

1/67

1 ex

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Etude du comportement de bétons en
fonction de leurs caractéristiques

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

1966 - 1967

DOUMA Abed

S U J E T

Etude du comportement de bétons en fonction de leurs caractéristiques (dosage en eau, dosage en ciment, granulométrie, résistances en compression et en traction, maniabilité).

Ces bétons seront constitués à partir d'agréats de la région d'ALGER.

- Variation de la résistance en compression en fonction du rapport

$$\frac{\text{Dosage en eau}}{\text{Dosage en ciment}}$$

- Variations de la résistance en compression et en traction en fonction de la maniabilité.
- Variation de la résistance en compression en fonction de la résistance en traction.
- Durcissement du béton en fonction du temps



1. PLAN

2. Bibliographie.
3. Introduction.
4. Etude des caractéristiques des matériaux utilisés.
 - 4.1. Provenance nature.
 - 4.2. Etude des caractéristiques physiques.
 - 4.21. Poids spécifique des agrégats.
 - 4.22. Essai de forme.
 - 4.23. Essai de propreté.
 - 4.24. Equivalent sable.
 - 4.3. Analyse granulométrique des constituants.
 - 4.4. Teneur en eau.
 - 4.5. Essai sur ciment.
5. Bref exposé de la méthode Faury.
 - 5.1. Avantages de la méthode employée.
 - 5.2. Détermination de R.
 - 5.3. Détermination de D.
 - 5.4. Règle concernant le rapport $\frac{R}{D}$.
 - 5.5. Indice des vides du béton.
 - 5.6. Choix du volume d'eau
 - 5.7. Pourcentage de ciment.
 - 5.8. Diagramme théorique.
 - 5.9. Détermination des pourcentages d'agrégats en volume absolu.
6. Mode d'essais.
 - 6.1. Essais. Matériel utilisé.
 - 6.12. Essai de compression.
 - 6.13. Moules.
 - 6.14. Traction.
 - 6.15. Dosage pondéral.
 - 6.16. Malaxage.
 - 6.17. Mesure de la plasticité
 - 6.18. Vibration.
 - 6.19. Ambiance.
7. CHOIX, COMPOSITIONS et RESISTANCES des différents bétons confectionnés.
8. Exploitation des résultats.
 - 8.1. Affaissement au cône en fonction du volume d'eau.
 - 8.2. Résistance en compression en fonction de $\frac{E}{C}$
 - 8.3. Comparaison des bétons obtenus avec les agrégats de deux carrières différentes.



- 8.4. Durcissement du béton en fonction du temps.
 - 8.5. Résistance en traction en fonction de la résistance en compression.
 - 8.6. Variation des résistances en fonction de l'affaissement au cône.
 - 8.7. Rebibration du béton.
 - 8.8. Importance du nombre de constituants
9. Conclusion.
 10. Tableaux de résultats.



2. BIBLIOGRAPHIE

DREUX : Connaissance du Béton : UTBTP.

DURIEZ : Nouveau Traité des matériaux de Construction.
Editions DUNOD.

Annale de l'I.T.B.T.P. n° 206 - Février 1965



1. INTRODUCTION:

L'étude qui nous a été proposée consistait à, étudier les performances mécaniques des éprouvettes de béton de composition différente, des lois de variation, des différents facteurs qui agissent sur les qualités des bétons.

Nous avons présenté cette étude en quatre chapitres essentiels. Dans une première partie nous étudions les propriétés physiques et mécaniques des matériaux utilisés; dans une seconde partie, les modes que nous avons employé pour la confection et les essais mécaniques des éprouvettes de béton; dans une troisième partie, nous présentons les caractéristiques et les compositions des bétons confectionnés; dans une quatrième partie nous examinons les différentes conclusions que l'on a pu faire ressortir grâce à des diagrammes établis en fonction des résultats obtenus (résistance, maniabilité, etc...).

Cette dernière partie, comporte, d'une part, des études analogues effectuées sur d'autres bétons, par certains auteurs; cela nous a permis d'établir certaines comparaisons intéressantes, à partir d'une autre part, quelques conclusions qu'il nous a paru utile de mettre en relief (comparaison des deux carrières, importance du nombre de graviers utilisés, etc...). En outre, dans le chapitre des essais, nous avons essayé d'exposer tous les problèmes de confection des éprouvettes qui se sont posés à nous et les solutions que nous avons adoptées.

Je ne terminerai pas cette introduction, sans remercier, les professeurs de l'E.N.P.A. qui m'ont prodigué leurs précieux conseils, en particulier Monsieur Fohr, qui m'a suivi de près dans cette étude, ainsi que les aides-labourants qui m'ont secondé dans mes



4 - Etude des caractéristiques des matériaux.

4 - 1 Provenance. Nature.

La première série de bétons (du 1^e au 9^e béton), fut confectionnée à l'aide de matériaux, obtenus par broyage et calibrage de roches appartenant à des bancs calcaires constituant les carrières de la COMETRA. Ces bancs sont en général constitués de calcaire triasique de couleur bleutée:

d'où son appellation courante: "Pierre bleue".

Parmi les matériaux criblés nous avons utilisé:

- Graviers 15 - 25
- Gravillons 5 - 15
- Grillons 3 - 8

Nous avons d'autre part utilisé un sable de mer en provenance de la plage de Réguaïa.

D'autres agrégats de provenance de la carrière de la société d'exploitation des carrières de l'Algérois (SECA) aux Bains Romains furent également utilisés, ils sont également d'origine calcaire.

(Nous^{en} avons constitué deux bétons: le 10^e et le 11^e).

4 - 2 Etude des caractéristiques physiques:

4 - 21. Poids spécifique des agrégats

Nous avons déterminé le poids spécifique du gravier 15 - 25 (carrière COMETRA). Celui-ci étant de la même nature que les autres agrégats de la même carrière, nous permettra de connaître le poids spécifique de l'ensemble des matériaux.

Une étude sur un échantillon de 6800g nous a donné un poids spécifique de $2,7 \text{ g/cm}^3$.

Une étude équivalente pour le gravier de la carrière "SECA" nous a donné sensiblement le même résultat soit: $PS = 2,7$.

Poids spécifique du sable de mer:

Nous avons déterminé le poids spécifique du sable de mer au laboratoire de mécanique des sols par la méthode du picnomètre.

Cette mesure nous a donné: $P.S = 2,69 \text{ g/cm}^3$, nous prendrons dans nos calculs: $P.S = 2,7 \text{ g/cm}^3$

4 - 22. Essai de forme:

La forme des granulats est très importante. La maniabilité du béton est d'autant plus grande que les grains se rapprochent de la forme sphérique.

L'essai de forme est caractérisé par le coefficient volumétrique que l'on définit comme le rapport entre le volume du gravier considéré et celui de la sphère circonscrite: (norme N F P 18301)

$$\text{Pour un granulat: } C = \frac{\sum V_i}{\sum \frac{\pi}{6} N_i^3}$$

V_i = volume de chaque gravier.

N_i = diamètre de la sphère circonscrite.

Nous avons fait l'essai sur 300g de gravier 5 - 15 nous avons déterminé les volumes V_i par immersion dans l'eau.

Le coefficient volumétrique des agrégats de la COMETRA est:

$$C_1 = \frac{55 \text{ cm}^3}{380 \text{ cm}^3} = 0,142$$

L'essai sur les agrégats de la SECA a donné:

$$C_2 = \frac{60}{398} = 0,151.$$

Ces coefficients volumétriques correspondent à des granulats de forme allongée.

4 - 23. Essai de propreté:

La détermination de la quantité (poussière, matières organiques, argileuses, etc...) est essentielle car sa présence en trop grande quantité nuit considérablement à l'adhérence, et réduit par la même occasion les qualités mécaniques du béton.

Mode opératoire:

On prélève une quantité au milieu du tas, on le fait passer à l'étuve, on le pose, soit P_1 . On le lave ensuite à grande eau, jusqu'au moment où l'eau devient limpide, on le sèche de nouveau, puis on pèse les graviers séchés et lavés, soit P_2 .

La quantité d'impureté est donc: $P = P_1 - P_2$.

Le degré de propreté est: $\frac{P}{P_2}$ en pourcentage. Nous avons obtenus

Matériaux	P_1	P_2	$P = P_1 - P_2$	$\frac{P}{P_2}$ en %
15 - 25	3162	3102	60	1,92
5 - 15	2590	2840	50	1,97
3 - 8	936	917	19	2,04
15 - 25	2000	1995	5	0,25
5 - 15	2000	1992	8	0,4
3 - 8	2000	1970	30	1,5

La norme N F P 18.301 prescrit que dans les granulométries pour béton le pourcentage de vase limon susceptible d'être éliminé par lavage ne doit pas excéder 5%. Les pourcentages d'impureté obtenus ci-dessus étant inférieurs à la norme prescrite sont acceptables.

4 - 24. Equivalent sable:

L'essai de propriété sur le sable consiste à opérer sur un échantillon après lavage énergique pour séparer le sable des matières fines.

Essai sur le sable 0,3 (carrière COMETRA):

On utilise dans l'essai la fraction de l'échantillon passant au tamis n° 4 (D = 4,76 mm). On lave l'échantillon avec une solution normalisée très active de telle manière que les éléments argileux floculent, on mesure les hauteurs de décantation du sable et des particules fines grâce à un piston taré.

L'équivalent de sable est donné par la formule:

$$E S \equiv \frac{\text{lecture du niveau supérieur du sable} \times 100}{\text{lecture du niveau supérieur de l'argile.}}$$

Nous avons effectué trois essais pour le sable 0 - 3

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai
Niveau supérieur sable	85	90	96
Niveau supérieur argile	12,8	13,8	13,6
Equivalent sable	66,5	65,5	64

D'où équivalent sable (moyenne) = 65% le cahier des Prescriptions spéciales du Ministère des Travaux Publics spécifie qu'un bon béton est obtenu avec un équivalent sable supérieur à 75%. On voit donc ce sable de carrière a un équivalent sable assez faible et ne convient nullement aux bétons courants ou soignés. Une étude analogue pour le sable de nous a donné un équivalent sable de 97% (moyenne de 3 essais) c'est ce sable que nous utiliserons pour nos gâchées.

4 - 3 Analyse granulométrique des constituants:

L'analyse granulométrique permet de déterminer la répartition des proportions des grains d'un granulat. La méthode que nous avons utilisée (Méthode de M. Faury) étant basée sur les répartitions granulométriques des différents granulats, nous avons effectué une série d'analyses granulométriques au laboratoire de mécanique des sols.

Nous avons utilisé à cet effet une série de tamis allant de 0,08 mm à 5 mm et d'une série de passoires allant de 5mm à 25 mm; le tamisage étant effectué à l'aide d'un tamis vibrant.

Pour la représentation des courbes granulométriques nous avons utilisé le diagramme conçu par Messieurs Caquot et Faury, portant en abscisse les valeurs de \sqrt{D} (D étant le diamètre des passoires au des tamis) et en ordonnée le pourcentage des matières passant au travers des tamis au passoires. Nous avons fait 3 essais, avec des p̄lèvements différents pour chaque matériau. Ceci nous a permis de constater que les courbes granulométriques étaient très serrées, ce qui est un signe de la régularité de la granulométrie du matériau livré.

Pour l'étude des différents bétons, nous avons considéré la courbe moyenne des 3 essais.

Les résultats de granulométries et les courbes granulométriques, sont donnés dans les pages qui suivent. (en Fin de chapitre)

4 - 4 Teneur en eau:

La quantité d'eau totale du béton doit être déterminée en considérant l'eau d'apport sur les granulats et la teneur en eau des constituants. Nous avons déterminé cette teneur en eau en chauffant l'échantillon humide à une haute température. Si P_1 est le poids initial, P_2 le poids après séchage la teneur en eau du matériau est:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \text{ en } \%$$

Les graviers : 15 - 25, 5 - 15, 3 - 8 avaient tout au long des essais une teneur en eau presque nulle alors que le sable de mer qui, lui, était dans des bacs à l'extérieur du laboratoire, avait une teneur en eau voisine de 2% .

4 - 5 Essai sur ciment:

Le ciment que nous avons utilisé pour nos gâchées appartient à la norme N F P 15 302, c'est un ciment Portland artificiel appartenant à la classe 210/325.

4 - 51. Pâte normale:

L'essai sur la pâte normale nous a donné un:

$$\frac{E}{C} = \frac{\text{Volume d'eau en cm}^3}{\text{Poids de ciment en grammes}} = \frac{132}{500} = 0,26$$

4 - 52. Essai de prise:

Le début de prise à 20° C s'est effectué après 2 h. 40'.

4 - 53. Mortier normal N F P 15 403:

Le mortier normal est constitué du liant à essayer, de 3 parties de sable normal et d'une demi-partie d'eau = la norme fixe un E pour le mortier normal de 0,5. Le mortier normal a la composition suivante:

Sable normal :	1350 g
ciment:	450 g
Eau:	225 g

La confection de 3 éprouvettes à la traction (4 × 4 × 16 cm) nous a donné ces résultats: 19,90 kg/cm² ; 22 kg/cm² et 19 kg/cm². (à 7 jours).

Une autre gâchée nous a permis de confectionner 3 éprouvettes de compression (5 × 5 × 5 cm) qui ont donné à 7 jours les résultats suivants = 190 kg/cm², 220 kg/cm² et 210 kg/cm².

Sable de mer (Requena)

Diametre des tamis et passoires	diametre Φ en mm	0,08	0,16	0,50	0,63	1,25	2,5	3,15	5	>5
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	0	0,128	64,75	74,6	92,5	99	99,5	99,5	100
2 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	0,5	0,132	66	75,3	93	99	99,6	100	100
3 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	1,0	0,120	63,5	73,5	92	98,5	99,5	99,5	100

Sable 0-3 ((OMETRA)

Diametre des tamis et passoires	diametre en mm	0,08	0,16	0,5	0,63	1,25	2,5	3,15	5	>5
1 ^{er} ESSAI	$\Phi \gg \%$	4,6	16,6	30,8	24,6	56	99	100	100	100
2 ^{em} ESSAI	$\Phi \gg \%$	3	12	30	33	55,6	98,4	98,4	99	100
3 ^{em} ESSAI	$\Phi \gg \%$	5,2	17	31	35,2	56,9	99,5	100	100	100

Gravillons 3-8 ((OMETRA)

DIAMETRE des tamis et passoires	diametre Φ en mm	2,5	3,15	4	5	8	10	>10
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	9,7	26,5	51,3	52,2	99,7	99,7	100
2 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	9	35	49,2	52	99,5	99,6	100
3 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	12	39	52	53	99,8	100	100

GRAVIERES 5-15 ((OMETRA)

DIAMETRE des tamis et passoires	diametre Φ en mm	3,15	4	5	8	10	16	20
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	1,2	2,2	11,34	27,4	52,6	97,5	100
2 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	1	1,5	10,20	26,62	51,8	96,7	100
3 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	1,8	3	12	28	53	98	100

ANALYSE GRANULOMETRIQUE (Suite).

Graviers 15-25 (LOMETRA)

DIAMETRE des tamis et passoirs	diametre Φ en mm	10	12,5	16	20	25	>25
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	0,866	2,124	15,3	62,4	96,5	100
2 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	0,457	1,8	13,47	64,75	98,25	100
3 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	0,1	2,3	17	63,2	97,5	100

Gravillons 3-8 (SECA)

DIAMETRE des tamis et passoirs	diametre Φ en mm	<1	1	1,25	2	2,5	3,15	4	5
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	2	2,06	3,87	6,14	21,7	53,2	93	100
2 ^{es} ESSAI	% $\ll \Phi$	0,6	0,667	1,6	4,46	22,7	52	92,5	99,5
3 ^{es} ESSAI	% $\ll \Phi$	3	3,5	4,2	7	25,2	54,5	96	100

Gravier 5-15 (SECA)

DIAMETRE des tamis et passoirs	diametre Φ en mm	5	8	10	12,5	>12,5
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	6,17	26,4	58,4	89,2	100
2 ^{em} ESSAI	% $\ll \Phi$	5,53	33,1	59,2	84	100
3 ^{es} ESSAI	% $\ll \Phi$	7,24	38	60,3	86	100

Graviers 15-25 (SECA)

Diametre des tamis et passoirs	diametre Φ en mm	12	12,5	16	20	25	>25
1 ^{er} ESSAI	% $\ll \Phi$	5,5	6,8	19,8	55,3	95,3	100
2 ^{es} ESSAI	% $\ll \Phi$	7,5	8	20,5	56,7	96	100
3 ^{es} ESSAI	% $\ll \Phi$	4	5,2	17	54	93	100

5 . BREF EXPOSE DE LA METHODE FAURY

5 - 1 Avantages de la méthode employée:

Les études définissent la composition granulométrique d'un béton sont assez nombreuses. La méthode Faury est une méthode à "granulométrie continue", c'est à dire que la courbe granulométrique du mélange constituant le béton s'élève d'une façon continue, du plus fin grain de ciment au plus gros gravier. Elle a le mérite de tenir compte non seulement de la granulométrie des agrégats, mais aussi de leur nature, des moyens de serrage, de la plasticité recherchée, et surtout de "l'effet de paroi". En effet le béton, au contact du ferrailage et des parois du moule a une certaine difficulté à se mettre en place; pour tenir compte de l'augmentation de l'indice des vides qui en résulte, Monsieur Faury a établi un coefficient additif à l'expression de l'indice des vides .

C'est actuellement la méthode la plus perfectionnée permettant de déterminer un béton à l'aide de courbes et de coefficients. Etant la seule méthode qui tient compte de "l'effet de paroi" elle trouve une large application dans les bétons destinés aux ouvrages en béton armé.

5 - 2 Détermination de R :

En tenant compte de "l'effet de paroi", on a défini un rayon moyen du moule :

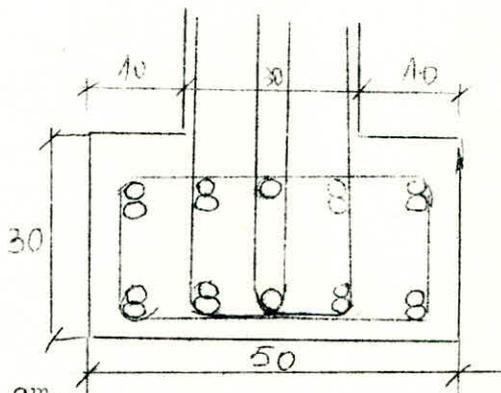
$R = \frac{\text{volume à remplir de béton}}{\text{surface totale des parois et des armatures du moule}}$; Il convient donc pour déterminer, R, de considérer la partie de l'ouvrage la plus ferrillée,

Nous avons à cet effet considéré le talon d'une poutre, très ferrillée et nous avons fait le calcul pour 1m de longueur de la poutre.

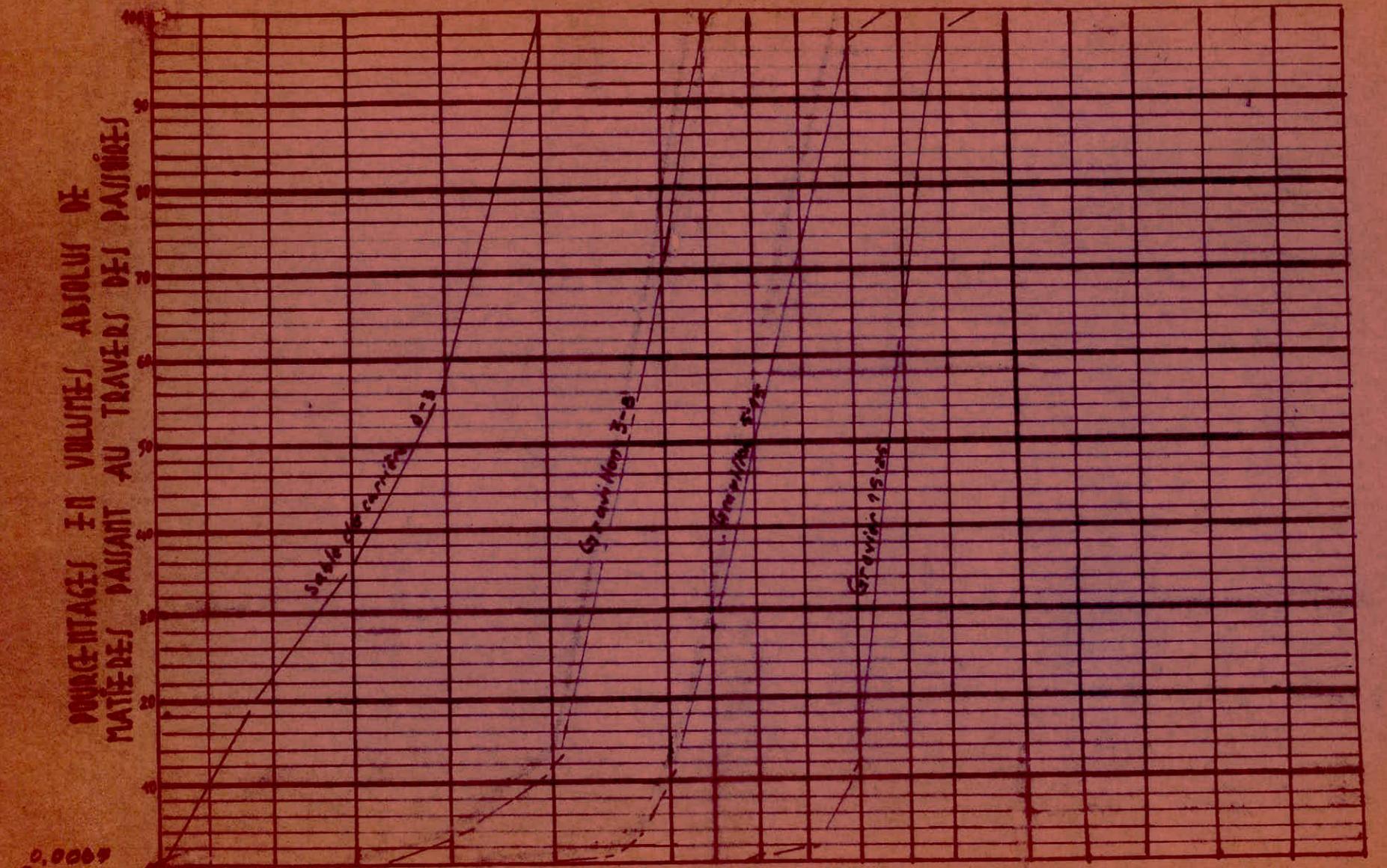
Volume de béton: $30 \times 50 \times 100 = 1500 \times 10^2 \text{ cm}^3$.
Surface latérale des aciers:
 $3,14 \times 3,2 \times 18 \times 100 = 101 \times 10^2 \text{ cm}^2$
Surface des parois du moule :
 $(2 \times 30 + 50 + 2 \times 10) 100 = 130 \times 10^2 \text{ cm}^2$.

$$\text{d'où } R = \frac{1500 \times 10^2}{311 \times 10^2} = 4,82 \text{ cm.}$$

Nous prendrons un R moyen = 5 cm.



COURBES GRANULOMETRIQUES SELON MM (AQUOT ET FAURY)



0.0007

Passeuses	(0.1)	(0.2)	0.4	0.8	1.60	3.15	6.3	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Tamis	0.08	0.16	0.345	0.63	1.25	2.5	5											
Module	20	23	26	29	32	35	18	19	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49

Graduations en φ

5 - 3 Détermination de D :

Il faut déterminer exactement la valeur du diamètre maximum des grains et ceci grâce aux courbes granulométriques des agrégats. si x est la proportion d'éléments fins refusés sur la passoire des trous d₁ et d₂ (d₂ étant l'ouverture de la passoire immédiatement inférieure), le diamètre maximum est alors donné par la formule conventionnelle.

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

Ainsi pour la courbe granulométrique (1):

On a pour d₁ = 25mm ; x = 3 %, et, d₂ = 20 mm ; y = 36 % .
d'où : $D = 25 + 5 \times \frac{3}{36} = 25 + 0,416 = 25,416 \text{ mm.}$

On prendra D = 25 mm.

5 - 4 Règle concernant le rapport $\frac{D}{R}$:

Une règle empirique exige que le choix de D en fonction de R se fasse tel que $D \leq R$. Ce qui est vérifié dans les cas que nous avons considérés ci-dessus .

5 - 5 Indice des vides du béton :

M^r. Faury a établi des formules empiriques pour le calcul des indices des vides .

Il considère dans une première phase la consistance du béton, le mode de vibration choisi et la nature des granulats, ce qui fait intervenir un coefficient K ;

$$I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}}$$

Puis il considère l'augmentation de l'indice des vides résultant de l'"effet de paroi" :

$$\frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75}$$

Ainsi on a finalement : $I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75}$

K et K' sont dans le tableau à la fin du chapitre 5.

5 - 6 Choix du volume d'eau :

Le choix du volume d'eau étant déterminé expérimentalement, il varie d'un auteur à un autre ; nous avons adopté la quantité de 865 I par mètre cube de béton , en désignant par I l'indice des vides . Cette valeur a été trouvée expérimentalement en Algérie et est utilisée par certains services (notamment la SOCOTEC).

La compacité du béton est alors : $C = 1 - 0,865 I$.

5 - 7 Pourcentage du ciment en volume absolu :

% C = pourcentage du ciment en volume absolu :

$$\% C = \frac{\text{quantité par m}^3}{3,1} \times \frac{1}{V_1}$$

3,1 = poids spécifique du ciment .

V₁ = volume absolu du béton sec .

5 - 8 Diagramme théorique :

Messieurs CaquOt et Faury ont déterminé théoriquement et expérimentalement la granulométrie du béton de référence. Ils considèrent que le mélange idéal des constituants est représenté graphiquement en \sqrt{D} par une ligne brisée : (voir figure chapitre ...)

- La première droite qui correspond à un ensemble de grains fins et moyens passe par les points : A₁ d'abscisse 0,0065 (diamètre du plus petit grain de ciment) et d'ordonnée 0; B₁ d'abscisse D/2 , d'ordonnée Y_{D/2} .

- La seconde droite qui correspond aux gros agrégats passe par les points: B₁, vu ci-dessus; et C₁ d'abscisse D et d'ordonnée 100.

L'ordonnée Y_{D/2} est donnée par la formule:

$$Y_{D/2} = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{D} - 0,75$$

A = coefficient dépendant de la consistance du béton, de la puissance de serrage, de la nature des grains .

B = Coefficient dépendant de la puissance de serrage . Les coefficients A et B sont donnés au tableau en fin de chapitre.

5 - 9 Détermination des pourcentages d'agrégats en volume :

Nous avons adopté à cet effet une méthode de dosage des constituants mise au point par M^r. Joisel, Directeur du centre d'Etudes de recherches pour l'Industrie des Liants Hydrauliques (CERILH). On représente sur un graphique comportant en abscisse une échelle graduée en $\sqrt[5]{D}$ et en ordonnée les pourcentages en poids (ou en volume absolu) des différents matériaux . On recherche ensuite la position des verticales qui recoupent deux courbes granulométriques d'agrégats successives en donnant deux surfaces supérieures et inférieures approximativement égales (a et b). Ainsi sur la figure qui suit, on opère de la façon décrite ci-dessus avec la courbe B et la courbe C, ensuite avec la courbe C et la courbe D .

Les droites ainsi déterminées coupent la droite de référence aux points P_1, P_2, P_3 ayant pour ordonnées: y_1, y_2, y_3 . On ainsi :

Pourcentage de ciment et de sable = y_1

.. de 3 - 8 = $y_2 - y_1$

.. de 5 - 15 = $y_3 - y_2$

.. de 15 - 25 = 100 - y_3

Le pourcentage de ciment ayant été déterminé en 5 - 7 on en déduit le pourcentage de sable:

Pourcentage de sable = y_1 - pourcentage de ciment.

5 - 10 Composition granulométrique du béton:

Nous avons présenté la composition du béton dans un tableau donnant :

- Le pourcentage en volume absolu des constituants = %V.
- Le volume en litre = $v_a = \frac{\% v_a \times V_a}{100}$.
- V_a : volume absolu des constituants secs dans un mètre cube de béton .
- Le poids spécifique . P.S.
- Le dosage pondéral des constituants: P pour $1m^3$ de béton en kilogrammes .
- Le dosage pondéral pour 160 kg de béton; cette quantité correspond à la capacité des moules existants. On désignera ce dosage par : p. (en kg).

Le quantité d'eau étant : $E = 865$ I, auquel on a retranché le volume d'eau apporté par le sable.

Nota : Nous ne faisons pas de différence entre le pourcentage en volume absolu des agrégats et leur pourcentage en poids car le poids spécifique des grains est le même pour un granulat en cause, la courbe en volume absolu correspond donc à celle en poids.

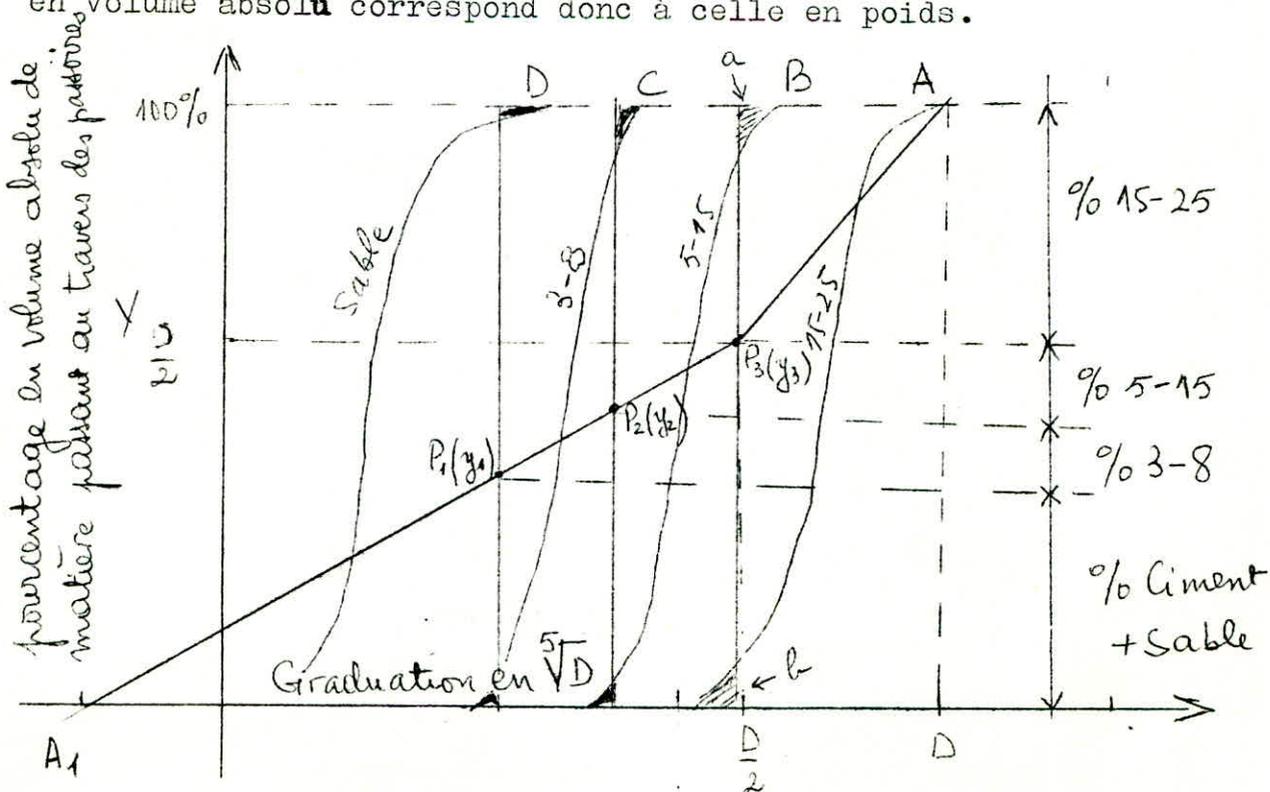


TABLEAU DES COEFFICIENTSDONNES PAR FAURY

Coefficients	Consistance du béton	Sable et graviers roulés	Sable roulé gravier concassé	Sable et gravier concassés
K	Consistance très fluide pour mise en place sans serrage efficient	$\geq 0,370$	$\geq 0,405$	$\geq 0,450$
	Molle pour serrage moyen (piquage ou vibration).	0,350 à 0,370	0,375 à 0,405	0,430 à 0,4
	Consistance ferme ou serrage soigné .	0,330 à 0,350	0,355 à 385	0,400 à 0,4
	Consistance terre humide, serrage énergétique (table vibrante)	0,250 à 0,330	0,330 à 0,350	0,350 à 0,3
	Consistance extra sèche pour serrage à la presse.	$< 0,25$	$< 0,33$	$< 0,350$
A	Consistance très fluide sans serrage	≥ 32	≥ 34	≥ 38
	Consistance fluide, serrage faible	30 à 32	32 à 34	36 à 38
	consistance molle, serrage moyen .	28 à 30	30 à 32	34 à 36
	Consistance ferme serrage soigné	26 à 28	28 à 30	32 à 34
	Consistance ferme, serrage puissant	24 à 26	26 à 28	30 à 32
	Consistance terre humide avec serrage énergétique	22 à 24	24 à 26	28 à 30
	Serrage exceptionnellement puissant	≤ 22	≤ 24	≤ 28

K' est égal en moyenne à 0,003 et pour les tassements très énergiques 0,002 .

B = 1,5 pour le béton armé ordinaire .

B = 1 pour les serrages très puissants



6 - MODE D'ESSAIS

6 - 1 Essais - Matériel utilisé

6 - 12 Essais de compression:

Les essais de compression sont effectués sur des éprouvettes cubiques de 14,1cm d'arête. Ces éprouvettes sont tolérées par les règles, à condition de prendre comme valeur à la résistance à la compression: $0,83 \frac{U}{B}$; U étant la charge appliquée; B, la section du cube (Voir à ce sujet le Béton Armé 1960, en B 314). Ces éprouvettes ont été écrasées par une presse du type "Hydromat", à commande manuelle (piston à double effet).

Le plateau supérieur de la presse est muni d'une rotule permettant de remédier au défaut éventuel de parallélisme des faces. Nous avons rectifié, ce plateau à la fraiseuse au $\frac{1}{20}$ mm. Avant chaque essai nous avons, pour plus de précision, mesuré les quatre côtés de la face de compression.

Nous avons fait des essais à 7, 14, 21 et 28 jours. Ne disposant que de 12 moules de compression, nous avons fait chaque essai sur trois éprouvettes de compression.

Les lectures de la charge ont été faites sur un manomètre gradué de 0 à 140 tonnes, dont la plus petite division est de 2 tonnes.

Les éprouvettes s'écrasaient le plus souvent, symétriquement en se rompant par les faces latérales. (voir figure III).

6 - 121. Tarage de la presse.

Pour avoir une précision sur les lectures faites en compression il nous a paru indispensable de faire un tarage de la presse.

Le matériel utilisé fut le suivant:

- Un bloc prismatique en acier à faces parallèles.
- Deux capteurs d'extensométrie.
- Deux postes de mesure associés au capteur.

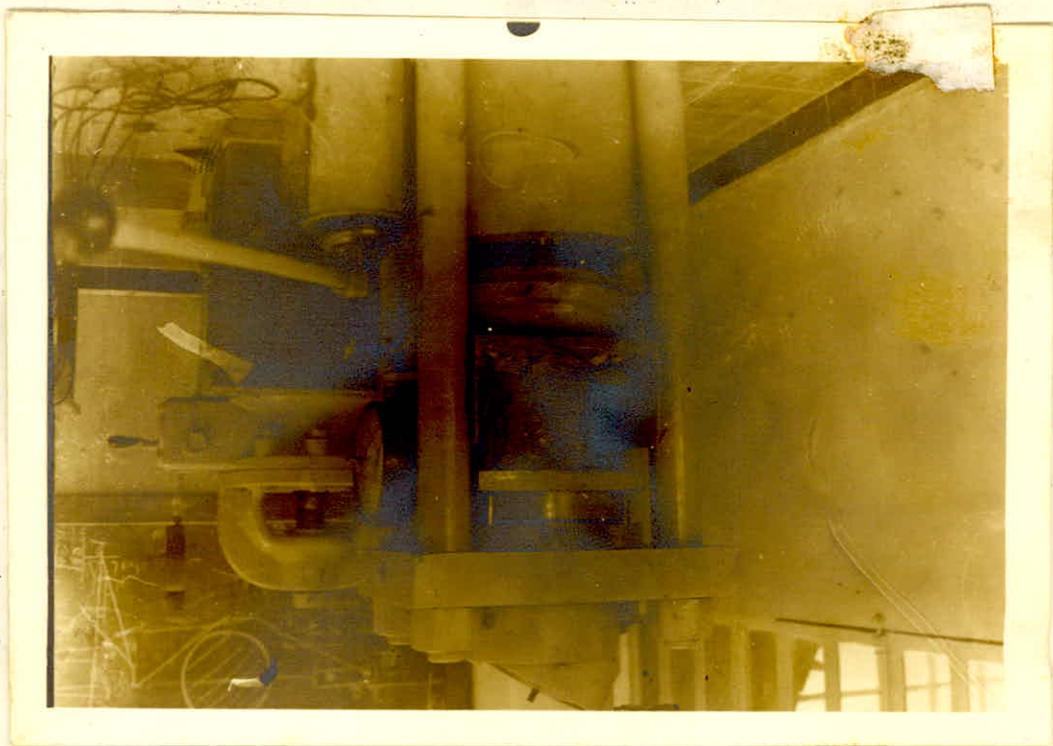
Principe de l'essai:

Sous l'action de la charge exercée par la presse, les faces latérales du bloc en acier se raccourcissent.

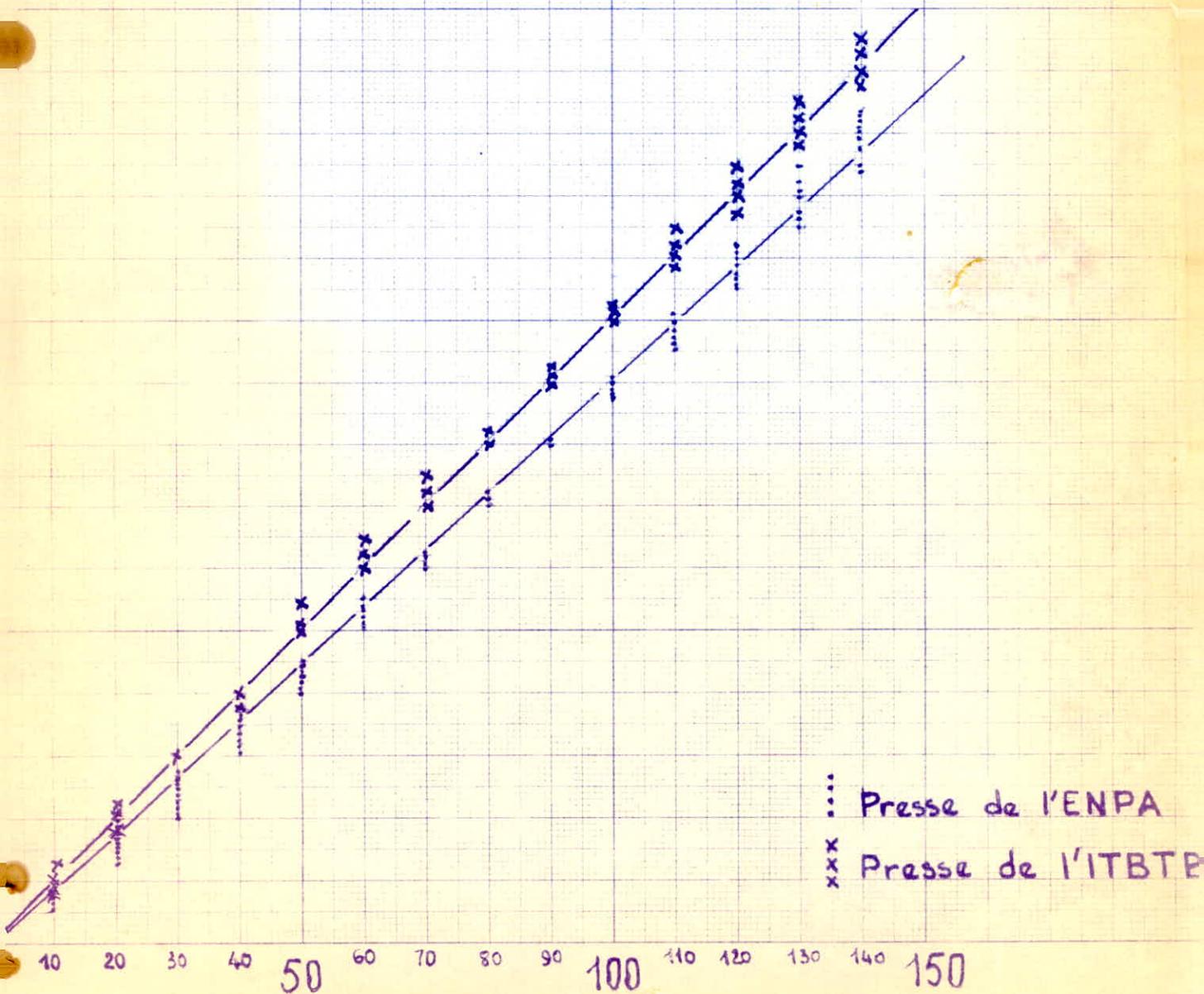
Les pointes du capteur fixées sur ces faces subissent le même déplacement et provoquent un déséquilibre dans les ponts de Wheatstone disposés dans les postes de mesure.

Ce déséquilibre est directement proportionnel au déplacement des pointes du capteur, donc des faces latérales. Les postes sont gradués directement en Δl ; Δl étant le déplacement des pointes.

Nous avons rectifié les faces supérieure et inférieure du bloc d'acier, au tour, et nous avons effectué une série d'essais au laboratoire de Béton de l'Ecole.



COURBES D'ETALONNAGE DE LA PRESSE



Nous avons en outre fait quelques expériences sur une presse tarée, à l'Institut technique du bâtiment et des travaux Publics d'Alger I T B T B A, avec les mêmes capteurs et les mêmes postes de mesure.

Ces résultats sont reportés sur la figure annexe.

Un déplacement Δl des faces du bloc nécessite une charge P; Cette charge est la valeur lue sur la presse tarée de l'ITBTP.

A ce même Δl correspond une autre charge lue sur la presse de l'école, qu'il faudra donc majorer ou minorer.

Les droites tracées permettent de constater que:

$$\frac{P_1}{P_2} = 0,91 \quad \begin{array}{l} P_1 = \text{Charge lue sur la presse de l'I T B T B A} \\ P_2 = \dots \dots \dots \text{de l'Ecole.} \end{array}$$

Il faut donc multiplier la charge P_2 par 0,91.

6 - 122. Détermination des contraintes:

Compte tenu du coefficient réglementaire 0,83 (voir 6 - 12) et du coefficient expérimental: 0,91 la contrainte en compression simple est:

$$R_j = \frac{P}{14,1 \times 14,1} \times 0,83 \times 0,91 = 0,37 \times 10^{-2} P.$$

P = charge lue en kg sur le manomètre de la presse.

Rj = contrainte à la compression en kg /cm².

6 - 123. Resurfaçage des éprouvettes:

Nous avons vérifié la parfaite planéité des parois des moules (voir 6 - 13), aussi les éprouvettes obtenues avaient des faces latérales toujours lisses. D'autre part ces moules sont suffisamment entretenus.

Nous avons donc essayé les éprouvettes sans surfaçage. Les plateaux de la presse s'appliquaient sur les faces latérales lisses des éprouvettes. Pour s'assurer que la résistance ne variait pas dans ce cas nous avons confectionné un béton spécialement pour cet essai. Six éprouvettes furent surfacées et six autres non surfacées. Les résultats à la compression, à sept jours ont été les suivants:

	éprouvettes non surfacées R ₇	éprouvettes surfacées R ₇
	242	231
	231	242
	231	231
	242	231
	242	231
	236	242
Moyenne	237	234

L'examen des faces surfacées montrent qu'elles sont plus rugueuses que les faces non surfacées; ceci s'explique quand on sait que ces dernières appartiennent à des éprouvettes qui ont été vibrées le contact des parois des moules, nettoyées et enduits d'huile au préalable les rendant plus lisses que les éprouvettes surfacées manuellement .

D'après les résultats on voit que l'écart est d'environ 1,3%, cette précision est aléatoire quand on sait que la précision obtenue sur les mesures des résistances est d'environ 4%

(Voir l'étude statistique, paragraphe 6 - 2).

6 - 13. Moules: (voir figure 1)

Nous avons à notre disposition:

12 moules cubiques de compression ($14,1 \times 14,1 \times 14,1$ cm.), métalliques d'épaisseur: 1cm.

12 moules prismatiques de traction ($7,1 \times 7,1 \times 28,4$ cm.), métalliques d'épaisseur: 1 cm. Nous avons vérifié les parois des moules sur une table de marbre, avec un comparateur.

Le défaut de planéité de ces moules ne dépasse pas $\frac{1}{10}$ mm.

6 - 14 Traction:

Pour la résistance à la traction nous avons opéré sur des éprouvette de traction prismatiques de section carrée ($7,1 \times 7,1 \times 28,4$ cm.)

Le béton armé 1960 préconise, en B 321, que: "Les essais de flexion seront effectués sur des éprouvettes prismatiques de section droite carrée de côté b et de longueur égale à 5 b."

Dans notre cas la longueur des éprouvettes est égal à 4 b. Le B.A.60 ajoute, cependant, que: "toutefois les éprouvettes de longueur égale à 4 b sont tolérées provisoirement, sous réserve de prendre en compte dans les calculs les 95 % de la résistance à la traction ainsi déterminée" Les éprouvettes étaient rompues par groupe de trois à la machine Ferret, basée sur le principe du bras de levier, le moment appliqué étant constant.

Toutefois, parallèlement à ces essais nous en avons fait d'autres, à l'aide d'une presse automatique avec effort appliqué au centre de l'éprouvette. Les résultats obtenus à la presse étaient tous trop élevés comparativement aux essais de la machine Ferret.

Nous avons donc fait un essai comparatif 10 éprouvettes d'une même gâchée furent confectionnées; 5 furent rompues à la presse de l'ENPA et les 5 autres à la machine Ferret de l'ITBTP qui est étalonnée.

Les résultats à la traction pour les deux appareils furent les suivants:

Le rapport entre les valeurs données par les deux appareils serait alors de:

$$\frac{R'_{\text{Ferret}}}{R'_{\text{presse}}} = \frac{21,8}{25} = 0,872$$

R' presse 25

La contrainte réelle à prendre

en compte est indiquée en

6.1412.

	R' ₇ (presse)	R' ₇ machine Ferret
	21,8	21,3
	27,8	20,2
	28,6	23,7
	20,3	21,8
	26,6	22
Moyenne	25	21,8

En outre il semblerait que la presse donne des résultats plus dispersés que la machine Ferret. Ceci s'expliquerait par le fait que dans le cas de la machine Ferret, le moment fléchissant est constant tout le long de l'éprouvette, donc la contrainte R'_j calculée est réelle quelque soit l'endroit où se rompt l'éprouvette, pourvu que cela se fasse entre les appuis.

Pour la presse, dans les calculs de la résistance à la traction on tient compte d'un moment qui fait intervenir, la distance entre l'appui et le milieu de l'éprouvette (point d'application de la charge.) On supposerait donc que la rupture se fait au milieu de l'éprouvette. La réalité est toute autre, car le plus souvent la première fissure apparaît à quelques centimètres du milieu.

Une autre remarque semble s'imposer; pour la machine Ferret du laboratoire de Béton de l'ENPA, il semblerait conseillé d'utiliser de la grenaille de plomb pour le chargement. L'utilisation intermittente des poids fausse considérablement les résultats. En effet, le chargement et le déchargement successifs fatiguent l'éprouvette et pourrait donner des résultats qui seraient sous estimés.

La grenaille de plomb, au contraire, permet un chargement continu de l'éprouvette et donne une vitesse de charge constante.

En conclusion, pour la détermination de la résistance à la traction il serait conseillé d'employer la machine Ferret qui donne des résultats plus cohérents, en utilisant pour le chargement de la grenaille de plomb; dans le cas où l'on est réduit à utiliser la

presse il serait utile de minorer la contrainte de traction trouvée par le coefficient empirique 0,875 et évidemment par le coefficient 0,95 dans le cas où l'on utiliserait les moules décrit ci-dessus (B A. 60. B 321).

6 - 141 Détermination des contraintes:

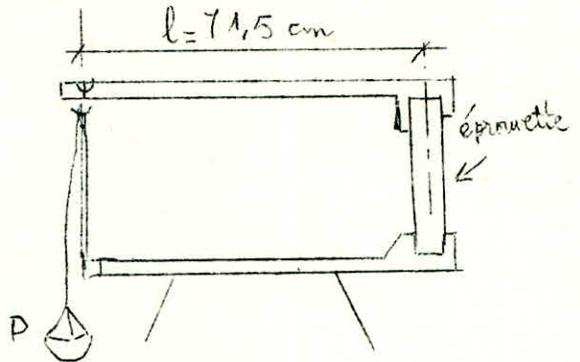
6 - 1411. Machine Ferret:

Moment de flexion:

$$M^t = P \times l$$

$$\frac{I}{v} = \frac{b^3}{6}$$

$$\text{et } R'_j = \frac{Mv}{I} = \frac{6 \times P \times l}{b^3}$$



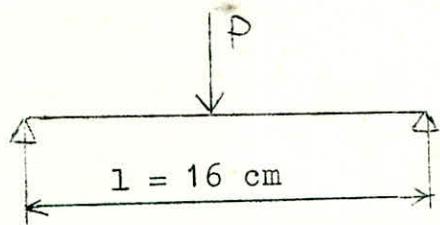
Pendant, les résultants par traction pure on montré que ces valeurs sont inférieures aux valeurs trouvées par flexion. Les règles B. A.60 (B. 324) affectent les résultats trouvés par un coefficient 0,6; on aura alors: $R'_j = \frac{3,6 P l}{b^3}$ avec $l = 71,5$ cm et $b = 5$ et en tenant compte du coefficient 0,95 (B.A.60 - B 321):

$$R'_j = 0,685 P$$

6 - 1412. Presse:

$$M^t = \frac{P l}{4}$$

$$R'_j = \frac{M}{I/v} = \frac{P l \times 6}{4 \times b^3}$$



Pour $l = 16$ cm; $b = 7,1$ et compte tenu du coefficient 0,872 (voir ci-dessus), des coefficients 0,95 et 0,6 (B.A.60 - B 324 et B 321) on aura:

$$R'_j = \frac{16 \times 6 \times 0,6 \times 0,872 \times 0,95}{4 \times 357} \times P = 0,334 \cdot P$$

6 - 15 Dosage pondéral:

Nous avons préféré le dosage pondéral au dosage en volume apparent pour éviter toute erreur qui serait due à un tassement plus ou moins variable dans un matériau et qui fausserait ainsi le dosage en volume apparent.

6 - 16 Malaxage:

Afin d'obtenir des résultats comparatifs nous avons évité de gâcher le béton à la pelle, à cause du défaut d'homogénéité du produit obtenu.

Tous les malaxages ont été faits dans un malaxeur à axe vertical et à palettes, de capacité 150 litres.

Procédés de malaxage:

Le malaxeur en marche, nous introduisons par doses successives le sable, les graviers puis le ciment afin de régulariser la dispersion des agrégats et de bien répartir le ciment autour des grains inertes, puis nous introduisons l'eau par petites quantités, de façon à ce que la répartition de l'eau soit uniforme autour des agrégats.

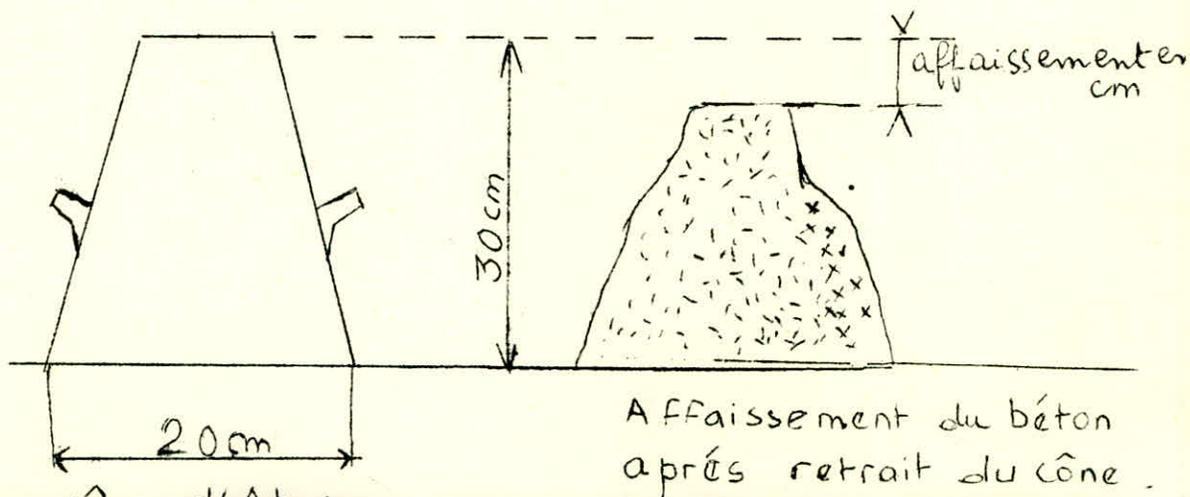
La durée de malaxage doit être suffisante pour assurer une bonne homogénéité du béton. La S.N.C.F propose que pour des malaxeurs à axe vertical, le temps doit être tel que $t = 90\sqrt{D}$ avec D en mètres et avec $t \geq 60$ s.

Dans notre cas D = 95 cm et t = 88 s.

Cependant cette valeur correspondrait à une bétonnière à grande vitesse de rotation, nous avons constaté qu'elle était trop faible pour notre malaxeur qui lui a une faible vitesse de rotation, aussi nous avons choisi un temps moyen de 3 à 4 mn, de malaxage. Il est à remarquer qu'avant le malaxage, il convient de mouiller la cuve du malaxeur afin d'éviter que celle-ci n'absorbe une quantité d'eau qui ne serait pas négligable.

6 - 17 Mesure de la plasticité:

La plasticité du béton est importante à déceler car elle est en relation directe avec sa facilité de mise en place. Elle dépend en particulier de la quantité d'eau utilisée pour le gâchage du béton. Nous avons effectué la mesure de la plasticité à l'aide du cône d'Abrams (Slump Test).



Procédés: On remplit de béton un moule tronconique, en quatre couches, tassées avec une barre métallique pointue. On arrase la surface supérieure. On attend 1 mm, on retire lentement le moule puis on mesure l'affaissement du béton. Cet essai est fait aussitôt après malaxage du béton.

6 - 18 Vibration:

La vibration a pour effet de diminuer le frottement interne des éléments, d'augmenter le poids spécifique des éprouvettes de béton d'où leur résistance mécanique.

Nous avons procédé, de la manière suivante:

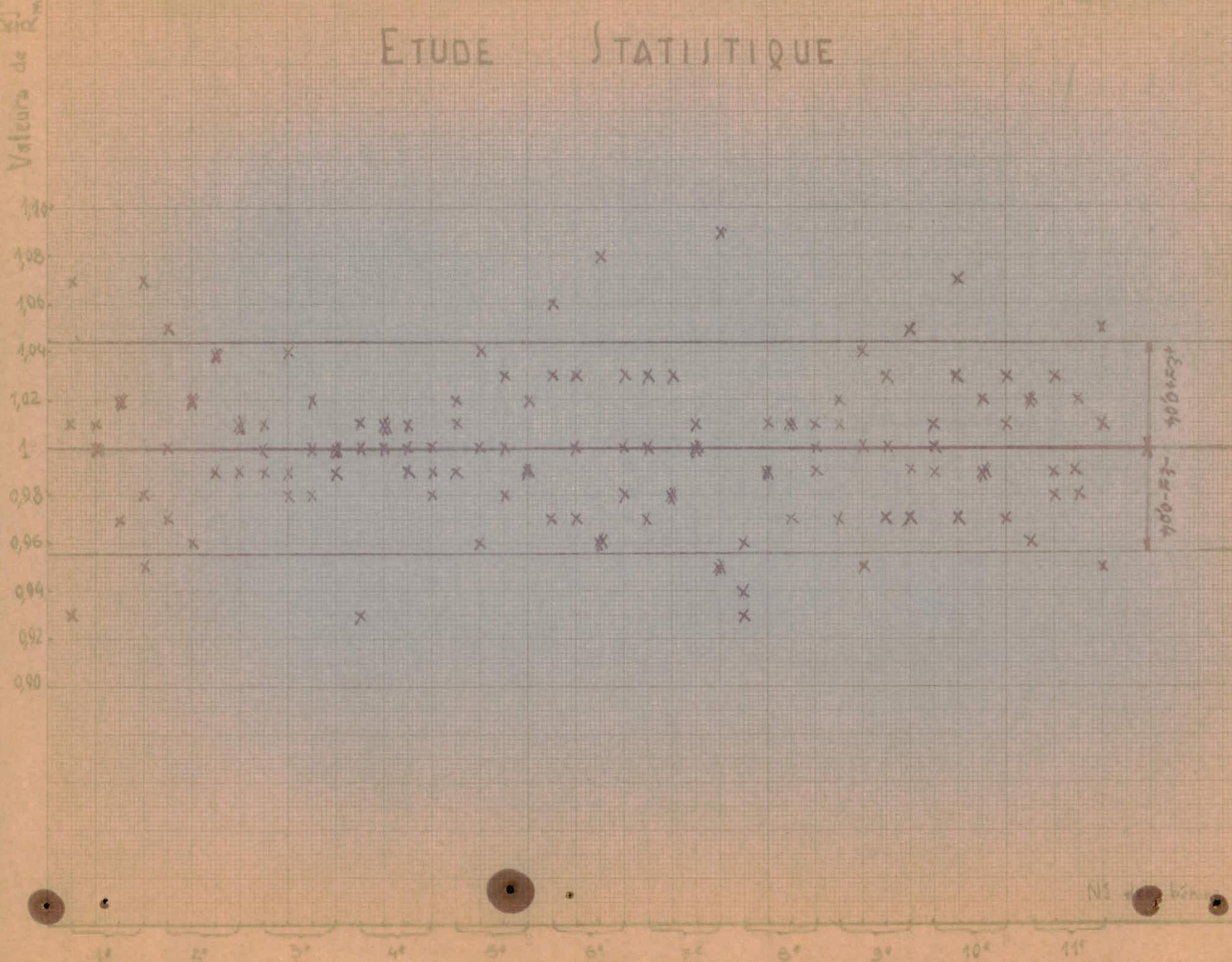
Les moules ont été remplis en deux couches. Afin d'obtenir une bonne homogénéité, on commence par remplir toutes les éprouvettes par une même couche que l'on vibre, puis on les remplit de la deuxième couche et on termine la vibration.

La durée de vibration varie avec la consistance et le mode de vibration choisis pour le béton à étudier. Nous avons d'autant plus poussé la vibration que le béton était plus compact, l'arrangement des grains se faisant plus difficilement que pour un béton mou; pour ce dernier genre de béton une vibration prolongée conduirait à une ségrégation des agrégats, les gros éléments descendant au fond du moule, le sable, le ciment et l'eau remontant à la surface.

6 - 19 Ambiance:

Les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après leur confection. Afin d'obtenir des résultats comparatifs, nous avons conservé toute les éprouvettes à 100% d'humidité relative et à une température variant entre 15° C et 18° C.

ETUDE STATISTIQUE



N3 - 10/11

6.2. Etude statistique

Nous avons fait une étude statistique sur l'ensemble des éprouvettes de compression, soit sur 132 cubes écrasés.

Nous avons établi un diagramme portant en abscisse les essais de tous les bétons à 7, 14, 21 et 28 jours et en ordonnée la valeur $\frac{R_j}{R_m}$; R_j étant chaque valeur obtenue après écrasement d'un cube à j jours, R_m la moyenne pondérée de 3 résultats à la compression au cours d'un essai à j jours.

Ce diagramme a l'intérêt d'indiquer l'écart maximal autour de la moyenne. Cet écart est dû à toutes les imprécisions possibles (défaut d'homogénéité d'un cube à un autre, erreurs dû à la presse, à la vitesse d'application de la charge, etc...).

Un fuseau couvrant environ 87 % des points représentés sur ce graphique, donne un écart maximal des résistances, autour de la valeur moyenne, $\mathcal{E} = 4 \%$.

D'autre part, nous avons déterminé l'écart quadratique moyen sur la variable $\frac{R}{R_m}$; nous avons obtenu =

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n \left(\frac{R}{R_m} - 1 \right)^2}{n}} = 3 \%$$

Nous voyons que \mathcal{E} et σ sont assez faibles. Nous pensons cependant qu'il est encore possible d'améliorer sensiblement ces valeurs sous certaines conditions (voir chapitre : 9).

7. CHOIX, COMPOSITIONS et RESISTANCES des DIFFERENTS BETONS.

Nous présentons, dans ce chapitre, dans l'ordre de leur confection, une série de bétons possédant des caractéristiques différentes. Les neuf premiers bétons sont confectionnés avec des agrégats de la carrière COMETRA, les deux derniers ^{le} sont avec les agrégats de la carrière SECA.

La consistance voulue, le mode de vibration utilisé, la nature des granulats, le dosage en ciment conditionnent la quantité d'eau de gâchage et la composition en volume absolu (ou en poids) des différents granulats employés.

Nous donnons à chaque fin de description du béton, les tableaux des résistances mécaniques en traction et en compression, ainsi que le diagramme utilisé pour la détermination de la composition du béton. A la fin de ce chapitre, nous établissons un tableau récapitulatif permettant de connaître rapidement les principales caractéristiques de tous les bétons confectionnés.

7 - 1 - 1^{er} béton. Caractéristique;

Nous désirons obtenir un béton, de consistance de terre humide avec un serrage énergétique (table vibrante) .

Ce choix nous déterminera le volume d'eau **total** théorique. Nous prendrons un dosage moyen de ciment soit : 350 kg/m^3 les agrégats choisis sont le sable de mer et les graviers concassés : 3 - 8; 5 - 15; 15 - 25

7 - 11. Paramètres :

La consistance et la vibration choisies conduisent à prendre comme coefficient :

$$K = 0,34$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 24$$

$$B = 1,5$$

Nous avons déterminé en 5.2 et en 5;3 , le diamètre maximal des agrégats D et le rayon moyen du moule R soit :

$$D = 25 \text{ mm et } R = 50 \text{ mm.}$$

$$\text{et } \frac{R}{D} = 2$$

7 - 12. Indice des vides. Volume d'eau:

$$I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75} = \frac{0,34}{\sqrt[5]{25}} + \frac{0,003}{1,904 - 0,75} = 0,1785 + 0,0024 = 0,1809$$

et le volume d'eau sera : $E = 865 I = 157$ litres

la compacité du béton est alors : $C = 1 - 0,157 = 0,843$.

Dans 1 m^3 de béton en place les constituants secs occupent un volume absolu de 843 litres .

7 - 13. Courbe de référence :

Calcul de $Y_{D/2}$:

$$Y_{D/2} = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} = 24 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{1,25} = \underline{57,6}$$

Cette valeur est l'ordonnée du point B de brisure qui a pour abscisse $\frac{D}{2}$

Les deux autres points sont = A $\left\{ \begin{array}{l} 0\% \\ 0,0065 \end{array} \right.$ et C $\left\{ \begin{array}{l} 100\% \\ D \end{array} \right.$.

7 - 14. Composition :

Les courbes granulométriques des agrégats, la courbe granulométrique réelle du béton obtenu et les verticales déterminées comme indiqué en 5.9 nous donnent les pourcentages en volume absolu des différents constituants

Ainsi :

$$15 - 25 = 35\%$$

$$5 - 15 = 17\%$$

$$3 - 8 = 14\%$$

$$\text{Ciment +Sable} = 34\%$$

$$\text{Pourcentage en volume absolu du ciment} = \frac{350}{3,1} \frac{1}{V_1} = \frac{350}{3,1} \frac{1}{843} = 13,4\%$$

$$\text{d'où pourcentage de sable} = 34\% - 13,40\% = 20,50\%$$

Composition du béton :

Constituants	% Va	Va	P.S	P	p
Ciment	13,40	113	3,1	350	24,2
Sable	20,60	173,5	} 2,7	467	32,3
3 - 8	14	118		319	22,1
5 - 15	17	143,2		387	26,8
15 - 25	35	295,3		787	54,6
	100,00	843,0		2310	

Volume d'eau théorique pour 1m^3 de béton : 157 litres.

Pour 160 kg on aura une quantité d'eau = 10,90 litres.

Teneur en eau du sable : 2% .

Eau à retrancher : 0,65 l. Volume d'eau à mettre dans le malaxeur:

$$10,90 \text{ l} - 0,65 \text{ l} = 10,25 \text{ l}.$$

l'étude de la consistance au cône d'Abrams a donné un affaissement de : 1 cm.

7 - 2. 2^{ème} béton. Caractéristique :

Le béton sera de consistance assez ferme avec un serrage soigné. Le dosage du ciment sera de 350 kg/m^3 . Les agrégats utilisés sont le sable roulé; les graviers 3 - 8; 5 - 15; 15 - 25 .

7 - 21. Paramètres :

Consistance ferme, serrage soigné, graviers concassés et sable roulé amènent à choisir ces paramètres .

$$K = 0,37$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 29$$

$$B = 1.5$$

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 1^{er} BETON

	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	Moyenne
R ₁	302	329	348	326
R' ₁	27,4	24	23,3	24,9
R ₁₄	365	363	370	365
R' ₁₄	27,4	28,1	34,2	30
R ₂₁	380	400	400	393
R' ₂₁	30	34,6	33,2	32,6
R ₂₀	400	390	440	410
R' ₂₀	33	35,2	33,8	34

7 - 22. Indice des vides. Volume d'eau. Compacité :

$$I = \frac{0,37}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,1956 + 0,0024 = 0,208.$$

d'où volume d'eau théorique E = 865 I = 180 litres

Compacité du béton C = 1 - 0,180 = 0,820.

Volume absolu des constituants secs dans un m³ de béton = 820 lit

7 - 23. Courbe de référence :

Les points A $\begin{cases} 0\% \\ 0,065 \end{cases}$ et C $\begin{cases} 100\% \\ D \end{cases}$ seront les mêmes pour toutes les courbes.

$$Y_{D/2} = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} = 29 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{2 - 0,75} = 52,$$

7 - 24. Composition :

Pourcentage en volume absolu :

15 - 25 = 34%

5 - 15 = 16%

3 - 8 = 14%

Ciment + sable = 36%

Pourcentage en volume absolu du ciment

$$\frac{350}{3,1} \times \frac{1}{820} = \underline{13,80 \%}$$

Pourcentage de sable :

$$36 \% - 13,80 \% = \underline{22,20 \%}$$

Composition du béton :

Composants	% va	va	P.S	P	p
Ciment	13,80	113,0	3,1	350	24,7
Sable	22,20	182,2	} 2,7	492	34,8
3 - 8	14	114,8		310	21,9
5 - 15	16	131,2		354	25,1
15 - 25	34	278,8		755	53,5
Total		820,0		2261	

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 2^e BETON.

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	226	204	215	215
R' ₇	21,5	22,3	23,0	22,3
R ₁₄	290	310	310	303
R' ₁₄	26,6	28,5	26,0	27,0
R ₂₁	348	342	348	346
R' ₂₁	30,5	30,0	31,0	30,5
R ₂₈	348	349	344	347
R' ₂₈	29,0	33,0	31,0	31,0

Volume d'eau total : 180 l.

Volume d'eau pour 160 kg : 12,75 l.

Teneur en eau du sable : 2%

Soit le volume d'eau réel à mettre dans le malaxeur :

$$12,75 - 0,696 = \underline{12,054 \text{ l.}}$$

Affaissement au cône : 5 cm.

7 - 3. 3^{ème} béton. Caractéristique :

sera

Le béton à obtenir de consistance molle sans serrage efficient.

Le dosage en ciment sera de 350 kg /m³ .

Les agrégats utilisés sont le sable roulé, les graviers : 3 - 8;
5 - 15; 15 - 25.

7 - 31. Paramètres:

Les considérations ci-dessus imposent les coefficients :

$$K = 0,415$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 33$$

$$B = 1,5$$

7 - 32. Indice des vides. Volume d'eau. Compacité:

$$I = \frac{0,415}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,220$$

$$\text{et } E = 865 I = 190 \text{ l.}$$

Compacité du béton. $C = 1 - 0,190 = 0,810$

Volume absolu des constituants secs dans un m³ de béton: 810 l.

7 - 33. Courbe de référence :

Elle est déterminée par $Y_{D/2}$:

$$Y_{D/2} = 33 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{2 - 0,75} = 66,6.$$

7 - 34. Composition :

Pourcentage en volume absolu :

$$15 - 25 = 27 \%$$

$$5 - 15 = 16 \%$$

$$3 - 8 = 16 \%$$

$$\text{Ciment + sable} = 41 \%$$

Pourcentage en volume absolu de ciment :

$$\frac{350}{3,1} \times \frac{1}{810} = \underline{13,99 \%}$$

D'où le pourcentage de sable :

$$41 \% - 13,99 \% = \underline{27,01 \%}$$

Composition du béton :

Composants	% va	va	P.S	P	p
Ciment	13,99	113,2	3,1	350	25,0
Sable	27,01	218,9	} 2,7	592	42,5
3 - 8	16	129,5		350	25,1
5 - 15	16	129,5		350	25,1
15- 25	27	218,5		590	42,3
Total	100,0	809,6		2232	

Volume d'eau total : 190 l.

Volume d'eau pour 160 kg = 13,6 l.

Teneur en eau du sable = 2,03 %

Volume d'eau à ajouter = 13,6 l - 0,852 = 12,750 l.

Affaissement au cône = 8,5 cm.

7 - 4 Caractéristiques du 4^{ème} béton .

On veut avoir une consistance molle avec faible serrage.

Dosage en ciment : 350 kg /m³ .

Nous n'utiliserons cette fois-ci que deux graviers :

5 - 15 et 15 - 25 avec le sable de mer .

7 - 41. Paramètres :

$$K = 0,39$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 30$$

$$B = 1,5$$

7 - 42. Indice des vides. Volume d'eau. Compacité :

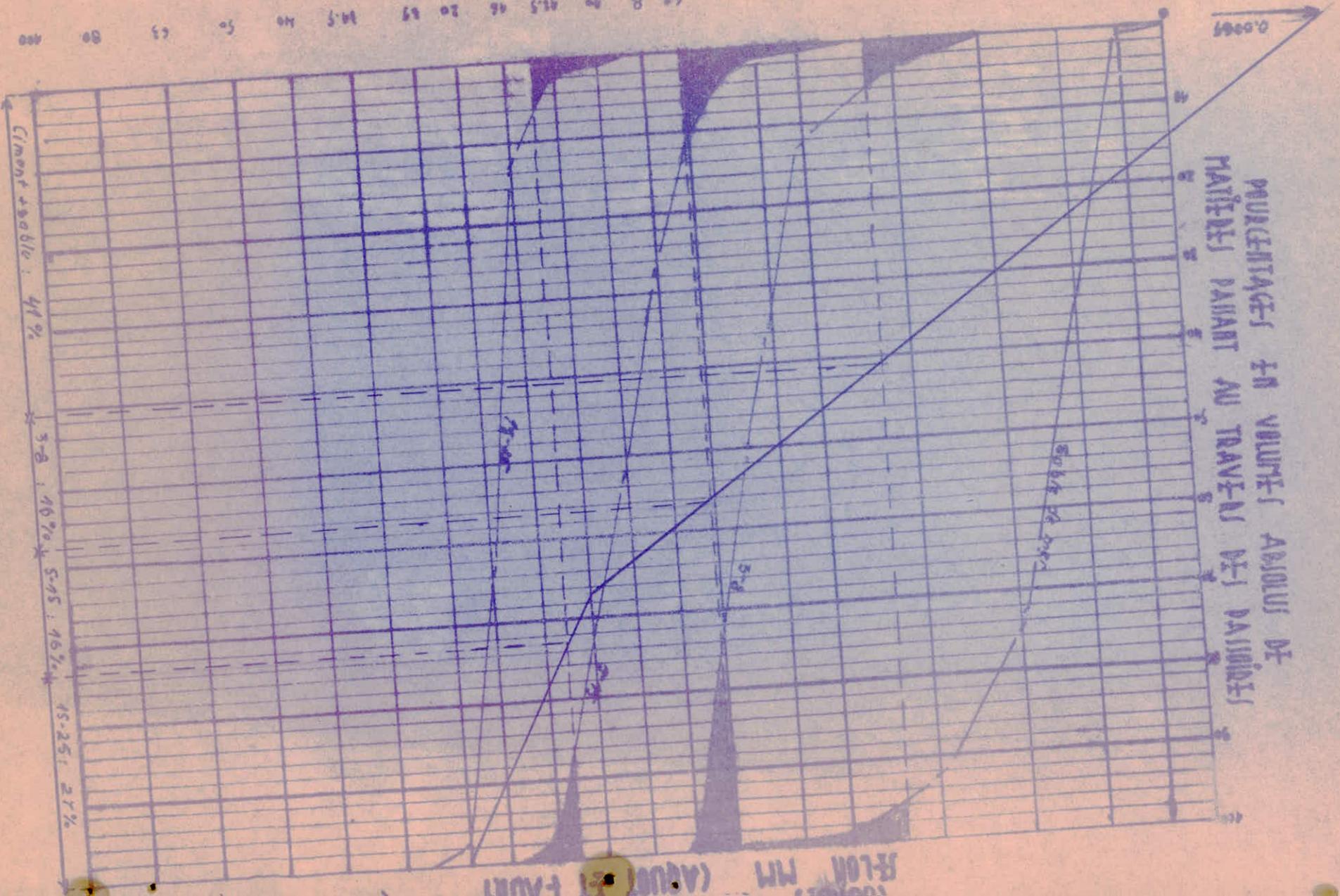
$$I = \frac{0,39}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,208 .$$

D'où volume d'eau E = 865 I = 180 litres .

Compacité du béton : C = 1 - 0,180 = 0,820

Volume absolu des constituants secs du béton (1m³) = 820 litre

POURCENTAGES EN VOLUME ABSOLUS DE
MATERIE LIQUIDE AU TRAVERS DES PAILLONNES



Proportions	Temps	Module
(0.2) (0.2)	0.8	20
0.14	0.5	23
0.4	0.3	26
0.8	0.2	32
1.5	0.1	38
2.5	0.05	45
4.0	0.02	52
6.0	0.01	60
8.0	0.005	70
10.5	0.002	80
14.5	0.001	90
20	0.0005	100

PROPORTION (ABSOLUE) DE L'EAU

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 3^e BETON.

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	187	189	185	187
R' ₇	17,1	19,0	19,2	18,8
R ₁₄	256	270	254	260
R' ₁₄	23,0	21,6	19,0	21,3
R ₂₁	296	284	290	290
R' ₂₁	24,3	24,6	26,0	25,0
R ₂₈	301	300	299	300
R' ₂₈	30,9	27,5	28	28,8

7 - 43. Détermination de $V_{D/2}$:

$Y_{D/2}$ permettra de tracer la courbe de référence

$$Y_{D/2} = 30 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{1,25} = \underline{63,6}.$$

7 - 44 Composition :

Pourcentage volume absolu :

$$15 - 25 = 32 \%$$

$$5 - 15 = 22 \%$$

$$\text{Ciment + sable} = 46 \%$$

Pourcentage de ciment en volume absolu :

$$\frac{350}{3,1} \times \frac{1}{820} = 13,75 \%$$

Pourcentage de sable en volume absolu :

$$46 \% - 13,75 \% = 32,25 \%$$

Composition

Composants	% V_a	V_a	P.S	P.	p
Ciment	13,75	112,8	3,1	350	24,7
Sable	32,25	264,5	} 2,7	715	50,5
5 - 15	22	180,2		487	34,4
15 - 25	32	262,5		710	50,4
Total	100,00	820,0		2262	

Volume d'eau total : 180 l/m³ soit 13 litres pour 160 kg de béton .

Teneur en eau du sable : 2 % dans 50,5 kg de sable il y a 1,01 l.

d'où volume d'eau à ajouter au 160 kg d'agrégats :

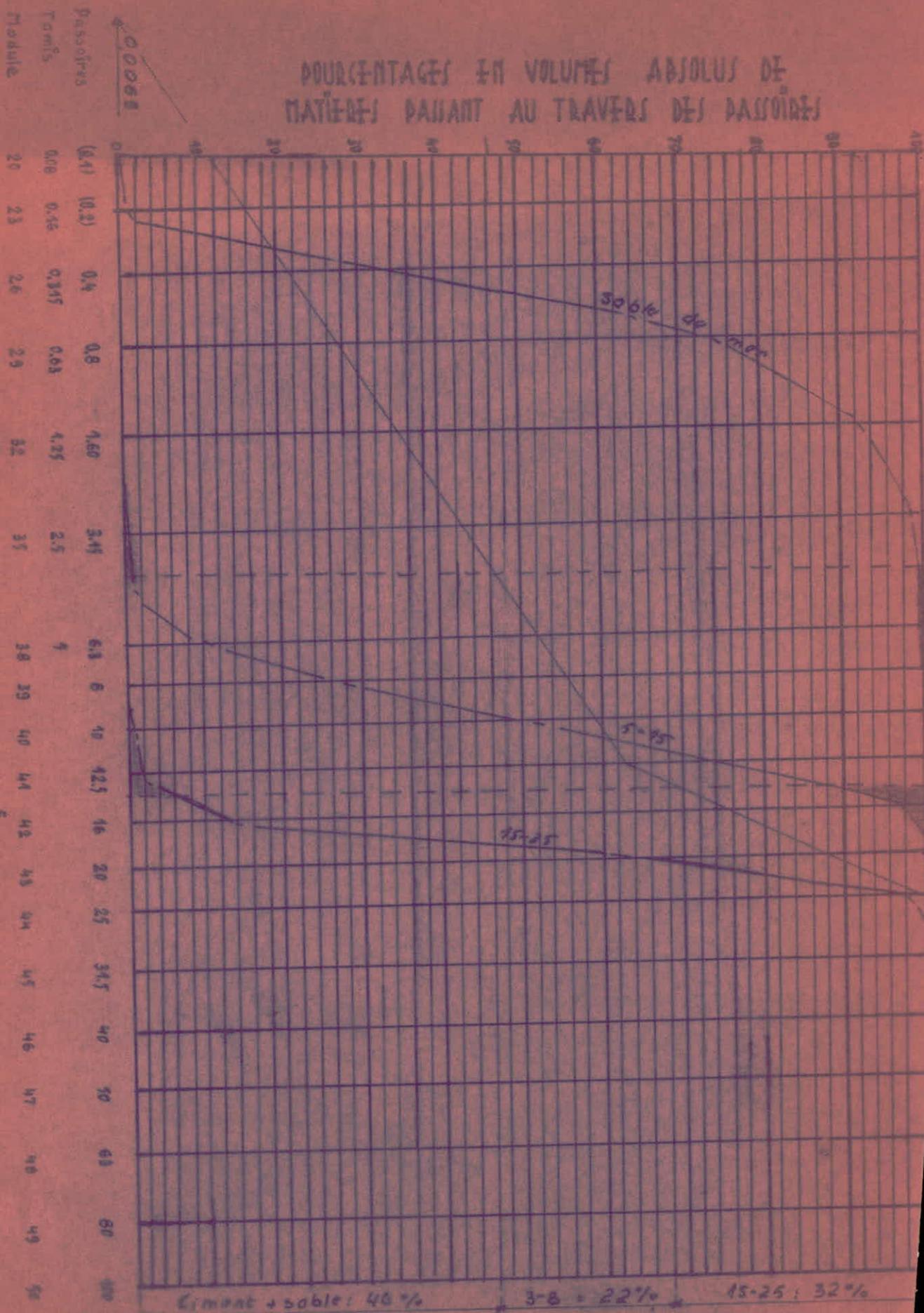
$$13,00 \text{ l.} - 1,01 \text{ l} = 11,990 \text{ l.}$$

Affaissement au cône = 6 cm.

7 - 5. 5^{ème} béton caractéristiques :

Nous rechercherons un béton de consistance de terre humide avec serrage énergétique et nous n'utiliserons que deux graviers (5 - 15, - 25), et le sable roulé; le dosage du ciment sera cette fois-ci de 400 kg /m³ .

POURCENTAGES EN VOLUMES ABSOLUS DE MATIÈRES PASSANT AU TRAVERS DES PASSOIRS



Echelle proportionnelle à \sqrt{D}

SELON NM (AQUOI ET TRAV)

RESULTATS DES RESISTANCES

D
DU 4^e BETON.

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	203	187	200	200
R' ₇	18,0	19,1	20,0	19,0
R ₁₄	276	276	272	274
R' ₁₄	22,6	23,3	23,0	23,0
R ₂₁	296	290	293	293
R' ₂₁	24,6	25	26,4	25,3
R ₂₈	320	316	324	320
R' ₂₈	29,2	31,0	30,4	30,2

7 - 51. Paramètres :

$$K = 0,34$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 24$$

$$B = 1,5$$

7 - 52. Indice des vides. Volume d'eau Compacité :

$$I = \frac{0,34}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,1814$$

et $E = 865 I = 157$ litres

Compacité du béton $C = 1 - 0,157 = 0,843$.

7 - 53 . Calcul de $Y_{D/2}$:

$$Y_{D/2} = 24 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{1,25} = 57,6$$
 .

7 - 54. Composition :

$$15 - 25 = 35 \%$$

$$5 - 15 = 23 \%$$

$$\text{Ciment + Sable} = 42 \%$$

Pourcentage du ciment en volume absolu :

$$\frac{400}{3,1} \times \frac{1}{843} = 15,3 \%$$

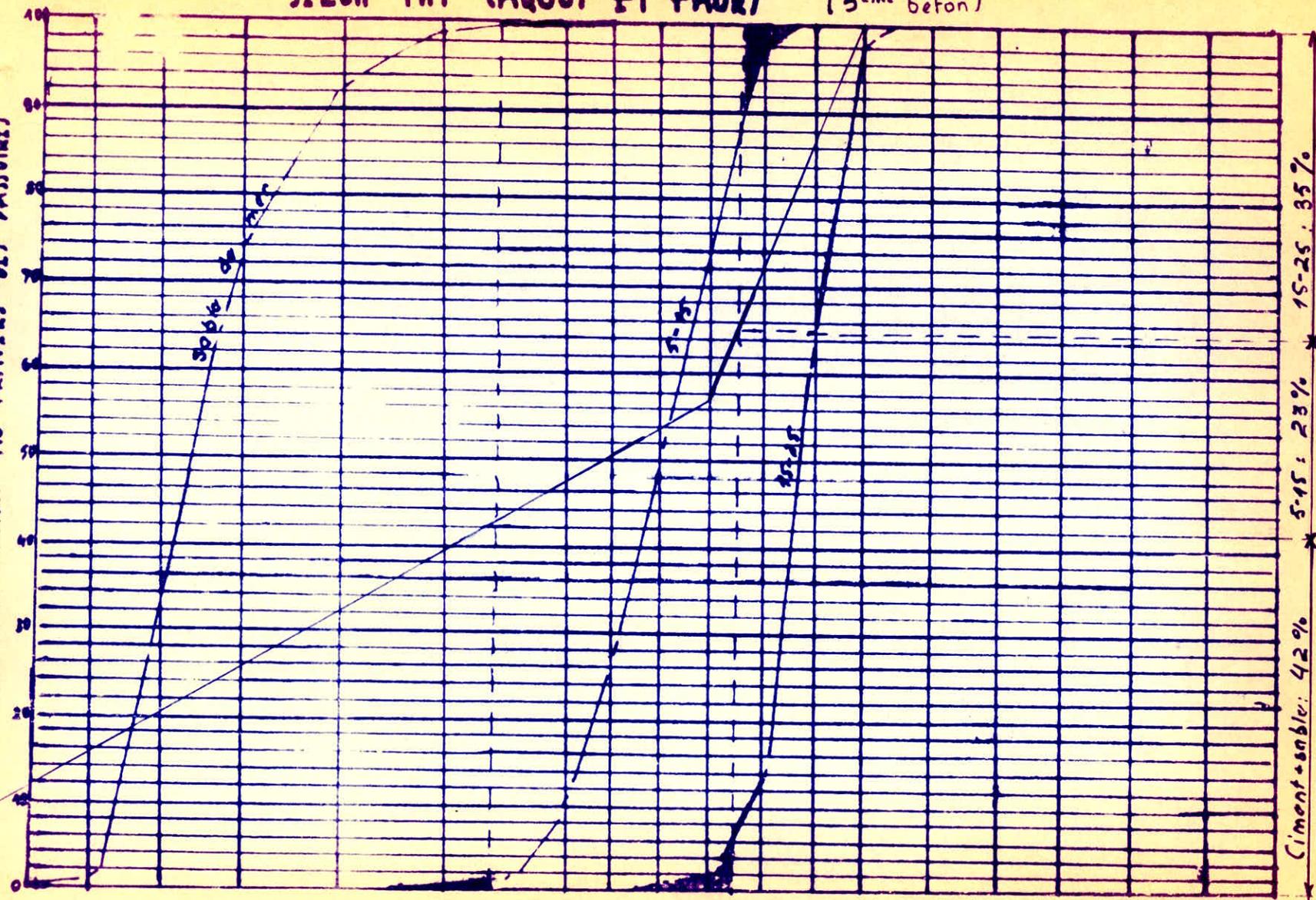
D'où pourcentage du sable : $42 - 15,3 = 26,7 \%$

Composants	% va	va	P.S.	P.	p
Ciment	15,30	129	3,1	400	27,6
Sable	26,70	225		607	41,7
5 - 15	23	193,9	2,7	524	36
15 - 25	35	295		798	54
	100,00	842,9		2329	

eau totale théorique: 157 l, soit pour 160 kg : 10,800 l.
Teneur en eau du sable = 1,92 % .

(COURBES) GRANULOMETRIQUES
 SELON MM (AQUOT ET FAURY) (5eme beton)

POURCENTAGES EN VOLUMES ABSOLUS DE
 MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES PASSOIRES



0,008

Passoires	(0,1)	(0,2)	0,4	0,8	1,60	3,15	6,3	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	100
Tamis	0,075	0,15	0,3	0,6	1,25	2,5	5	10	20	40	80	160	320	630	1250	2500	5000	10000	
Module	20	23	26	29	32	35	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 5^e BETON

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	336	342	346	340
R' ₇	25,0	28,4	25,6	26,3
R ₁₄	394	380	366	380
R' ₁₄	26,4	28,8	27,4	27,5
R ₂₁	400	390	410	400
R' ₂₁	32,0	34,5	30,2	32,2
R ₂₈	417	408	406	410
R' ₂₈	32,8	33,5	32,8	33,0

D'où volume d'eau à mettre dans le malaxeur: $10,800 \text{ l} - 0,800 \text{ l} = 10 \text{ litres}$;

Affaissement au cône $\approx 3 \text{ cm}$.

7 - 6 . Caractéristiques. (6^{ème} béton) :

La consistance du béton, sera de type plastique avec une vibration énergique.
Le dosage en ciment sera de 400 kg / m^3 . Nous prendrons 3 graviers (3 - 8, 8 - 15, 15 - 25) et le sable roulé .

7 - 61. Paramètres :

$K = 0,34$

$K' = 0,003$

$A = 24$

$B = 1,5$

7 - 62. Indice des vides. Volume d'eau Compacité :

$I = \frac{0,34}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,1814.$

D'où $E = 865 I \approx 157$. Compacité: $C = 1 - 0,157 = 0,843$
 1 m^3 a donc un volume absolu sec de 843 litres .

7 - 63. Calcul de $Y_{D/2}$:

$Y_{D/2} = 24 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{1,25} = \underline{57,60}$

7 - 64. Composition :

Pourcentage en volume absolu :

$15 - 25 = 35 \%$

$5 - 15 = 17 \%$

$3 - 8 = 16 \%$

Ciment + Sable = 34 %

Pourcentage en volume absolu de ciment :

$\frac{400}{3,1} \times \frac{1}{843} = 15,30 \%$

D' où pourcentage de sable :

$34\% - 15,30\% = 18,70\%$.

Composition du béton :

Composants	% va	va	P.S.	P	p
Ciment	15,30	129	3,1	350	24,7
Sable	18,70	157,5	2,7	425	30,0
3 - 8	14	118		319	22,5
5 - 15	17	143,2		387	27,3
15- 25	35	295,3		787	55,5
Totale	100,00	843,0		2268	

Volume d'eau pour 160 kg de béton : 10, 700 litres.

Teneur en eau du sable : 1,82%

D'où Volume d'eau réel à mettre dans le malaxeur :

$$10, 700 \text{ l} - 0,546 \text{ l} = 10,154 \text{ litres .}$$

Affaissement en cône : 1,5 cm.

7 - 7. 7^{ème} béton caractéristiques :

ça sera un béton de consistance fluide pour une mise en place sans serrage efficace.

Le dosage en ciment sera de 350 kg /m³ .

On utilise les agrégats suivants : 3 - 8; 5 - 15; 15 - 25 et sable de mère . Ce béton sera revibré.(voir chapitre).

7 - 71. Paramètres :

$$K = 0,44$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 0,35$$

7 - 72. Indice des vides. Volume d'eau. Compacité :

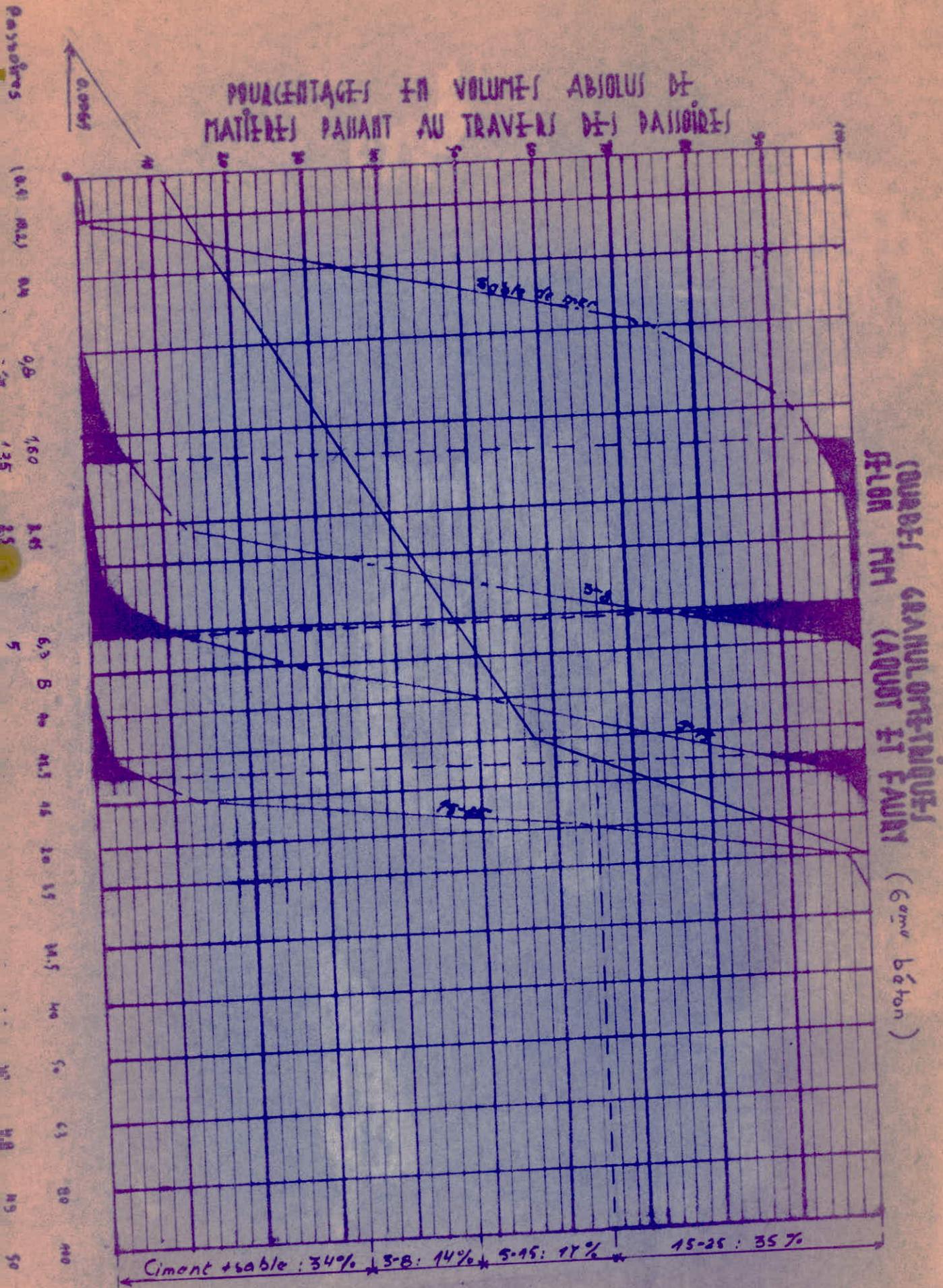
$$I = \frac{0,44}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,231 + 0,0024 = 0,2334 \text{ d'où volume d'eau}$$

$$\text{total théorique : } E = 865 \text{ I} = 865 \times 0,2334 = \underline{202 \text{ litres}}$$

$$C = 1 - 0,202 = 0,798 .$$

$$\text{Volume absolu d' } 1 \text{ m}^3 \text{ de béton} = 798 \text{ litres .}$$

POURCENTAGES EN VOLUMES ABSOLUS DE
MATIÈRES PASSANT AU TRAVERS DES PASSOIRS



RESULTATS DES RESISTANCES

DU 6^e BETON

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	370	360	350	360
R' ₇	25,0	25,0	26,2	25,4
R ₁₄	382	394	407	394
R' ₁₄	30,1	26,8	26,8	27,9
R ₂₁	464	412	412	430
R' ₂₁	32,5	33,4	33,1	33,0
R ₂₈	453	441	432	442
R' ₂₈	30,8	34,2	38,3	34,4

7 - 73. Courbe de référence :

$$Y_{D/2} = 35 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{1,25} = 68,6 .$$

7 - 74 . Composition :

Pourcentage volume absolu :

$$15 - 25 = 26 \%$$

$$5 - 15 = 16 \%$$

$$3 - 8 = 16 \%$$

$$\text{Ciment + Sable} = 42 \%$$

Pourcentage de ciment :

$$\frac{350}{3,1} \times \frac{1}{798} = 14,10 \%$$

et le pourcentage du sable sera :

$$42\% - 14,10 = 27,90\%$$

Composition du béton :

Composants	% va	va	P.S	P.	p.
Ciment	14,10	112,6	3,1	350	25,5
Sable	27,20	222,4	} 2,7	600	43,7
3 - 8	16	127,7		345	25,1
5 - 15	16	127,7		345	25,1
15 - 25	26	207,6		560	40,6
Total		798,0		2200	

Volume d'eau pour 160 kg de béton : 14,7 litres .

Teneur en eau du sable 2% .

D'où volume d'eau mis dans le malaxeur : 14,700 l - 0,874 l = 13,826 l

Affaissement au cône: 8,5 cm.

7 - 8. 8^{ème} béton. Caractéristiques :

Le béton à obtenir sera de consistance extra sèche avec une vibration très poussé .

Dosage en ciment : 350 kg /m³ .

Granulats utilisés : 3 - 8; 5 - 15; 15 - 25 et sable de mer .

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 7^e BETON

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	185	191	196	191
R' ₇	17,1	17,1	21	18,4
R ₁₄	253	254	267	258
R' ₁₄	22,1	22,8	22,5	22,3
R ₂₁	304	301	301	302
R' ₂₁	28,3	29,6	27,9	26,8
R ₂₈	309	360	312	327
R' ₂₈	30,1	29,4	30,1	29,8

7 - 81. Paramètres :

$K = 0,327$

$K' = 0,002$ (Tassement très énergétique)

$A = 23,8$

$B = 1$ (Tassement très énergétique.)

7 - 82 . Indice des vides. Volume d'eau :

$$I = \frac{0,327}{1,904} + \frac{0,002}{1,5} = 0,1732$$

et $E = 865 I = 150$ litres ; Compacité: $C = 1 - 0,150 = 0,850$
 Volume absolu de 1 m^3 de béton sec = 850 litres .

7 - 83. Calcul de $Y_{D/2}$:

$$Y_{D/2} = 23,8 + 17 \times 1,904 + \frac{1}{250,75} = \underline{57} .$$

7 - 84. Composition :

Pourcentage en volume absolu :

$15 - 25 = 35 \%$

$5 - 15 = 17 \%$

$3 - 8 = 14 \%$

Ciment + Sable = 34%

Pourcentage en volume absolu de ciment :

$$\frac{350}{3,1} \cdot \frac{1}{850} = \underline{13,25 \%}$$

Pourcentage de sable :

$34 \% - 13,25 \% = \underline{20,75 \%}$

Composition du béton :

Composants	% va	va	P.S.	P.	p.
Ciment	13,25	112,5	} 2,7	350	23,9
Sable	20,75	176,7		477	32,6
3 - 8	14	119		321	22
5 - 15	17	145		391	26,7
15 - 25	35	296,8		801	54,8
	100,00	850,0		2340	

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 8^e BETON

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	340	334	331	335
R' ₇	23,2	24,2	24,3	24,0
R ₁₄	381	372	372	375
R' ₁₄	34,0	29,8	30,2	31,3
R ₂₁	390	407	407	401
R' ₂₁	32,8	33,6	35,0	33,8
R ₂₈	417	423	420	420
R' ₂₈	34,2	33,8	34,0	34,0

Teneur en eau du sable : 1,90%

Volume d'eau pour 160 kg de béton: 10,25 l.

D'où le volume réel d'eau à ajouter : $10,25 \text{ l} - 0,620 = \underline{9,630 \text{ l.}}$

Affaissement au cône : 1,5 cm.

7 - 9. 9^{ème}. béton. Caractéristique :

La consistance du béton à obtenir sera ferme, avec un serrage soigné .

Dosage du ciment : 350 kg/m^3 .

Trois agrégats : 3 - 8, 5 - 15, 15 - 25 et un sable de mer.

7 - 91. Paramètres :

$$K = 0,37$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 29$$

$$B = 1,5$$

7 - 92. Indice des vides. Volume d'eau.

$$I = \frac{0,37}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,197 \text{ , et } E = 865 I = \underline{170 \text{ litres}} \text{ .}$$

Compacité : $1 - 0,170 = 0,830$.

Volume absolu d'un m^3 de béton sec = 830 litres.

7 - 93. Calcul de $Y_{D/2}$

$$Y_{D/2} = 29 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{2 - 0,75} = \underline{61,6} \text{ .}$$

7 - 94. Composition du béton :

Pourcentage en volume absolu :

$$15 - 25 = 32 \%$$

$$5 - 15 = 16 \%$$

$$3 - 8 = 14 \%$$

$$\text{Sable + ciment} = 38 \%$$

Pourcentage en volume absolu de ciment:

$$\frac{350}{3,1} \times \frac{1}{830} = \underline{13,60\%}$$

$$\text{Pourcentage de sable : } 38 - 13,60 = \underline{24,40 \%}$$

Composition du béton:

Composants	% va	va	P.S.	P.	p.
Ciment	13,60	112,8	3,1	350	24,4
Sable	24,40	202,2	} 2,7	547	38,2
3 - 8	14	116,2		314	21,9
5 - 15	16	132,8		359	25,2
15 - 25	32	266		719	50,3
	100,00	830,0		2288	

Volume d'eau pour 160 kg = 11,860 l

Teneur en eau : = 3,75 %

D'où le volume d'eau réel : $11,860 - 1,430 = \underline{10,430 \text{ l}}$.

Affaissement au cône = 3,5 cm.

7 - 10. 10^{ème} béton . Caractéristiques ;

Le béton que nous allons étudier est, contrairement aux béton précédents fait à partir d'agrégats d'une carrière différente .

Il aura une consistance de terre humide avec une vibration énergique. Nous utiliserons trois granulats ; 3 - 8 ; 5 - 15 ; 15 - 25 et le sable de mer ,

Le dosage en ciment sera de 400 kg /m³.

Nous prendrons R = rayon moyen du moule = 50 mm, et $D = 25 + 5 \times \frac{1}{12} = 25,416 \text{ mm}$, nous prendrons ; D = 25 mm (voir paragraphe 5.3)

7 - 101. Paramètres:

$$K = 0,34$$

$$K' = 0,003$$

$$A = 24$$

$$B = 1,5$$

7 - 10 2. Indice des vides :

$$I = \frac{0,34}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,1814 \quad \text{d'où} \quad E = 865 \quad I = \underline{157 \text{ litres}}$$

Compacité : $C = 1 - 0,157 = 0,843$.

Volume absolu d'un m³ de béton sec = 843 litres .

+ 49 -

7 - 103. Calcul de $Y_{D/2}$:

$$Y_{D/2} = 24 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{1,25} = \underline{57,60.}$$

7 - 104. Composition :

Pourcentage en volume absolu :

$$15 - 25 = 43 \%$$

$$5 - 15 = 12 \%$$

$$3 - 8 = 9 \%$$

$$\text{Ciment + sable} = 36 \%$$

Pourcentage du ciment :

$$C = \frac{350}{3,1} \times \frac{1}{843} = 15,3 \%$$

$$\text{Pourcentage en sable : } 36 - 15,3 = 20,7 .$$

Composants	% va	va	P.S	P.	p.
Ciment	15,3	129	3,1	400	27,50
Sable	20,7	174,5	} 2,7	471	32,40
3 - 8	9	75,9		205	14,10
5 - 15	12	101,1		273	18,75
15 - 25	43	362,5		980	67,30
	100,00			2329	

Eau pour 160 kg. 10,750 l.

Teneur en eau du sable = 2,31 % d'où volume d'eau réel à utiliser : $10,750 - 0,750 = 10$ litres .

Consistance \neq Affaissement en cône = 1,5 cm.

7 - 11 . béton caractéristiques:

Avec les agrégats de la deuxième carrière on désire confectionner un béton de consistance assez ferme avec serrage soigné.

Nous utiliserons trois agrégats : le sable roulé, et les graviers : 3 - 8 ; 5 - 15 et 15 - 25 .

7 - 111. Paramètres :

Les conditions ci-dessus imposent les coefficients:

$$K = 0,37$$

$$K = 0,003$$

$$A = 29$$

$$B = 1,5$$

7 - 112. Indice des vides . Volume d'eau :

$$I = \frac{0,370}{1,904} + \frac{0,003}{1,25} = 0,208 \text{ d'où } E = 865 I = \underline{180 \text{ litres.}}$$

Compacité du béton = C = 1 - 0,180 = 0,820 .

Volume absolu d' 1 m³ de béton sec = 820 litres.

7 - 113. Courbe de référence :

$$Y_{D/2} = 29 + 17 \times 1,904 + \frac{1,5}{2-0,75} = \underline{62,6} .$$

7 - 114. Composition :

15 - 25 = 39 %

5 - 15 = 11 %

3 - 8 = 10 %

Ciment + sable = 40 %

% en ciment = $\frac{350}{3,1} \times \frac{1}{820} = 13,80 \%$ d'où pourcentage en sable : 40% - 13,80% = 26,20% .

Composition du béton :

Composants	% va	va.	P.S	P.	p.
Ciment	13,80	113,1	} 2,7	350	24,5
sable	26,20	214,9		607	42,5
3 - 8	10	82		221	15,5
5 - 15	11	90,2		243	17
15 - 25	39	319,8		865	60,500
Total	100,00	820,0		2286,0	

Volume d'eau pour 160 kg. de béton = 12,600 l.

Teneur en eau du sable = 2,58 %

Volume d'eau réel = 12,600 - 1,100 = 11,500 litres .

Affaissement au cône = 5,5 cm.

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 10^e BETON

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	371	382	376	377
R' ₇	32,8	32,9	28,8	31,5
R ₁₄	371	427	443	414
R' ₁₄	36,5	34	34,5	35
R ₂₁	443	433	433	436
R' ₂₁	34	39	41	38
R ₂₈	465	448	475	463
R' ₂₈	37,2	40,6	40,3	39

RESULTATS DES RESISTANCES

DU 11^e BETON

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai	Moyenne
R ₇	242	258	258	253
R' ₇	24,9	24,5	23,8	24,4
R ₁₄	304	310	324	313
R' ₁₄	33,5	33,2	30,8	32,5
R ₂₁	340	356	346	349
R' ₂₁	32,8	36,8	33,2	34,3
R ₂₈	330	354	366	350
R' ₂₈	34,4	34,0	35,1	34,5

TABLEAU RECAPITULATIF

N° du béton	Volume d'eau en l/m ³ E	Affaisse- ment du cône en cm.	Résistan- ce en comp- ression R ₂₈ en Kg/cm ²	Résistan- ce en trao- ction R' ₂₈ en Kg/cm ²	dosage en ciment, C=Kg/m ³	$\frac{E}{C}$	Nombre de gra- vier utilisé
1	157	1	410	34	350	0,450	3
2	180	5	347	31	350	0,515	3
3	190	8,5	300	28,8	350	0,543	3
4	180	6	320	30,2	350	0,515	2
5	157	3	410	33	400	0,393	2
6	157	1,5	442	34,4	400	0,393	3
7	202	8	327	29,8	350	0,580	3
8	150	1,5	420	34	350	0,428	3
9	170	3,5	354	32	350	0,486	3
10	157	1,5	463	39	400	0,393	3
11	180	5,5	350	34,5	350	0,515	3

8-3. Comparaison des bétons obtenus avec les agrégats des deux carrières (COMETRA et SECA).

Nous avons confectionné deux bétons avec les agrégats de la carrière de la S.E.C.A. afin de les comparer à ceux de la COMETRA.

Nous avons donc fait, un béton le 10^e, correspondant au béton à résistance maximum de la COMETRA (soit le 6^e). Ce béton nous a donné une résistance à la compression à 28 jours de 463 kg/cm², alors que le 6^e béton avait une résistance $R_{28} = 442 \text{ kg/cm}^2$ (voir tableau recapitulatif).

L'autre béton (le 11^e confectionné avec les agrégats de la carrière SECA) correspondait à un béton avec agrégats de la COMETRA à dosage en eau donnant un affaissement au cône moyens et une résistance moyenne (2^e béton).

Le 11^e béton, nous a donné une résistance $R_{28} = 350 \text{ kg/cm}^2$ alors que le 2^e béton qui correspond aux agrégats de la COMETRA, nous a donné une résistance $R_{28} = 347 \text{ kg/cm}^2$. Les deux exemples semblent montrer que les agrégats de S.E.C.A. donnent des bétons légèrement plus résistants.

Cette différence peut être due à plusieurs facteurs. Il faut, à notre avis, écarter l'hypothèse de la dureté des agrégats, car les deux carrières sont constituées de bancs de calcaire de même origine. Cependant, leur degré de propreté est assez différent (voir paragraphe 4. 23), et semble être une cause de cet écart de résistance, ^{notamment} car les résistances en traction. Nous avons vu, en effet, que cette dernière dépendait, pour une grande partie du degré de propreté, qui conditionne l'adhérence du mortier aux agrégats.

Le 10^e béton a une résistance en traction de $R'_{28} = 39 \text{ kg/cm}^2$ alors que le 6^e béton donne $R'_{28} = 34,4 \text{ kg/cm}^2$ de même le 11^e béton donne $R'_{28} = 34,5 \text{ kg/cm}^2$ alors que le 2^e béton a un $R'_{28} = 31 \text{ kg/cm}^2$. D'autre part la différence peut provenir d'un autre facteur qui paraît essentiel: le pourcentage des éléments (15 - 25). En effet si l'on considère les courbes granulométriques des agrégats des deux carrières, on constate que ceux de la S.E.C.A. sont plus redressées.

/...

8 - 1 Variation de l'affaissement au cône en fonction du dosage en eau totale:

Le dosage en eau reste le problème le plus complexe dans la détermination de la composition d'un béton. Il est lié à beaucoup de facteurs dont la connaissance est souvent assez délicate. Ainsi la teneur en eau du sable peut varier dans des conditions appréciables d'un endroit du tas à un autre, de même propreté des granulats joue un rôle non négligeable car ces derniers risquent d'absorber l'eau nécessaire à la prise du mortier.

Aussi est-il nécessaire de procéder après chaque malaxage à un essai de contrôle, le "Slump test", qui renseigne, sur la plasticité du béton obtenu et qui permet ainsi de corriger éventuellement le dosage en eau définitif.

Il faut remarquer que l'essai au cône ou "Slump - test", s'applique bien aux bétons déterminés par la méthode Faury. En effet la détermination de la maniabilité par le "Slump - test" trouve une application courante dans les bétons possédant une ouvrabilité suffisante: béton pour ouvrages en béton armé, pour parois minces, voûtes, etc... Ceci n'est pas vrai pour les bétons très compact, comme les bétons routiers par exemple, où l'affaissement au cône est pratiquement nul.

Les auteurs conseillent les affaissements suivants pour les différentes utilisations ci-dessus:

<u>Utilisation</u>	<u>Affaissement</u>
gros béton :	6 cm.
béton pour planchers:.....	4 cm.
routes et dallages (à la main).....	5 cm.
ouvrages massifs:.....	2 à 8 cm.
béton armé, poteau et parois minces:...	8 à 12 cm.
hourdis:	7,5 cm.
poutres chargées en armatures:.....	12 cm.
dallages (à la machine).....	2 cm.

Nous avons utilisé pour la confection des divers bétons une gamme de volume d'eau par mètre cube allant de 150 litres à 202 litres

Pour un dosage en eau de 150 litres, nous avons un béton très ferme (affaissement au cône: 1,5 cm); cette valeur semble délimiter l'application de la méthode Faury. Au delà de cette valeur nous aurons en effet, un béton, pratiquement d'aucune maniabilité, se prêtant mal aux ouvrages très ferrailés, le béton se mettant très mal en place autour des barres d'acier, donnant en outre de grosses difficultés au coulage et nécessitant des moyens de serrage très puissants.

Ce genre de béton sert pour les ouvrages routiers et tous les bétons en grande masse nécessitant l'emploi d'engins de compactage très importants. Il est conseillé de les étudier par la méthode Vallette qui est une méthode à granulométrie discontinue et qui s'applique bien aux bétons pleins à minimum d'eau.

Nous avons constaté que pour les bétons dosés en eau de 170 litres à 200 litres, l'affaissement au cône varie de 3,5 cm à 8,5 cm; on est ainsi dans la gamme des bétons plastiques, leur maniabilité est suffisante pour justifier leur emploi dans le béton armé, ce béton doit en principe couler entre les armatures en les enrobant au maximum.

Pour les bétons dosés de 170 litre à 180 litres, il n'y a pas de risque de ségrégation entre les agrégats au cours d'une vibration même assez poussée (leur affaissement au cône, laisse prévoir qu'ils appartiennent à la catégorie des bétons peu fermes ou normaux.)

Pour les bétons de 190 litres à 200 litres d'eau par mètre cube, il serait nécessaire de limiter le temps de vibration ^{qui si elle est} trop poussée dans ce cas fait remonter l'eau et les éléments fins à la surface en quantité appréciable, les gros éléments descendant au fond du moule. L'affaissement au cône qui est un essai rapide et facilement réalisable sur un chantier est donc un indice précieux, renseignant sur l'ouvrabilité d'un béton et permettant ainsi de corriger la quantité d'eau de gâchage.

Il nous semble utile d'indiquer ici, qu'un "mouillage" préalable des agrégats (en raison de leur porosité plus ou moins importante) est nécessaire. La quantité d'eau déterminée à priori ne serait pas, ainsi, affectée par la porosité des grains. Cette opération peut servir en même temps à laver les agrégats de façon à augmenter leur degré de propreté.

Comparaison avec les courbes présentée par Monsieur Dreux:

Dans son livre intitulé "Connaissance du béton", M^r. Dreux a présenté 3 courbes donnant l'affaissement au cône en fonction de la quantité d'eau totale en litre /m³ de trois sortes de bétons:

- Béton A dosé en ciment H R I 315/400 à 400 kg/m³.
- Béton B dosé en ciment C P A L 210/325 à 350 kg/m³.
- Béton C dosé en ciment C L K 160/250 à 300 kg/m³.

Non bétons étaient dosés à 350 kg/m³ et 400 kg/m³ en ciment C. P. A. 210/325

Notre courbe donne des affaissements au cône supérieurs à ces bétons pour les mêmes volumes d'eau; les bétons que nous avons, présentent donc, des maniabilités supérieures. Cette différence peut être due à différentes raisons, l'une d'elle qui est primordial, est la forme des grains, surtout, celle des sables. La maniabilité d'un béton est d'autant plus élevée que l'on a des grains roulés, nous avons utilisé, quant à nous du sable roulé, M^r. Dreux, a utilisé lui, du sable concassé: 0 - 5.

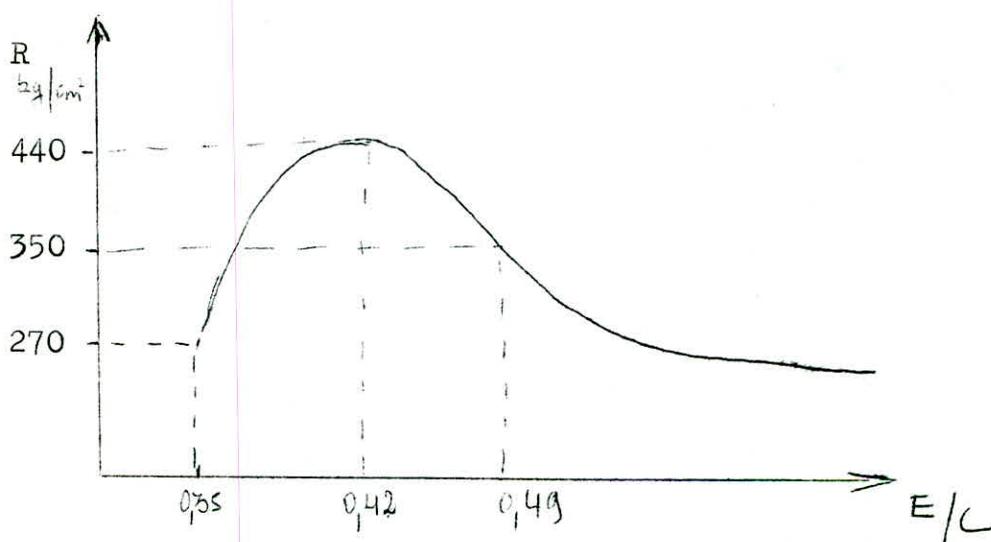
8 - 2 Influence du facteur $\frac{E}{C}$ sur les qualités du béton:

Plusieurs auteurs ont mis en évidence l'importance du facteur $\frac{E}{C}$ ou $\frac{C}{E}$; selon Bolomey la résistance à la compression varierait en fonction de $\frac{C}{E}$ selon cette formule = $R = K \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$.

Où: R = résistance à la compression
 C = poids de ciment
 E = volume d'eau totale de gâchage

Nous avons tracé une courbe représentant R_{28} en fonction du rapore $\frac{E}{C}$. Elle s'élève assez brusquement au départ jusqu'à une valeur optimum, qui est d'environ $\frac{E}{C} = 0,42$, puis redescend en pente plus douce. Ainsi pour $\frac{E}{C}$ variant de 0,420 à 0,350, la résistance à la compression varie de 440 kg/cm² à 270 kg/cm², soit pour un $\frac{\Delta E}{C} = 0,07$ la résistance baisse de: $\Delta R_1 = 170$ kg/cm².

Si l'on considère la seconde partie de la courbe, pour le même $\frac{\Delta E}{C} = 0,07$, soit de 0,42 à 0,49, les résistances varient de 440 kg/cm². Soit un $\Delta R_2 = 90$ kg/cm².



On voit que si l'on augmente $\frac{E}{C}$, à partir de l'optimum donné par la courbe, la chute de résistance est moins dangereuse que si l'on diminue $\frac{E}{C}$. Dans l'exemple considéré = $\Delta R_1 \approx 1,9 \Delta R_2$. L'idéal serait de maintenir le rapport $\frac{\text{Eau}}{\text{ciment}}$ aussi voisin que possible de l'optimum trouvé, afin d'obtenir une résistance en compression maximum. On serait alors amené à faire varier les quantités eau et ciment dans un sens où dans l'autre tout en maintenant $\frac{E}{C}$ fixe. Ceci n'est pas sans présenter quelques inconvénients:

En effet pour un $\frac{E}{C}$ fixe on ne peut augmenter excessivement la quantité de ciment, tout en augmentant la quantité d'eau; il y aurait accroissement du retrait et risque de fissuration d'où danger pour les armatures des ouvrages en béton armé. De même on ne peut trop diminuer la quantité d'eau et la quantité de liant sans porter

atteinte aux résistances mécaniques du béton: l'enrobage des agrégats par le liant ne se faisant pas correctement à cause du manque de ciment et le volume des vides augmentant par manque de pâte de ciment. D'autre part, l'eau et le ciment diminuant tous les deux, il n'y aurait pas assez de pâte qui joue le rôle de lubrifiant et ceci affecterait sensiblement la maniabilité du béton. On voit donc que la résistance variant en fonction de $\frac{E}{C}$, il serait conseillé de choisir judicieusement les quantités d'eau et de ciment de façon à avoir un béton à assez haute résistance avec une maniabilité suffisante.

Ce problème nous paraît assez aigu pour les bétons fermes: au Laboratoire nous avons pu, malgré la faible maniabilité de certains bétons, (exemple. 1^{er} béton, Le 5^{ème} ou le 8^{ème} dosés respectivement à 157, 157 et 150 litres, ayant des affaissements au cône de 1 cm, 3 cm et 1,5 cm), réaliser une vibration assez poussée, pour obtenir un béton aussi compact que possible. Il nous semble à notre avis que ces conditions ne peuvent pas toujours être réalisées sur un petit chantier où les moyens de vibration sont assez réduits et où une quantité d'eau déterminée au laboratoire donnerait sur un chantier un béton peu compact avec beaucoup de cavités.

En conséquence la quantité d'eau à déterminer sera fonction des moyens de mise en place dont dispose le chantier.

On dit souvent que pour accroître les qualités du béton on aurait intérêt à augmenter la quantité de ciment et à diminuer le volume d'eau de gâchage, nous dirons, en guise de conclusion, que ceci n'est vrai que dans une certaine mesure, car le rapport $\frac{E}{C}$ tend vers une valeur optimum et une trop grande diminution d'eau risquerait de compromettre gravement les qualités du béton.

NOTA: Pour le tracé complet de la courbe nous avons confectionné un béton supplémentaire dosé à 150 l/m³ en eau et à 400 kg/m³ de ciment, soit un $\frac{E}{C} = 0,375$. L'écrasement de trois cubes en compression à 28 jours a donné une résistance moyenne de 370 kg/cm².

Comparaison avec des courbes déjà déterminées:

Monsieur Duriez a présenté dans son ouvrage intitulé "Nouveau Traité des matériaux de construction" une série de courbes de différents auteurs représentant la résistance à la compression en fonction de $\frac{E}{C}$ pour différentes sortes de forme d'éprouvettes et différentes sortes de ciment. La courbe que nous avons présentée se situe entre deux courbes de Bolomey, l'une (avec des valeurs inférieures) tracée pour des éprouvettes cubiques, de béton de Portland C.P.A. à 28 jours d'âges; ce qui est un cas analogue nôtre et l'autre (avec des valeurs supérieures) correspondant à un béton de Portland super, à 28 jours, d'âge, les éprouvettes étant cubiques (voir planche N° 2; Fin de Chapitre), d'autre part, le même auteur a présenté dans le même ouvrage, un graphique établi par "Association Américaine du ciment Portland",

représentant les pourcentages de la résistance maximum en compression en fonction de la proportion du pourcent d'eau de gâchage par rapport à la quantité réalisant le béton maximum. Les conclusions qui en furent tiré sont les suivantes :

Un béton gâché avec 10% d'eau en moins que la valeur optimum perd environ 25% de sa résistance.

Une insuffisance de 20% fait perdre près de 60% de cette résistance.

Un excès de 20% fait perdre de 25 à 30% de résistance.

Un excès de 30% fait perdre 50% de résistance.

Enfin un excès de 100% fait perdre 80% de la résistance

Nous avons établit, à titre comparatif une courbe donnant le pourcent de la résistance maximum en fonction du pourcent du rapport $\frac{E}{C}$ par rapport au rapport réalisant le béton maximum.

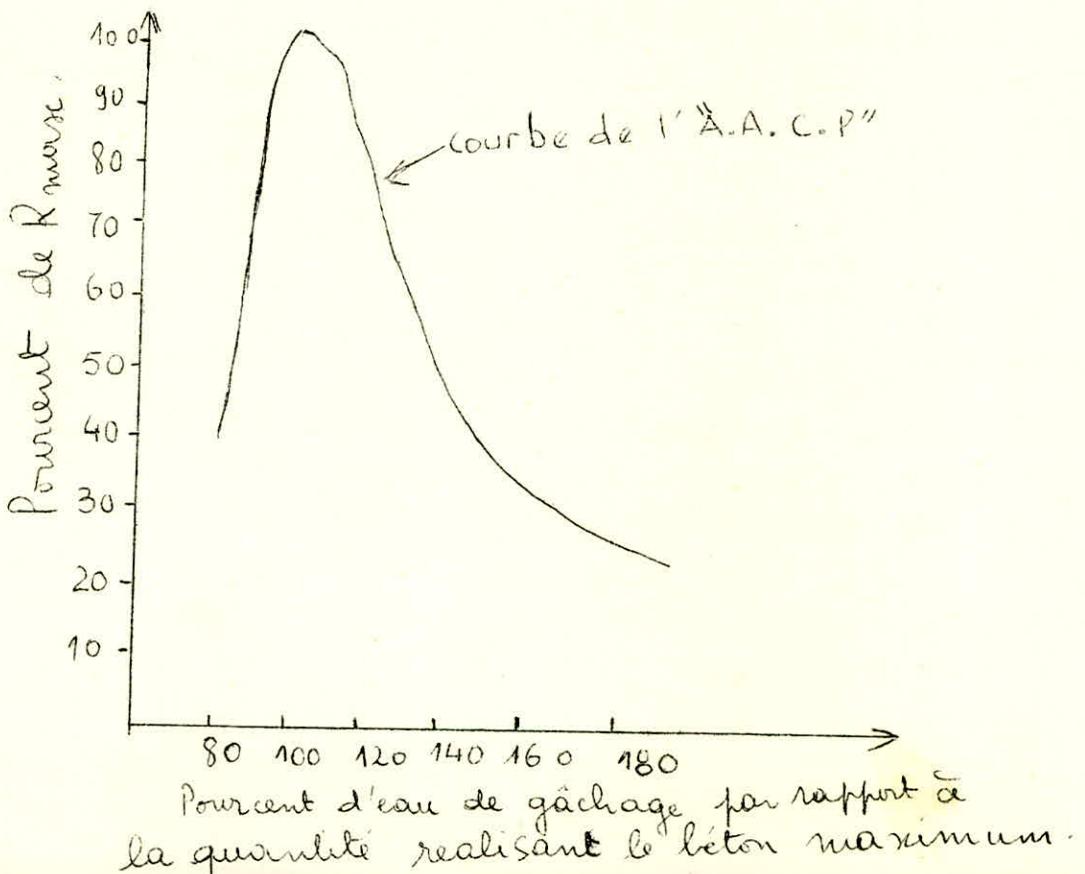
L'allure de cette courbe est sensiblement identique à celle présentée par l'"A.A.C.P." dans son ensemble; cependant notre courbe s'infléchit pour des valeurs (en pourcent de R max) beaucoup plus petites. De cette courbe nous avons tiré les conclusions suivantes:

Un béton gâché avec 10% en moins d'eau que la valeur maximale perd 16% de sa résistance.

Un excès de 20% fait chuter la résistance de 20% .

Un exc. de 30% fait perdre 25% de la résistance. Si l'on compare ces valeurs à ceux donnés par l'"A.A.C.P." (voici-dessus), on voit que l'ex. d'eau dans notre cas semble moins préjudiciable que pour leurs bétons.

NOTE: Sur la planche 3, nous n'avons représenté que la partie supérieure de la courbe de l'"A.A.C.P.", son allure générale et celle ci:



Il en résulte dans la détermination des proportions des éléments par la méthode Faury, une augmentation des plus gros éléments. Si l'on considère le chapitre 7, on peut en déduire le tableau suivant:

ORIGINE	N° du béton	dosage en eau en l	dosage en ciment en kg	% de 15-25	$R_{28}/\text{kg}/\text{cm}^2$	R'_{28} kg/cm^2
COMETRA	2 ^e	180	350	34%	347	31
S.E.C.A	11 ^e	180	350	39%	350	34,5
COMETRA	6 ^e	157	400	34%	442	34,4
S.E.C.A	10 ^e	157	400	43%	463	39

On voit donc que la granulométrie des agrégats est un facteur primordial pour l'amélioration des résistances d'un béton.

8 - 4 Durcissement du béton en fonction du temps.

Dans la plupart, des cas, il est impossible, sur chantier de déterminer la résistance en compression à 21 ou 28 jours, par manque de temps. L'intérêt est de déterminer, à partir d'un essai fait à 7 jours seulement, la résistance à 15, 21 et 28 jours.

Nous avons, à cet effet, établi plusieurs courbes donnant le rapport $\frac{R_j}{R_7}$ en fonction de l'âge du béton pour les différents volumes d'eau soit: 150 litres, 170 litres, 180 litres, 190 litres et 202 litres. (voir planches du N° 9 au N° 13)

Leur allure générale montre une augmentation assez sensible de la résistance à la compression de 7 à 21 jours, puis la courbe s'infléchit, pour tendre vers une valeur maximum.

Nous remarquons, en outre, que d'une manière générale, les valeurs de R_j/R_7 sont plus faibles pour les bétons à consistance fermes ou très fermes (bétons dosés de 150 à 157 on même 170 litres). Ceci traduit que pour un béton sec, la valeur maximale de la résistance est plus rapidement atteinte que pour un béton mou. Les points constituant ces courbes, représentés sur une même échelle, nous ont permis de délimiter un fuseau de dispersion, qui paraît un peu plus large que celui déterminé par Monsieur Dreux, dans son ouvrage "Connaissance du Béton" (Voir planche 8). Cet écart sensiblement égal de part et d'autre entre les limites des deux fuseaux, aussi la médiane du fuseau de dispersion de nos points correspond à celle déterminée par Monsieur Dreux.

La formule proposée par ce dernier semble rester valable, soit:

$$\frac{R_j}{R_7} = 2,92 - \frac{1,77}{\sqrt{\log j}}$$

Si l'on considère cette courbe moyenne, on voit que

$$\frac{R_{14}}{R_7} = 1,27; \quad \frac{R_{21}}{R_7} = 1,38 \text{ et } \frac{R_{28}}{R_7} = 1,45.$$

$$\text{Aussi: } \frac{R_7}{R_{28}} = 0,69; \quad \frac{R_{14}}{R_{28}} = 0,88; \quad \frac{R_{21}}{R_{28}} = 0,95$$

Donc à 7 jours, le béton a déjà atteint environ 70% de sa résistance à 28 jours, 88% à 14 jours et 95% à 21 jours.

Cependant, comme nous l'avons indiqué ci-dessus ces valeurs sont à minorer pour les bétons mous et à majorer pour les béton secs.

Ainsi si l'on considère les deux courbes extrêmes du fuseau; pour les bétons secs on peut espérer avoir, à 7 jours, 78 % de la résistance en compression R_{28} , 90% à 14 jours et 95% à 21 jours.

Pour les bétons mous, on a à 7 jours: 62% de R_{28} , 86% à 14 jours et 94% à 21 jours.

Ces chiffres montrent qu'à 7 jours, les bétons secs atteignent beaucoup plus rapidement que les bétons mous leurs résistances à 28 jours. Cette différence, disparaît peu à peu après 7 jours et on peut dire qu'à partir de 14 jours, la résistance varie en fonction du temps de la même façon pour un béton sec que pour un béton mou.

A propos de cette différence, Monsieur Duriez explique dans son ouvrage: "Nouveau Traité des matériaux de construction" p. 1172 que: "dans un béton minimum d'eau, la fin de prise du ciment est atteinte beaucoup plus rapidement que dans un béton plus mouillé".

8 - 5 Variation de la contrainte en traction en fonction de la résistance en compression:

Monsieur Dreux a fait une intéressante étude sur le rapport entre les résistances en compression et en traction (voir: "connaissance du Béton" par G. Dreux et Annales de l'I T B T B de février 1965) Après avoir rappelé que ce rapport est en général égale à 13 en moyenne il propose la formule suivante:

$$\frac{R}{R'} = 9 + 1,3 \frac{R}{100}$$

Nous avons à titre comparatif, fait deux graphiques semblable à ceux qu'il a présenté:

- Contrainte en traction R'_{28} en fonction de la contrainte en compression $R_{28} =$ (planche 7),
- $\frac{R_{28}}{R'_{28}}$ en fonction de R_{28} . (planche 6).

Le premier graphique nous a donné une droite qui est quelque peu décalée par rapport à la courbe donné par Dreux, (voir planche 7 et par rapport au deux droites construites d'après le tableau donné par le B A 1960 en 1,264.

Le second graphique présente, à peu près la même dispersion que celui présenté par Dreux, nous avons tracé une droite moyenne; cependant pour couvrir le fuseau de dispersion dans sa majorité (80% des points) il faut tenir compte d'un facteur correctif de $\pm 1,4$ sur la valeur moyenne de $\frac{R_{28}}{R'_{28}}$ (Ce terme correctif est de $\pm 1,5$ chez Dreux).

La formule à proposer dans notre cas serait la suivante:

$$\frac{R_{28}}{R'_{28}} = 5,83 + 1,75 \frac{R_{28}}{100}$$

Cette équation est déduite de la droite moyenne expérimentale donnant $\frac{R'_{28}}{R_{28}}$ en fonction de R et déterminée comme nous l'avons indiqué ci-dessus.

Nous avons donné une formule en R_{28} et R'_{28} , car le nombre des éprouvettes dont nous disposions, ne nous a pas permis de faire des essais à des durées plus longues; cependant nous pensons que ces résistances sont assez caractéristiques car elles représentent un pourcentage important des résistances maximales. Il est à remarquer que le graphique représentant R'_{28} en fonction de R_{28} donne une droite moyenne permettant de déduire un rapport $\frac{R_{28}}{R'_{28}}$ égal à 15 en moyenne.

8 - 6 Variation des résistances en fonction de l'affaissement au cône:

L'affaissement au cône dont nous avons parlé au chapitre 8 - 2, est un essai simple mais fournissant des indications intéressantes non seulement sur les dosages en eau des bétons mais aussi sur leurs résistances mécaniques.

Les courbes que nous avons établies, donnant la résistance en compression et la résistance en traction en fonction de l'affaissement au cône, (voir planche 4,5) montrent une décroissance de ces résistances avec l'augmentation de l'affaissement au cône.

Cette chute de résistance paraît plus accentuée pour les résistances en compression que pour les résistances en traction. En effet pour un affaissement variant de 1 à 8 cm, la résistance en compression baisse de 33% en moyenne. Pour la même variation d'affaissement la résistance en traction ne chute que de 16% environ.

Il est à remarquer que si la compression dépend surtout, en eau, de la dureté des agrégats, de la nature du liant, la résistance à la traction, elle, dépend surtout de l'adhérence du mortier aux agrégats, donc de la propreté de ces derniers. M. Drexler rapporte à cet effet que: "l'amélioration des qualités du béton permet d'augmenter d'une manière importante, les résistances en compression mais il est plus difficile d'augmenter celle en traction (dans les mêmes proportions tout au moins)". Nous avons vu en 4.23 que les agrégats utilisés avaient un degré de propreté assez satisfaisant, aussi les valeurs des résistances en traction sont elles assez regroupées et assez élevées.

Nos résistances en traction varient en effet de 28 à 35 kg/cm² pour des dosages en ciment de 350 kg/m³ et 400 kg/m³. Alors que le B A 1960, présente une valeur $R'_{28} = 24$ kg/cm² pour un béton à rôle et dosé à 400 kg/m³ en ciment.

8 - 7 Revibration du béton:

Monsieur Duriez, traite dans son ouvrage: "Nouveau traité des matériaux de construction", le problème de la revibration du béton qui consiste à vibrer le béton frais une seconde fois après un intervalle de quelques minutes. On en tire cette conclusion:

Un béton largement mouillé, vibré une seconde fois présente de meilleures qualités qu'un béton vibré une seule fois, cependant pour les bétons assez secs la revibration fait chuter la résistance de 30 à 40%.

Nous avons, à cet effet, revibré le béton dosé à 202 litres/m³ l'examen de ses résistances en compression (tableau du 7^e béton) fait ressortir des valeurs plus élevées que pour des bétons dosés à 190 l/m³ nous avons en effet 327 kg/cm² pour le 7^e béton, pour 300 kg/cm² pour le 3^e béton (dosé à 190 litres sans revibration).

8 - 8 Importance du nombre de constituants:

Nous avons confectionné deux bétons avec trois constituants seulement (en dehors de l'eau et le ciment), au lieu de quatre, comme les autres (3 - 8, 5 - 15, 15 - 25 et le sable). Ainsi, le 4^{ème} béton et le 5^e béton étaient, constitués des graviers 15 - 25, 5 - 15 et du sable de mer, si nous les comparons à deux bétons (le 2^e et le 6^e) dosés en volume d'eau et en même volume de ciment (soit respectivement 180 l. et 157 l. et 350 et 400 kg/m³), deux conclusions semblent se dégager:

— Les bétons à quatre granulats sont plus résistants que ^{les} béton à trois granulats. (Voir tableau récapitulatif fin - Chap. 7) il y a augmentation de 8% environ de la résistance.

— Les premiers cités sont plus maniables que les bétons à trois granulats.

Les premier phénomène peut s'expliquer par une plus grande compacité du mélange obtenu dans les bétons à quatre granulats, en effet le gravier 3 - 8 vient combler les vides éventuelles existant entre le sable de mer et le gravier 5 - 15. Le second cas, semble résulter, de l'augmentation des éléments fins et roulés (sable et ciment), dans le cas d'un béton à 3 agrégats. On sait, en effet que l'augmentation, des éléments fins et roulés améliore considérablement la maniabilité du béton frais.

Si l'on considère le chapitre 7 on a en effet:

eau: 1/l³ ciment

au cône

N° du béton	Nombre des constituants	Dosage en eau: 1/m ³	Dosage en ciment	% de ciment + sable	affais. au cône (cm)	Résistance en kg / cm ²
2 ^e béton	4	180	350	36%	5	347
4 ^e béton	3	180	350	46%	6	320
6 ^e béton	4	157	400	34%	1,5	442
5 ^e béton	3	157	400	42%	3	410

9. CONCLUSION :

Les interprétations que nous venons de faire dans le chapitre précédent laissent prévoir que les bétons que nous avons confectionné obéissent en grande partie aux lois déjà déterminées par certains auteurs. Nous ferons cependant une restriction en ce qui concerne l'excès de l'eau de gâchage qui paraît moins préjudiciable dans notre cas. La précision d'une pareille étude est conditionnée en grande partie par le soin apporté aux modes d'essais. Aussi le problème de la dispersion des résultats est-il un problème assez important. Nous avons essayé de l'éliminer au maximum en veillant à l'entretien permanent des moules, à la précision des dosages, du temps de malaxage, au centrage des cubes sous la presse, etc..

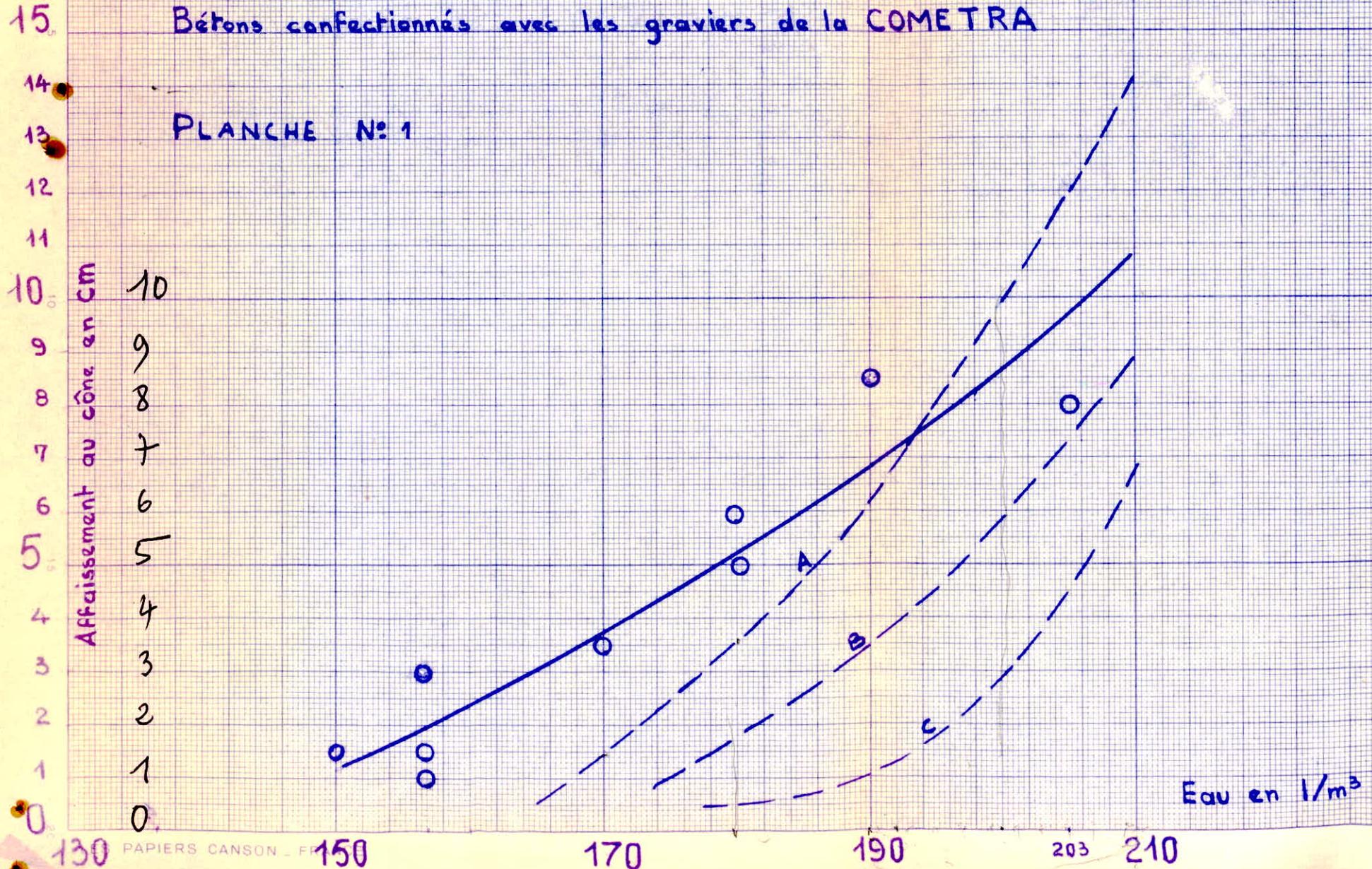
Cependant, une imprécision n'a pu être évitée, c'est la vitesse de chargement, bien que ce fut le même manipulateur qui procédait à l'écrasement des éprouvettes, la vitesse de chargement ne pouvait être rigoureusement constante d'un essai à un autre en raison de l'imperfection de la presse. A notre avis, une presse munie d'un cadencemètre réduirait sensiblement les imprécisions.

Il nous paraît utile, de faire une remarque sur les agrégats livrés. Ceux-ci ont une granulométrie très régulière (voir § 4.3.) et un degré de propreté satisfaisant, tout au moins pour les graviers. Le sable de la carrière COMETRA, en effet, paraît ne pas convenir aux bétons courants, en raison de son faible équivalent sable (voir § 4.24). A notre avis, un mélange de ce sable avec le sable de mer qui a un degré de propreté excellent (voir § 4.24) donnerait des bétons à bonne résistance.

VOLUME TOTAL EN EAU EN l/m^3 EN FONCTION DE L'AFFAISSEMENT AU CONE

Bétons confectionnés avec les graviers de la COMETRA

PLANCHE N° 1

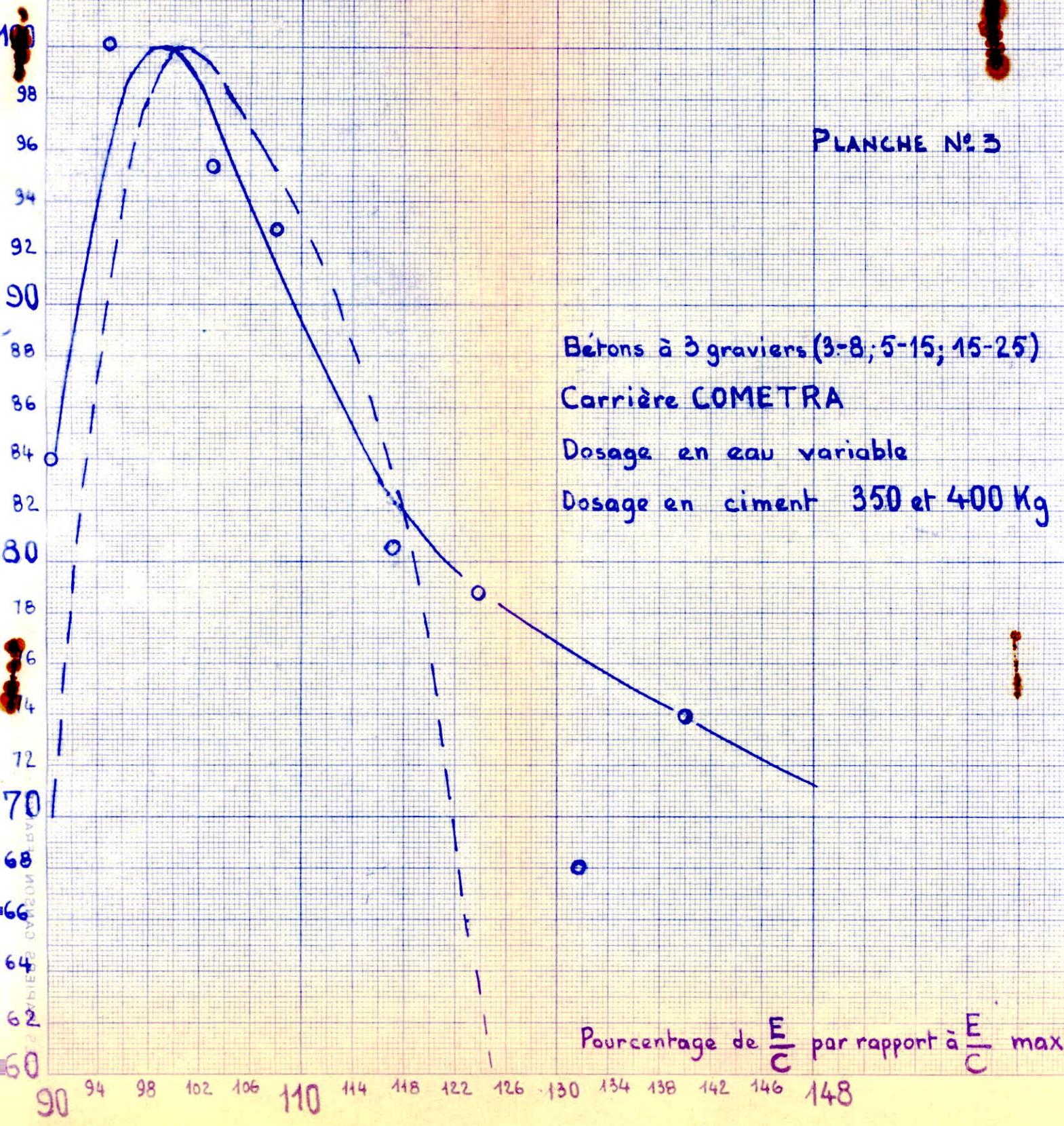


VARIATION DU POURCENTAGE R_{28} PAR RAPPORT A R_{max} . EN FONCTION DU POURCENTAGE DE $\frac{E}{C}$ PAR RAPPORT A $\frac{E}{C}_{max}$

Pourcent de R_{max} .

PLANCHE N° 3

Bétons à 3 graviers (3-8; 5-15; 15-25)
 Carrière COMETRA
 Dosage en eau variable
 Dosage en ciment 350 et 400 Kg



Pourcentage de $\frac{E}{C}$ par rapport à $\frac{E}{C}_{max}$

RESISTANCE EN COMPRESSION EN FONCTION DU RAPPORT E/C

R₂₈ en Kg/cm³

Graviers 3-8; 5-15; 15-25

Carriere COMETRA

R₂₈ Kg/cm²

500

450

400

350

300

Bolomey (Portland Super)

Bolomey (C.P.A)

PLANCHE N°2

Valeur E/C

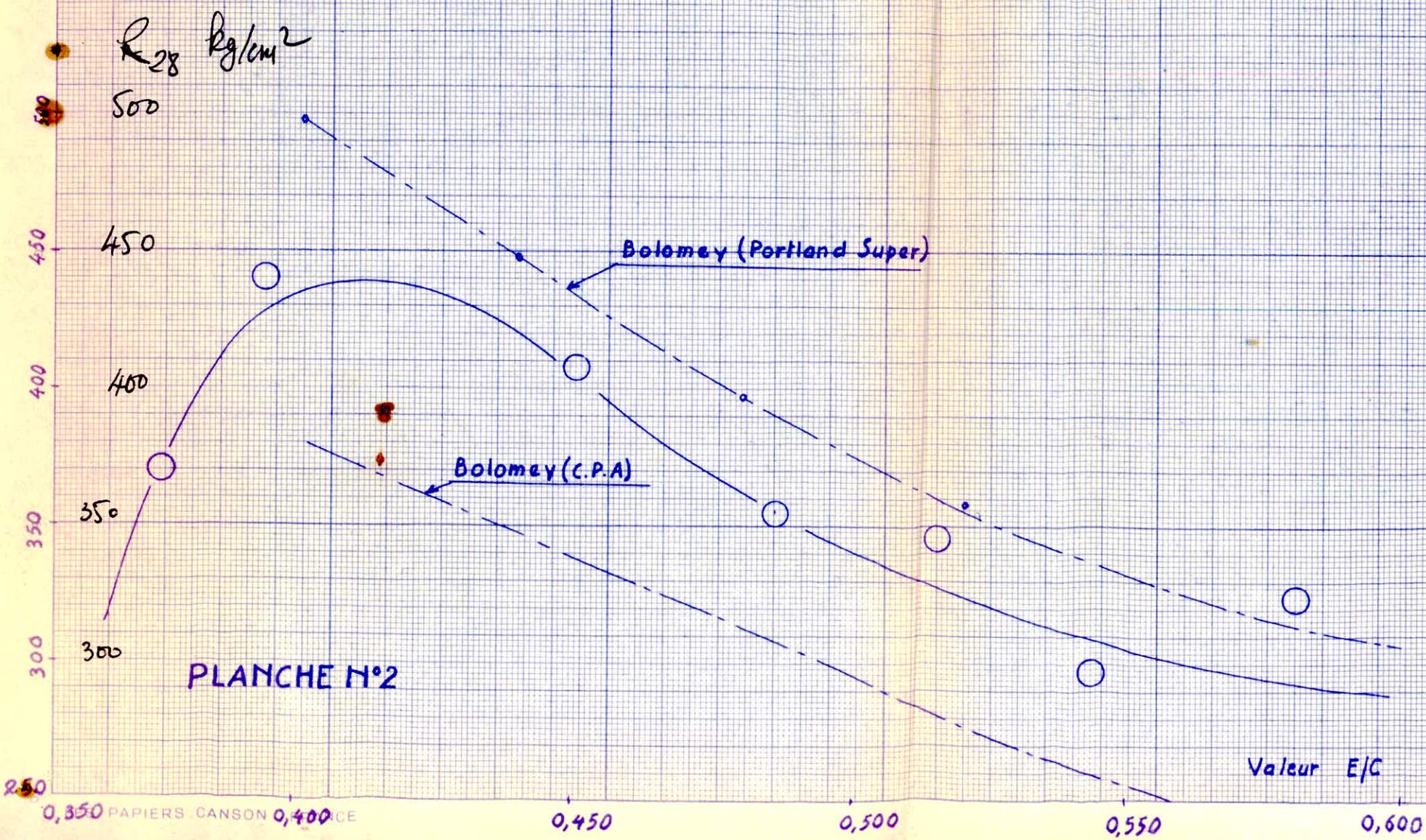
0,350 PAPIERS. CANSON 0,400

0,450

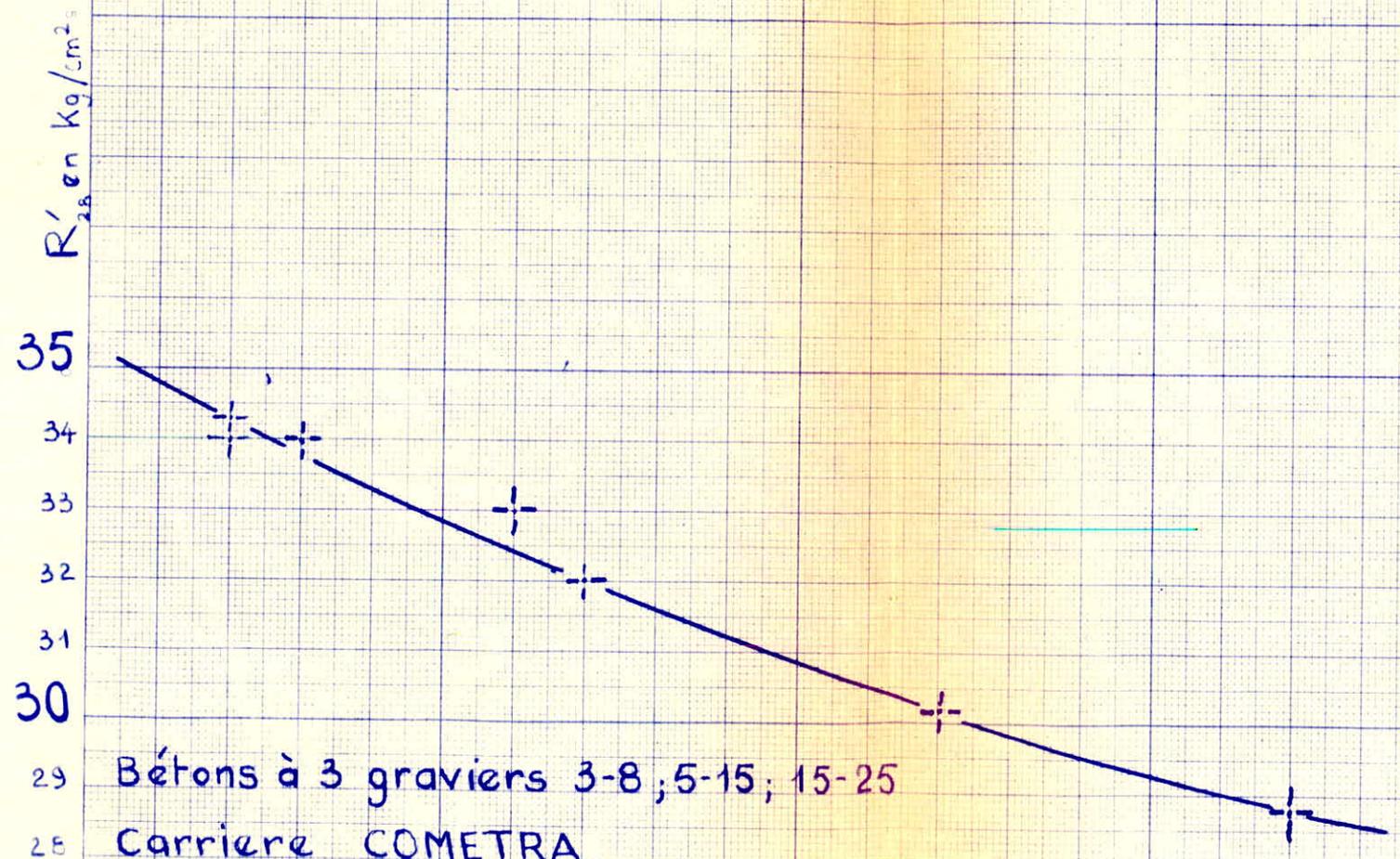
0,500

0,550

0,600



VARIATION DE LA RESISTANCE EN TRACTION EN FONCTION DE L'AFFAISSEMENT AU CONE



29 Bétons à 3 graviers 3-8 ; 5-15 ; 15-25
28 Carrière COMETRA
27 Dosage en eau variable
26 Dosage en ciment : 350 et 400 Kg

PLANCHE N°5

RESISTANCE EN COMPRESSION EN FONCTION
DE L'AFFAISSEMENT AU CONE

R₂₈ en Kg/cm²

500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200

1 2 3 4 5 6 7 8

Affaissement en cm.

Bétons à 3 graviers (3-8, 5-15, 15-25)
Carrière COMETRA
Dosage en eau variable
Dosage en ciment : 350 et 400 Kg

PLANCHE N°4

10
12
14

VARIATION de $\frac{R_{28}}{R'_{28}}$ en FONCTION de R_{28}

PLANCHE N° 6

R_{28} en Kg/cm^2

$\frac{R_{28}}{R'_{28}}$

Droite proposée par DREUX

$$\left(\frac{R}{R'} = 9 + 1,3 \frac{R}{100}\right)$$

Droite moyennement trouvée à l'ENPA

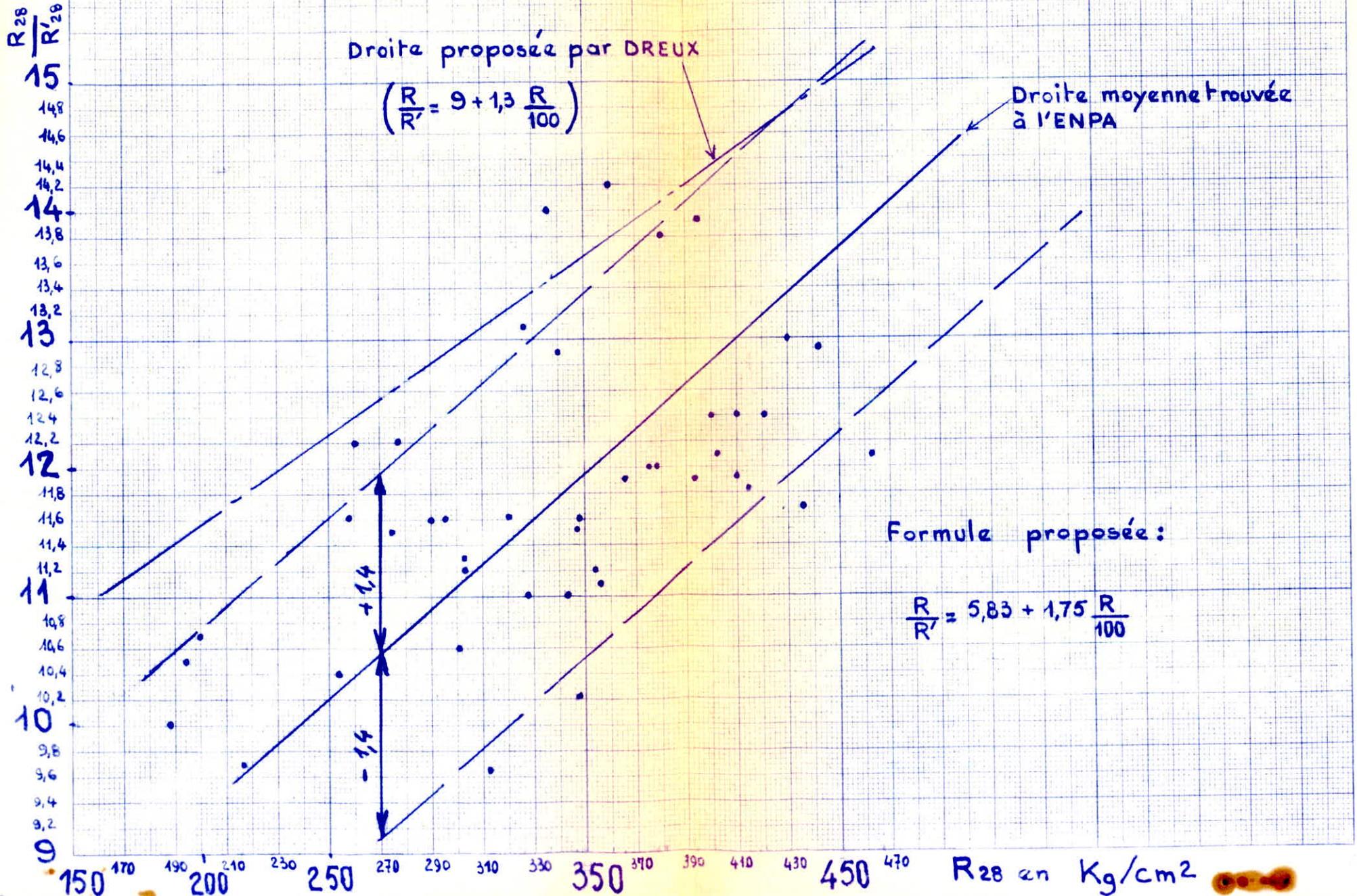
Formule proposée :

$$\frac{R}{R'} = 5,83 + 1,75 \frac{R}{100}$$

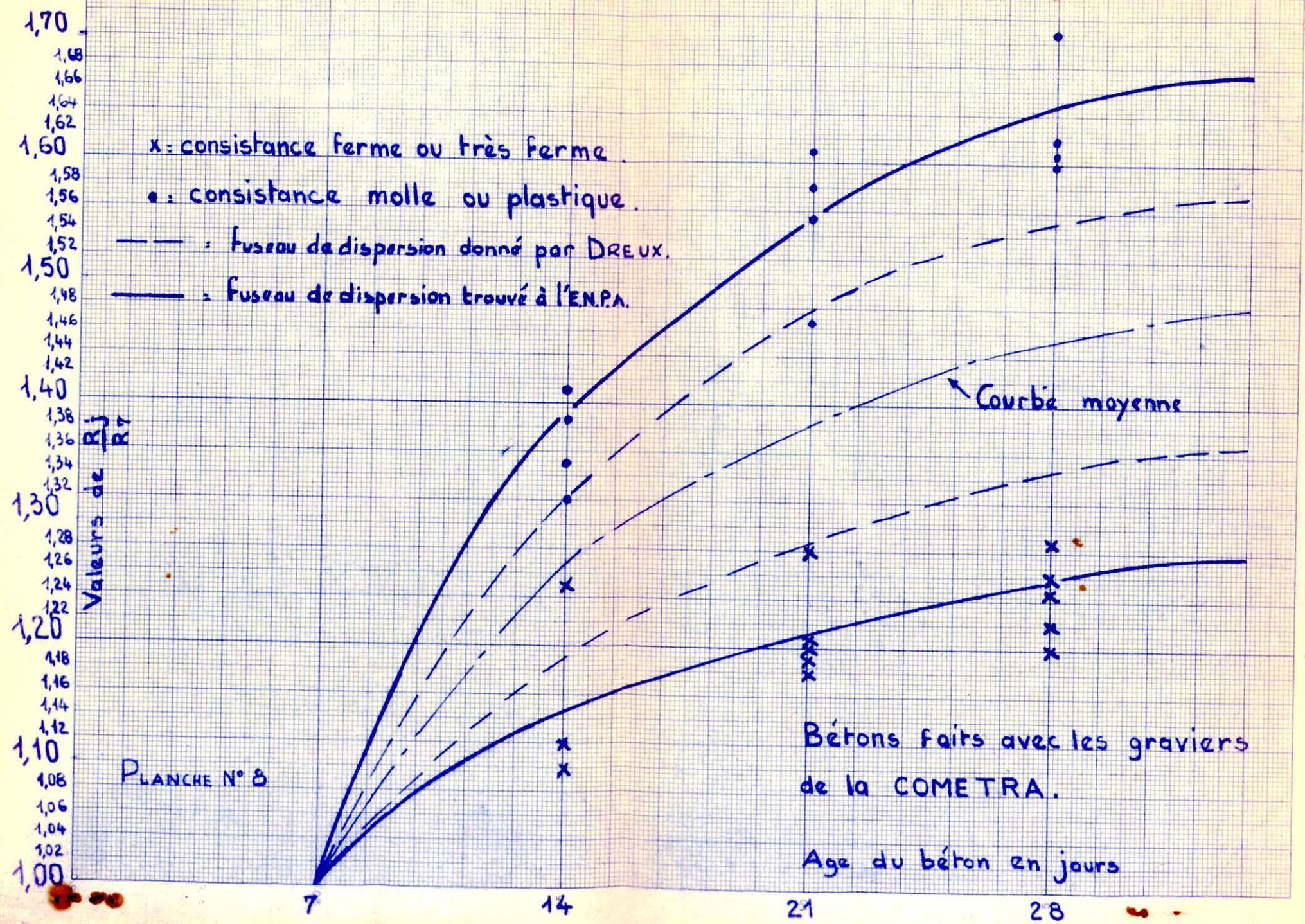
+ 1,4

- 1,4

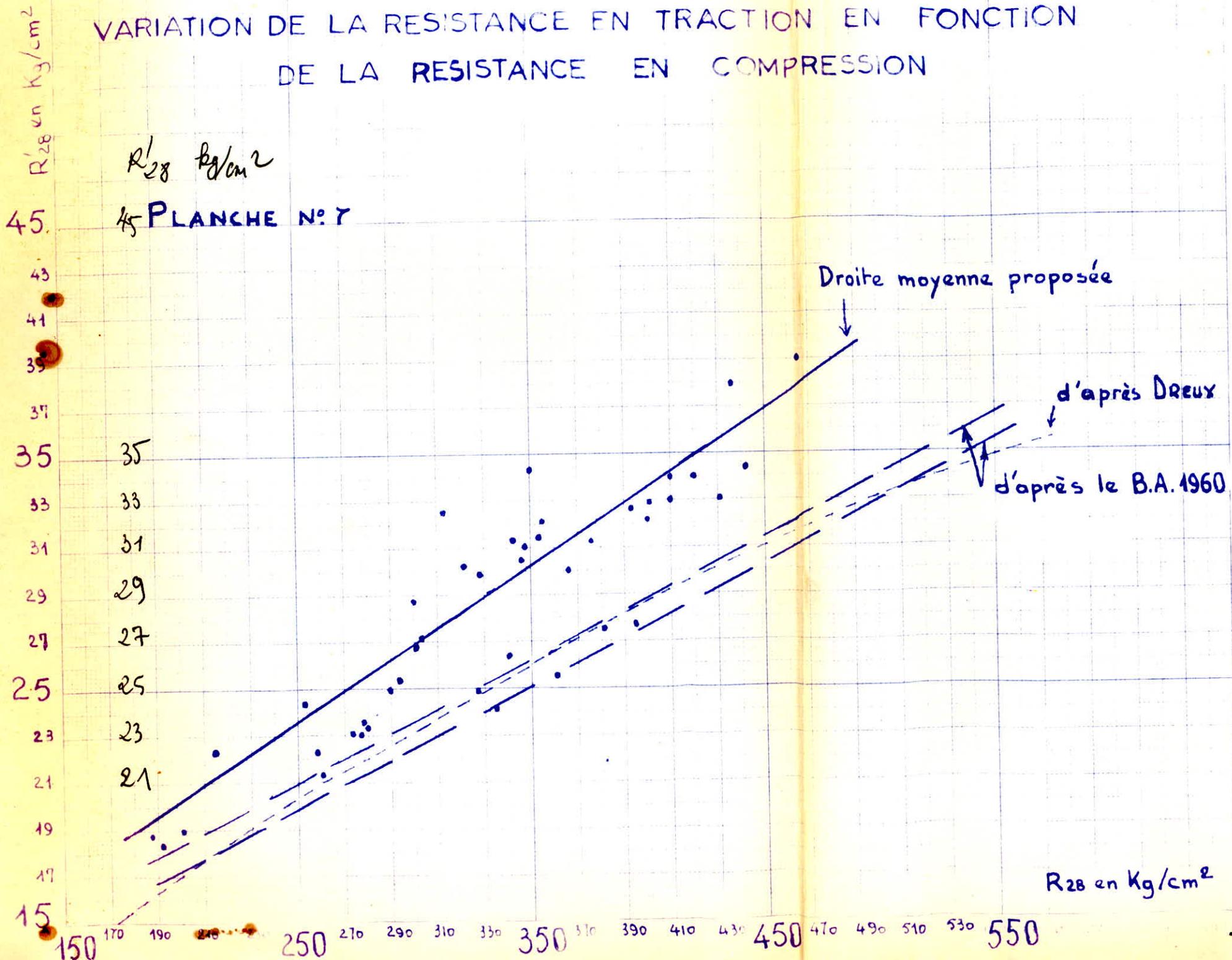
R_{28} en Kg/cm^2



VARIATION de $\frac{R_j}{R_7}$ en FONCTION de J



VARIATION DE LA RESISTANCE EN TRACTION EN FONCTION DE LA RESISTANCE EN COMPRESSION



Age du beton en jours

10 21

28

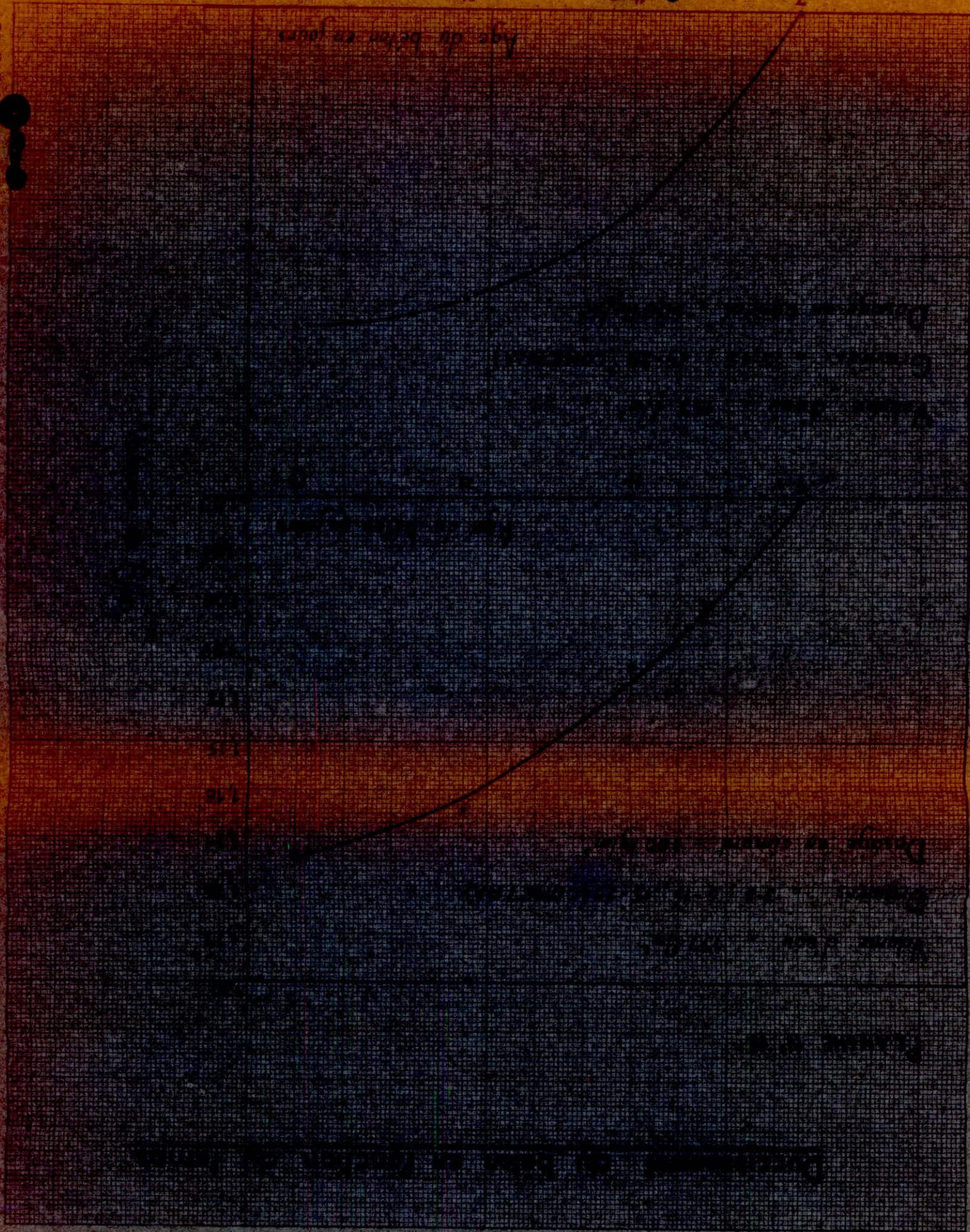
7

1,00
1,03
1,06
1,09
1,12
1,15
1,18
1,20
1,24
1,27
1,30

15

20

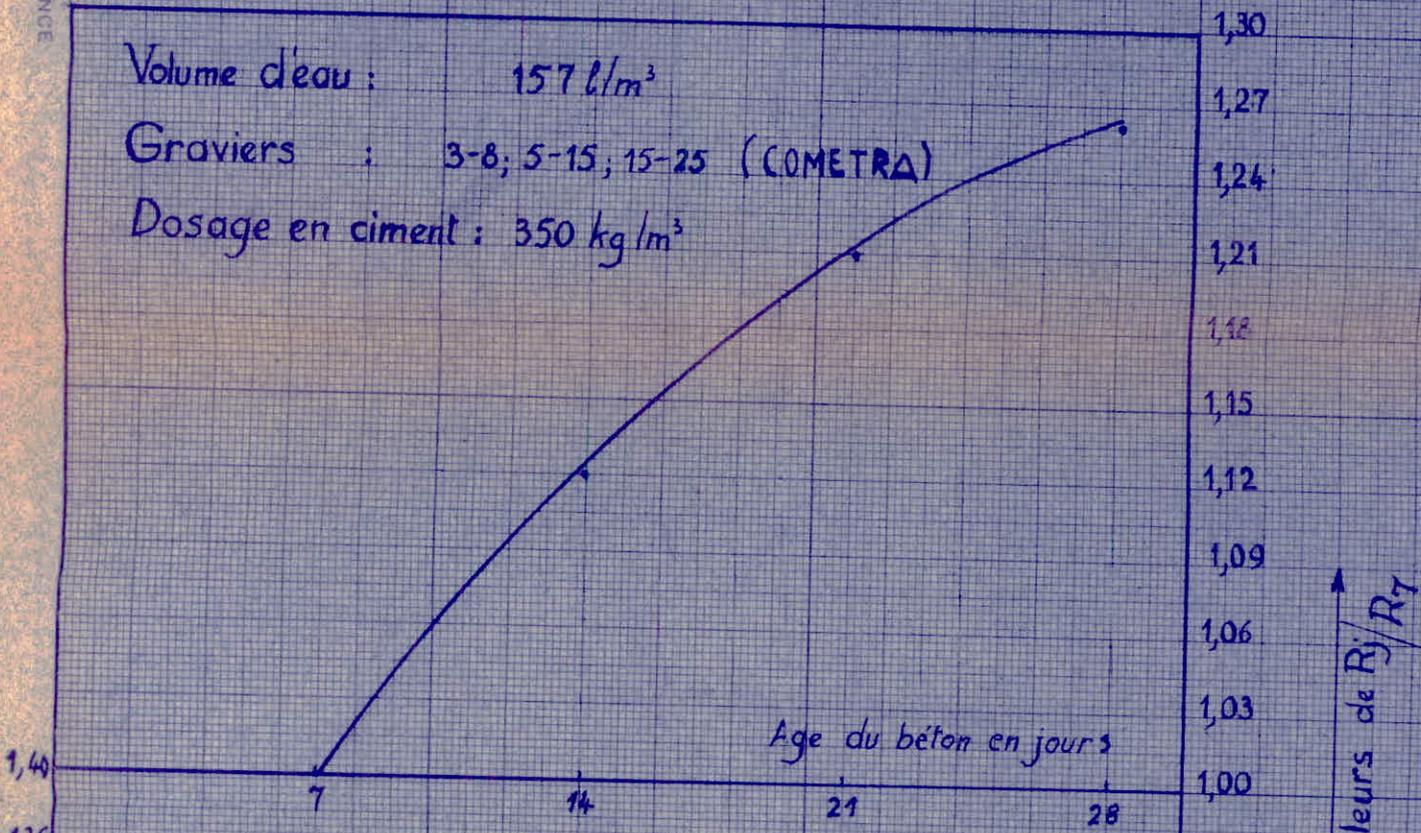
25



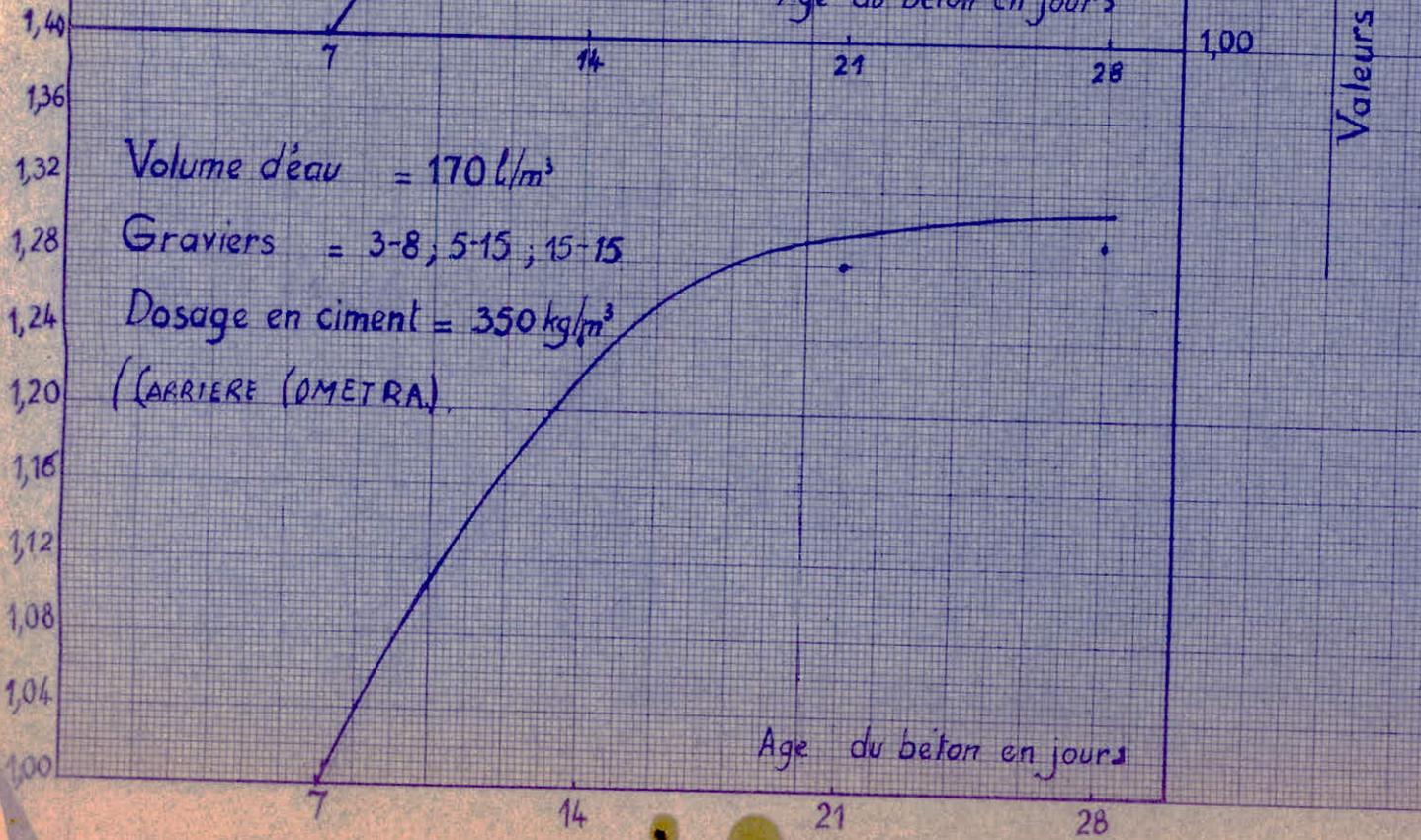
Durcissement du béton en fonction du temps.

PLANCHE N°12

Volume d'eau : 157 l/m^3
 Gravier : 3-8; 5-15; 15-25 (COMETRA)
 Dosage en ciment : 350 kg/m^3



Volume d'eau = 170 l/m^3
 Gravier = 3-8; 5-15; 15-15
 Dosage en ciment = 350 kg/m^3
 (ARRIERE (OMETRA))



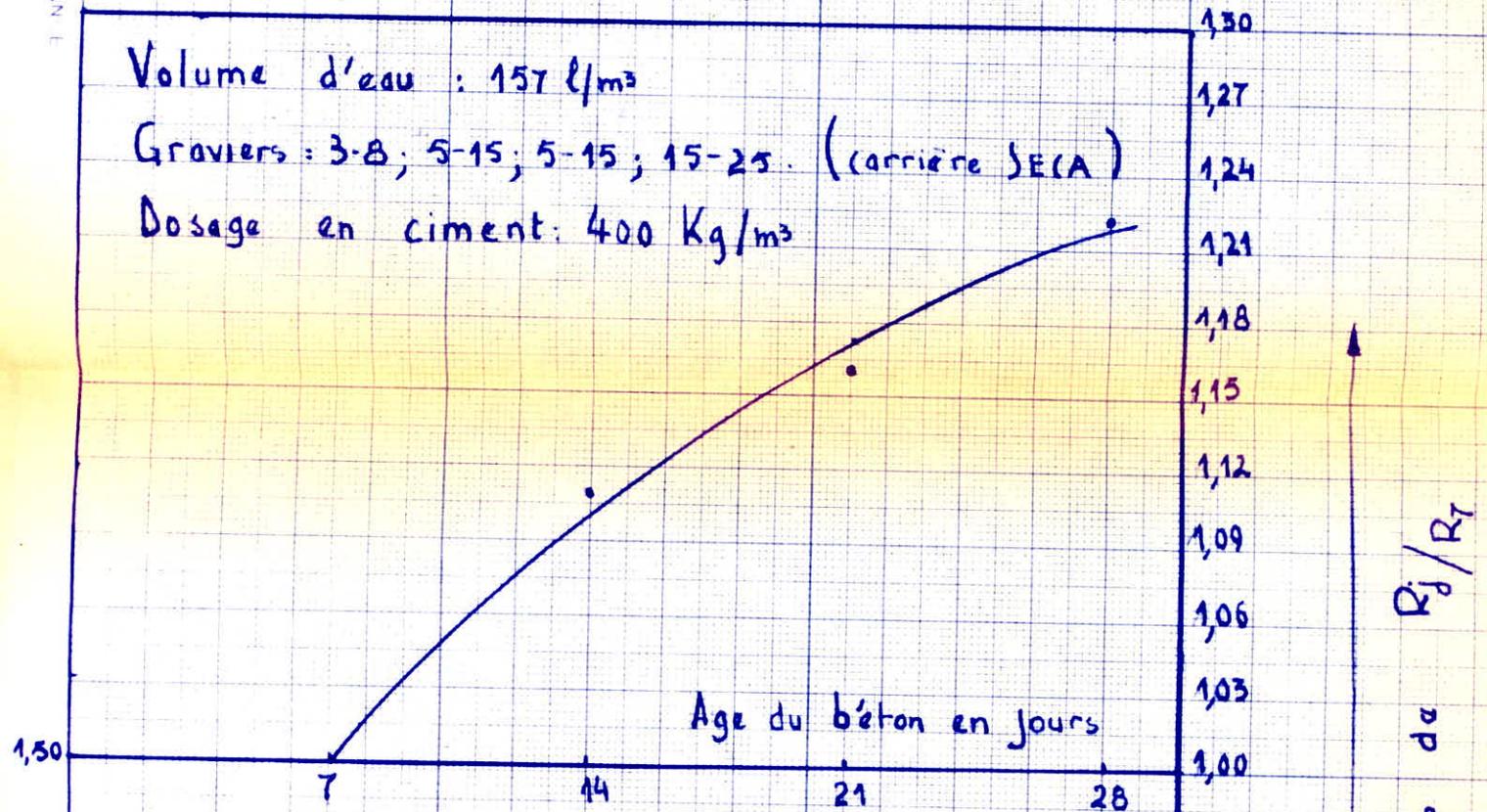
Durcissement du béton en fonction du temps.

PLANCHE N° 13

Volume d'eau : 157 l/m³

Graviers : 3-8 ; 5-15 ; 5-15 ; 15-25. (carrière SECA)

Dosage en ciment : 400 Kg/m³

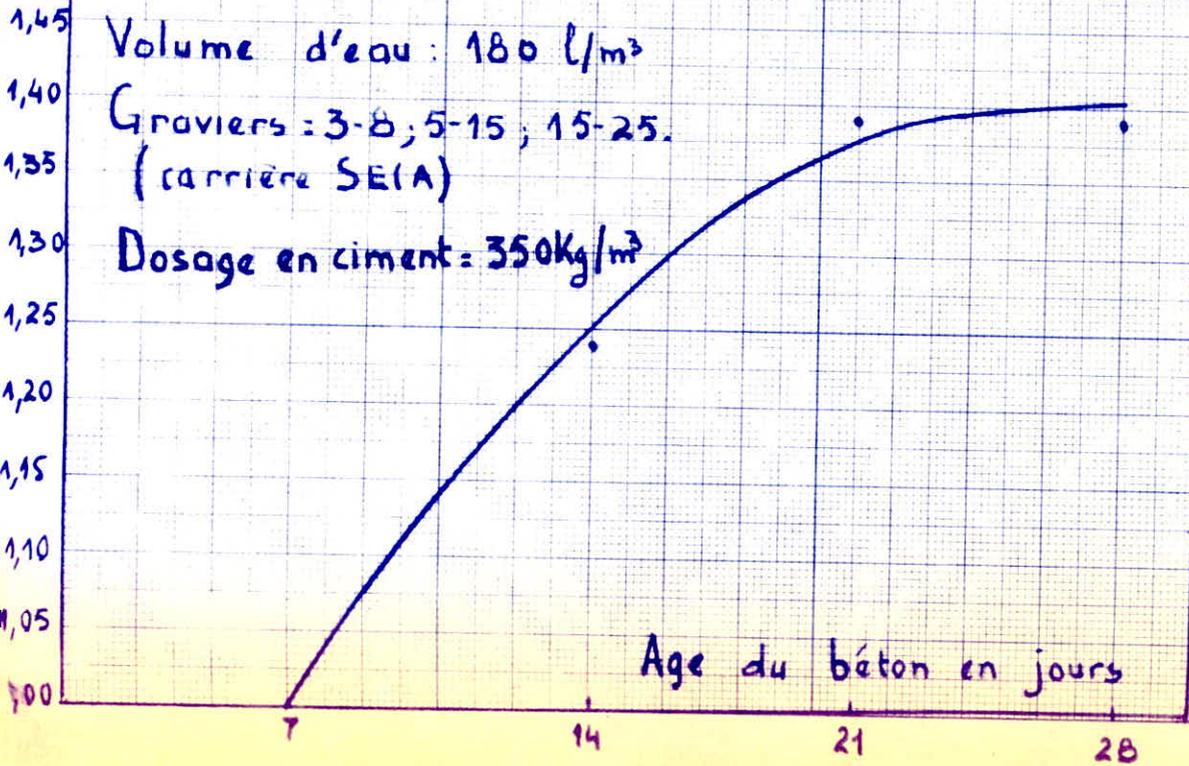


↑
Valeurs de R_j/R_7

Volume d'eau : 180 l/m³

Graviers : 3-8 ; 5-15 ; 15-25.
(carrière SECA)

Dosage en ciment : 350 Kg/m³



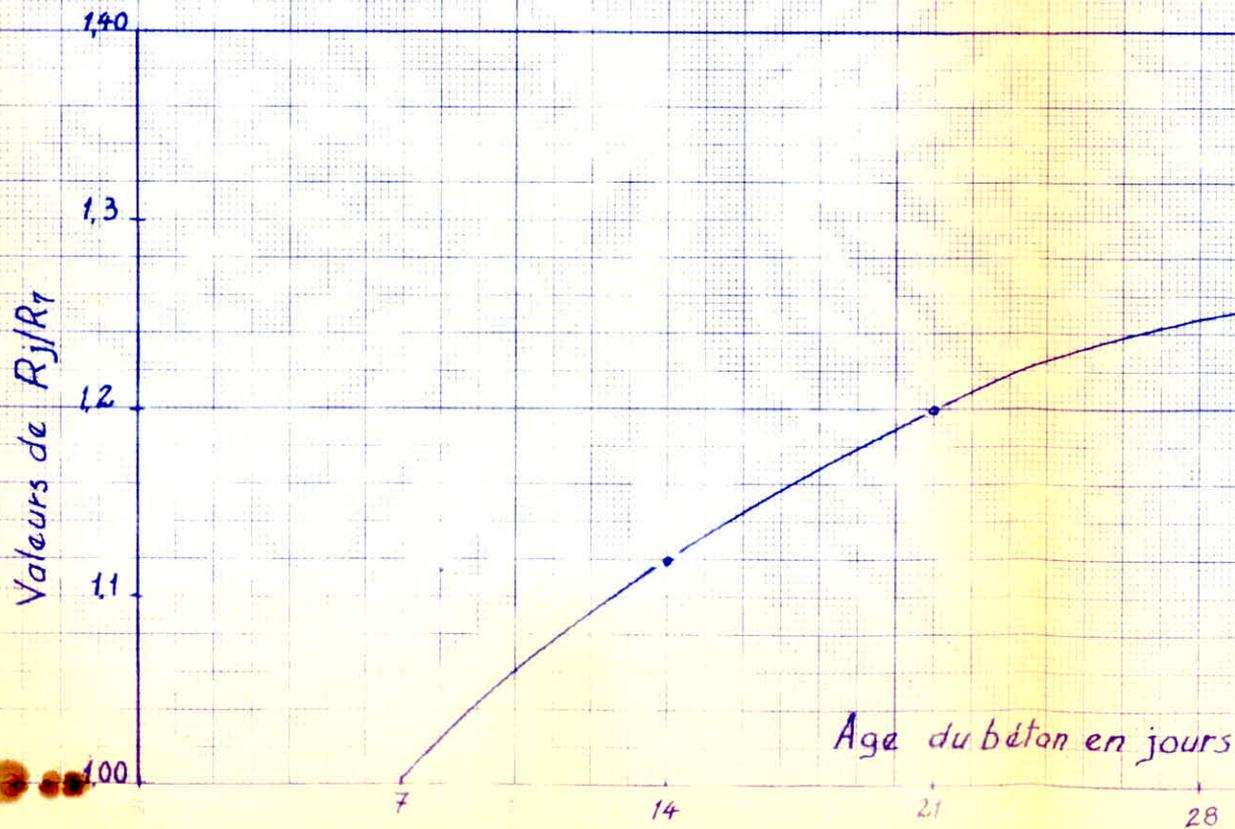
DURCISSEMENT DU BÉTON EN FONCTION DU TEMPS

Volume d'eau = 150 l/m^3

Graviers = 3-8 . 5-15 . 15-25

Dosage en ciment = 350 kg/m^3

PLANCHE N° 14.



TRAVAIL DE LA PRESSETABLEAU I

charge en tonnes	1 ^e essai		2 ^e essai		3 ^e essai	
	1 ^e poste $\Delta l(\Psi)$	2 ^e poste $\Delta l(\Psi)$	1 ^e poste $\Delta l(\Psi)$	2 ^e poste $\Delta l(\Psi)$	1 ^e poste $\Delta l(\Psi)$	2 ^e poste $\Delta l(\Psi)$
10	1,1	1,0	1,1	1,8	1,2	1,8
20	3,6	2,6	2,7	3,8	2,8	3,6
30	4,5	4,0	4,2	5,4	4,6	5,4
40	7,1	6,1	6,4	7,4	6,7	7,2
50	8,9	8,0	8,3	8,9	8,6	8,8
60	10	10	10	11	11	11
70	12	12	12	12,5	12,5	12,5
80	14	14	14	14,2	14,5	14,5
90	16	16	16	16,1	16,2	16,2
100	17,5	17,5	18	18	18,2	18
110	20	20	20	19	20,2	20
120	21,5	22	22,1	21	22,8	22
130	23	24	24	23	25	23,5
140	25	26	26,4	24,5	26,8	25

TARAGE DE LA PRESSETABLEAU II

charge en tonnes	1 ^e essai		2 ^e essai	
	1 ^e poste $\Delta 1 / (j)$	2 ^e poste $\Delta 1 (\psi)$	1 ^e poste $\Delta 1 (\psi)$	2 ^e poste $1 (j')$
10	1,1	1,6	2	1,2
20	3,1	4	2,7	2,8
30	4,4	5,2	4,6	4,6
40	6,3	7	6,4	6,4
50	8,5	8,7	8,4	8,6
60	10,5	10,5	10,5	11
70	12,1	12,1	12	12,5
80	14,2	14,2	14	14,2
90	16	16	16	16
100	18	18	18	17
110	20	19	19	19
120	22,5	21,5	21	21
130	24,5	23,2	24	24
140	26,5	25,2	26	26,5

ESSAI DE TARAGE (I T B T B A)

TABLEAU III

charge en tonnes	1 ^e essai		2 ^e essai	
	1 ^e poste l(γ)	2 ^e poste l(γ)	1 ^e poste l(γ)	2 ^e poste l(γ)
10	1,9	2,5	1,8	2
20	3,4	4,2	4	4
30	6	6	6	6
40	8	8,1	8	8
50	10,5	10	10	10
60	12,5	12	12	12
70	14,5	14	14,5	14
80	16,5	16	16,5	16
90	18,5	18	18,5	18,5
100	20,5	20	21	20
110	22,5	22	23	20,5
120	24	24	25	23,5
130	26	25	27,2	25,5
140	28	27	29,2	28,5

TABLEAU DES VALEURS $\frac{R_i}{R_7}$.

N° du béton	Volume d'eau en l.	$\frac{R_{14}}{R_7}$	$\frac{R_{21}}{R_7}$	$\frac{R_{28}}{R_7}$
1 ^e	157	1,12	1,21	1,26
2 ^e	180	1,41	1,61	1,62
3 ^e	190	1,39	1,55	1,61
4 ^e	180	1,32	1,47	1,60
5 ^e	157	1,12	1,18	1,20
6 ^e	157	1,10	1,19	1,22
7 ^e	202	1,35	1,58	1,71
8 ^e	150	1,12	1,20	1,25
9 ^e	170	1,25	1,28	1,29
10 ^e	157	1,11	1,16	1,23
11	180	1,24	1,38	1,38

TAB. LES VALEURS DE R_{28} ET DE R_{28}/R'

	R	R/R		R	R/R'		R	R/R'
1 ^e	325	13,1	5 ^e	340	12,9	9 ^e	276	12
b			b			b		
e	365	12,1	e	380	13,8	e	343	11
t			t			t		
o	393	12,1	o	400	12,4	o	353	11,2
n	410	12,1	n	410	12,4	n	355	11,1
2 ^e	215	9,70	6 ^e	360	14,2	10 ^e	377	12
b	303	11,20	b	394	14,1	b	414	11,8
e			e			e		
t	346	11,4	t	430	13	t	436	11,5
o			o			o		
n	347	11,2	n	442	12,9	n	465	11,9
3 ^e	187	10	7 ^e	191	10,5	11 ^e	253	10,4
b	260	12,2	b	258	11,6	b	313	9,65
e	287	11,6	e	302	11,3	e	349	10,2
t	300	10,4	t	327	11	t	350	10,1
o			o			o		
n			n			n		
4 ^e	200	10,5	8 ^e	335	14			
b	274	11,5	b	375	12			
e	295	11,6	e	401	11,9			
t			t					
o	120	11,5	o					
n			n	420	12,4			

- 12 -

TABLEAU DES POURCENTAGES DE R_{28} PAR RAPPORT A R_{28} MAX.

ET DES POURCENTAGES DE E/C PAR RAPPORT A E/C MAX.

Bétons à 4 agrégats: sable de mer, et graviers 3 - 8, 5 - 15, 15 - 25 de la carrière COMETRA.

Valeurs maximales données par les courbes: E/C max = 0,415.

$$R \text{ max} = 440 \text{ kg/cm}^2.$$

N ^e du béton	R en kg/cm ²	E/C	% R	% E/C
1 ^e	410	0,450	93%	108%
2 ^e	347	0,515	78,7%	124%
3 ^e	300	0,543	68%	131%
6 ^e	442	0,393	100%	95%
7 ^e	327	0,580	74%	140%
8 ^e	420	0,428	95,3%	103%
9 ^e	354	0,486	80,5%	117%
béton suppl.	370	0,375	84%	90,3%

