

9/86  
2EX

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: DE GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

BETON DE PLATRE

Proposé par :  
CNERIB

Etudié par :  
BENATIA M. HADI  
FEKHAR MOHAMED

Dirigé par :  
M. A. CHARIF

PROMOTION :  
JANVIER '86

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: DE GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

BETON DE PLATRE

Proposé par :

C.N.E.R.I.B

Etudié par :

BENATIA M. HADI

FEKHAR MOHAMED

Dirigé par :

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

PROMOTION :

JANVIER '86

A tous ceux avec qui j'ai eu l'honneur de travailler et d'étudier, à ma famille à mes parents je dédie ce modeste travail.

Beut

---

~ El. Hadi ~

A la mémoire de mon père  
à ma mère  
à mes frères et sœurs  
à ma famille  
à tous mes amis.

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

El. Hadi

Ministère de l'enseignement supérieur

Ecole polytechnique.

Département : Génie Civil.

Promoteur : M<sup>r</sup>. A. CHARIF

Élèves ingénieurs : M<sup>r</sup>. BENATIA M.H

M<sup>r</sup>. FEKHAR. M.

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات



مصلحة : الهندسة المدنية

موجه : السيد ع. شريف

تلميذ مهندس : بن علي م. ه.

فخار محمد

الموضوع : البيطون الجبسي  
الملخص : الهدف من هذا المشروع هو دراسة عينات من البيطون المكون من الجبس بإضافة مواد مساعدة .  
ويهدف هذا العمل إلى تقييم ثروة جيولوجية محليات وهي الجبس - الموحود بوفرة في نواحي الجنوب .

Subject : Béton de plâtre.

Résumé : L'objectif de ce projet est d'étudier des compositions de béton de plâtre avec adjonction d'adjuvants .  
Notre travail vise la valorisation d'une ressource géologique locale " gypse " qui abonde dans les régions du sud

Subject : gypsum Concrete.

Abstract: the aim of this project is to study concrete mixes based on gypsum with additives .  
Our work aspire to exploit a local geological resource gypsum which abound in the south régions of Algeria.



## ~ Remerciements ~

- Que Monsieur CHARIF trouve ici l'expression de notre gratitude pour son aide et son soutien.
- Nous tenons à remercier mademoiselle DEBOUCI pour l'attention accordée à ce projet ainsi que Monsieur ZOUAD pour son aide et son soutien moral.
- Nous remercions également tous les enseignants de l'école polytechnique qui ont participé de près ou de loin à notre formation.
- 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 sans oublier Monsieur MOUAICI.



# - Sommaire -



## Introduction.

### I. Objectifs et présentation de l'étude.

- 1- Objectifs de l'étude.
- 2- Présentation de l'étude.

### II - Synthèse bibliographique.

#### A. Généralités sur le plâtre.

- 1- gypse.
- 2- principaux gisements de gypse.
- 3- Le plâtre.
- 4- Propriétés physique du plâtre.

#### B. Béton de plâtre.

### III - Caractéristiques des matériaux.

#### A. Etude des granulats.

- 1- Etude granulométrique.
- 2- Masse volumique apparente et masse spécifique.
- 3- Compacité.
- 4- Equivalent de sable.

#### B. Des adjuvants du plâtre.

- 1- Retardateur de prise.
- 2- Chaux.

#### C. Caractéristiques du plâtre.

1. Masse volumique apparente.
2. " " absolue.
3. gâchage à saturation.
4. Détermination des temps de prise.
5. Influence du retardateur sur la prise.
6. " de la chaux sur la prise.
7. Résultats d'essai mécaniques.

#### IV - Généralités sur les essais.

##### A. Dispositions Communes.

1. Malaxage.
2. Serrage du béton.
3. Conservation des éprouvettes.

##### B. Propriétés du béton durci.

1. Caractéristiques mécaniques.
2. Etude extensométrique.
3. Retrait.

#### V. Etude du béton.

##### A. Généralités sur la composition granululaire des béton.

1. Méthode Valette.

2. " Faury.

##### B. Méthode utilisée.

##### C. Exemple pratique de composition d'un béton.

##### D. Les différentes compositions.

1. Composition à base de 5/15 et 3/8.

2. " " " de 5/15.

3. Autres compositions.

#### VI. Conclusion :

## I. INTRODUCTION

Le but - L'objectif de notre étude s'insère, dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et de réduire l'usage abusif des matériaux classiques, non adaptés aux conditions climatiques. (ciment, béton de ciment), ou non disponible dans les régions du sud et des hauts plateaux. (produits rouges) par l'utilisation rationnelle d'un produit localement disponible.

Vu les grandes réserves de gypse situées en grande partie dans les régions du sud, on a pensé qu'une industrialisation de produits à base de plâtre est nécessaire.

Notre étude consiste à élaborer une méthode de composition d'un béton de plâtre.



# I. Objectif et présentation de l'étude.

## 1. Objectif de l'étude.

Le gypse est un matériau très ancien utilisé par les égyptiens, les grecs, les phéniciens.

Le plâtre est un matériau qui a évolué afin de mieux répondre aux exigences et aux besoins des bâtisseurs d'aujourd'hui.

Notre soucis majeur ne peut se limiter à l'acquisition du geste ou à l'imitation du passé mais à une exploitation rationnelle de nos ressources locales.

Les gisements de gypse abondent dans notre pays et sont à portée de la main.

Le climat ensoleillé du sud Algérien, la sécheresse de l'air constituent des éléments favorables pour les constructions en plâtre.

La production d'une tonne de plâtre nécessite moins d'énergie qu'une tonne de ciment.

L'idée de béton à base de plâtre a toujours intéressé certains chercheurs, et il est possible d'augmenter la résistance d'un béton de plâtre au delà de celle du plâtre pur.

## 2 - Présentation de l'étude.

L'étude d'une composition de béton consiste presque toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielles : résistance et ouvrabilité.

Disposant d'un certains types de granulats, granulats 5/15,  $\frac{3}{4}$  et sable d'oued on essaye de trouver une formule granulométrique la mieux adapter pour le plâtre. Pour de nous donc, l'idée de rechercher une méthode de composition car les théories relatives au béton sont nombreuses.

Nous pensons qu'aujourd'hui on sait faire du béton grâce aux travaux de nombreux chercheurs. L'exploitation de méthodes déjà existantes, la connaissance des principales caractéristiques des matériaux (granulats, plâtre) nous a poussé à une recherche dont nous allons exposer les principes.

## II - Synthèse bibliographique -

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة - BIBLIOTHEQUE  
الكلية الوطنية Polytechnique

### A. Généralités sur le plâtre

#### 1. Gypse :

Le gypse désigne l'espèce minérale naturelle de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . (sulfate de calcium dihydrate)  
Cette formule s'applique aussi à la phase artificielle que constitue le gypse cuit et réhydraté, obtenu à partir des produits de cuisson mis en présence d'eau ainsi qu'aux gypses synthétiques sous produits résultant de la fabrication de produits chimiques. (phosphogypse, fluorogypse, borogypse, etc...).

Le gypse naturel est une roche sédimentaire, souvent associée à des marnes dissoutes à l'origine dans l'eau de mer, sous l'influence d'un climat chaud et sec tel que celui compris entre le tropique du cancer et la méditerranée, les lagunes marines se sont évaporées déposant le gypse.

#### 2. Principaux gisements de gypse :

Les études géologiques réalisées jusqu'à ce jour ont permis la localisation de gisements de gypse. La qualité du gypse doit être d'un minimum requis pour le produit désiré, Normalement, plus de 75 % de gypse pour les produits à base de plâtre.



Les gisements ou indices dont la teneur en gypse est inférieure à 75 % peuvent être exploités par les cimenteries. Il est à noter que l'extrême sud est en cours d'exploitation.

### 3. Le plâtre :

- Définition : Le plâtre est le produit obtenu par deshydratation et pulvérisation plus ou moins poussée du gypse constitué de sulfate de Calcium dihydrate.

- Principe de fabrication :

Le principe de fabrication du plâtre est simple, il suffit de porter le gypse à une température modérée (basse) et de faire suivre cette cuisson d'une pulvérisation de la roche chauffée.



Le phénomène de deshydratation du gypse en fonction de la température est assez complexe.

Le tableau suivant nous donne les différents composés obtenus par des températures croissantes.



Nom du produit	Variété chimique	température d'obtention.	Caractéristiques.
Gypse	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Naturelle	$d = 2,31$
Semi-hydrate	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	110 à 180°C	<p>Selon procédé de cuisson 2 Variétés.</p> <p><math>\alpha</math>: vapeur saturante, forte résistance, stable, compacte <math>d = 2,58</math></p> <p><math>\beta</math>: vapeur sèche, résistance plus faible, floconneux <math>d = 2,62</math>.</p>
Anhydrite Soluble.	$\text{CaSO}_4$ III	170° à 250°C	Variété instable à la température ordinaire (Surcuit) $d = 2,58$ .
Anhydrite insoluble.	$\text{CaSO}_4$ II	400° à 600°C	Identique à l'anhydrite nat. appelé plâtre hydraulique prise très lente : $d = 2,93$ à $2,97$
plâtre de plancher.	$\text{CaSO}_4$ I	600 à 1200°C	plâtre cuit à mort, prise très lente.

$d$ : désigne le poids spécifique.

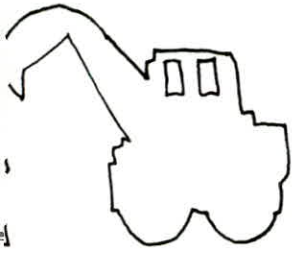
Rem: le semi-hydrate  $\alpha$  nécessite moins d'eau de gâchage à une grande densité, (texture cristalline compact) Il s'ensuit que le liant durci présente des caractéristiques mécaniques très élevées. (400 à 600 b en compression).

# . ANNEXE .

## - Les différentes phases de fabrication du plâtre -

L'opération d'extraction comprend :

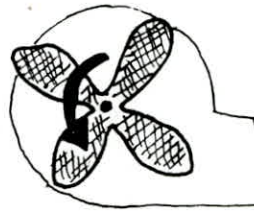
- dynamitage , dérochage , brisage , nettoyage
- chargement et transport.



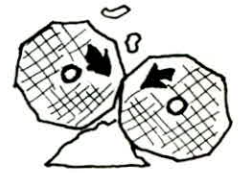
Extraction



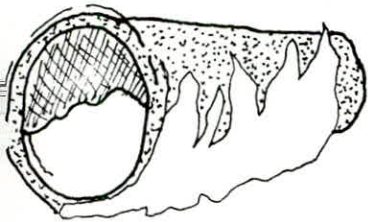
concassage



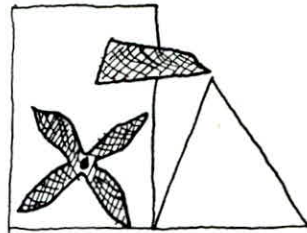
séchage



2<sup>e</sup> concassage



cuisson



broyage mouture

blutage



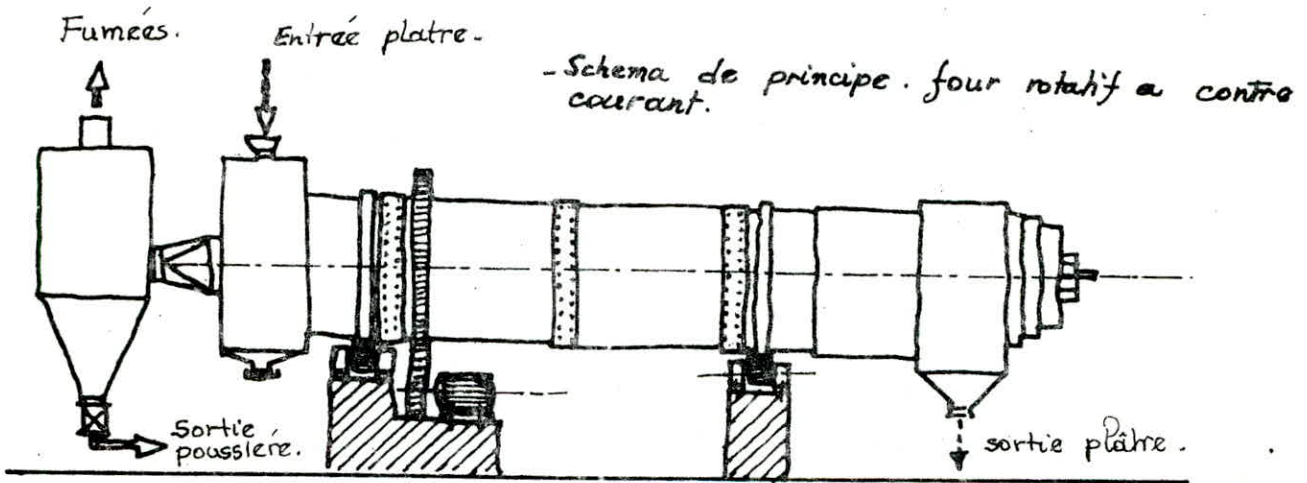
ensachage

Suivant le type de cuisson on aboutit à la formation du semi-hydrate  $\alpha$  ou  $\beta$  ou du surcuit.

1<sup>o</sup> Cuisson en voie sèche :  $\beta$  ou surcuit. (suivant  $t^{\circ}C$ )

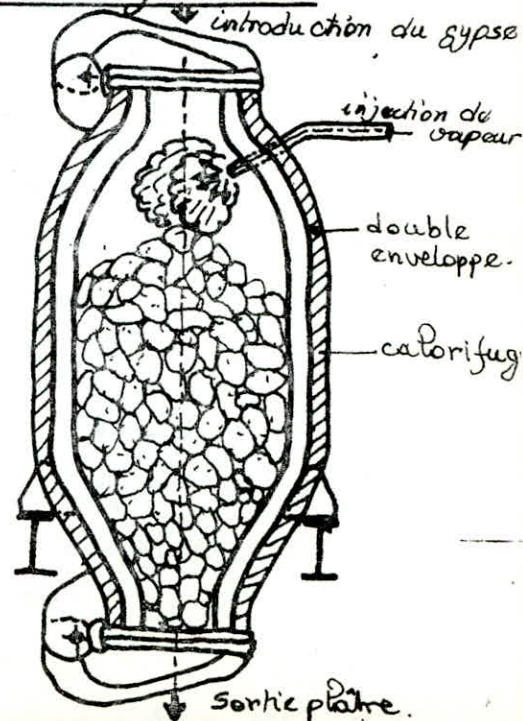
• le principe consiste à introduire, dans un tube tournant faiblement incliné, le gypse à une extrémité et les gaz chauds pour le cuire à l'autre. le gypse circule à contre courant du flux gazeux.

• production  $\approx 25t/h$ .



2<sup>o</sup> Cuisson par voie humide : semi-hydrate  $\alpha$ .

• la cuisson s'opère dans des autoclaves verticaux ou horizontaux. la technique consiste à garnir ces autoclaves en blocs de gypse de 40 à 50mm, et de porter l'autoclave à une pression de l'ordre de 2 à 7 bars pendant quelques heures.





#### 4. Propriétés physiques du plâtre.

##### 4.1. Prise et durcissement du plâtre.

La très brève période de prise du plâtre de fabrication courante rend généralement impossible son utilisation optimale.

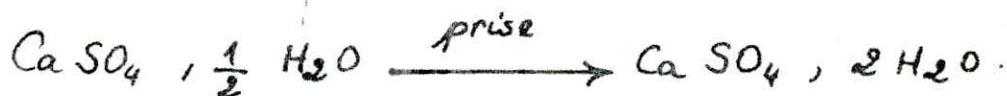
Le temps de prise d'un plâtre ordinaire varie entre 5 à 15 minutes.

La prise du plâtre a lieu du fait que la solubilité du semi-hydrate est de beaucoup plus forte que celle du sulfate de calcium bihydraté. Il en résulte que la solution saturée de semi-hydrate sera toujours sursaturée par rapport à la solution du double hydrate qui devra donc précipiter.

Le processus de durcissement comporte trois phases :

- Dissolution des produits semi-hydratés.
- L'hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du bihydrate.
- La cristallisation du double hydrate.

théoriquement le passage du plâtre semi-hydraté à la bihydratation qui est à l'origine de l'effet de prise est exprimé par la formule :



C'est la réaction inverse de la cuisson.



#### 4.2 Facteurs agissants sur la prise :

- Le processus de durcissement dépend dans une grande mesure de la constitution du plâtre.
- La prise est retardée par une augmentation de la quantité d'eau de gâchage.
- Un malaxage prolongé diminue le temps de prise.
- L'augmentation de température diminue la vitesse de prise ce qui est dû à une diminution de la solubilité du semi-hydrate dans l'eau.

#### 4.3 Propriétés du plâtre à l'état frais :

##### - Pâte pure :

Le plâtre en poudre se gâche avec une teneur en eau assez forte de façon à obtenir une pâte fluide. En pratique avec des plâtres ordinaires, il faut par rapport au poids du plâtre.

- |           |       |                         |
|-----------|-------|-------------------------|
| 50 à 60 % | d'eau | pour un gâchage serré.  |
| 65 à 75 % | d'eau | pour un gâchage normal. |
| 80 à 90 % | d'eau | pour un gâchage clair.  |

La teneur en eau juste nécessaire à l'hydratation complète n'est que de 18%, c'est à dire que l'excès d'eau est considérable, cet excès d'eau s'élimine peu à peu, donnant un matériau à structure microporeuse.

- de fluidité :

La fluidité dépend de la nature des plâtres de leur composition, de leur finesse, du pourcentage d'eau de l'ajout éventuel d'adjuvants, du mode, du temps de malaxage et de la température.

Les réactions de prise se font :

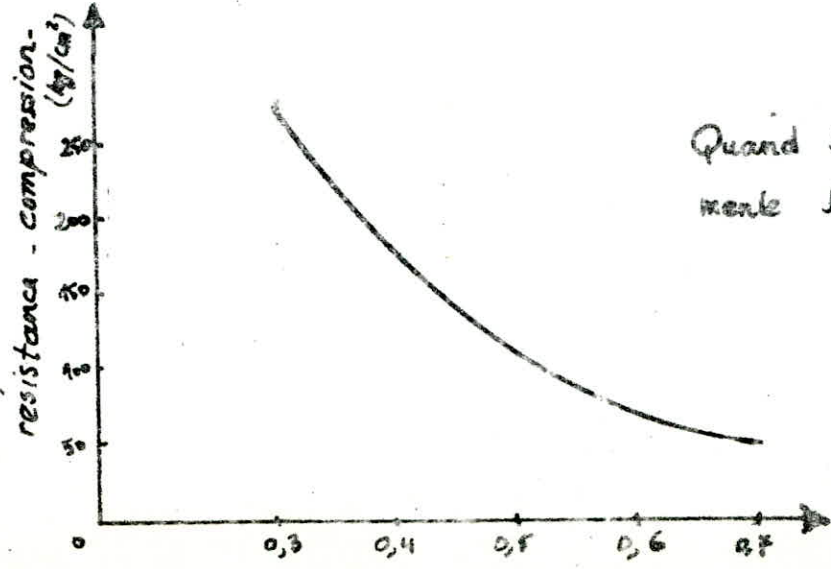
- avec une certaine élévation de la température.
  - avec une augmentation de volume (0,3 à 1,5 %)
- Lors du séchage le plâtre prend du retrait ( $\approx 10\%$  du gonflement pris)

4-4 Propriétés du plâtre à l'état durci :

Les résistances mécaniques varient avec beaucoup de facteurs :

- Nature du plâtre.
- teneur en eau.
- milieu de conservation.

Allure des courbes. Résistance compression / teneur en eau.



Quand la teneur en eau augmente la résistance diminue.

- Adhérence sur les supports .

bonne sur le papier , carton , la brique , le béton  
la pierre .

Mauvaise sur le bois , les granulats lisses .

- Corrosion des métaux par le plâtre .

l'acier est attaqué par les plâtres humides  
on peut les protéger par galvanisation à chaud .

L'aluminium et le cuivre se comportent bien .

4-5 Qualités du plâtre .

Les principaux qualités du plâtre sont :

- Régulateur d'hygrométrie grâce à sa porosité importante et sa faculté de prendre ou de laisser partir l'eau de l'atmosphère .
- Isolant thermique .
- Isolant acoustique .
- Assure une bonne protection au feu .



## B. Béton de plâtre.

Il serait très intéressant d'étudier la possibilité de faire des bétons en remplaçant le ciment par le plâtre. Il est pratiquement inconcevable de continuer à transporter le ciment jusqu'aux fin fond du Sahara alors que dans ces régions l'exploration a révélé l'existence de gisements importants de gypse. Certains pays ont pu exploiter convenablement leurs richesses, certains pays construisent en bois, d'autres par la chaux, d'autres en plâtre.

Le plâtre pourrait résoudre et combler la pénurie en ciment qui se fait de plus en plus sentir.

Le béton de plâtre peut être utilisé pour la confection d'éléments préfabriqués en béton de plâtre, parpaings agglomérés et lourdis. La confection d'un béton à base de plâtre nécessiterait une technologie permettant de retarder les durées de prise à des limites raisonnables.

Des études faites par des chercheurs Français sur le béton de plâtre entre les années 1958-1962 ont donné les résultats suivants.

### - ETUDE DU PLATRE FIN DE NOUNERATE :

Les essais effectués avaient pour but d'étudier l'influence de la quantité d'eau de gâchage sur les caractéristiques physiques et mécaniques du plâtre et en particulier sur :

- la densité après séchage.
- la résistance à la compression.
- " " " " traction.

- Le module d'élasticité dynamique.



Les teneurs en eau de gâchage étudiées étaient de :

40, 45, 50, 55 et 60% pour plâtre sans retardateur -1-

35, 40, 45, 50, 55 et 60% " " avec retardateur -2-

Les essais sont effectués sur prisme  $7 \times 7 \times 28$  passés à l'étuve à  $40^{\circ}\text{C}$ , l'étuvage commence 24 heures après gâchage.

### - Influence sur la densité -

Pour les deux cas de plâtre et à teneurs en eau égales les densités sont pratiquement les mêmes.

Quand la teneur en eau augmente la densité diminue.

### - Influence sur la résistance mécanique.

En compression, comme en traction quand la teneur en eau augmente la résistance diminue.

A teneur en eau égale, la résistance du plâtre -1- est légèrement supérieure à celle du plâtre -2-

### - Influence sur le module d'élasticité.

Le module d'élasticité double pratiquement de valeur lorsqu'on passe d'une teneur en eau de gâchage de 60% à une teneur de 35%.

A teneur en eau égale, l'incorporation de retardateur conduit à une chute d'environ  $10.000 \text{ kg/cm}^2$ .

- Tableau des résultats

Plâtres	teneur en eau caract. critiques.	35 %	40 %	50 %	60 %
		-1-	-	1,47	1,39
-2-	densité T/m <sup>3</sup>	1,58	1,47	1,39	1,18
-1-	Comp. kg/cm <sup>2</sup>	-	255	193	152
-2-		258	242	185	146
-1-	traction kg/cm <sup>2</sup>	-	34	21	11
-2-		40	31	17	8
-1-	E. kg/cm <sup>2</sup>	-	120.000	93.000	72.000
-2-		124.000	108.000	84.000	63.000

- ETUDE DU MORTIER DE PLATRE -

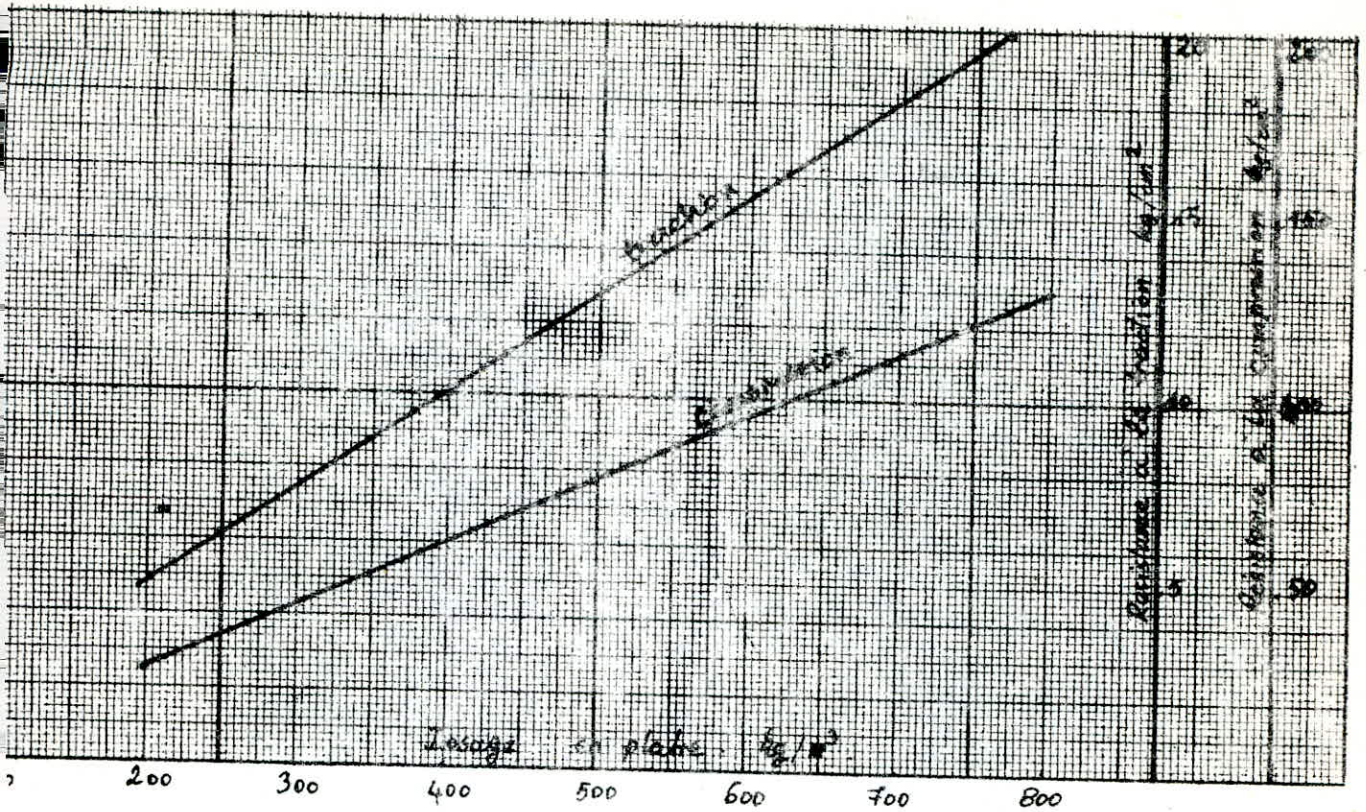
Les matériaux utilisés sont le plâtre Fa de NOUMERATE et un sable de reg. (grain moyen 0,5 mm).

Les essais sont effectués sur des éprouvettes 7x7x28 maintenus à l'étuve à 40°C jusqu'à poids constant.

- Tableau des résultats :

dosage Caract.	200 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>	600 kg/m <sup>3</sup>	800 kg/m <sup>3</sup>
densité T/m <sup>3</sup>	1,85	1,92	1,75	1,60
Comp. kg/cm <sup>2</sup>	26	60	94	127
tract. kg/cm <sup>2</sup>	5	10	15	20
E. kg/cm <sup>2</sup>	92.000	120.000	118.000	110.000





ETUDE DU BÉTON DE PLÂTRE.

Matériaux utilisés pour ces études.

- de plâtre de NOUMERATE.
- Un sable de reg (grain moyen 0,5 mm)
- Un gré tendre concassé
- un gypse brut concassé.
- Retardateur : retardant P.

C-1 béton à base de grés.

Plusieurs essais ont été effectués pour des dosages en plâtre de 250, 300, 350 et 400 kg/m³.



Les résultats obtenus sont les suivants :

Dosages $\text{kg/m}^3$	250	300	350	400
Grès	870	870	870	870
Sable	325	278	230	184
Plâtre	250	300	350	400
eau	260	271,5	283	294

Dosages caract.	250 $\text{kg/m}^3$	300	400	500
densité $\text{T/m}^3$	1,98	1,96	1,94	1,91
comp. $\text{kg/cm}^2$	50	70	85	92
tract. $\text{kg/cm}^2$	4	6,3	8	8
$\bar{\epsilon}$ $\text{kg/cm}^2$	92.000	100.000	103.000	103.000

Les dosages en litres d'agréats  $\text{/m}^3$  de béton, et les essais sont effectués sur des éprouvettes  $7 \times 7 \times 28$  conservées jusqu'à poids constant.

### C.2 béton à base de gypse :

Les essais sont effectués pour des dosages de 250, 300, 350 et 400  $\text{kg/m}^3$ .

Dosage	250	300	350	400
Gypse	360	360	360	360
Sable	285	215	169	122
Plâtre	250	300	350	400
eau	189	200	211	222

Resultats:

caract / Dos.	250	300	350	400
$\gamma$ T/m <sup>3</sup>	1,98	1,96	1,94	1,91
Comp. kg/cm <sup>2</sup>	52	88	105	109
tract. kg/cm <sup>2</sup>	5,7	11	13	13,7
E. kg/cm <sup>2</sup>	125.000	150.000	155.000	157.000

Conclusion:

Pour des mortier à hourder, on aura intérêt à se rapprocher des résistances des bétons de plâtre et à adopter des dosages de l'ordre de 600 kg/m<sup>3</sup> de mortier.

Les essais effectués sur les bétons montrent qu'il vaut mieux utiliser comme agrégat les gypses concassés de Noumerate plutôt que les grès tendres.

Pour les béton de gypse on a tout intérêt à adopter un dosage de l'ordre de 350 kg/m<sup>3</sup> de béton ce qui permet d'assurer une résistance à la compression de l'ordre de 100 kg/cm<sup>2</sup> et une résistance à la traction de l'ordre de 13 kg/cm<sup>2</sup>.

Remarque: gypse: grain moyen de 15 mm concassé à l'ouverture de 40 mm.

C.3 béton gypse sans sable:

Quatre essais ont été effectués pour des dosages de 250, 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup> de plâtre.

Les 3 compositions retenues sont les suivantes :

Dosages	300	350	400
Gypse	686	651	617
plâtre	113,5	132,5	151,5
Eau	202,0	218,0	234

Resultats :

Dosages Caract.	300	350	400
densite $T/m^3$	1,78	1,89	1,87
Comp. $kg/cm^2$	74	112	140
tract. $kg/cm^2$	11	14	16,4
E. $kg/cm^2$	117.000	142.000	140.000

La résistance à la compression croît régulièrement en fonction du dosage ; même chose pour la traction.

- Comparaison de béton sans sable et de béton avec sable :

Pour des dosages inférieurs à 340 kg de plâtre par mètre cube de béton les résistances sont supérieures dans le cas des bétons avec sable.

Au contraire pour des dosages supérieurs à 340  $kg/m^3$  les résistances obtenues sont considérablement augmentées si l'on n'introduit pas le sable dans le béton. Le béton sans sable présente un module d'élasticité inférieur au béton avec sable de reg.



C.4 béton sans sable - agrégats de ouargla.

Plâtre de Noumenale.

Deux agrégats roulés de reg très siliceux 3/8 et 5/15.  
Les compositions calculées pour des dosages en plâtre de 350, 400, 450 et 500 kg/m<sup>3</sup> de béton.

Dosage en litres d'agrégats par mètre cube de béton.

Dosage	350	400	450	500
5/15	650	650	650	650
3/8	505	445	383	320
plâtre	350	400	450	500
Eau	200	216	233	249

Resultats : résistance à 28j.

Dos Caract.	350	400	450	500
Comp. kg/cm <sup>2</sup>	98	118	140	162
tract. kg/cm <sup>2</sup>	13	15,3	17	18,2

Les résistances à la traction comme à la compression croissent pratiquement linéairement en fonction du dosage

- Des essais analogues ont été faites à Ouargla.

Le prototype de Ouargla est composé de :

16 kg de plâtre  
25 kg de gravier 5/15  
9 l d'eau

} pour les blocs pleins.

40 kg de plâtre

16 l d'eau

1 kg de chaux

} pour les blocs creux et voûtains.

La résistance à la compression à 28 jours des blocs creux et pleins varie entre 75 kgf/cm<sup>2</sup> et 85 kgf/cm<sup>2</sup>.

Des essais avec sable de dunes et gravier 3/8 ont été effectués sur des éprouvettes 16x32 cm les résultats suivants ont été obtenus à 28 j.

- 1- Composition avec sable de dunes.

plâtre : 21 kg.

Gravier 3/8 : 18 kg.

Sable : 12 kg.

Eau : 11 l.

Chaux : 420 g.

} R<sub>c</sub> = 77,83 kgf/cm<sup>2</sup>.

- 2- Composition sans sable.

plâtre grossier : 20 kg.

Gravier 3/8 : 30 kg.

Eau : 14 l.

Chaux : 600 g.

} R<sub>c</sub> = 65,04 kgf/cm<sup>2</sup>.

Pour les dimensions des blocs creux, plein et voûtains voir Annexe.

### III. Caractéristiques des matériaux.

La qualité d'un béton dépend essentiellement des ses constituants c'est à dire des granulats.

Donc une étude minutieuse des principaux constituants de notre béton s'avère nécessaire pour déterminer les principales caractéristiques des matériaux.

De plus dans ce chapitre on procédera à l'étude du liant c'est à dire du plâtre.

#### A. Etude des granulats :

##### 1- Etude granulométrique :

Cette étude a été faite conformément à la norme NF P 18.304.

L'analyse granulométrique nous permet de déterminer les dimensions des grains.

Pour cela on prélève une certaine quantité du matériau, on la fait sécher, on détermine son poids on prend pour le sable 2 kg, pour le 5/15 5 kg. et 3 kg pour le 3/8.

On procède ensuite à des tamisages successifs. Les tamisages s'effectuent sur des tamis de contrôle normaux qui sont classés dans l'ordre décroissant, et on pèse le refus sur chaque tamis.



\* Sable :

Diamètre du tamis mm	refus Partiels		refus total %	tamisat %
	gramme	%		
6,3	0	0	0	100
5	6,3	0,3	0,3	99,7
4	3,3	0,2	0,5	99,5
3,15	16,1	0,8	1,3	98,7
2,5	35,4	1,8	3,1	96,9
1,25	280,8	14,0	17,1	82,9
0,63	460,0	23,0	40,1	59,9
0,315	741,5	37,1	77,2	22,8
0,16	384,8	19,2	96,4	3,6
0,08	71,2	3,6	100	0

la courbe donnant la distribution pondérale est donnée par la fig: 1..

Classe du sable :

Les granulats sont classés en fonction de leur grosseurs. Par définition un granulat est dit granulat  $d/D$ ,  $d$  et  $D$  respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions demandées.

Si  $d < 0,5$  mm notre sable est appelé granulat  $0/D$  où  $D$  est tel que :

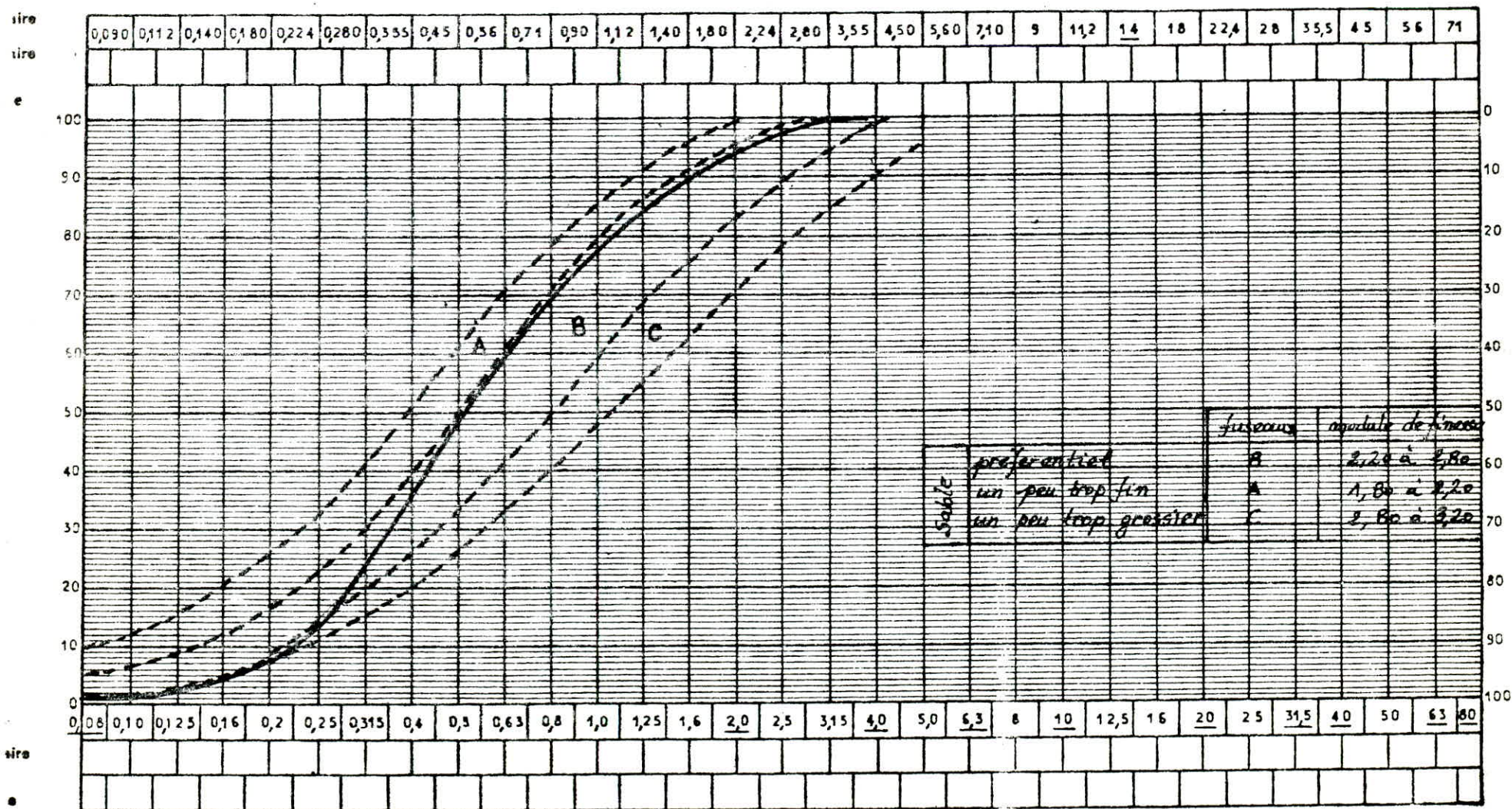
- Le refus sur le tamis de maille  $D$  est compris entre 1 et 15 %.
- Le refus sur le tamis  $1,56 D$  est égal à 0.

Donc on peut dire que notre sable est de classe  $0 / 3,15$ .



# ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

Norme NF P 18-304



- DIMENSIONS RECOMMANDÉES

OBSERVATIONS :

*fig. 1-*

DÉSIGNATION DU GRANULAT : *Sable d'œuv.*

Module de finesse :

Le module de finesse d'un granulat est égal au  $1/100^e$  des refus exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante :

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

Refus sur le tamis	0,16 = 96,4	
	0,315 = 77,2	
	0,63 = 40,1	au total 236.
	1,25 = 17,1	
	2,5 = 3,1	
	5 = 0,3	

$$M_f = \frac{1}{100} \cdot 236 = 2,36$$

D'après G. Dreux un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2,2 et 2,8. Donc on peut dire que nous disposons d'un bon sable qui convient à la confection des bétons.



\* Gravier 5/15 :

Diamètre du tamis mm	résidus Partiels		résidu total %	tamisat %
	grammes	%		
20	0	0	0	100
16	54,6	1,1	1,1	98,9
12,5	511,7	10,2	11,3	88,7
10	1053,6	21,1	32,4	67,6
8	1015,0	20,3	52,7	47,3
6,3	936,0	18,7	71,4	28,6
5,0	705,4	14,1	85,5	14,5
4,0	516,8	10,3	95,9	4,1
3,15	205,5	4,1	100	0

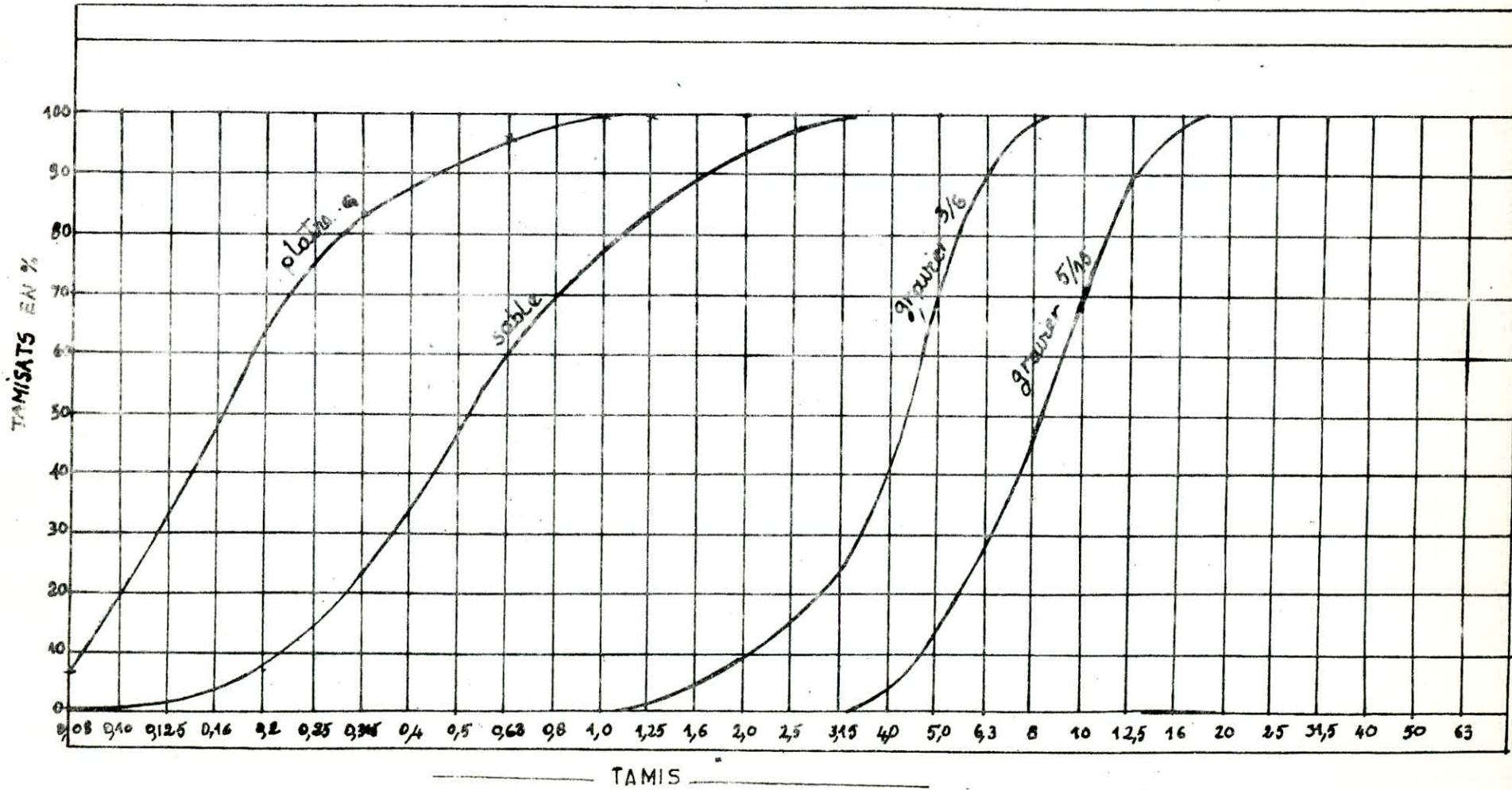
La courbe donnant la distribution pondérale des granulats, est donnée par la figure. 1'.

\* Gravier 3/8 . courbe voir figure 1'.

Diamètre des tamis mm	Résidus Partiels		résidu total	tamisat %
	gramme	%		
10	0	0	0	100
8	16,5	0,6	0,6	99,5
6,3	287,2	9,6	10,1	89,9
5,0	637,2	21,2	31,4	68,6
4,0	733,9	24,5	55,8	44,2
3,15	614,9	20,5	76,3	23,7
2,5	259,3	8,6	85,0	15,0
2	178,1	5,9	90,9	9,1
1,25	232,4	7,7	98,7	1,4
1	40,5	1,4	100	0

ANALYSE  
GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

FIG: 1'



2. Masse Volumique apparente et masse Spécifique :

a. masse volumique apparente :

La masse volumique est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant.

Pour déterminer la masse volumique il suffit de remplir à l'aide d'un entonnoir un certain volume connu par les agrégats et procéder à des pesées. Trois (3) essais ont été effectués sur chacun des différents granulats.

- Sable :

Volume cm <sup>3</sup>	masse g	masse vol. g/cm <sup>3</sup>
980	1354	1,38
980	1339	1,37
980	1414	1,44

moyenne .

1400 kg / m<sup>3</sup>.

ou 1,4 T / m<sup>3</sup>.

- Gravier : 3/8 .

Volume cm <sup>3</sup>	masse g	m. vol. g/cm <sup>3</sup>
980	1376	1,40
980	1334	1,36
980	1314	1,34

moyenne .

1370 kg / m<sup>3</sup>.

ou 1,37 T / m<sup>3</sup>.



Volume $\text{cm}^3$	masse g.	am. vol. $\text{g}/\text{cm}^3$
980	1214	1,24
980	1194	1,22
980	1174	1,20

moyenne :

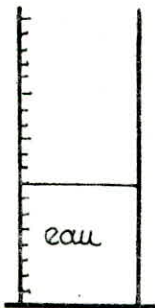
1220  $\text{kg}/\text{m}^3$

ou 1,22  $\text{T}/\text{m}^3$ .

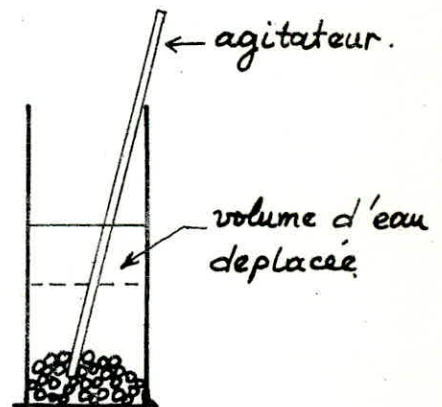
b- masse spécifique :

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

- mode opératoire:



Eprouvette graduée rempli d'eau de volume  $V_1$ .



eau + granulat de poids  $P$  volume  $V_2$ .

La masse spécifique notée  $MS = \frac{P}{V_2 - V_1}$ .

On utilise l'agitateur pour chasser les bulles d'air.

- Tableau de mesure :

Granulats	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>	M.S	Moyenne
Sable	100	600	635	35	2,86	2,84
	100	610	645	35	2,86	
	200	610	682	72	2,78	
Granulat 3/8	100	300	340	40	2,50	2,74
	100	300	335	35	2,86	
	100	400	435	35	2,86	
Granulat 5/15	100	600	640	40	2,5	2,50
	100	710	750	40	2,5	
	100	710	750	40	2,5	

MS n g/cm<sup>3</sup>.

3. Compacite :

Un granulat est dit compact s'il presente le moins de vides possibles et si ses grains sont serrés.

$$\text{Compacite} = \frac{\text{Volume des pleins} \cdot \text{densite apparente}}{\text{Volume total apparent} \cdot \text{densite absolue}}$$

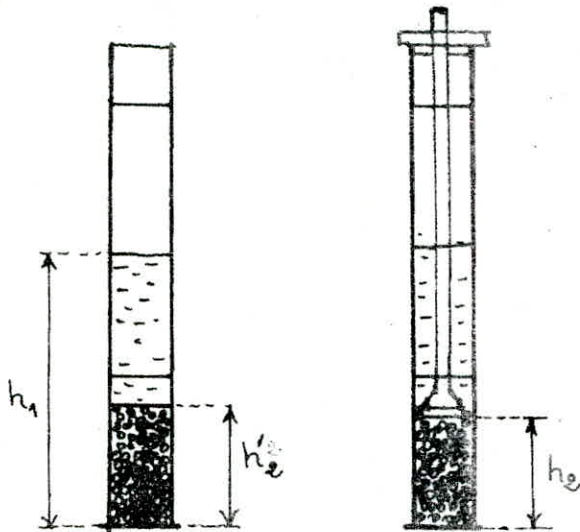
nature du gran.	Densite' app.	Densite' abs.	Compacite %
Sable	1,40	2,84	49 %
gravier 3/8	1,37	2,74	50 %
gravier 5/15	1,22	2,50	48 %

#### 4- Equivalent de Sable

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

Cet essai a été fait conformément à la norme P 18.598.

On agite une certaine quantité de sable dans une solution lavante puis on laisse reposer. La hauteur du dépôt de sable étant  $h_2$  et celle du flocculat  $h_1$ .



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

L'équivalent de sable visuel est donné par la formule

$$ESV = \frac{h_2'}{h_1} \times 100.$$

$$h_1 = 10,5 \text{ cm} \quad ; \quad h_2' = 9,45 \text{ cm} \quad ; \quad h_2 = 9,2 \text{ cm}$$

On trouve :

$$ES = 87,5$$

$$ESV = 90.$$

Notre Sable convient parfaitement pour les béton de très haute qualité.



## B - Les adjuvants du plâtre :

### 1- Retardateurs de prise :

Un des inconvénient majeur du plâtre étant sa prise qui est très rapide. Cette prise rapide rend l'utilisation de ce dernier très difficile. Donc l'utilisation d'un retardateur de prise s'avère nécessaire pour permettre une mise en oeuvre correcte de notre béton.

Les retardateurs de prise peuvent agir de plusieurs façons :

- En modifiant la solubilité du semi-hydrate dans l'eau.
- En modifiant la structure cristalline.
- En recouvrant les grains de plâtre d'une substance colloïdale qui forme une gaine de protection et retarde la dissolution et l'hydratation du semi-hydrate.

Rem : notre retardateur de prise est classé dans ce 3<sup>e</sup> type de catégorie.

### 2- La Chaux :

La chaux utilisée est la chaux broyée (chaux hydraté) qui porte l'indication suivante DIN 1060 de formule chimique  $CaO$ .

d'incorporation de la chaux au plâtre permet d'avoir une pâte plus fluide que dans le cas de plâtre sans chaux, mais le comportement de celle-ci vis à vis de la prise reste sans grand avantage.

### C. Caractéristiques du plâtre :

Le plâtre étudié est le plâtre de Ghardaïa et d'Oran ce sont des plâtres dit de construction.

Le plâtre de construction est un mélange de semi-hydrate et d'anhydrite cuite à  $500^{\circ}\text{C}$  et d'insuits.

#### 1. Masse volumique apparente :

Pour la déterminer, il suffit de remplir à l'aide d'un entonnoir un certain volume connu par le plâtre et procéder à des pesées.

Trois (3) essais ont été effectués.

Volume $\text{cm}^3$	masse de plâtre g		masse volumique $\text{g}/\text{cm}^3$	
	$P_G$	$P_O$	$P_G$	$P_O$
980	934,4	800	0,95	0,816
980	914,4	805	0,83	0,820
980	914,4	802	0,93	0,818

$P_G$ : plâtre Ghard  
aia.

$P_O$ : plâtre Oran.

$$\text{masse volumique apparente (MVA)} \quad P_G = 0,95 \text{ T}/\text{m}^3$$

$$P_O = 0,82 \text{ T}/\text{m}^3.$$

#### 2. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue sera déterminée par la méthode du picnomètre, on remplit un flocon spécial d'un liquide de masse volumique connue et l'on détermine la masse de liquide déplacé lorsqu'on introduit l'échantillon.

L'échantillon doit être parfaitement sec et broyé le plus finement possible.

Le picnomètre contenant l'échantillon baigné de liquide sera placé sous vide pendant environ une heure pour chasser le plus d'air possible pouvant être emprisonné entre les grains de poudre.

Le liquide utilisé est : n Heptan ( $C_7H_{16}$ ) de densité  $d = 0,683$  à  $20^\circ C$ .

température du laboratoire  $T = 23^\circ C$ .

- Poids du récipient vide :  $17,7100$  g.

- " " " plein :  $33,7388$  g.

d'où la masse de l'échantillon :

$$M_a = 33,7388 - 17,7100 = 16,0288 \text{ g.}$$

- Poids Picnomètre + solution =  $70,3995$  g =  $M_b$ .

- " " + " + plâtre =  $82,3415$  =  $M_c$ .

$$M_c - M_a = 66,3127 \text{ g.}$$

$$M_b - (M_c - M_a) = 4,0868 \text{ g} = \text{poids du solvant déplacé par le plâtre.}$$

- Volume de solvant déplacé par le plâtre :

$$V = \frac{m}{d} = \frac{4,0868}{0,683} = 5,9836 \text{ cm}^3.$$

d'où la masse volumique du plâtre :  $d_p$ .

$$d_p = \frac{M_a}{V} = \frac{16,0288}{5,9836} = 2,6787 \text{ g. cm}^{-3}.$$

$$d_p = 2,6787 \text{ g. cm}^{-3}$$

C'est la masse volumique absolue du plâtre de Ghardaïa, celle du plâtre d'Oran n'a pas été faite.



3° Détermination de la proportion de plâtre correspondant au "gâchage à saturation" norme NF B12.401.

Dans un récipient cylindrique en verre ou en métal inoxydable de diamètre intérieur 65 mm, on introduit 100 g d'eau distillée en évitant de mouiller la partie supérieure de la paroi. Soit  $M_0$  la masse du vase et de l'eau. Saupoudrer de plâtre, avec une cuillère la surface de l'eau, en évitant de garnir les bords du récipient on opère de sorte qu'au bout de deux minutes il n'y ait plus de pellicule d'eau à la surface de la pâte.

On laisse reposer pendant 40 seconds puis on continue à saupoudrer jusqu'à fleur d'eau (20 s)

On pèse immédiatement la masse  $M_1$  du récipient de l'eau et du plâtre introduit.

La qualité de plâtre nécessaire pour saturer 100 g d'eau c'est à dire gâcher à saturation est égale à  $M_1 - M_0$

On refait l'essai plusieurs fois.

On trouve :

\* Plâtre de Ghardaiia :  $\frac{P}{E} = 1,70 \Rightarrow \frac{E}{P} = 0,59$

\* Plâtre d'oran :  $\frac{P}{E} = 1,78 \Rightarrow \frac{E}{P} = 0,56$ .

On remarque que le plâtre d'oran est plus performant que le plâtre de Ghardaiia car il permet un taux de gâchage plus faible.

#### 4° Détermination des temps de prise :

Le début de prise des plâtre se contrôle de plusieurs façons (aiguille de Vicat, cône, couteau).

Dans notre cas on utilise le couteau.

On introduit 100 g d'eau distillée dans un récipient cylindrique, on saupoudre cette eau en deux minutes de la quantité de plâtre correspondant au gâchage à saturation.

Sur une plaque en verre propre on forme des galettes.

- Le début de prise est l'instant où les bords d'une coupure effectuée à l'aide d'un couteau dans la pâte de plâtre ne se referme plus.

- La fin de prise est l'instant où une pression moyenne du pouce exercée à la surface des galettes ne fait plus apparaître d'empreinte.

On trouve pour notre plâtre :

Plâtre Ghardaïa { Début : 6 mn.  
Fin : 10 mn.

Plâtre d'oran { Début : 6 mn.  
Fin : 12 mn.

Rem : Pour la plupart des ciments courants, le début de prise à 20°C se situe entre 2 et 5 heures.

5° Influence du retardateur de prise :

Du le temps de prise très court de notre plâtre on a pensé à utiliser un retardateur de prise.

Granitex nous a proposé un retardateur en poudre

% retard.	0%	2%	3%	4%	5%	6%
Debut	6	10	15	20	20	15
Fin	10	20	35	45	35	37

% : du poids de plâtre. Resultat du PG.

Inconvénient de ce retardateur : on doit utiliser de grande quantité.

Néanmoins on a opté pour 4% pour les essais de composition des bétons.

6° Influence de la chaux sur la prise :

d'addition de chaux à la pâte de plâtre permet de réduire la solubilité du plâtre et de l'anhydrite dans l'eau.

Tableau des Principaux résultats.

% Chaux	Plâtre de Ghardaïa		Plâtre d'oran	
	Debut (mn)	Fin (mn)	Deb (mn)	Fin (mn)
0	6	10	6	12
1	10	18	-	-
2	13	21	8	13
3	-	-	8	13
5	-	-	7	13

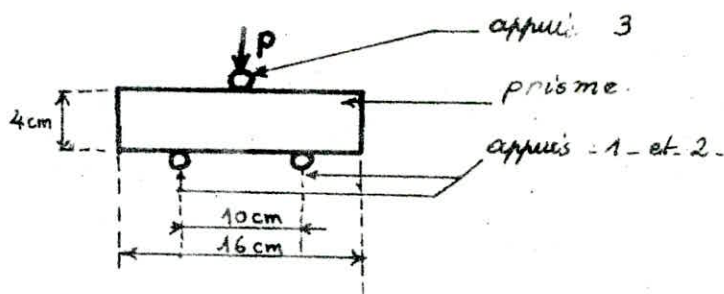


### 7° Résultats d'essais mécaniques :

Essais effectués conformément à la norme B12.401  
Les différents essais seront effectués sur des éprouvettes  
4 x 4 x 16 conservées à l'air libre.

#### a- Essai de rupture par flexion.

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à  
rouleaux de 10 mm de diamètre, distants de 100 mm  
sur lesquels repose le prisme de plâtre et un troisième  
rouleau de même diamètre équidistant des deux autres  
et transmettant la charge P.



La valeur de la contrainte de rupture à la traction  
est égale à R :

$$R_f = 0,234 \cdot P$$

R : exprimé en bar.

P : " en decaNewton.  $1 \text{ bar} = 1,02 \text{ kgf/cm}^2$ .

#### b- Essai de rupture par compression :

La contrainte de rupture par compression est déterminée  
sur les demi-prismes venant de servir à l'essai de  
flexion.

La valeur de la contrainte de rupture à la compression exprimée en bar est égale au 1/16 de la charge ayant provoqué la rupture exprimée en déca-newton.

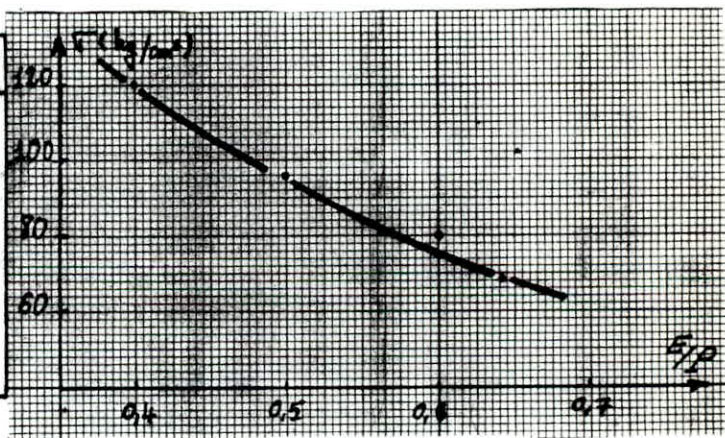
$$R_c = \frac{P}{16}$$

c. Influence du rapport E/P sur la résistance à la compression.

L'augmentation de la quantité d'eau de gâchage fait chuter la résistance. Mais, cette augmentation retarde la prise et permet une assez bonne ouvrabilité.

On trouve pour différents rapports E/P dans le cas du plâtre de Gardoua ; les résultats suivants à 28j.

E/P	Résist. Comp. kg/cm <sup>2</sup>
0,64	68
0,6	80
0,5	96
0,4	120



d'eau excédentaire après évaporation laisse des vides. En effet l'excès d'eau ne permet pas une bonne liaison entre les cristaux. Cette liaison vu la rapidité de cristallisation est d'autant plus intime que la quantité d'eau est faible.

d- Influence du retardateur et de la chaux sur la résistance à mécanique :

ADJUVANT	Age	Plâtre de Ghardaïa		Plâtre d'oran	
		traction	Comp.	traction	Comp.
Sans	7j	5	34	6	40
	28j	11	80	-	-
4% Ret.	7j	3	23		
	28j	9	73		
2% Chaux	7j	7	41	7	48
5% Chaux	7j	-	-	8	70

- Ces résultats sont donnés pour des éprouvettes (4x4x16) conservées à l'air libre, pour les taux de gâchage à saturation pour chaque plâtre.

On remarque que le plâtre de l'ouest donne de meilleures résultats.

d'incorporation de 5% de chaux pour un taux de gâchage de 0,56 permet d'augmenter la résistance à la compression d'environ 40% (cas du plâtre d'oran).



## IV Généralités sur Les essais.

La confection et la vérification des diverses qualités d'un béton doivent être effectués conformément aux normes requises.

### A. Dispositions Communes.

#### 1. Malaxage :

Le malaxage joue un rôle très important lors de la confection des bétons. Il influe beaucoup sur les caractéristiques des mortiers et béton. Il doit permettre une répartition aussi uniforme que possible du plâtre et une homogénéisation du mélange de béton.

Pour les différents essais le malaxage a été fait conformément à la norme NF P. 15. dans un malaxeur à axe vertical à cuve tournante.

Le malaxeur étant arrêté, on verse les granulats et le plâtre à l'intérieur de celui-ci.

On malaxe le plâtre et les granulats à sec.

On ajoute de l'eau progressivement à ce mélange, le malaxeur étant toujours en marche.

Le temps de malaxage après introduction de l'eau est entre 20 et 30 secondes.

Dans le cas du retardateur de prise, ce dernier sera mélangé avec le plâtre à sec.

Pour la chaux, elle doit être éteinte dans un peu d'eau puis mélangée au reste de l'eau de gâchage.

## 2. Serrage du béton :

Pour éviter la formation de trous et de cavités et pour permettre une bonne mise en oeuvre on utilise la vibration. C'est le moyen le plus utilisé et le plus efficace. La vibration permet une augmentation de la compacité et une diminution de la teneur en air d'où amélioration des performances du béton. Mais un excès de vibration peut être nuisible car il provoque la ségrégation du fait des densités différentes entre les granulats et la pâte de plâtre. Pour les différents essais le serrage de notre béton a été effectué conformément à la norme NFP 18.422

d'aiguille utilisée à un diamètre de 25 mm, et une fréquence de vibration de 5.500 tours/min. Le moule cylindrique 16 x 32 cm sera rempli en deux couches, on descend l'aiguille verticalement dans l'axe de l'éprouvette et on la retire lentement pour éviter la formation de bulles d'air.

## 3. Conservation des éprouvettes.

Après démoulage (fin de prise) on pèse les éprouvettes d'où la densité fraîche. Six (6) éprouvettes (3 cylindriques et 3 prismatiques) sont conservées à l'air libre. La température et l'humidité relative sont variables. L'écrasement se fait à une semaine. Le reste 24h plus tard est introduit dans une étuve où règne uniformément une température de  $40^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  et l'écrasement se fait à poids constant.

## B. Propriétés du béton durci :

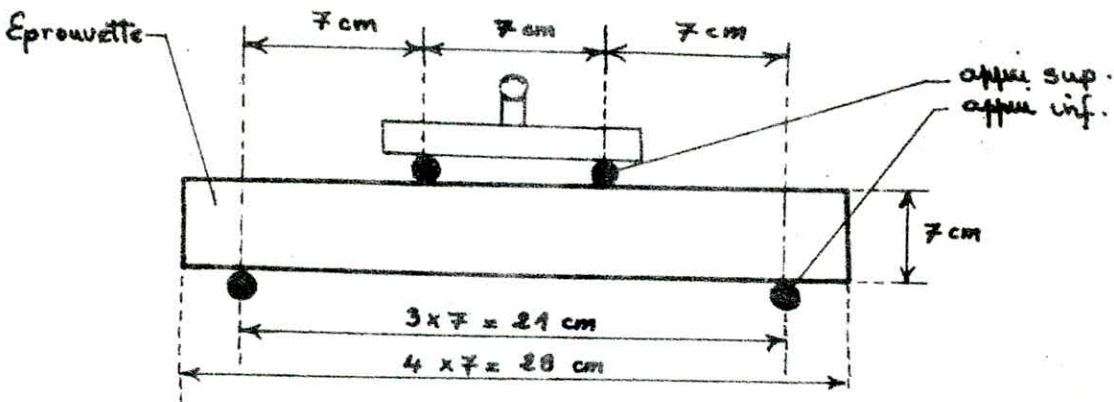
### 1. Détermination des caractéristiques mécaniques :

La résistance mécanique à toujours été considéré étant la qualité essentielle à rechercher pour un béton <sup>comme</sup>.

### - Essai de traction.

La norme NF P.18.407 définit l'essai de traction par flexion.

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatique  $7 \times 7 \times 28$  cm; l'essai s'effectue comme suit :



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.

la charge est appliquée aux appuis supérieurs par l'intermédiaire d'une rotule.

la charge est appliquée d'une manière continue et sans choc, la vitesse de chargement est de  $(1 \pm 0,2)$  kN par seconde.



La charge de rupture, exprimée sous forme de contrainte, est donnée par la formule suivante.

$$\sigma = 1,8 \cdot \frac{F}{a^2}$$

F : charge de rupture (daN)

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

$\sigma$  : contrainte (daN/cm<sup>2</sup>)

- Essai de compression :

l'essai a été fait conformément à la norme NF P 18.406 qui définit la rupture par compression.

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cylindriques d'élanement 2 (16 x 32 cm). L'appareil utilisé est une presse hydraulique à deux plateaux horizontaux, l'un d'eux est monté sur rotule.

La charge sera appliquée de manière continue et sans chocs. La vitesse de chargement sera prise égale à 4 ± KN par seconde.

La charge de rupture exprimée sous forme de contrainte est donnée par la formule :

$$\sigma' = \frac{F}{\pi \cdot 164}$$

F = charge de rupture en daN.

$\sigma'$  = contrainte de compression (daN/cm<sup>2</sup>)

## 2. Etude extensométrique :

Les techniques extensométriques nous permettent de mesurer les déformations d'une structure se qui permet de calculer les contraintes.

### - Présentation :

L'extensométrie mécanique est destinée à mesurer les variations de distances entre deux points de la pièce étudiée.

La chaîne de mesure comprend 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.
- Un dispositif de lecture et d'enregistrement.

### \* 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 est  $\epsilon_2 = \frac{\Delta l}{l}$ .

- Ces deux déformations  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  sont reliées par la relation suivante :

$$\epsilon_2 = -\mu \epsilon_1$$

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

- La relation liant contrainte et déformation est la suivante :

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

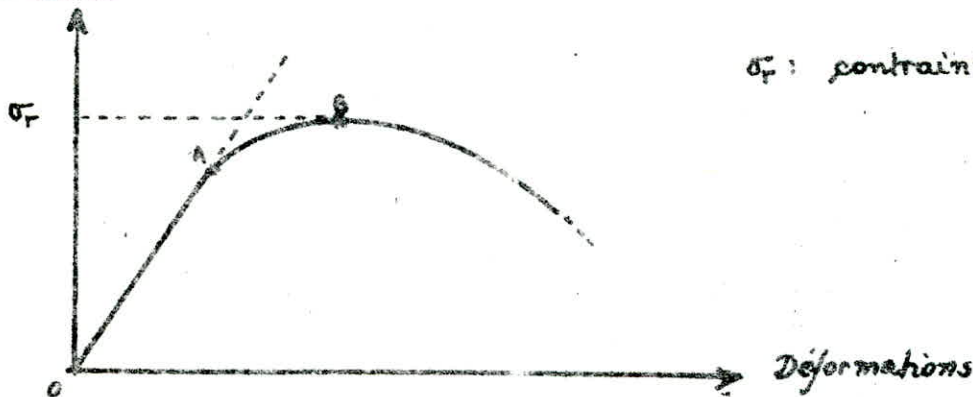
où :  $E$  : module d'élasticité.

$\sigma$  : la contrainte appliquée.

$\epsilon$  : la déformation qui en résulte.

- Allure générale des courbes contrainte - déformation des bétons :

contraintes



$\sigma_r$  : contrainte de rupture.

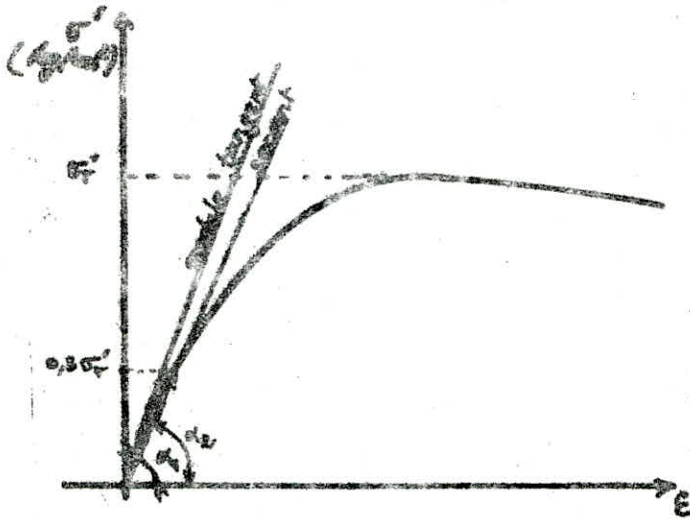
OA : domaine élastique

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.



## Détermination du module d'élasticité "E"



$$E. \text{ tangent} = \text{tg } \alpha_1.$$

$$E. \text{ secant} = \text{tg } \alpha_2.$$

### 4. Retrait du plâtre :

Le retrait est un phénomène de raccourcissement; ce phénomène est dû à plusieurs facteurs mais en grande partie à l'évaporation d'eau.

Dans le cas du plâtre on assiste à un gonflement. Le gonflement est d'autant plus important que le dosage en plâtre est important. Le retrait qui fait suite à ce gonflement est très faible.

Le gonflement du plâtre est dû à la transformation du semi-hydrate en gypse de poids spécifique inférieur à celui du semi-hydrate.

Le gonflement sera mesuré à l'aide de comparateurs.

Résultats du retrait en annexe.

## V. Etude du béton.

### A. Généralités sur la composition granulométrique des béton : béton de ciment.

Depuis que l'on fabrique des bétons les ingénieurs et chercheurs se sont efforcés d'élaborer des théories plus ou moins inspirées de l'expérience afin de définir les règles de composition pour la fabrication de ces bétons. L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage.

Qui dit qualité dit ouvrabilité, et surtout résistance.

L'ouvrabilité se définit par la possession des caractéristiques d'homogénéité et de fluidité ou maniabilité d'un béton, qui est fonction de sa plasticité qui pourrait être définie comme la facilité qu'offre un béton pour le remplissage parfait du moule qui lui est offert.

Un des facteurs essentiels d'ouvrabilité étant le dosage en eau, c'est le problème le plus délicat dans la fabrication d'un béton. La quantité d'eau doit être suffisante pour que le mélange se fasse bien que les granulats soient bien enrobés et que le béton soit maniable. Un béton trop sec est difficile à mettre en oeuvre, tandis que l'excès d'eau fait chuter la résistance.

Quant à la résistance, il semble difficile de la prévoir par application d'une formule de calcul, le seul moyen pratique est celui des essais préalables sur des



éprouvettes du béton en question fabriquées dans les conditions et avec les matériaux prévus.

Les méthodes proposées sont nombreuses parmi elles :

Méthode VALETTE et méthode FAURY dont nous nous inspirons pour notre méthode de composition d'un béton de plâtre.

### 1. Méthode VALLETTE.

La méthode Vallette est essentiellement expérimentale.

Cette méthode est dite : "dosage des bétons à compacité maximale" ou "dosage des bétons à granularité discontinu".

#### - Principe :

Dans les cas les plus courants on partira en général de deux granulats, un sable et un gravier.

On prépare d'abord avec le sable et le ciment le mortier plein à minimum de ciment, ce mortier s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en remplissant ce volume des vides par un volume égal de pâte pure de ciment. On ajoute ensuite le maximum de graviers mouillés compatibles avec une ouvrabilité permettant un moulage plein ressuant avec une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient ainsi le béton plein à minimum de sable et le moins dose.

Pour déterminer le béton de dosage demande souvent fixe a priori et plus élevée en général que le dosage précédent, on substitue le volume de pâte pure compensatrice correspondant à un égal volume plein mouillé de sable.



## 2. Méthode FAURY :

Elle aboutit en principe à une granularité théoriquement continue. On trace donc pour l'ensemble du mélange ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites qui se coupent au point de coordonnées :  $x = \frac{D}{2}$  et  $y = A + 17\sqrt{D}$ .

$D$ : étant la dimension maximale des graviers en mm  
 $A$ : coefficient numérique qui dépend de la nature des matériaux utilisés, de la puissance de serrage et de la consistance prévue pour le béton étudié.

On calcule l'indice des vides :  $I = \frac{K}{\sqrt{D}}$  qui correspondra au volume d'eau nécessaire pour couler un mètre cube de béton frais.

$K$ : coefficient numérique qui dépend des mêmes caractéristiques que  $A$ .

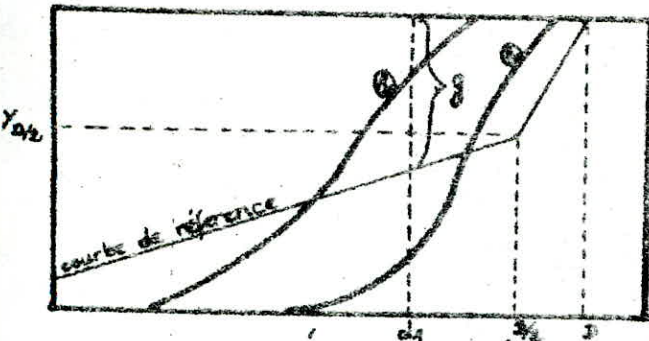
Les pourcentages des différents granulats en volume absolu sont donnés par les points d'intersection de la courbe de référence et les courbes granulométriques.

- Connaissant le pourcentage du ciment qui est généralement fixé à l'avance. On peut déterminer le pourcentage du sable qui entre dans la composition de notre béton.

Ceci n'est qu'un aperçu sommaire des deux méthodes. Pour le plus de détails nous vous invitons à consulter le livre "Connaissance du béton".

Pour la détermination des pourcentages des granulats trois (3) cas peuvent se présenter :

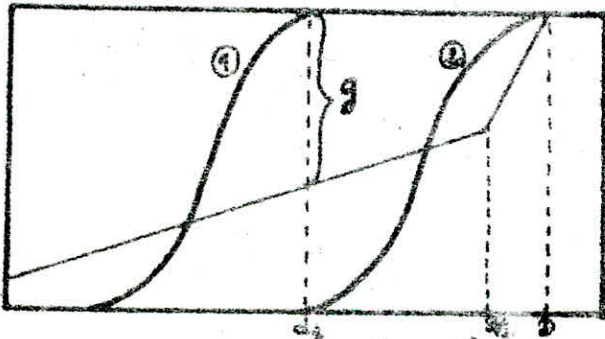
1<sup>er</sup> Cas : Les courbes granulométriques se chevauchent :



On trace une verticale passant par  $d_0$  de manière que pour ce diamètre le pourcentage de refus du granulat 1 soit égal au pourcentage du tamisot du granulat 2.

$g$  représente le pourcentage du granulat 2.

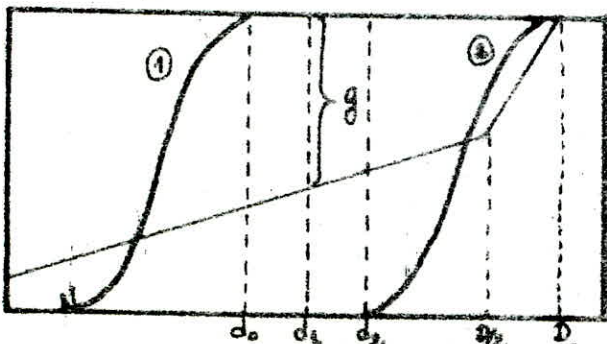
2<sup>e</sup> Cas : Le diamètre maximum  $d_1$  d'un granulat est égal au diamètre minimum  $d_2$  du second.



La verticale passant par  $d_0$  coupe la courbe de référence

$g$  représente le pourcentage du granulat 2.

3<sup>e</sup> Cas : Les courbes des deux granulats sont discontinues :



$d_0$  : diamètre max. du granulat 1  
 $d_2$  : " min " " 2

On trace la verticale passant par  $\frac{d_0 + d_2}{2}$ , cette verticale coupe la courbe de référence

$g$  représente comme précédemment le pourcentage du granulat 2.



## B. Méthode utilisée :

Les méthodes de composition de béton de ciment ne trouvent pas leur validité dans le cas d'un béton de plâtre ; on est alors amené à adapter les méthodes : Vallette et Faury. D'ailleurs on a effectué un dosage suivant la méthode Faury et on a constaté que l'eau était insuffisante et que la quantité de gravillons était excessive. Le gâchage d'une telle composition était impossible.

Quant à la méthode Vallette, l'expérience prouve qu'il est difficile de déterminer avec une précision suffisante le mortier à minimum de liant. Cela est dû à la variation de la consistance du plâtre, entre le début de gâchage et le début de prise.

Pour éviter les inconvénients de chacune des méthodes nous avons opéré de la façon suivante :

- On détermine par la méthode Faury la courbe de référence du béton de plâtre d'où le pourcentage en volume absolu de gravier sec.
- On détermine comme dans le cas de la méthode Vallette les quantités d'eau de mouillage de chacun des constituants : Gravier, sable, plâtre.
- Connaissant le volume absolu du plâtre mouillé et du gravier mouillé, on calcule le poids de sable mouillé nécessaire pour remplir les vides.



## C. Exemple pratique de composition d'un béton :

Composition : Gravillons 5/15 et 3/8, sable, plâtre, eau.

1°/ Une fois les tracés granulométriques sont effectués sur un diagramme dont l'abscisse comporte les dimensions des tamis, nous traçons la courbe de référence Faury.

2°/ Calcul du diamètre maximal  $D$ .

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \frac{x}{y} \quad \text{avec}$$

$d_1$  = diamètre du tamis immédiatement inférieur à  $D$

$d_2$  = diamètre du tamis immédiatement inférieur à  $d_1$ .

$x = 100$  - pourcentage correspondant à  $d_1$ .

$y =$  pourcentage correspondant à  $d_1$  - pourcentage correspondant à  $d_2$ .

$$d_1 = 16 \text{ mm}$$

$$d_2 = 12,5 \text{ mm.}$$

$$x = 1,1 \quad \text{et} \quad y = 10,2$$

$$\% d_1 = 38,9$$

$$\% d_2 = 88,7$$

d'où

$$\boxed{D = 16,4 \text{ mm}}$$

3°/ Calcul de l'ordonnée de  $D/2$ .

$$Y_{D/2} = A + 17 \sqrt{D}$$

Pour les valeurs des coefficients  $K$  et  $A$  on a intérêt à s'approcher des consistances molles pour ne pas avoir de grande quantité de gravillons.

avec :  $A = 30$  et  $K = 0,36$  (voir tableaux en Annexe)

$$\boxed{Y_{D/2} = 60\%}$$

$Y_{D/2}$  = pourcentage de tamisat.

4°/ Calcul du volume d'eau nécessaire pour 1 m<sup>3</sup> de béton:

$$E = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} \cdot 1000 = 206 \text{ l.}$$

On déduit la quantité de matière sèche = 1000 - E = 794 l

En réalité la quantité d'eau finale qui entre dans la composition de notre béton est nettement supérieure à celle calculée ci-dessus.

5°/ Détermination des pourcentages en volume des différents granulats: (Par la méthode Faury.)

Si l'on admet que les différents grains d'un granulats possèdent approximativement tous la même masse volumique il est permis d'admettre que la série de proportions en poids donné par l'analyse granulométrique est la même pour un granulats déterminé, que celle des proportions en volume absolu qui définissent les ordonnées de la courbe granulométrique.

A partir de la figure n° on tire.

- le pourcentage de 5/15 = 45 %.

- " " de 3/8 = 57 - 45 = 12 %.

d'où:

$$\text{Le volume absolu de } 5/15 = \frac{794 \times 45}{100} = 357 \text{ l.}$$

$$\text{Le volume absolu de } 3/8 = \frac{794 \times 12}{100} = 95 \text{ l.}$$

6°/ Le dosage en plâtre est généralement fixé à l'avance

Prenons le dosage 350 kg / m<sup>3</sup>.

$$\text{Soit en volume absolu} = \frac{\text{Poids}}{\text{poids spécifique}} = \frac{350}{2,64} = 133 \text{ l.}$$

### 7/ Détermination des eaux de mouillage des granulats :

#### a- eau de mouillage du sable :

On humecte le sable sec en le gâchant à la truelle jusqu'à ce que l'on puisse faire une boule à la main présentant une certaine cohésion.

Pour 1000 g de sable sec on a trouvé 90 gramme d'eau.

On exprime le coefficient d'eau de mouillage :

- En poids :

$$eps = \frac{\text{poids de l'eau (grammes)}}{\text{poids de sable sec (grammes)}} = \frac{90}{1000} = 0,09.$$

- En volume absolu :

$$evs = \text{poids spécifique sable} \times eps \\ = 2,83 \times 0,09 = 0,255.$$

#### b- Eau de mouillage des gravillons :

On détermine l'eau de mouillage par aspersion et brassage d'un poids connu de gravillons jusqu'à l'obtention d'une pellicule d'eau brillante sur l'ensemble des gravillons.

##### α- gravillon 5/15 :

$$eps_{5/15} = 0,03 \quad ev_{5/15} = 0,075.$$

##### β- gravillon 3/8 :

$$eps_{3/8} = 0,04 \quad ev_{3/8} = 0,110.$$

#### c- Eau de mouillage du plâtre :

On travaille avec l'eau de "gâchage à saturation" déterminée selon la norme NF B 12. 401 voir chapitre précédent.

Dans le cas du plâtre de Grandvaux  $\frac{E}{P} = 0,59.$



8° Détermination du volume absolu du sable :

Connaissant les volumes absolus du plâtre, des gravillons et les volumes d'eau de mouillage on déduit le volume de sable mouillé.

Volume de plâtre = 133 l    eau de mouillage  $E_p = P \cdot 959 = 207 \text{ l}$

Volume de 5/15 = 357 l.    "    "     $E_{5/15} = e v_{5/15} \cdot V_{5/15} = 27 \text{ l}$

Volume de 3/8 = 35 l.    "    "     $E_{3/8} = e v_{3/8} \cdot V_{3/8} = 11 \text{ l}$

Volume total = 585 l    et l'eau totale = 245 l.

- Volume de sable mouillé :

$$V_{sm} = 1000 - (585 + 245) = 170 \text{ l.}$$

- Volume de sable sec :

$$V_{sec} = \frac{V_{sm}}{1 + e v_{sable}} = 135 \text{ l.}$$

- eau de mouillage :  $E_{sab} = e v_{sab} \cdot V_{sec} = 35 \text{ l.}$

9° Quantité d'eau finale :

$$E_{finale} = 245 + 35 = 280 \text{ l.}$$

Les calculs étant fait pour le dosage 350.

Conclusion :

- On vérifie bien que la somme des volumes absolus fait 1 m<sup>3</sup>.     $585 + 135 + 280 = 1000 \text{ l.}$

- Le passage à des dosages pondéraux se fait par connaissance des densités spécifiques.

# Méthode utilisée.

Tracé des courbes granulométriques des granulats et de plâtre.

Calcul des coefficients d'ouï de mouillage des granulats :

en poids  $e_p = \frac{E_{p}}{P}$

en volume abs.  $e_v = A_{\text{oids spcif}} \times e_p$

Calcul de  $\beta$ .  $\beta = d_1 \cdot (d_1 - d_2) \frac{P}{y}$

Tracé de la courbe de référence :  
Poursy  $x = 3/2$ ,  $y = 4 + 4/5 \beta$

Choix de la consistance  $K =$ ,  $A =$

Détermination du pourcentage de 5/15

pourcentage 3/8

vidua des vides  
à Eau nécessaire =  
 $= \frac{K}{500} \cdot 1000$

Volume de matière  
sable :  
 $S = 1000 - E$

Volume de 5/15 =  
 $\frac{\% (5/15) \times 100}{5} (L)$

Volume de 3/8 =  
 $= \frac{\% (3/8) \times 100}{5} (L)$

Choix du dosage  
en plâtre  $P$  kg/m<sup>3</sup>

Volume de plâtre  
 $V_p = \frac{P}{\text{oids spcif}}$

Eau de mouillage 5/15  
 $E_{5/15} = \text{Volume}_{5/15} \cdot e_{v,5/15}$

Eau de mouillage 3/8  
 $E_{3/8} = \text{Volume}_{3/8} \cdot e_{v,3/8}$

Eau de mouillage  
plâtre = Eau  
de saturation.

Volume de sable mouillé =  $V_{SM}$   
 $1000 - (V_p + E_p) - (V_{5/15} + E_{5/15}) - (V_{3/8} + E_{3/8})$

Volume sable sec  
 $V_{sec} = \frac{V_{SM}}{1 + e_{v,s}}$

Eau du sable  
 $E_{sab} = e_{v,s} \cdot V_{sec}$

$V_{5/15} (L)$

$V_{3/8} (L)$

$V_{sab} (L)$

$V_p (L)$

$E_{tot} = E_p + E_{5/15} + E_{3/8} + E_{sab}$

- 1000 litres -

Organigramme pour la composition 5/15, 3/8, sable, eau, plâtre.



D. des différentes compositions :

1<sup>re</sup> Composition à base de 5/15 et 3/8.

Cette composition, contient en plus du 5/15 du granulats 3/8, du, sable, du, plâtre, et de l'eau.

Cette composition sera gâchée avec 4% du poids de plâtre de retardateur de prise.

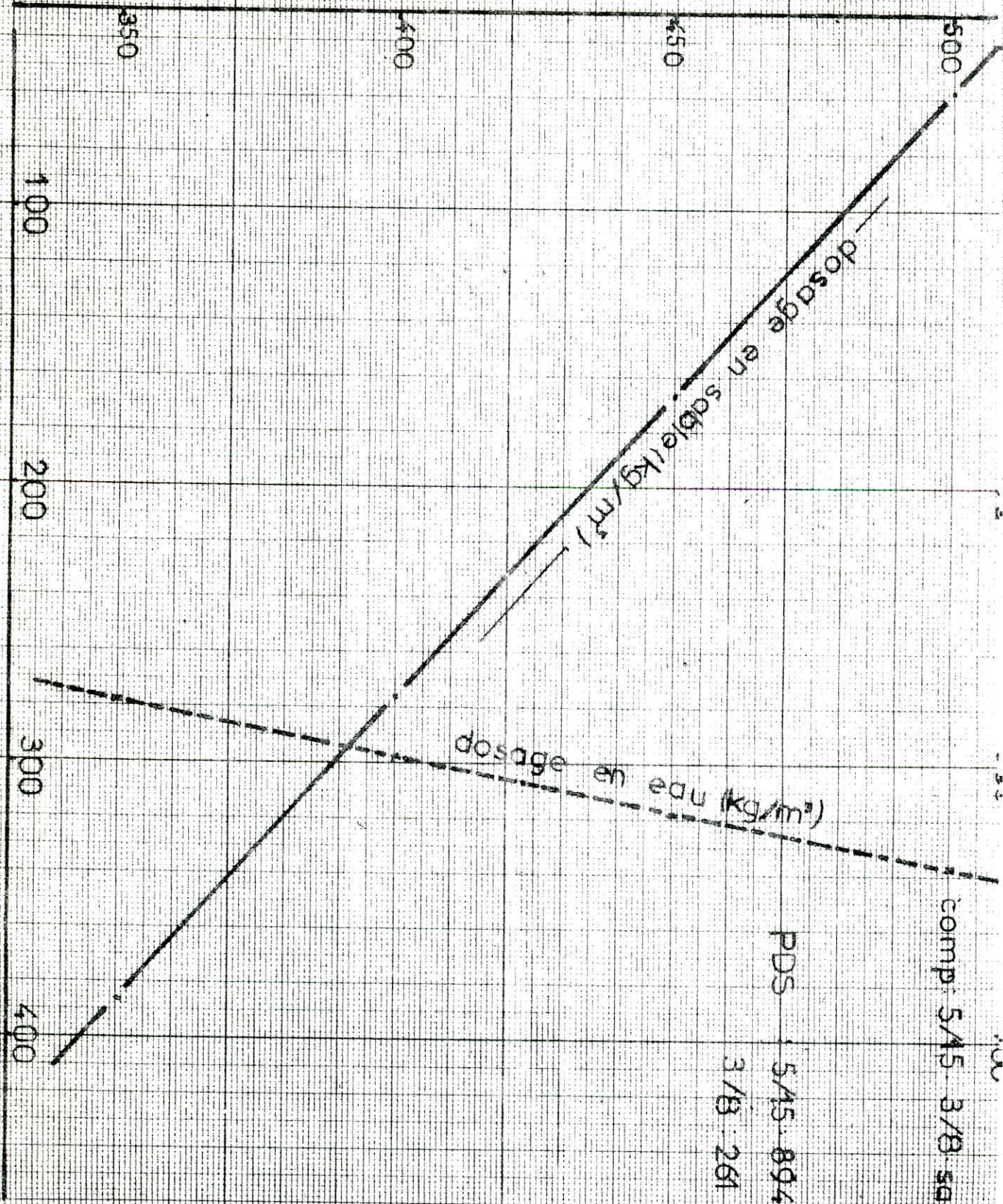
Consistance molle :  $A = 30$  ;  $K = 0,36$ .

$E/P = 0,59$  ;  $D = 16,4$  mm ; % 5/15 = 45% ; % 3/8 = 12.

Dosage	Gran. c	Poids kg	Volume app. l	Vol. abs
350	5/15	894	732	357
	3/8	261	191	95
	Sable	386	275	135
	Plâtre	350	372	133
	Eau	278	278	280
400	5/15	894	732	357
	3/8	261	191	95
	sable	276	197	98
	plâtre	400	426	152
	Eau	298	298	298
450	5/15	894	732	357
	3/8	261	191	95
	sable	167	197	60
	plâtre	450	426	170
	Eau	318	318	318
500	5/15	894	732	357
	3/8	261	191	95
	sable	58	41	21
	Plâtre	500	532	188
	Eau	338	338	338



DOSAGE en PLATRE (kg/m<sup>2</sup>)



comp: 5/15 - 3/8 - sabl

PDS : 5/15 - 894 kg/m<sup>3</sup>

3/8 : 261 kg/m<sup>3</sup>



2° Composition à base de 5/15.

Cette composition contient du 3/8 et du plâtre, les différents dosages seront compris entre 350 et 500. c'est à dire 350, 400, 450 et 500.

Le dosage 350 n'a pas pu être confectionné alors on l'a éliminé et on a pensé à aller jusqu'à 550!

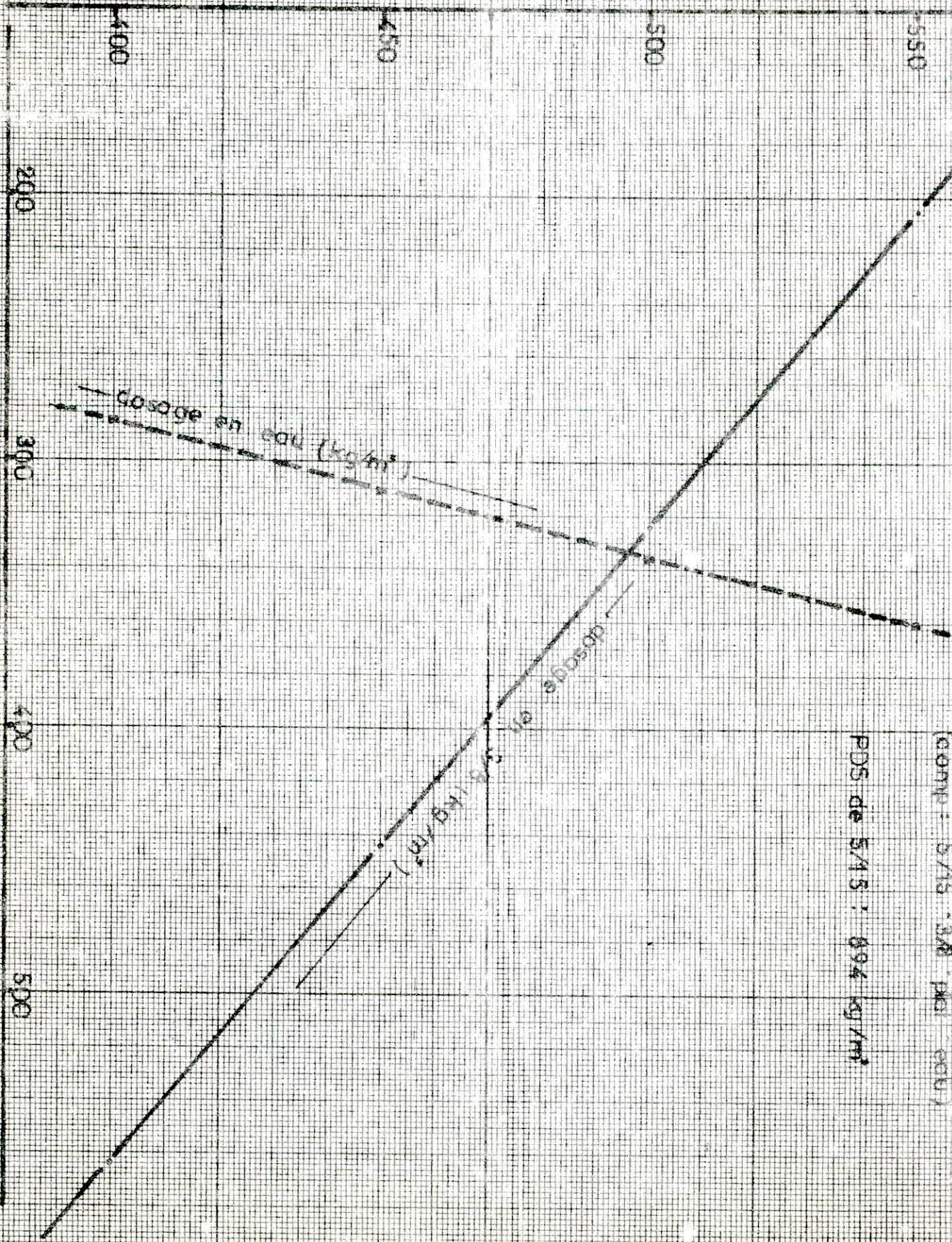
Consistance molle  $K = 0,36$  ;  $A = 30$  , 4% de retardateur.

$E/P = 0,59$  ;  $D = 16,4$  mm ; % 5/15 = 45%.

Dosage	constituants	Poids kg	Volume app. l	Volume abs. l
400	5/15	894	732	357
	3/8	564	411	206
	Plâtre	400	426	152
	Eau	285	285	285
450	5/15	894	732	357
	3/8	444	324	162
	Plâtre	450	479	170
	Eau	311	311	311
500	5/15	732	732	357
	3/8	237	237	118
	Plâtre	532	532	189
	Eau	336	336	336
550	5/15	894	732	357
	3/8	205	150	75
	Plâtre	550	585	208
	Eau.	360	360	360



DOSAGE en PLATRE (kg/m<sup>3</sup>)



(comp : 5/15 : 38 (plâtr eau))  
PDS de 5/15 : 894 kg/m<sup>3</sup>



Les granulats sont préalablement lavés et étuvés.

Pour chaque dosage on confectionnera :

Six (6) éprouvettes cylindriques :  $\phi 16 \cdot L 32$   
pour les essais à la compression.

Six (6) éprouvettes prismatiques  $7 \times 7 \times 28$  pour les  
essais de traction.

- Mode opératoire :

Mélanger le retardateur de prise avec le plâtre.

Malaxer les graviers et le plâtre à sec.

Ajouter de l'eau progressivement à ce mélange.

Le temps de malaxage après introduction de l'eau  
est compris entre 20 et 30 secondes.

- Mode de conservation :

Après démoulage ( $\approx 45$  mn) on pèse les éprouvettes  
d'où la densité fraîche.

- Six éprouvettes (3 cylindriques + 3 prismatiques) sont conservées  
à l'air libre. La température et l'humidité relative  
sont variables. ( $65 < HR < 85$ ) ( $10^{\circ}C < 25^{\circ}C$ )  
L'écrasement se fait à 7 jours.

- Le reste des éprouvettes 24 heures après démoulage  
est introduit dans une étuve où règne uniformément  
une température de  $40^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ .

L'écrasement se fait à poids constant. Avant l'écrasement  
on procède au surfaçage des éprouvettes au soufre  
pour avoir une bonne répartition des contraintes.

## Observations :

On a constaté que :

- Parmi les dosages il y avait ceux dont la mise en oeuvre était difficile.
- Après demoulage, l'aspect des éprouvettes était d'une qualité médiocre :
  - \* présence de cavités.
  - \* coloration des éprouvettes qui tend vers le gris.
- Présence de moisissures sur la surface des éprouvettes conservées à l'air libre (  $t^{\circ} 20 \div 25^{\circ} \text{C}$  et  $\text{HR} = 60 \div 75$  )
- L'état des éprouvettes demeure mouillé lors des écrasements ce qui affecte la résistance ( dosage 500 . résistance à la compression =  $31 \text{ kg/cm}^2$  , résistance à la traction =  $4 \text{ kg/cm}^2$  )

Toutes ces inconvénients et d'autres sont causés par le retardateur de prise. Certes il retarde la prise mais met en évidence beaucoup d'anomalies.

Seul le dosage  $500 \text{ kg/m}^3$  de la composition :  $5/15, 3/3$  plâtre, eau a pu échapper aux remarques ci-dessus : la mise en oeuvre et l'aspect des éprouvettes étaient parfaitement meilleures. Ce dosage sera repris ultérieurement avec de la chaux.

Les résultats sont donnés dans des tableaux et sous forme de graphes.



Résultats :

Composition	350	400	450	500
Dosage $\text{kg/m}^3$	350	400	450	500
Densité spécif. théo. $\text{T/m}^3$	2,169	2,129	2,090	2,050
Densité app. Meo $\text{T/m}^3$	1,17	1,15	1,14	1,12
Densité du béton frais	2,120	2,095	2,083	2,059

Air libre.

Densité du béton à 7j.	2,052	2,067	1,957	1,930
Résistance à la comp. 7j	8	16	24	31
Résistance à la tract. 7j	-	4,2	6,4	3,8

Etuve.

Densité du béton sec	1,88	1,84	1,815	1,814
Résistance à la comp.	22	37	60	117
Résistance à la tract.	-	9,7	11,6	11,1
E. tangent ( $\text{kg/cm}^2$ )	45.667	-	79.899	83.143
E. Sécant ( $\text{kg/cm}^2$ )	35.000	-	69.173	82.641

Commentaires :

- La densité à l'âge de l'écrasement diminue alors que le dosage augmente.
- La résistance à la compression augmente avec le dosage; cela ne veut pas dire que le dosage  $550 \text{ kg/m}^3$  donnera une résistance à la compression supérieure à celle du dosage  $500 \text{ kg/m}^3$ , car les calculs donnent une valeur nulle pour le sable c'est à dire qu'on aboutit d'une façon indirecte à la composition  $5/15, 3/8$ , pierre, eau qui elle donne une résistance à la compression à 7j de l'ordre de  $80 \text{ kg/cm}^2$  pour le dosage  $550 \text{ kg/m}^3$ .



DENSITE THEORIQUE APPARENTE (T/m<sup>3</sup>)

(comp: 5/5 - 3/6, sab, plat, edu)

120 120

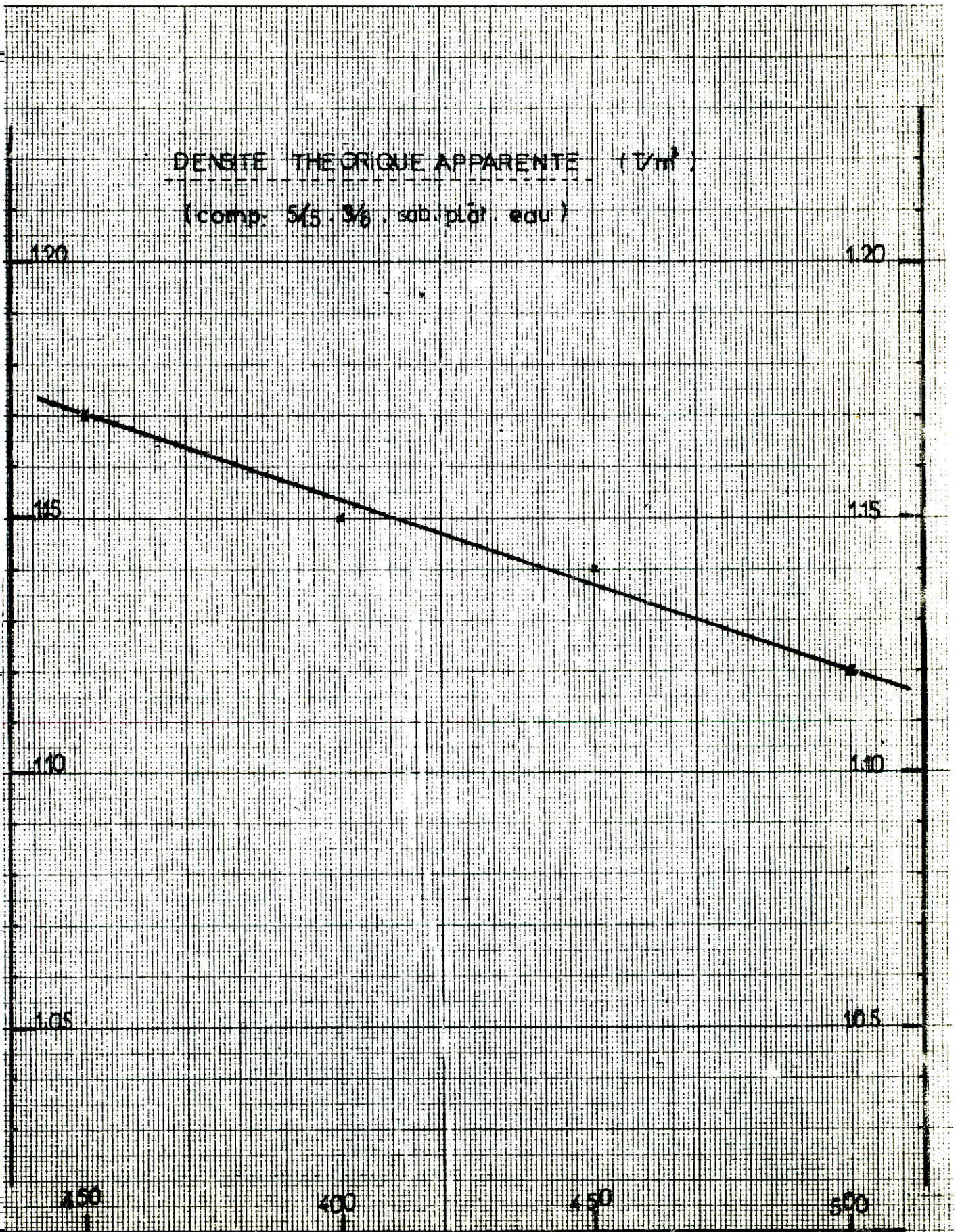
115 115

110 110

105 105

250 400 450 500

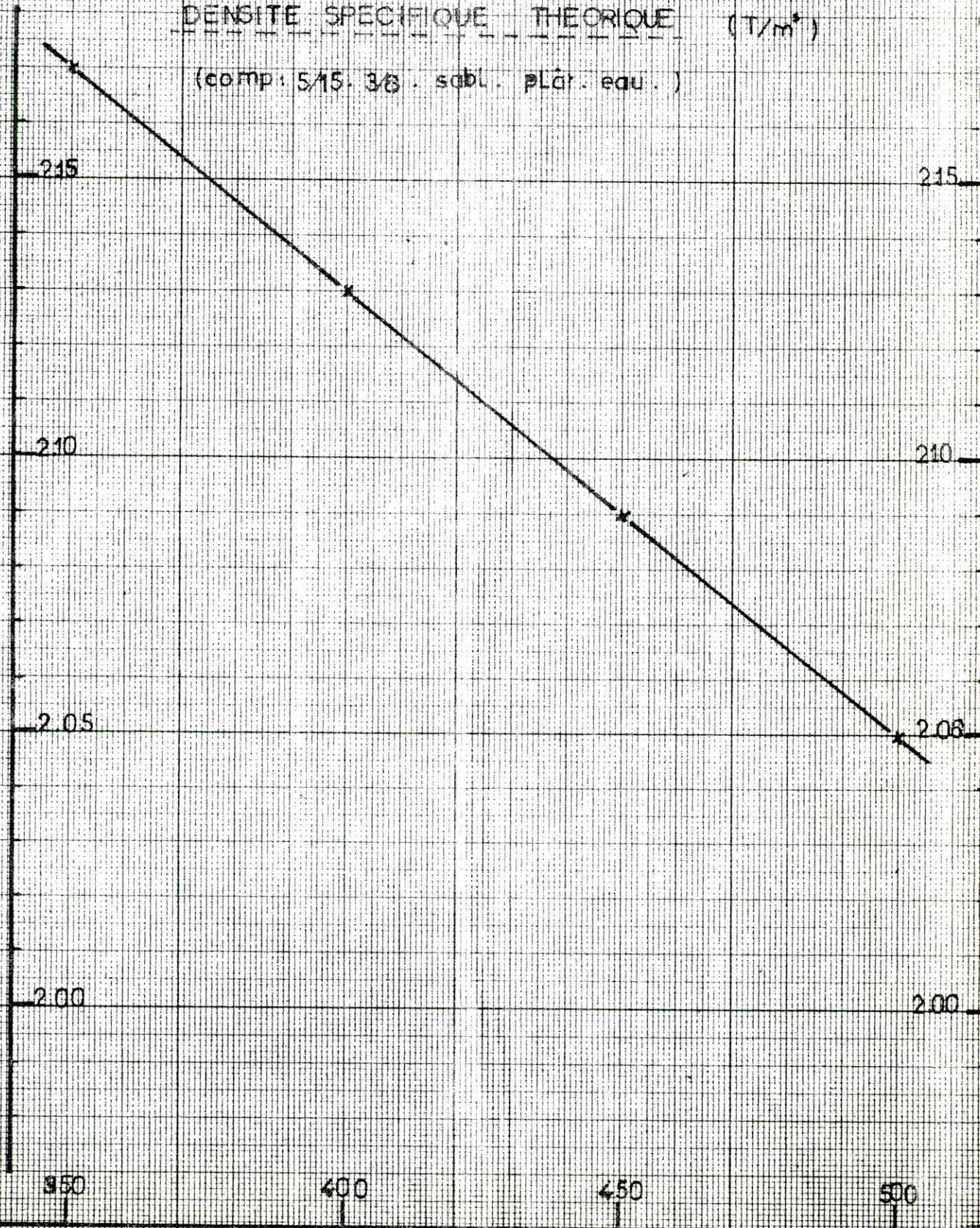
DOSAGE PLATRE (KG/M<sup>3</sup>)





DENSITE SPECIFIQUE THEORIQUE (T/m<sup>3</sup>)

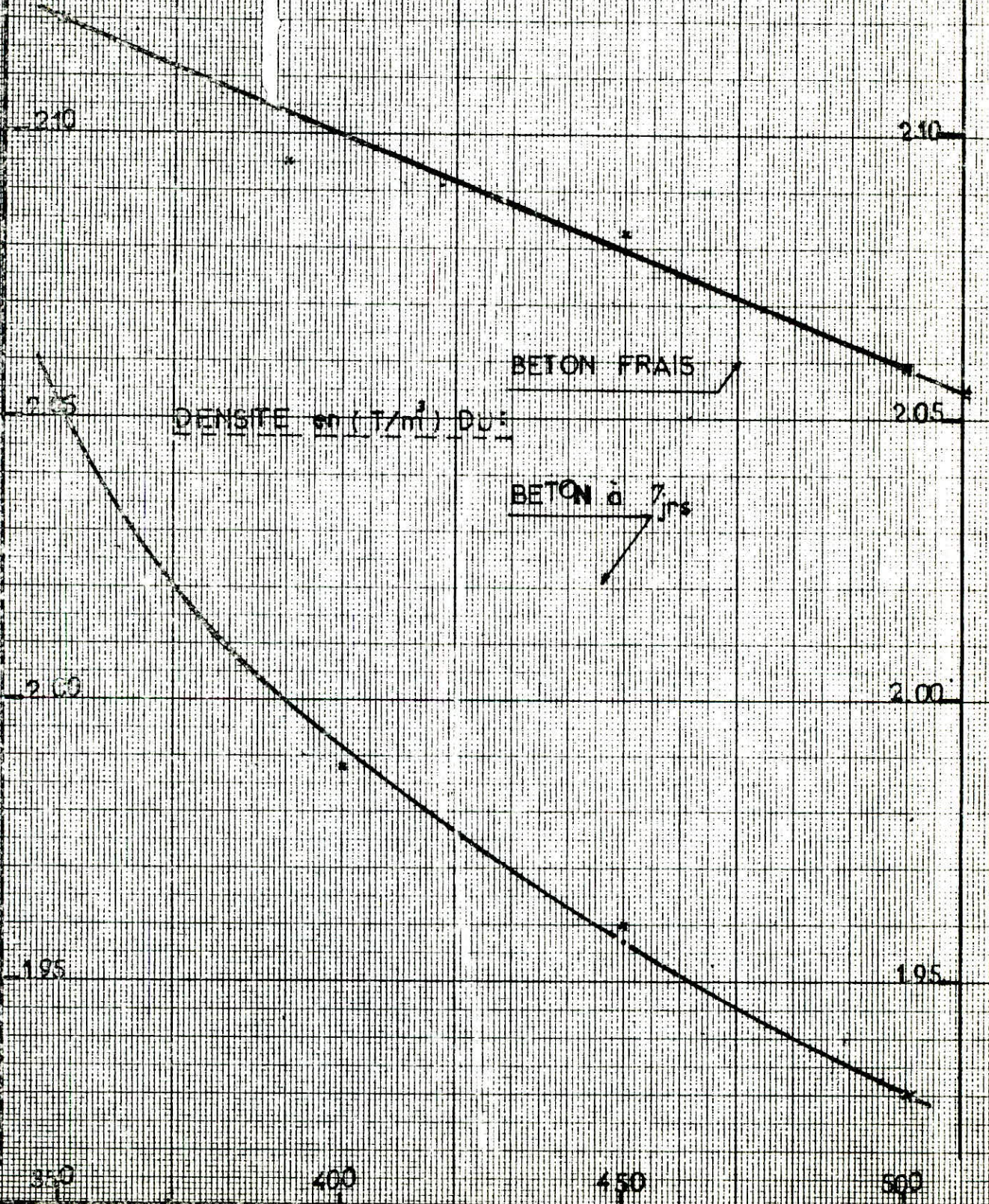
(comp: 5/15. 3/8. sabl. pLâtr. eau.)



DOSAGE en PLATRE (KG/M3)



(compt. 5/15 - 3/8 - sab - plat - eau )



DENSITE en (T/m³) Du:

BETON FRAIS

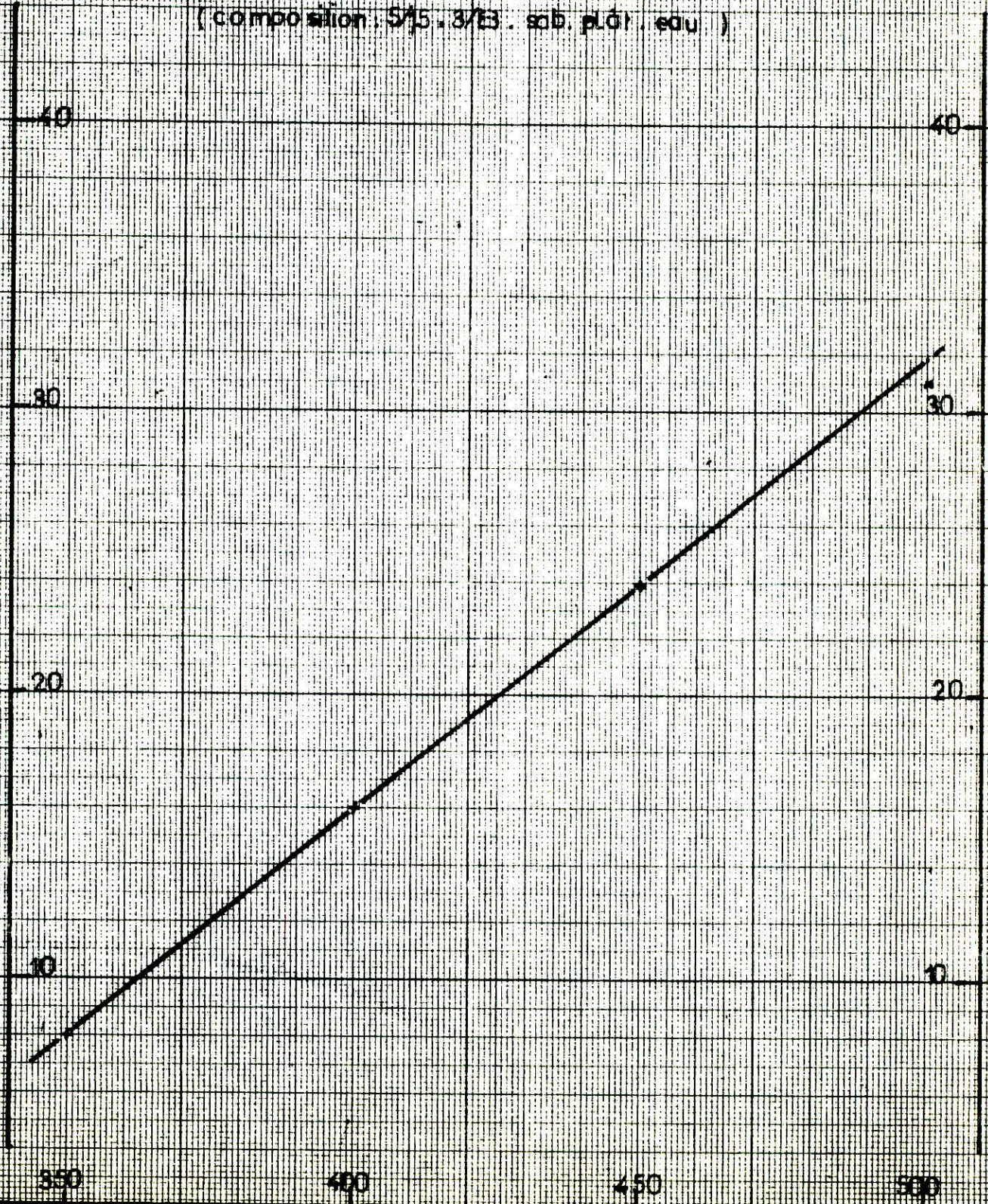
BETON à 7 Jrs

DOSAGE en PLATRE (KG/M³)



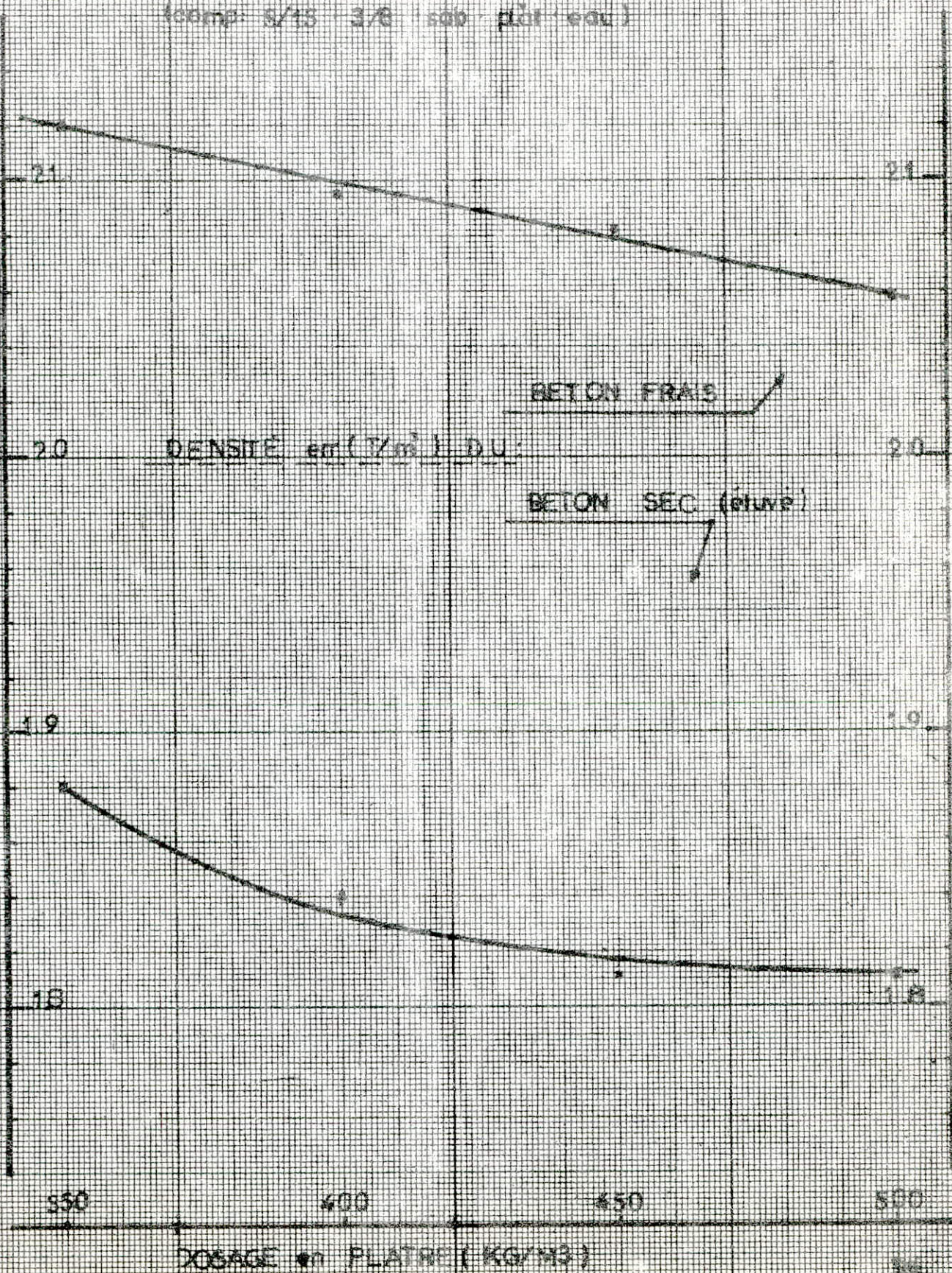
RESISTANCE LA COMPRESSION N° 7 (Kg/cm<sup>2</sup>)

(composition : 5/5 - 3/13 - sab. plât. eau )





(comp. S/13 3/8 sab plat eau)





RESISTANCE à LA COMPRESSION (Kg/cm<sup>2</sup>)

à l'AGE CONSTANT

(comp. 3/13, 3/8, 5/8, 1 Col. 100.)

100

100

80

80

60

60

40

40

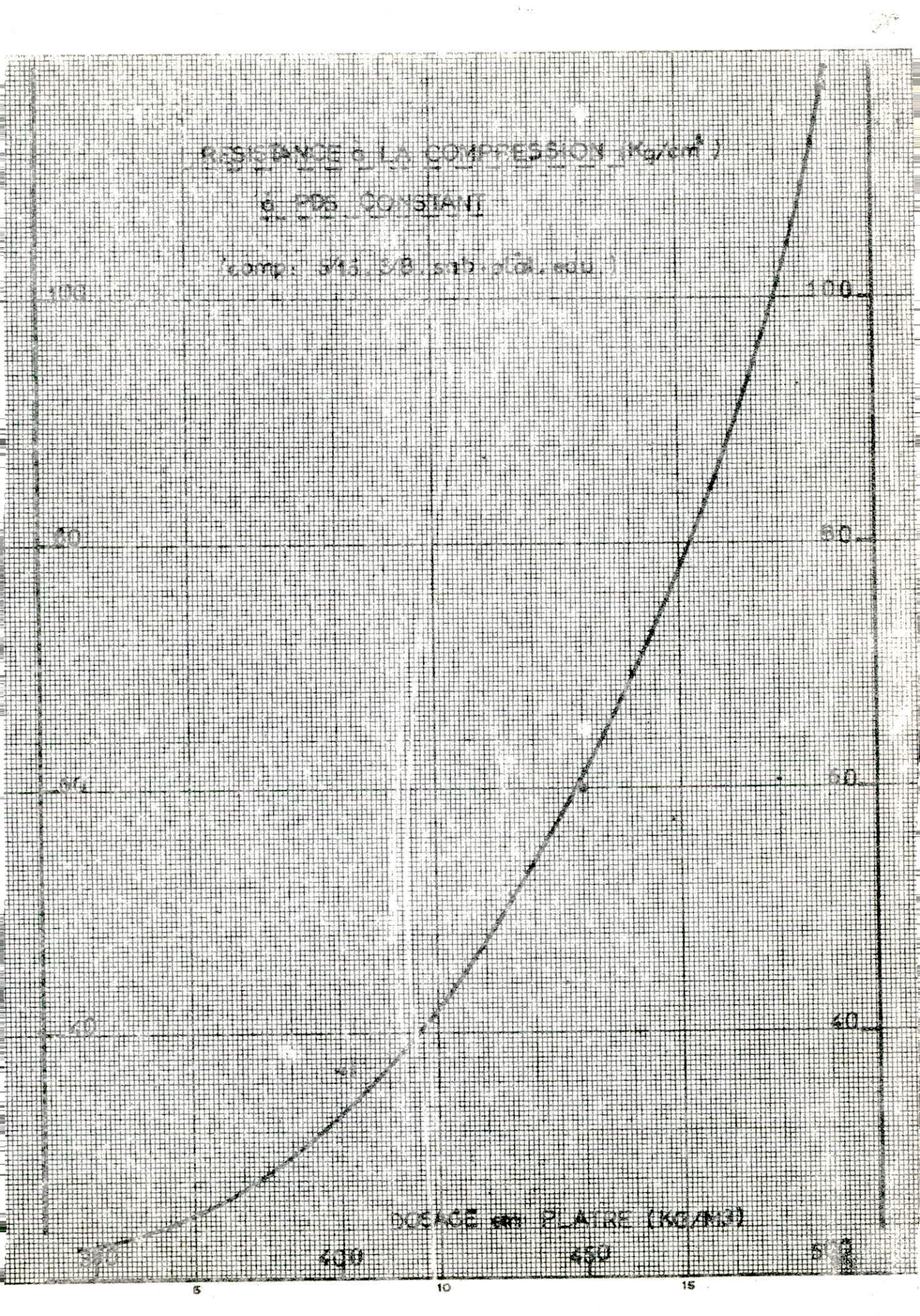
DOSE en PLATRE (KG/M<sup>3</sup>)

350

400

450

500



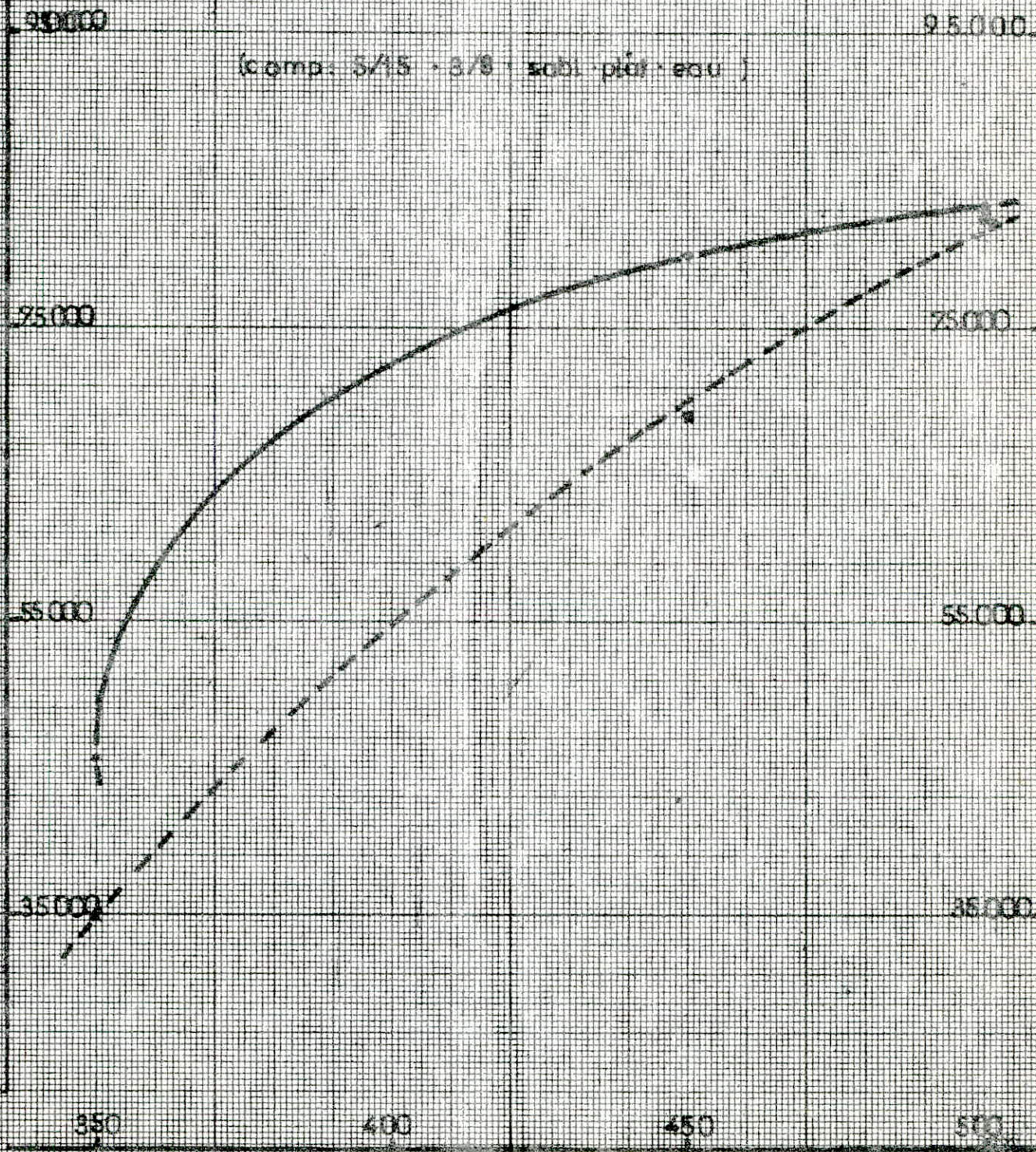


# MODULE D'ELASTICITE DYNAMIQUE (KG/CM<sup>2</sup>)

100000 —————

95000 - - - - -

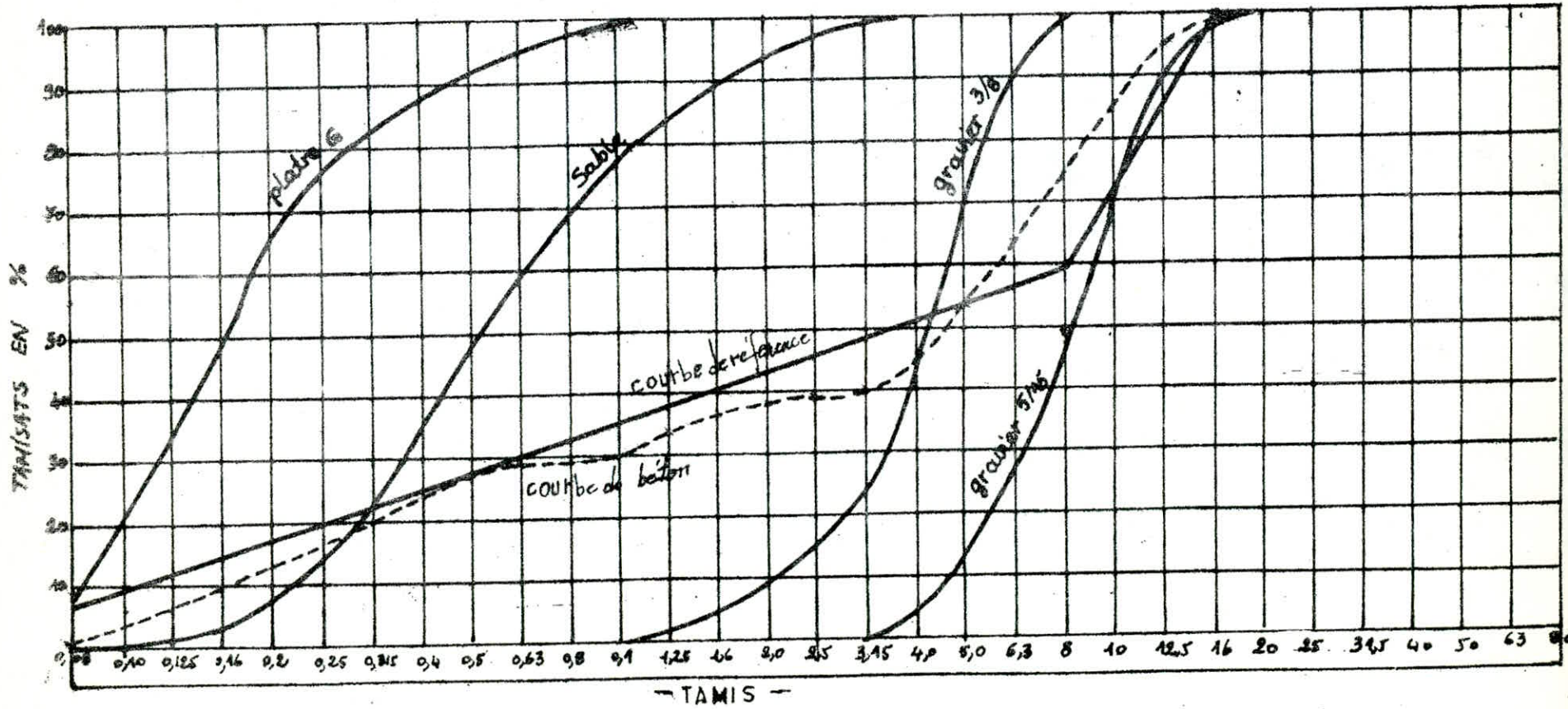
(comp: 5/15 - 3/8 - sabl - plâtr - eau )



DOSAGE en PLATRE (KG/M<sup>3</sup>)



BETON A BASE DE GRAVIER 5/15 avec SABLE.



Composition	5/15	3/8	plâtre	eau	
Dosage	kg/m <sup>3</sup>	400	450	500	550
Densité spécif. théo T/m <sup>3</sup>		2,143	2,099	2,054	2,009
Densité app. théo. T/m <sup>3</sup>		1,16	1,14	1,12	1,10
Densité du béton frais		2,046	2,096	2,080	1,98

à l'air libre.

Densité du béton à 7j	1,91	1,96	2,00	1,85
Résistance comp. 7j	22	29	27	15
Résistance tract. 7j	-	-	-	-

Etuve.

Densité du béton sec	1,82	1,83	1,82	1,74
Résistance comp.	60	100	87	81
Résistance tract.	-	10,3	11,4	-
E tangent (kg/cm <sup>2</sup> )	-	91.715	69.284	73.214
E sécant (kg/cm <sup>2</sup> )	-	88.331	68.736	72.182

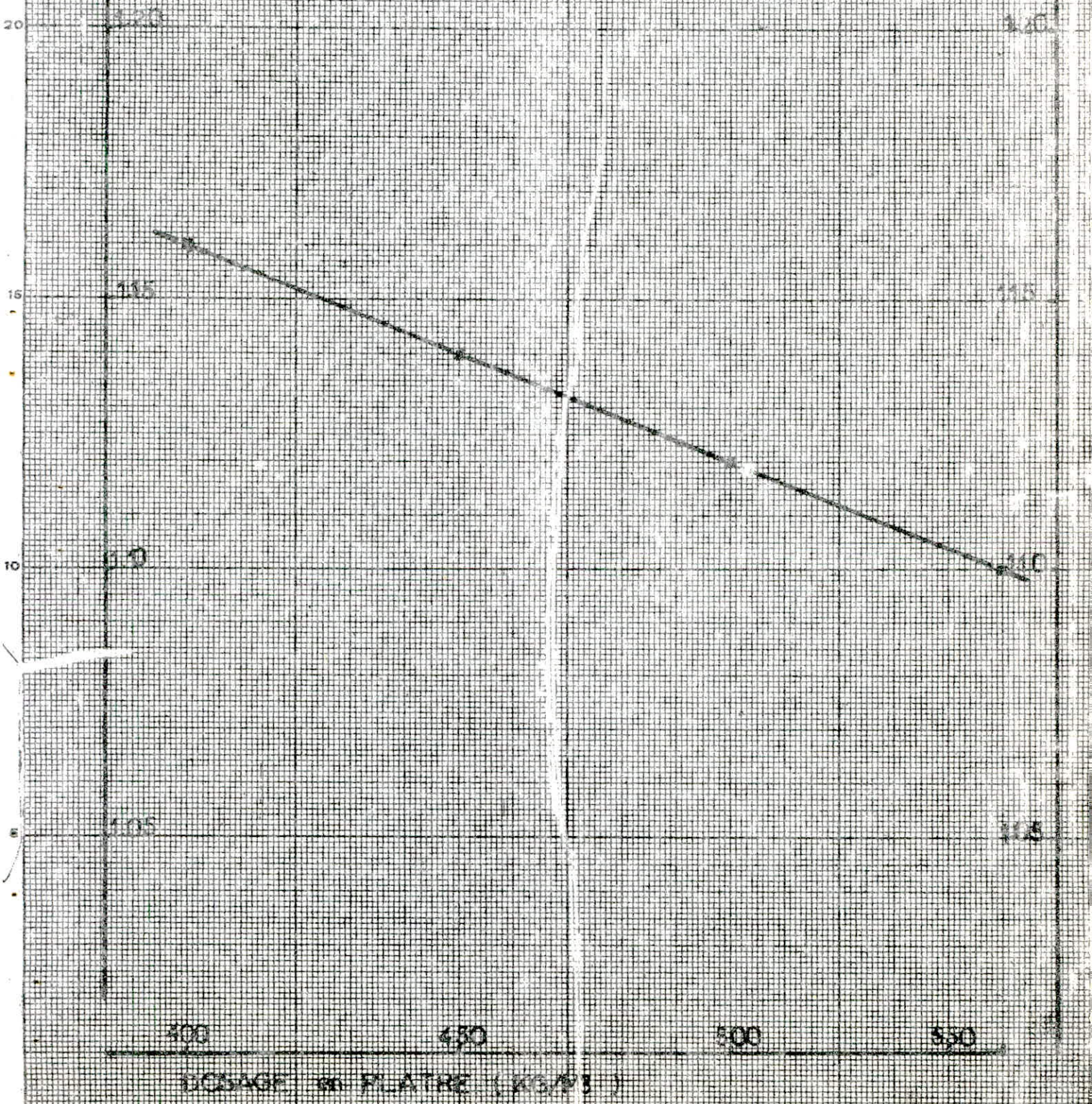
### Commentaires :

- Les courbes de densité à l'âge de l'écrasement, et de résistance à la compression ont la même allure ; en forme de cloche.
- Pour une telle composition il est préférable de travailler avec le dosage 450 kg/m<sup>3</sup>.



DENSITE THEORIQUE APPARENTE (T/M<sup>3</sup>)

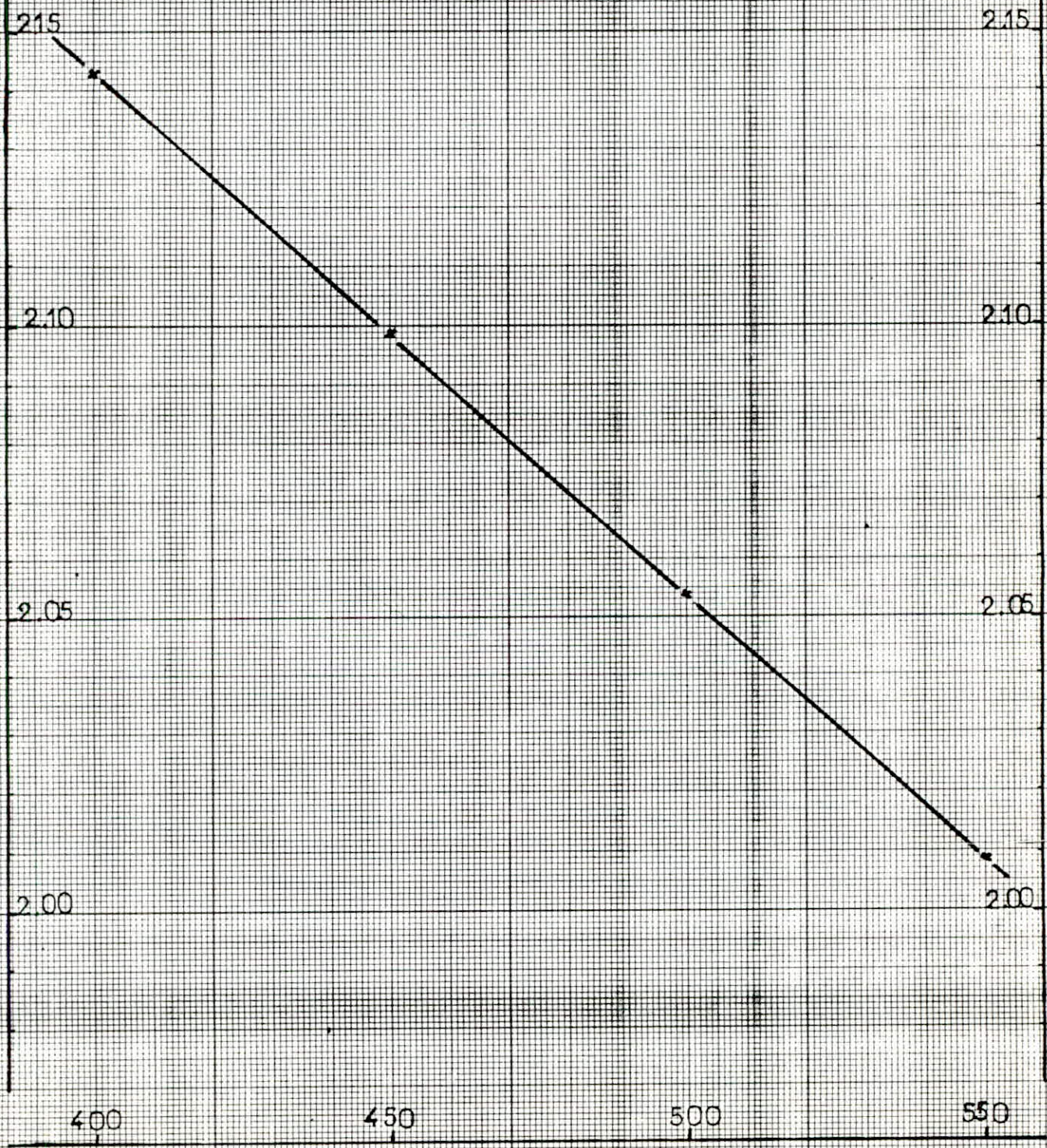
(comp. 5/15, 30, 50, 60)





DENSITE SPECIFIQUE THEORIQUE (T/M<sup>3</sup>)

(comp: 5/15 + 3/8 + plâtr-eau)



DOSAGE en PLATRE (KG/M<sup>3</sup>)

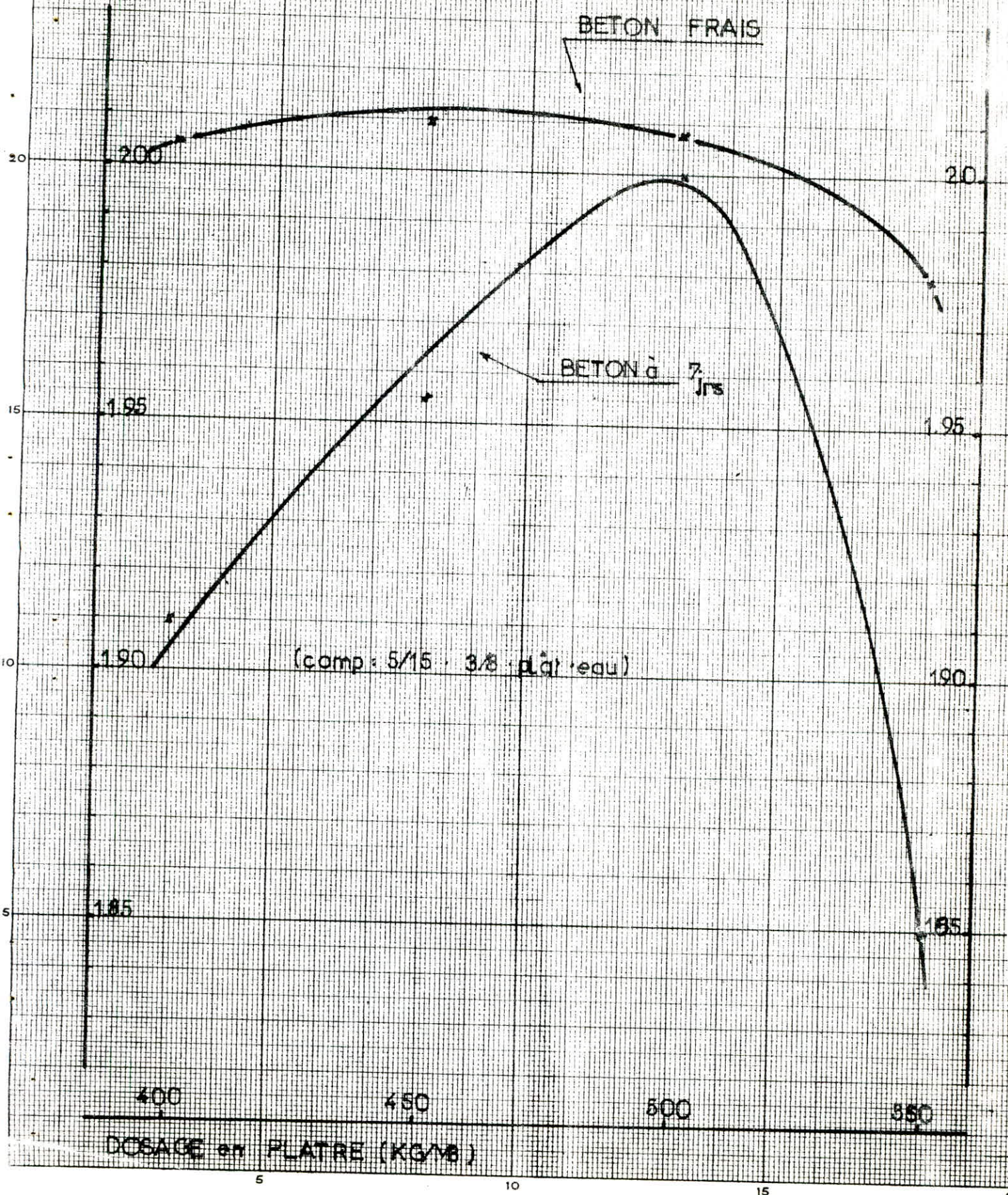


DENSITÉ en (T/M<sup>3</sup>) DU:

BETON FRAIS

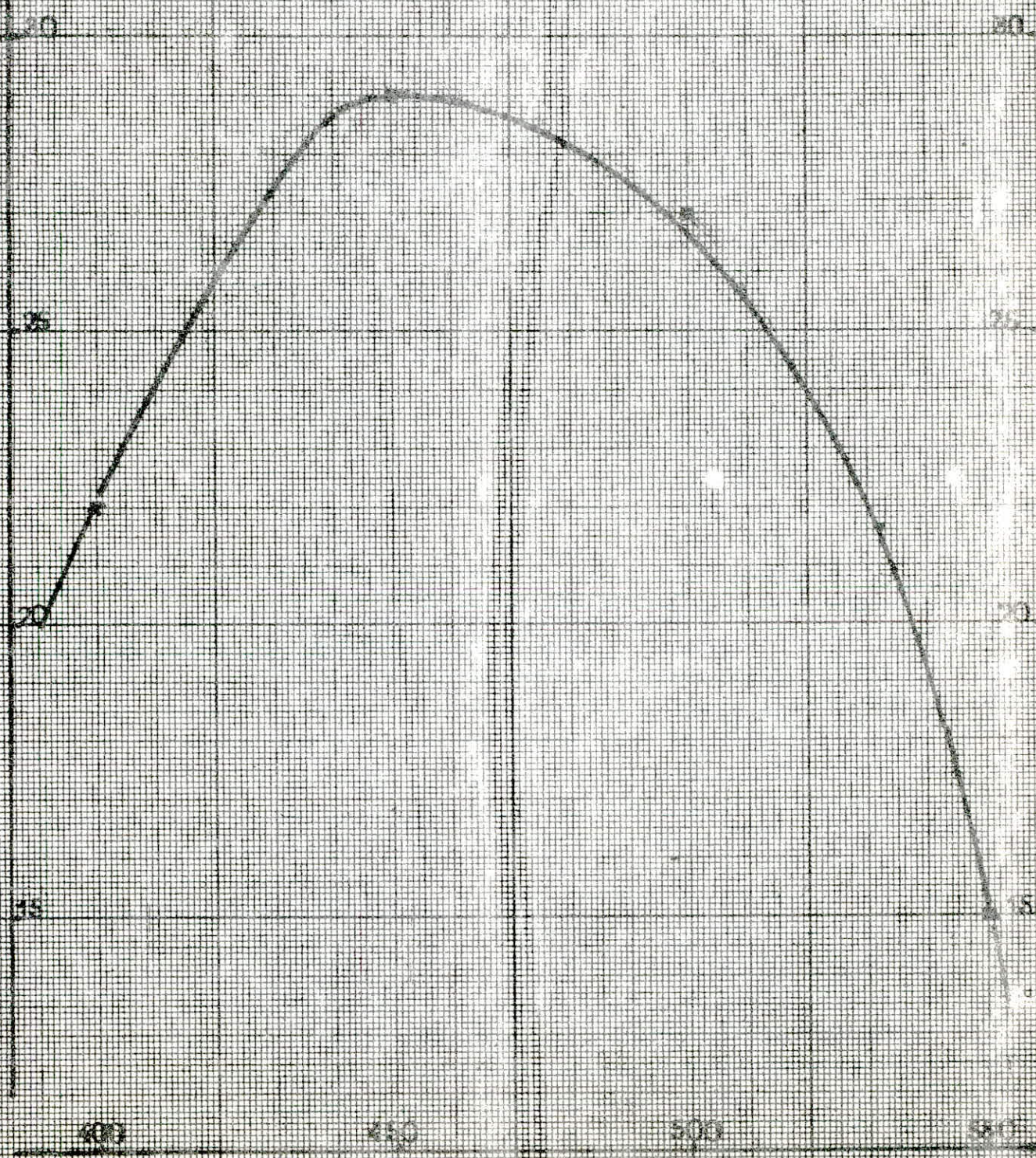
BETON à 7 Jrs

(comp: 5/15 - 3/8 - plâtr·eau)





RESISTANCE A LA COMPRESSION  $f_{cm}$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(comp 3/3 - 30 - p03 - vol)



DOSAGE en PLATRE (kg/m<sup>3</sup>)



(Conte 5/15 - 3/3 - plat - eau)

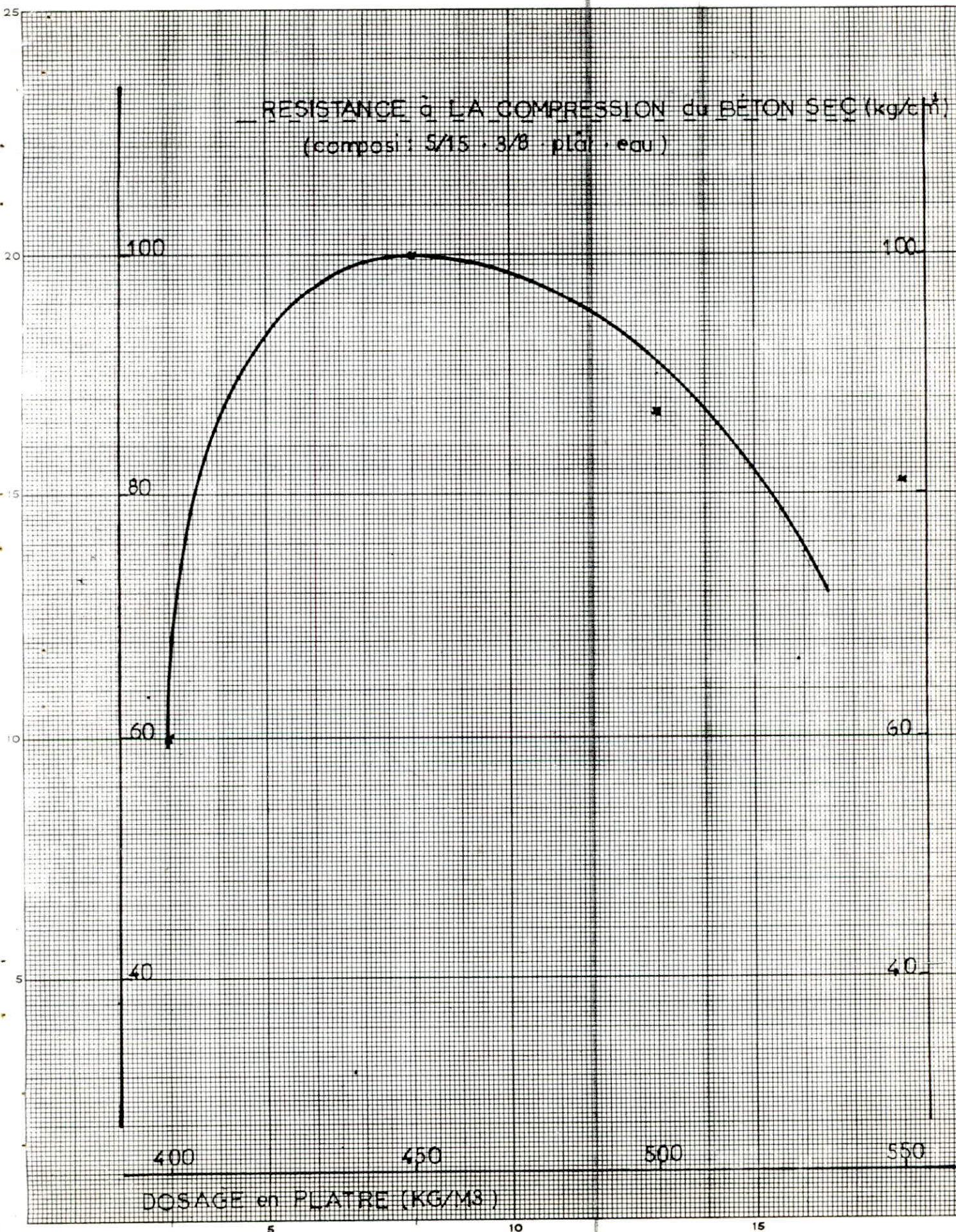


DENSITÉ MATHÉMATIQUE

ÉPAISSEUR DE PLATRE (mm)



RESISTANCE à LA COMPRESSION du BÉTON SEC (kg/cm<sup>2</sup>)  
(composi : 5/15 - 3/8 - plâtr - eau)



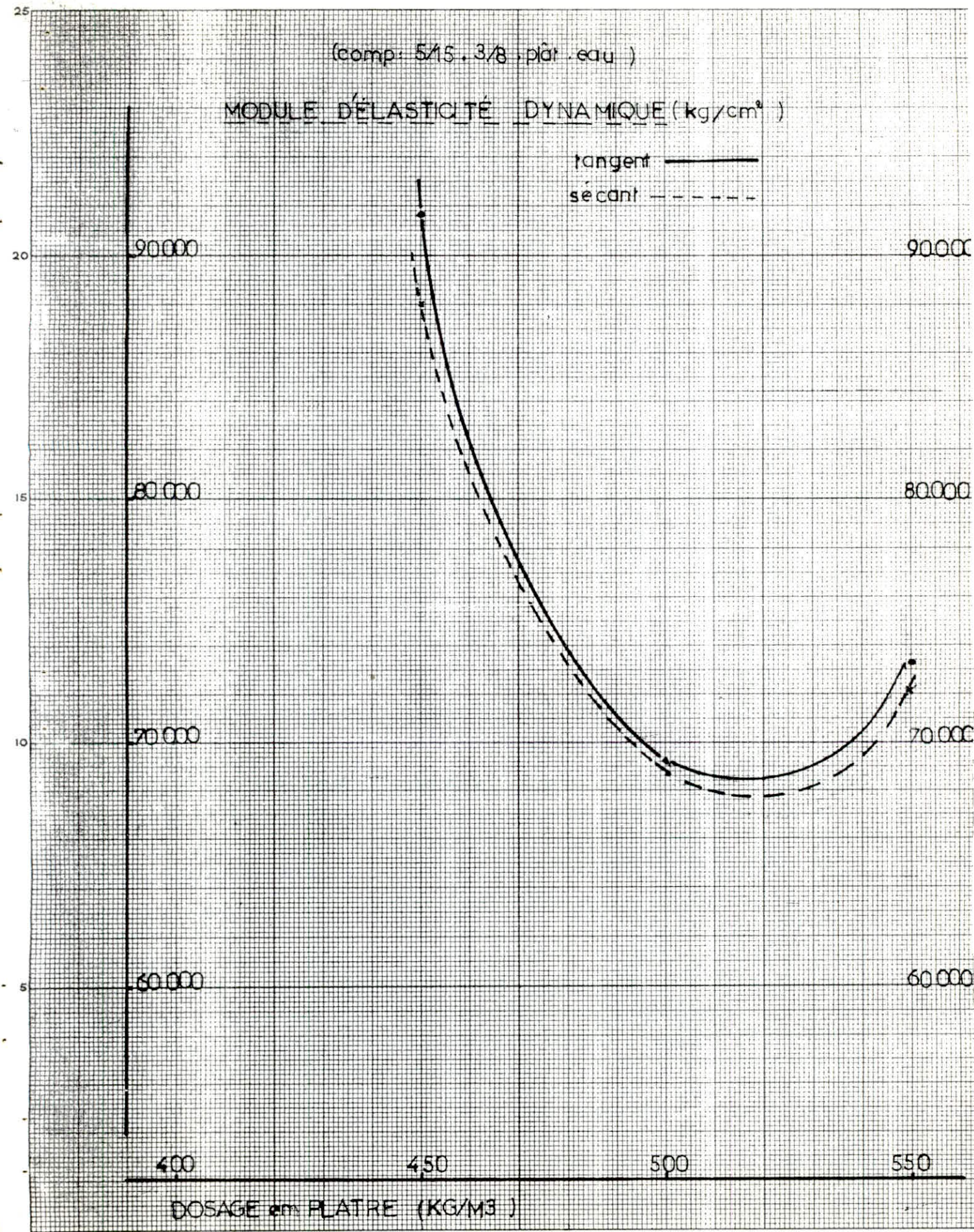


(comp: 5/15 . 3/8 . plâtr . eau )

MODULE DÉLASTICITÉ DYNAMIQUE (kg/cm<sup>2</sup>)

tangent —————

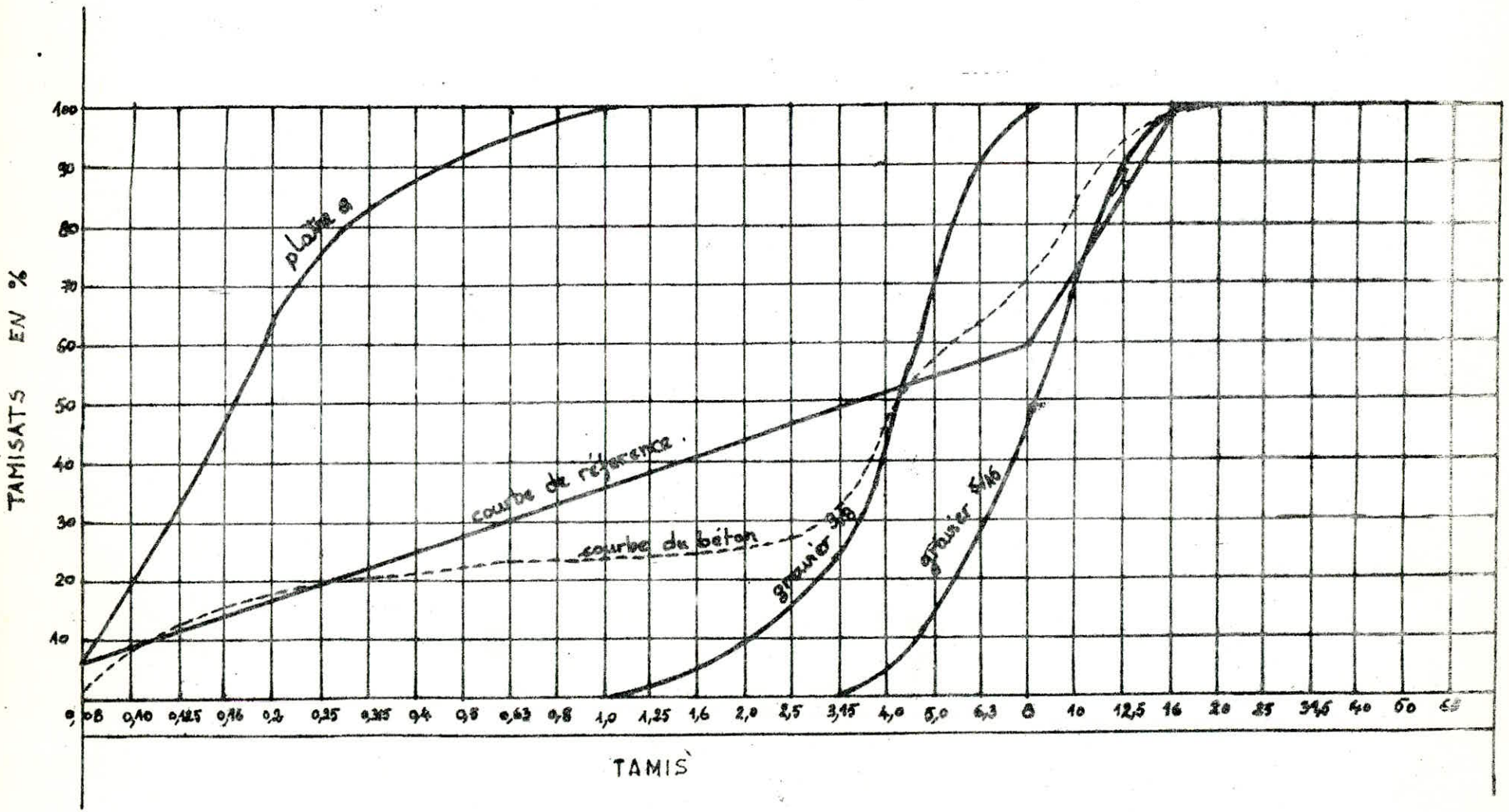
sécant - - - - -



DOSAGE en PLATRE (KG/M<sup>3</sup>)



# BETON A BASE DE GRAVIER 5/15 SANS SABLE.





### 3. Autres Compositions :

- Notre méthode de composition de béton nous permet d'élaborer des dosages à base de plâtre et de gravillon, à savoir : compositions :
  - plâtre + gravillon 5/15.
  - plâtre + gravillon 3/8.

La méthode de calcul est la suivante :

\* Composition : - 5/15 - plâtre - eau -

- Une fois les tracés granulométriques sont effectués sur un diagramme, nous traçons la courbe de référence Faury.

Soit une consistance normale :  $K = 9,3$  et  $A = 24$ .

$$D = 16,4 \text{ mm.}$$

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} = 54.$$

$$\% \text{ 5/15 en volume} = 57\%.$$

- Quantité d'eau nécessaire :  $E = \frac{K \cdot 1000}{\sqrt[5]{D}} = 171,5 \text{ l.}$

- Quantité de matière sèche =  $1000 - E = 828,5 \text{ l.}$

- Volume sec du gravillon 5/15 =  $\frac{57 \cdot 828,5}{100} = 472 \text{ l.}$

- Eau de mouillage de ce volume =  $e_{v_{5/15}} \cdot V_{\text{sec}} = 0,075 \cdot 472 = 35,4 \text{ l.}$

- On déduit le volume de plâtre mouillé =  $1000 - (472 + 35,4) = 492,6 \text{ l.}$

$$\text{Volume de plâtre sec} = \frac{V_M}{1 + e_p} = \frac{492,6}{1 + (2,64 \cdot 0,59)} = 192,6 \text{ l.}$$

- Eau de mouillage de ce volume =  $e_{v_p} \times V_{\text{sec}} = 300 \text{ l.}$

- Quantité d'eau finale :  $E_T = 35,4 + 300 = 335,4 \text{ l.}$

Le dosage est le suivant :

	Vol. app. l	vol. ab. l	Poids kg
5/15	967	472	1180
plâtre	542	193	509,5
Eau	335	335	335

Remarque : On n'a pas pu mettre en oeuvre ce dosage ;  
on a noté les remarques suivantes :

- Il n'y avait pas suffisamment d'eau .
- la quantité de gravier était excessive .

Correction : On a ajouté 20 % d'eau et retrancher la même quantité au gravier , de façon à ce que la somme des volumes absolues soit de 1 m<sup>3</sup>.

$$\text{Eau} : 335 \cdot 1,2 - 335 = 67 \text{ l.}$$

$$\text{Gravier} : 472 - 67 = 405 \text{ l.}$$

la composition finale est la suivante :

	Vol. app. l	Vol. abs l	Poids kg
5/15	830	405	1012
Plâtre	542	193	509,5
Eau	402	402	402



\*\* Composition 3/8, plâtre, eau.

On a procédé de la même façon que précédemment.

Consistance molle :  $K = 0,36$  ;  $A = 30$  ,  $Y = 55,8$  ,  $\% 3/8 = 60$ .

La composition trouvée est la suivante :

	Vol. app. l	Vol. abs. l	Poids kg
3/8	916	458	1255
plâtre	539	192	507
Eau.	350	350	350

Correction : plus 10% d'eau.

	Vol. app.	Vol. abs	Poids
3/8	846	423	1159
plâtre.	539	192	507
Eau.	385	385	385

Résultats :

Composition	5/15 + plâtre	3/8 + plâtre .
Densité spécif. théo $T/m^3$	1,92	2,05
Densité app. théo $T/m^3$	1,08	1,16
Densité du béton frais	1,97	2,00

## air libre

Densité à $f_j$ $T/m^3$	1,85	1,89
Résistance comp. $f_j$	21	21
Résist. traction $f_j$	-	-

## Etuve .

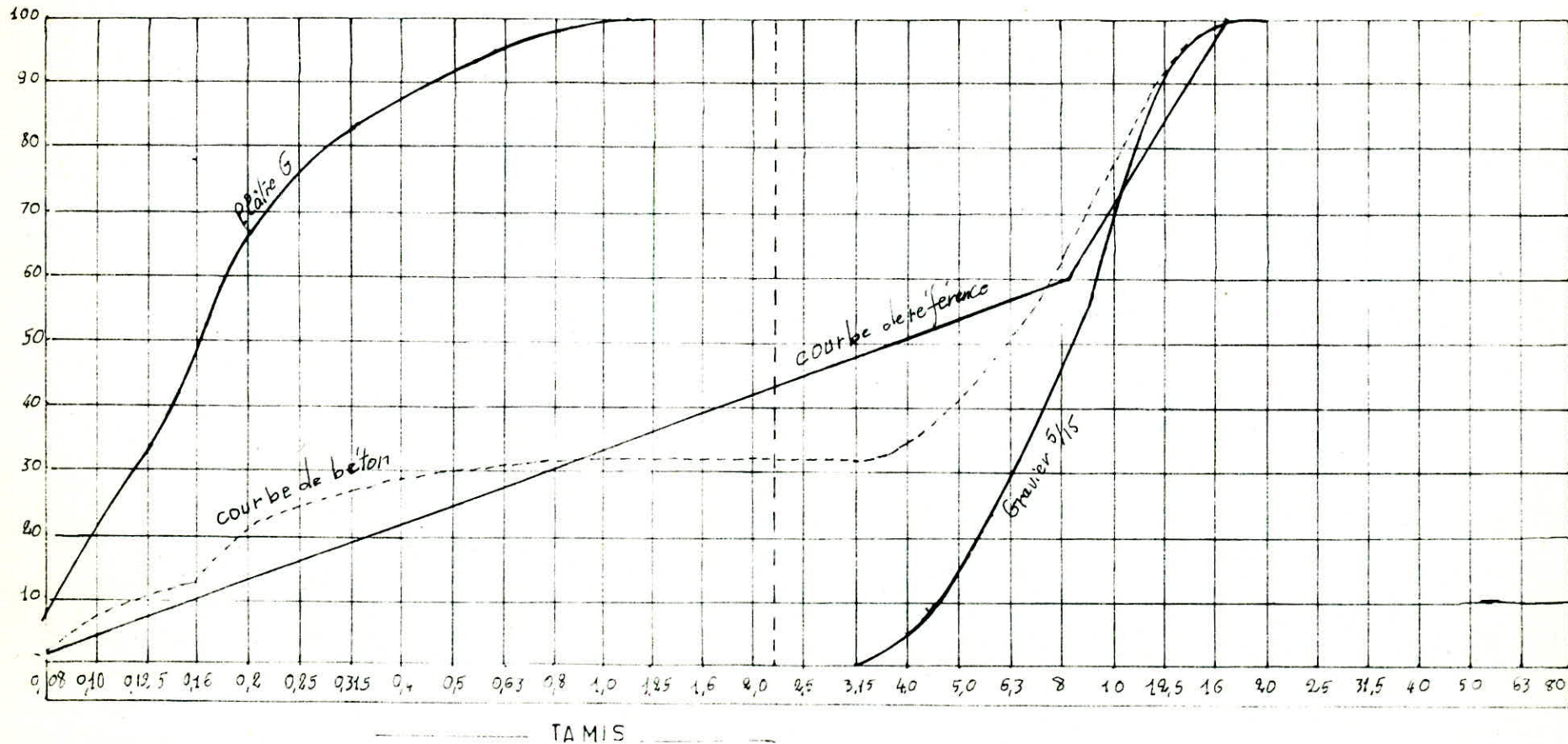
Densité du béton sec	1,67	1,72
Résistance comp. $kg/cm^2$	46	51
Résistance tract. "	9,3	10
E. tangent $kg/cm^2$	58.426	60.444
E. sécant $kg/cm^2$	53.307	54.286.

Commentaires :

- Comme précédemment la résistance varie en fonction de la densité à l'ége de l'écrasement.
- Ces deux compositions ne présentent pas un grand intérêt vu les faibles résistances et les quantités excessives de plâtre mises en jeu.
- En comparaison avec les dosages ( $500 kg/m^3$ ) des deux compositions à base de 5/15, 3/8, sable, plâtre, eau et 5/15, 3/8, plâtre, eau, il paraît évident que ces dernières offrent de meilleures performances.

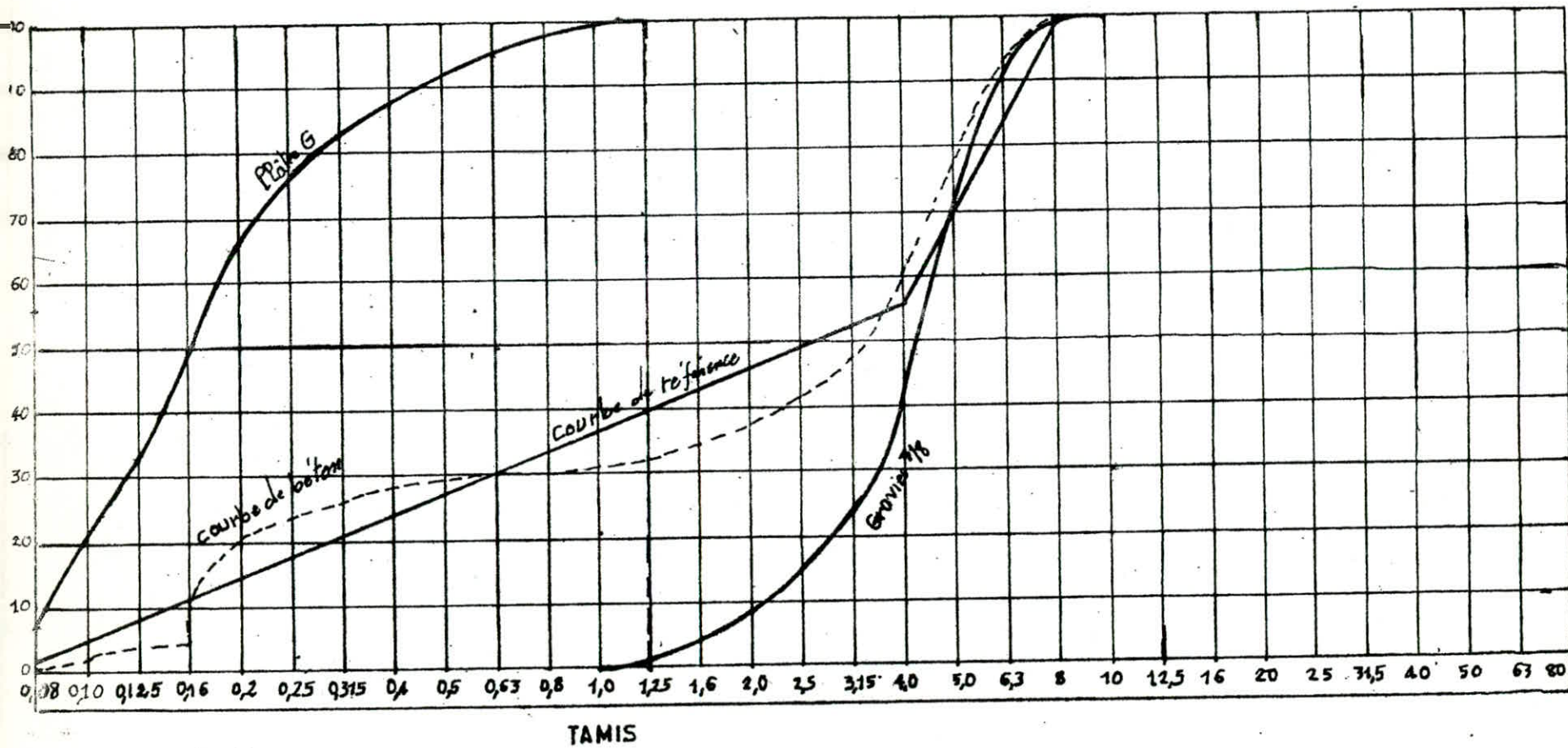


- composition 5/15 plâtre -



G.F.-A.

composition: 3/8 - plâtre





## Influence de la Chaux :

Comme on vient de le voir au § observation (page: . ) que le dosage  $500 \text{ kg/m}^3$  de la composition :  $5/15, 3/8$ , plâtre, eau présentait des qualités de mise en oeuvre et d'aspect. meilleurs que le reste des dosages, on la reprit avec 2% et 3% de chaux du poids du plâtre, (sans retardateur).

## Observations :

La chaux, contrairement au retardateur nous a offert un béton maniable, ouvrable d'où une mise en oeuvre facile. Des éprouvettes étaient d'une blancheur éclatante et très denses. Le tableau ci-dessous donne les résultats en comparaison avec le retardateur.

	4% retardateur	3% chaux.	2% chaux.
Densité du béton frais $T/m^3$	2,080	2,106	2,110
Densité du béton sec $T/m^3$	1,820	1,860	1,860
Résistance à la comp ( $\text{kg/cm}^2$ )	87	96	120
Résistance à la traction ( $\text{kg/cm}^2$ )	11,4	14	12,5
E. tangent. ( $\text{kg/cm}^2$ )	69.357	91.428	95.143
E. sécant. ( $\text{kg/cm}^2$ )	68.612	88.962	94.761

## Commentaires :

Outre les qualités de mise en oeuvre et d'aspect, 2% de chaux ont fait améliorer les caractéristiques mécaniques du béton de plâtre, en effet la résistance à la compression à poids constant passe de  $87 \text{ kg/cm}^2$  à  $120 \text{ kg/cm}^2$ , soit une augmentation d'environ 40%.

Si on avait pris le dosage  $450 \text{ kg/m}^3$  (Résistance à la compression de l'ordre de  $100 \text{ kg/cm}^2$ ) on aurait trouvé une

résistance de l'ordre de  $140 \text{ kg/cm}^2$ . Ceci n'a pu être fait faute de plâtre puisqu'à ce stade on ne dispose plus de plâtre de Ghardaïa.

### Plâtre de l'ouest.

On a remarqué que les résistances des dosages : 350, 400, et 550 sont très faibles. On ne va donc reprendre avec le plâtre de l'ouest que les dosages 450 et  $500 \text{ kg/m}^3$  qui donnent la plus grande résistance pour la composition considérée. Et pour le peu de temps qui nous reste l'écrasement de éprouvettes se fera à l'âge de 7 jours, à la fois pour les éprouvettes conservées à l'air libre et étuvées. Contrairement à ce qu'on a fait dans le cas de plâtre de Ghardaïa : l'écrasement à poids constant des éprouvettes étuvées qui a duré environ 14 jours.

### Calcul des dosages :

On suit la même méthode, sauf que pour ce plâtre le rapport E/P = 0,56. On aboutit aux dosages suivants avec 2% de'eau.

Composition : 5/15, 3/8, sable plâtre, eau		consistance molles : $K=0,36$ , $A=30$ $\% 5/15 = 45\%$ $\% 3/8 = 12\%$	
Dosage $500 \text{ kg/m}^3$	Volume app. (l)	Poids (kg)	Vol. abs. (l)
5/15	738	894	357
3/8	191	261	95
Sable	65	92	32
plâtre	610	500	189
Eau.	326	326	326



composition 5/15, 3/8, plâtre, eau.		consistance molle : $K = 0,36$ $A = 30$ % 5/15 = 45 %	
Dosage 450 kg/m <sup>3</sup>	Vol. app. l	Poids (kg)	Vol. abs (l)
5/15	732	894	357
3/8	348	477	174
plâtre	549	450	170
Eau	298	298	298

composition : 5/15, sable, plâtre, eau		consistance normale $K = 0,29$ $A = 23,5$ % 5/15 = 55 %	
Dosage 500 kg/m <sup>3</sup>	Vol. app. l	Poids kg	Vol. abs. l.
5/15	940	1147	459
sable	60	84	30
plâtre	610	500	189
Eau.	322	322	322

Composition : 3/8, sable, plâtre, eau		consistance normale : $K = 0,3$ $A = 24$ % 3/8 = 58 $D = 8,1$	
Dosage 500 kg/m <sup>3</sup>	Vol. app. l	Vol. Poids kg.	Vol. abs. l.
3/8	931	1275	465
sable	23	32	11
plâtre	610	500	189
Eau.	334	334	334

Résultats :

	I	II	III	IV
Composition	5/15, 3/8 sable, plâtre eau	5/15, 3/8 plâtre, eau	5/15, sable plâtre, eau	3/8, sable plâtre, eau.
Dosage	500 kg/m <sup>3</sup>	450 kg/m <sup>3</sup>	500 kg/m <sup>3</sup>	500 kg/m <sup>3</sup>
Densité théo.	2,050	2,099	2,031	2,121
Densité fraîche	2,150	2,199	2,140	2,190

Libre- ster	Densité $\gamma_j$	2,053	2,117	2,042	2,025
	R. comp. kg/cm <sup>2</sup>	46	43	52	44
	R. tract. "	7,5	4,5	5,8	4,8
	E. tangent "	101.000	100.091	105.000	82.500
	E. secant "	95.245	99.231	91.765	81.500

-Ester-	Densité à $\gamma_j$	1,923	1,975	1,911	1,890
	R. comp.	107	105	112	98
	R. tract.	19,3	15,7	15	11
	E. tangent	102.750	108.546	118.800	90.000
	E. secant.	101.976	104.258	115.862	86.471.

Commentaires :

- En comparant les compositions I et II on remarque que l'introduction du sable améliore de peu la résistance. Économiquement la composition II s'impose à la composition I.
- Quand aux deux autres compositions, la conclusion est entée c'est la composition (5/15 + sable) qui a donné de bon résultats. Cela peut s'expliquer de la façon suivante : la composition à granularité légèrement discontinue donne de bonne résistances, mais la granularité continue donne une bonne ouvrabilité c'est ce qu'on a constaté lors de la mise en oeuvre.



Maintenant qu'on a étudié plusieurs compositions, on retient les compositions suivantes :

- \* 5/15, 3/8, plâtre, eau.
- \* 5/15, sable, plâtre, eau.

avec ces deux dernières compositions on va étudier l'influence de la chaux et du rapport E/P (diminué) sur les caractéristiques du béton.

Compositions :

les compositions, calculées pour les dosages en plâtre de 450 et 500 kg/m<sup>3</sup> de plâtre gâché à 45% (E/p=0,45) et 2% de chaux sont les suivantes :

Composition : 5/15 ; 3/8 ; plâtre, eau <span style="float: right;">E/P = 0,45.</span>			
Consistance molle : $K=0,36$ , $A=30$ , % 5/15 = 45%.			
Dosage 450 kg/m <sup>3</sup>	Poids kg	Vol. abs. l	Vol. aff. l
5/15	894	357	732
3/8	600	219	438
plâtre	450	170	548
Eau	253	253	253

Composition 5/15, sable, eau <span style="float: right;">E/P = 0,45.</span>			
Consistance normale : $K=0,29$ ; $A=23,5$ % 5/15 = 55%.			
Dosage 500 kg/m <sup>3</sup>	Poids kg	Vol. abs. l	Vol. aff. l.
5/15	1147	459	940
sable	208	74	149
plâtre	500	189	610
Eau	278	278	278

Résultats :

Compositions	5/15 ; 3/8, plâtre	5/15, sable, plâtre
Dosage	450	500
Densité théor. spécif $T/m^3$	2,099	2,031
Densité du béton frais $T/m^3$	2,235	2,212

Libre Air	Densité du béton à 7j	2,134	2,106
	Résistance à la comp. 7j $kg/cm^2$	75	62
	Résistance à la tract. 7j "	-	-
	E. tangent $kg/cm^2$	129.000	120.000
	E. secant $kg/cm^2$	126.000	112.364

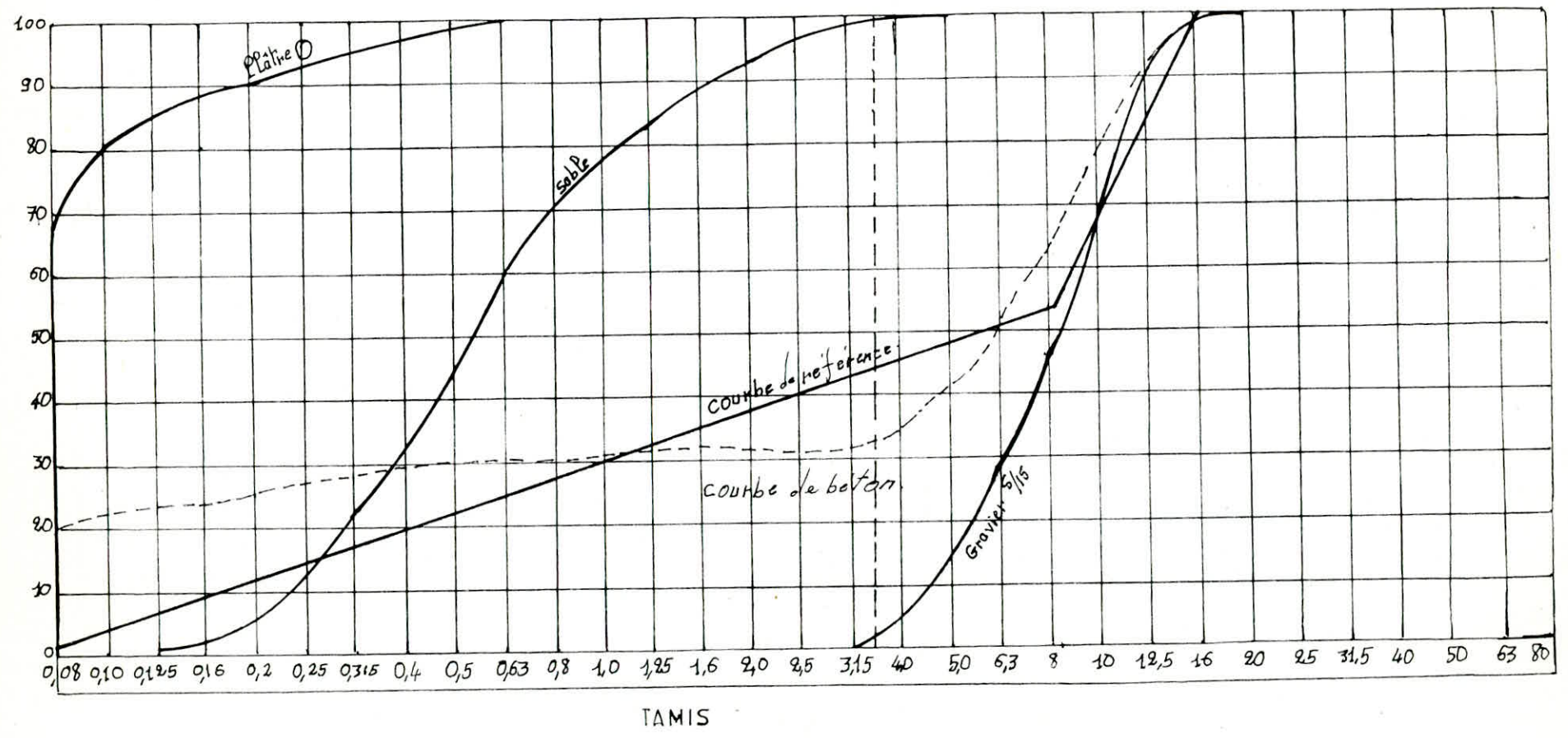
Etuve	Densité du béton à 7j	2,061	2,029
	Résistance à la comp. 7j	118	100
	Resist. tract. tj	20,3	24,7
	E. tangent $kg/cm^2$	147.600	129.400
	E. secant. "	131.111	117.882

Commentaires :

. En Diminuant le rapport E/P de 0,56 à 0,45 on remarque que la résistance à la compression de la composition 5/15,3/8 augmente tandis que celle de 5/15, sable diminue, cela est probablement dû à l'augmentation de la quantité de sable; donc le sable doit être ajouté en très faible quantité.

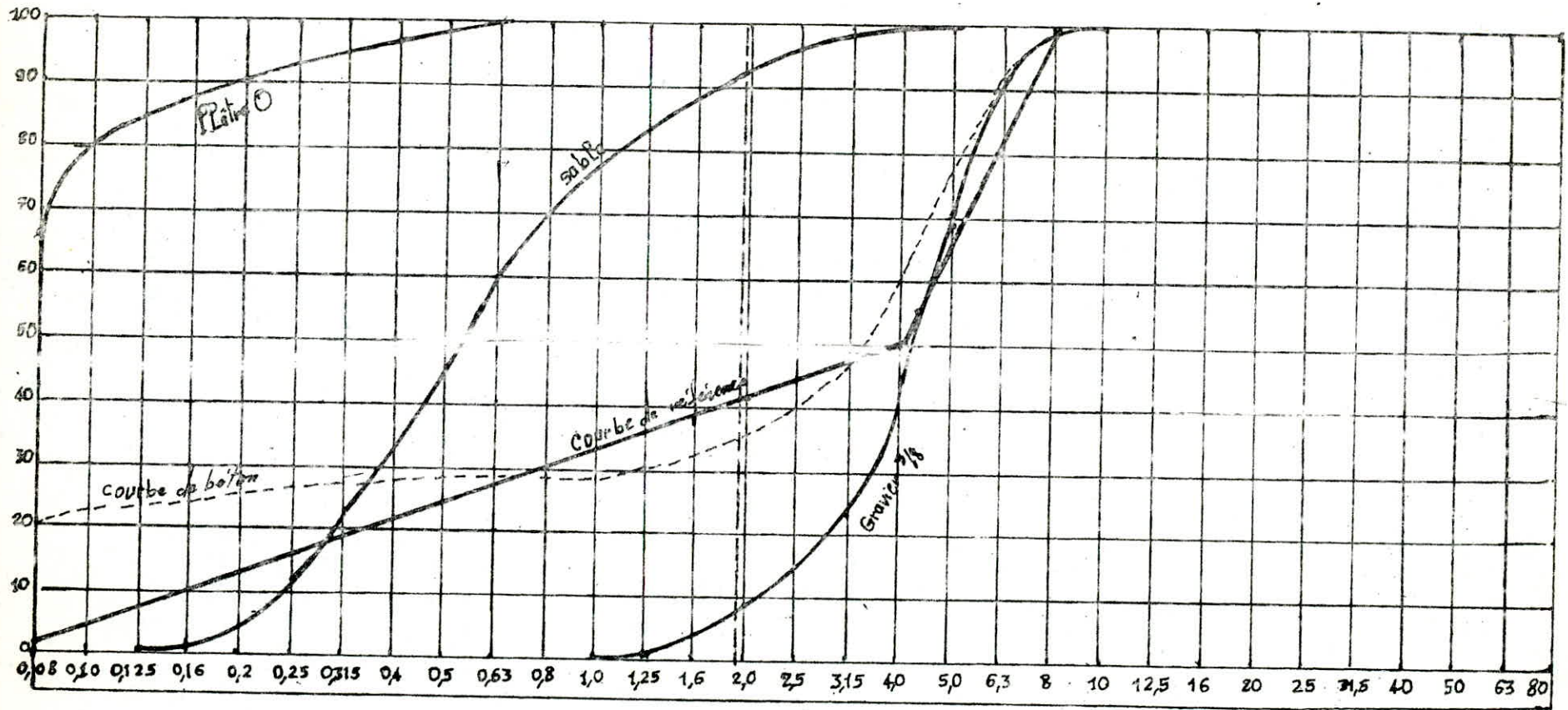


- composition : 5/15 • sable • plâtre -



67-11-

composition: 3/8 • sable • plâtre



TAMIS



On retient la composition 5/15, 3/8, plâtre, eau qui jusqu'à présent a donné de bons résultats.

On a ainsi effectué des essais avec :

0% Chaux avec E/P = 0,56.

2% " " E/P = 0,56.

2% " " E/P = 0,45.

5% " " E/P = 0,45.

Les résultats obtenus sont les suivants :

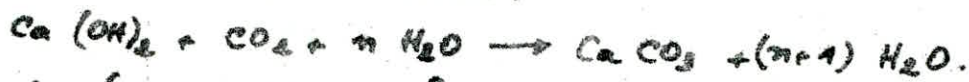
Composition 5/15, 3/8, plâtre, eau - Dosage 450 kg/m <sup>3</sup>					
Rapport E/P		0,56	0,56	0,45	0,45
% de Chaux		0	2	2	5
Densité théorique T/m <sup>3</sup>		2,099	2,099	2,099	2,099
Densité du béton frais		2,197	2,199	2,235	2,258
Air libre	Densité à f <sub>j</sub>	2,087	2,117	2,134	2,127
	Résistance comp. kg/cm <sup>2</sup>	50	43	75	65
	Résistance tract. kg/cm <sup>2</sup>	-	4,5	-	-
	E. tangent kg/cm <sup>2</sup>	84.923	100.000	129.000	-
	E. sécant kg/cm <sup>2</sup>	78.947	99.231	126.667	-
Eau	Densité à f <sub>j</sub> T/m <sup>3</sup>	1,970	1,975	2,061	2,104
	Résistance à la comp.	76	105	118	80
	Résistance tract.	14,5	15,7	20,3	13,7
	E. tangent	88.154	108.546	147.600	-
	E. sécant	84.444	104.258	131.111	-

Commentaires:

D'une manière générale la chaux fait augmenter la densité du béton frais, donc la compacité cela est probablement dû à l'occupation des vides par les fines particules de la chaux.

( granulométrie : refus à  $63\mu = 1,069\%$  ) de chaux introduite en faible pourcentage 2% avec faible rapport E/P améliore les caractéristiques mécaniques de béton.

Si on augmente le % de chaux 5% les résistances mécaniques chutent, cela est probablement dû à une carbonisation de l'hydroxyde de calcium par absorption du gaz carbonique de l'air suivant la réaction :



Il se forme une couche de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) à la surface, qui empêche et freine l'évaporation d'eau. En outre, l'augmentation de la quantité de chaux entraîne une augmentation du réseau de chaux ce qui conduit à un affaiblissement des liaisons de plâtre.

## Conclusion :

Notre étude nous a permis de travailler dans un laboratoire et de prendre contact avec le matériel de laboratoire. Cette étude serait plus intéressante si on avait utilisé des granulats provenant du sud, meilleurs encore si on avait fait les essais dans les régions du sud. L'inconvénient majeur du plâtre étant sa prise très rapide donc on doit trouver un retardateur efficace et rentable.

En plus des considérations économiques, le plâtre pourrait résoudre pas mal de problèmes de construction, il a fait ces preuves dans certains pays (ex: Pologne).





$\sigma$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Composition : 5/15 , 3/8 , sable , plâtre

E/P = 0,59 4% de retardateur.

Etuve.

90%

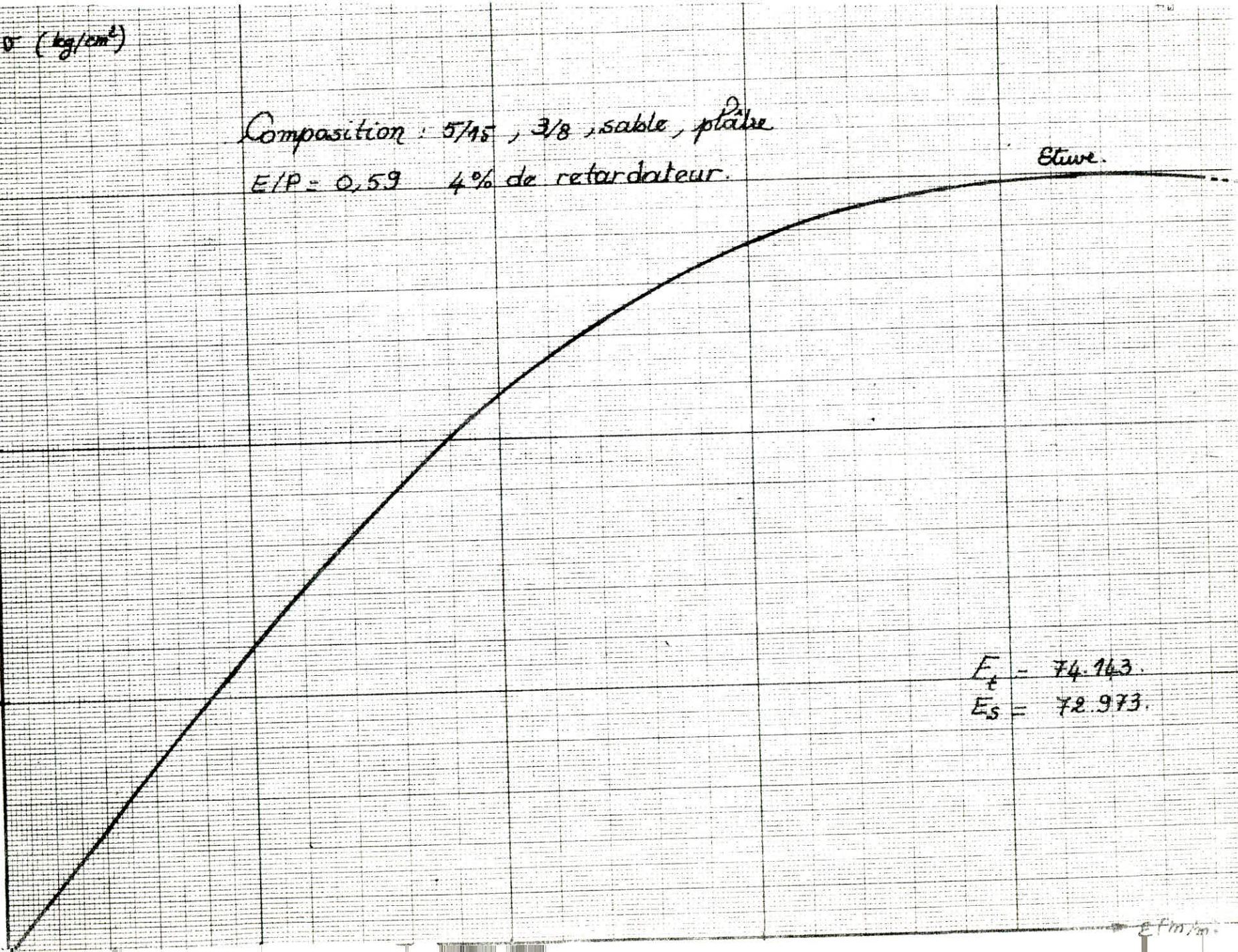
60%

30%

$$E_t = 74.143.$$

$$E_s = 72.973.$$

$\epsilon$  (m/m)





$\sigma$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Composition : 5/15 , 3/8 , plâtre , eau.  
 $E/p = 0,56$  , 0% de chaux.

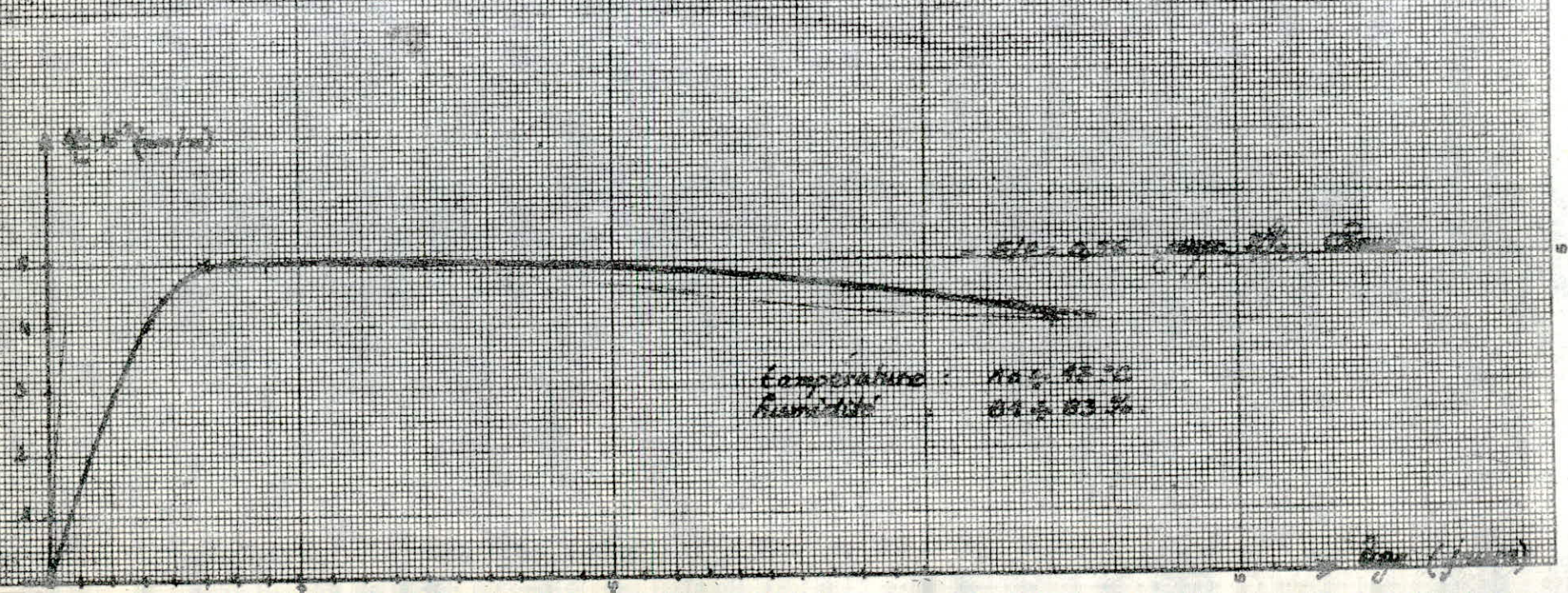
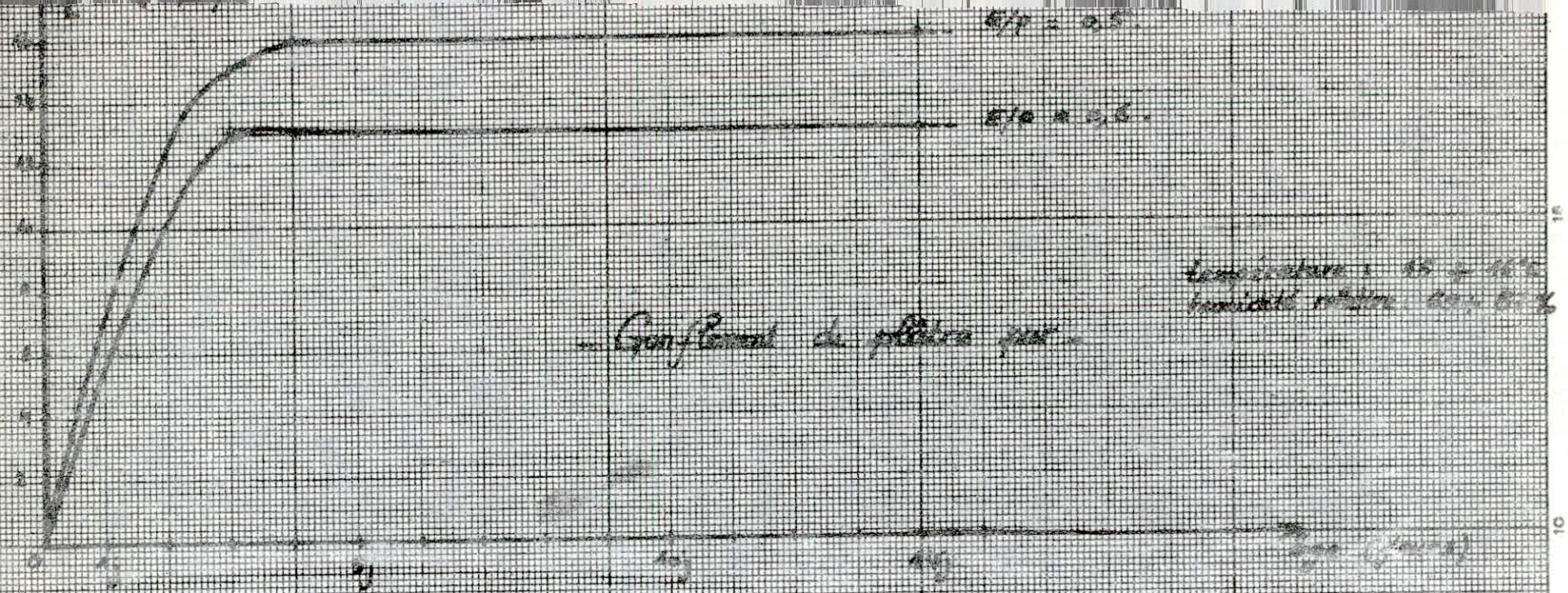
Etuve

$$E_p = 80.454 \text{ kg/cm}^2$$
$$E_s = 84.644 \text{ kg/cm}^2$$

air libre

$$E_p = 84.333 \text{ kg/cm}^2$$
$$E_s = 78.947 \text{ kg/cm}^2$$







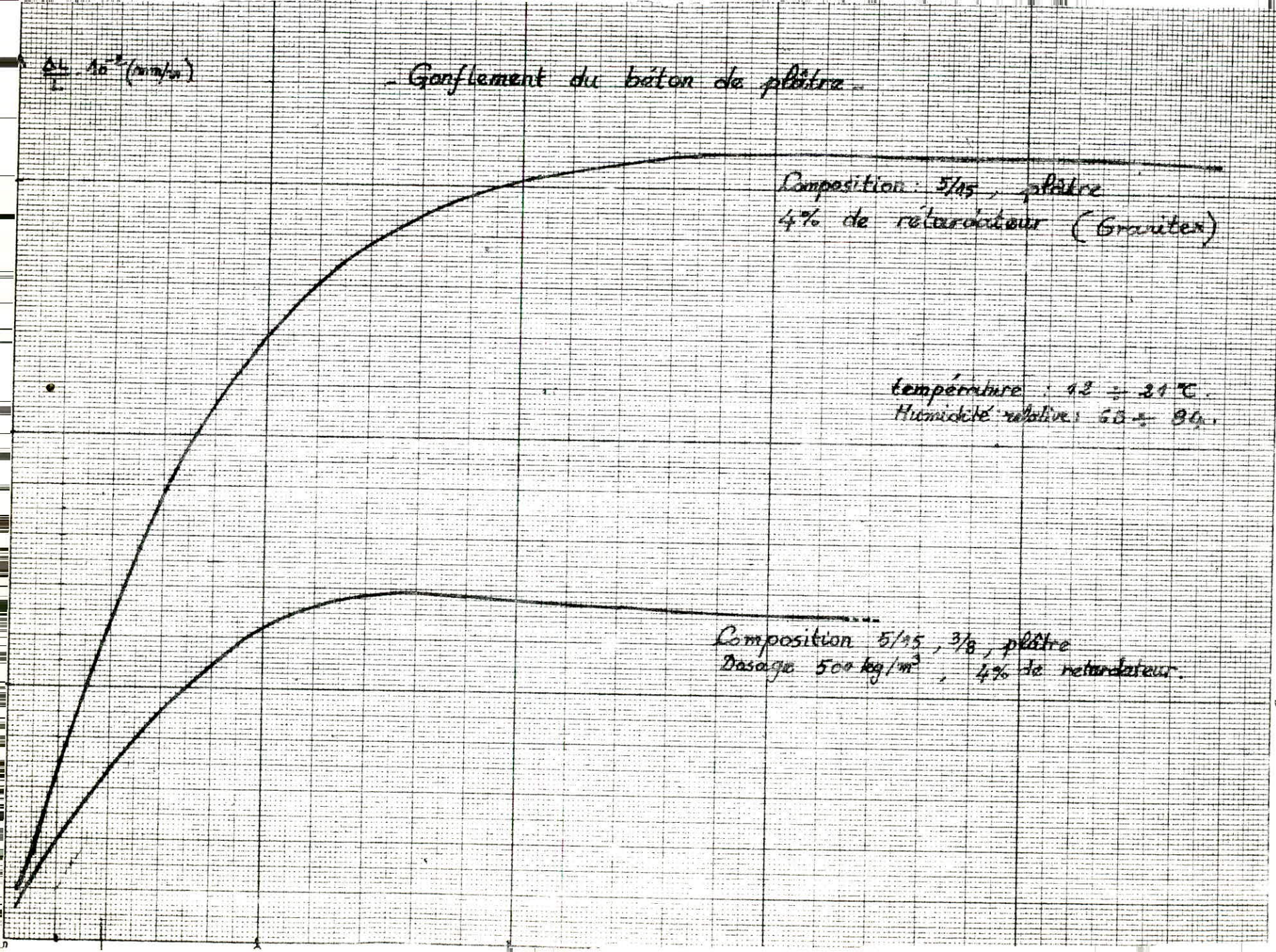
$\frac{\Delta L}{L} \cdot 10^2$  (mm/m)

- Gonflement du béton de plâtre -

Composition: 5/15, plâtre  
4% de retardateur (Granitex)

température: 12 ÷ 21 °C  
Humidité relative: 65 ÷ 94

Composition 5/15, 3/8, plâtre  
Dosage 500 kg/m<sup>3</sup>, 4% de retardateur.





Annexe - 2 -

\* Valeurs usuelles de K. (selon Faurý)

consistance du béton.	moyen de mise en oeuvre du béton.	Matériaux utilisés.		
		sable roulé, gravier roulé.	sable roulé, gravier concassé.	sable concassé, gravier "
Molle	piquage, damage sans vibration.	$\geq 0,34$	$\geq 0,36$	$\geq 0,36$
Normale	vibration moyenne	0,26 à 0,28	0,28 à 0,30	0,30 à 0,34
Ferme	vibration poussée	0,25 à 0,27	0,26 à 0,28	0,28 à 0,30
très ferme	vib. puissante.	$\leq 0,24$	$\leq 0,25$	$\leq 0,27$

\* Valeurs usuelles de A (Faurý).

consistance du béton	moyen de mise en oeuvre du béton.	Matériaux utilisés.		
		sable roulé, gravier roulé.	sable roulé, gravier concassé.	sable concassé, gravier "
Molle	piquage, damage sans vibration.	$\geq 28$	$\geq 30$	$\geq 32$
Normale	vib. moyenne	21 à 22	23 à 24	25 à 26
ferme	vib. poussée	20 à 21	21 à 22	22 à 23
très ferme.	vib. puissante.	$\leq 18$	$\leq 19$	$\leq 20$ .



- Compositions chimiques :

1. Plâtre de Chardaiá :

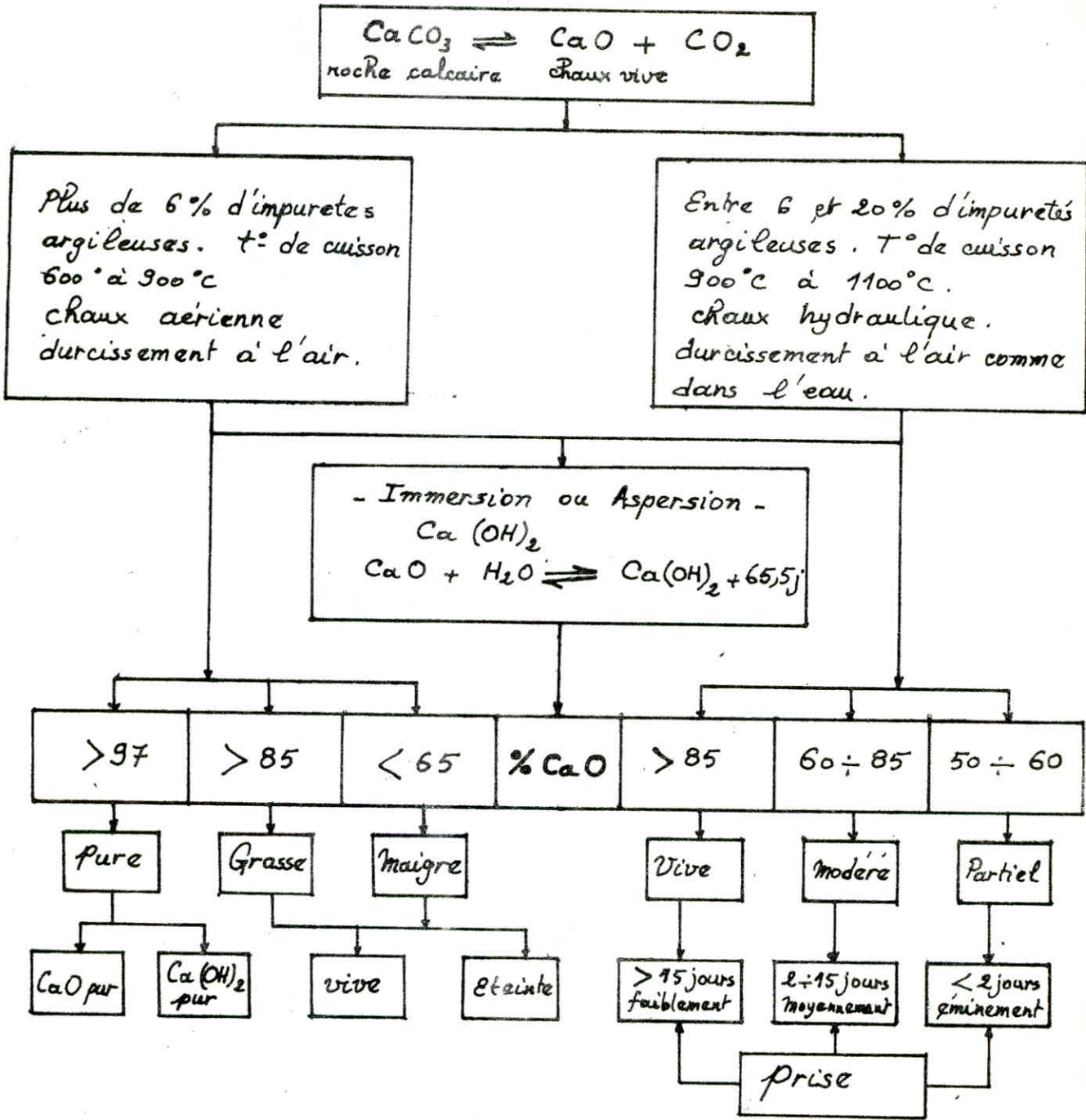
Insoluble + SiO <sub>2</sub>	0,74 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08 %
CaO	38,84 %
SO <sub>3</sub>	52,72 %

2. Plâtre de l'ouest :

Insoluble + SiO <sub>2</sub>	3,2 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,05 %
MgO	trace
SO <sub>3</sub>	-
Ca SO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	10,42 %
Ca SO <sub>4</sub>	84,70 %
perte au feu 1050°	5,54 %

3. Chaux :

perte au feu	1,25 %
CaO	93,98 %
CaO	85,88 %
MgO	0,78 %
Carbonates CaCO <sub>3</sub>	2,83 %
Humidité	0,2 à 0



- L'importance qualitative et quantitative des impuretés dans la roche mère définit les caractéristiques de la chaux.
- Dans l'utilisation de l'habitat ou routes ; la présence de silice ( $\text{SiO}_2$ ) et d'Alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) donnent des propriétés hydrauliques importantes.



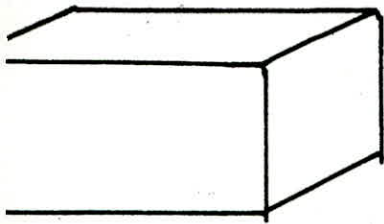
Annexe 1. Dimension des moules

- blocs creux et pleins -

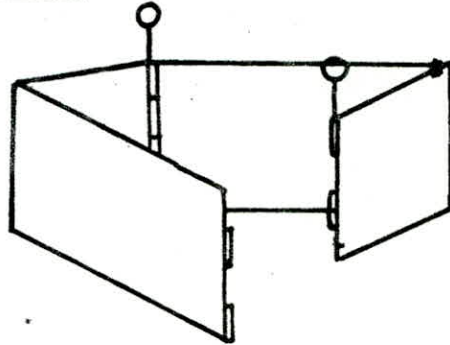
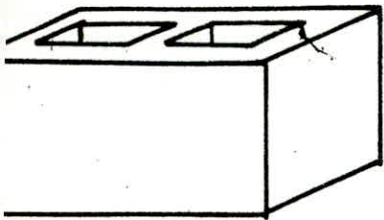
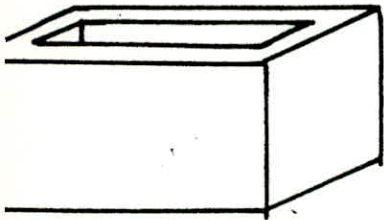
Dimensions:

20/20/40, 15/20/40  
et 10/20/40.

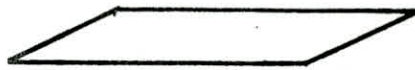
plein



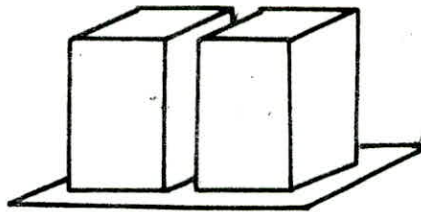
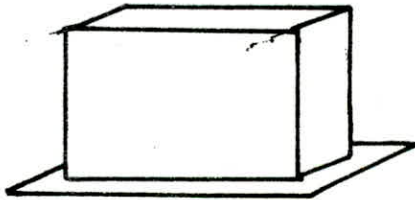
creux



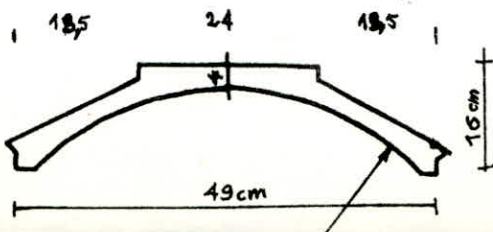
moule ouvrant



matrices



- Voutain -



Surface: 274 cm<sup>2</sup>.

## Bibliographie :

- Le Plâtre . physico. chimie , fabrication  
Emploi . Eyrolles Paris 82 .
- Normes AFNOR B12 .
- Nouveau guide du béton . G. Dreux . Eyrolles Paris 81
- Pratique des ciments et des béton . Vennuat .  
Ed. Moniteur .
- Connaissances et utilisation des matériaux .  
H. VENUAT .
- Connaissance du béton . G. Dreux .
- Guide pratique du béton . Coll. ITBTP . Paris 70 .
- Béton de sable E.N.P .



LOCALISATION DES GISEMENTS ET INDICES DE GYPSE





