à leur tour influent sur les caractéristiques mécaniques du béton.

La dessiccation est d'autant plus sensible que l'éprouvette est petite, et surtout si elle a été conservée dans l'eau.

a - Détermination de la masse volumétrique de l'éprouvette.

Les éprouvettes ayant été retirées 24h avant chaque

essai sont relativement sèches. Les éprouvettes seront pesées avec une erreur relative inférieure à $1/1000$. La masse volumétrique sera calculée en divisant sa masse par le volume de l'éprouvette.

III - 1 - 2 PROPRIÉTÉS DU BETON FRAIS.

Les propriétés du béton frais agissent sur les caractéristiques du béton durci et conditionnent les résistances mécaniques et l'homogénéité de ces résistances.

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.
- Présenter 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 d'ouvrabilité

Une bonne ouvrabilité se traduit à la fois par une garantie de mise en œuvre satisfaisante

et une garantie de qualité du béton durci par la maîtrise du dosage en eau.

L'ouvrabilité est généralement conditionnée par les facteurs suivants :

- Granulométrie.
- La forme des granulats constitutants.
- Dosage en ciment.
- Emploi du plastifiant.
- Dosage en eau.

Cette propriété a été déterminée par l'essai au cône d'Abrams. Il s'agit de remplir de béton un moule en tôle tronconique de dimension ($D = 20\text{ cm}$, $d = 10\text{ cm}$, $h = 30\text{ cm}$) en quatre (04) couches tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups / couche. On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement du béton.

Pour le béton G. DREUX a préconisé le classement de consistance suivante :

Classe de consistance	Affaissement (cm)
Béton ferme	0 - 2
Béton plastique	3 - 7
Béton mou	8 - 15

Remarque : Les bétons de sable étant constitués uniquement d'éléments fins et très fins n'ont pas un comportement à la mise en œuvre, ou une mobilité capable à celle des bétons graveleux traditionnels.

Ceci s'explique par le fait que les bétons de sable possèdent des propriétés thixotropiques : au repos, ils sont d'une cohésion physique qui empêche l'affaissement mais la vibration ou des chocs répétés liquéfient rapidement le matériau.

Les essais réalisés avec notre béton de sable ont donné un affaissement variant de 0 cm à 2 cm.

Ce qui correspond à un béton ferme alors que l'utilisation du vibreur l'a liquéfié ; il est devenu très liquide.

Il en résulte que l'on ne doit pas juger de l'immobilité d'un béton destiné à la vibration par un essai statique type affaissement au cône d'Abrams

(un affaissement nul du béton de sable peu très bien correspondre à une bonne ouvrabilité.

Pour une approche de cette caractéristique, la consistance et l'ouvrabilité seront classées en temps d'écoulement au maniabilimètre à mortier type L.P.C.

L'appareil est constitué par un récipient prismatique partagé en deux (02) volumes inégaux par une paroi amovible.

— Le béton de sable frais est introduit dans le grand volume.

La paroi de séparation enlevée et le vibreur fixé à l'appareil se mettent en marche automatiquement. Sous l'action de vibration le béton s'écoule du grand volume vers le petit volume en un temps fonction de la maniabilité.

L'essai consiste à mesurer le temps mis pour arriver à un repère gravé sur la paroi du volume vide.

La contenance du grand volume est de 0.8L et la fréquence de vibration est de 2950 ± 25 cycle/mn.

III - 1 - 3 ESSAI SUR LE BETON DURCI.

Une fois l'obtention d'un béton frais jouissant de certains produits et une bonne ouvrabilité, nous devons encore vérifier les produits du béton durci qui seront surtout les résistances mécaniques aussi bien en compression qu'en traction. De plus le béton durci doit assurer une bonne étanchéité et être un mauvais conducteur de la chaleur et des ondes sonores.

a - Essai de compression

Les essais ont été fait sur des éprouvettes cubiques $7 \times 7 \times 7$ cm obtenus après découpage à la tronçonneuse des éprouvettes $7 \times 7 \times 28$ cm valable pour essai de recherche selon la norme NF P 18 402.

Pendant l'essai, on applique la charge d'une manière continue et sans chocs, la vitesse de chargement est constante et égale à (5 ± 2) bars par seconde. Ce qui correspond pour la presse à (10 ± 4) KN par seconde. Pour le résultat il faut retenir pour charge de rupture la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et calculer la contrainte σ par la relation : $\sigma = F/S$

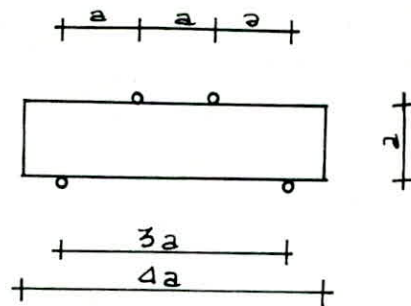
F = charge maximale (en N)

S = Surface de compression de l'éprouvette (cm²)

b. Essai de traction (selon la norme NFP 18-407)

La résistance à la rupture en traction est celle obtenue par l'essai de traction par flexion.

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatique 7 x 7 x 28 cm



La charge est appliquée d'une manière continue et sans choc. La vitesse de chargement est égale à (0.5 ± 0.1) bars par seconde, ce qui correspond pour la presse à (1 ± 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 contraintes est donnée par la formule suivante.

$$\sigma_{28} = 18 \frac{F}{a^2}$$

F = charge de rupture (dN)

a = l'arête de la base de l'éprouvette prismatique (cm)

σ = contrainte de rupture en traction (dN/cm²).

III - 2 ETUDE DES COMPOSITIONS DE BETON DE SABLE.

Du fait de la finesse des granulats constituant le béton de sable et des faibles compacités que cela implique, la caractérisation du béton de sable devra insister sur le contrôle de sa résistance et de certains risques liés à sa constitution particulière et qui prendront une importance relativement plus grande que les bétons graveleux traditionnels.

Aussi, l'étude de la composition optimale sera guidée et dictée par la nécessité de :

- Composer un mélange granulaire dont les proportions permettent d'atteindre une compacité maximale.
- D'avoir une teneur en eau optimale.
- Pouvoir atteindre avec un dosage minimal en liant, les performances imposées d'où une méthodologie de définition de la composition optimale articulée sur les étapes suivantes.

Première étape : Mélange sable + ciment en vue de la meilleure compacité.

Deuxième étape : Évaluation approximative par le calcul et essais des pourcentages de fraction fine susceptible de donner avec le mélange optimum

de sable les meilleures compacités.

Troisième étape : Les étapes précédentes ayant abouti à définir les compacités optimales pour le mélange granulaire et les teneurs en eau correspondante dans cette dernière étape. Le rapport C/f qui permet par la connaissance de C/E de choisir une gamme de dosage en ciment probablement suffisante pour obtenir les performances souhaitées.

Pour les différents essais, nous avons confectionnés :

- 4 éprouvettes prismatiques $7 \times 7 \times 28$ cm pour les essais de compression à 7 jours et à 28 jours.
- 2 éprouvettes prismatiques $7 \times 7 \times 28$ cm pour les essais de traction par flexion à 28 jours.
- Pour tous les essais, le sable utilisé est préalablement mis à l'étuve ($40^\circ C$) pendant 24 heures
- Le ciment utilisé est le ciment PORTLAND artificiel CPA 325.
- Nous avons opté pour un dosage en ciment égal au dosage courant de 350 Kg/m^3

III - 2 - 1 COMPOSITION AVEC LE SABLE NON LAVE

Composition de base = Sable + Ciment + Eau

Pour la recherche de la composition optimale nous avons procédés à trois (03) séries de composition basée sur des approches différentes.

Première Série

Cette méthode consiste à se fixer une masse volumique voisine de celle des bétons courant et à calculer à partir de celle-ci les différentes composantes puis vérifier si on a la masse volumique théorique égale à la masse volumique réelle.

$$\text{soit } m_v = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

Le dosage en ciment est égal à 350 Kg/m^3

Le rapport C/E a été fixé égal à 1.4

$$\text{Calcul du dosage en eau } C/E = 1.4 \Rightarrow E = C/1.4 = \frac{350}{1.4}$$

$$\text{donc } E = 250 \text{ Kg/m}^3$$

Le dosage en sable est déterminé par la simple soustraction du dosage en (Ciment + Eau) de celui de la masse volumique.

$$S = m_v - (C + E) = 2200 - (350 + 250) = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

Soit la composition suivante.

$$\text{Sable} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ciment} = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Eau} = 250 \text{ Kg/m}^3$$

Avec un affaissement au cône d'Abrams de 1 cm , et

un temps d'écoulement au manihabimètre de 45s,
notre béton est ferme mais avec une bonne
vibration, on arrive à le mettre en place assez
facilement.

On a refait cette composition pour une ouvrabilité
de 30s, ce qui nous a donné la composition suivante:

$$\text{Sable} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ciment} = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Eau} = 280 \text{ Kg/m}^3$$

Deuxième Série

Cette méthode consiste à avoir une compacité maxi-
male de notre mélange. Supposons que notre
sable ne change pas de volume une fois mouillé.

On sait que notre sable a une masse volumique
de 1540 Kg/m^3 ceci implique qu'un mètre cube

(1 m^3) pèse environ 1540 Kg .

Le sable a une compacité de 0.6 soit une porosité
de 0.40, donc il faut combler $400 \text{ litres par m}^3$.

Si l'on veut bien admettre que le ciment gâché
en pâte pure est tel que un Kg de ciment

donne environ 0.56 litre de pâte pure et si l'on

tient compte d'une eau de mouillage du sable de
6% (soit 92 litre par m^3), il faut combler avec

cette pâte pure :

$$400 - 92 = 308 \text{ Litre de vide.}$$

$$\text{soit avec } 308 / 0.56 = 550 \text{ Kg de ciment.}$$

Un dosage de 550 Kg/m³ ne nous intéresse pas du point de vue :

- Economique
- Destination du béton de sable de concassage à joué le rôle de béton (350 Kg/m³) et non de mortier (550 Kg/m³).

Ce qui nous mène à prendre un dosage en ciment de 350 Kg/m³.

Les compositions retenues sont les suivantes :

$$\text{Sable} = 1540 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Sable} = 1540 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ciment} = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ciment} = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Eau} = 250 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Eau} = 285.5 \text{ Kg/m}^3$$

Troisième série

Suite à la faible résistance dans les deux premières séries, nous avons pensé à améliorer le rendement du ciment tout en cherchant une ouvrabilité acceptable.

Différentes compositions ont été faites avec variation de C/E.

Soit les compositions suivantes :

Sable	1480	1480	1480	1480
Ciment	350	350	350	350
Eau	287	250	240	230

III - 2-2 COMPOSITION AVEC SABLE LAVÉ .

Composition de base = Sable + Fines + Ciment + Eau

Le choix de cette formule est basé sur deux paramètres

- Valeurs de la résistance mécanique en fonction du pourcentage de fines
- Ouvrabilité en fonction du pourcentage des fines.

Le dosage en ciment est de 350 Kg/m^3

Pour la composition avec le sable lavé, on a procédé au même raisonnement que la méthode de compacité maximale. Sachant que la masse volumique apparente du sable est de 1300 Kg/m^3 donc on est arrivé à la composition de base.

Soit :

Sable = 1300 Kg/m^3	}	Avec une ouvrabilité de 30s
Ciment = 350 Kg/m^3		
Eau = 245 Kg/m^3		

A cette formule de base, on ajoute les fines par fraction de 50 Kg/m^3 et le dosage en eau est pris de façon que :

- En premier lieu, on ait le $E/C+F = 0.7 = \text{cst}$

— En second lieu : L'ouvrabilité = 30s = cste .

III - 3 CARACTERISTIQUES DES PROPRIETES PHYSICO - MECANQUES .

III - 3 - 1 COMPOSITION AVEC SABLE NON LAVE .

Les resultats obtenus pour les differentes compositions sont resumes dans le tableau suivant .

Sable	1600	1600	1540	1540	1480	1480	1480	1480
Ciment	350	350	350	350	350	350	350	350
Eau	250	287	250	283.5	280	250	240	230
E/c	0.71	0.82	0.7	0.81	0.8	0.71	0.68	0.66
ouvrabilité Cône d'Abrams	1	2	1	2	2	1	0	0
Maniabilité L.C.P (s)	45	30	43	30	30	40	52	58
M. Volumique 7 jours	2110	2050	2150	2100	2117	2200	2240	2180
28 jours	2240	2194	2260	2200	2208	2297	2350	2270
R Mécanique 7 jours	—	86.39	120	90	109.52	172.8	—	—
28 jours	169.39	144.9	190	165.32	198	237.2	243.67	212.14
28 jours	16.53	—	15.8	—	18.5	15.28	—	—

III - 3.2 COMPOSITION AVEC SABLE LAVÉ.

les resultats obtenus pour les deux (02) series de composition sont :

$$a - E/C+F = 0.7 = \text{cst}$$

Sable Kg/m ³	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Ciment Kg/m ³	350	350	350	350	350	350
Finas Kg/m ³	0	50	100	150	200	250
Eau l/m ³	245	280	315	350	385	420
E/C+F	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
E/C	0.7	0.8	0.9	1.	1.1	1.2
Ouvrabilite L.C.P (S)	30	10	4	2	0	0
Masse volumique Kg/m ³						
- 7 jours	2270	1940	2150	2160	2200	2190
- 28 jours	2198	2187	2170	2128	2177	2140
Resistance Mecanig den/cm ²						
Compression { - 7 jours	110.1	123.81	73.47	60.54	56.46	50.22
- 28 jours	255.35	265.3	170.84	136.7	114.28	105.82
Traction { - 28 jours	16.99	17.45	16.31	13.61	14.86	12.43

b = maniabilité = 30 s = cste .

Sable Kg/m ³	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Ciment Kg/m ³	350	350	350	350	350	350
Fines Kg/m ³	0	50	100	150	200	250
Eau l/m ³	245	260	292.5	260	275	282
E/c+f	0.7	0.67	0.65	0.52	0.50	0.47
E/c	0.7	0.765	0.835	0.74	0.785	0.80
ouvrabilité L.C.P (s)	30	30	30	30	30	30
Masse volumique Kg/m ³						
7 jours	2270	2221	2150	2256	2232	2260
28 jours	2128	2174	2141	2232	2070	2256
Resistance Mecanig dan/cm ²						
Compression { 7 jours	110.1	128.26	135.4	130	108	87.75
28 jours	255.35	270.2	274.3	260.5	224.69	199.5
Traction { 28 jours	16.99	17.34	18.7	21.67	15.39	19.9

Les formules retenues pour les compositions avec sable non lavé sont :

Sable	—	1480	Kg/m ³	} Donnant une bonne résistance à défaut d'ouvrabilité.
Ciment	—	350	Kg/m ³	
Eau	—	250	l/m ³	

Sable	—	1480	Kg/m ³	} Ayant une bonne ouvrabilité avec une résistance insuffisante.
Ciment	—	350	Kg/m ³	
Eau	—	280	l/m ³	

Tandis que pour la composition avec sable lavé la composition optimale vérifiant les deux (02) critères "Résistance et Ouvrabilité" est la composition suivante :

Sable	—	1300	Kg/m ³
Ciment	—	350	Kg/m ³
Eau	—	292.5	l/m ³
Fines	—	100	Kg/m ³ .

CHAPITRE QUATRE

ETUDE DU RETRAIT

IV - 1 INTRODUCTION

En l'absence de toute charge le béton se déforme spontanément. Ces déformations dues essentiellement à une perte d'eau de gachage par évaporation se traduit par une diminution de dimensions des éléments en béton.

Ce phénomène (Retrait) dépend non seulement des conditions de conservations (Humidité, Température) mais aussi des constituants du béton.

Notre sable est riche en éléments fins. De ce fait les fines auront pour effet d'accroître l'eau de mouillage du sable à ouvrabilité constante provoquant ainsi des retraites importants lors du durcissement. D'où notre intérêt sur l'étude du retrait comme une des performances à exiger du béton à côté de la résistance et l'ouvrabilité.

IV - 2 DIFFERENTS TYPES DE RETRAIT

Il existe plusieurs sortes de retraites que nous expliquerons successivement.

IV - 2 - 1 RETRAIT DE DESSICATION INTERNE

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

- Avec une augmentation de volume apparent de la pâte pure du 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.

IV - 2 - 2 RETRAIT D'EVAPORATION AVANT PRISE

Pendant le début de prise d'un ciment, c'est à dire juste après le remplissage des coffrages en béton, l'eau de gachage n'est pas encore liée aux constituants du ciment. Elle est retenue physiquement donc cette dernière peut s'évaporer plus ou moins facilement surtout si l'ouvrage en béton présente une grande surface libre et si les conditions atmosphériques se prêtent à une telle évaporation.

Il peut en résulter des fissures visibles à la surface des pièces. Le départ de l'eau

engendre Les conséquences suivantes :

- Une moins bonne hydratation des Liants.
- Un affaiblissement de La dureté superficielle.
- Une baisse de La résistance mécanique.
- Un accroissement de La porosité.

IV-2-3 RETRAIT THERMIQUE

JL provient de La diminution de La longueur consecutive au retour à La température ambiante ce qui donne naissance à des baisses de température provenant; soit du ciment lui même Lors des hydratations aux premiers ages suivies de son refroidissement; soit des variations climatiques du milieu qui eux peuvent être plus ou moins importants et plus ou moins rapides.

IV-2-4 RETRAIT HYDRAULIQUE APRES PRISE

JL s'agit d'un retrait qui commence rapide, ensuite se poursuit de plus en plus lentement et peut ainsi durer des années. Ce volume est dû à une diminution de volume résultant de L'hydratation et durcissement de La pâte de ciment.

FREYSSINET à donné une théorie explicative à ce phénomène. Celle ci est basée sur Le phénomène des tensions capillaires. Les particules

Les plus fines du béton sont reliées par des ponts d'eau dont les menisques exercent des contraintes d'autant plus importantes que 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 de volume apparent.

Inversement les rayons de courbures croissent avec l'humidité ambiante. Les contraintes qui contracteraient la matière se relâchent et permettent alors le gonflement.

IV - 3 EFFETS DE RETRAIT

Le retrait qui se traduit par la diminution de longueur d'un élément en béton n'est pas uniforme dans tous les éléments d'un ouvrage.

La vitesse diffère avec le temps, elle est souvent maximum au début de la dessiccation.

Dans tous les cas, ces différences dans les vitesses du retrait entraînent des tensions internes qui apparaissent à un âge relativement jeune. Ces contraintes de traction dans le béton

engendrés par le retrait sont responsables de maintes fissurations. Elle peuvent aussi s'ajouter aux contraintes de traction d'origine mécanique qui se développent dans les ouvrages. D'où pour le béton une fragilité accrue vis à vis de la traction.

IV-4 ETUDE EXPERIMENTALE

IV-4-1 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 avons étudiés l'influence de quelques paramètres sur le retrait :

- Influence du temps et des conditions de conservation.
- Influence du pourcentage des fines.

IV-4-2 PRESENTATION DE L'ESSAI

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ cm selon la norme (NF P 15.433). Ces éprouvettes au nombre de trois (03) par essai sont après

démoulage à 24h placées dans des batis munis de comparateur qui nous permettent de mesurer le retrait.

Pour cela, deux (02) modes de conservation ont été envisagés :

- Conservation à l'air libre : A température variante entre 18°C et 24°C , et une humidité entre 65% et 75%.
- Conservation dans l'atvra : Avec une température constante de 40°C , et une humidité de 20%.

Cet essai a été réalisé pour les compositions suivantes:

S.N.L Sable 1480 Kg/m^3
 1^{re} composition. Ciment 350 Kg/m^3
 Eau 280 Kg/m^3

		Composition 2	Composition 3	Composition 4
S • L	Sable	1300 Kg/m^3	1300 Kg/m^3	1300 Kg/m^3
	Ciment	350 Kg/m^3	350 Kg/m^3	350 Kg/m^3
	Fines	0	50 Kg/m^3	100 Kg/m^3
	Eau	245 L/m^3	268 L/m^3	292.5 L/m^3

IV - 4 - 3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nous présentons ci-après la valeur du retrait à 30 jours pour les différentes compositions.

FORMULES	1	2	3	4
Retrait air Libre $\mu\text{m}/\text{m}$	650	410	300	350
Retrait étuve $\mu\text{m}/\text{m}$	1950	825	990	1155

Influence du temps et de la conservation

- Le retrait croît au cours du temps.
 - L'influence de la température est prépondérante ; en effet le retrait est lié directement à la perte d'eau. Cette perte est d'autant plus grande et rapide que l'air ambiant est sec et que la différence de température entre le béton et l'air est plus forte.
 - Les éprouvettes conservées dans l'étuve ont donné un retrait supérieur au double du retrait des éprouvettes conservées à l'air libre.
 - Le retrait est d'abord très rapide sur le béton jeune puis il diminue.
- L'allure des courbes nous laissent penser que le

retrait à 30 jours ne donne pas une idée précise sur le retrait final c'est pourquoi il faudra prolonger l'essai.

Influence des Fines

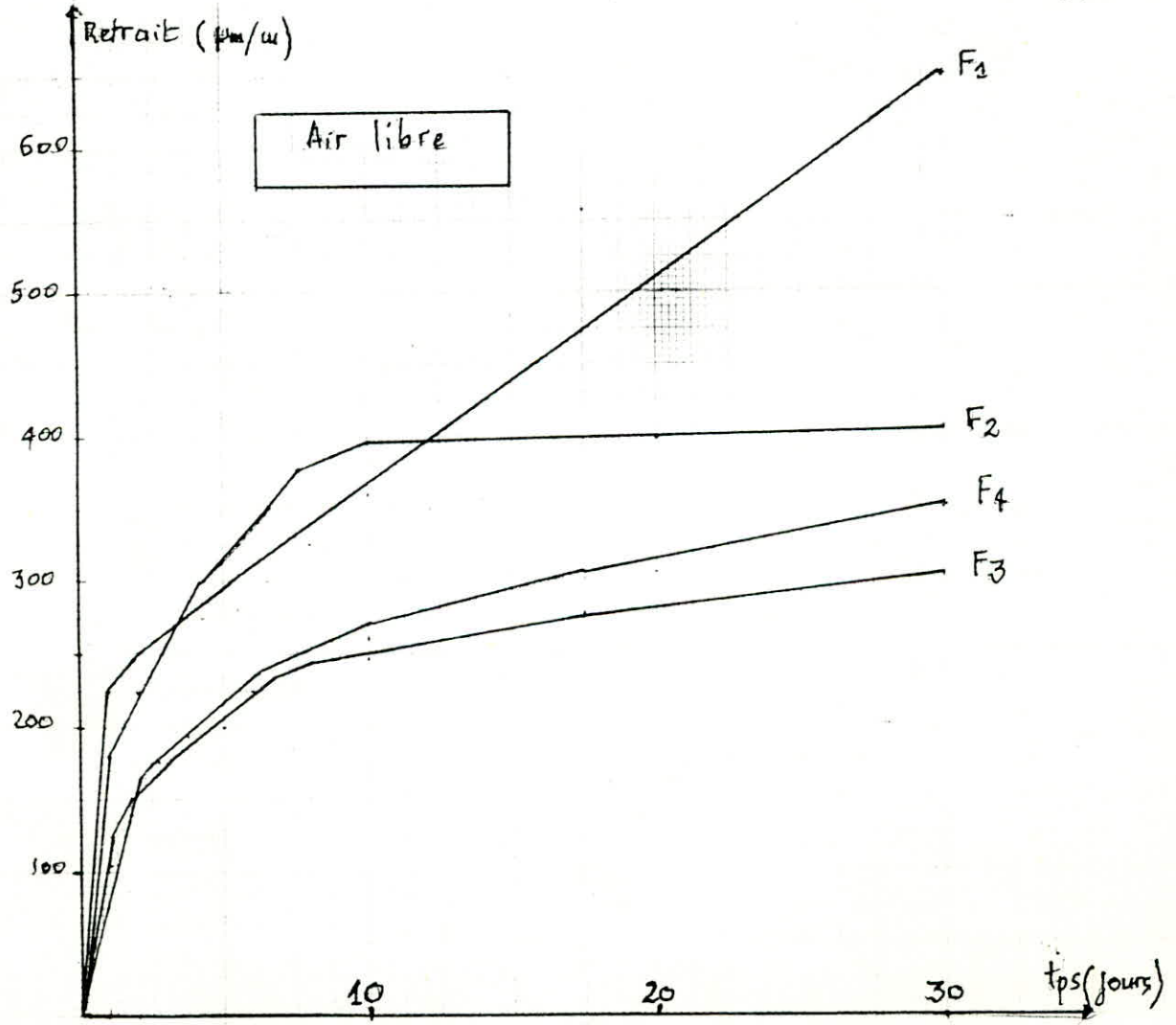
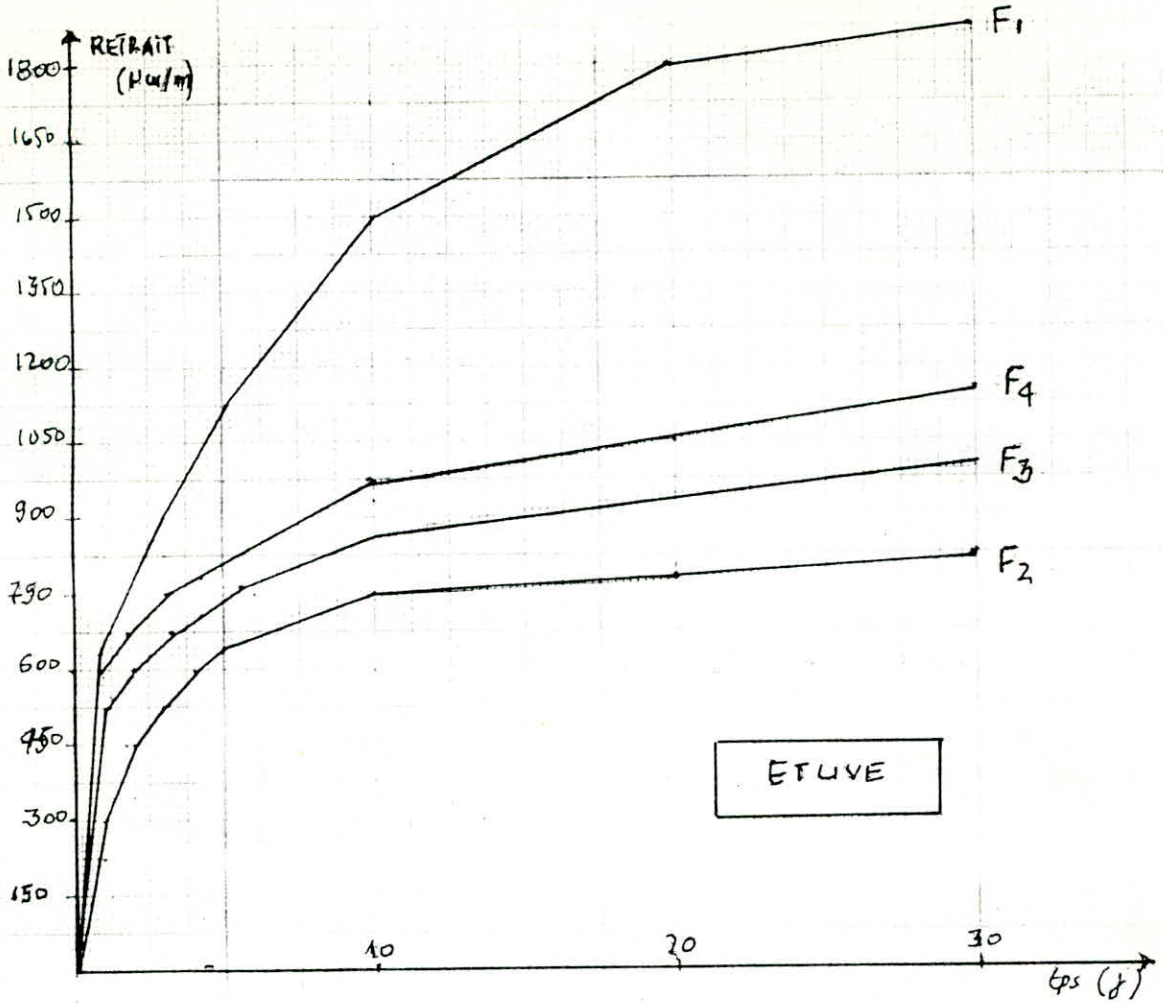
Les fines diminuent le retrait du béton jeune.

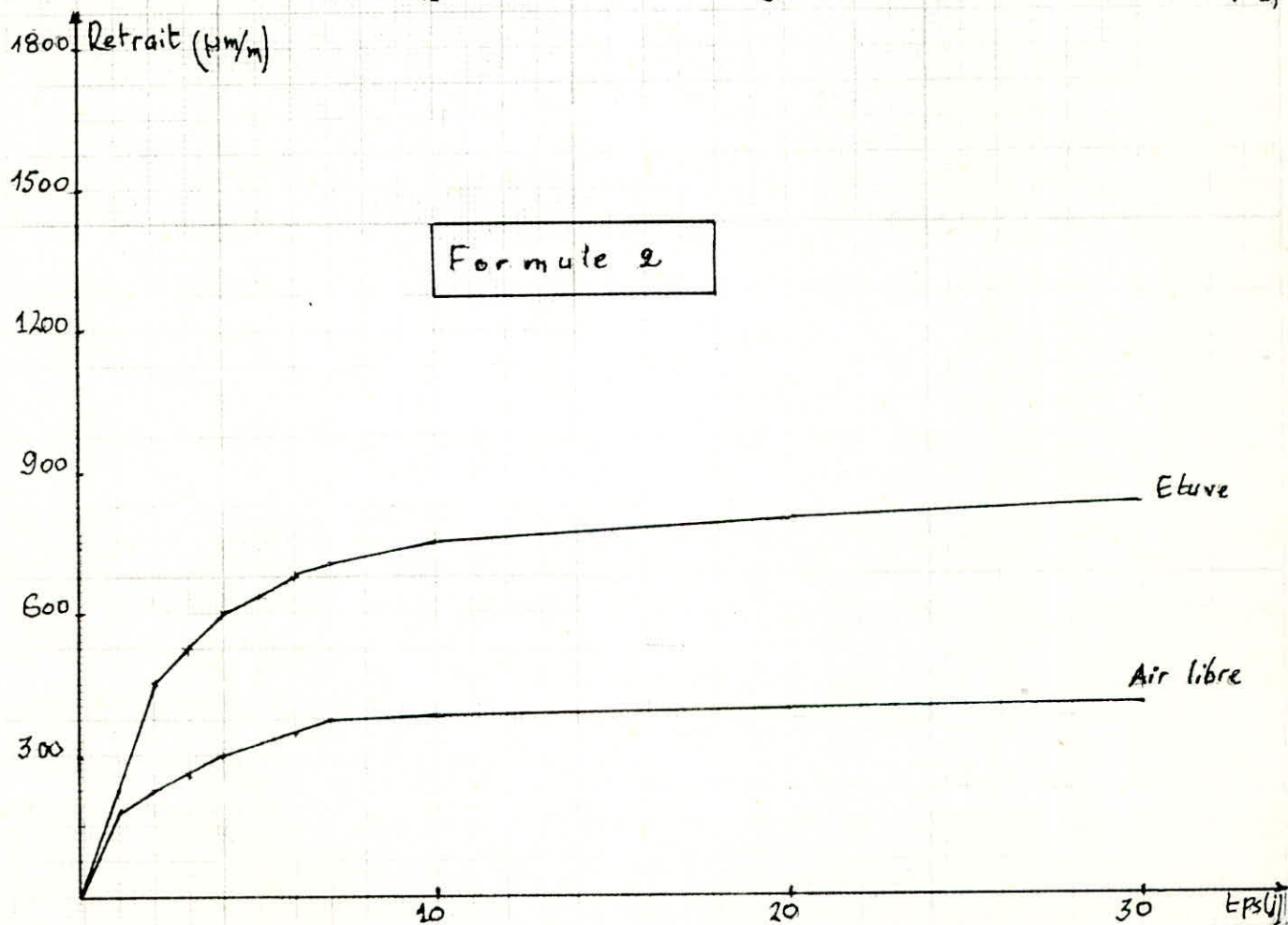
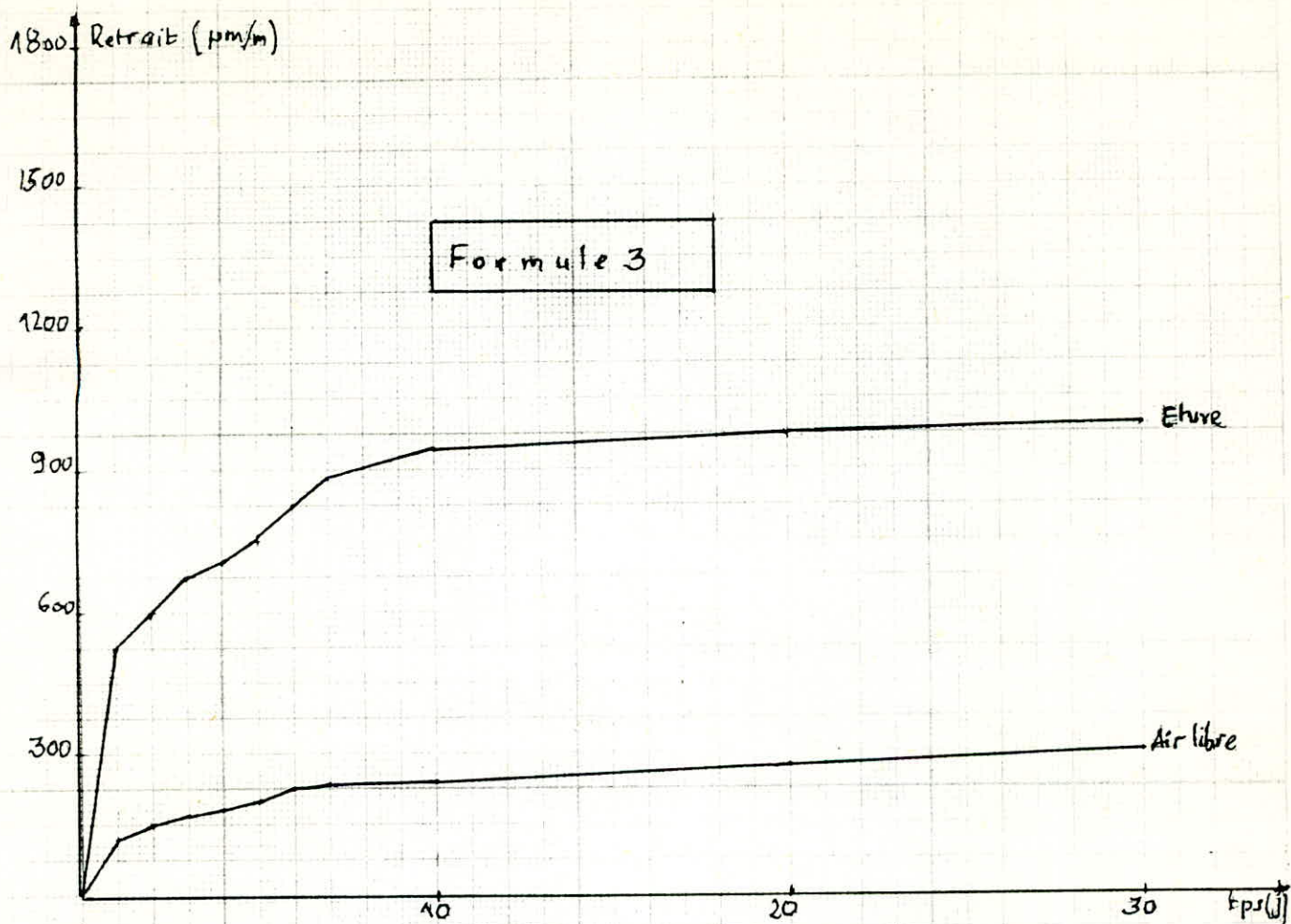
La composition (2) (sans fines) présente un retrait important durant la première semaine puis s'atténue.

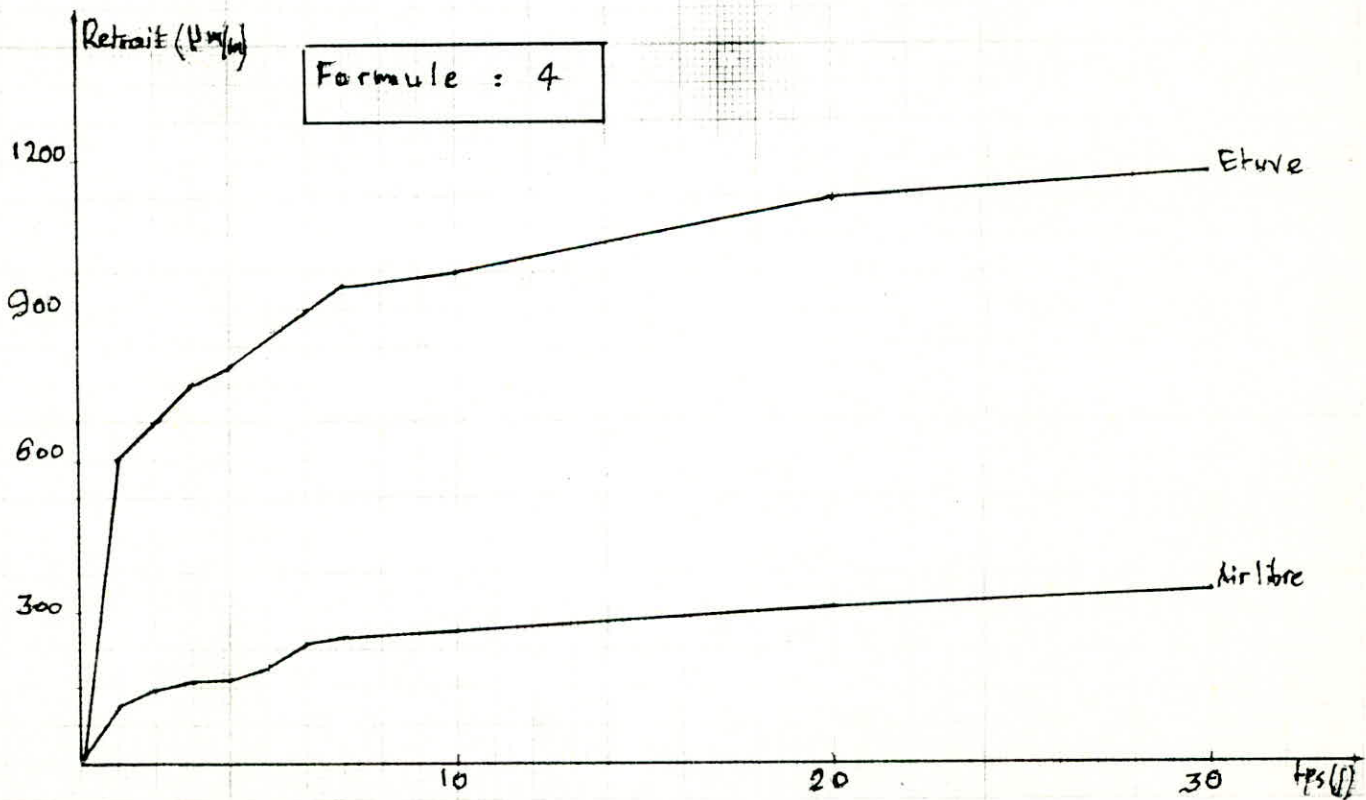
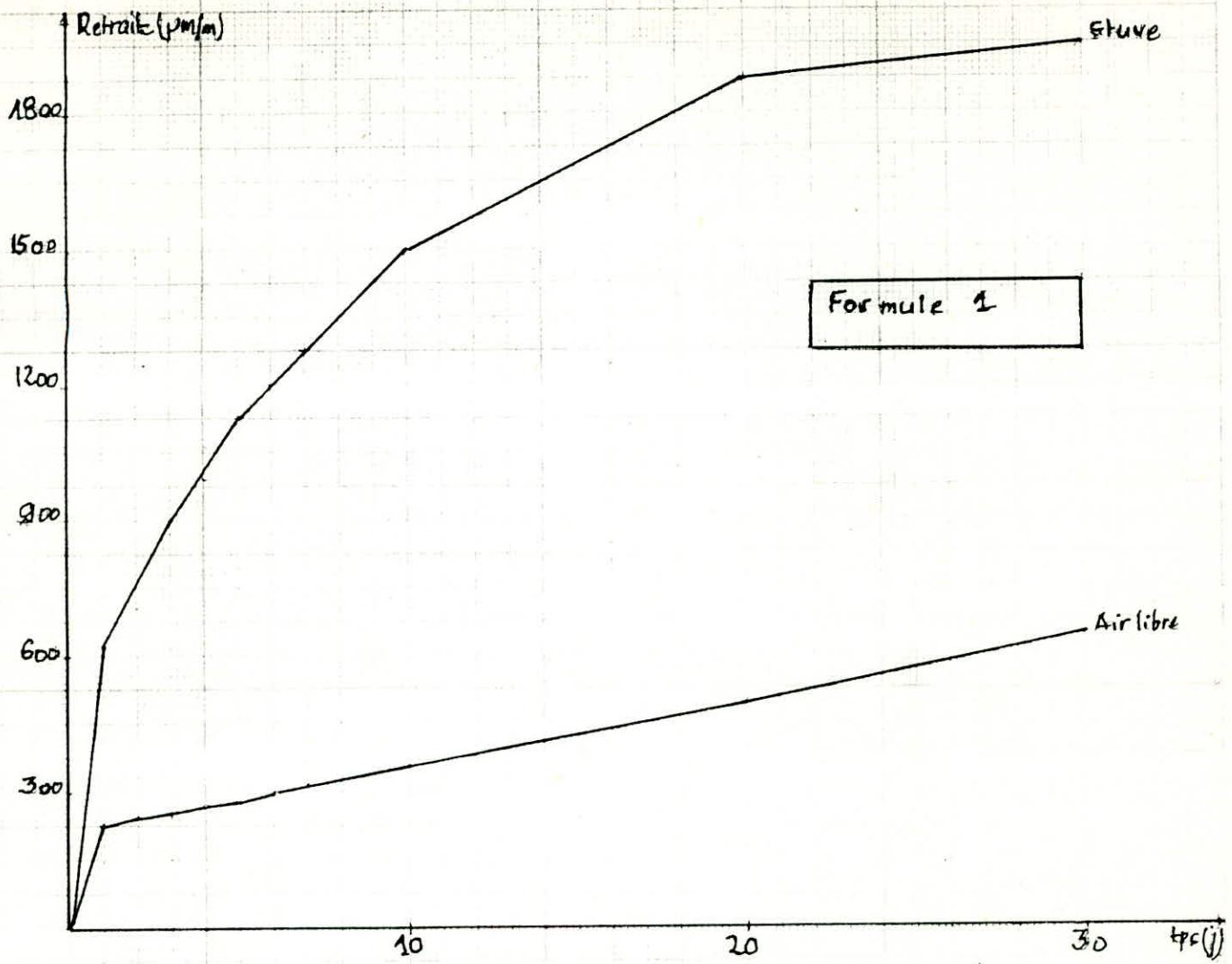
Alors que les compositions avec fines accusent un retrait plus faible au début avec un accroissement au cours du temps.

Remarque : Il aurait été intéressant de peser les éprouvettes lors des mesures du retrait, afin de trouver une corrélation à un degré d'humidité donné entre :

- Le pourcentage des fines
- L'eau évaporé
- Le retrait.







CHAPITRE CINQ

ETUDE DE

L'EXTENSOMETRIE

V - 1 DEFINITIONS

On appelle EXTENSOMETRIE toute technique qui permettrait de mesurer les déformations qui apparaissent dans un corps donné lorsque celui-ci est soumis à des sollicitations externes.

V - 2 BUT DES ESSAIS

Depuis quelques années, les sciences telles que la Statique, la Dynamique ou la Résistance des Matériaux se révèlent assez vite limitées quant au calcul des structures. Il y a eu donc l'apparition de techniques expérimentales d'analyses des contraintes et de leurs mesures. C'est l'extensométrie qui vient compléter la résistance des matériaux.

Ces essais ont pour but de déterminer en premier lieu les valeurs numériques des paramètres qui caractérisent ces structures. En second lieu, il fixe ces paramètres sous forme de coefficients qui définissent le comportement sous certaines sollicitations. Ces grandeurs caractérisent en général les corps homogènes.

On attribue pour le béton une homogénéité conventionnelle qui se manifeste par des valeurs moyennes des contraintes.

V - 3 METHODE DE MESURES

De nombreux procédés ont été employés pour exploiter de manière conforme les essais d'extensométrie. Ces méthodes sont basées sur des phénomènes physiques, acoustique, optique, électrique, etc.....

V - 4 EXTENSOMETRES EMPLOYÉS AUX LABORATOIRES

Vu le nombre des extensomètres employés aux laboratoires, nous ne citerons ici que quelques uns.

V - 4 - 1 EXTENSOMETRES MECANIKES

Ces extensomètres sont basés sur l'amplification de la déformation soit par levier ou par engrenage. On cite :

- Les extensomètres à levier.
- Les extensomètres à engrenage.

V - 4 - 2 EXTENSOMETRES ELECTRIQUES

Il sont destinés à la traduction d'une déformation ou d'un déplacement par la variation

d'une résistance électrique. Cette variation est mesurée par un circuit électrique. On distingue:

- Les déformations et fleximètre à potentiomètre.
- Jauge à résistance non métallique.
- Jauge à résistance métallique ; souvent utilisés de nos jours. Son principe consiste à calculer la variation de la résistance en fonction de la déformation par la relation suivante:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

où K est une constante appelée "Constante de Jauge"

V-4-3 EXTENSOMETRES OPTIQUES

On distingue deux sortes d'extensomètres optiques:

- L'extensométrie par utilisation de Rayon X.
- L'extensométrie par revêtement.

V-5 MATERIEL UTILISE LORS DE CETTE ETUDE

Le dispositif utilisé est un extensomètre mécanique (pour cylindre normalisé) à trois capteurs de déplacements donnant un signal électrique proportionnel aux variations de distance entre deux (02) sections d'une éprouvette.

V-5-1 DESCRIPTION DU MATERIEL

Le matériel utilisé se compose de :

- Un extensometre mecanique.
- Un coffret electronique (J2P).
- Une table traçante.

L'extensometre mecanique est constitué de deux (02) couronnes qui sont rendues chacune solidaires d'une section de l'éprouvette grâce à trois (03) pointeaux montés à 120° .

Les déplacements relatifs de ces deux (02) couronnes sont captés par trois (03) capteurs de déplacements lineaires.

Un conditionneur réalise la moyenne des trois (03) informations délivrées par ces capteurs.

Les deux (02) couronnes sont assemblées entre elles par des entretoises qui assurent ainsi :

- La mise en place des deux (02) couronnes sur l'éprouvette.
 - La définition de la longueur de base de 160mm
- Trois (03) vis micrométriques placées sur la couronne inférieure permettent le réglage à zéro de chaque capteur.

Le coffret électronique comporte trois (03)

Fonctions principales :

- Une visualisation de la lecture sur un indicateur numérique.
- Un conditionnement de la mesure à trois (03) voies. Chaque voie correspondant à un capteur.
- Une double sommation qui permet de connaître la valeur moyennes du déplacement des deux (02) couronnes (ΔL) et la valeur moyenne de la déformation $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$.
- Les tables traçantes permettent de reproduire des courbes contraintes de formation longitudinale et transversales.

Les charges sont données sur l'axe des ordonnées en (KN) par l'intermédiaire des capteurs de force, reliés directement à la presse.

Ces déformations longitudinales sont portées sur l'axe des abscisses en (mv/cm) grâce aux capteurs de déformations reliés à l'éprouvette.

Notons que ces essais ont été fait sur une base de mesure de 160 mm. En admettant que cette longueur de base est suffisamment petite pour considérer la déformation uniforme suivant sa direction.

V - 6 OBJECTIF DE L'ESSAI

Le comportement des matériaux sous l'action des charges est exprimé par la liaison fonctionnelle entre la déformation et l'effort qui la provoque. Cette liaison est obtenue dans cet essai par des diagrammes ($\sigma \cdot \epsilon$) d'un certain nombre d'éprouvettes chargées uniaxialement (compression simple) par les plateaux de la presse.

La forme des éprouvettes et la vitesse de chargement sont normalisées pour nous permettre de comparer avec les résultats classiques déjà obtenus pour le béton.

Sous ces charges uniaxiales, il se produit :

- Longitudinalement : un raccourcissement ΔL et la déformation est $\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L}$.
- Transversalement : un allongement Δl et la déformation est $\epsilon_2 = \frac{\Delta l}{l}$.

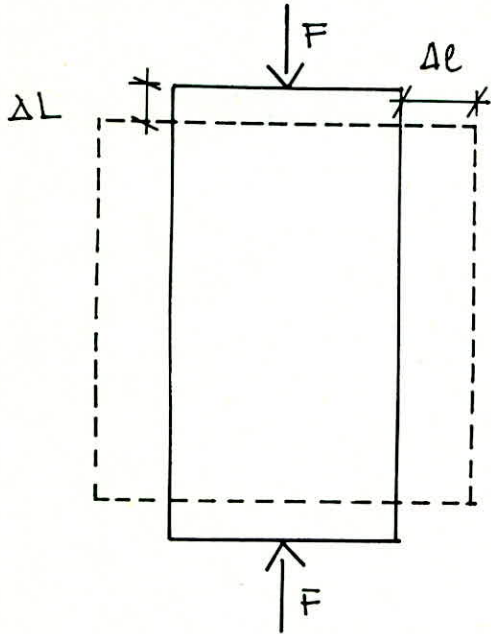
D'où les relations suivantes :

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

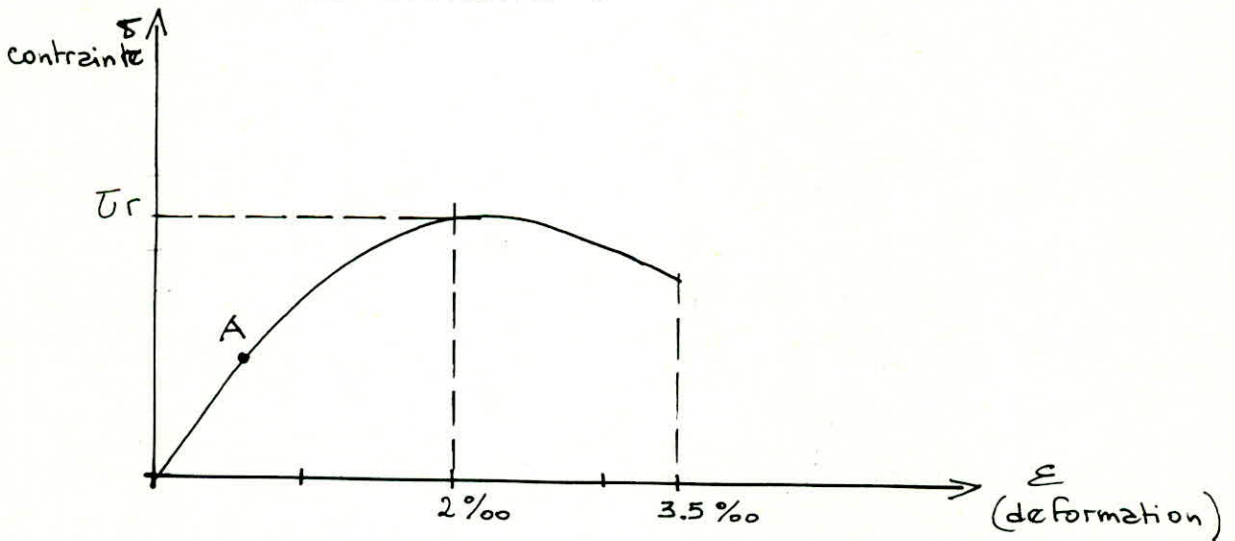
et

$$\sigma = E \epsilon$$

- ν : coefficient de poisson
- E : Module de Young longitudinal
- δ : Contrainte appliquée
- ϵ : Deformation engendree par δ



En general , l'allure de la courbe contrainte de formation est la suivante :



δ_r : Contrainte de rupture .

ϵ_r : Deformation pour δ_r

Le but de cet essai est de calculer le module de Young . On notera que plusieurs paramètres influent sur la valeur de E :

- Résistance du béton .
- Age du béton .
- Condition de conservation .

L'essai a été réalisé sur des éprouvettes âgées de 14 et 28 jours pour différentes compositions.

	Composition 1	Composition 2	Composition 3	Composition 4	Composition 5
Sable	1480	1480	1300	1300	1300
Ciment	350	350	350	350	350
Fines	—	—	0	50	100
Eau	280	250	245	268	292.5

Interpretation des Courbes

La courbe qui donne les variations des contraintes en fonction de la déformation pour le béton de sable est très proche de celle du béton classique.

Elle présente une phase élastique linéaire, où la déformation est proportionnelle à la contrainte appliquée

($\sigma = \epsilon E$, E est le module d'élasticité ou module de Young)

- Une phase plastique , ou la variation (σ, ϵ) est non linéaire jusqu'à la rupture de l'éprouvette.
- Le module ne pouvant être déterminé en un point arbitraire , il sera calculé à 30% de la contrainte de rupture . Pour un béton classique , ce coefficient varie entre 100.000 et 500.000 Kg/m^2 .

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

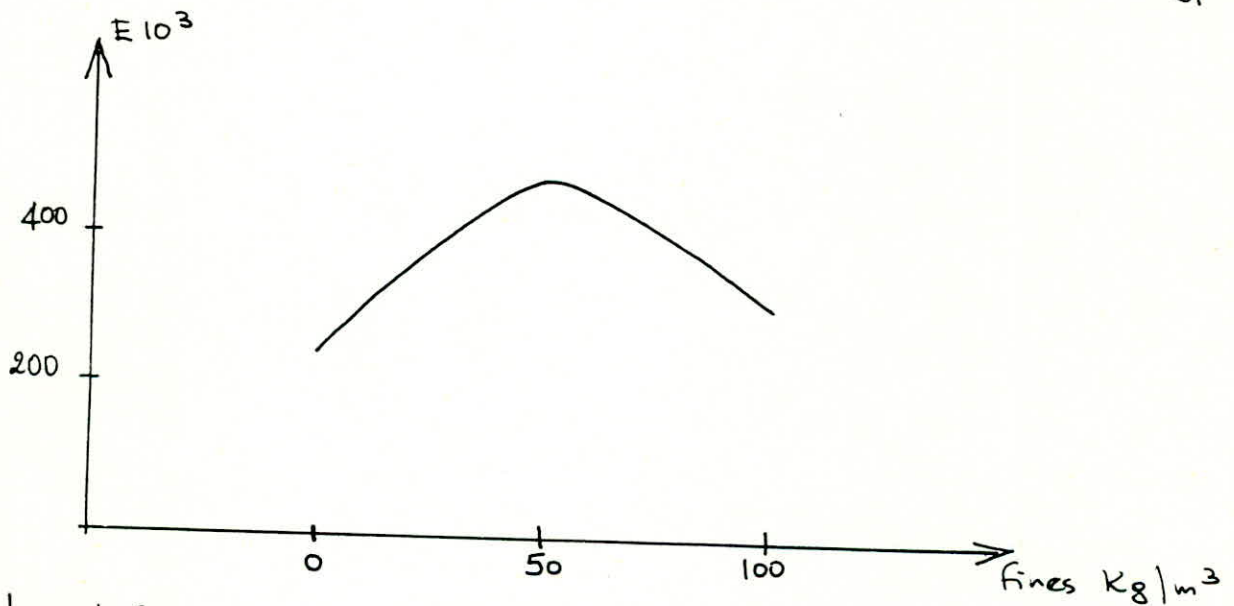
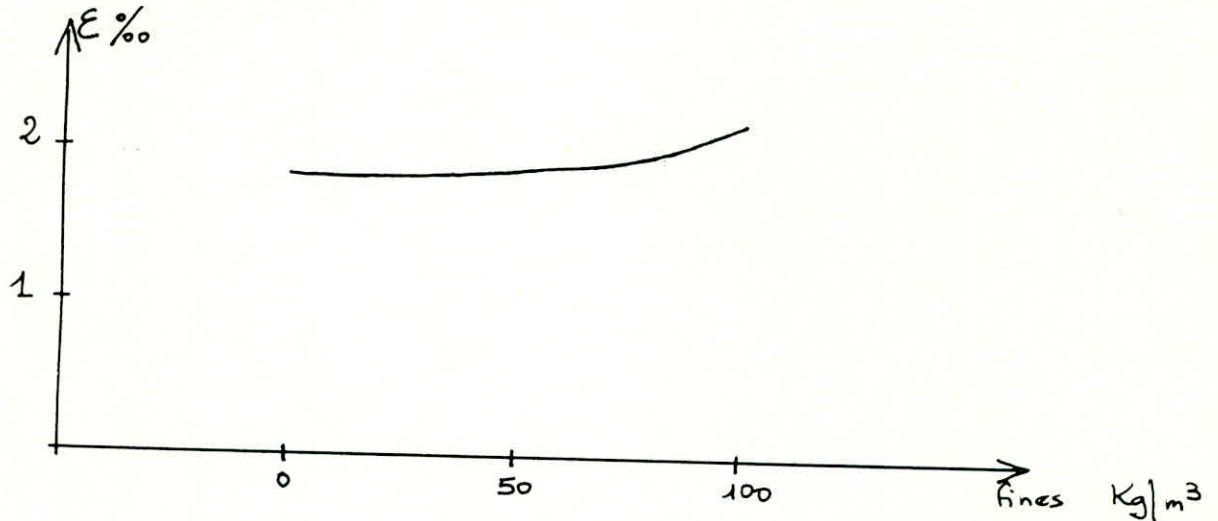
	ϵ_{14}	ϵ_{28}	σ_{14}	σ_{28}	E 14	E 28
Composition 1	2	1.9	150	165	204 545	235 714
Composition 2	—	1.75	—	198		330 000
Composition 3	—	1.85	—	230	—	246 000
Composition 4	2.1	1.91	145	242	140 000	480 000
Composition 5	2.35	2.2	165	247	186 000	306 000

On notera que :

- Les déformations à la rupture diminuent avec l'âge du béton et que le module d'élasticité "E" augmente

pour un béton plus âgé .

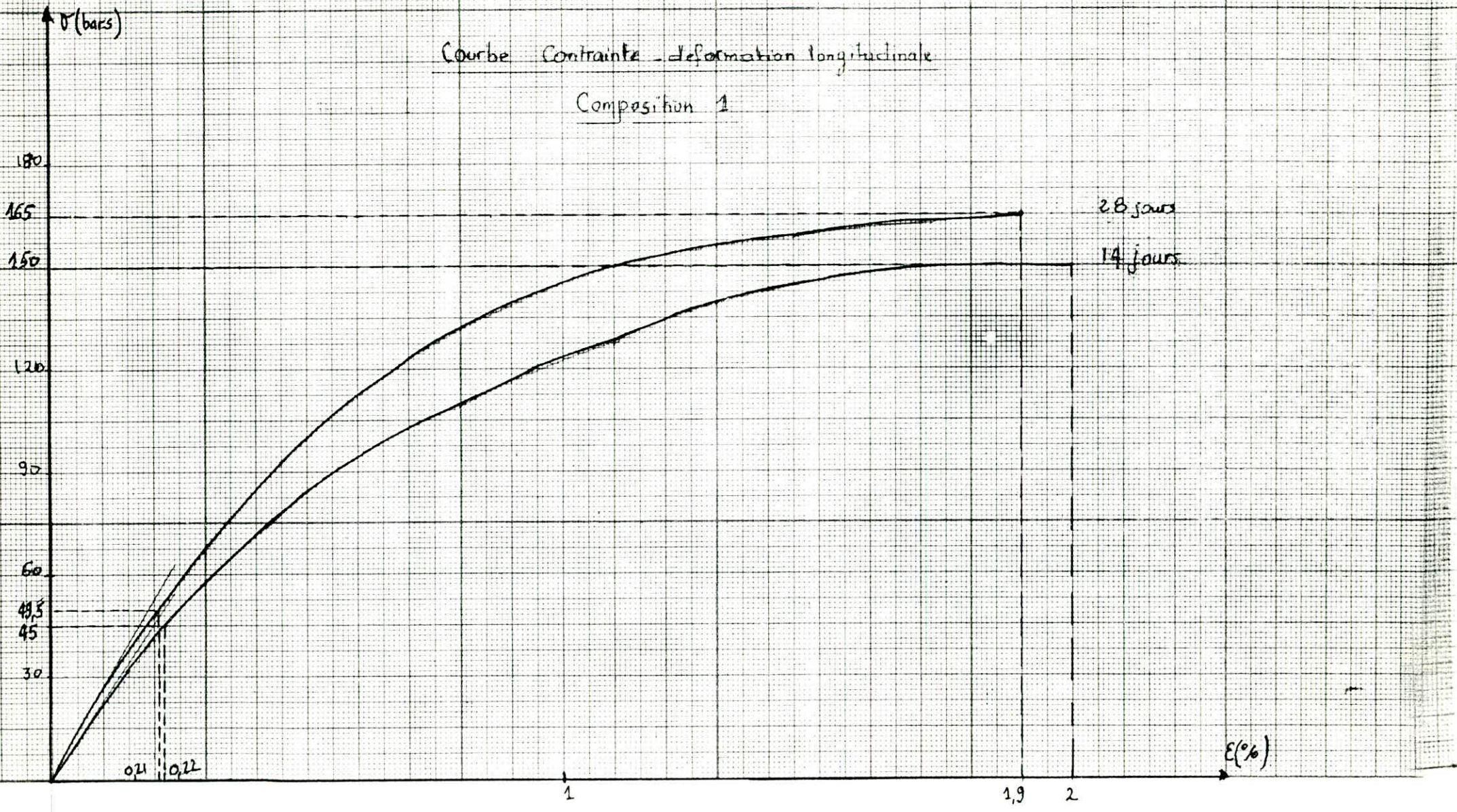
— Influence du dosage en fines sur la déformation longitudinale à la rupture et le module d'élasticité .



La déformation longitudinale à la rupture, et le module d'élasticité "E" croît avec le dosage des fines .

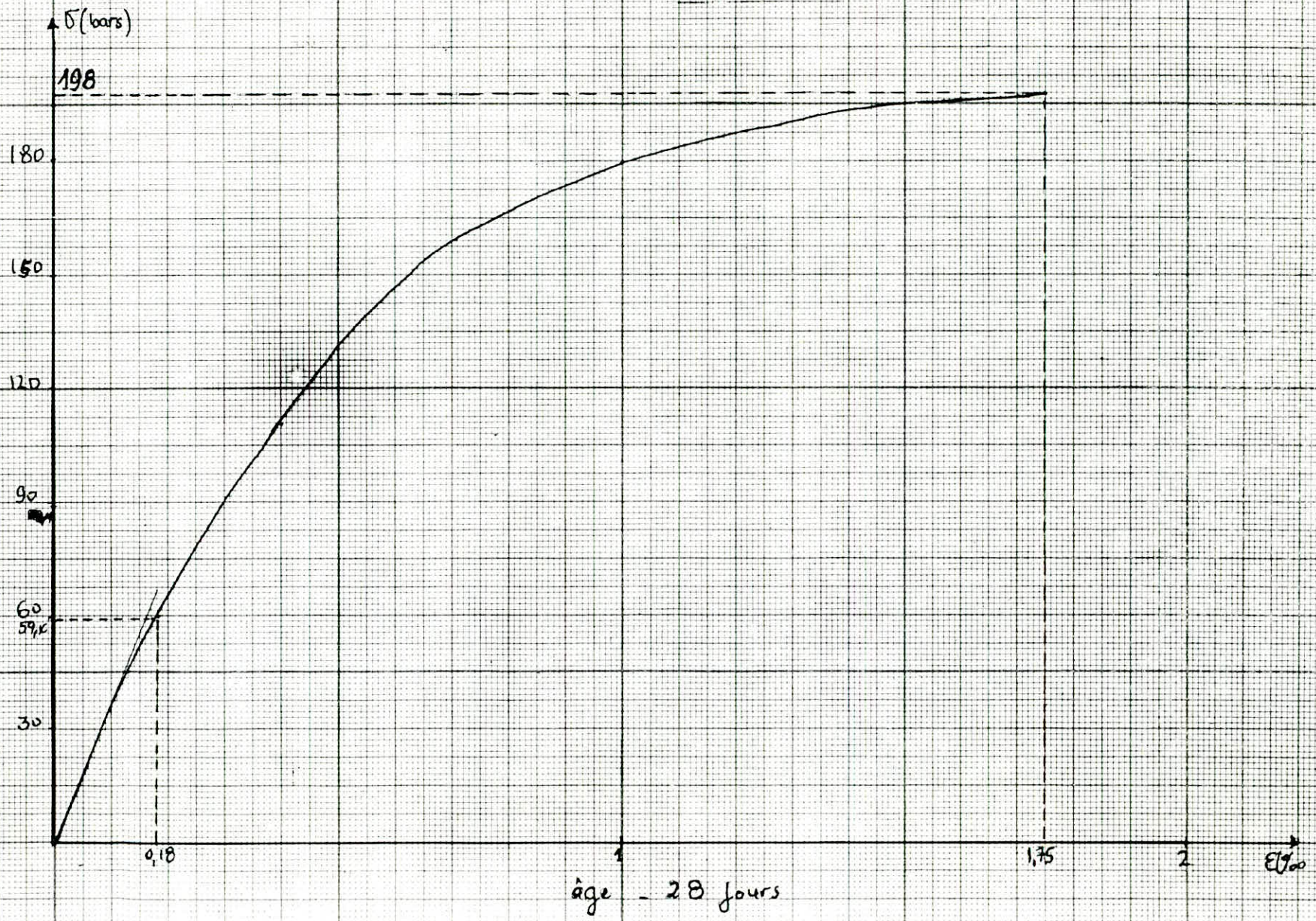
Rq : Les fines prolongent la phase élastique linéaire .
L'absence de fines entraîne une rupture brusque .

Courbe Contrainte - deformation longitudinale
Composition 1

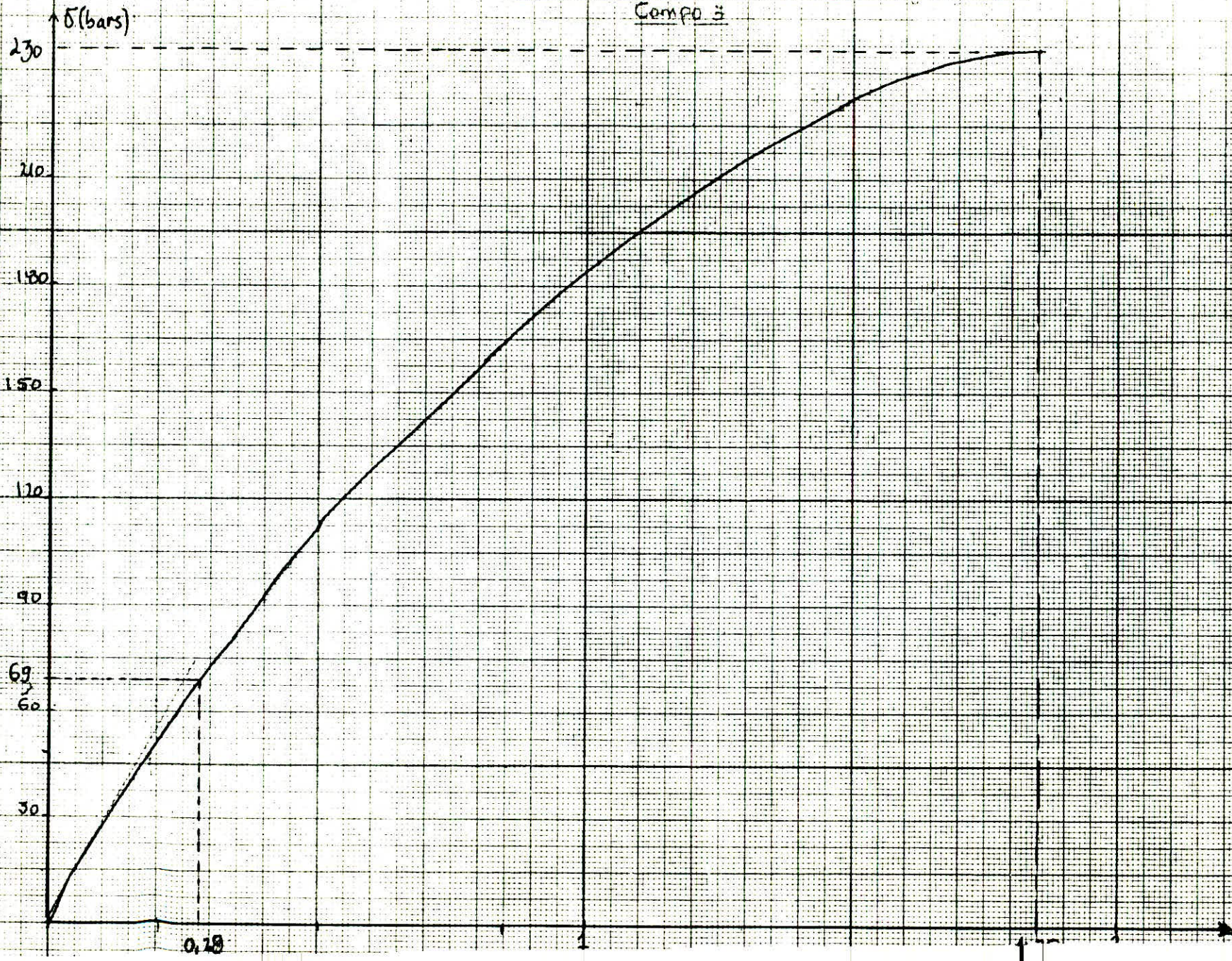


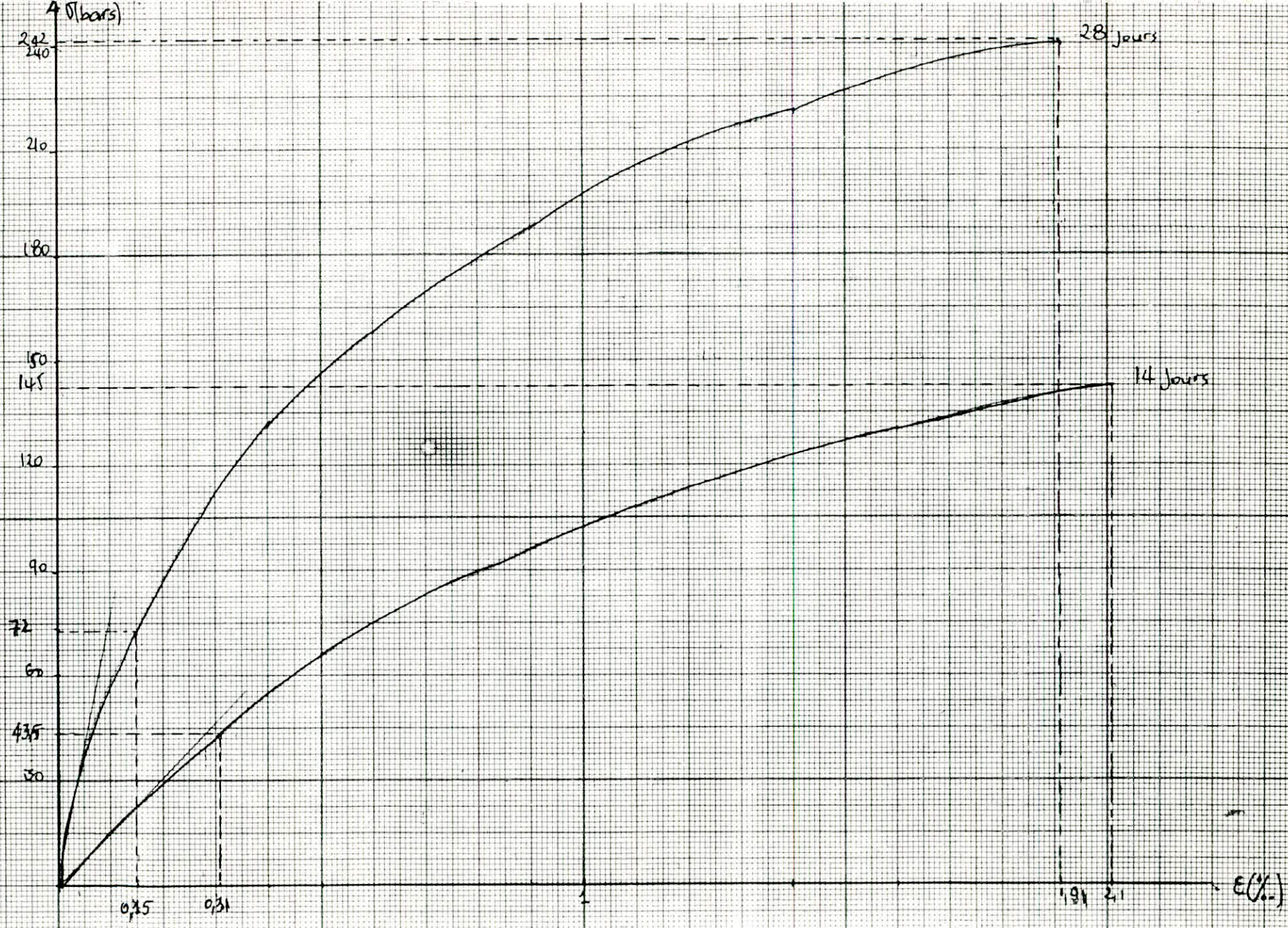
Courbe contrainte - deformation longitudinale

Compaction 2

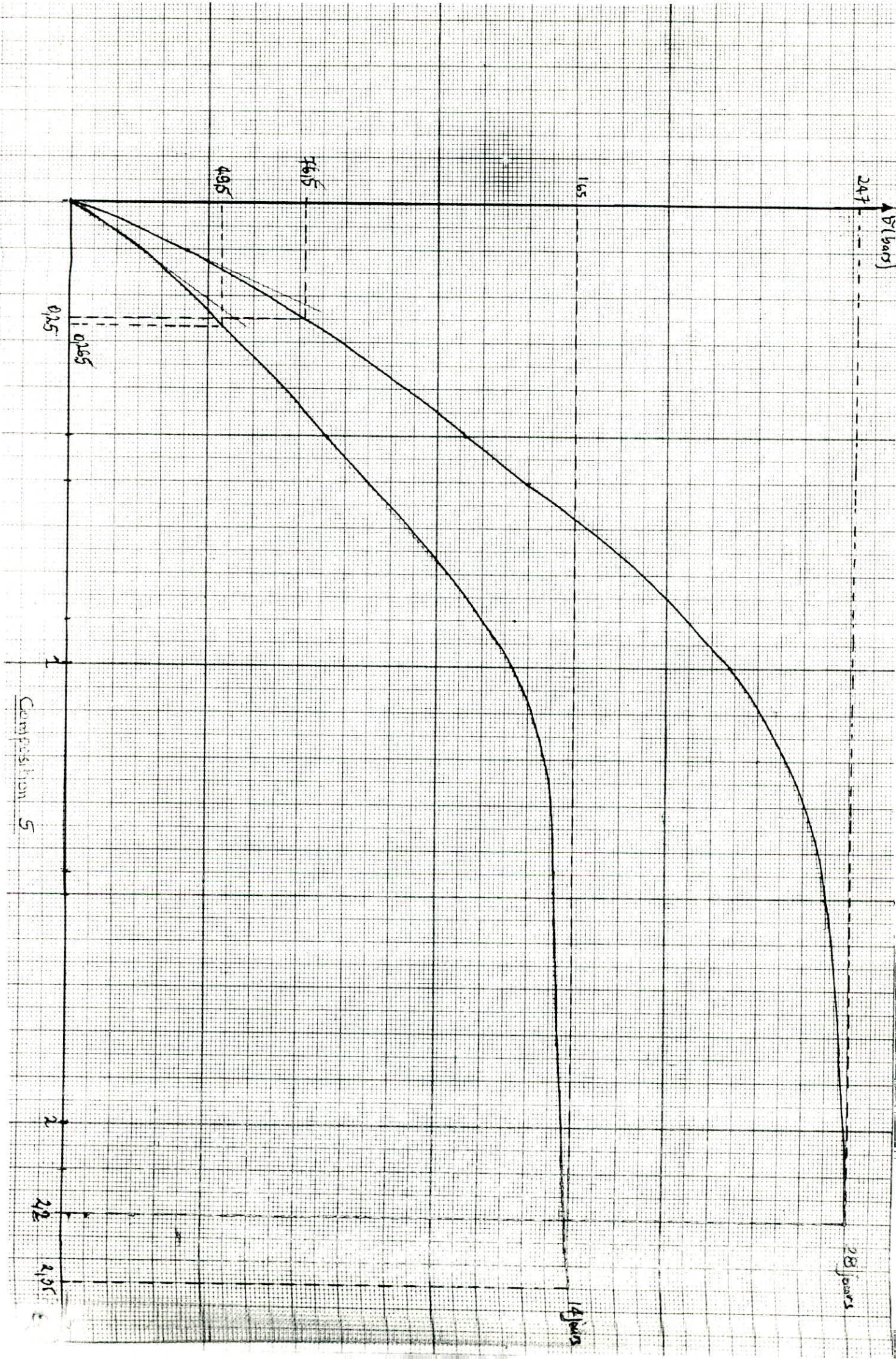


Courbe contrainte - déformation longitudinale
Compo 3





Composition 4



CHAPITRE SIX

ETUDE DE L'INFLUENCE

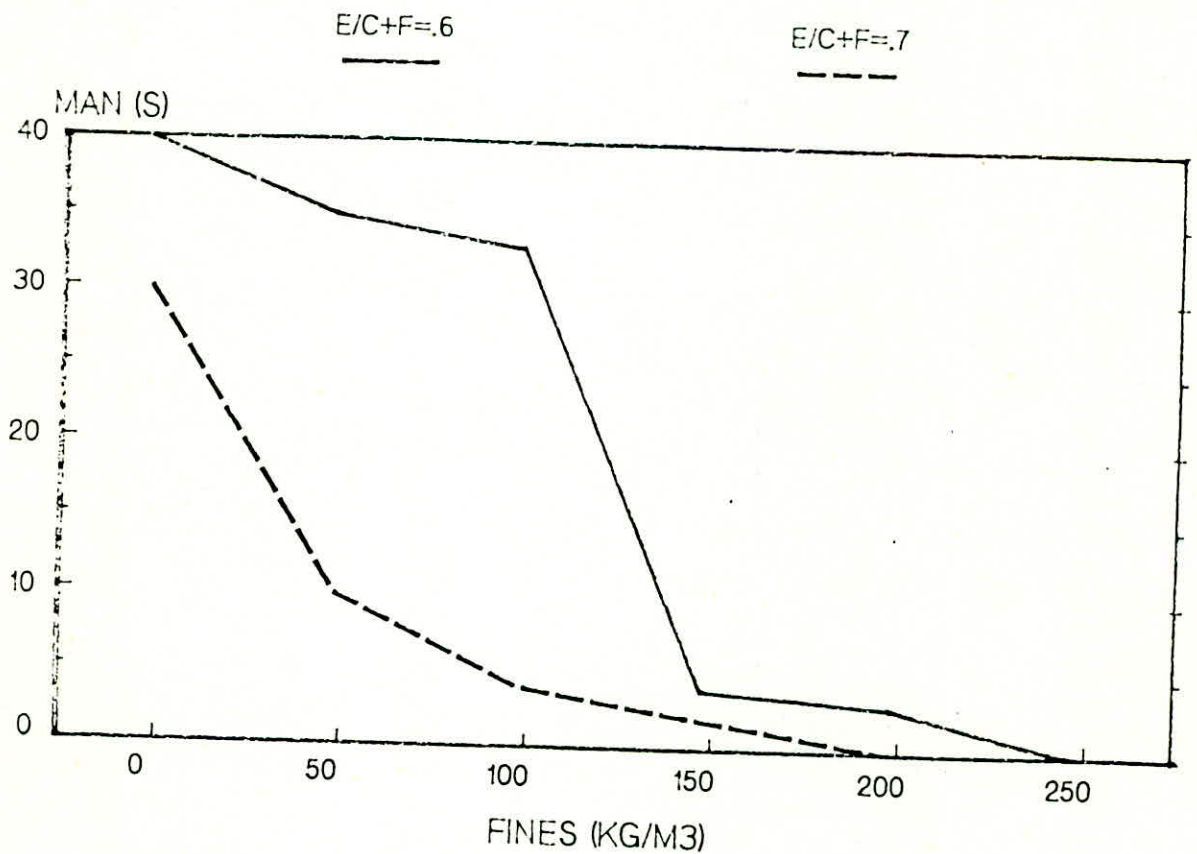
DE DIVERS PARAMETRES

SUR LES CARACTERISTIQUES

DU MATERIAU

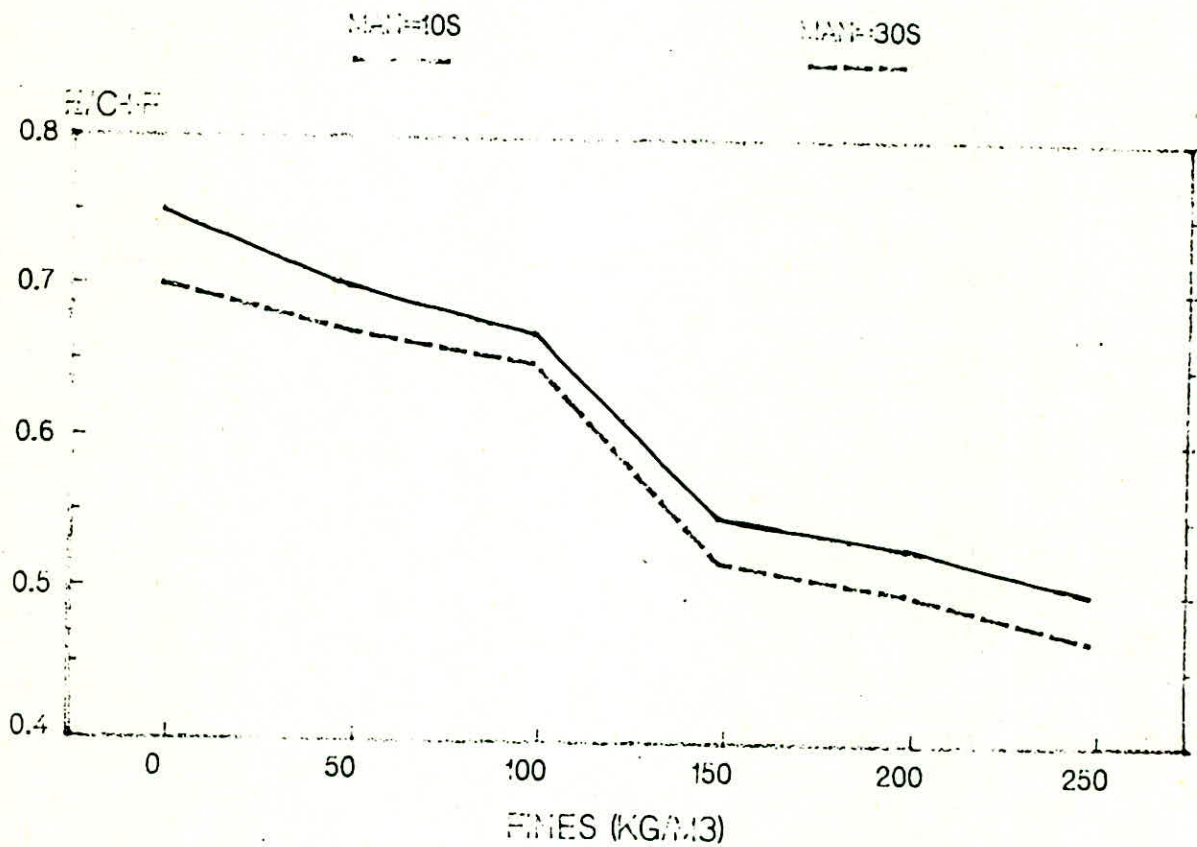
VI.1 MANIABILITE

VARIATION DE LA MANIABILITE EN FONCTION DES FINES
E/C+F CONSTANT

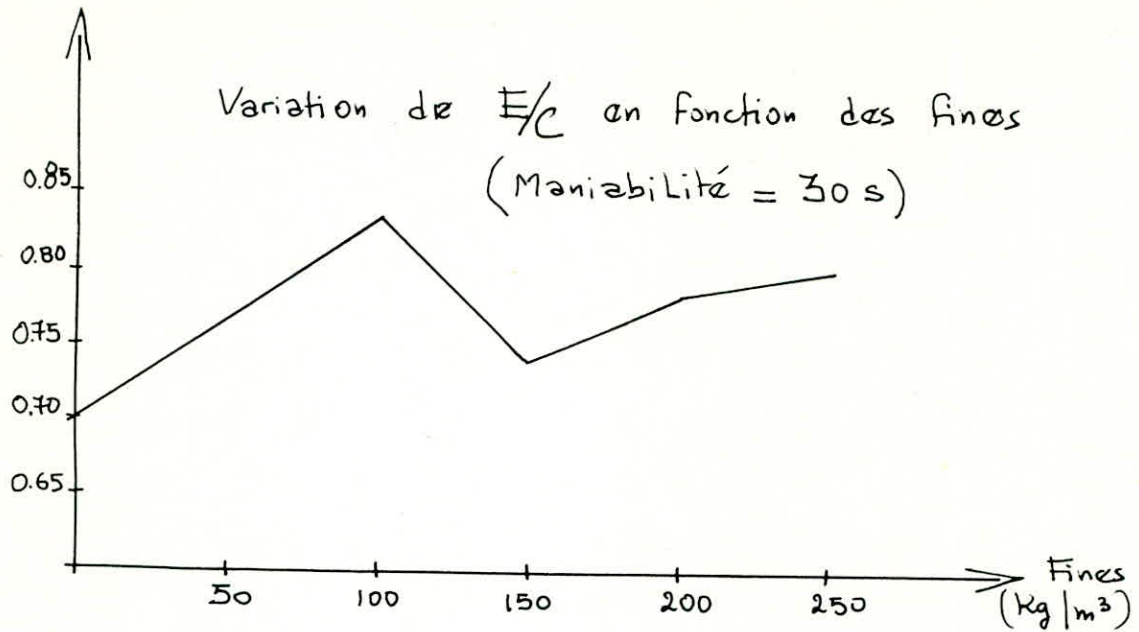


A $E/C+F$ constant, les fines améliorent la maniabilité.

VARIATION DE E/C+F EN FONCTION DES FINES MANIABILITE CONSTANTE



A maniabilité constante, $E/C+F$ diminue avec l'augmentation du dosage en fines.



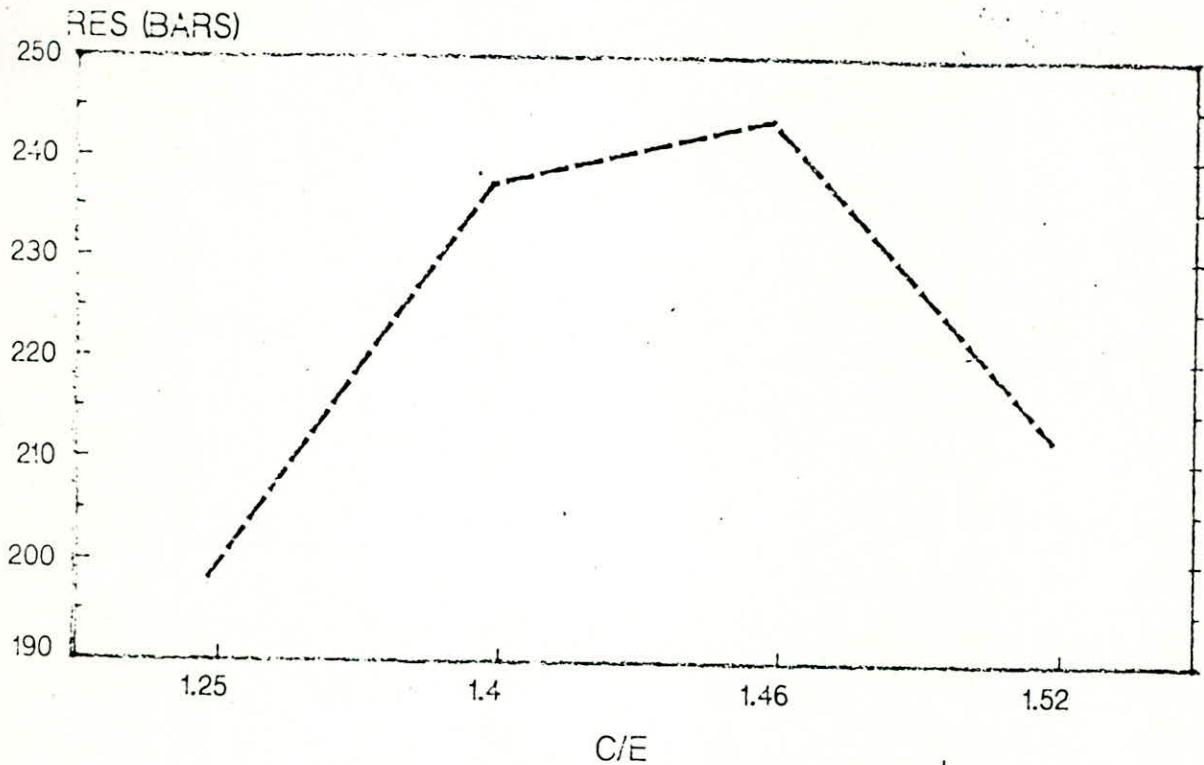
D'après ce graphe, nous remarquons :

- * de 0 à 100 Kg/m³ : Les fines exigent un surplus d'eau pour que l'ensemble garde une même ouvrabilité.
- * 100 à 150 Kg/m³ : Les fines contribuent dans l'ouvrabilité d'où la quantité d'eau diminue.
- * 150 à 250 Kg/m³ : Au delà de 150 Kg/m³, les propriétés des roches calcaires (celles d'absorber une certaine quantité d'eau) apparaissent.

Conclusion : Les fines améliorent l'ouvrabilité.

VI - 2 - RESISTANCES

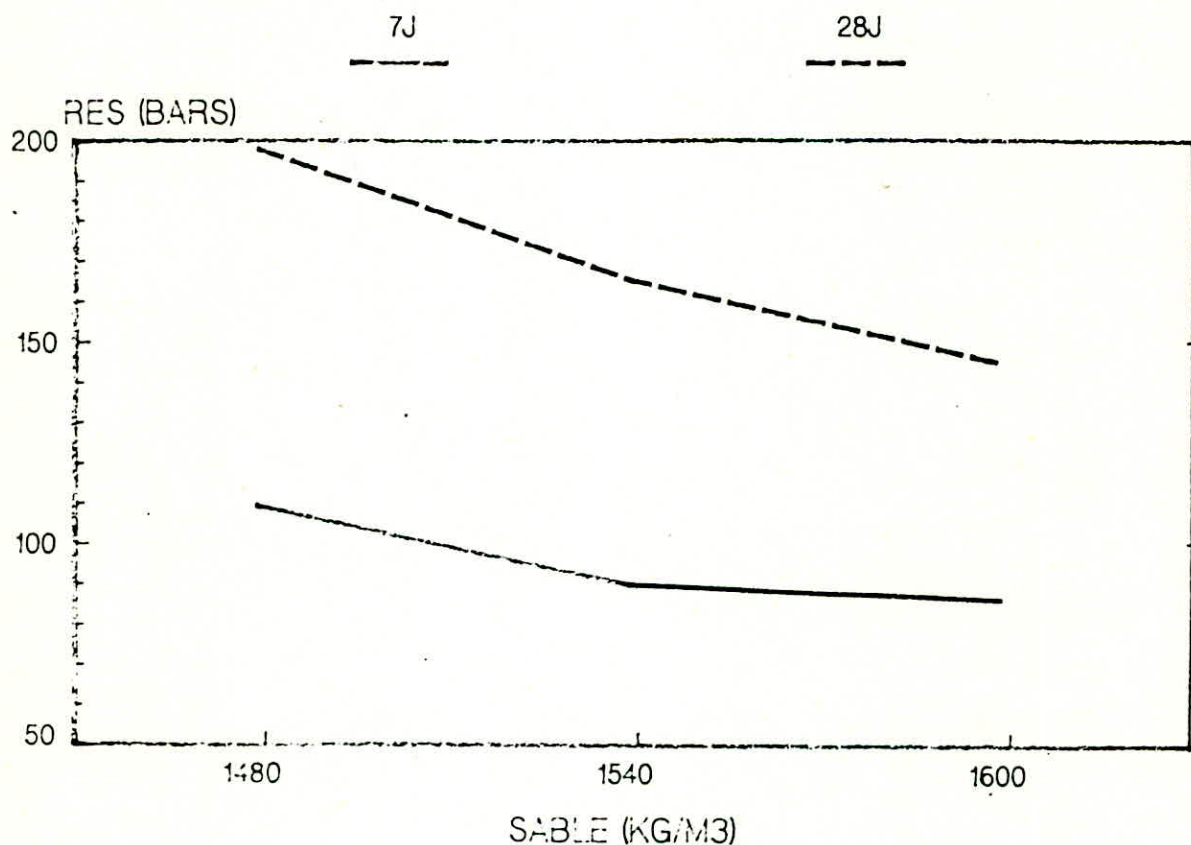
VI-2-1 SABLE NON LAVE 28J



INFLUENCE DE C/E SUR LA RESISTANCE

La courbe Resistance à la Compression en fonction du rapport C/E et régit par la même loi que pour les bétons courants, c'est à dire à serrage égal, une diminution d'eau fait chuter la résistance davantage que l'augmentation de la même quantité d'eau.

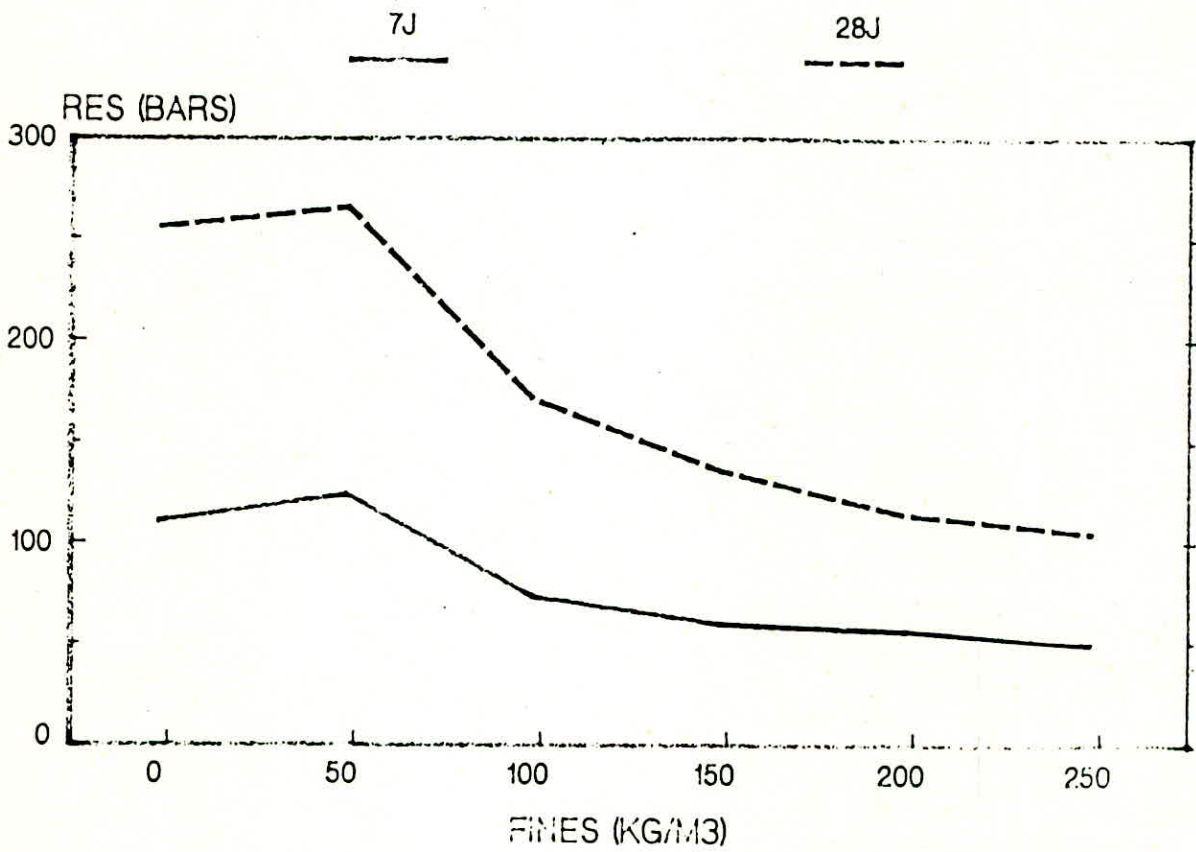
INFLUENCE DU DOSAGE EN SABLE SUR LA RESISTANCE MANIABILITE=30S



La diminution du dosage en sable fait augmenter
La resistance à la compression à ouvrabilité constante.

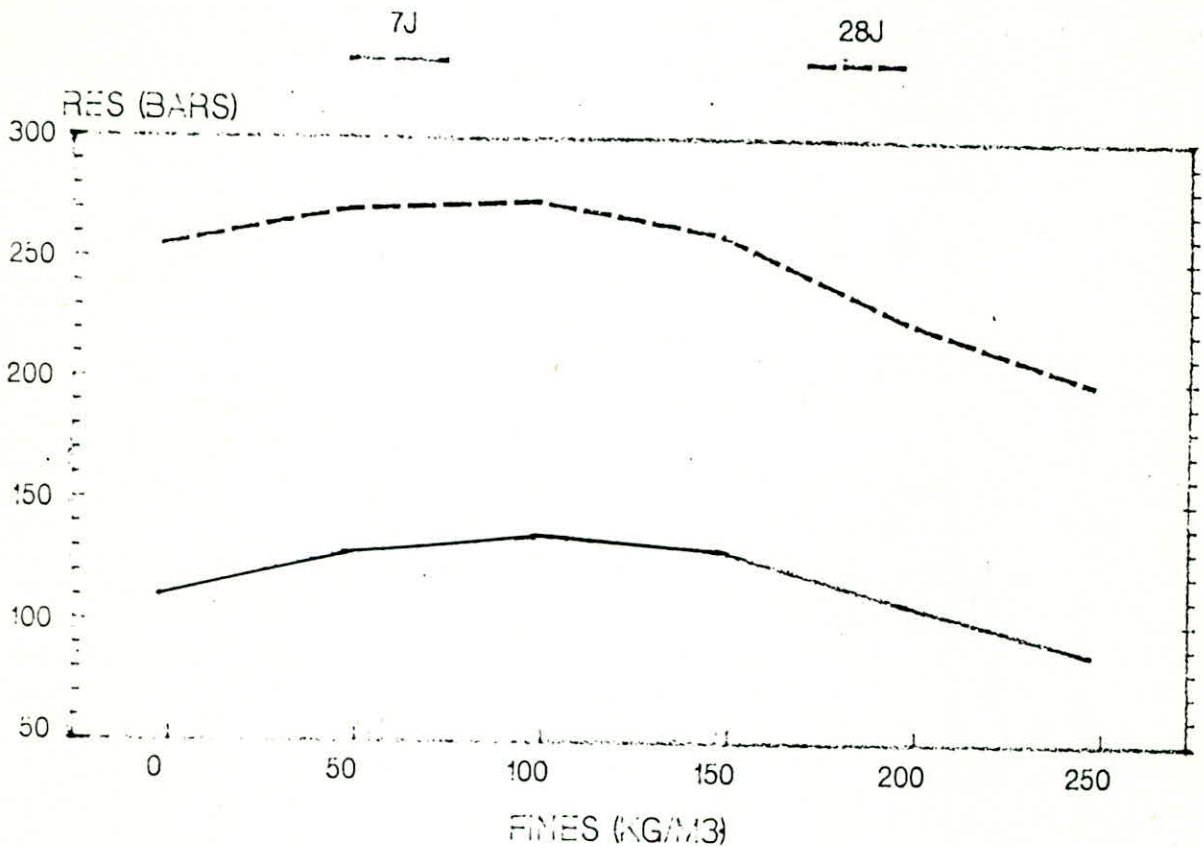
VI - 2 - 2 SABLE LAVÉ .

INFLUENCE DES FINES SUR LA RESISTANCE
E/C+F=.7



INFLUENCE DES FINES SUR LA RESISTANCE

MANIBILITE=30S



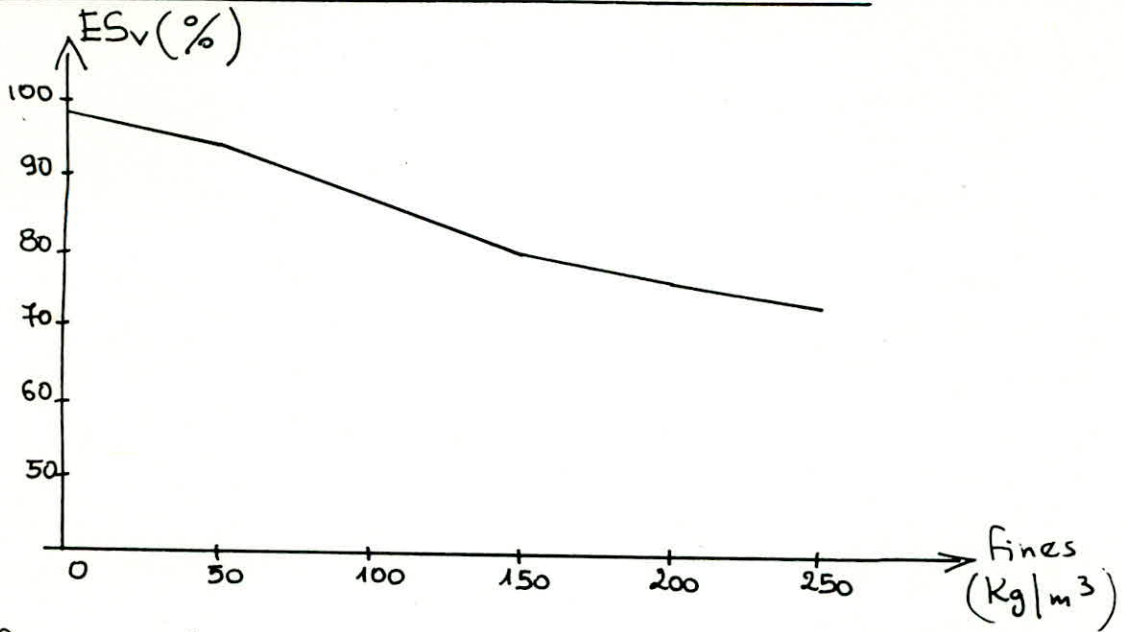
Des deux graphes precedants, on remarque que pour:

$E/C+F = 0.7$ L'optimum est pour 50 Kg/m^3 de fines
 (maniabilite = 10s , Resistance = 265 bars)

Maniabilite = 30s L'optimum est pour 100 Kg/m^3 de fines
 ($E/C+F = 0.65$, Resistance = 275 bars)

L'idee, de fixer l'ouvrabilite constante lors de la recherche de la composition optimale, se trouve justifiee par les resistances obtenues, superieur a celles obtenus a $E/C+F$

VI - 3 EQUIVALENT SABLE



On voit que le sable sans fines présente une équivalent sable ES de 98% (sable très propre) mais celui-ci décroît avec le dosage en fines, mais reste propre tant que la teneur en fines ne dépasse pas 200 Kg/m³ (13%).

VI - 4 ETUDE D'UN CAS DE "CHARGEMENT"

VI.4.1 DEFINITION.

Un beton de sable est dit "Chargé" lorsqu'on ajoute à celui ci une certaine quantité de gravillons tel que le rapport gravillon / Sable est inférieur à 1

$$G/S < 1$$

VI.4.2 CARACTERISTIQUE DU GRAVILLON UTILISE

C'est le gravillon 3/8 de la carrière JOBERT

GRANULOMETRIE DU GRAVILLON

Maille mm	Refus	Refus cumulés	Refus cumulés %	Tamisé %
8.0	0	0	0	100
6.3	90.42	90.42	4.521	95.479
5.0	383.54	473.96	23.698	76.302
4.0	462.46	936.42	46.821	53.179
3.15	488.24	1424.66	71.233	28.767
2.5	484.6	1909.26	95.463	4.537
2.0	90.2	1999.46	99.973	0.027

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

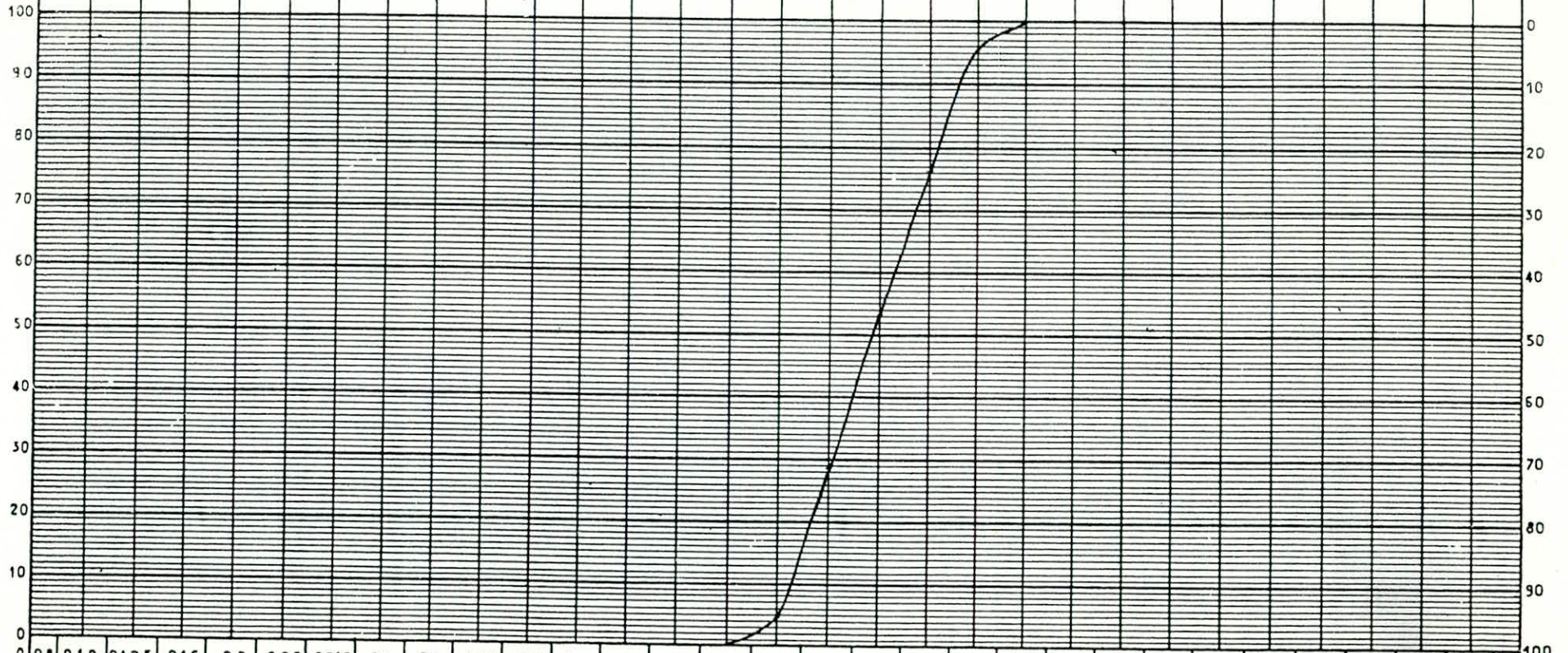
Norme NF P 18-304

TAMIS

Série supplémentaire
Quantité élémentaire
en %
Quantité cumulée
en %

0,090	0,112	0,140	0,180	0,224	0,280	0,355	0,45	0,56	0,71	0,90	1,12	1,40	1,80	2,24	2,80	3,55	4,50	5,60	7,10	9	11,2	14	18	22,4	28	35,5	45	56	71		

TAMIS EN %



TAMIS

Série principale
Quantité élémentaire
en %
Quantité cumulée
en %

0,08	0,10	0,125	0,16	0,2	0,25	0,315	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	

- DIMENSIONS RECOMMANDÉES

OBSERVATIONS :

DÉSIGNATION DU GRANULAT :

VI.4.3 EFFET DU CHARGEMENT

A - Sable non Lavé

Un chargement a été opté avec deux (02) valeurs de G/S pour voir l'effet de ce rapport sur les valeurs des résistances, ainsi que sur l'ouvrabilité.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant:

Formules	1	2	3	4	5	
Ciment Kg/m^3	350					
Sable Kg/m^3	1480					
Gravillons Kg/m^3	0	370	740	370	740	
Eau l/m^3	280	280	280	315	315	
F/C	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	
G/S	0	0.25	0.5	0.25	0.5	
Ouvrabilité S	30	33	38	26	30	
Masse Volumique Kg/m^3	7 jours	2274	2360	2263	2259	
	28 jours	2208	2274	2371	2250	2206
Résistance Neca- dan/cm^2 Compression	7 jours	109.5	74.83	105.4	59.18	91.6
	28 jours	198	174.9	195.6	131.6	180.36
Traction	28 jours	18.5	21.6	21.97	15.7	15.68

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le chargement affecté à la composition retenue n'améliore pas la résistance à la compression, et diminue l'ouvrabilité du béton par contre il améliore la résistance à la traction de :

18 % pour $G/S = 0.5$

17 % pour $G/S = 0.25$

B - Sable Lavé

Le chargement des compositions avec le sable lavé a été opté pour deux (02) compositions de différents dosage en fines (0 et 50 kg/m^3) avec variation de deux (02) paramètres :

* G/S

* $E/C+F$

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux suivants :

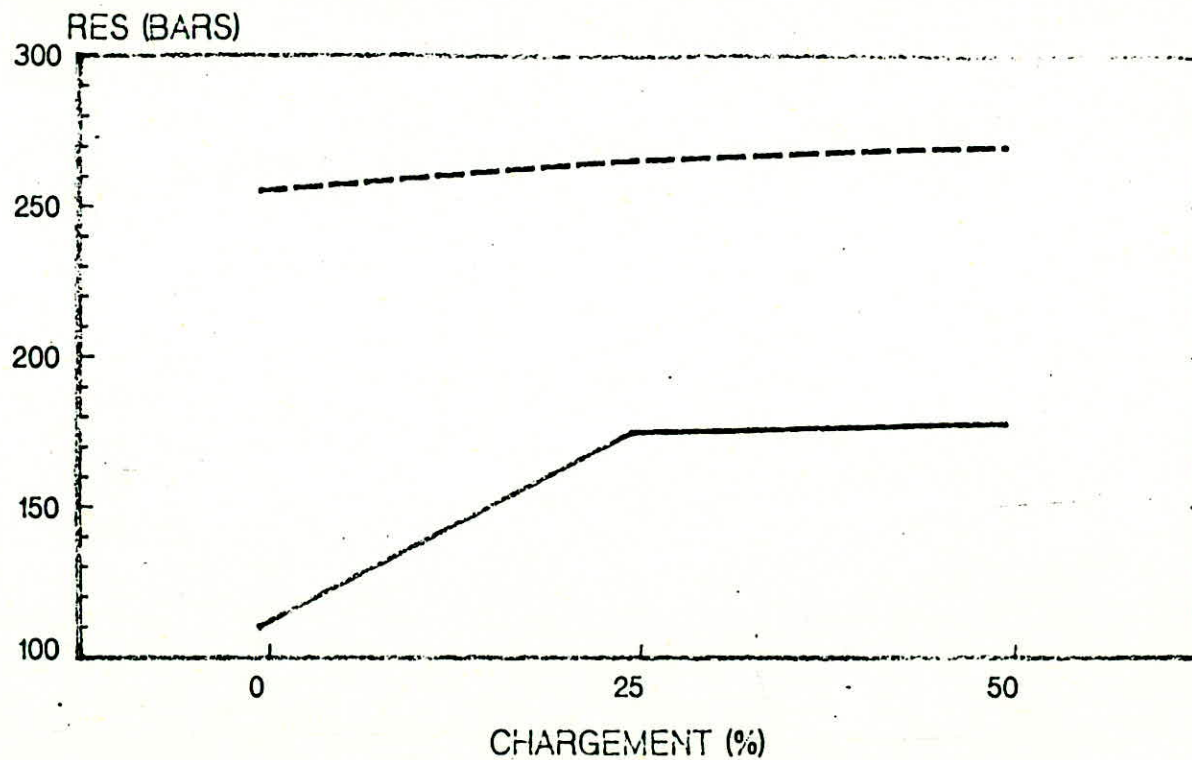
Ciment Kg/m ³	350						
Sable Kg/m ³	1300						
Fines Kg/m ³	0						
Gravillon Kg/m ³	0	325	650	650	650		
Eau L/m ³	245	245	245	280	315		
E/C+F	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9		
G/s	0	0.25	0.5	0.5	0.5		
ouvrabilite s	30	33	38	30	26		
Masse Volumique Kg/m ³	7 jours	2270	2380	2400	2300	2278	
	28 jours	2128	2278	2415	2324	2312	
Resistance Mec N/cm ²	Compression	7 jours	110.2	175.1	178.5	163.94	102.38
		28 jours	255.35	265.8	270.45	240.94	138.77
Traction	28 jours	16.99	18.42	24.2	23.22	17.14	

Ciment Kg/m ³	350					
Sable Kg/m ³	1300					
Fine Kg/m ³	50					
Gravillons Kg/m ³	0	325	650	650		
Eau L/m ³	280	280	280	320		
E/c+f	0.7	0.7	0.7	0.8		
G/s	0	0.25	0.5	0.5		
ouvrabilité (s)	10	22	30	26		
Masse Volumique Kg/m ³	7 jours	1940	2113	2390	2230	
	28 jours	2187	2190	2412	2250	
Resistance Mec dan/cm ²	Compression	7 jours	123.81	178.35	186.73	114.82
		28 jours	265.3	270.2	278.88	151.83
Traction	28 jours	17.45	18.42	29.6	20.72	

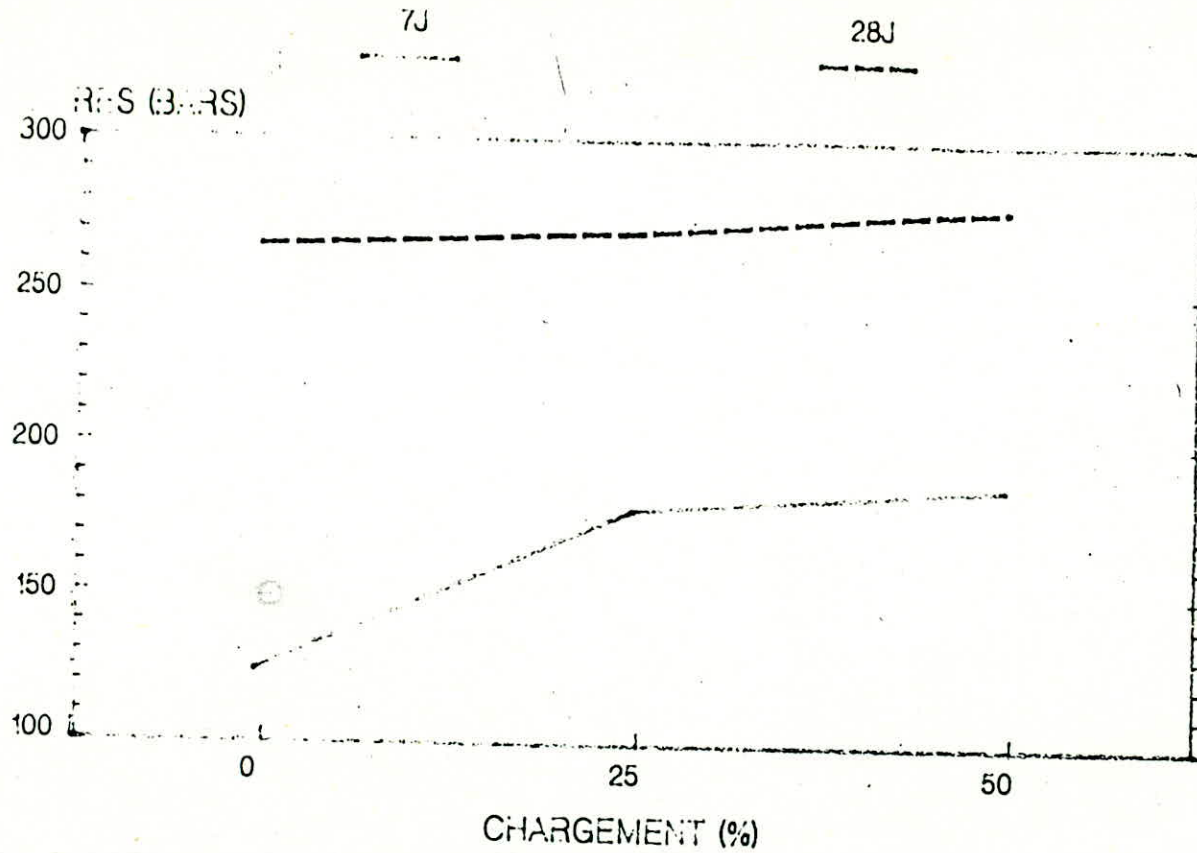
INFLUENCE DU CHARGEMENT SUR LA RESISTANCE
0 KG DE FINES/M3 E/C+F=.7

7J

28J



INFLUENCE DU CHARGEMENT SUR LA RESISTANCE
50 KG DE FINES M3 E/C 44-7



- 95 -

Les résultats obtenus avec ce chargement montrent une faible augmentation des résistances mécaniques de :

* 3% pour $G/S = 0.25$ } en Compression
* 5% pour $G/S = 0.5$ }

* 8% pour $G/S = 0.25$ } en traction
* 50% pour $G/S = 0.5$ }

tout en gardant une bonne ouvrabilité.

Remarque :

Il aurait été intéressant d'étudier l'effet du chargement sur le retrait.

VI - 5 EFFET DE LA CHAUX

Les propriétés pouzzolaniques de nos fines pourront permettre une diminution des dosages en ciment sans pour cela faire chuter de beaucoup la résistance à la compression. D'où on a pensé à remplacer 50 kg de ciment pour 100 kg de chaux afin de :

- Rendre le béton plus économique.
- Diminuer le retrait, sachant que le retrait est directement lié avec le dosage en ciment et que la chaux provoque un retrait moindre que le ciment.

Essai : On a confectionner des éprouvettes (7 x 7 x 28 cm) avec différentes compositions.

Ces éprouvettes ont été conservées pendant 6H dans une chambre climatique avec $T=60^{\circ}\text{C}$ H.R.=70% les résultats sont présentés dans le tableau suivant:

Composition	Sable Kg/m^3	Ciment Kg/m^3	Chaux Kg/m^3	Fines Kg/m^3	Eau L/m^3	Resistance à la Compress daN/cm^2
1	1300	350	0	0	245	99
2	1300	350	100	0	245	80
3	1300	350	0	50	268	121
4	1300	350	100	50	269	108

on a :

$$\frac{\text{Resistance de La composition 2}}{\text{Resistance de La composition 1}} = 0.8$$

$$\frac{\text{Resistance de La Composition 4}}{\text{Resistance de La composition 3}} = 0.9$$

On voit que pour la composition 1 (sans fines), la chute de résistance est de 20%, tandis que pour la composition 3 (50 Kg/m^3 de fines), la chute de résistance est de 10%.

Remarque : Le nombre d'essais est insuffisant pour avancer des conclusions.

CHAPITRE SEPT

CONCLUSION

VII - 1 CONCLUSION

Pour conclure notre étude, nous dirons sous-reserves en attendant d'autres études, que le béton de sable de concassage à des dispositions lui permettant d'être utilisé comme matériau structural tout en gardant son aspect économique. Les fines, considérées comme polluant du sable, pourront améliorer les caractéristiques de ce dernier et celle du béton à condition qu'elles soient utilisées en proportions limitées.

Notre étude a abouti à une composition donnant un béton avec de bonnes propriétés rhéologique (ouvrabilité) et une résistance à la compression dépassant les limites inférieures imposées aux matériaux structuraux.

Dans le futur, nous souhaiterions que d'autres études soient menées de façon à compléter nos résultats et améliorer les performances du béton de sable de concassage.

VII - 2 PERSPECTIVE D'AVENIR

L'état actuel des connaissances sur le béton de sable ne peut prétendre que celui-ci remplace les bétons traditionnels. Même si celui-ci, sans faire appel à des propriétés particulières, peut conduire à des économies.

Il est clair que des investigations poussées devront être effectuées pour une meilleure connaissance des caractéristiques mais aussi des comportements de béton de sable. Cela portera sur :

- Le retrait
- Etude du module d'élasticité.
- Ouvrabilité
- Adhérence Acier-Béton.

Et surtout le comportement au fluage.

Ainsi, on pourra étudier l'apport des fines ; qui reste le problème majeur de ce type de sable ; sur les caractéristiques citées ci-dessus. Ce qui mènera le matériau à son exclusion pour toute utilisation en élément de structure.

Bibliographie

- LANCHON : Cours de Laboratoire, Grannulats, Béton, Sol
- GORISSE : Essai Contrale du béton "Ed Eyrolles"
- DREUX : Nouveaux guide du béton
- KDMAK : Matériaux et élément de construction
- RI : Matériaux de construction "Ed : CCS"
- CNERIB : Utilisation du béton de sable
- CEBTP : Synthèse des connaissance du béton de sable
- Laboratoire Regionale de Bordeaux : Les bétons de sable
- RILEM : Interaction entre patte intersticielle et grannulats
Sable Calcaire à Fin argileuse
- These de Fin d'étude - Béton de sable Juin 85, 86, 87 Janvier 86, 87
- Norme Française Afnor
- Norme Americaine A.S.T.M

