

3/01

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Génie civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE CIVIL

T H E M E

ETUDE COMPARATIVE THEORIQUE ET
EXPERIMENTALE DES DIFFERENTES
METHODES DE COMPOSITION DES BETONS

PRESENTE PAR :
HAMMACHA Abdel karim
SADOUDI Elyassa

ENCADRE PAR :
LARIBI Abdellah

ANNEE UNIVERSITAIRE 2000/2001

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Génie civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE CIVIL**

T H E M E

**ETUDE COMPARATIVE THEORIQUE ET
EXPERIMENTALE DES DIFFERENTES
METHODES DE COMPOSITION DES BETONS**

PRESENTE PAR :
HAMMACHA Abdel karim
SADOUDI Elyassa

ENCADRE PAR :
LARIBI Abdellah

ANNEE UNIVERSITAIRE 2000/2001

تهدف دراسة تركيب الخرسانة إلى تحديد أفضل خليطه مكونة من مختلف الحبيبات المتوفرة إلى عياري الإسمنت و الماء من اجل تحقيق خرسانة ذات الصفات المرجوة لبناء المنشأ أو الجزء المقصود من المنشأ.

من بين العديد من الطرائق تركيب الخرسانة المعروضة، فإن طرائق بولومي، فوري، فالات، درو-قوريس و "طريقة الورشة" تمت دراستها على حدى و بالمقارنة فيما بينها و عناصر المقارنة هي : التوزيع الوزني لعناصر الخرسانة، النسب E/C و G/S ثم المقاومات الميكانيكية في 7 و 28 يوما .

كلمات مفتاحيه :

خرسانة - طرائق التركيب - مقارنة - توزيع وزني - نسبة E/C - نسبة G/S - شد - الإنضعاظ.

Résumé :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause.

Parmi les nombreuses méthodes de composition présentées, les méthodes de Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse et celle du « Chantier » sont étudiées séparément et comparativement entre-elles. Les éléments de comparaison sont : la distribution pondérale des constituants, la masse volumique du béton, les rapports E/C et G/S et les résistances mécaniques à 07 et 28 jours.

Mots-clés :

Béton - Méthodes de composition - Comparaison - Distribution pondérale - Rapport E/C - Rapport G/S - Traction - Compression.

Abstract :

The survey of the composition of a concrete consists to define the optimal mixture of the different granulats of which one arranges as well as dosage made of cement and in water in order to achieve a concrete whose bill of particulars are those sought-after for the construction of the work or the part of work in reason.

Among the numerous methods of composition presented, the methods of Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse and the one of the " Yard " is studied separately and comparatively between them. The elements of comparison are: the gravimetric distribution of the constituent, the density of the concrete, the E/CS reports and G/S and the mechanical strengths 07 and 28 days.

Keywords:

Concrete - Methods of composition - Comparison - gravimetric Distribution - Report E/C - Report G/S - Traction - Compression.

Dédicaces.

Je dédie ce modeste travail :

Ma mère et mon père.

Mes frères et mes sœurs et leurs enfants

Toute la famille HAMMACHA.

*A tous mes amis surtout : Hakim , Salah , Abderrahmane , Kamel , Belkacem , Mohamed ,
Basset , Farid .*

HAMMACHA Abdelkarim.

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mon père le feu DAHMANE.

A la mémoire de mon cousin le feu MOHAMED.

A la mémoire de ma tante TOUNESS.

A ma mère FATMA pour son dévouement.

A mes frères : CHIEK MOHAMED-ABDELAZIZ-ABDELKADER-SMAIL.

ALI.

Pour leurs précieux conseils et leurs permanentes assistances.

A mes belles sœurs : DJAHIDA-FATIMA-ZOHRA-SALIHA.

A mes neveux : Abdelsater - Soumia - Nour-elhouda - Asma - Sara

Nour-elyakine - Abdelouadoud - Abdelmohssen - Meriem.

Qui ont pris soin de moi jusqu'à la fin de mes études.

Et à la famille SADOUDI ou qu'elle soit.

A toutes ces personnes que j'estime : AMMI SAAD - AMMI DJILALI

BRAHIM - ADEL - H.AKNOUCHE - MOHAMED - FARID

MUSTAPHA - FOUJIL - AISSA - CHAFIK - ABDELKADER.

SADOUDI Elyassa

Remerciements

Nous tenons à remercier M^{er} **LARIBI Abdellah** pour son suivi, aides et conseils durant l'élaboration de ce modeste travail.

Les techniciens : **AMMI SAAD, AMMI DJILALI**, pour leurs aides.

Le capitaine **A.Kouloughli** pour son autorisation d'utiliser le laboratoire du CETIM.

Les frères **RAHMOUN ADEL , CHABBI BRAHIM**, pour leurs aides .

Ainsi qu'à tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce travail.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos enseignants d'avoir accepter de faire partie de ce jury.

Nous remercions du fond du cœur , tous les enseignants au sein de notre département Génie Civil qui ont contribué à notre formation.

SADOUDI Elyassa
HAMMACHA Abdelkarim

Sommaire

CHAPITRE I : INTRODUCTION ET REPRESENTATION.

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS DU BETON .

II.1.Introduction	04
II.2.Les caractéristiques des granulats	04
II.2.1.Les caractéristiques géométriques	04
II.2.1.1.Granulométrie	04
II.2.1.2.Coefficient volumétrique	06
II.2.1.3.Module de finesse.....	07
II.3.Les caractéristiques physiques	09
II.3.1.Porosité	09
II.3.2.La masse volumique absolue	09
II.3.3.La masse volumique apparente	10
II.3.4.Propreté des granulat.....	10
II.4. Les caractéristiques mécaniques	13
II.4.1.Essai de Los Angeles	13
II.4.2.Essai Micro Deval	14
II.5. Le ciment	15
II.5.1.Définition	15
II.5.2.Les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment	15
II.5.2.1.Caractéristique chimiques	15
II.5.2.2.Caractéristique physiques	16
II.5.2.3.Caractéristiques mécaniques	16

II.6. Eau de gâchage	17
II.6.1. Caractéristiques physiques	17
II.6.2. Caractéristiques chimiques.....	17
II.6.3. Rôles de l'eau.....	17
II.6.4. Le calcul de la quantité d'eau	17

Chapitre III : LES QUALITES ESSENTIELLES DE BETON.

III.1. Introduction	19
III.2. Les qualités essentielles des bétons	19
III.2.1. L'ouvrabilité	19
III.2.1.1. Mesures et contrôles de l'ouvrabilité	20
III.2.2. La résistance	23
III.2.2.1. Comment s'effectuent les essais et mesures ?.....	23
III.3. Facteurs agissant sur la résistance et l'ouvrabilité	24
III.3.1. Importance de la compacité et du rapport (C/E)	24
III.3.1.1. Définitions	24
III.3.1.2. Commentaires.....	24
III.3.2. Dimension maximale des granulats – Effet de paroi	26
III.3.2.1. Définitions	26
III.3.2.2. Description de l'effet de paroi	27
III.3.2.3. Effets et recommandations.....	28
III.3.3. Dosage en ciment	29
III.3.4. Autres facteurs influant sur la résistance et l'ouvrabilité	29

CHAPITRE IV . METHODES DE COMPOSITION DES BETONS.

IV.1. Introduction	31
IV. 2. Méthode de Maliouga . T	31
IV. 3. Méthode de Feret	32
IV. 4. Méthode de Fuller et Thompson	32
VI. 5. Méthode de Bolomey	32
IV. 5.1. Principe de la méthode	32
IV. 5. 2 . Courbe optimale	33
IV. 5. 2.1 Axes.....	33
IV. 5.2.2 . Equation	34
IV. 5.2. 3 . Valeurs de A	34
IV. 5.2.4. Détermination de D	35
IV.6. Méthode de Dutron	36
IV.7 . Méthode de Vallette	36
IV.8. Méthode de Faury	36
IV.8.1. Principe	36
IV.8.2 . Particularité de la méthode de Faury	36
IV.8.3. Courbe optimale	37
IV.8.3.1. Axes.....	37
IV. 8.3.2. Courbe.	38

IV.9. Méthode de Joisel	41
IV. 9.1. Généralités	41
IV.9.2. Détermination des pourcentages des granulats	42
IV.10. Méthode de Dreux – Gorisse	43
IV.10.1. Généralités	43
IV.10.2. Principe de la méthode	44
IV.10.3. Dosage en ciment et en eau	44
IV.10.4. Courbe granulaire de référence.....	46
IV.10.5. Proportion des granulats.	48
IV.10.6. Masse des granulats.....	48
IV.10.7. Tests pour mise au point de la formule de composition	49

CHAPITRE V . ETUDE DE LA METHODE DE COMPOSITION DE BOLOMEY.

V.1. Les données de l'étude	51
V.2. Détermination de la courbe optimale	51
V.3. Détermination des pourcentages	52
des trois constituants	
V.4. Détermination de la courbe granulométrique du mélange sec envisagé , et la comparer à la courbe optimale.	53
V.4.1. Détermination de la courbe de mélange :	53
V.4.2. Comparaison à la courbe optimale	54

V.5.Détermination de la composition d'un mètre cube de béton	54
V.5.1.Détermination de la quantité d'eau dans un mètre cube de béton	55
V.5.2.Pourcentage d'eau.....	56
V.5.3.Composition d'un mètre cube de béton.....	56
V.6.Gâchée d'essai.....	58
V.7.Reprise des calculs.....	58
V.8.Résultats.....	59

CHAPITRE VI. ETUDE DE LA METHODE DE COMPOSITION DE FAURY.

VI.1. Processus d'étude de la méthode de Faury.....	60
VI.1.1. Données.....	60
VI.1.2.Détermination de la courbe optimale	60
VI.1.2.1. Détermination des coordonnées de différents points	60
VI.1.3.Détermination des pourcentages C, S et G	62
VI.1.3.1.Cas du ciment	62
VI.1.3.2 .Cas des granulats.....	63
VI.2.Détermination de la courbe granulométrique du mélange projeté, et comparaison la courbe optimale.	64
VI.3.Détermination de la composition d'un mètre cube de béton.....	65
VI.3.1. Gâchée d'essai	66
VI.3.1.1.Reprise des calculs	66

CHAPITRE VII ETUDE DE LA METHODE DE COMPOSITION DE VALLETTE .

VII.1.Rappel du schéma du processus d'étude.....	68
VII.2.Donnees de l'étude.....	68
VII.3.Confection d'un mortier plein.....	69
VII.3.1.Détermination des vides du sable.....	69
VII.3.1.1.Détermination de σ_{ss} et e_{vs}	70
VII.3.1.2.Détermination de e_{ps}	71
VII.3.2. Détermination d'eau de mouillage pour la quantité de sable préparée pour l'expérience	72
VII.3.3.Détermination du rendement du ciment	73
VII.3.3.1.Détermination de e_{pc}	74
VII.3.4.Détermination du minimum de ciment	75
VII.3.5.Essai de mortier plein	75
VII.3.6.Détermination du minimum de ciment rectifié	76
VII.4.Recherche du beton plein au dosage minimal	77
VII.4.1.Détermination de la quantité d'eau de mouillage de gravier	77
VII.4.2.Détermination de la quantité de gravier.....	77
VII.4.3.Détermination de la quantité d'eau	78
VII.5.Calcul du beton	78



VII.5.1. Béton au dosage imposé.....	79
VII.5.2. Correction sur le sable.....	79
VII.5.3. Correction sur l'eau	80
VII.6. Gachee d'essai	81
VII.7. Composition De Beton Retenue	81

CHAPITRE VIII ETUDE DE LA METHODE DE COMPOSITION DE DREUX-GORISSE.

VIII.1. Enoncé	83
VIII.2. Détermination du dosage en ciment et en eau.....	83
VIII.3. Représentation de la courbe granulaire de référence.....	83
VIII.4. Proportion des granulats	84
VIII.5. Détermination de la courbe granulométrique du mélange sec envisagé , et comparaison à la courbe granulaire de référence.	84
VIII.6. Détermination de volume absolu des granulats	85
VIII.7. Formule de composition théorique pondérale	86
VIII.8. Tests pour mise au point de la formule de composition	86
VIII.9. Résultats de calcul.....	87

CHAPITRE IX COMPOSITION DE BETON SELON LA « METHODE DU CCHANTIER ».

IX.1.Introduction	88
IX.2.Proportions des constituants secs	88
IX.3.Gachee d'essai	88
IX.4.Composition d'un metre cube de beton	88
IX.5.rapport $\frac{E}{C}$	89
IX.6.Rapport $\frac{G}{S}$	90

CHAPITRE X ETUDE MECANIQUE DU BETON DES DIFFERENTES COMPOSITIONS.

X.1.Rappel sur la resistance mecanique	91
et la deformation du beton .	
X.1.1.Résistance mécanique	91
X.1.1.1.Résistance à la compression.....	91
X.2.Determination des résistances mécaniques	92
X.2.1.Essais destructifs	95
X.2.1.1.Résistance à la compression	95
X.2.1.2.Résistance à la traction	95
X.2.1.3.Résistance nominale et le nombre d'essai nécessaire :	98
X.2.2 Essais non destructifs	99

X.3. Resultats des essais mécaniques	100.
X.3.1. Résultats des résistances mécaniques	100
de la méthode de Bolomey .	
X.3.2. Résultats des résistances mécaniques	101
de la méthode de Faury	
X.3.3. Résultats des résistances mécaniques	102
de la méthode de Vallette .	
X.3.4. Résultats des résistances mécaniques	103
de la méthode de Dreux-Gorisse :	
X.3.5. Résultats des résistances mécaniques	104
de la « méthode de Chantier » :	

CHAPITRE XI

ETUDE COMPARATIVE ET CONCLUSION.

XI.1. Introduction	106
XI.2. Distrubition pondérale des constituants du béton	106
XI.3. Masse volumique de béton	107
XI.4. Rapport E/C et C/E	107
X.5. Rapport G/S	108
XI.6. Résistance à la traction	109
XI.7. Résistance à la compression	110
XI.8. Conclusion générale	112
Annexes :	
Annexe A	
Annexe B	

Références bibliographiques

CHAPITRE I :

Introduction & Présentation

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi, que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause .

Les méthodes de compositions aboutissent à des dosages volumétriques ou , de préférence , pondéraux , le passage de l'un à l'autre pouvant se faire , si nécessaire , par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac .

Ces méthodes sont dites à granularité continue lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne , sur le graphique granulométrique , une courbe s'élevant d'une façon continue ; autrement dit , du plus petit grain de ciment au plus gros grain des graviers , toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées .

On dit par contre que l'on a une granularité discontinue lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires .

Ces deux types de béton , continue et discontinue , ont eu chacun leurs chauds partisans ou détracteurs . Selon l'avis de DREUX , il n'y a pas entre ces deux types de granularité , et malgré les apparences , de profondes différences justifiant la querelle encore persistante à leur égard ; d'ailleurs , dans la plupart des cas , la continuité ou la discontinuité de la granularité dépend des granulats dont on dispose selon qu'ils présentent ou non entre eux des discontinuités .

Selon DREUX , la granularité continue permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne mise en œuvre ; par contre , la granularité discontinue conduit à des bétons à maximum de gros éléments et minimum de sable présentant , en général , des résistances en compression un peu supérieures , mais au détriment de la plasticité . Il semble toutefois que la plupart des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue .

Quelle que soit la méthode de composition utilisée , la formule de composition calculée ne peut prétendre correspondre parfaitement au béton désiré , car il n'est pas possible , selon DREUX , d'appréhender avec précision , par le calcul , certaines qualités des constituants qui influent directement sur la qualité du béton : forme , angularité , porosité , adhésivité des granulats , fines du sable , finesse de mouture et classe de résistance vraie du ciment etc....

C'est pourquoi, de nombreux spécialistes en la matière , pensent que le calcul d'un mélange n'est qu'une première approche de préparation de mélanges d'essais qui permettront de corriger expérimentalement la formule calculée pour aboutir au béton désiré.

Les méthodes de composition sont nombreuses , on peut citer entre-autres les méthodes de MALIOUGA T. (1895), de FERET (1898), de FULLER et THOMPSON (1907), de BOLOMEY (1925), de VALLETTE (1940), de FAURY (1942), de JOISEL(1952) , de DREUX- GORISSE (1978)

Bien que le but visé par ces méthodes est pratiquement le même , à savoir la composition du meilleur béton possible en vue du travail désiré , leur multiplicité est due , à notre humble point de vue , au fait qu'elles diffèrent :

- par leur fondement théorique (courbes de référence différentes ...),
- et / ou par le caractère de la méthode (théorique , expérimental , à base d'abaques ...).

Le but de ce mémoire est d'étudier séparément puis comparativement cinq méthodes de composition sélectionnées selon un choix déterminé .

Le choix de ces méthodes est basé sur le fait que :

- les méthodes de Bolomey et Faury bien que basées sur l'étude des courbes granulométriques des constituants se distinguent par leur courbe de référence qui est différente
- la méthode de Vallette se distingue par son caractère qui allie des considérations théoriques et expérimentales .
- la méthode de Dreux – Gorisse est une synthèse de plusieurs méthodes existantes . De plus , elle tient compte des résultats d'une grande enquête sur les dosages les plus usuels pour divers bétons jugés aujourd'hui satisfaisants .
- la « méthode de chantier » qui est une « méthode » très empirique . Son choix est du essentiellement à un souci de comparaison avec les méthodes dites scientifiques .

Pour que la comparaison soit objective , nous avons :

- utilisé les mêmes matériaux .
- imposé un même dosage en ciment et une même plasticité , à l'exception de la « méthode du chantier » ou seul le dosage en ciment n'a pas été imposé .

Pour atteindre , le but visé dans ce mémoire , la méthodologie retenue est la suivante :

Dans le premier chapitre on introduit et on présente le sujet étudié .

Dans le second chapitre les caractéristiques des matériaux utilisés sont étudiées .

Dans le chapitre suivant on présente les qualités essentielles des bétons .

Les méthodes de compositions des bétons sont présentées au quatrième chapitre .

Les méthodes de Bolomey , Faury , Vallette , Dreux – Gorisse et celle du « chantier » sont étudiées de façon détaillée aux chapitres V , VI , VII , VIII et IX .

Le dixième chapitre est consacré à l'étude mécanique des bétons issus des différentes compositions .

En fin , le dernier chapitre est consacré à l'étude comparative basée sur les éléments d'appréciation suivants :

distribution pondérale des constituants , masse totale du béton , rapports E/C et G/S , résistances à la traction et à la compression à 7 et 28 jours . Pour terminer, une conclusion est formulée à propos de cette étude .

CHAPITRE II :

Caractéristiques des Constituants du Béton

II.1.Introduction :

Les granulats constituent le squelette granulaire, en principe inerte, du béton et agglomérés par le liant, qui doit être le plus compact et le plus durable possible.

Ils doivent être choisis de façon à ce qu'ils confèrent au béton un maximum de compacité.

Ils ne doivent pas contenir d'éléments nuisibles qui pourraient porter préjudice à la résistance, et donc à la sécurité et la durée de la structure.

Leurs caractéristiques intrinsèques et de fabrication doivent être conformes aux spécifications.

II.2.Les caractéristiques des granulats :

II.2.1.Les caractéristiques géométriques :

II.2.1.1.Granulométrie :

- **Echantillonnage :** (voir photo n° 1).

L'échantillonnage a pour but de prélever une fraction d'un matériau tel que la partie prélevée, sera représentative de l'ensemble, c'est-à-dire, une quantité suffisante pour tous les essais à étudier. Cet essai se fait à l'aide d'échantillonneurs.

- **Définition de la granulométrie :** (voir photo n°2).

La granulométrie permet de déterminer la répartition des dimensions des grains contenus dans un granulats, pour pouvoir les combiner dans les meilleures conditions.

Elle consiste à tamiser le granulats sur une série de tamis à maille carrée, de dimension d'ouverture décroissante, et à peser le refus sur chaque tamis. Ces ouvertures sont normalisées de 0.08 mm à 80 mm.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés en poids de grains passant dans les tamis, l'allure de la courbe granulométrique permet de prévoir certaines propriétés que l'on peut atteindre du matériau.

- **Classes granulaires :**

Un granulats est caractérisé par sa classe d / D , d'après la NF 18-304 un agrégat est dit type D/d , lorsque le rapport $D/d > 2$, tel que :

d : La plus petite dimension des grains.
 D : La plus grande dimension des grains.
 Pour $d < 0.5\text{mm}$, le granulat est désigné 0/D.

Tableau n°1 : classification des granulats par grosseurs.

Granulats	Nature	Tamis en (mm)
Sable	Fin	0.08 à 0.315
	Moyen	0.315 à 1.25
	Gros	1.25 à 5.00
Gravillons Ou Graviers	Petits	6.3 à 10
	Moyens	10 à 16
	Gros	16 à 25
Les pierres concassées Ou Cailloux	Petits	25 à 40
	Moyens	40 à 63
	Gros	63 à 100
Les moellons		> 100

• **Granulométrie continue et discontinue :**

On dit que la courbe granulométrique d'un granulat est continue ou que sa granularité est continue, si, entre deux granulats élémentaires consécutifs présents dans le granulat, il manque au plus trois granulats élémentaires.

On dit qu'il y a discontinuité si l'absence porte sur plus de trois granulats élémentaires.

Les deux figures ci-dessous illustrent les deux cas :

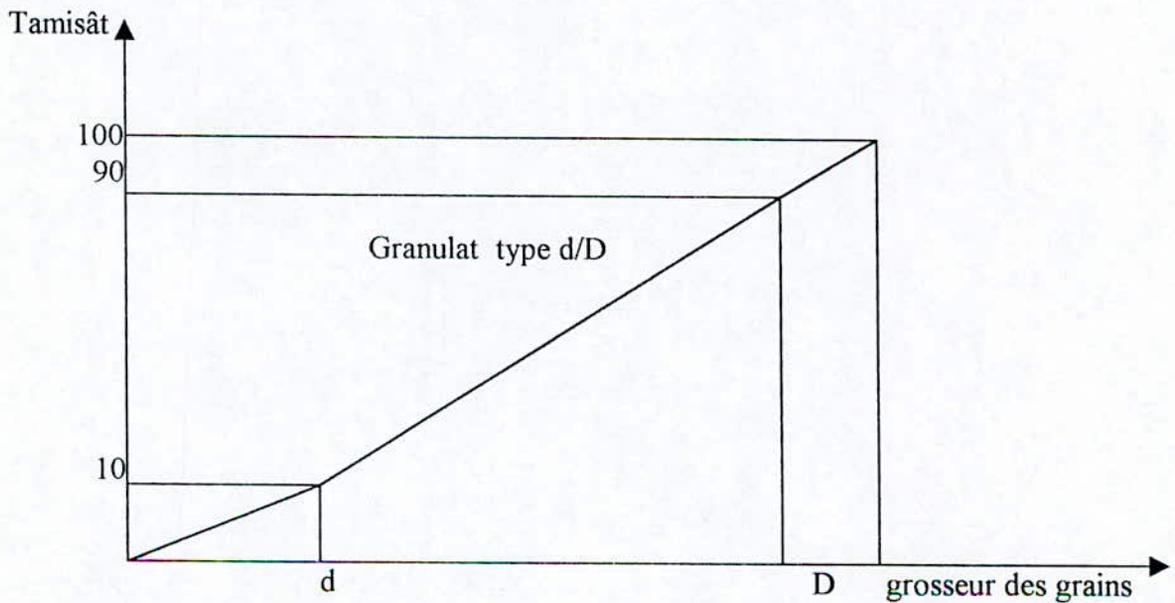


Fig.3 :granularité continue.

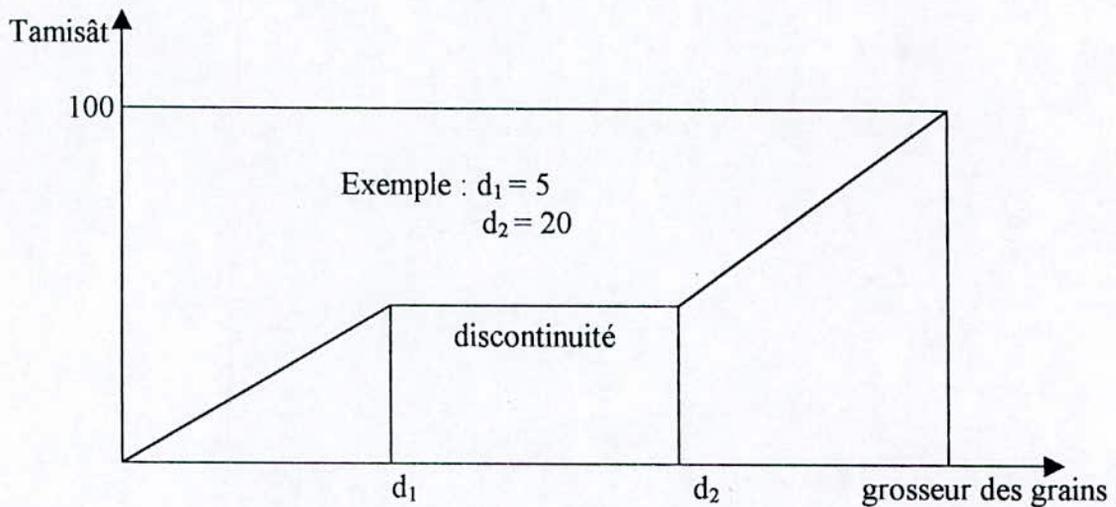


Fig.4 :granularité discontinue.

Dans la composition du béton on peut trouver une granulométrie discontinue. Par exemple un sable 0/5 et un gravillon 15/25 ; ou une granulométrie continue, par exemple un sable 0/5, gravillon 5/15, et une grave 15/25.

- **Courbes granulométriques des granulats utilisés :**

Les courbes granulométriques des granulats utilisés sont représentées aux fig. n° 1 et 2.

II.2.1.2.Coefficient volumétrique :

Le coefficient volumétrique est une grandeur numérique, qui permet de caractériser un grain ou un granulat et dont la valeur donne une idée précise sur la forme de l'élément considéré et sa possibilité d'emploi.

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre de plat et aiguilles.

Un coefficient élevé correspond à granulat dit « cubique » ou « arrondi ».

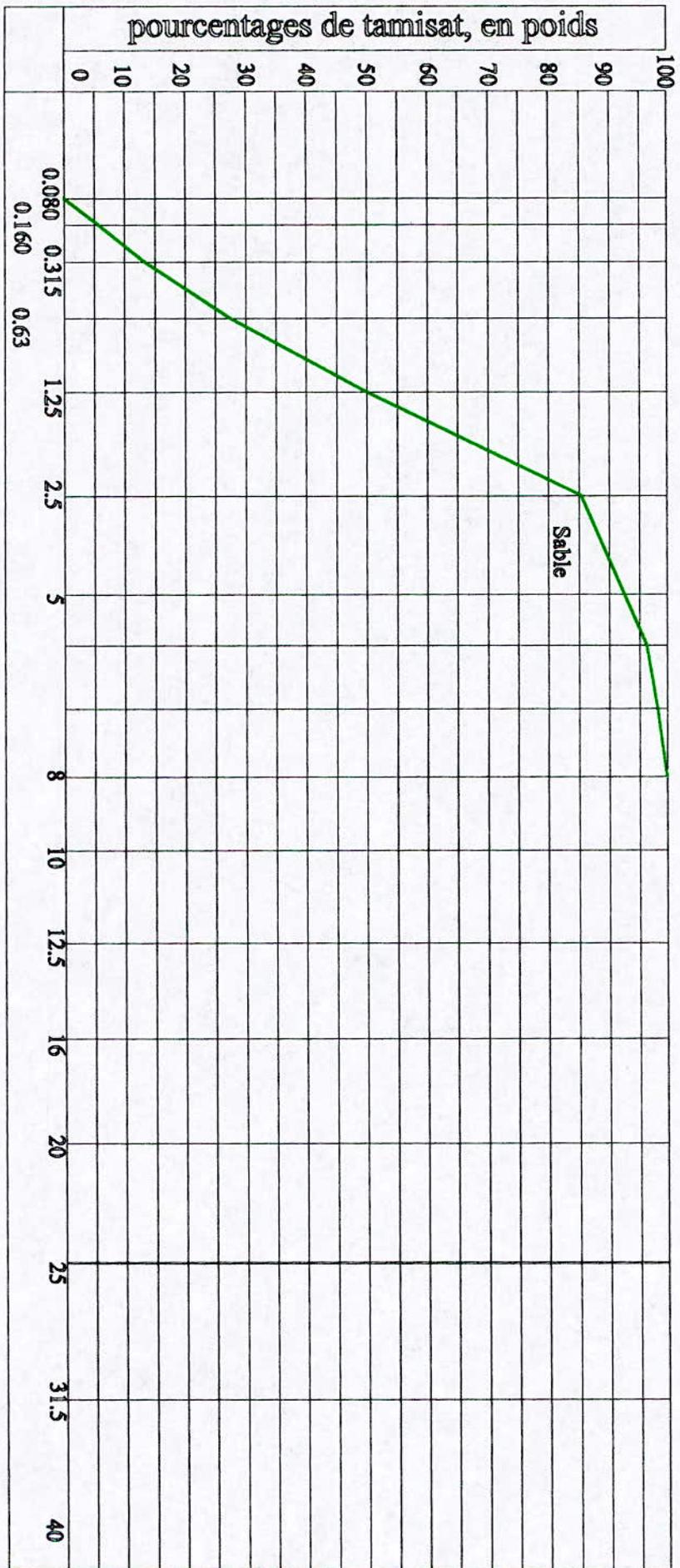


Fig. 1

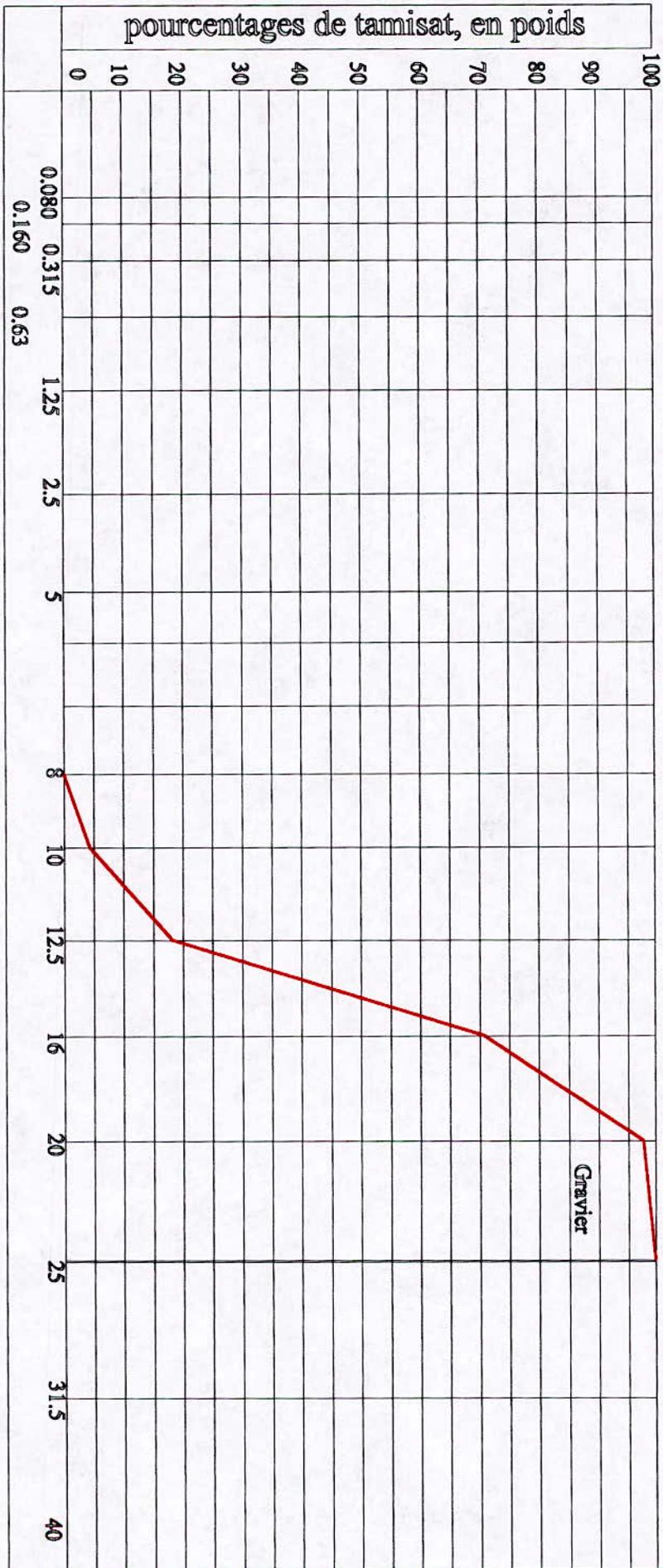


Fig.2

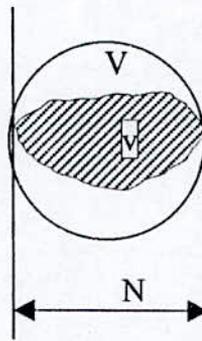


Fig.5 .

Le coefficient volumétrique d'un grain est défini par :

$$v = \frac{v}{V} = \frac{v}{\pi \cdot \frac{N^3}{6}}$$

N : La plus grande distance, séparant deux plans tangents aux grains.

v : Le volume du grain.

V : Le volume de la sphère de diamètre N.

Le coefficient volumétrique moyen est défini par :

$$v_{\text{moy}} = \frac{\sum v}{\sum V} = \frac{\sum v}{\sum \pi \cdot \frac{N^3}{6}}$$

Pour les granulats concassés la norme AFNOR préconise :

$v \geq 0.15$ pour les gravillons.

$v \geq 0.11$ pour les pierres cassées et cailloux.

$v > 0.25$ pour gravillons de 12.5 à 25 mm

Pour le gravier utilisé dans notre étude :

$$v = 0.27$$

II.2.1.3. Module de finesse :

C'est le centième de la somme des refus, exprimé en pourcentage sur les tamis de la série suivante :

0.16 , 0.315 , 0.63 , 1.25 , 2.5 , 5 , 10 , 20 , 40 , 80 mm.

Des recherches sur l'influence de la finesse des sables sur les diverses qualités du béton ont conduit à délimiter certains fuseaux de granularité admissible tel que ceux représentés sur la figure ci dessous ou l'on distingue :

- La partie centrale A ($2,2 < M_f < 2,8$) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de dégradation limite.
- La partie supérieure B ($1,8 < M_f < 2,2$) est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilite de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- La partie inférieure C ($2,8 < M_f < 3,2$) correspond a des sables utilises pour la recherche de résistance élevée, mais on aura, en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégations.

Pour le sable utiliser dans notre étude, la valeur du module de finesse est :

$$MF = \frac{1.65 + 3.35 + 14.8 + 50.05 + 72.50 + 86.50 + 94.25}{100} = 3.23$$

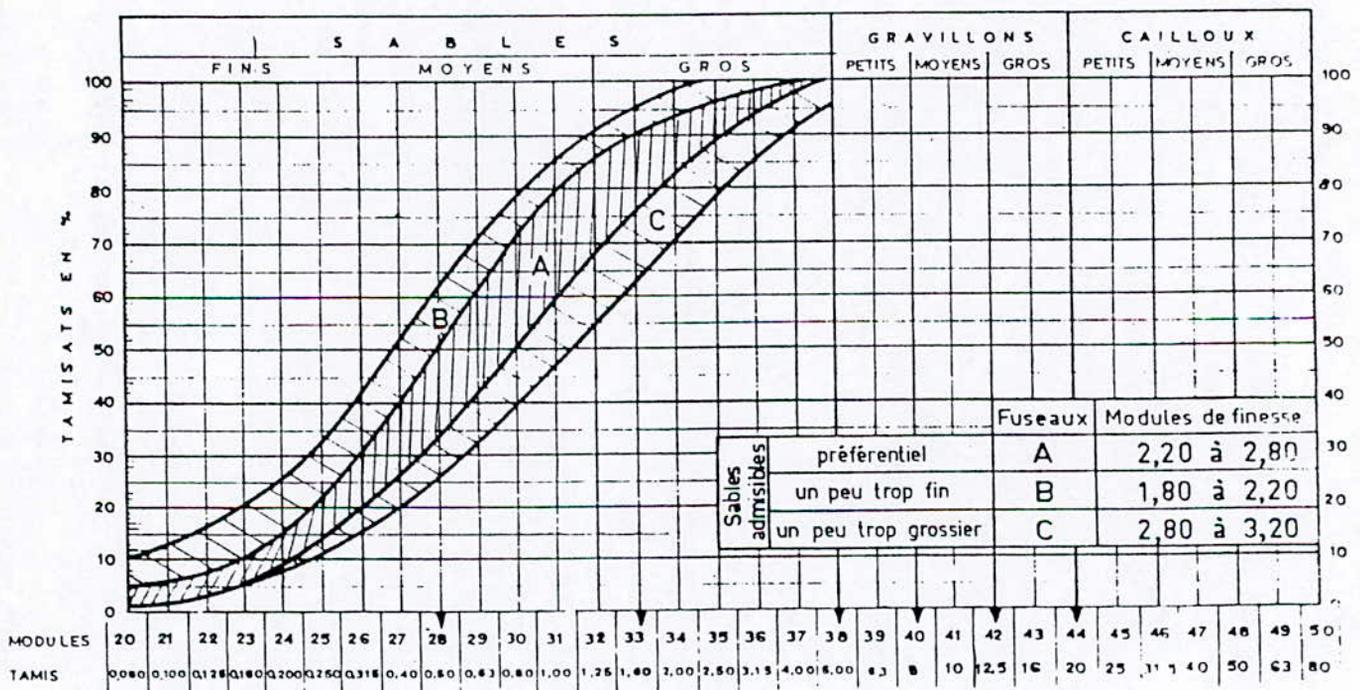


Fig.6.

II.3. Les caractéristiques physiques:

II.3.1. Porosité :

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage.

$$P \% = \frac{V(\text{vides})}{V(\text{matières})} \times 100$$

On distingue deux types de porosité, voir (Fig.07) :

- La porosité ouverte : Certaines cavités communiquent directement ou non avec l'extérieur.
- La porosité fermée : Elle est constituée par le reste des cavités.

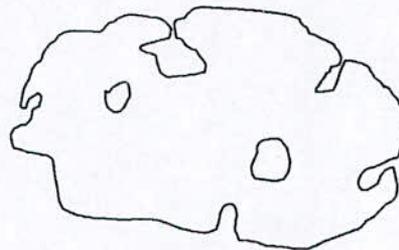


Fig.7.

En comparant les deux porosités, on trouve que la porosité ouverte est plus importante dans la construction, parce que l'eau peut pénétrer dans ces pores et geler, et peut éclater la roche.

La porosité est limitée suivant les emplois :

- $P \leq 5\%$ pour les granulats de type A \rightarrow produits de résistance mécanique élevée.
- $P \leq 3\%$ pour les granulats de type B \rightarrow produits de perméabilité faible.
- $P \leq 10\%$ pour les granulats de type C \rightarrow produits son exigence particulière.

II.3.2. La masse volumique absolue : (voir photo n°3).

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs de la masse volumique absolue des constituants que nous avons utilisés.

Tableau n°2.

Constituants	Masses volumiques absolues (kg/dm ³)
Sable	2.5
Gravier	2.7

II.3.3. La masse volumique apparente : (voir photo n°4).

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs de la masse volumique apparente des constituants que nous avons utilisés.

Tableau n°3.

Constituants	Masses volumiques apparentes (kg/dm ³)
Sable	1.44
Gravier	1.28

Les conséquences de la masse volumique pour la construction sont :

- Manutention dans les carrières et mise en œuvre.
- Transport.
- Prix de revient.

II.3.4. Propreté des granulats :

La norme 18541 prohibe les impuretés telles que le charbon, les scories, les déchets de bois, brindilles, feuilles mortes, débris végétaux ...etc. dont le pourcentage doit être inférieure à 2 %.

De même les granulats ne doivent pas contenir d'hydrocarbures, d'huiles végétales ou de matières organiques.

Pour la propreté des granulats, il convient d'éviter surtout la présence de la gangue argileuse ou des poussières qui risque de compromettre l'adhérence du mortier sur les graviers.

Dans le cas de cailloux et de gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0.5mm (tamisage effectué sous l'eau).

Dans le cas des granulats concassés, lorsque la valeur du passant à 0.5mm est supérieure à 2%, il est nécessaire d'effectuer un essai complémentaire, appelé essai au bleu de méthylène.

Pour les graviers que nous avons utilisé on a abouti les résultats suivants :

On prend dans un récipient, une quantité de gravier, non lavé par la pluie, on le dessèche et on le pèse : soit $P1 = 1970$ g, puis on le lave à grande eau, et on le dessèche à nouveau, et on le pèse : soit $P2 = 1865$ g, la masse des impuretés est donc :

$$P = 1970 - 1865 = 105 \text{ g.}$$

Soit un pourcentage de :

$$P\% = \frac{105}{1970} = 5.33\%$$

D'après les normes la propreté est supérieure à 2% alors, le gravier n'est pas propre.

Pour les sables, la propreté peut se contrôler comme pour les graviers, mais de préférence par l'essai dit "équivalent de sable" (E.S). (voir Photo.5).

On agite une certaine quantité dans une solution lavante (cette solution contient 111g de chlorure à calcium anhydride, 480g de glycérine et 12g de formaldéhyde pour 401 d'eau). (Cette opération se fait suivant un processus très exactement défini par la norme NFP 18-598) ; Puis on laisse reposer.

La hauteur du dépôt de sable visible étant h_2 et h_1 celle de la hauteur totale y compris le floculat (fines en suspension), l'équivalent de sable est :

$$E.S. = 100 \times \frac{h_1}{h_2}$$

La hauteur du dépôt de sable h_2 peut se mesurer à l'aide d'un piston lesté que l'on dépose doucement sur le sable après avoir lu la hauteur h_2 du floculat. Mais dans le cas des sables à béton relativement assez propre, la limite floculat-sable se repère toujours facilement et l'on se contente d'une lecture à vue pour h_1 comme pour h_2 .

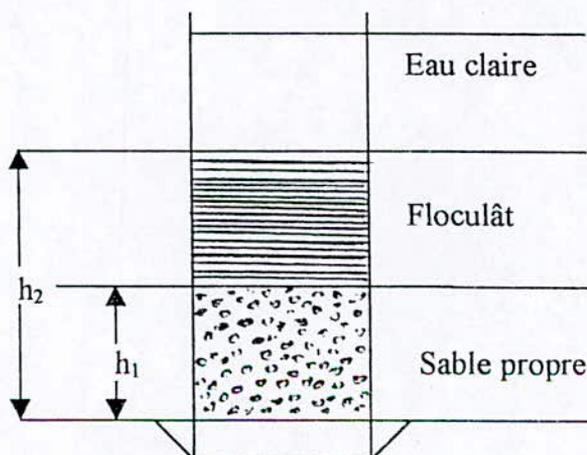


Fig.8.

Théoriquement les limites extrêmes des valeurs de E.S. seraient :

- Pour le sable pur (pas de flocculat) $h_1=h_2 \Rightarrow E.S.=100$
- Pour l'argile pure (pas de dépôt de sable) $h_1=0 \Rightarrow E.S.=0$

La valeur optimale de l'équivalent de sable (mesurée à vue sans l'aide d'un piston) est comprise, entre 70 et 80, dans le cas des sables silicocalcaires tous au moins et ne contenant que peu de fines argileuses nocives dont la faible importance doit alors être confirmée par l'essai "au bleu" (norme NF-P 18-592).

Le tableau ci- dessous indique les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable:

Tableau n°4.

Equivalent de sable à vue	Equivalent de sable à piston	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour les bétons de qualité.
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité (valeur optimale ES piston = 75 ; ES à vue = 80).
ES \geq 85	ES \geq 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner Un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Après les essais faites de propreté sur notre sable on a obtenu les résultats ci-dessous :

Tableau n°5.

	Hauteur totale h_1	Hauteur de sable h_2 (piston)	$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$	Equivalent de sable moyen
Essai 1	9.60	43 - 34.4 = 8.60	89.58 %	86.38 %
Essai 2	10.30	43 - 34.1 = 8.90	86.40 %	
Essai 3	10.40	43 - 34.3 = 8.65	83.17 %	

Notre sable est très propre, une absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra le rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.4. Les caractéristiques mécaniques :

II.4.1 Essai de Los Angeles : voir photo n°6.

Cet essai estime la résistance à la fragmentation par chocs des boulets sur le granulat. Il concerne les classes granulaires 4/6.3 ; 6.3/10 ; 10/16. On place un échantillon de 5 kg et 7 à 11 boulets de 0.417 kg dans un tambour qui tourne selon le mode opératoire suivant :

L'échantillon est placé dans un cylindre à axe horizontal de 70 cm de diamètre et 50 cm de longueur, avec des boules d'acier. Ils effectuent 500 révolutions à 30 tr/min.

Le nombre de boulets a mettre est en fonction de la classe granulaire. Après essai, les matériaux sont lavés au tamis 1.6 mm. Les passants sont jetés et les refus sont pesés après séchage à l'étuve.

Le coefficient de Los Angeles est défini par :

$$LA = 100 \times (5000 - P) / 5000$$

Après l'essai on a obtenu les résultats suivants :

Tableau n°6.

Nature de l'échantillon	Classe granulaire	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	Masse initiale (g)	P: poids sec après l'essai (g)	Coefficient Los Angeles
Gravier	10.0 – 16.0	11	4860	5000	3690	26 %

Selon la norme NFP 18 573 le seuil est fixé à 40 %, alors notre matériau satisfait la condition, et on peut l'utiliser pour faire un béton.

II.4.2. Essai Micro Deval : (voir photo n°7).

C'est un essai qui se pratique sur des gravillons 4/6.3 ; 6.3/10 ; 10/16. On place 0.5 kg de gravillon avec une charge de 2 à 5 kg dans une jarre cylindrique et on fait tourner pendant 15 minutes.

L'essai Microdeval est réalisé dans un cylindre de 20 cm de diamètre, et 15.4 cm de longueur. Aux 500 g de gravillon de la prise d'essai, on ajoute une charge abrasive constituée de billes d'acier sphérique de 10 mm de diamètre. Le cylindre tourne à 100 tr/mn, pendant 15 minutes.

Si P' est la fraction passante au tamis de 1.6 mm, a lors le coefficient de Micro Deval est défini par :

$$\text{MDE} = 100 \times (500 - P') / 500$$

Pour l'essai Micro deval humide (MDEH) on ajoute 2,5 l d'eau dans le cylindre d'essai.

Tableau n°7.

Poids initial P du matériau (g)	Poids P' après usure (g)	Micro deval MDE
500	490	2 %
500	495	1%

$$\text{MDE} = 1.5 \%$$

Tableau n°8.

Poids initial P du matériau (g)	Poids P' après usure (g)	Micro Deval humide MDEH
500	485	3%
500	480	4%

MDEH = 3.5 %

Selon la norme NF P18 572 le seuil est fixé à 35 %, alors notre matériau satisfait la condition.

II.5. Le Ciment :

II.5.1. Définition :

C'est un liant qui est constitué par des poudres fines formant avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise, puis de durcir.

Dans notre étude on va utiliser le ciment CPJ 45 à base de clinker, il se présente sous forme d'une poudre grise. Le ciment est obtenu en général par cuisson à haute température environ 1450°C d'un mélange de calcaire et d'argile (le calcaire intervient pour un poids trois fois supérieur à celui de l'argile). Le CPJ 45 contient au moins 73% de clinker, 7% de gypse, 14 à 20% d'ajout.

II.5.2. Les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment :

Les caractéristiques chimiques, physiques et mécanique sont données dans les tableaux ci-dessous.

II.5.2.1. Caractéristique chimiques :

L'analyse chimique a donné les résultats suivants :

Eléments	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	P.A.F	Ca.OL	R.I
Pourcentage	21.13	62.90	1.11	5.43	3.04	2.44	//	2.44	0.27	0.97

II.5.2.2. Caractéristique physiques :

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Masse volumique absolue Kg/dm ³	3.10	
Masse volumique apparente Kg/dm ³	1.00	
SSB (cm ² /g)	3032	
Expansion (mm)	0.68	
Temps de prise (h)	Début	2.16
	Fin	4.02

SSB : surface spécifique de Blaine.

II.5.2.3. Caractéristiques mécaniques :

Les caractéristiques mécaniques à la flexion et à la compression déterminée à des âges différents sont résumées comme suit :

	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)
02 jours	3.50	12.45
07 jours	6.30	30.83
28 jours	7.80	47.27

Pour avoir un bon béton que l'on peut utiliser dans un ouvrage, on doit choisir le ciment, ce choix portera principalement sur :

- La résistance.
- Le temps de prise.
- La nature, la teinte.
- La composition chimique ...etc.

II.6. Eau de gâchage :

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont :

II.6.1. Caractéristiques physiques :

L'eau doit être propre, ne doit pas contenir de matières en suspension au-delà de :

- 2 g/l pour les bétons de type A et B.
- 5 g/l pour les bétons de type C.

Béton A : béton de haute qualité à fortes résistances.

Béton B : béton à grande imperméabilité.

Béton C : béton courant peu ou non armé.

II.6.2. Caractéristiques chimiques :

L'eau ne doit pas contenir de sels dissous au-delà de :

- 15 g/l pour les bétons de type A et B.
- 30 g/l pour les bétons de type C.

II.6.3. Rôles de l'eau :

- Mouiller la surface des granulats, pour que la pâte de ciment puisse y adhérer.
- Permettre la réalisation de cette pâte de ciment.
- Favoriser enfin la maniabilité du béton, en remplissant plus ou moins les vides entre les constituants.

II.6.4. Le calcul de la quantité d'eau :

Il n'existe pas de calcul rigoureux. Mais il est possible d'avoir un ordre de grandeur de la quantité d'eau, avec une précision suffisante pour les études courantes.

Le calcul n'est pas le même pour les petits constituants et pour les gros.

- Petits constituants : $D < 0.16$ mm (ciment, et éléments très fins du sable).

$$\text{Eau} = 0.23 P$$

P : la masse du corps mouiller.

- Gros éléments : $D \geq 0.16$ mm. La formule est due à Bolomey :

$$\text{Eau} = \frac{K.P}{1,17 \cdot \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2}}$$

K : Constante, donnée par le tableau ci-après.

P : masse des matériaux à mouiller.

d_1 : diamètre des plus petits granulats à mouiller.

d_2 : diamètre des plus gros granulats à mouiller (d_1 et d_2 étant les dimensions des tamis correspondants).

Tableau n°9 :valeurs de K.

Consistance du béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Béton damé	0.08	0.095
Béton armé	0.09 à 0.095	0.10 à 0.11
Béton coulé	0.10 à 0.11	0.12 à 0.13

CHAPITRE III :

Qualités Essentielles du Bétons

III.1.Introduction :

Les ouvrages que l'on construit aujourd'hui en béton sont des plus divers tant dans leur destination que dans leurs dimensions et toute étude de composition de béton doit en tenir compte. Il convient donc d'en définir les deux critères essentiels qui doivent guider cette étude , la résistance recherchée et l'ouvrabilité souhaitée c'est-à-dire la facilité de mise en œuvre désirée.

Ces critères sont fonction de la nature de l'ouvrage ou des parties des ouvrages à réaliser .

Les facteurs agissant sur la résistance et l'ouvrabilité d'un béton sont très nombreux. Cependant, on présentera un certain nombre d'entre-eux dans le présent chapitre.

III.2.Les qualités essentielles des bétons :

Deux aspects majeurs expriment les qualités essentielles des bétons : la résistance et l'ouvrabilité ; car elles sont étroitement dépendantes l'une de l'autre et d'autant plus qu'elles varient en sens inverse en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton .

III.2.1. l'ouvrabilité :

C'est l'aptitude du béton frais à bien se mouler dans les coffrages et autour des armatures tout en restant homogène , bref, à bien se mettre en place.

L'ouvrabilité n'est pas une propriété du béton mais une façon commode de nommer l'objectif à atteindre ; cela explique que sa définition fasse intervenir , non pas des grandeurs , mais des jugements de valeur comme « bien se mouler » ou « rester homogène » .

En pratique , on considère qu'un béton est ouvrable s'il a la consistance (ferme , plastique , très plastique ou fluide) requise pour les conditions de mise en œuvre considérée .

Contrairement à l'ouvrabilité , la consistance est une grandeur .

Beaucoup de résultats significatifs pour l'ouvrabilité peuvent être valablement exprimés en termes de consistance .

Cependant , ce n'est pas toujours le cas ; il est des cas importants où la consistance ne suffit plus et deux grandeurs , au moins , sont nécessaires pour caractériser l'ouvrabilité , par exemple , pour les bétons fluides à hautes performances , ou les bétons pompés .

Pour viser la consistance recherchée on dispose de deux paramètres de composition , le dosage en eau et le dosage en plastifiant (ou superplastifiant) .

Grâce aux plastifiants et superplastifiants , l'objectif d'ouvrabilité n'impose plus le dosage en eau du béton , comme c'était le cas auparavant , lorsque ces adjuvants n'étaient pas utilisés .

Cela donne une marge de manœuvre supplémentaire à l'ingénieur qui formule un béton : il lui est possible de faire varier sensiblement le dosage en eau à consistance imposée . C'est évidemment très important puisque la résistance mécanique du béton , à court terme comme à long terme , est une fonction décroissante du dosage en eau .

III.2.1.1. Mesures et contrôles de l'ouvrabilité :

Pour les bétons courants , on convient de caractériser globalement leur aptitude à être mis en place dans les coffrages par la mesure d'une grandeur unique , effectuée en laboratoire avec un appareillage simple conçu pour reproduire un aspect marquant de l'opération de mise en place . On appelle « consistance » la grandeur ainsi mesurée .

La consistance en premier lieu dépend de l'appareil qui sert à la mesurer ; c'est pourquoi , quand on donne une valeur de consistance , il faut dire comment elle a été mesurée, préciser , par exemple , « consistance au cône d'Abrams » ou « consistance au maniabilimètre L.C.P.C » ;

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité . Nous n'en citerons que quelques-uns , les plus couramment utilisés dans la pratique .

- **Le cône d'Abrams :**

Cet essai , (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés .

On remplit de béton un moule en tôle tronconique ($D=20$ cm , $d=10$ cm , $h=30$ cm) ; Le remplissage s'exécute en quatre couches tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche ; on soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement du béton (NF P18-451) ;(voir photo n°12).

Les mesures sont évidemment quelque peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux , mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau n°10 .

TABLEAU n° 10 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône .		
Affaissement (en cm)	Béton	Mise en œuvre
0 à 2	Très ferme	Vibration puissante
3 à 5	Ferme	Bonne vibration
6 à 9	Plastique	Vibration courante
10 à 13	Mou	Piquage
10 à 14	Très mou à liquide	Léger piquage

Malheureusement , cet essai ne convient pas pour tester les bétons qui seraient encore plus fermes , plus secs , qu'un béton donnant un affaissement presque nul (il n'y a en effet pas d'échelle négative pour cette mesure) ; dans le cas de béton sec il peut d'ailleurs y avoir écroulement du cône , à ne pas confondre avec un affaissement normal . Il ne convient pas non plus pour les bétons très mous et des mesures supérieures à une douzaine de centimètres ne sont plus très significatives , mais il reste très valable et d'une bonne sensibilité pour tester la consistance des bétons les plus couramment utilisés .

- **L'essai d'étalement à la table à secousses .**

Cet essai (flow-test) est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du béton à s'étaler par écoulement et n'est pas selon l'avis de Dreux un test parfaitement représentatif de l'ouvrabilité , il donne en effet des valeurs faibles pour les bétons présentant une bonne cohésion et donne par contre des valeurs plus élevées lorsque le béton a la ségrégation .

L'essai s'exécute sur une table à laquelle on peut imprimer des secousses verticales (élévation suivie d'une chute de 12mm) à l'aide d'une came commandée par une manivelle .

On démoule sur la table un tronc de cône de béton ($D_0= 25\text{cm}$; $d_0=17\text{cm}$; $h=12,5\text{cm}$) et on le soumet à une série de 15 secousses ; voir figure n°9 ; on mesure ensuite le diamètre total D après étalement et la mesure s'exprime en pourcentage d'augmentation du diamètre de base :

$$100 \cdot \frac{D - 25}{25} \%$$

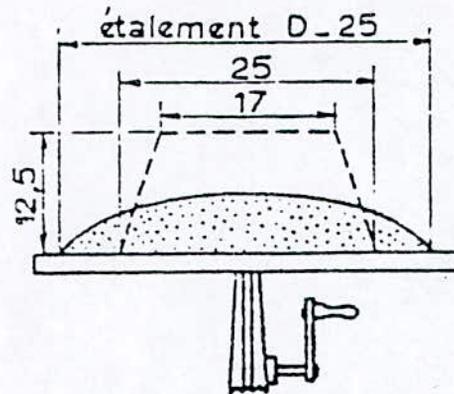


Fig.09 : Table à secousses(Flow test).

Certains l'expriment par le rapport d'augmentation du diamètre de base ; (voir tableau n°11) .

TABLEAU n° 11: Appréciation de la consistance en fonction du rapport d'augmentation du diamètre .	
Béton	Rapport d'étalement
Très ferme	10 à 30 % (ou 1,1 à 1,3)
Ferme	30 à 50 % (ou 1,3 à 1,5)
Plastique	50 à 70 % (ou 1,5 à 1,7)
Mou	70 à 100 % (ou 1,7 à 2,0)

Cette mesure n'est pas très significative car la dispersion est importante ; en principe , il est conseillé de ne se fier à cette mesure que pour les valeurs comprises entre 30 et 80% tout en observant s'il y a ou non ségrégation .

- **Le maniabilimètre L.C.P.C.**

Cet essai a l'avantage de tenir compte de la mise en vibration du béton dans l'appréciation de sa maniabilité . L'appareil qui à été mis au point au laboratoire central des Ponts et Chaussées par Messieurs Lezy et Lesage comporte une cuve métallique parallépipédique dont les dimensions intérieures sont : 30cm de largeur, 30cm de profondeur et 60cm de longueur .Une paroi mobile de section triangulaire sépare la cuve et l'on remplit de béton l'alvéole située du coté du parement incliné de la paroi . On soulève

ensuite cette paroi mobile qui peut coulisser verticalement et un contact électrique se réalise en même temps provoquant la mise en marche d'un vibreur (50 hertz) fixé sur la paroi avant de l'appareil ; le béton s'écoule dans la cuve et l'on chronomètre le temps qu'il met pour atteindre un trait repère sur la paroi opposée .

Plus le béton est plastique , maniable et de bonne ouvrabilité et plus le temps est court ; on constate en moyenne les valeurs suivantes :

- pour les bétons mous et très fluides on a $t \leq 10$ secondes ,
- pour les bétons très plastiques on a $t \approx 15$ secondes ,
- pour les bétons de bonne ouvrabilité on a $20 \leq t \leq 30$ secondes ,
- pour des bétons secs , peu maniables et d'ouvrabilité défectueuse on a $t \geq 40$ sec

III.2.2. La résistance :

La résistance a été longtemps considérée comme la qualité essentielle à rechercher pour un béton .

Dans les formules de béton , les différents facteurs ayant une influence sur la résistance et sur lesquels on pourra jouer ou compter pour l'amélioration de cette qualité .

Il s'agit surtout de la résistance à la compression mais également à la traction .

III.2.2.1. Comment s'effectuent les essais et mesures ?

- Résistance en compression .

La résistance en compression à 28 jours est désignée par σ'_{c28} , dite valeur caractéristique requise (ou spécifiée) .

Elle se mesure par compression axiale de cylindres de béton dont la hauteur est double du diamètre ($\Phi = 15,96$ cm) et la section est de 200 cm^2 .

- Résistance en traction .

Désignée par σ'_{t28} (résistance en traction à 28 jours) ; Elle peut être évaluée par :

- **Traction directe :** sur les cylindres précédents mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite , après sciage des extrémités , le collage des têtes de traction parfaitement centrées .
- **Traction par fendage :** en écrasant un cylindre de béton placé horizontalement entre les plateaux d'une presse ; cet essai est souvent appelé « Essai Brésilien » .

- **Traction par flexion** : c'est l'essai le plus couramment utilisé , à l'aide d'une éprouvette prismatique de côté (a) et de longueur (4a) reposant sur deux appuis horizontaux et soumise à la flexion , (éprouvette de 7.7.28 cm).

III.3.Facteurs agissant sur la résistance et l'ouvrabilité :

III.3.1.Importance de la compacité et du rapport (C/E).

III.3.1.1. Définitions :

- La compacité d'un béton est le volume occupé par les matières solides (ciment + granulats) dans un mètre cube de béton frais , et noté par γ .

Pour un béton plastique avec des granulats de diamètre maximal de 25 mm , γ est de l'ordre de 0,82 .

$$\frac{C}{E} = \frac{\text{Poids de ciment par unité de béton en place}}{\text{Volume correspondant de l'eau de gachage}}$$

pour un béton courant , $\frac{C}{E}$ est voisin de 1,8 .

III.3.1.2.Commentaires :

M^{er} Féret a dégagé , le premier , l'importance du rapport λ , du volume absolu des grains de ciment au volume des vides du granulat , c'est-à-dire :

$$\lambda = \frac{c}{c + e + v} .$$

Sous sa forme la plus complète , la relation de féret s'écrit comme suit :

$$\sigma'_b = K_f \cdot \sigma'_c \left(\frac{c}{c + e + v} \right)^2 .$$

ou , σ'_b est la résistance du béton à l'échéance considérée ; σ'_c la résistance normale du ciment à la même échéance ; c , e et v les volumes respectifs de ciment , d'eau et d'air (occlus ou entraîné) rapportés au volume du béton , et K_f est un coefficient (indice f pour Féret) .

En aurai bien que la formule qui se présente comme le produit de trois termes :

- $\left(\frac{c}{c+e+v}\right)^2$, dont la valeur dépend de la formulation du béton et, en premier lieu, de la valeur du rapport E / C ;
- σ'_c dont la valeur dépend du ciment ;
- le coefficient K_f , en fin, dont la valeur, dans le domaine des bétons courants, dépend principalement du granulat (sable et gravillon) utilisé .

Notons que la forme sous laquelle est présentée cette relation est indépendante du temps. La relation peut être utilisée, en principe, à toutes les échéances, à condition que les éprouvettes de béton servant à la mesure de σ'_b et les éprouvettes de béton servant à la mesure de σ'_c soient conservées exactement de la même manière et testées à la même échéance .

Sous sa forme complète, la relation de Bolomey s'écrit :

$$\sigma'_b = G \cdot \sigma'_c \left(\frac{C}{E+V} - 0,5 \right) .$$

ou, C et E désignent respectivement les masses de ciment et d'eau, V le volume d'air exprimé en masse du même volume d'eau ; C, E et V se rapportent au même volume de béton ; et G est un coefficient fonction de la qualité des granulats et de leur dimension maximale et du mode de serrage .

Cette formule, comme celle de Féret, est le produit de trois termes qui se partagent, dans l'ordre des facteurs, l'influence des granulats, du ciment (ou du liant) et de la formulation du béton . La différence, par rapport à la relation de Féret, porte exclusivement sur le troisième terme, parabolique chez Féret, linéaire chez Bolomey .

Féret et Bolomey ont montré que la résistance du béton croît avec la compacité et avec le rapport C / E . Néanmoins, une augmentation de C/E diminue l'ouvrabilité du béton.

Concernant la résistance du béton en compression (σ'_b) ; Bolomey a donné la relation suivante :

$$\sigma'_b = K_b \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) , \text{ avec : } V = 0 \text{ (béton plein)} .$$

Ou, K_b est un coefficient fonction de la nature et de la classe varie du ciment, de la qualité des granulats, des procédés de mise en œuvre ..., (indice b pour Bolomey) .

Des études plus récentes donnent une valeur moyenne de (K_b) par le produit :

$$K_b = G \cdot \sigma'_c , \quad \text{avec : } G \text{ varie de } 0,35 \text{ à } 0,65 .$$

Cette relation peut laisser supposer qu'il suffit d'augmenter le dosage en ciment pour avoir un béton de qualité .

Malheureusement , il n'en est rien , car de grandes valeurs du rapport C/E donneraient un béton trop sec , peu ouvrable .

III.3.2.Dimension maximale des granulats – Effet de paroi .

III.3.2.1.Définitions :

- Effet de paroi : l'effet de paroi se définit comme étant la plus ou moins grande difficulté qu'il y a à bien remplir un moule dans lequel les surfaces en contact avec le béton (coffrages , armatures , gaines ...) sont plus ou moins importantes par rapport au volume .
- Rayon moyen d'un ferrailage : pour les armatures on définit ainsi le rayon moyen (r) d'un ferrailage :

Pour une maille : $r = \frac{a.b}{2(a+b)}$; voir figure n°10 .

Entre deux barres (ou entre une barre et une paroi du coffrage) laissant entre elles un intervalle (e), $r = \frac{e}{2}$, voir figure n°11.

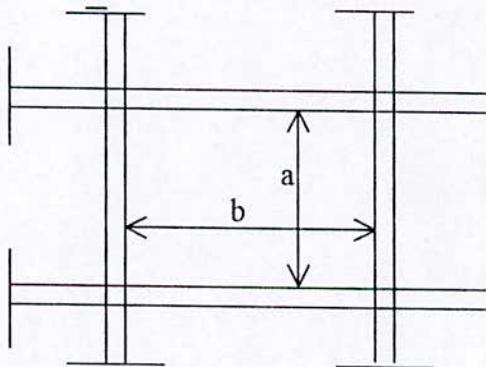


Fig.10.

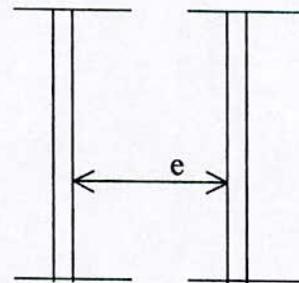


Fig.11.

III.3.2.2. Description de l'effet de paroi :

L'effet de paroi se traduit par l'enrichissement en mortier du béton , au contact et à proximité de toute paroi (coffrage ou armature) .

Soit en effet une paroi supposée plane (P) , un plan (P₁) parallèle à (P) et infiniment proche du coffrage ne rencontre pratiquement que des grains de ciment ; lorsque (P₁) s'écarte de (P) , la proportion de grains sable rencontrés augmente , puis celle de grains de gravier , voir figure n°12.

Soit (C) , (S) et (G) les aires respectives de ciment , sable et gravier rencontrées par unité de surface du plan (P₁) .

En pleine masse (C) , (S) et (G) sont dans des rapports bien déterminés ; au contact de la paroi , seul (C) n'est pas nul .

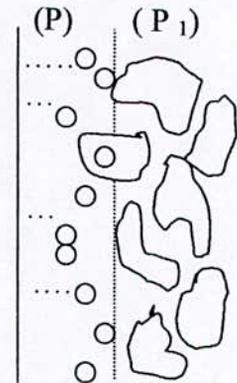


Fig.12.

C'est d'ailleurs bien ce que l'on constate sur les parements d'ouvrages , dont l'aspect est lisse .

Le béton s'enrichit donc en mortier au voisinage de toutes les parois ; le mortier étant soutiré à la pleine masse du béton , la composition de ce dernier peut être fortement modifiée .

Soit S la surface totale des parois (coffrage et armatures) et V le volume du moule , la quantité de mortier attiré est proportionnelle à DS . L'amaigrissement relatif du béton en mortier est donc proportionnel à $\frac{DS}{V} = \frac{D}{R}$ en appelant R le rayon moyen $\frac{V}{S}$ du moule .

Ce rapport $\frac{D}{R}$ caractérise l'effet de paroi du moule .

Qualitativement , lorsqu'à moule identique , le ferrailage est plus dense il faut donc augmenter la proportion de sable et , pour conserver les qualités mécaniques du béton augmenter le dosage en ciment .

Pour la détermination de R , le volume du moule à considérer n'est pas celui de la pièce complète mais celui de ses parties les plus ferrillées ; membrure tendue d'une poutre par exemple .

III.3.2.3.Effets et recommandations .

L'effet de paroi et la grande densité de ferrailage conduisent à deux phénomènes :

- Pour l'effet de paroi , il s'agit de limiter l'appauvrissement en moitié du béton en grande masse .
- Pour la grosseur des granulats , les difficultés de remplissage du moule augmentent avec les proportions des graviers , leur dimension maximale , la consistance du béton , la densité des armatures et elle dépend aussi des moyens de mise en œuvre dont dispose le chantier .

La prise en considération de ces phénomènes ont conduit à l'application de quelques règles simples concernant le choix de la dimension des granulats .

Le choix de D en fonction de R doit tenir compte d'une part de ce qu'un trop gros gravier nécessite un fort pourcentage de sable et par conséquent un dosage plus élevé du ciment , d'autre part , de ce qu'un gravier trop fin entraîne également un surdosage en ciment et une élévation de la teneur en eau .

La pratique conduit à choisir D de telle sorte que : (cas des granulats D (passoires)) .

$$\begin{aligned} D &\leq 1,4r \text{ pour granulats roulés ,} \\ D &\leq 1,2r \text{ pour granulats concassés .} \end{aligned}$$

En outre de ces deux conditions , rayon des mailles en ferrailage, rayon moyen du moule , les granulats doivent passer entre les armatures et entre celles-ci et le coffrage d'ou :

$$\begin{aligned} \left. \begin{aligned} D &\leq 0,9 e \\ D &\leq 0,9 c \end{aligned} \right\} & \text{ pour granulats roulés ,} \\ \left. \begin{aligned} D &\leq 0,8 e \\ D &\leq 0,7 c \end{aligned} \right\} & \text{ pour granulats concassés .} \end{aligned}$$

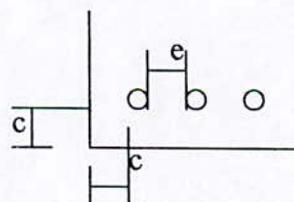


Fig.13.

Avec : e : espacement horizontal des armatures ;
C : couverture de protection des armatures ;

Lorsque l'on est en présence de pièces minces , la dimension maximale du granulat ne devra pas excéder le $\frac{1}{4}$ de l'épaisseur minimale à couler .

En conclusion pour un dosage en ciment donné , le choix de granulats de forts diamètres favorise la résistance , le mélange se trouvant avec un dosage plus riche en ciment , par contre elle va à l'encontre de la facilité de mise en œuvre du béton .

III.3.3. Dosage en ciment .

Les considérations qui précèdent relatives à la recherche de la compacité maximale conduisent à des dosages en ciment faibles par rapport à la pratique . Le matériel de malaxage employé sur les chantiers n'a pas en effet la qualité des instruments de laboratoire ; il a été constaté par des mesures effectuées en différentes zones sur une même gâchée que la teneur en liant pouvait varier de $\pm 15\%$ par rapport au dosage théorique . Il en résulte dans les secteurs sous-dosés une chute importante des résistances mécaniques , chute qui peut être dangereuse pour la sécurité de l'ouvrage . Il est donc nécessaire d'introduire des quantités de ciment assez élevées ; le dosage minimum imposé le règlement des Ponts et Chaussées France est fixé à 350kg par mètre cube en œuvre dans les ponts .

Pour les autres constructions il est recommandé un dosage au moins égal à :

$$C_{\min} = \frac{500}{\sqrt[3]{D}} \quad \text{en kg /m}^3$$

La Norme P 18-305 relative aux bétons prêts à l'emploi exige :

$$C_{\min} = \frac{300 + B}{\sqrt[3]{D}}$$

B étant la classe de résistance garantie du ciment en bars à 28 jours .

Pour les ouvrages non protégés des intempéries (eau de mer , eaux agressives , ...) le dosage minimal est fixé à :

$$C_{\min} = \frac{700}{\sqrt[3]{D}} \quad \text{en kg / m}^3 .$$

III.3.4. Autres facteurs influant sur la résistance et l'ouvrabilité .

- La granulométrie du sable a également une influence sur la qualité du béton .

Cette granulométrie s'exprime par le module de finesse d'un sable qui est par définition la somme des pourcentages ramenés à l'unité de refus cumulés sur les tamis de 23 et suivants de 3 en 3 .

Lorsque le module de finesse est compris entre 1,8 et 2,2 ; le béton présentera plus de facilité à sa mise en œuvre par contre sa résistance sera affaiblie .

Pour un module de finesse compris entre 2,2 et 2,8 le béton présentera une bonne ouvrabilité avec une bonne résistance .

En fin , pour un module de finesse compris entre 2,8 et 3,2 on aura un béton présentant des résistances élevées , au détriment de l'ouvrabilité et risques de ségrégation .

- Le rapport G/S soit proportion de gravier sur proportion de sable, a également une influence sur la résistance et l'ouvrabilité .

Lorsque ce rapport augmente la résistance augmente également à l'encontre de la facilité de mise en place de béton . pour des bétons courants on ne dépassera pas généralement une valeur égale à 2,2 .

CHAPITRE IV :

Méthodes de Composition des Bétons

IV.1.Introduction :

La composition d'un béton consiste à déterminer les diverses quantités de granulats (sable , gravier , cailloux), de ciment et d'eau qu'il est nécessaire de mettre en présence pour obtenir un mètre cube de béton .

Deux critères essentiels doivent guider cette étude , la résistance à obtenir et la plasticité soit la facilité de mise en œuvre . Ces critères sont fonction de la nature de l'ouvrage ou des parties de l'ouvrage à réaliser .

Les méthodes de composition proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes. Dans ce chapitre , nous allons présenter quelques méthodes de composition des bétons ; cependant cinq d'entre -elle , à savoir les méthodes de Bolomey, de Faury, de Vallette, de Dreux-Gorisse et celle du « chantier » feront l'objet d'étude détaillée aux chapitres : V, VI, VII, VIII, et IX .

IV. 2.Méthode de Maliouga T. (1895) :

La résistance du béton à la compression (σ'_b) dépend de l'activité du ciment , du rapport (E/C) ,du la quantité des granulats ; du degré de compacité du mélange de béton et des conditions de durcissement . Ce pendent , les facteurs principaux sont l'activité du ciment et le rapport (E/C) .

Les ciments à activité plus élevée donnent des bétons plus résistants. L'activité des ciments étant la même , on peut obtenir des bétons différents suivant la variation de la quantité d'eau dans la composition . Cette relation a été établie en 1895 par le professeur MALIOUGA .T.(première recherche) .

$$\sigma'_b = A. \left(\frac{C}{E} - B \right) \quad , \text{ en kgf / cm}^2$$

σ'_b : étant la résistance du béton ;

A : un facteur dépendant du liant , des granulats et de l'âge du béton ;

E et C : étant les poids de l'eau et du ciment ;

B : étant un coefficient qui tient compte du genre d'agrégat employé .

IV. 3.Méthode de M^{er} Féret (1898) :

En 1898, M^{er} Féret a montré que les résistances à la compression d'un béton variaient linéairement en fonction de (λ^2) :

$$\sigma'_b = K \lambda^2$$

Si l'on désigne par (c ; s ; e ; v) les volumes absolus occupés dans l'unité de volume frais du béton en place ; par le ciment (c) , l'eau de prise (e) , les matériaux inertes (s) et l'air (v) ; on a :

$$c + s + e + v = 1,0$$

Le valeur de λ est donnée par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{1-s} \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{c}{c+e+v}$$

Dans le cas des bétons pleins ne contenant pas d'air :

$$\lambda = \frac{c}{c+e}$$

K : est un coefficient numérique qui caractérise l'énergie du liant à un âge déterminé , pour des conditions données de conservation du béton.

IV. 4.Méthode de M^{er} Fuller et M^{er} Thompson (1907) :

En 1907 M^{er} Fuller et M^{er} Thompson proposèrent une loi elliptique puis parabolique ,de composition pour les granulats du béton ; définissant une granulométrie continue avec :

$$P = \sqrt{d/D}$$

D : étant le diamètre du plus gros grain et (P) la proportion de grain passant a la passoire de diamètre(d) .

IV. 5.Méthode de « Bolomey » (1925) :

En 1925, M^{er} Bolomey propose une loi continue qui reprend celle de Fuller ,avec un coefficient permettant d'étendre la granulométrie vers le fin en y englobant le ciment .

V. 5.1. Principe de la méthode :

On se réfère aux courbes granulométries des constituants secs (fig. n° 14) .

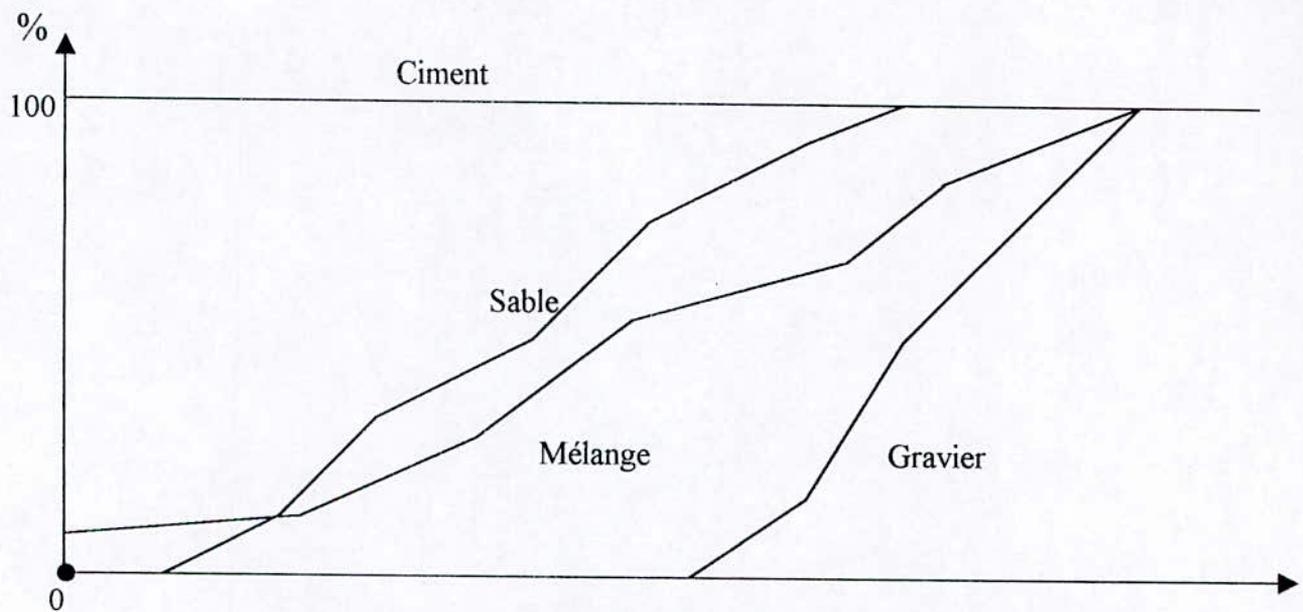


Fig.14

Un mélange quelconque de ces constituants a lui aussi une courbe granulométrie . Le problème est donc le suivant : parmi l'infinité de courbes représentant ces mélanges ; en trouver une qui corresponde à un bon béton pour le travail à exécuter . Cette courbe sera dite « courbe optimale » .

D'ou le principe de la méthode :

- Déterminer la courbe optimale du mélange des éléments secs .
- Chercher les pourcentages de ces constituants qui permettent de faire un mélange sec dont la courbe soit aussi voisine que possible de la courbe optimale .
- En déduire la composition d'un mètre cube de béton .

IV. 5. 2 . Courbe optimale :

IV. 5. 2.1 . Axes :

- **Abcisses** : Elles sont graduées proportionnellement à \sqrt{d} (segments proportionnels aux racines carrées des dimensions des tamis correspondants) .
- **Ordonnées** : Pourcentages de tamisats ; en fonction des poids de ces tamisats .

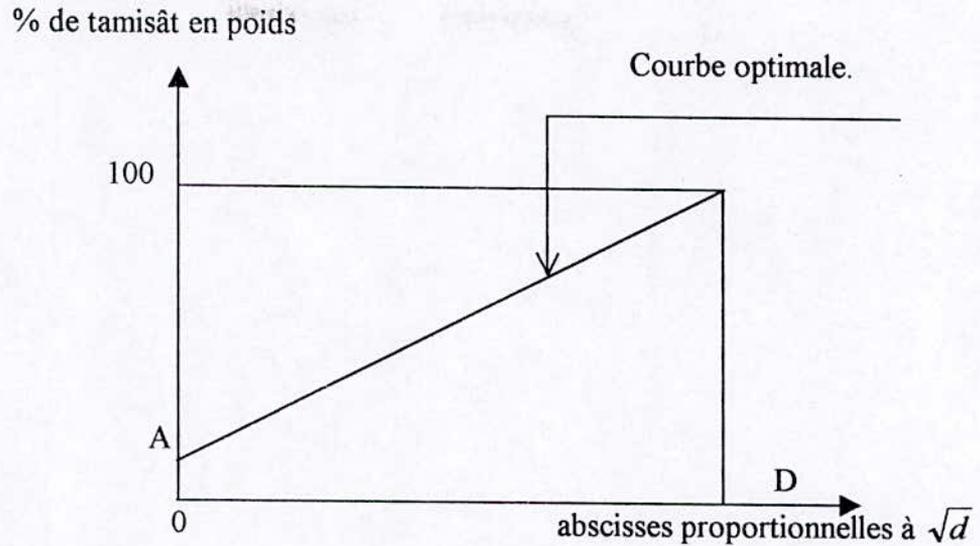


Fig.15.

IV. 5.2.2 . Equation :

L'équation la plus simple obtenue par Bolomey est :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

A et D étant des constantes que nous définirons ci-dessous.

Cette équation est de la forme $Y = a + b\sqrt{x}$. Elle représente la droite qui passe par les points :

$d=0$ $P = A$	et	$d = D$ $P = 100$
----------------------	----	--------------------------

Il suffit donc de déterminer A et D .

IV. 5.2. 3. Valeurs de A :

A (c'est un point d'une courbe granulométrique) ; représente le pourcentage d'élément très fins contenus dans le mélange sec, éléments qui ont une incidence sur la maniabilité du béton. La valeur de A dépendra donc :

- ◆ de la consistance souhaitée pour le béton ;
- ◆ de la provenance des granulats ;

Tableau n°12 : donnant le valeur de A

Consistance du béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Béton damé	6 à 8	8 à 10
Béton armé	10	12 à 14
Béton coulé	12	14 à 16

IV. 5.2.4. Détermination de D :

D est la dimension du tamis qui serait tout juste suffisant pour laisser passer la totalité du granulat.

Dans l'exemple de la figure n°16 , cette valeur de D est évidemment comprise entre 16 et 20mm ; la valeur numérique ne nous sera pas utile, et seul le point représentatif nous intéresse . Pour l'obtenir , on peut prolonger l'avant-dernier tronçon de la courbe du plus gros granulat .

Toutefois , cette construction n'est possible que lorsqu'on se trouve en présence d'une « queue de granulométrie ». Comme ici (c'est très fréquent) ; si le point ainsi trouvé était situé au- delà des (2/3) de l'intervalle (16/20) , ou à droite de 20 ; c'est 20 qui serait la valeur retenue pour D .

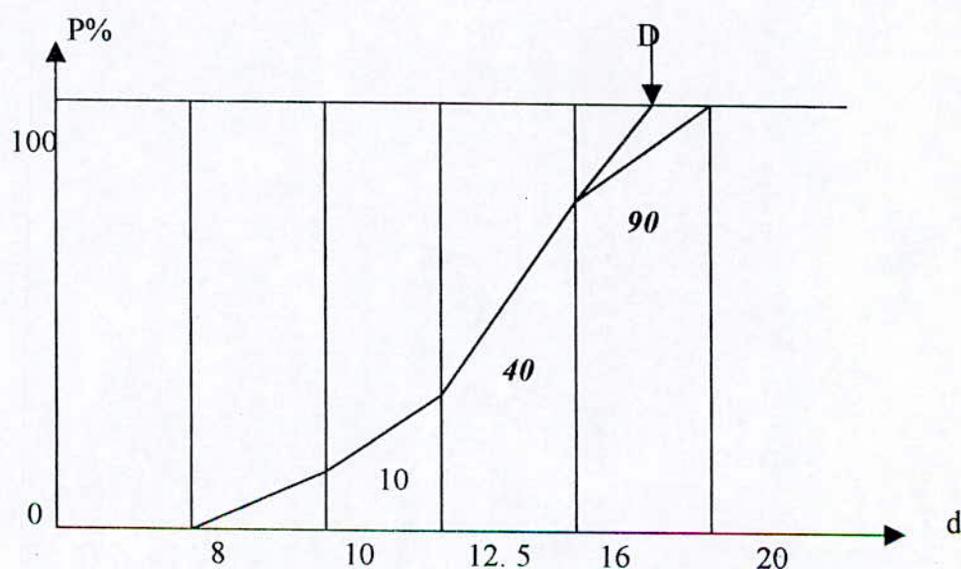


Fig.16.

IV.6.Méthode de Dutron (1927) :

En (1927) Dutron propose la formule suivante : $\sigma'_b = K \left(\frac{C}{E} \right)^{3/2}$;

Et puis GRAF. O. propose la formule suivante : $\sigma'_b = K \left(\frac{C}{E} \right)^2$;

La valeur de K diffère d'une formule à une autre ; mais ne dépend pratiquement que de l'énergie du liant a un âge déterminé.

IV.7.Méthode de Vallette (1940) :

En (1940) ; M^{er} Vallette propose une méthode essentiellement expérimentale . Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ». C'est une méthode purement expérimentale qui s'effectue en 3 temps :

- préparation d'une mortier plein à minimum de ciment ;
- préparation du béton au dosage minimum ;
- correction en ciment (béton au dosage définitif).

IV.8.Méthode de Faury (1942) :

IV.8.1. Principe :

Le même que celui de la méthode de Bolomey : déterminer la courbe optimale du mélange des éléments secs ; et chercher à s'en rapprocher le plus possible.

IV.8.2.Particularité de la méthode de Faury :

- Applicable à tous les granulats ; quelque qu'en soit la masse volumique .
- Faury a étudié l'effet des vides , vides qui varient avec $^5\sqrt{d}$ (racine cinquième de la dimension des grains) ; nous verrons donc apparaître , en cours d'étude , des termes contenant le facteur $^5\sqrt{d}$.
- Pour tenir compte de l'effet du coffrage et des armatures , Faury introduire la notion d'effet de paroi . elle même fonction de celle de rayon moyen du moule .

Pour un élément donné (portion de poutre ; par exemple) ; Faury appelle :

avec : V étant le volume du béton (aciers déduits) ;
 S : la surface de ce qui est au contact du béton (coffrage + aciers)

- « Effet de paroi » le rapport : $\frac{D}{R}$

avec: D : dimension maximale des granulats ; et R : rayon moyen du moule .

Lorsque c'est possible , on s'efforce de prendre une valeur $1,25D / R$ comprise entre 0,8 et 1. (D est une dimension de tamis) .

IV. 8.3. Courbe optimale (voir figure 17) :

IV. 8.3.1. Axes :

- Abscisses : Dimension des tamis. Mais graduation proportionnelle à $\sqrt[5]{d}$.
- Ordonnées : Pourcentages de tamisât , en fonction des volumes absolus .

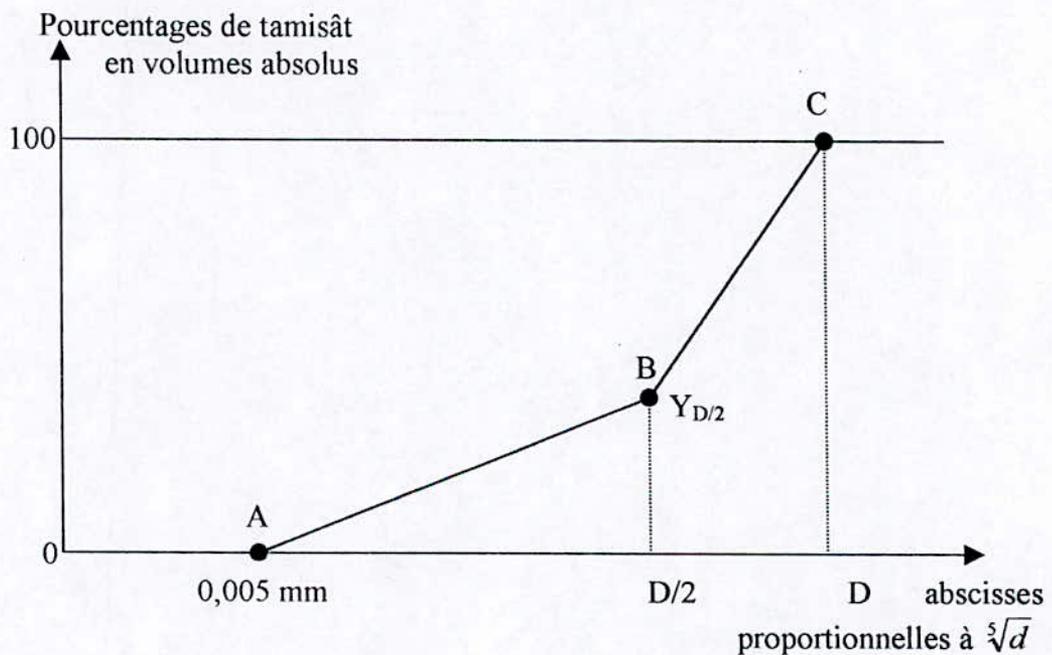


Fig. n°17

IV. 8.3.2. Courbe :

Ce n'est plus un segment de droite , mais deux segments de droites , forment une ligne brisée .

Il faut donc définir : - L'origine ; - L'extrémité ; - Le point de brisure .

- **Origine** : Point de l'axe des abscisses correspondant au tamis de 0,005mm .
- **Extrémité** : Point d'abscisse D et d'ordonné 100 ;
(D :ayant la même signification que pour la méthode de Bolomey).
- **Point de brisure** :

Abscisse : $D/2$.

Ordonné : $Y_{D/2}$; donnée par la formule :

$$Y_{D/2} = A + 17,8\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{1,25D} - 0,75}$$

Avec :

- A : constante , traduisant la maniabilité du béton ;
- B : constante , traduisant l'importance du serrage du béton ;
- D : plus grande dimension de tamis .
- R : rayon moyen du moule.

- **Calcul de D :**

C'est la dimension du tamis qui laisserait tout juste passer la totalité du granulat. Graphiquement, même construction que pour la méthode de Bolomey. Considérons la courbe (figure 18) du plus gros granulat du béton que nous allons étudier à titre d'exemple la valeur de D est un peu supérieure à d_{n-1} ; c'est :

$$D = d_{n-1}(1 + \text{quelque chose})$$

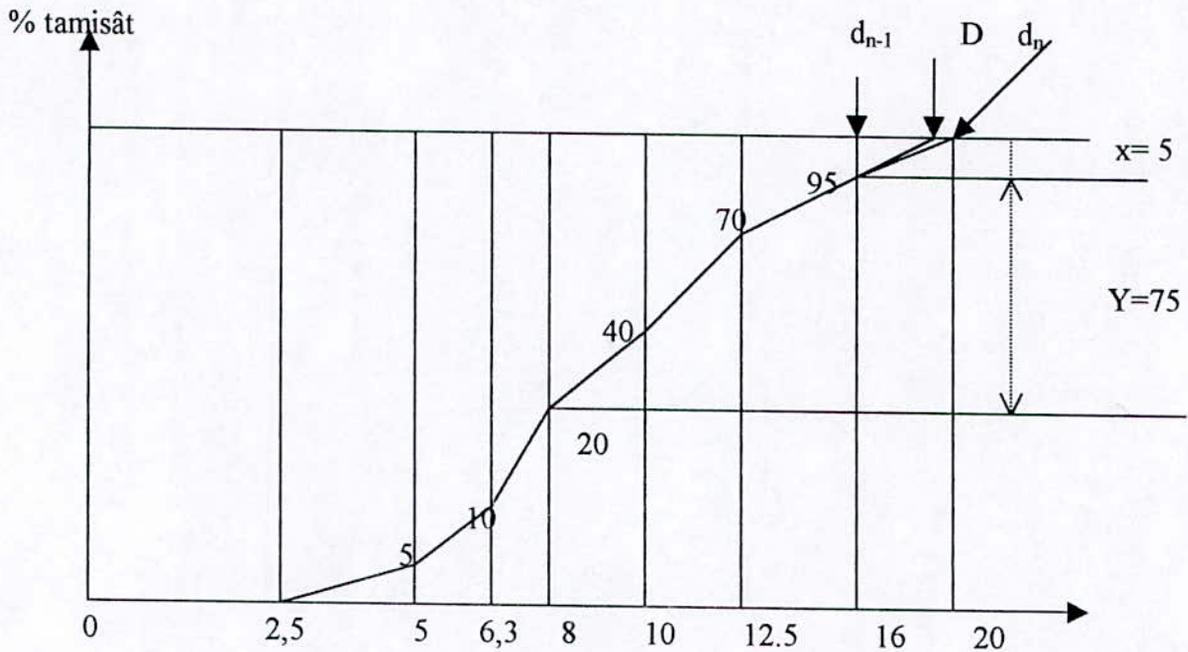


Fig.18.

Soit X le refus sur l'avant dernier tamis . d_{n-1} et Y le pourcentage de granulat qui traverse d_{n-1} mais qui reste sur le tamis $d_{n-1}/2$. Alors « le quelque chose » de l'équation précédente est : $X/2Y$; Soit :

$$D = d_{n-1} (1 + X/2Y)$$

Dans notre exemple ; $X=5$; $Y=75 \Rightarrow D=16(1+5/2.75)=16(155/150)=16,53$.

Que nous arrondirons à la demi- unité la plus proche : $D=16,5\text{mm}$

• Valeurs de A :

Elles dépendent encore (comme le A de Bolomey) de la consistance du béton désiré et de la provenance des granulats .

Faury a distingué les bétons suivant la grosseur des plus gros grains , avec coupures à 25 et 50mm (dimensions des tamis) . Une valeur spéciale de A est attribuée au béton de pistes , dont les conditions de travail font rechercher des caractéristiques particulières .Les valeur de A sont présentées au tableau n°13.

Notons que le « béton assez plastique » correspond au « béton damé » de Bolomey ; et le « béton plastique » aux bétons « armé » et « coulé » .

Tableau n°13			
	Valeurs de D	Valeurs du coefficient A	
0	1) $D \leq 25mm$: béton armé courant pour Bâtiment et ouvrages d'art		
	Consistance du beton	Sable roule	Sable concasse
		Gravier roule	Gravier concasse
	Assez plastique	24 a 26	26 a 28 30 a 12
	Plastique	26 a 28	28 a 30 32 a 34
	(ordre de grandeur : 30)		
25	2) $25 < D \leq 50$: Béton légèrement armé .		
	A : de 15 à 20		
50	3) $D > 50$: Béton de Barrages		
	$50 < D \leq 80$:	A : de 12 à 15	
80	$D > 80$:	A : 12	
	4) Béton de pistes . A = 15		

• Valeurs de B :

B= 1 dans le cas d'un serrage particulièrement énergique ;
 B= 1,5 dans tous les autres cas ; c'est-à-dire : à peu près toujours .

IV.9.Méthode de Joisel (1952) :

IV. 9.1.Généralités :

A. Joisel propose de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est fonction de $\sqrt[n]{d}$; m dépendant de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyens de serrage ; m peut alors varier de 3 à 10.

Afin d'obtenir une courbe granulométrique de référence qui se réduit à une simple droite. Mais :

- Les ordonnées sont les pourcentages du volume total du béton de référence , fluide compris. (fluide = eau + air) ;
- Les abscisses sont graduées proportionnellement à $\sqrt[n]{d}$; m varie avec le serrage des matériaux.

Comme dans la méthode de « Faury » ; On aboutit donc en principe à une granularité continue sauf , bien entendu ; si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité . Toutefois , pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse D/2 , Joisel à déterminer l'échelle de l'intervalle D/2 à D de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite ;

C'est l'avantage de cette méthode mais , en revanche , il faut employer un graphique dont l'échelle des abscisses est variable d'une étude à l'autre , d'un type de granulat à un autre . Ensuite , c'est par une méthode graphique que se détermine les pourcentages des divers granulats.

C'est Donc une méthode universelle , applicable à tous granulats , toutes courbes optimales, et tous modes de graduation des axes .

IV.9.2.Détermination des pourcentages des granulats :

Considérons deux granulats ($d_1 d_2$) et ($d_3 d_4$) , que nous désirons mélanger pour respecter la courbe optimale C_{opt} .

La courbe ($d_1 d_2$) étant tracée , trois (3) cas seulement sont possibles :

- d_3 coïncide avec d_2 : il y a juxtaposition des deux granulats ;
- d_3 est à gauche de d_2 : superposition partielle ;
- d_3 est à droite de d_2 : discontinuité entre les deux granulats .

La méthode de Joisel repose sur le tracé d'une parallèle à l'axe des ordonnées ; prenons successivement chacun de ces trois cas .

1^{er} cas : juxtaposition des deux courbes (figure n° 19) .

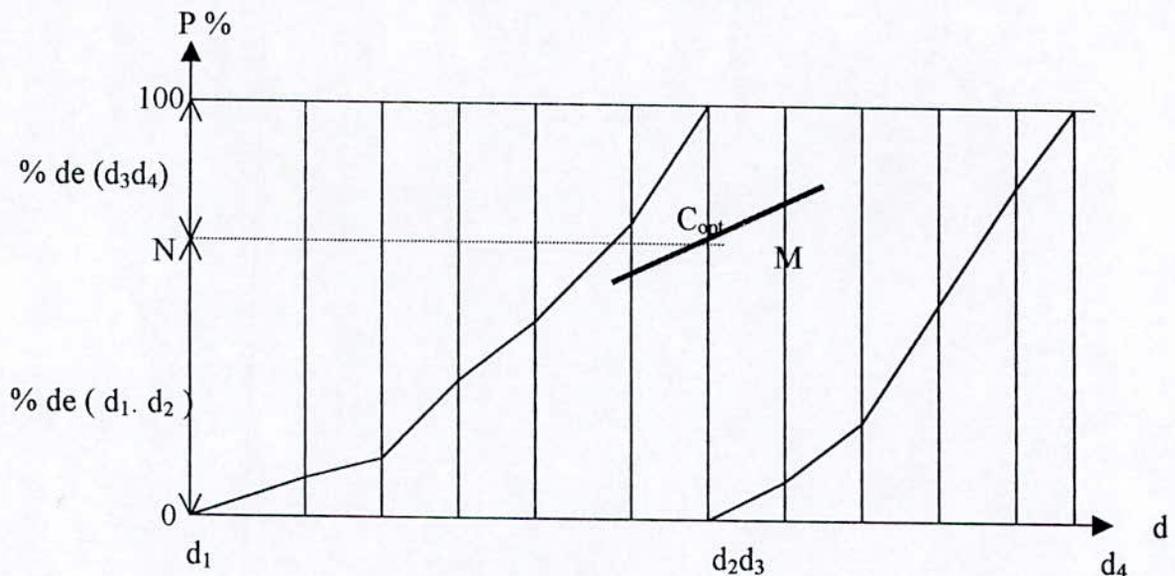


Fig.19.

La « verticale » est ici l'ordonnée correspondant à d_2d_3 . Cette verticale coupe la courbe optimale en un point M , qui , reporté en N sur l'échelle des pourcentages, détermine 2 segments :

- ON est le pourcentage du granulat (d_1d_2),
- N.100 est le pourcentage du granulat (d_3d_4).

Précisions que ON est , en fait le pourcentage de l'ensemble des composants de dimension inférieure à d_2 ; par exemple : (ciment + sable). De même , N.100 est le pourcentage de tout ce qui est plus gros que d_2 , par exemple : (gravillon + gravier) .

2^e cas : Superposition partielle des deux courbes (figure n°20) .

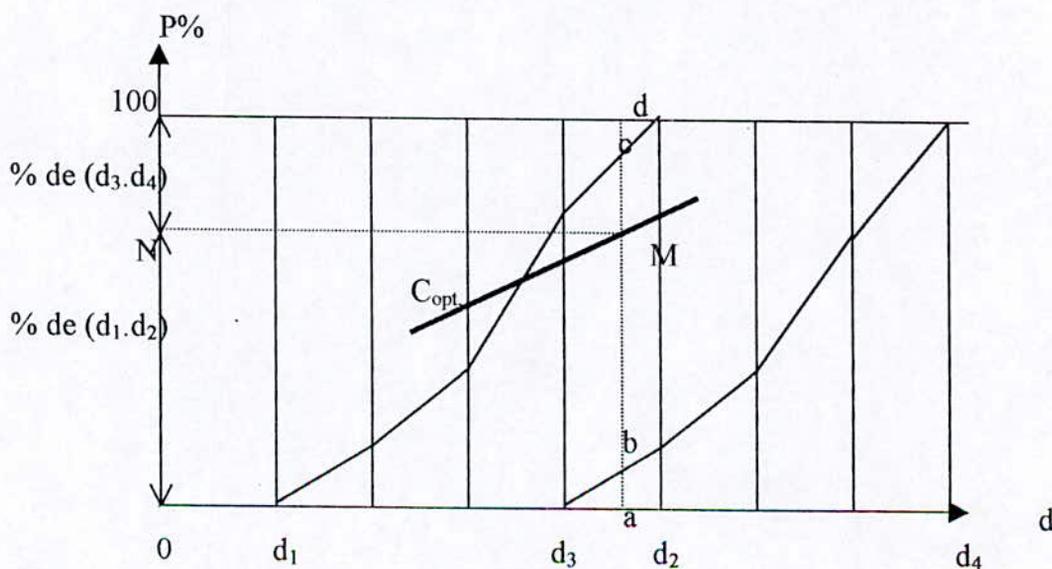


Fig.20.

La verticale est placée à l'abscisse d_0 telle que , pour cette dimension de tamis , le pourcentage de tamisat du gros élément soit égal au pourcentage de refus du petit : $ab = cd$.

Les points M et N ont la même signification que dans le premier cas .

3^ecas : Discontinuité entre les deux courbes (figure n°21) .

La verticale est au point d'abscisse $d_0 = (d_2 + d_3)/2$, est la construction est encore la même . Notons que , à cause du mode de graduation de l'axe des abscisses , le point d_0 n'est pas au milieu du segment $d_2 d_3$: il est un peu à droite de ce milieu .

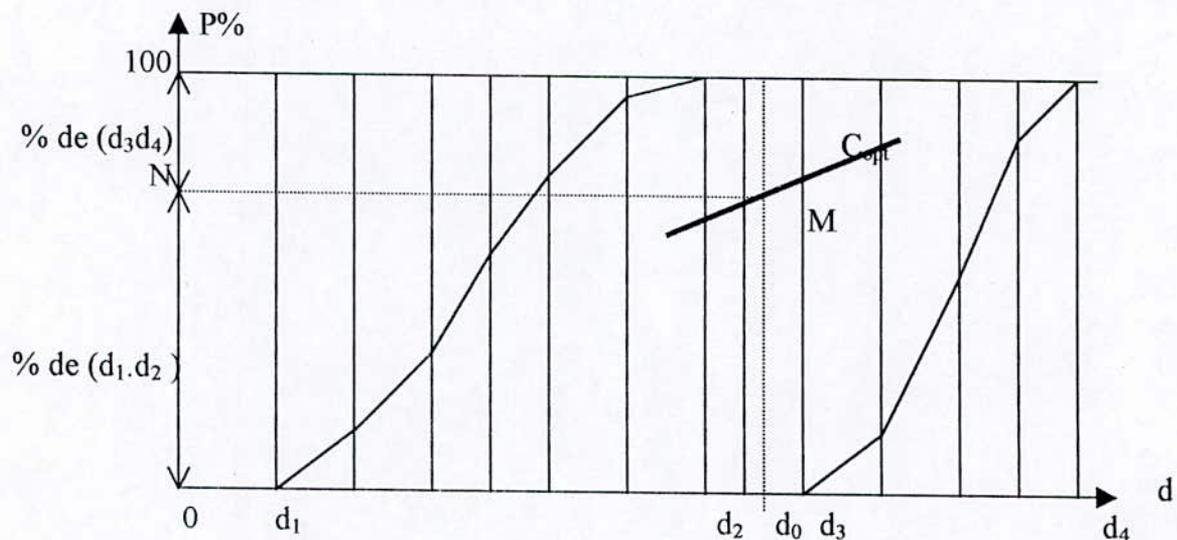


Fig.21.

IV.10. Méthode de Dreux – Gorisse (1978) :

IV.10.1. Généralités :

Cette méthode mise au point au centre d'essais de structures de Saint-Remy les chevreaux sous l'initiative de M^{cr}. Dreux , est une synthèse de diverses théories existantes sur la composition des bétons , appuyée sur un examen statistique de nombreux chantiers sérieusement contrôlés .

Son but est de définir d'une manière simple et rapide une première formulation de béton en fonction des deux paramètres principaux : la résistance souhaitée et l'ouvrabilité désirée .

La formulation définitive étant obtenue par quelques gâchées d'essais permettant d'ajuster au mieux la formule théorique du béton en fonction des qualités désirées et des matériaux réellement employés.

IV.10.2.Principe de la méthode :

La résistance et l'ouvrabilité désirées conduisent à déterminer le dosage en ciment et en eau . Une courbe de référence granulaire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants ; dimension des granulats ,dosage en ciment, plasticité, intensité du serrage, module de finesse du sable, pompabilité ,ets .

Cette courbe de référence permet de doser les proportions , en volume absolu , des différents granulats dont on dispose .

Enfin ,la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton désiré.

Reste à exécuter , bien entendu , quelques essais sur ce béton pour apporter à cette formule les corrections expérimentales nécessaires .

IV.10.3.Dosage en ciment et en eau :

On commence par évaluer le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne souhaitée R'_{28} (à 28 j) ; On utilise pour cela une formule inspirée des études de Bolomey :

$$R'_{28} = G \cdot \sigma'_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

- Avec :
- R'_{28} (Mpa) résistance moyenne souhaitée ;
 - G : coefficient granulaire fonction du serrage du béton , de la dimension maximale du granulat et de leur qualité ; (voir tableau n°14) .
 - C (kg/m³) dosage en ciment ;
 - E (litres /m³) dosage en eau totale ;
 - σ'_c (Mpa) classe de résistance moyenne réelle du ciment

Tableau n° 14 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.			
<i>Qualité des granulats</i>	<i>Dimension D des granulats</i>		
	<i>Fins (D < 16 mm)</i>	<i>Moyens (25 < D < 40 mm)</i>	<i>Gros (D ≥ 63)</i>
<i>Excellente</i>	0,55	0,60	0,65
<i>Bonne- courante</i>	0,45	0,50	0,55
<i>Passable</i>	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe) .

La connaissance ou l'évaluation de R'_{28} , G , et σ'_c permet de calculer la valeur de C/E . Ce rapport (C/E) devient alors une donnée du problème .

Par l'intermédiaire de l'abaque figure n° 22 , déduit de nombreux résultats expérimentaux ,le dosage en ciment « C » sera déterminé en fonction du rapport (C/E) et de la plasticité désirée.

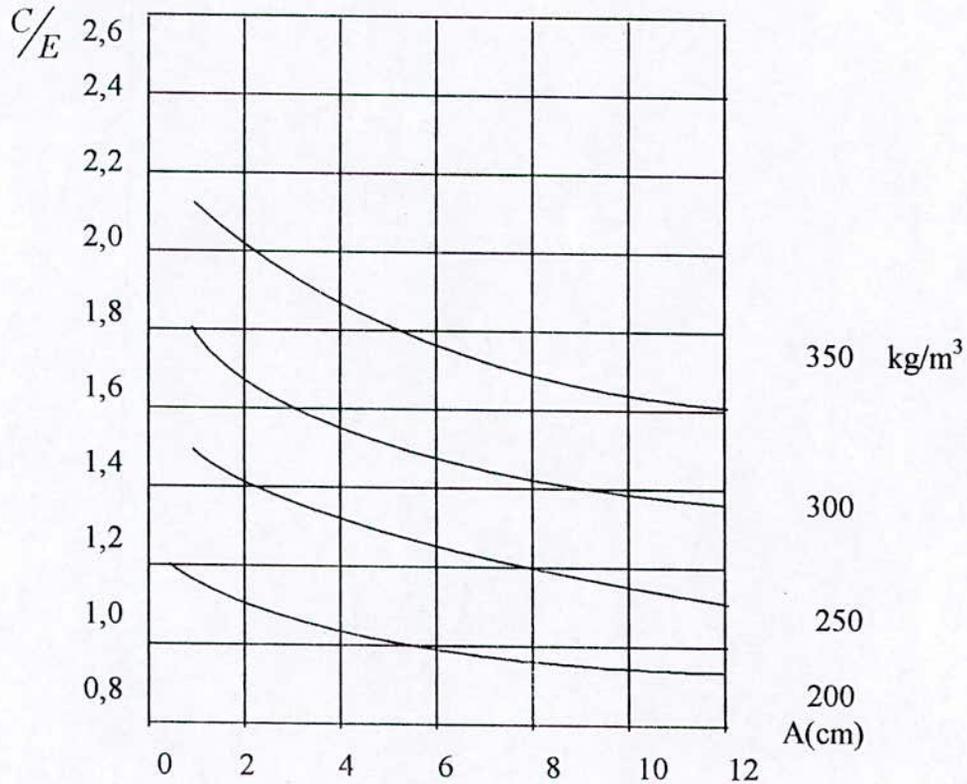


Fig.22.

La quantité d'eau de gâchage s'en déduit alors immédiatement . Elle sera ultérieurement corrigée expérimentalement pour obtenir la plasticité désirée (affaissement A au cône).

Toutefois , pour une appréciation un peu moins aléatoire , on fera une première correction en fonction de la dimension des granulats, pour tenir compte de leur surface spécifique, en appliquant la correction indiquée au tableau n°15.

En effet , les données précédentes sont plus particulièrement applicables aux bétons pour lesquels la dimension maximale des granulats est environ $D=25$ mm (dimension la plus courante).

Si l'on a $D < 25$ mm la surface spécifique des granulats augmente et , à plasticité équivalente, il faudra légèrement majorer le dosage en eau , et vice versa.

Tableau n° 15- Correction sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats (si D ≠ 25 mm)							
Dimension maximale D des granulats (mm)	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage en eau (%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Dosage en eau réel .

La quantité d'eau totale (sur matériaux supposés secs) étant ainsi approximativement déterminée, on obtiendra la quantité d'eau à ajouter sur les granulats humides en déduisant l'eau d'apport (contenue dans les granulats) ; cette appréciation est une difficulté sur le chantier et la meilleure façon de respecter le dosage en eau totale est de réaliser la plasticité prévue par l'affaissement au cône.

IV.10.4.Courbe granulaire de référence :

Cette courbe correspondant au mélange des granulats (sable + graviers ; mais ciment non compris) peut être schématisée suivant une ligne brisée tracée sur un graphique granulométrique normalisé ; son origine basse est à 0% de tamisat pour la dimension 0,08 mm correspondant théoriquement aux plus petits grains de sable , et son extrémité haute à 100% pour la dimension D correspondant aux plus gros granulats utilisés (voir figure n° 23 ; exemple).

Son point de brisure a pour coordonnées :

$$X = \begin{cases} D/2 & \text{si : } D \leq 20 \text{ mm .} \\ \text{Milieu du segment } d=5\text{mm et } D ; & \text{si } D \geq 20 \text{ mm .} \end{cases}$$

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$$

Avec : K coefficient à choisir dans le tableau n°16 .
 K_s coefficient tenant compte du module de finesse du sable M_f ; K_s = 6M_f - 15
 K_p coefficient de pompabilité pour le cas ou le béton doit être de qualité pompable ; on peut prendre en général : K_p = +5 à +10 (%) .

Tableau n° 16 : Valeurs du coefficient K .

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment Kg/m ³	400 + fluid ¹	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

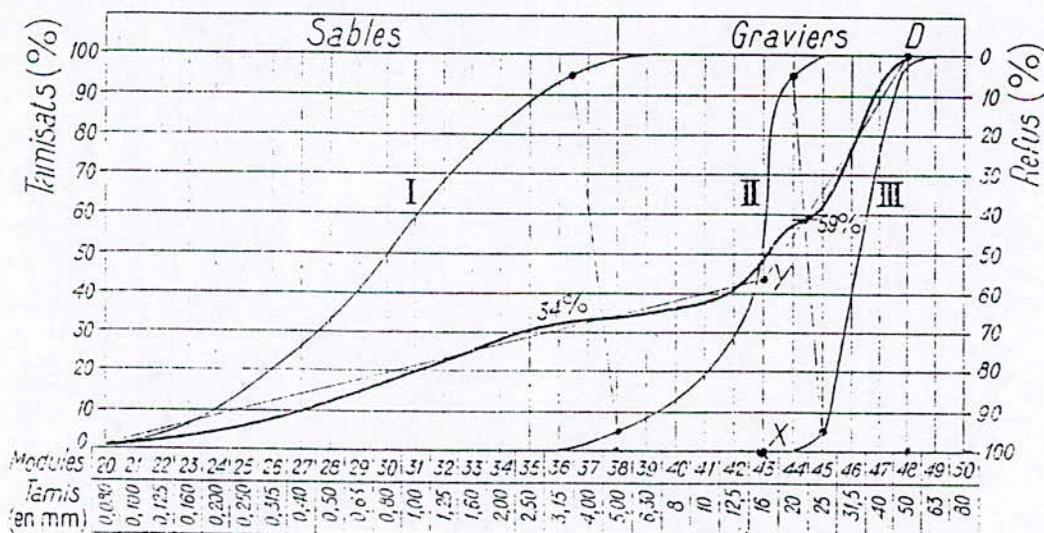


Fig.23 : Représentation des courbes granulaires des trois granulats utilisés .La courbe de référence est la ligne brisée OYD et la courbe en trait fort est celle du mélange granulaire proposé.

IV.10.5. Proportion des granulats.

Sur le même graphique , on trace les courbes granulaires des différents granulats à utiliser. Les droites joignant le point à 95% (tamisât) d'un granulat au point à 5% du granulat suivant (et ainsi de suite) sont appelées lignes de partage . Les points d'intersection des lignes de partage successives donnent en cumulés les pourcentages correspondant aux différents granulats successifs. Il s'agit de pourcentages en volumes absolus dans l'unité de volume de béton frais en œuvre après serrage.

IV.10.6. Masse des granulats.

Il convient alors de faire appel à la notion de « coefficient de compacité » du béton. On définit celui-ci comme le rapport entre la somme des volumes absolus des constituants solides (granulats et ciment) et le volume de béton correspondant en œuvre que l'on prend ici égal à 1000 litres.

$$\text{On a donc :} \quad \gamma = \frac{Vg + Vc}{1000}$$

Avec Vg et Vc volumes absolus (en litres) des granulats d'une part et du ciment d'autre part dans un mètre cube de béton en œuvre .

La connaissance du dosage en ciment C déjà fixé permet le calcul de Vc en supposant que la masse volumique du ciment est de 3,1 kg/litre. Le choix de la valeur de γ dans le tableau n° 17, permet de calculer le volume absolu Vg de l'ensemble des granulats .

La connaissance du pourcentage de chacun d'eux permet alors de calculer leurs volumes absolus respectifs en litres pour un mètre cube de béton en œuvre. La connaissance de la masse volumique de chacun d'eux dans la formule de composition qui est alors complètement définie et qui , par addition des masses des différents constituants, donne la masse volumique théorique du béton frais en œuvre Δ_0 en kg/m^3 .

Tableau n° 17 : Valeurs du coefficient de compacité.

Consistance	Serrage	Dimension D des granulats en mm						
		D = 5	D = 10	D = 16	D = 25	D = 40	D = 63	D=100
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

NOTA :

1. Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés, si non il conviendra d'apporter les :

- ❖ Sable roulé et gravier concassé = -0,01.
- ❖ Sable et gravier concassé = -0,03.

2. Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de γ qui correspondent ici à des granulats denses ordinaires.

Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ Kg/m}^3$ on apportera le terme correctif suivant : $\frac{C - 350}{5000}$

IV.10.7. Tests pour mise au point de la formule de composition :

Il convient de tester expérimentale cette formule considérée comme une première approche et de l'ajuster, si nécessaire, en fonction des qualités souhaitées pour le béton

- **Dosage en eau :** On l'ajustera de manière à obtenir un béton de la plasticité désirée sans hésiter à corriger l'évaluation primitive en fonction de C/E ; toutefois, en cas de correction importante, il conviendra de corriger également le dosage en ciment pour maintenir la valeur prévue de C/E.
- **Ajustage au mètre cube :** La formule calculée peut ne pas correspondre exactement à un mètre cube de béton en œuvre après serrage te c'est portant le but à obtenir. On le vérifiera en fabriquant quelques éprouvettes vibrées dans

les conditions normalisées et dont la pesée permettra de déterminer la masse volumique réelle Δ du béton frais en œuvre .

La composition de Δ et Δ_0 permet l'ajustage de la formule au mètre cube , en apportant sur la masse totale des granulats la correction :

$$x = 1000(\Delta - \Delta_0) \text{ en kg .}$$

Cette correction (x) en plus ou en moins ; sera répartie sur chacun des granulats en fonction de leurs pourcentages respectifs .

- **Résistance** : La vérification que la résistance moyenne souhaitée sera bien obtenue ne peut se faire qu'à 28 jours sur éprouvettes conservées dans des conditions normalisées , à moins d'utiliser des tests accélérées .

CHAPITRE V :

**Etude de la
Méthode de
Composition de
Bolomey**

V.1.Les données de l'étude :

- Courbes granulométriques des granulats secs : voir figure 24.
- Masses volumiques (absolues et apparentes) des granulats et du ciment :

Tableau n°18.

	Masse volumique absolue Kg/dm ³	Masse volumique apparente Kg/dm ³
Ciment	3,1	1,00
Sable	2,5	1,44
Gravier	2,7	1,285

- Provenance des granulats : Concassés.
- Nature de béton cherché : béton pour béton armé, normalement ferrailé, pour ossature de bâtiment.
- Dosage en ciment : 350kg/m³ de béton en œuvre.

V.2.Détermination de la courbe optimale :

- Le tableau des valeurs de A(voir tableau n°12) donne : A = 12 à 14 ; on prend :

$$A = 13 ;$$

- Détermination de la valeur de D :

$$D = 20,3 \text{ mm ; (voir fig.24.)}$$

- L'équation de la courbe optimale :

$$P\% = A + (100 - A) \sqrt{d/D} .$$

$$P\% = 13 + (100 - 13) \sqrt{d/D} .$$

$$P\% = 13 + 87 \sqrt{d/D} .$$

Elle représente la droite qui passe par les points : (0 ; 13) et (20,5 ; 100) .
D'où la courbe , fig.24 .

V.3.Détermination des pourcentages des trois constituants :

Les trois constituants sont : ciment ; sable et gravier , qui permettant de faire un mélange sec dont la courbe granulométrique se rapproche autant que possible de la courbe optimale .

- **Le pourcentage de ciment :**

Nous cherchons : $C = \frac{\text{Masse du ciment}}{\text{Masse du total des éléments secs}} \times 100$

Pour un mètre cube de béton :

- Masse du ciment : C'est le dosage 350 kg ;
- Masse du total des éléments secs : Elle ne peut être déterminée a priori. Il faut donc faire une 1^{er} hypothèse (en fin d'étude , les corrections utiles seront faites) ;

L'expérience montre que , pour un mètre cube de béton , la masse totale des éléments secs , est de l'ordre de 2200 kg .

Nous établirons les calculs sur cette base :

$$C = \frac{350}{2200} \times 100 = 15,9 \%$$

- **Le pourcentage des granulats :**

Nous appliquerons la méthode graphique de JOISEL , qui à été présentée au chapitre IV Nous sommes dans le 1^e cas (juxtaposition de deux courbes) ; (voir fig.19).

Et la verticale a été placée convenablement. Cette verticale coupe la courbe optimale en un point M, qui, reporté en N sur l'échelle des pourcentages ; (voir fig.24), nous donne :

- \overline{ON} est le pourcentage du sable 0/8 plus ciment : $S + C = 68\%$.
- $N.100$ est le pourcentage du gravier 8/25 : $G = 32 \%$

Comme on a déjà : $C = 15,9 \%$;
On en déduit : $S = 52,1 \%$.

Donc on a un mélange sec composé de :

$$\left\{ \begin{array}{l} 15,9 \% \text{ de ciment .} \\ 52,1 \% \text{ de sable .} \\ 32 \% \text{ de gravier .} \\ \hline 100 \% ; \text{ Total des pourcentages en masse.} \end{array} \right.$$

V.4. Détermination de la courbe granulométrique du mélange sec envisagé , et la comparer à la courbe optimale :

V.4.1. Détermination de la courbe de mélange :

Les pourcentages de tamisât seront déterminés par le calcul .Préparons un tableau comportant une colonne par élément du mélange et une ligne par tamis , voir tableau n°19 ; indiquons dans la ligne correspondante les pourcentages à gauche , et calculons le tamisât de chaque élément à travers chaque tamis :

- Les 15,9 % de ciment passent à travers tous les tamis ; indiquons donc 15,9 dans chaque ligne .
- Pour le sable : reprenons la courbe granulométrique de la fig.1:
 1. Rien ne passe au tamis de 0,080 : zéro dans cette ligne .
 2. Au tamis de 0,16 , le tamisât est de 5,75% du sable , c'est-à-dire ici 5,75% de 52,1 , soit 2,99.
 3. Au tamis de 0,315 : de même , 13,50% de 52,1 = 7,03 .
 4. Et ainsi de suite , jusqu'au tamis de 2,50 , (85,20% de 52,1 = 44,4) .
 5. A partir du tamis de 8mm , tout le sable passe : 52,1 dans toutes les lignes .
- Pour le gravier : reprenons la courbe granulométrique de la fig.2 .
 1. De même pour le gravillon , (zéro jusqu'au tamis de 8mm).

Il ne reste plus qu'à faire le total de chaque ligne , (Tableau n°19) , totaux qui sont les ordonnées (tamisats) des points de la courbe du mélange envisagé ; (voir fig.24) .

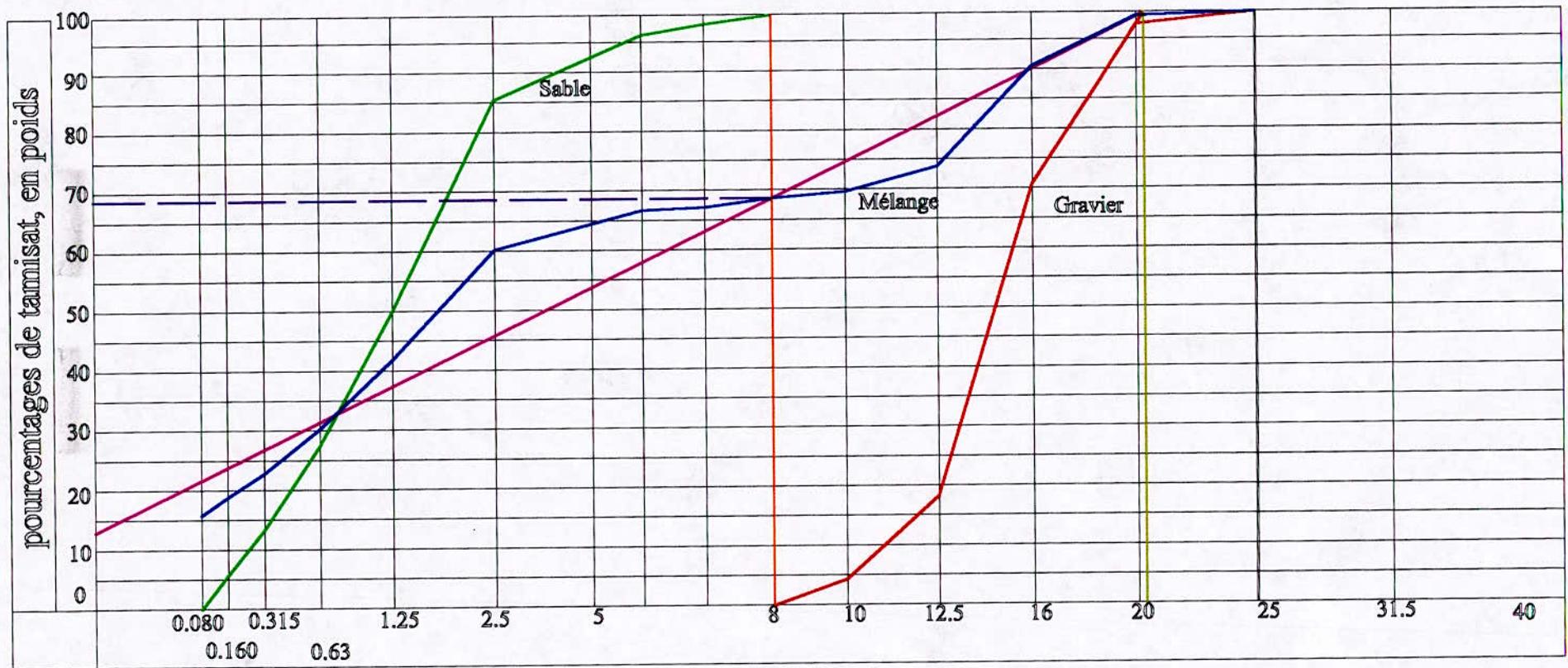


Fig. 24

Modules	Mailles des tamis	Ciment	Sable	Gravier	% tamisât en poids
45	25	15,9	52,1	32	100,0
44	20	15,9	52,1	31,36	99,36
43	16	15,9	52,1	22,78	90,78
42	12,5	15,9	52,1	5,76	73,76
41	10	15,9	52,1	1,47	69,47
40	8	15,9	52,1		68,00
39	6,3	15,9	51,24		67,14
38	5	15,9	50,35		66,25
35	2,5	15,9	44,38		60,28
32	1,25	15,9	26,02		41,92
29	0,63	15,9	14,33		30,23
26	0,315	15,9	7,03		22,93
23	0,160	15,9	2,99		18,89
20	0,080	15,9			15,90

V.4.2.Comparaison à la courbe optimale .

La courbe trouvée n'est pas une droite ; elle doit rapprocher la forme des courbes des granulats .Il y a donc des parties au-dessus de la courbe optimale , et des parties au-dessous .La courbe trouvée doit passer sensiblement par le point d'intersection de la courbe optimale et de la verticale de JOISEL .

D'ou , le résultat est considéré comme satisfaisant .Les pourcentages de constituants secs trouvés peuvent donc être retenus comme base de calculs .

V.5.Détermination de la composition d'un mètre cube de béton :

Cette composition devra indiquer la masse et le volume apparent de chacun des constituants d'un mètre cube de béton .

Or , nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que des éléments secs ; il reste à déterminer la quantité d'eau .

V.5.1. Détermination de la quantité d'eau dans un mètre cube de béton :

On sait :

- qu'il n'existe pas de méthode rigoureuse pour cette détermination ; il nous faudra donc faire une 2^e hypothèse :
- qu'un praticien expérimenté peut évaluer directement la quantité d'eau nécessaire , qu'une détermination expérimentale est aléatoire , et que le calcul peut donner un ordre de grandeur acceptable .

Le calcul n'est pas le même pour les petits constituants et pour les gros .

1. Petits constituants : $D < 0,16$ mm .

$$\text{Eau} = 0,23 \times P \quad ; \quad p : \text{masse à mouiller .}$$

Ciment : 350 Kg .

Sable : le tableau n° 1 (voir annexe) : Indique qu'il y en a 2,99% de 2200 Kg : 65,8 Kg .

$$\text{Total à mouiller } P = 350 + 65,8 = 415,8 \text{ Kg}$$

$$\text{La quantité d'eau est : } 0,23 \times 415,8 = 95,63 \text{ kg}$$

2. Gros éléments : $D \geq 0,16$ mm.

$$\text{Eau} = \frac{K.P}{1,17\sqrt[3]{d_1 d_2}} \quad (\text{formule de Bolomey}) ,$$

Avec : $K =$ constante , donnée par le tableau n°09 . On prend : $K = 0,1$.

$P =$ masse des matériaux à mouiller

$d_1 =$ diamètre des plus petits granulats à mouiller ($d_1 = 0,16$ mm)

$d_2 =$ diamètre des plus gros granulats à mouiller ($d_2 = 20,3$ mm)

Poids total des éléments secs : 2200 Kg .

Dont inférieurs à 0,16mm , (calcul ci-dessus) : 95,63 Kg .

Reste supérieurs ou égaux à 0,16 mm : $P = 2200 - 95,63 = 2104,37$ Kg

P : c'est la masse des matériaux à mouiller .

$$\text{Donc : Eau} = \frac{0,1 \cdot 2104,37}{1,17\sqrt[3]{0,16 \cdot 20,3}} = 102,64 \text{ Kg} .$$

3. Soit au total : $95,63 + 102,64 = 198,27$ Kg d'eau .

V.5.2. Pourcentage d'eau :

Calculons la quantité d'eau en pourcentage par rapport au total des éléments secs .

$$E = \frac{198,3}{2200} \times 100 = 9\%$$

La valeur du rapport C/E : $\frac{C}{E} = \frac{350}{198,3} = 1.76$

Remarque : on peut calculer aussi E en fonction de C/E comme suit :

$$E \equiv \frac{C}{\frac{C}{E}} = \frac{15,9}{1,76} = 9\%$$

V.5.3.Composition d'un mètre cube de béton :

Nous connaissons :

- La composition de (100+E) Kg de béton ;

$$C = 15,9$$

$$S = 52,1$$

$$G = 32$$

$$E = 9$$

$$\text{Total} = 109 \text{ Kg} .$$

- Le dosage imposé : 350 Kg de ciment par mètre cube de béton .
- Les masses volumiques absolues et apparentes des constituants .

Nous cherchons :

La composition en masse d'un mètre cube de béton .Il suffit pour cela de déterminer :

- La masse totale d'un mètre cube de béton .
- Le pourcentage en masse de chacun des constituants , eau comprise .

Masse totale d'un mètre cube de béton : C'est la masse volumique absolue du béton .
On l'obtient en divisant les 109 Kg par le volume absolu occupé par cette quantité de bton.

Les colonnes 1 à 4 du tableau n°20 , donnent ce volume (46,82 dm³) et la masse cherchée est (colonne 5) : 2,328 Kg/ dm³ , ou 2328Kg /m³ .

Pourcentage en masse de chacun des composants : il suffit de multiplier la masse de chaque constituant (colonne 3) par 100 / 109 .

D'ou les pourcentages de la colonne 6 .

- Composition en masses : c'est (colonne 7) la masse totale (2338 Kg) multiplier par les pourcentages calculés colonne 6 .
Le total de la colonne 7 doit être 2338 Kg .
- Composition en volumes apparents : Diviser les masses (colonne 7) par les masses volumiques apparentes (colonne 8) ; d'ou la composition cherchée (colonne 9) .

Tableau n° 21 : Calcul la composition théorique d'un mètre cube de béton .

Composants	Composants en poids	M . V absol-ues	Composants en vol. abs	M.V du béton kg/dm ³	Poids en %	Composition en poids	M.V apparentes	Comp. en. V.app
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			$2/3$	$\Sigma 2 / \Sigma 4$	$2 / \Sigma 2$	5×6		$7/8$
Ciment	15,9	3,1	5,13	2.328	14,6	(350) 340	1,0	350
Sable	52,1	2,5	20,84		47,8	1113	1,44	770
Gravier	32	2,7	11,85		29,35	683	1,285	530
Eau	9,0	1,0	9,0		8,26	192	1,0	192
Totaux	109		46,82		100	2338		

Observations :

1.Total des éléments secs égal à 2200 Kg (1^e hypothèse) .

Or, nous venons de trouver :

- Ciment : 350 Kg (imposé) .
- Sable : 1113 Kg (résultat) .
- Gravier : 683 Kg (résultat) .

2146 Kg .

2.Eau pour un mètre cube de béton : 198 Kg (2^e hypothèse); mais nous n'avons jusqu'ici aucun élément permettant de rectifier cette estimation .

Une nouvelle estimation , plus précise , sera fournie par la « gâchée d'essai » .

V.6.Gâchée d'essai :

But : Détermination de la quantité réelle d'eau de gachage .

Processus :

Introduire dans le malaxeur des quantités de constituants secs proportionnelles à ce que nous venons de calculer ; On prend :

- Ciment : $1/60$ de 350 kg = 6 Kg .
- Sable : $1/60$ de 1113 Kg = 19 Kg .
- Gravier : $1/60$ de 683 Kg = 12 Kg .

On met le malaxeur en route , et après mélange à sec , on ajoute progressivement de l'eau jusqu'à ce que la consistance voulue soit obtenue ; (Affaissement égal à 7cm) .

On pesé 10 Kg de l'eau .

Après mouillage du béton , il reste 6,52 Kg d'eau . Alors : pour $1/60$ de un mètre cube de béton ,on a utilisé : $10 - 6,52 = 3,48$ Kg d'eau

Il suffit donc , pour un mètre cube de béton : $3,48 \times 60 = 209$ Kg d'eau .Alors que, nous avions envisagé 198 Kg seulement . L'erreur est donc de :

$$(209 - 198) = 11 \text{ Kg d'eau pour un mètre cube de béton .}$$

L'expérience montre que : $\Delta = |E_r - E_s|$

Avec : Δ = erreur absolue .
 E_r = la quantité d'eau réelle .
 E_s = la quantité d'eau supposée .

Si : $\Delta = |E_r - E_s| \leq 5 \text{ Kg} / \text{m}^3$ de béton \Rightarrow les résultats trouvées peuvent être conservés sans modification .

Si : $\Delta = |E_r - E_s| > 5 \text{ Kg} / \text{m}^3$ de béton \Rightarrow il faut recommencer le calcul de la composition d'un mètre cube de béton , en rectifiant les deux hypothèses faites .

VI.7.Reprise des calculs :

Les pourcentages de ciment et d'eau deviennent , respectivement :

$$C = \frac{350}{2146} = 16,3\%$$
$$E = \frac{209}{2146} = 9,7\%$$

Et le calcul est celui du tableau n°21 .

Tableau n°21.

Composants	Composants en poids	m.v absolues	Composants en V. abs	m.v du béton Kg/dm ³	Poids en %	Composition en poids	m.v apparent	Comp. en v.app
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			2/3	$\Sigma 2/\Sigma 4$	2/ $\Sigma 2$	5×6		7/8
Ciment	16,3	3,1	5,26	2.309	14,85	(350) 344	1,0	350
Sable	51,7	2,5	20,68		17,12	1088	1,44	755,55
Gravier	32	2,7	11,85		29,17	673,053	1,285	524,14
Eau	9,7	1,0	9,7		8,84	(209) 192	1,0	209,0
Totaux	109,7		47,50		100	2321,0		

VI.8.Résultats :

Le chantier recevra le tableau suivant :

Composants	Quantités pour un mètre cube de béton	
	En masse	En volume apparent
Ciment	350 Kg	350 dm ³
Sable sec	1088 Kg	755,55 dm ³
Gravier sec	673,53 Kg	524,14 dm ³
Eau (sur éléments secs)	209 Kg	209 dm ³
Total	2321 Kg	

CHAPITRE VI :

**Etude de la
Méthode de
Composition de
Faury**

VI.1. Processus d'étude de la méthode de Faury:

VI.1.1. Données :

(Ces données correspondent toujours à des granulats secs.)

- Courbes granulométriques des granulats : voir fig.24.
- Masses volumiques (absolue et apparente) des granulats et du ciment :

Tableau n°23.

Constituants	Masse volumique absolue (kg / dm ³)	Masse volumique apparente (kg / dm ³)
Ciment	3.1	1.00
Sable	2.5	1.44
Gravier	2.7	1.28

- Provenance des granulats : concassé
- Nature du béton cherché : béton pour béton armé, normalement ferrailé, pour ossature de bâtiment.
- Dosage en ciment : 350 kg/ m³ de béton en œuvre.

VI.1.2. Dètermination de la courbe optimale :

VI.1.2.1. Dètermination des coordonnés de différents points :

$$A : \begin{cases} X = 0.005 \text{ mm} \\ Y = 0 \end{cases}$$

$$B : \begin{cases} X = D/2 \\ Y = A + 17.8 \sqrt[3]{D} \end{cases} + \frac{B}{R} - \frac{0.75}{1.25D}$$

$$C : \begin{cases} X = D \\ Y = 100\% \end{cases}$$

• **Dètermination de la valeur de D :**

D est la dimension du tamis qui serait tout juste suffisant pour laisser passer la totalité du granulat. La valeur de D est définie par :

$$D = d_{n-1} \left(1 + \frac{X}{2Y} \right)$$

X : le refus sur l'avant dernier tamis d_{n-1} .

Y : le pourcentage de granulat qui traverse d_{n-1} , mais qui reste sur le tamis $d_{n-1} / 2$.

O n se référant au chapitre IV, fig. 18, on aura :

$$\begin{cases} X=2\% \\ Y = 100 - 4.6 - 2 = 93.4\% \end{cases}$$

D'où :

$$D = 20 \left(1 + \frac{2}{2 \times 93.4} \right)$$

$$D = 20.2\text{mm}$$

• **Dètermination de la valeur de rayon moyen du moule R :**

On tenant compte de la relation suivante :

$$0.8 < 1.25 \frac{D}{R} < 1$$

On prend **R=27mm**

• **Dètermination de la valeur de A :**

Le tableau n°13, dans le chapitre IV, indique que :

La valeur de A est comprise entre 32 et 34. A défaut d'indications plus précises on prend :

$$\mathbf{A=33}$$

• **Dètermination de la valeur de B :**

Etant donné quand on n'est pas dans le cas d'un serrage particulièrement énergique. On prend :

$$\mathbf{B=1.5}$$

On remplaçant les valeurs de A, B, R et D dans les formules précédentes, on obtient :

$$A: \begin{cases} X = 0.005\text{mm} \\ Y = 0 \end{cases} \quad B: \begin{cases} X = 10.1\text{mm} \\ Y = 70.2\% \end{cases}$$

$$C: \begin{cases} X = 20.2\text{mm} \\ Y = 100\% \end{cases}$$

VI.1.3. Dètermination des pourcentages C, S et G :

VI.1.3.1. Cas du ciment :

$$C = \frac{\text{Volume absolu du ciment}}{\text{Volume absolu du total des éléments secs}} \times 100$$

Pour 1 m³ de béton, on a :

$$\text{Volume absolu du ciment} = \frac{\text{Masse de ciment (le dosage)}}{\text{Masse volumique absolue du ciment}}$$

$$= \frac{350}{3.1} = 113 \text{ dm}^3$$

$$\text{volume absolu des éléments secs} = 1000 \text{ dm}^3 - \text{volume de l'eau}$$

Il nous faudra encore faire une hypothèse quant à la quantité d'eau. prenons la même valeur trouvée dans la méthode de Bolomey : 198 kg alors :

$$\text{Volume des éléments secs} = 1000 - 198 = 802 \text{ dm}^3$$

$$\text{D'où : } C = \frac{113}{802} = 14 \%$$

VI.1.3.2 Cas des granulats :

D'après la méthode graphique de Joisel on a :

$$\begin{aligned} S+C &= 67.5\% \\ C &= 14\% \end{aligned} \Rightarrow S = 53.5 \%$$

$$S + C + G = 100\% \Rightarrow G = 32.5 \%$$

Alors le mélange sec est composé de :

14 % de ciment
53.5 % de sable
32.5 % de gravier

VI.2 Dètermination de la courbe granulométrique du mélange projeté, et comparaison la courbe optimale.

Les pourcentages de tamisât seront déterminés par le calcul, sans qu'il soit nécessaire de faire une nouvelle analyse granulométrique.

Préparons pour la commodité des calculs, un tableau comportant une ligne par tamis et une colonne par élément du mélange. Indiquons dans la ligne correspondante les pourcentages ci-dessus. Et calculons le tamisât de chaque èlème à travers chaque tamis.

On se réfère aux courbes granulométriques des Figures :1 et 2, on obtient le tableau ci-dessous :

Tableau n° 24 .

Mailles des tamis	Ciment	Sable	Gravier	Pourcentage
25	14	53.50	32.5	100
20	14	53.50	31.85	99.35
16	14	53.50	23.14	90.64
12.5	14	53.50	5.85	73.35
10	14	53.50	1.49	68.99
8.0	14	53.50		67.50
6.3	14	52.61		66.61
5.0	14	51.70		65.70
2.5	14	45.58		59.58
1.25	14	26.75		40.75
0.625	14	14.71		28.71
0.315	14	7.22		21.22
0.16	14	3.07		17.07
0.08	14			14.00

La courbe reportée sur le graphique, figure 25, suit la courbe optimale de façon satisfaisante, et les pourcentages C, S et G proposés peuvent être adoptés.

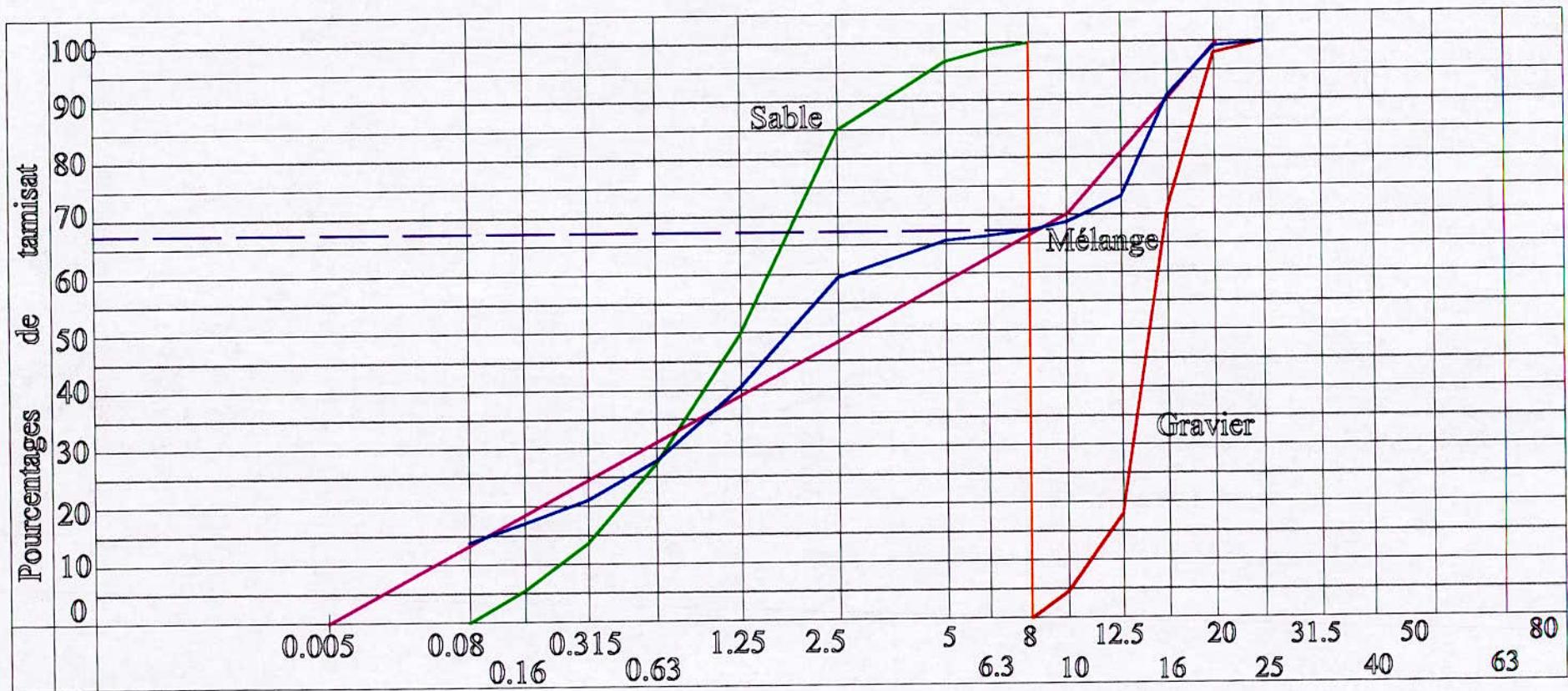


Fig. 25

VI.3. Détermination de la composition d'un mètre cube de béton:

Nous avons fait l'hypothèse de 198 l d'eau par m³ de béton.

Nous connaissons la composition de 100 dm³ des éléments secs (VI.1.3.2 ci-dessus).

Or, dans 1 m³ de béton, il y a 1000- 198 =802 dm³ d'éléments secs. on aura donc aisément la décomposition de ces 802 dm³ en multipliant les quantités correspondant à 100 dm³ par 802/100 =8.02 ; si, à cette décomposition on ajoute les 198 dm³ d'eau, on a bien 1 m³ de bétons : voir Tableau II, colonnes 1 à 4.

De cette décomposition en volumes absolus, il est facile de déduire la composition en masses (colonnes 5 et 6), puis en volumes apparents (colonnes 7 et 8).

Tableau n°25 :calcul de la composition du beton.

Composants	%	1000-EAU	Volumes absolus	Masses volumiques absolues	Composition en masses	Masses volumiques apparentes	Comp. en V. app.
		100					
1	2	3	4	5	6	7	8
			2×3		4×5		6/7
Ciment	14	8.02	112.42	3.1	(350) 348.5	1.05	350
Sable	53.5	8.02	429.6	2.5	1074	1.44	732
Gravier	32.5	8.02	261	2.7	704.7	1.28	565
Eau	—	—	198	1.00	198	1.00	198
Totaux	100	—	1000	—	2326.7	—	—

VI.3.1 Gâchée d'essai :

La gâchée d'essai à pour but de déterminer la quantité réelle d'eau de gachage. Pour cela on prend :

$$\begin{aligned}\text{Ciment} &: (1/60) \text{ de } 350 \text{ kg} = 6\text{kg} \\ \text{Sable} &: (1/60) \text{ de } 1074\text{kg} = 18\text{kg} \\ \text{Gravier} &: (1/60) \text{ de } 704.7 \text{ kg} = 12\text{kg}\end{aligned}$$

On met le malaxeur en route ; et après mélange à sec, on ajoute progressivement de l'eau ; jusqu'à ce que la consistance voulue, soit obtenue :

On pèse 10 kg d'eau.

Après mouillage du béton, il reste 6.52 kg d'eau, alors :

Il faut pour (1/60) de m^3 de béton utiliser : $10 - 6.52 = 3.48 \text{ kg d'eau}$.

Il faut donc pour 1 m^3 de béton : $3.48 \times 60 = 209 \text{ kg} = 209 \text{ l}$.

Alors que nous avons envisagé 198 kg d'eau seulement, l'erreur est donc de 11 kg par mètre cube de béton.

La valeur absolue de la différence entre la quantité d'eau réelle et la quantité d'eau supposée étant supérieur à $5 \text{ kg} / \text{m}^3$ de béton, il faut recommencer le calcul de la composition d'un mètre cube de béton ; on rectifiant les deux hypothèses faites auparavant.

VI.3.1.1 Reprise des calculs :

Le volume absolu des éléments secs est :

$$1000 - 209 = 791 \text{ dm}^3$$

Le pourcentage de ciment :

$$C = \frac{113}{791} = 14.3 \%$$

Le pourcentage de sable :

$$\text{puisque : } S + C = 67.5 \% \Rightarrow S = 67.5 - 14.3 = 53.2 \%$$

Le gravier ne change pas.

Tableau n°26 : calcul de la composition du beton.

Composants	%	1000-eau	Volume Absolu	Masse Volumique absolue	Composition en masse	Masse Volumique apparente	Composition en volume apparent
		100					
1	2	3	4	5	6	7	8
			2×3		4×5		6/7
Ciment	14.3	7.91	113.11	3.1	350	1.05	350
Sable	53.2	7.91	420.81	2.5	1052	1.44	730.55
Gravier	32.5	7.91	257.07	2.7	694	1.28	540.07
Eau	—	—	209	1.0	209	1.00	209
Totaux	—	—	1000	—	2305	—	—

CHAPITRE VII :

**Etude de la
Méthode de
Composition de
Vallette**

VII.1.Rappel du schéma du processus d'étude :

- Préparer un mortier plein au minimum de ciment.
- Introduire dans ce mortier le plus possible de gravillon, compte tenu du mode de mise en place et du ferrailage prévu.
- A partir du béton ainsi constitué, au dosage minimal, on calculera la composition du béton au dosage imposé (imposé par un cahier des charges ou des nécessités techniques).

Puisque la proportion de gravier reste maximale, le volume absolu du mortier ne doit pas changer : on doit compenser le ciment ajouté en enlevant du sable. Mais, à quantité égale, le ciment exige plus d'eau de mouillage que le sable ; il faut donc aussi, quand on ajoute du ciment on ajoute de l'eau.

L'étude sera faite à partir de : **2 kg de sable**
5 kg de gravier

VII.2.Données de l'étude :

- Béton pour béton armé courant.
- Sable et gravier concassés (courbes granulométriques, voir figures n°1 et 2)
- Dosé à 350 kg de ciment par mètre cube de béton en œuvre.
- Masses volumiques absolues et apparentes des granulats et du ciment :

Tableau n°27.

Composants	Masse volumique absolue Kg / dm ³	Masse volumique apparente Kg / dm ³
Ciment	3,1	1,00
Sable	2,5	1,44
Gravier	2,7	1,28

VII.3.Confection d'un mortier plein.

Pour cela il faut connaître :

- Le volume des vides du sable.
- La quantité du ciment qui permet de faire un volume de pâte correspondant à ces vides.

VII.3.1.Détermination des vides du sable.

Dans le mortier le sable est mouillé : ce sont donc les vides du sable mouillé qui nous intéressent.

Pour un corps granulaire quelconque, on appelle :

$$\text{Compacité} = \sigma = \frac{\text{Volume absolu}}{\text{Volume apparent}} \quad (\text{d'une même quantité de ce corps}).$$

$$\text{Coefficient de vides} = V = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume apparent}}$$

Or, quel que soit ce corps :

$$\text{Volume des vides} = \text{volume apparent} - \text{volume absolu}$$

D'où :

$$\frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume apparent}} = 1 - \frac{\text{Volume absolu}}{\text{Volume apparent}}$$

C'est -à-dire :

$$V = 1 - \sigma$$

Ou, pour le sable mouillé :

$$V_{sm} = 1 - \sigma_{sm}$$

Il faut donc déterminer σ_{sm} .

Rappelons :

$$\sigma_{sm} = \frac{\text{Volume absolu du sable mouillé}}{\text{Volume apparent du sable mouillé}}$$

C'est - à - dire :

$$\sigma_{sm} = \frac{\text{Volume absolu du sable sec} + \text{volume d'eau de mouillage}}{\text{Volume apparent du sable mouillé}}$$

L'expérience montre que, pour l'application de la méthode de Vallette (mais il faut prendre garde à ne pas généraliser cette simplification), on peut négliger le foisonnement des matériaux, et assimiler le volume apparent d'un matériau mouillé au volume apparent de ce matériau sec. Nous ne préciserons donc plus s'il s'agit du volume apparent du corps sec ou du corps mouillé. Dans ces conditions :

$$\sigma_{sm} = \frac{\text{Volume absolu du sable sec}}{\text{volume apparent du sable}} + \frac{\text{Volume eau de mouillage}}{\text{Volume apparent du sable}}$$

Ce qui peut s'écrire :

$$\sigma_{sm} = \sigma_{ss} + e_{vs}$$

avec :

- σ_{ss} : compacité du sable sec.
- e_{vs} : eau de mouillage de l'unité de volume du sable.

VII.3.1.1.Détermination de σ_{ss} et e_{vs} :

Détermination de σ_{ss} :

On sait que :

$$\sigma = \text{compacité} = \frac{\text{Masse volumique apparente}}{\text{Masse volumique absolue}}$$

Dans notre cas :

$$\sigma_{ss} = \frac{\text{Masse volumique apparente du sable sec}}{\text{Masse volumique absolue du sable sec}}$$

• **Détermination de e_{vs} :**

Rappelons que :

$$e_{vs} = \frac{\text{Eau de mouillage (en litre ou en kg)}}{\text{Volume apparent du sable}}$$

$$\text{Volume apparent du sable} = \frac{\text{Masse du sable sec}}{\text{Masse volumique apparente du sable sec}}$$

D'où :

$$e_{vs} = \frac{\text{Eau de mouillage}}{\text{Masse du sable sec}} \times \text{masse volumique apparente du sable sec}$$

$$e_{vs} = e_{ps} \times \text{masse volumique apparente du sable sec}$$

e_{ps} : eau de mouillage par unité de volume

VII.3.1.2. Détermination de e_{ps} :

Le problème n'a pas de solution rigoureuse. Analogie avec ce qui a été dit pour les méthodes de Bolomey et Faury (eau de gâchage). Il faudra faire une hypothèse, qu'on rectifiera par la suite. On aura une première approximation :

- Soit en se basant sur l'expérience de l'opérateur ;
- Soit en utilisant la formule de Bolomey ;
- Soit en humidifiant une petite quantité de sable (indépendante des 2000g préparés pour l'expérience).

VII.3.2.Détermination d'eau de mouillage pour la quantité de sable préparée pour l'expérience :

Dans notre cas on utilise la méthode de bolomey ;
D'après le tableau n° 1 (annexe A) on a :

- Pour $D \leq 0,16$ mm, 115 g du sable $\Rightarrow E_1 = 115 \times 0,23 = 26,45$ g
- Pour $D > 0,16$ mm, $2000 - 115 = 1885$ g du sable $\Rightarrow E_2 = \frac{0,1 \times 1885}{1,17 \times \sqrt[3]{0,16 \cdot (8)}} = 148,38$ g

D'ou :

$$E_t = E_1 + E_2 = 26,45 + 148,38 = 175 \text{ g}$$

Pour mouiller 2000 g de sable, il faut utiliser 175 g d'eau, alors ;

$$e_{ps} = \frac{0,175}{2.000} = 0,0875$$

$$e_{vs} = 0,0875 \times 1,44 = 0,126$$

Par ailleurs :

$$\sigma_{ss} = \frac{1,44}{2,50} = 0,576$$

$$\sigma_{sm} = \sigma_{ss} + e_{vs}$$

Donc :

$$\sigma_{sm} = 0,576 + 0,126 = 0,702$$

et :

$$V_{sm} = 1 - 0,702 = 0,298 \text{ (valeur provisoire)}$$

VII.3.3.Détermination du rendement du ciment :

Soit la compacité du ciment σ_{cm} :

$$\sigma_{cm} = \frac{\text{Volume absolu du ciment mouillé}}{\text{Volume apparent du ciment mouillé}}$$

Or :

Volume absolu du ciment mouillé = Volume de la pâte pure faite avec ce ciment.

Volume apparent du ciment mouillé = Volume apparent du ciment.

Donc :

$$\sigma_{cm} = \frac{\text{Volume de pâte pure}}{\text{Volume apparent du ciment}}$$

Ou :

Volume de pâte pure = $\sigma_{cm} \times$ volume apparent du ciment.

Puisque, le volume apparent du ciment = 1, alors : Volume de pâte pure = σ_{cm}

Donc :

1 litre apparent du ciment + e_{vc} eau $\rightarrow \sigma_{cm}$ litre pâte pure.

σ_{cm} : est le rendement du ciment, qu'il faut déterminer.

$$\sigma_{cm} = \frac{\text{Volume absolu du ciment mouillé}}{\text{Volume apparent du ciment}}$$

Volume absolu du ciment sec + volume d'eau de mouillage

$$\sigma_{cm} = \frac{\text{Volume absolu du ciment sec + volume d'eau de mouillage}}{\text{Volume apparent du ciment}}$$

$$\sigma_{cm} = \frac{\text{Volume absolu du ciment sec}}{\text{Volume apparent du ciment}} + \frac{\text{volume d'eau de mouillage}}{\text{volume apparent du ciment}}$$

Donc :

$$\sigma_{cm} = \sigma_{cs} + e_{vc}$$

De la même manière que pour le sable, on montre que :

$$\sigma_{cs} = \frac{\text{Masse volumique apparente du ciment}}{\text{Masse volumique absolu du ciment}}$$

$$e_{vc} = e_{pc} \times \text{masse volumique apparente du ciment.}$$

VII.3.3.1. Détermination de e_{pc} :

On a empiriquement :

$$e_{pc} = E/C - 0,03$$

Le rapport E/C est déterminé par l'essai de consistance, et le terme correctif (-0,03) vient de ce qu'une partie de l'eau ajoutée au ciment a servi à mouiller le bol et le batteur du malaxeur, le moule, etc ...

Dans notre cas, l'essai de consistance a donné : E/C = 0,275.

Alors :

$$e_{pc} = 0,275 - 0,03 = 0,245 \quad \Rightarrow \quad e_{pc} = 0,245$$

$$e_{vc} = 0,245 \times 1,0 = 0,245 \quad \Rightarrow \quad e_{vc} = 0,245$$

$$\text{Comme : } \sigma_{cs} = 1/3,1 = 0,323$$

On aura :

$$\sigma_{cm} = \sigma_{cs} + e_{vc} = 0,245 + 0,323 = 0,568$$

VII.3.4.Détermination du minimum de ciment :

Le minimum de ciment, est la quantité de ciment qui permet de faire juste assez de pâte pour boucher les vides de 2000 g de sable.

Pour faire σ_{cm} litre absolu de pâte pure, il faut 1 litre. apparent de ciment.

Pour faire 1 l. absolu de pâte pure, il faut $\frac{1}{\sigma_{cm}}$ litre. apparent de ciment.

Pour faire V_{sm} l. absolu de pâte pure, il faut $\frac{V_{sm}}{\sigma_{cm}}$ litre. apparent de ciment.

Ceci pour 1 litre apparent de sable, dont les vides sont V_{sm} . Pour une quantité différente de 1 litre. (dans notre cas : 2kg), il faut multiplier par le volume par le volume apparent du sable utilisé :

$$\text{Volume apparent minimum de ciment} = \frac{V_{sm}}{\sigma_{cm}} \times \text{volume apparent du sable sec.}$$

On multiplie Le résultat obtenu, par la masse volumique apparente du ciment, pour avoir la masse minimale de ciment.

Dans notre cas :

$$\text{Volume apparent de 2kg de sable sec} = \frac{2,000}{1,44} = 1,38 \text{ dm}^3$$

$$\text{Minimum de ciment} = \frac{0,298}{0,568} \times 1,38 = 0,728 \text{ l. apparent ;}$$

$$\text{La masse minimale de ciment : } 0,728 \times 1,00 = 0,728 \text{ kg ou 728 g.}$$

Mais nous avons fait une hypothèse, sur la quantité d'eau de mouillage du sable, alors il faut faire un essai, pour la rectifier.

VII.3.5.Essai de mortier plein : (voir photo n°8)

On ajoute aux 2000g de sable sec 728g de ciment (le minimum calculé).

On pèse une quantité d'eau nettement supérieure à celle qui sera vraisemblablement nécessaire au gâchage. Comme :

- Eau présumée de mouillage du sable : 175 g
- Eau de mouillage du ciment : $728 \times 0,245 = 178 \text{ g}$

Total prévisible : 353 g.

On pèsera, par exemple, 500g d'eau

On ajoute de l'eau au mélange (sable + ciment), puis on remplit le moule tronconique. Si le mortier présente une surface lisse et légèrement brillante, sans ressuée d'eau, et à la pression du doigt, il se produit une déformation de l'ensemble, on arrête l'essai, et on pèse la quantité d'eau qui reste.

Dans notre cas :

- Eau pesée : 500g
- Eau non utilisée : 158 g
- Eau utilisée : $500 - 158 = 342$ g
- Eau pour mouillage du ciment : 178 g
- Reste : $342 - 178 = 164$ g
- Déduire pour humidifications diverses (malaxeur, ...) : 10 g
- Soit pour mouillage du sable : $164 - 10 = 154$ g

Pour le mouillage du sable il nous faut 154g au lieu de 175g. Il faut donc rectifier.

VII.3.6.Détermination du minimum de ciment rectifié :

Vraie valeur de e_{ps} :

$$e_{ps} = \frac{0,154}{2,000} = 0,077$$

D'où :

$$e_{vs} = 0,077 \times 1,44 = 0,11$$

Donc :

$$\sigma_{sm} = 0,576 + 0,11 = 0,686$$

Vraie valeur de V_{sm} :

$$V_{sm} = 1,000 - 0,686 = 0,314$$

Le minimum de ciment devient :

$$\text{Min.de.C} = \frac{0,314}{0,568} \times 1,38 = 0,762 \text{ litres. Apparent.}$$

Soit :

$$0,762 \times 1,00 = 0,762 \text{ kg ou } 762 \text{ g.}$$

Mais cette valeur est le minimum absolu, au – dessous duquel on ne peut pas descendre sans créer de vides dans le mortier. Comme diverses causes amènent toujours certaines parties à être moins dosées que d'autre (malaxage insuffisant, pertes de laitance au cours de transport ou de mise on œuvre ...), il est donc indispensable d'appliquer un coefficient de sécurité pour avoir la certitude que le mortier sera plein dans toutes ses parties : on ajoutera 10%, et le minimum de ciment définitif sera :

$$\text{Min. de C} = 0,762 + 0,0762 = 0,838 \text{ kg .}$$

VII.4.Recherche du béton plein au dosage minimal :

Le but de cette recherche est d'introduire dans le mortier plein le plus possible de gravier .Bien entendu , les graviers seront humides : on cherche d'abord la quantité d'eau de mouillage .

VII.4.1.Détermination de la quantité d'eau de mouillage de gravier :

On prépare 5000g de graviers secs , les mouiller avec soin (aspersion et brassage), jusqu'à ce que l'eau forme une pellicule brillante à la surface , sans excès d'eau nulle part .

- Poids du gravier mouillé : 5047 g
- Poids du gravier sec : 5000 g
- Eau de mouillage de 5000 g de gravier : $5047 - 5000 = 47 \text{ g}$

D'ou :

$$e_{pg} = \frac{47}{5000} = 0,0094$$

$$e_{vg} = 0,0094 \times 1,28 = 0,012$$

VII.4.2.Détermination de la quantité de gravier:

Dans la pratique , on utilise parfois le mortier qui a été fait lors de l'essai de mortier plein . Il est préférable de corriger ce mortier , en lui ajoutant :

$$\text{Ciment : } 838 - 728 = 110\text{g}$$

$$\text{Eau : } 110 \times 0,245 = 27 \text{ g}$$

Pour simuler la réalité d'aussi près que possible , on doit fabriquer un moule représentant , en grandeur réelle , une partie complexe de l'ouvrage à exécuter , et y placer le ferrailage correspondant .(Voir photo n° 9)

On place le mortier dans ce coffrage ferrailé , et on introduit le plus possible de graviers mouillés .On arrête cet essai lorsque la partie supérieure du béton ne comporte plus de laitance , sans qu'une partie des graviers ne reste à la surface sans pouvoir y pénétrer (Voir photos n° 10et11).

- Poids total de gravier mouillé : 5047 g
- Poids de gravier mouillé restant : 2865 g
- Poids du gravier mouillé utilisé : $5047 - 2865 = 2182$ g

Soit le gravier sec :

$$P_{gs} = \frac{P_{gm}}{1 + e_{pg}} = \frac{2182}{1 + 0,0094} = 2162 \text{ g}$$

VII.4.3.Détermination de la quantité d'eau :

C'est le total de :

- Eau de mouillage du sable : 154 g
- Eau de mouillage du ciment : $838 \times 0,245 = 205$ g
- Eau de mouillage du gravier : $2162 \times 0,0094 = 20$ g
- La quantité totale d'eau : 379g

VII.5.Calcul du béton :

Nous savons qu'il est possible de faire un échantillon de béton avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} 838 \text{ g de ciment} \\ 2000 \text{ g de sable} \\ 2162 \text{ g de gravier} \\ 379 \text{ g d'eau .} \end{array} \right.$$

Il suffit de calculer les volumes absolus occupés par ces constituants , et de ramener leur total à 1000 litres : voir colonnes 1 à 5 du tableau n° 28 .

Les compositions en poids et en volumes apparents s'en déduisent immédiatement : Colonnes 6 à 8 du même tableau .

VII.5.1. Béton au dosage imposé :

Le béton dont nous venons de déterminer la composition comporte une quantité de ciment tout juste suffisante pour éliminer les vides des granulats utilisés . Donc :

- Si le dosage imposé est inférieur au dosage minimal, il ne sera pas possible d'obtenir un béton plein à l'aide des granulats prévus . Donc :
- Si le béton doit être plein , il faut ajouter un sable fin de correction (tâtonnements) et refaire l'étude avec les nouveaux granulats.
- Si le béton peut ne pas être plein , on adoptera le dosage imposé . Mais il faudra tenir compte que le volume de béton obtenu sera inférieur à 1 m^3 : on devra ajouter du sable . Et la quantité d'eau devra diminuer .
- Si le dosage imposé est supérieur au dosage minimal , il faut retrancher du sable et ajouter de l'eau.

VII.5.2. Correction sur le sable :

Le volume absolu du sable ajouté sera égal au volume absolu du ciment enlevé (pour que le volume de mortier ne change pas) . Soit C_1 = le dosage minimal (en volume apparent) et C le dosage imposé (en volume apparent) .

Le volume apparent du ciment enlevé : $(C_1 - C)$.

Le volume absolu de la pâte pure correspondante : $(C_1 - C) \sigma_{cm}$

Pour un volume apparent de sable ajouté S_1 , le volume absolu est : $S_1 \times \sigma_{sm}$.

Ecrivons l'égalité de ces volumes absolus :

$$(C_1 - C) \times \sigma_{cm} = S_1 \times \sigma_{sm}$$

D'où :

$$S_1 = \frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{sm}} \times (C_1 - C) .$$

Soit :

$$S_1 = K (C_1 - C)$$

avec

$$K = \frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{sm}}$$

A chaque fois qu'on enlèvera 1 dm^3 de ciment , on devra ajouter $K \text{ dm}^3$ de sable .

Dans notre cas :

$$K = \frac{0,568}{0,686} = 0,827 .$$

Le dosage imposé est de 350 kg par mètre cube de béton , soit $350/ 1,00 = 350 \text{ dm}^3$ apparents :

$$C_1 - C = 372 - 350 = 22 \text{ dm}^3 .$$

Il faudra ajouter : $22 \times 0,827 = 18 \text{ dm}^3$ apparents de sable , et le béton définitif comportera :

$$616 + 18 = 634 \text{ dm}^3 \text{ de sable}$$

$$\text{où : } 634 \times 1,44 = 913 \text{ kg} .$$

VII.5.3. Correction sur l'eau :

Ciment enlevé : $(C_1 - C)$ litres apparents .

Eau de mouillage correspondante : $(C_1 - C) e_{vc}$

Sable ajouté : $K (C_1 - C)$ litres apparents .

Eau de mouillage correspondante : $K (C_1 - C) e_{vs}$.

Il faut enlever E_1 , différence entre ce qui est nécessaire au ciment enlevé et ce qui a été mis pour le sable ajouté . Soit :

$$\begin{aligned} E_1 &= (C_1 - C) e_{vc} - K (C_1 - C) e_{vs} \\ &= (C_1 - C) (e_{vc} - K e_{vs}) . \end{aligned}$$

Ou :

$E_1 = K' (C_1 - C)$	avec	$K' = e_{vc} - K e_{vs}$
----------------------	------	--------------------------

Donc : a chaque fois qu'on enlèvera 1 dm^3 de ciment , on devra ajouter $K \text{ dm}^3$ de sable , et enlever à $K' \text{ dm}^3$ d'eau .

Dans notre cas :

$$K' = 0,245 - 0,827 \times 0,126 = 0,14$$

Il faudra enlever : $0,14 \times 22 = 3,08 \text{ dm}^3$ d'eau , et le béton définitif comportera :

$$168 - 3 = 165 \text{ l d'eau ;}$$

$$\text{Soit : } 165 \times 1,0 = 165 \text{ kg} .$$

VII.6.Gâchée d'essai :

Elle est moins indispensable que pour les méthodes de Bolomey et Faury, elle est néanmoins très souhaitable, et sera conduite dans les mêmes conditions.

En principe la composition finale du béton est celle qui est présentée au tableau n°28 et ne nécessite aucune autre correction selon Vallette. Comme cette composition à donnée, au test de plasticité, un béton ferme, qui est d'ailleurs un résultat attendu dans la méthode de Vallette, nous avons jugé utile de réaliser une gâchée d'essai afin de ramener la plasticité du béton à 7cm à l'instar des autres méthodes sur les mêmes bases.

La gâchée d'essai a donné un dosage en eau au mètre cube de béton égal à :

$$E = 240 \text{ litres.}$$

VII.7.Composition de béton retenue :

La composition pondérale retenue dans un mètre cube de béton est la suivante :

Ciment : 350 kg

Sable : 913 kg

Gravier : 961 kg

Eau : 240 kg

Total : 2464 kg.

Tableau n°28 : calcul de la composition du béton.

Nature	Poids	Masse Vol Abs	Vol Abs	Vol Abs	Comp En Poids	Masse Vol App	Comp. En Vol App	Correction			
								+/-	Vol App Corr	Poids Au m ³	Vol Abs
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			2/3	4/Σ4	5×3		6/7		8×9	10×7	11/3
Ciment	838	3.1	270	120	372	1.00	372	-22	350	350	113
Sable	2000	2.5	800	355	887	1.44	616	+18	634	913	365
Gravier	2162	2.7	801	356	961	1.28	751	0	751	961	356

CHAPITRE VIII :

**Etude de la
Méthode de
Composition de
Dreux-Gorisse**

VIII.1. Enoncé :

Composer un béton pour lequel les caractéristiques souhaitées sont :

- Dimension maximale D des granulats : $D = 25\text{mm}$.
- La résistance souhaitée R_{28}' (rupture en compression à 28 jours sur éprouvettes cylindriques) : $R_{28}' = 28\text{ Mpa}$.
- L'ouvrabilité désirée : est fixée par l'affaissement A à obtenu par l'essai au cône $A = 7\text{ cm}$ (vibration normale) .
- Courbes granulométriques des granulats secs : sable 0/8 dont le module de finesse est 3,23 et gravier 8/25 dont les courbes sont données sur la figure .
- Provenance des granulats : Concassés .
- Les masses volumiques sont pour le sable 0/8 : 2,50 Kg/ Litre , et pour le gravier 8/25 : 2,7 Kg/Litre .
- Le ciment est un CPJ de classe 45 Mpa .

VIII.2. Détermination du dosage en ciment et en eau :

Application de la formule du chapitre IV (méthode de Dreux-Gorisse) .

$$R_{28}' = G \cdot \sigma_c' (C/E - 0.5)$$

Nous prendrons $G \approx 0,50$ (granulats de bonne qualité) ;(Voir tableau n° 14)

$$28 = 0,50 \times 45 (C/E - 0,5)$$

- **Le dosage en ciment :**

L'abaque de la fig.22 , indique (pour une plasticité de 7 cm et un C/E de 1,74) , un dosage en ciment de 350 Kg/ m^3 .

$$\text{D'ou : } C/E = 1,74 .$$

- **Le dosage en eau :**

serait , en première approximation, de , $350/1,74 \cong 201\text{ Litres}$

La correction sur le dosage en eau est 0% , car $D = 25\text{ mm}$ (voir tableau n° 15)

$$\text{D'ou : } E = 201\text{ Litres} .$$

VIII.3. Représentation de la courbe granulaire de référence :

D'abord on représentera des courbes granulaires des deux granulats utilisés (sable 0/8 et gravier 8/25 ; mais ciment non compris) ; sur un graphique granulométrique normalisé.

Et en suite on représentera la courbe granulaire de référence correspondant au mélange des granulats qui peut être schématisée suivant une ligne brisée tracée sur le même graphe (voir fig. 26) .

Son origine basse est à 0% de tamisât pour la dimension 0,080 mm, correspondant théoriquement aux plus petits grains de sable.

Et son extrémité haute à 100% pour la dimension $D = 25$ mm , correspondant aux plus gros granulats utilisés.

Son point de brisure a pour coordonnées :

- X = est au milieu du segment , comprise entre 5 mm et 25 mm , soit à 11,5 mm .
- $Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$.

Avec : $K = 2$; (voir tableau n° 16) .

$$K_s = 6 \times M_f - 15 = 6 \times (3,23) - 15 = 4,38 .$$

$$K_p = 0 .$$

Donc : $Y = 50 - 5 + 2 + 4,38 = 51$ % .

VIII.4. Proportion des granulats :

La ligne de partage entre les deux granulats s'obtient en joignant le point 95% de la courbe du sable au point 5 % de la courbe de gravier .

Le point de rencontre de la ligne de partage avec la courbe de référence donne le partage des pourcentages de sable et de gravier :

- Pourcentage de sable : 46 % .
- Pourcentage de gravier : 54 % .

VIII. 5. Détermination de la courbe granulométrique du mélange sec envisagé , et comparaison à la courbe granulaire de référence :

Les pourcentages de tamisât seront déterminées par le calcul , comme il a été dans le cas des méthodes de Bolomey et Faury . (voir tableau n°29).

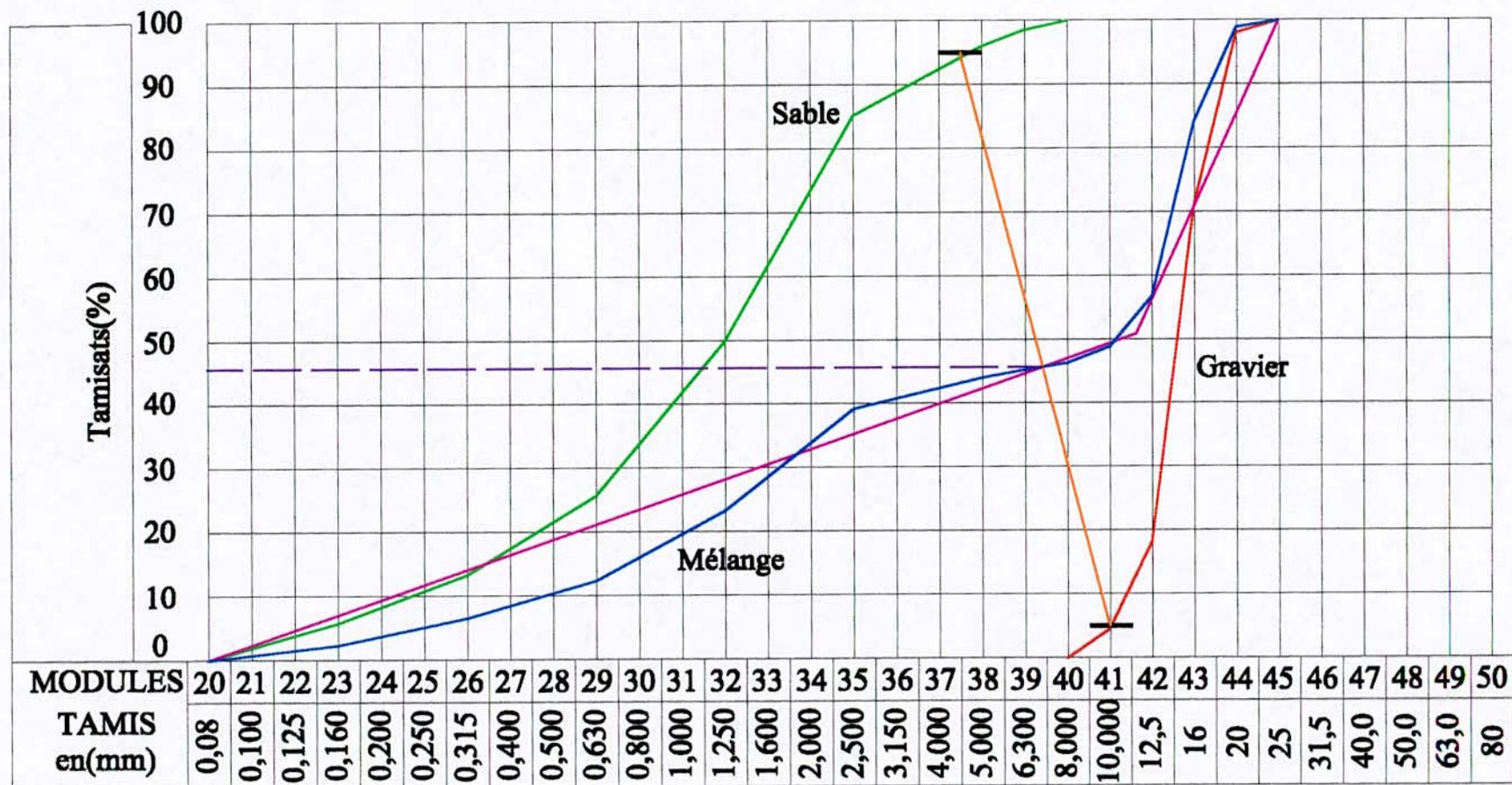


Fig. 26

Tableau n°29 : calcul de la courbe d'un mélange.

Modules	Mailles de tamis	Sable	Gravier	% de tamisats en poids
45	25,0	46	54	100,0
44	20,0	46	52,92	98,92
43	16,0	46	38,45	84,45
42	12,5	46	9,72	55,72
41	10,0	46	2,48	48,48
40	8,00	46		46,00
39	6,30	45,24		45,24
38	5,00	44,46		44,46
35	2,50	39,19		39,19
32	1,25	22,98		22,98
29	0,63	12,65		12,65
26	0,315	6,21		6,21
23	0,160	2,64		2,64
20	0,080	0.0		0.0

On remarque bien que la courbe du mélange sec envisagé passe par le point de rencontre de la ligne de partage avec la courbe de référence. Ceci montre bien que notre construction graphique est satisfaisante.

VIII.6. Détermination de volume absolu des granulats :

Pour une consistance plastique avec vibration normale et $D = 25\text{mm}$ le tableau n°17 nous donne un coefficient de compacité de $\gamma = 0.825$.

Cependant, comme les granulats utilisés sont concassés, on doit tenir compte de la correction à apporter dans ce cas.

Finalement on aura :

$$\gamma = 0.825 - 0.03 = 0.795$$

Les volumes absolus des constituants secs sont les suivants :

$$\text{Volume total absolu} \rightarrow V_g + V_c = 1000. \gamma = 795 \text{ l.}$$

$$\text{Volume absolu du ciment} \rightarrow V_c = 350 / 3.1 = 113 \text{ l.}$$

$$\text{Volume absolu des granulats} \rightarrow V_g = 795 - 113 = 682 \text{ l.}$$

$$\text{Volume absolu du sable} \rightarrow V_s = 0.46 V_g = 0.46 \times 682 = 313.72 \text{ l}$$

$$\text{Volume absolu du gravier} \rightarrow V_G = 0.54 V_g = 0.54 \times 682 = 368.28 \text{ l.}$$

$$\text{Total (vérification)} = 682,0 \text{ L.}$$

Remarque :

On vérifie bien que $V_g = V_s (\text{sable}) + V_G (\text{gravier}) = 313.72 + 368.28 = 682 \text{ l.}$

VIII.7. Formule de composition théorique pondérale :

Les densités absolues sont : sable = 2,50 ; gravier = 2,70 .

Les dosages en matériaux secs seront donc en Kg :

Sable :	$313,72 \times 2,5 = 784,3$
Gravier :	$368,28 \times 2,7 = 994,356$
Ciment :	350
Eau (totale sur matériaux secs) :	201
Densité théorique du béton frais en œuvre Δ_0 :	$2329,656 \text{ Kg/m}^3$

VIII.8. Tests pour mise au point de la formule de composition :

Il convient maintenant de tester expérimentalement cette formule considérée comme une première approche et de l'ajuster , si nécessaire, en fonction des qualités souhaitées pour le béton . Pour cela réalisons une gâchée d'essai

Introduire dans le malaxeur des quantités de constituants secs proportionnelles à ce que nous venons de calculer ; On prend :

$$\begin{aligned} \text{Ciment} &: 1/60 \text{ de } 350 \text{ Kg} = 6 \text{ Kg} . \\ \text{Sable} &: 1/60 \text{ de } 784,3 \text{ Kg} = 13 \text{ Kg} . \\ \text{Gravier} &: 1/60 \text{ de } 994,356 \text{ Kg} = 17 \text{ Kg} . \end{aligned}$$

On met le malaxeur en route , et après mélange à sec , on ajoute progressivement de l'eau jusqu'à ce que la consistance soit obtenue (Affaissement au cône d'Abrams égal à 7 cm .).

On pesé 10 Kg d'eau .

Après mouillage , il reste 6,7 Kg d'eau ; Alors : pour 1/60de mètre cube de béton , on utilise : $10 - 6,7 = 3,3$ Kg d'eau .

Il suffit donc , pour un mètre cube de béton : $3,3 \times 60 = 198$ Kg d'eau .

Alors que nous avons envisagé 201 Kg seulement .L'erreur est donc de 3 Kg d'eau pour un mètre cube de béton .L'expérience montre que :

Si la valeur absolu de la différence entre la quantité d'eau réelle et la quantité d'eau supposée n'est pas supérieure à 5 Kg /m³ de béton , les résultats trouvés peuvent être conservés sans modification .

VIII.9. Résultats de calcul :

Le chantier recevra le tableau suivant :

Tableau n° 30.

Composants	Quantités pour un mètre cube de béton	
	En masse	En volume apparent
Ciment	350 Kg	350 dm ³
Sable	784,3 Kg	544,653 dm ³
Gravier	994,356 Kg	773,82 dm ³
Eau (sur éléments sec)	201 Kg	201 dm ³
Total	2329,656 Kg	

CHAPITRE IX :

Composition du Béton selon la Méthode de Chantier

IX.1 . Introduction :

La composition du béton telle qu'elle est formulée dans les chantiers, n'obéit que rarement aux études théoriques et expérimentales à l'instar des méthodes de composition étudiées dans ce mémoire (Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse) .

C'est pourquoi , nous avons jugé utile , dans un but de comparaison avec les méthodes de composition étudiées , d'inclure une composition de béton établie à partir de la « méthode de chantier » , qui est une « méthode » tout à fait empirique , bien que le caractère empirique de celle-ci ne veut nullement dire qu'elle est dénuée de tout fondement expérimental .

IX.2. Proportions des constituants secs :

L'expérience du chantier enseigne que les proportions des éléments secs dans la gâchée sont :

- Ciment : 50 kg soit un sec de ciment .
- Sable : 100 kg soit une brouette de sable .
- Gravier : 216 kg soit deux brouettes de gravier .

IX.3. Gâchée d'essai :

Afin de se placer dans les mêmes conditions d'ouvrabilité que pour les méthodes de composition étudiées , c'est-à-dire l'obtention d'une plasticité de 7 cm au Slump-test, une gâchée d'essai a été réalisée , selon le même procédé que pour les méthodes de Bolomey, Faury.....

Le dosage en eau correspondant aux proportions des éléments secs indiqués précédemment est de :

Eau = 12,5 litres

IX.4. Composition d'un mètre cube de béton :

Le calcul qui mène à la composition pondérale d'un mètre cube de béton ainsi que le calcul intermédiaire figurent dans le tableau suivant :

Tableau n° 13								
Compo -sants	Compo -sants en poids	m.v absolu -es	Compo -snats en V _{abs}	m.v du béton	Poids en %	Compo -sition en poids	m.v apparentes	Composition en V _{app}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			2/3	$\Sigma 2/\Sigma 4$	$2/\Sigma 2$	5×6		7/8
Ciment	50	3,1	16,13	378/149=2,54 ou 2540kg/dm ³	13	330	1,0	330
Sable	100	2,5	40		26.5	673	1,44	467
Gravier	216	2,7	80		57.2	1453	1,28	1135
Eau	12,5	1,0	12,5		3.3	84	1,0	84
Totaux	378		149		100	2540		

Du tableau précédant, on tire la composition pondérale pour un mètre cube de béton .

- Ciment : 330 kg .
- Sable : 673 kg .
- Gravier : 1453kg .
- Eau : 84 kg .

Total : 2540 kg .

IX. 5. Rapport $\frac{E}{C}$.

Le rapport ($\frac{eau}{ciment}$) issu de cette composition est :

$$\frac{E}{C} = \frac{84}{330} = 0,25$$

On remarque que cette valeur est faible par rapport aux valeurs usuelles .

IX.6. Rapport $\frac{G}{S}$.

Le rapport ($\frac{\text{gravier}}{\text{sable}}$) qui découle de la composition précédente est :

$$\frac{G}{S} = \frac{1453}{673} = 2.16$$

CHAPITRE X :

**Etude Mécanique
du Béton des
Différentes
Compositions**

X.1.Rappel sur la résistance mécanique et la déformation du béton :

X.1.1.Résistance mécanique :

X.1.1.1.Résistance à la compression :

- **Résultats expérimentaux (observation) :**

L'essai est conduit jusqu'à écrasement entre deux plateaux d'une presse d'une éprouvette cylindrique.

Le diagramme effort-allangement présente l'allure suivante :

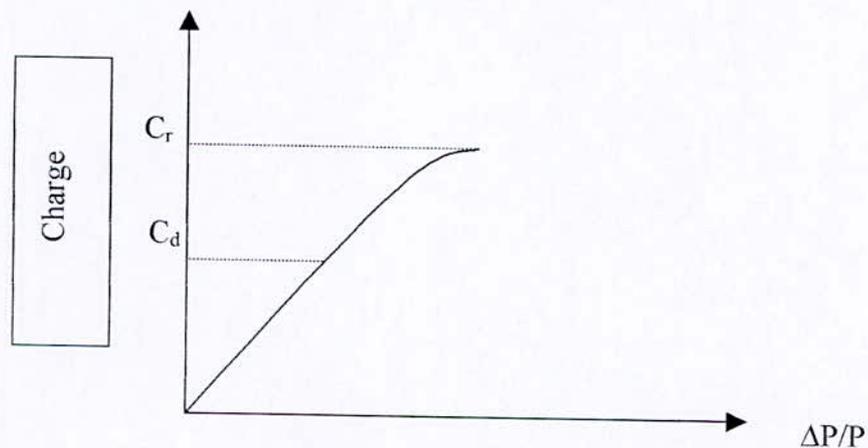


Fig.27.

Il n'y a pas de palier d'écrouissage et de limite d'élasticité repérable comme pour le diagramme de traction d'un acier doux. Toutefois divers phénomènes décelables en laboratoire mettent en évidence une charge C_d inférieure à la charge de rupture C_r est appelée charge de dislocation :

- Le coefficient de poisson ν qui reste à peu près constant et compris entre 0.20 et 0.30 jusqu'à C_d croit au-delà de cette charge pour atteindre 0.5 à rupture .
- La vitesse de transmission du son, mesurée normalement à l'effort de compression, constante au début de l'essai, croit à partir de C_d .
- « L'écoute » de l'éprouvette (microphone et amplificateur) se traduit tout d'abord par un bruit de fond auquel se superpose, toujours à partir de C_d , des craquements de plus en plus importants.
- Il y a apparition de microfissures qui se multiplient, se rejoignent et s'élargissent après C_d .

Le rapport C_d/C_r varie avec les bétons et les condition d'essai entre 0.50 et 0.75 .

Cette charge de dislocation C_d est vraisemblablement la même que la charge de rupture enregistrée sous sollicitations de très longue durée d'une part, suos sollicitations répétée d'autre part.

• **Facteurs influençant la résistance à la rupture :**

L'ensemble des facteurs influant sur la résistance à la rupture des bétons peuvent être en deux catégories :

- Ceux liés au prélèvement et au éprouvettes elles-mêmes tels que, l'âge, le mode de conservation, la forme et les dimensions des éprouvettes ainsi que leur état de surface...
- Ceux liés à la conduite de l'essai tels que : décentremets des éprouvettes, existence ou non de contraintes latérales, vitesse de mise en charge des éprouvettes, présence ou non d'efforts alternés, rigidité des machines d'essais...

• **Influence de la forme des éprouvettes:**

• **Influence du volume :**

Expérimentalement, on constate que les résistances sont d'autant plus élevées que les éprouvettes sont plus petites.

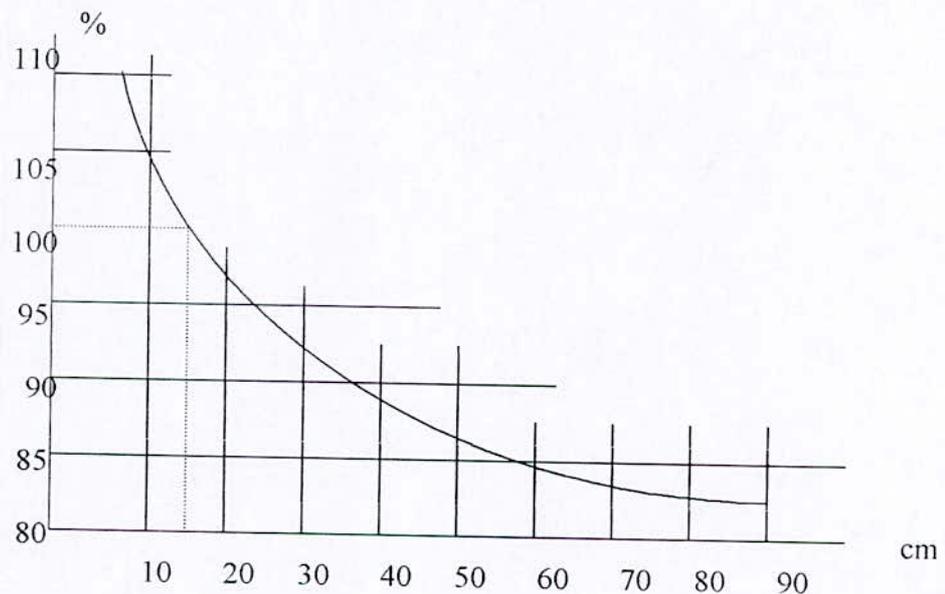


Fig.28 : essai de référence(cylindre de15cm de diamètre et 30 cm de hauteur)

Pourcentage de diminution de résistance en fonction du diamètre de l'éprouvette, par rapport à une éprouvette de référence.

Toutes les éprouvettes ont une hauteur $H=2d$.

• **Influence du rapport(hauteur/diamètre) :**

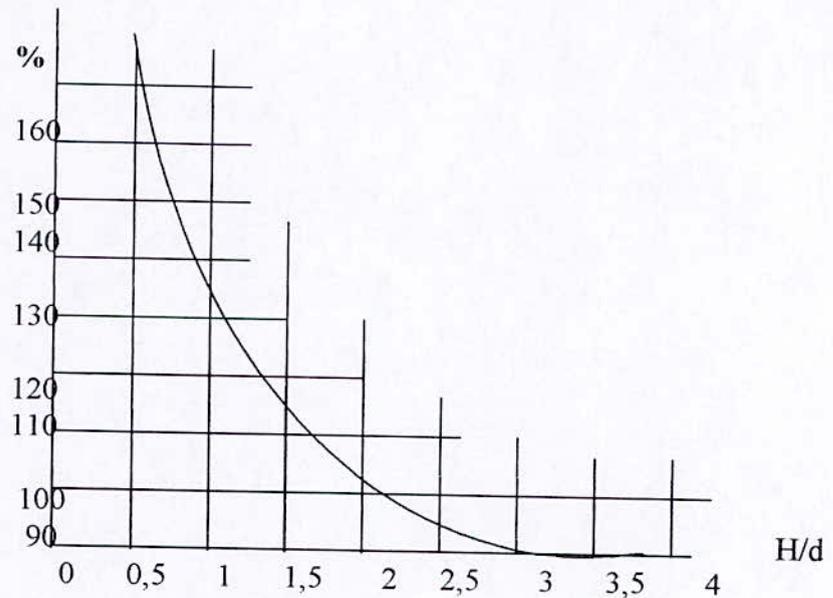


Fig.29

Les éprouvettes dont le rapport H/d est plus petit résistant mieux,

- Le flambage est moins important,
- L'effet du freinage est plus important,
- L'hétérogénéité a moins d'influence.

• **Influence de l'état de surface des éprouvettes:**

Les éprouvettes sont trop grosses pour que leurs faces soient rectifiées à la meule diamantée. Les éprouvettes cylindriques sont surfacées au soufre suivant la norme NF P 18-416.

• **Influence du décentrement:**

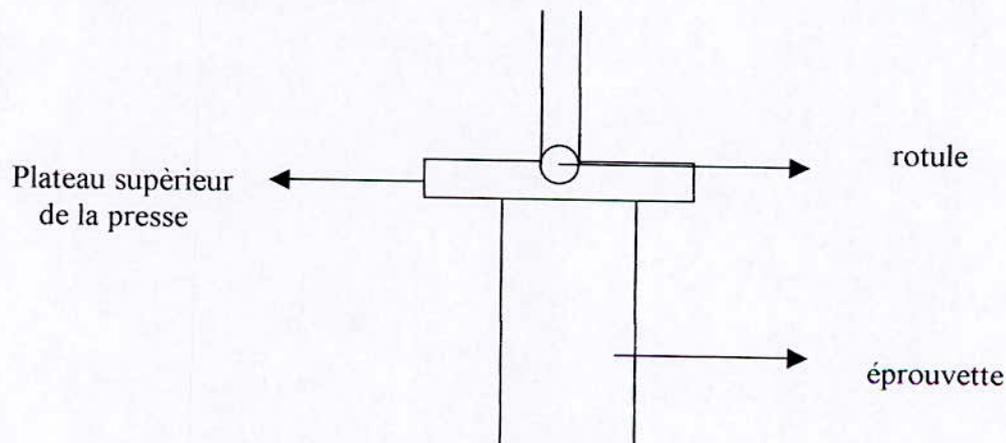


Fig.30.

Si l'erreur de centrage de l'éprouvette par rapport à l'axe de la rotule est α p 1 les résistances mécaniques trouvées sur cubes sont égales à :

$$R_d = R / (1+3P)$$

avec R : résistance fournie par le même cube correctement centré.

- **Influence d'une contrainte latérale :**

Un frettage latéral augmente la résistance en compression :

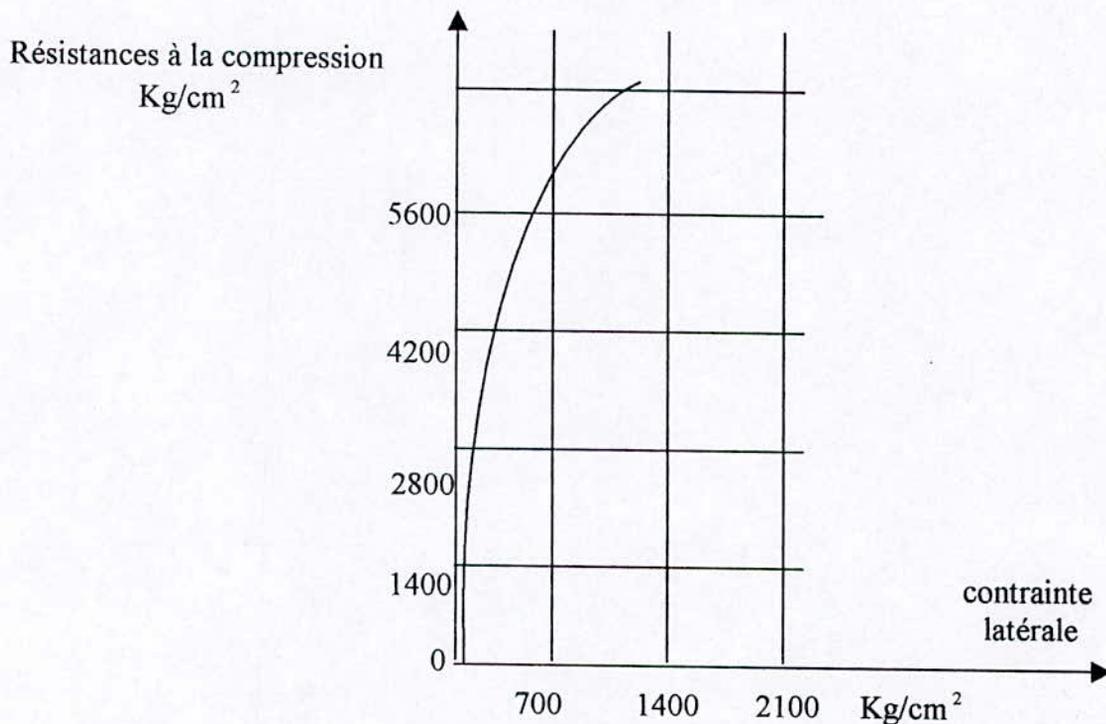


Fig.31.

- **Influence de la vitesse de mise en charge et d'efforts répétés :**

La charge de rupture augmente avec la vitesse de mise en charge. Une éprouvette constamment chargée présente une limite de rupture qu'elle aurait pour une vitesse de chargement habituelle.

Une éprouvette soumise à des efforts répétés voit sa résistance en compression, et en traction, diminuer de moitié.

X.2.Détermination des résistances mécaniques :

Les résistances mécaniques du béton peuvent être déterminées par des essais destructifs et par des essais non destructifs.

X.2.1.Essais destructifs :

X.2.1.1.Résistance à la compression :

Les essais de compression seront effectués sur des éprouvettes cylindriques normalisées $\phi 16 \times 32$ à l'aide d'une presse à deux plateaux. Voir photo n°.

La contrainte de la compression est : $\sigma = F / S$

F : la force appliquée sur l'éprouvette.

S : la surface de l'éprouvette.

Avant de faire cet essai, il y a plusieurs conditions doivent être remplies :

- Les faces de l'éprouvette qui sont au contact de la presse doivent être bien planes, et perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette.
- La ligne d'application de la force doit coïncider avec l'axe de l'éprouvette.
- La force appliquée doit croître régulièrement, ni trop vite ni trop lentement.

X.2.1.2.Résistance à la traction :

La résistance à la traction peut être réalisée par plusieurs essais :

- **En traction directe :** la mesure se fait par mise en traction de cylindre identique aux précédents mais l'essai est assez délicat à réaliser, car il nécessite après sciage des extrémités le collage des têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.



Fig.32.

- **En traction par fendage (essai brésilien) :** l'essai consiste à écraser entre les plateaux d'une presse un cylindre de béton normalisé suivant deux génératrices opposées. L'interprétation de cet essai conduit à :

$$\sigma_{if} = 2 \frac{P}{\pi . D . L}$$

- P : Effort total exercé par la presse.
D : diamètre du cylindre.
L : la longueur du cylindre.

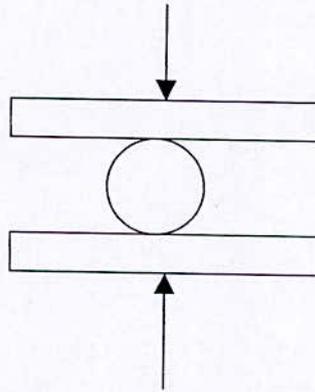


Fig.33.

- **En traction par flexion :** c'est l'essai le plus couramment utilisé. La mécanique indique que si, dans une section quelconque, s'exerce un moment M, les contraintes dans cette section sont données par la formule classique :

$$\sigma = \frac{M}{I/V}$$

I : le moment statique d'inertie de la section.

V : la distance du point considéré à l'axe.

Le processus de cet essai est :

L'éprouvette est encastree verticalement entre deux mâchoires , et l'on exerce une force à l'extrémité des bras. Pour toutes sections :

La contrainte de traction pure déterminée à partir de cet essai devient donc :

$$M=F.L \quad \text{et} \quad \frac{I}{V} = \frac{b^3}{6}, \quad \text{d'ou} \quad \sigma = 6 \frac{F.L}{b^3}$$

En tenant compte du coefficient réducteur 0,6 appliqué aux bétons :

$$\sigma = 3,6 \frac{F.L}{b^3}$$

Dans la pratique, F est créée par une masse mobile munie d'un index : à toutes positions de l'index correspond une valeur de F, donc une valeur de σ ; il suffit donc de graduer en bars le bras qui supporte la masse mobile, et de lire la contrainte lors de la rupture.

- **En traction par flexion centrée (fig.34.) :**

$$M = \frac{F}{2} \times \frac{L}{2} = \frac{F \times L}{4}, \quad \frac{I}{V} = \frac{b^3}{6}$$

$$\text{d'ou : } \sigma = \frac{3}{2} \times \frac{F \times L}{b^3}$$

Alors, il suffit de connaître F pour connaître σ .

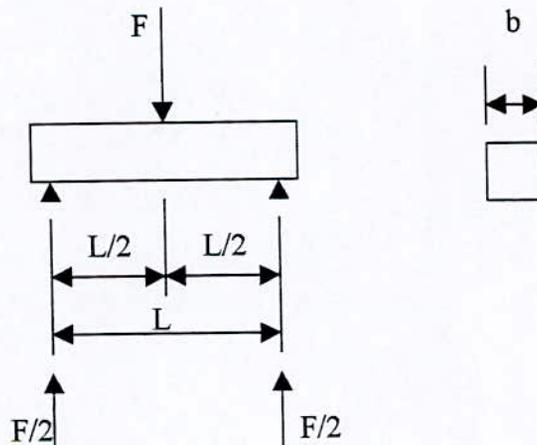


Fig.34.

Dans notre étude on a utilisé la traction par flexion sous moment constant .
Cet essai est réalisé sur le même principe que l'appareil de Michaelis, mais destiné aux éprouvettes prismatiques de béton.

Les éprouvettes sont posées symétriquement sur les appuis, suivant schéma de la figure

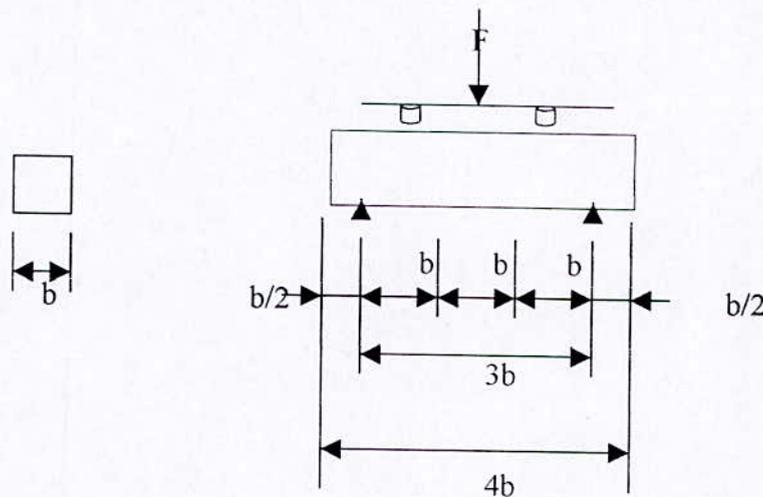


Fig.35.

La valeur de la contrainte est alors :

$$\sigma = 3F/b^2$$

En tenant compte du coefficient réducteur 0.6 appliqué aux bétons :

$$\sigma = 1.8 F/b^2$$

X.2.1.3.Résistance nominale et le nombre d'essai nécessaire :

Le règlement du béton armé définit la résistance nominale à n jours, σ'_n , d'un béton dont on possède des mesures en nombre suffisant comme la moyenne arithmétique de ces mesures diminuée de 8/10 de leur écart quadratique moyen.

Avec :

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

—
X : moyenne arithmétique des mesures X_i .
N : nombre de mesures.

Le CPC des ponts et chaussées fixe à 30 le nombre minimal d'éprouvettes nécessaires.

De nombreux essais effectués sur des lots homogènes ont montré que la distribution des fréquences des résistances mesurées obéit assez bien à la loi normale de Gauss.

La définition précitée de la résistance normale revient, pour un nombre important d'échantillon, à prendre la moyenne de la moitié inférieure des résultats d'essais.

L'effectif de l'échantillon dépend, pour les éprouves d'étude et de convenance, de la classe du béton et de la difficulté qu'il peut y avoir à obtenir les qualités prescrites. Il est en principe le suivant :

Tableau n°32.

	7 jours	28 jours
Béton courant.	2 à 3	6 à 9
Béton courant strictement Contrôlé.	4 à 6	12 à 18
Béton de qualité.	5 à 8	16 à 24
Béton exceptionnel.	10 et plus	30 et plus

Les effectifs portés au tableau s'appliquent aux éprouvettes de compression, de traction réglementaire (cylindre et prisme).

X.2.2 Essais non destructifs :

Le contrôle destructifs classique peut être complété par des essais non destructifs :

La mesure de la vitesse du son permet d'apprécier la résistance du béton, à condition d'avoir établi par des essais préalables effectués sur le béton en cause la relation entre les deux caractéristiques ; il n'existe pas en effet de corrélation entre vitesse du son et

résistance, valable pour tous les ouvrages. La méthode sonique permet par ailleurs de déceler les imperfections cachées, telles que vides internes hétérogénéités, etc...

La régularité du béton peut être appréciée au scléromètre Schmidt, appareil portatif qui mesure l'énergie de rebondissement sur le béton, d'une bille lancée à une vitesse constante par un ressort ; la disposition de cet essai est importante car la réaction de l'appareil n'est pas la même selon que la bille heurte un caillou, du mortier ou de la laitance.

X.3 Résultats des essais mécaniques :

La résistance du béton à la traction a été déterminée, pour chaque méthode de composition, selon le mode de traction par flexion sur 10 éprouvettes prismatiques 7×7×28 cm à 07 et 28 jours d'âge . Tandis que la résistance du béton à la compression a été aussi déterminée, pour chaque méthode de composition, selon le mode de la compression classique sur 10 éprouvettes cylindriques 16×32 cm à 07 et 28 jours d'âge .

Les résultats des résistances mécaniques sont présentées ci-après pour chaque méthode de composition étudiée .

X.3.1 Résultats des résistances mécaniques de la méthode de Bolomey :

Les résultats des résistances à la traction et à la compression à 07 et à 28 jours sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau n°33 :résultats à 07 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
170	177.5	11	11.5
185		12	

Tableau n°34° :résultats à 28 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
280	294	24.6	24
285		24.0	
280		23.2	
290		22.0	
295		24.8	
300		25.0	
310		23.0	
310		25.6	

X.3.1 Résultats des résistances mécaniques de la méthode de Faury :

Les résultats des résistances à la traction et à la compression à 07 et à 28 jours sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau n°35° :résultats à 07 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
180	182.5	11.8	11.6
185		11.4	

Tableau n°36 :résultats à 28 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
285	294	24.4	25
290		24.1	
285		24.1	
240		21.4	
295		24.7	
325		26.5	
310		25.6	
325		26.5	

X.3.3 Résultats des résistances mécaniques de la méthode de Vallette :

Les résultats des résistances à la traction et à la compression à 07 et à 28 jours sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau n°37°:résultats à 07 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
160	170	10.2	10.8
180		11.4	

Tableau n°38 : résultats à 28 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
290	276	24.4	23
230		25.6	
310		20.8	
230		20.8	
230		20.0	
280		25.6	
310		20.8	
330		23.0	

X.3.4 Résultats des résistances mécaniques de la méthode de Dreux-Gorisse :

Les résultats des résistances à la traction et à la compression à 07 et à 28 jours sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau n°39 : résultats à 07 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
130	172.5	13.5	11.8
215		10	

Tableau n°40 :résultats à 28 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
270	297	26.0	26
280		26.5	
270		24.0	
300		25.0	
310		27.0	
310		25.0	
315		27.0	
325		25.6	

X.3.3 Résultats des résistances mécaniques de la « méthode de Chantier » :

Les résultats des résistances à la traction et à la compression à 07 et à 28 jours sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau n°41:résultats à 07 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
182	183.5	12	12
185		12	

Tableau n°42 : résultats à 28 jours.

Essai de compression (daN/cm ²)		Essai de traction par flexion (daN/cm ²)	
Valeur de l'essai	Valeur moyenne	Valeur de l'essai	Valeur moyenne
265	290	22.0	23
250		24.0	
290		23.0	
300		21.0	
310		24.0	
310		25.0	
300		23.0	
300		20.0	

CHAPITRE XI:

**Etude
Comparative &
Conclusion**

Dans ce chapitre, nous allons reprendre les différents résultats obtenus lors des études des méthodes de composition réalisées séparément en vue de les regrouper ensemble afin d'établir une étude comparative entre elles.

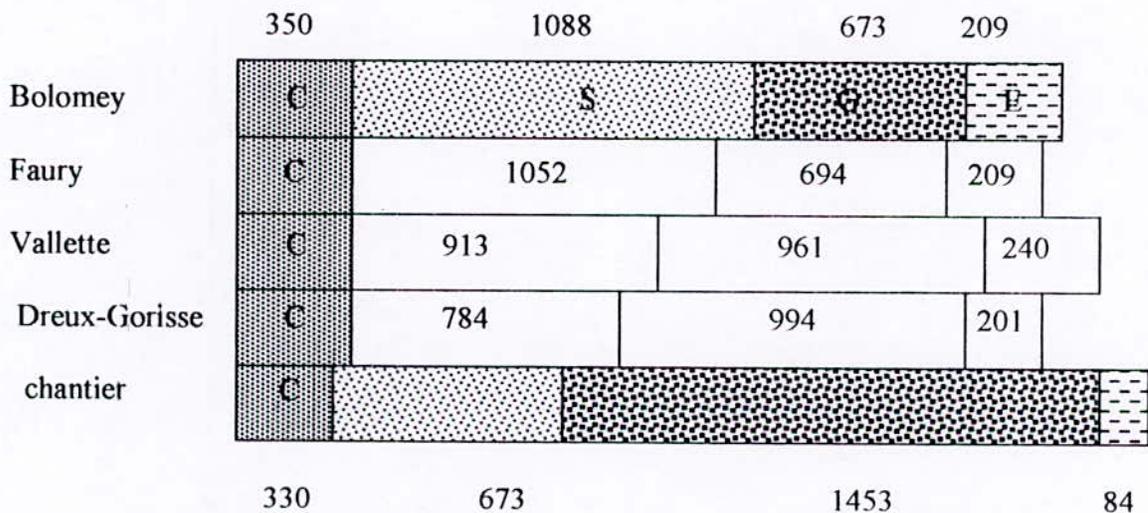
Les éléments de comparaison retenus, selon les moyens mis à notre disposition et le temps qui nous a été imparti, sont :

- distribution pondérale des constituants
- masse volumique du béton
- rapport E/C
- rapport G/S
- résistance à la traction à 7 et 28 jours
- résistance à la compression à 7 et 28 jours

Enfin, on termine ce chapitre par la formulation d'une conclusion générale à propos de cette étude.

XI.1 Distribution pondérale des constituants du béton :

La distribution pondérale des constituants du béton contenus dans un mètre – cube de béton selon chaque méthode a la répartition suivante



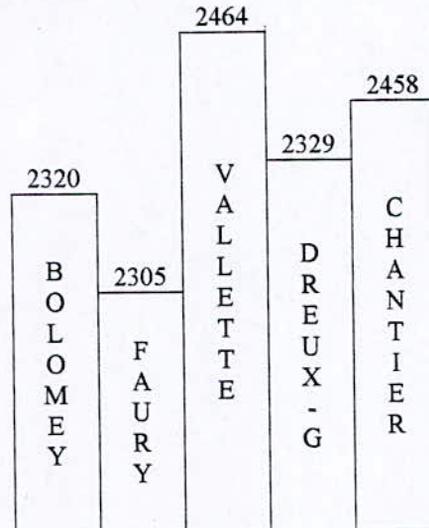
Il ressort de cette distribution les remarques suivantes :

- Le dosage du ciment pour toutes les méthodes est presque le même.
- La quantité de sable décroît de Bolomey jusqu'au «chantier» d'environ 61%
- La quantité de gravier croît de Bolomey jusqu'au chantier de 46%
- Mis à part le dosage en eau de la méthode de Vallette qui est relativement élevé, le dosage en eau décroît de Bolomey jusqu'au « chantier » de 40%

- Mis à part le dosage en eau de la méthode de Vallette qui est relativement élevé, le dosage en eau décroît de Bolomey jusqu'au « chantier » de 20%

X1.2 Masse volumique de béton :

La répartition de la masse du béton en kg dans un mètre – cube de béton selon les différentes méthodes est la suivante :

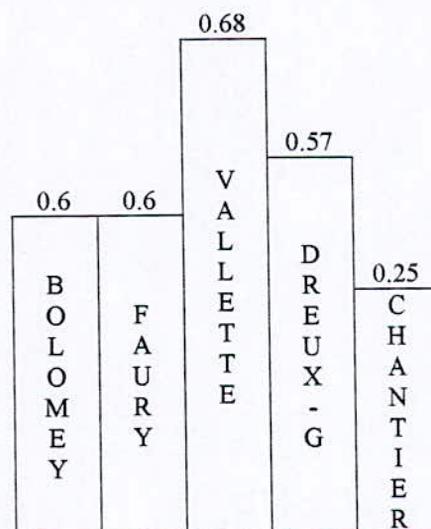


La masse du béton dans un mètre – cube croît dans l'ordre suivant :

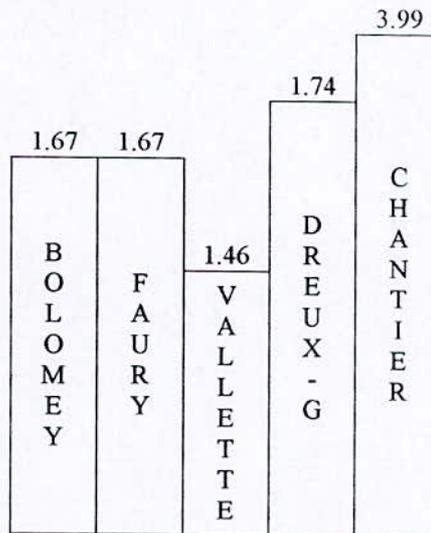
Faury, Bolomey, Dreux- Gorisse, « chantier », Vallette.

X1.3 Rapports E/C et C/E :

La répartition du rapport E/C pour les différents méthodes est la suivante :



La répartition du rapport C/E est :

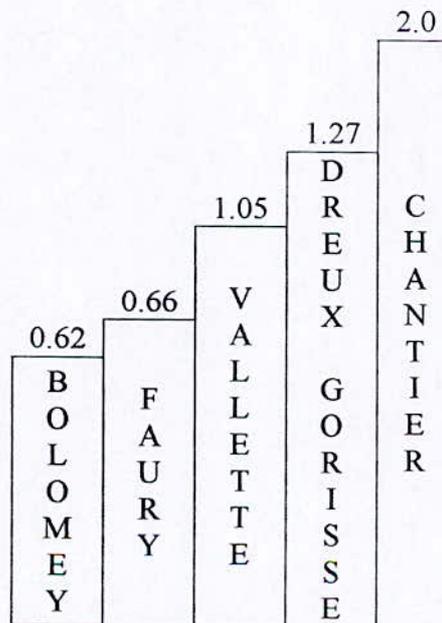


Si, on se réfère au rapport C/E pour des bétons plastiques qui est de l'ordre de 1.75 pour un dosage à 350 kg de ciment par mètre cube de béton ; on peut dire que la méthode de Dreux-Gorisse présente un excellent rapport C/E.

Par contre, le rapport C/E très élevé (≈ 4) de la « méthode du chantier » est du au fait que le dosage en ciment dans un mètre -cube de béton est presque deux fois plus grand que pour les autres méthodes ou le dosage était imposé à 350 kg de ciment par mètre cube de béton.

XI.5. Rapport G/S :

La répartition du rapport(gravier/ sable) pour les méthodes étudiées est la suivante :

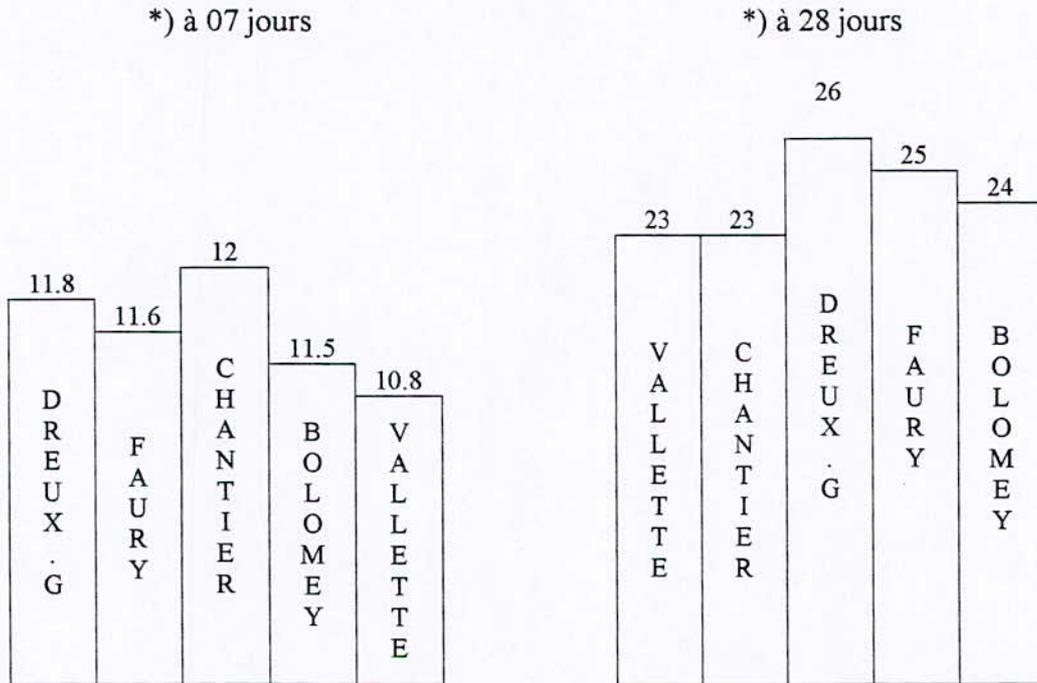


Pour les bétons courants on ne dépassera pas généralement une valeur de G/S égale à 2,2. Au-delà, des précautions sont à prendre pour la mise en œuvre de ce béton.

Dans notre cas les valeurs de G/S, bien qu'elles sont variables d'une méthode à une autre, sont toutes inférieures à 2,2.

XI.5 Résistance à la traction :

La répartition des valeurs moyennes exprimées en daN/cm² des résistances à la traction à 07 jours et à 28 jours sont les suivantes :



On remarque qu'à 7 jours :

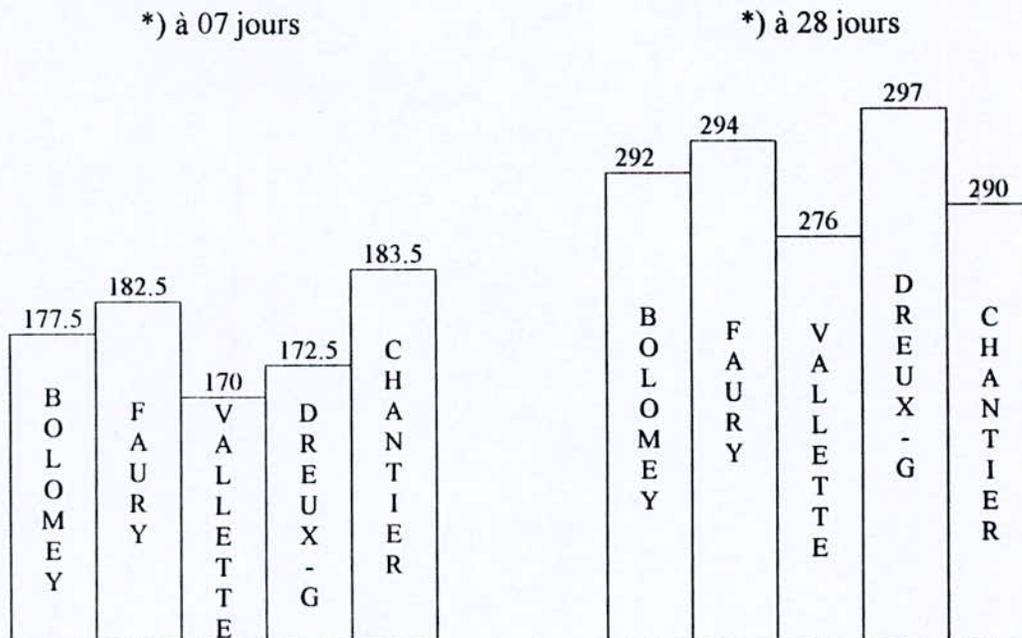
- Les bétons issues des méthodes de Dreux-Gorisse et la méthode du « chantier » présentent des résistances plus élevées que les autres.
- La résistance à la traction des bétons de Faury et Bolomey dépasse , à 07 jours, la résistance de la méthode de Vallette.

On remarque qu'à 28 jours :

- La résistance à la traction la plus élevée est celle du béton issu de la méthode de Dreux-Gorisse puis vient celle de Faury avec une légère différence et suivie par celle de Bolomey.
- Enfin, les résistances à la traction des bétons de Vallette et la méthode du « chantier », qui sont égales, viennent en dernière position.

XI.6 Résistance à la compression :

La répartition des valeurs moyennes exprimées en daN/cm² des résistances à la compression à 07 jours et à 28 jours sont les suivantes



On constate qu'à 07 jours :

- Les bétons qui présentent le taux le plus élevé de la résistance à la compression classés dans l'ordre décroissant sont :
« chantier », Faury , Bolomey, Dreux-Gorisse et vallette.

On remarque qu'à 28 jours :

- Toutes les méthodes donnent des résistances moyennes à la compression acceptables voire bonnes vis à vis des valeurs couramment atteintes dans le cas des bétons courants dosés à 350 Kg de ciment par mètre cube (250 bars à 300bars).
- La meilleure résistance à la compression obtenue est celle due à la méthode de Dreux-Gorisse.
- La « méthode du chantier » a donnée une bonne résistance à la compression .
- La résistance à la compression la plus faible, comparativement aux valeurs obtenues, est celle de vallette .Ceci est probablement du au fait que la méthode de vallette à été conçue à l'origine pour une granularité discontinue.

Enfin, nous avons jugé utile, avant de conclure, de regrouper l'étude comparative dans un tableau récapitulatif (voir tableau n° 43).

- La résistance à la compression la plus faible, comparativement aux valeurs obtenues, est celle de vallette .Ceci est probablement du au fait que la méthode de vallette à été conçue à l'origine pour une granularité discontinue.

Enfin, nous avons jugé utile, avant de conclure, de regrouper l'étude comparative dans un tableau récapitulatif (voir tableau n° 43).

TABLEAU N°43 : RECAPITULATION DES RESULTATS.

	Composition d'un m ³ de béton (kg)					Plasticité au slump-test (cm)	Rapport $\frac{Eau}{Ciment}$ $\frac{E}{C}$	Rapport $\frac{Gravier}{Sable}$ $\frac{G}{S}$	Résistances mécaniques moyennes			
	Ciment	Sable	Gravier	Eau	Total				à 07 jours		à 28 jours	
									Traction par flexion (dN/cm ²)	Compression (dN/cm ²)	Traction par flexion (dN/cm ²)	Compression (dN/cm ²)
Bolomey	350	1088	673	209	2320	7	0.60	0.62	11.5	177.5	24.0	293
Faury	350	1052	694	209	2305	7	0.60	0.66	11.6	182.5	25.0	294
Valette	350	913	961	240	2464	7	0.68	1.05	10.8	170	23.0	276
Dreux-Gorisse	350	784	994	201	2329	7	0.57	1.27	11.8	172.5	26.0	297
Chantier	330	673	1453	84	2540	7	0.25	2.16	12.0	183.5	23.0	290

XI.7 Conclusion générale :

En guise de conclusion générale à cette modeste étude, on rappelle que la qualification de « bon béton » est une qualification tout à fait relative, car elle dépend des paramètres d'appréciation par rapport auxquels on qualifie tel béton ou tel autre de « bon béton ».

Par rapport aux paramètres d'appréciation retenus lors de la comparaison (résistances mécaniques, rapports E/C et G/S ,...) et d'après les conditions d'étude choisies(mêmes matériaux, même plasticité...) et enfin par rapport aux méthodes de composition retenues, on peut dire que le « bon béton », dans notre cas, est celui de la méthode de Dreux-Gorisse.

Annexe A

Analyse granulométrique.			
Classe granulaire : 0/8		Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315mm rond Formes des ouvertures : carrée	
Mailles des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Tamisât cumule (g)	Pourcentage passant (%)
8.00		2000	100
6.30	33	1967	98.35
5.00	34	1933	96.65
2.50	229	1704	85.20
1.25	705	999	49.95
0.625	449	550	27.50
0.315	280	270	13.50
0.160	155	115	5.75
0.080	115	0.0	0.0
Masse initiale = 2000g			

Analyse granulométrique.			
Classe granulaire : 8/25		Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315mm rond Formes des ouvertures : carrée	
Mailles des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Tamisât cumule (g)	Pourcentage passant (%)
25.0		5000	100
20.0	100	4900	98
16.0	1340	3560	71.2
12.5	2660	900	18
10.0	670	230	4.6
8.0	230	0.0	0.0
Masse initiale : 5000 g.			

I. COEFFICIENT VOLUMETRIQUE.

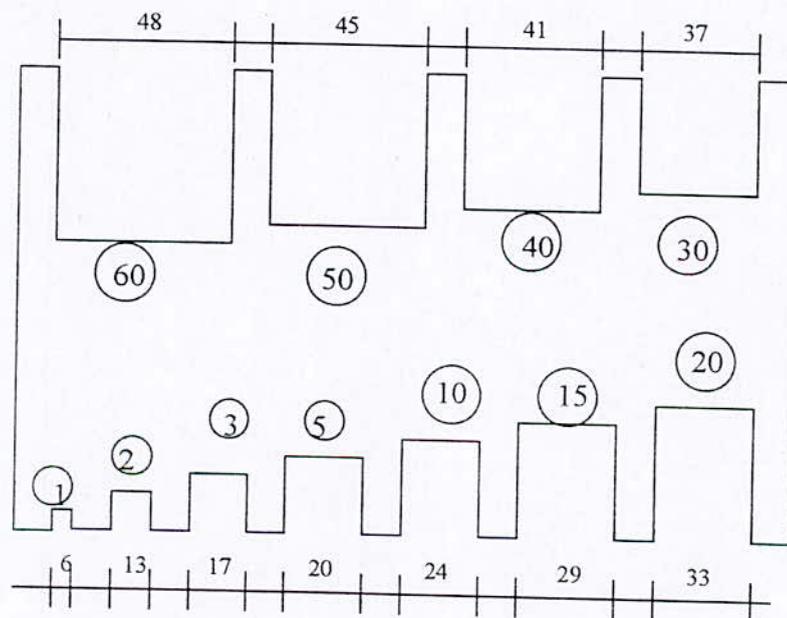
I.1. Déterminatuion pratique du coefficient volumétrique moyen d'un granulat.

Soit :

$$V_{\text{moy}} = \frac{\sum v}{\sum \pi \times \frac{N^3}{6}}$$

- Pour avoir $\sum v$, il faut de mettre les grains dans une éprouvette graduée contenant un volume V_1 d'eau ; si le volume croit jusqu'à V_2 , on a $\sum v = V_2 - V_1$.
- Pour avoir $\sum \pi \times \frac{N^3}{6}$, on ne calcul pas le volume de la sphère pour chaque grain :

On ne mesure même pas N avec précision . on se sert plus simplement d'un calibre



Pour utiliser ce calibre , on recherche la plus grande encoche qui retienne le grain : le nombre porté en face de cette encoche est le volume (en centimètres cubes) de la sphère correspondant à ce grain.

D'ou le processus suivant :

1. Préparer un échantillon du granulat étudié :

- Sécher.
- Tamiser avec un tamis de 5mm, et ne garder que le refus.

- En prendre environ 250g (au minimum).
- 2. Mettre , dans une éprouvette graduée de 1000cm³, une quantité d'eau V₁ d'environ 500cm³. Noter V₁.
- 3. Présenter successivement chaque grain dans les encoches du calibre, et noter les volumes des sphères trouvés comme il est dit ci-dessus . Noter le nombre des sphères correspondant à chacun des volumes portés sur le calibre.
- 4. Au fur et à mesure du passage au calibre , placer les grains dans l'éprouvette contenant l'eau : le niveau montera , et, quand la totalité de l'échantillon aura été utilisée, on lira le nouveau volume V₂.
- 5. Il ne restera qu'à faire les calculs :
 - 1° de $\sum v = V_2 - V_1$;
 - 2° de $\sum \pi \times \frac{N^3}{6}$. Pour cela :
 - Multiplier les nombres de sphères trouvés en 3 ci-dessus par les volumes correspondants.
 - Faire le total des produits obtenus.
 - 3° du coefficient volumétrique moyen.

I.2. Valeurs numériques usuelles :

- Pour une sphère, $V = 1,00$.
- Pour un cube, d'arête a :

$$N = a\sqrt{3}, \quad v = a^3, \quad V = \pi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot a^3$$

D'où :

$$V = \frac{2}{\pi \cdot \sqrt{3}} = 0,37 .$$

- Le coefficient volumétrique moyen d'un granulat est :
 - d'autant plus élevé que ce granulat comporte une grande proportion de grains de forme massive.
 - d'autant plus faible que ce granulat comporte une grande proportion de plaquettes et d'aiguilles.

II. MASSES VOLUMIQUES

II.1. Masses volumiques absolues.

II.1.2. Principe et méthode de mesure :

Le principe de la mesure consiste en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

Pour des raisons de commodité, de sécurité et d'économie, le liquide employé est, aussi souvent que possible, l'eau. Certains corps portant, tels que les ciments, conduisent à utiliser un autre liquide.

D'ou deux cas :

- Granulats et corps ne régissant pas avec l'eau ;
- Liants et corps régissant avec l'eau.

II.1.3. Granulats et corps ne régissant pas avec l'eau :

La méthode utilisée c'est l'**éprouvette pycnomètre**.

II.1.3.1. Méthode du pycnomètre :

II.1.3.1.1. Matériel nécessaire :

- Récipient en verre fermé par un bouchon à vis comportant un trou circulaire de quelques millimètres de diamètre.
- Balance de précision : force 4 à 5 kg, sensibilité 1 à 2 cg.
- Chiffons propres.

II.1.3.1.2. Mode opératoire :

- Pour les remplir, il suffit de : mettre de l'eau jusqu'à 2cm environ du bord supérieur ; visser (à fond)le bouchon ; et remplir, à l'aide d'une pissette, par le trou supérieur.

Il n'y a donc pas de perte de liquide, et la précision est bonne.

- Peser le récipient pleine d'eau , soit P_1 .
- Peser un échantillon du corps étudié : P_2 .
- Vider la moitié de l'eau (environ) avant l'introduire le corps.
- Introduire le corps dans le pycnomètre , remplir à nouveau d'eau, et peser : P_3 .

Le calcul de la masse volumique absolue se fait comme suit :

Le poids de l'eau chassée par le corps est $P = P_1 + P_2 - P_3$; et, la densité de l'eau étant sensiblement égale à 1 à la température ambiante, la masse volumique cherchée est donnée par le quotient :

$$m_{abs} = \frac{P_2}{P_1 + P_2 - P_3}$$

II.1.4. Liants et corps réagissant avec l'eau.

La méthode utilisée c'est le **Voluménomètre (ou densimètre) de le Chatelier.**

II.1.4.1. Voluménomètre de le Chatelier :

C'est un récipient de quelque 250cm^3 , comportant un col étroit (diamètre de l'ordre du centimètre) muni d'un renflement de 20cm^3 environ.

Au-dessous du renflement est un trait-zéro, avec une courte graduation de part et d'autre (en $1/10$ de cm^3).

Au-dessus du renflement, une autre graduation donne le volume (en $1/10\text{cm}^3$) à partir du zéro.

II.1.4.2. Matériel utilisé :

L'appareil utilisé est le densimètre de le Chatelier, les pesées s'effectueront avec une balance au diagramme, le liquide pourra être du benzène.

II.1.4.3. Mode opératoire :

- Mettre du benzène jusqu'en V_1 , voisin de zéro. Noter V_1 , en valeur algébrique (négatif au-dessous du repère). Peser le tout, soit M_1 .

Avant cette opération un glaçon à col contenant du benzène sera agité dans un bain thermostatique à température constant (choisir entre 15 et 20 °C). Le densimètre rempli sera lui même plongé dans le bain, et agité, pour que tout l'ensemble soit bien à la température du bain.

- Introduire la poudre de ciment pesée très lentement (15 mn environ), agiter doucement, en faisant tourner le densimètre, pour éliminer l'air entériné par la poudre. Lorsqu'il ne dégage plus d'air, remettre à nouveau le densimètre dans le bain thermostatique, continuer à agiter doucement jusqu'à stabilisation du niveau. Lire sur la graduation le volume du ciment. Noter V_2 , et le peser, noter M_2 .

Pendant toutes ces opérations, les variations de température doivent rester inférieure à $0,2$ °C.

- Le calcul de la masse volumique absolue est comme suit: $m_{abs} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1}$

II.2. Masses volumiques apparentes.

II.2.1. Principe :

Remplir une mesure de 1dm^3 , et déterminer la masse du contenu.

II.2.2. Cas du ciment :

La méthode utilisée c'est l'**entonnoir**.

II.2.2.1. L'entonnoir :

On utilise pour les mesures un entonnoir porté par un trépied, muni d'une passoire et d'un opercule mobile.

II.2.2.1.1. Mode opératoire :

- Placer l'entonnoir au-dessus du centre de la mesure. Fermer l'opercule.
- Verser une petite quantité (200g environ) de ciment sur la passoire, et la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule : le ciment tombe dans la mesure. Refermer l'opercule.
- Recommencer avec de nouvelles quantités de ciment, jusqu'à ce que se produise le débordement tout autour.
- Agrafer à la règle, et peser le contenu.

II.2.3. Cas du sable :

La méthode utilisée c'est l'**entonnoir**.

II.2.3.1. l'entonnoir :

On le même méthode utilisée dans le cas du ciment.

II.2.3.2. Mode opératoire :

les démarches sont le même, sauf que la quantité utilisée est change.

II.2.4. Cas du gravier :

II.2.4.1. Processus :

- Prendre le gravier dans les deux mains forment entonnoir.
- Placer ces deux mains à 10cm environ au-dessus d'une mesure d'un litre, et laisser tomber ce gravier, ni trop vite, ni trop lentement.

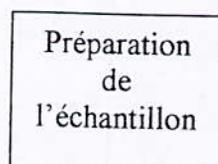
- Verser ainsi le corps , toujours au centre de la mesure , jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en forment un cône.
- Araser à la règle .
- Peser le contenu.

Le calcul de la masse volumique apparente est comme suit : $m_{app} = \frac{P}{V}$.

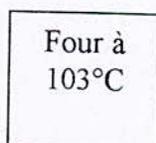
III. porosité

III.1. Processus :

- Préparer l'échantillon :
 - Quantité prélevée ni trop grande, ni trop petite (environ 1 kg).
 - Pas de grains trop petits (au moins 10 g).
- Sécher l'échantillon sec.
 - Porter lentement à 103°C.
 - L'y maintenir (thermostat) jusqu'à masse constante.
- Peser l'échantillon sec : soit M_0 .
- Remplir les pores d'eau :
 - Placer l'échantillon dans de l'eau froide, et porter à ébullition.
 - Maintenir l'ébullition pendant deux (2) heures, pour chasser l'air des pores.
 - Laisser refroidir dans l'eau, pour que l'eau rentre dans les pores.
- Peser à nouveau :
 - Auparavant, retirer de l'eau , et essuyer chaque grain (chiffon).
 - Nouvelle masse : M_1 .
- En déduire la porosité.
 - $(M_1 - M_0)$ représente la masse de l'eau contenue dans les pores ; le même nombre mesure le volume de ces vides.
 - Donc :
$$P = \frac{M_1 - M_0}{V_{matière}} \times 100$$
 - Volume du matériau :
$$V_{matériau} = \frac{M_0}{m_{abs}}$$
 - Donc :
$$P = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times m_{abs} \times 100 .$$
 - Notons que , $m_{abs} = 2,7\text{g/cm}^3$.



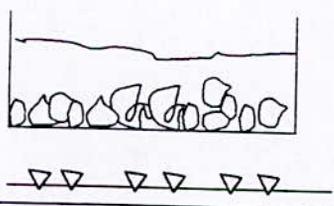
1



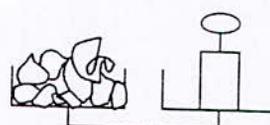
2 : Séchage



3 : Pesée pores vides



4: Remplissage des pores



5: Pesée pores pleins d'eau

IV. ESSAI DE CONSISTANCE.

IV.1. But:

Le but de l'essai de consistance est précisément de déterminer la quantité optimale d'eau de gachage. Les ciments sont des corps trop complexes pour que cette quantité d'eau puisse être déterminée a priori par les règles de la chimie.

L'essai de consistance est un essai important, dont le résultat intervient dans de nombreuses études.

La pâte pure gâchée avec la quantité d'eau ainsi déterminée est dite "pâte normale".

IV.2. Matériel utilisé.

C'est l'appareil de Vicat.

Il peut être muni:

- Soit de la sonde de consistance (cylindre, Φ 10 mm);
- Soit de l'aiguille de Vicat (section 1mm^2).

Sonde de consistance et aiguille plus porte-aiguille ont la même masse. l'ensemble de la partie mobile a une masse de 300g, masse qu'il est possible d'augmenter si nécessaire.

ne graduation (réglable en hauteur) permet de mesurer la distance qui sépare le dessous de la sonde (ou de l'aiguille) de la plaque de base.

Le matériau à essayer est placé dans un "moule tronconique" : diamètres 70 et 80 mm , hauteur 40 mm , posé sur sa grande base.

IV.3. Fabrication de la pâte.

Se fait à l'aide d'un malaxeur normalisé. Le batteur, facilement démontable de son axe, est animé d'un mouvement planétaire à 2 vitesses : rotation sur soi-même à 140 ou 280 t/mn, et autour de l'axe moteur à 61,5/ 123 t/ mn.

IV.3.1. Processus :

- Mettre le ciment dans le récipient du malaxeur ; ajouter l'eau.
- Mettre aussitôt en marche :
 - une minute à vitesse lente,
 - puis deux (2) minute à vitesse rapide .
- Arrêter le mouvement ; démonter le batteur. Nettoyer les parois du récipient (avec le batteur) et le batteur. Remonter récipient et batteur.
- Remonter en marche : deux (2) minute à vitesse rapide .

A : introduire	B : malaxer			
1. ciment	Vitesse lente	Vitesse rapide	Arrêter Démonter Nettoyer Remonter	Vitesse rapide
2. eau	1 minutes	2 minutes		2 minutes

IV.3.2. Processus :

- Peser :
 - 500g de ciment ;
 - la quantité d'eau que l'on pense vraisemblable .
- a) fabriquer la pâte , suivant le processus vu ci-dessus (IV.3.1)
- b) remplir le moule tronconique de cette pâte, et araser. L'appareil de Vicat aura été préparé ainsi :
 - Sonde de consistance en place ;
 - Zéro de la graduation en place ;
 - Masse mobile : 300g (pas de masse additionnelle).
- c) Placer le moule et son support sur le socle de l'appareil.
- d) Immobiliser la sonde au contact de la pâte .

- e) Et lâcher cette sonde sans vitesse initiale : elle s'enfoncera plus ou moins profondément dans la pâte, noter l'indication de l'index lors de l'arrêt.

La pâte sera à consistance normale si l'épaisseur ainsi mesurée est de $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$ (index entre 5 et 7mm).

Si l'épaisseur est supérieur à 7mm : il n'y a pas assez d'eau.

Si l'épaisseur est inférieure à 5mm : il y a trop d'eau .

Dans les deux cas, jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel, et recommencer avec une nouvelle quantité d'eau.

Annexe B

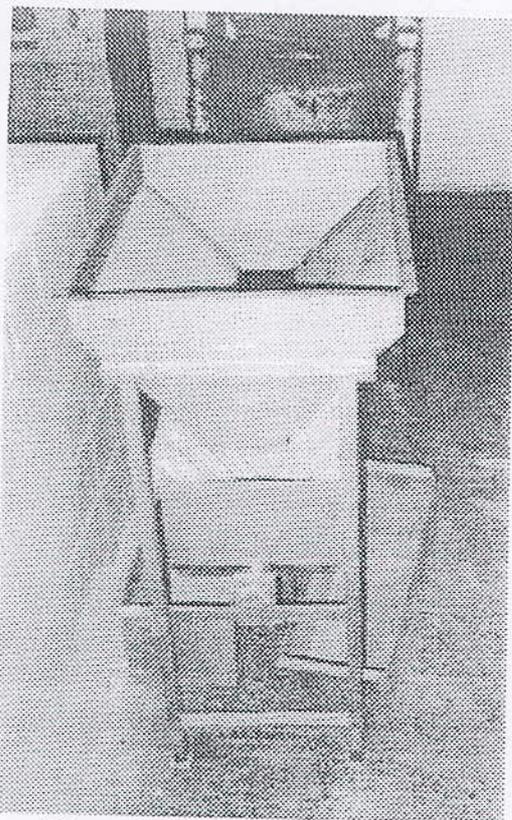


Photo n°1 : L'échantillonneur

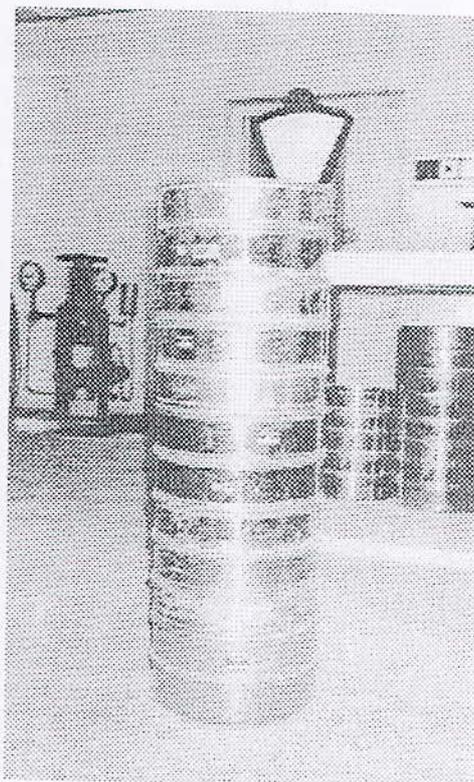


Photo n°2 : Tamis pour l'analyse granulométrique

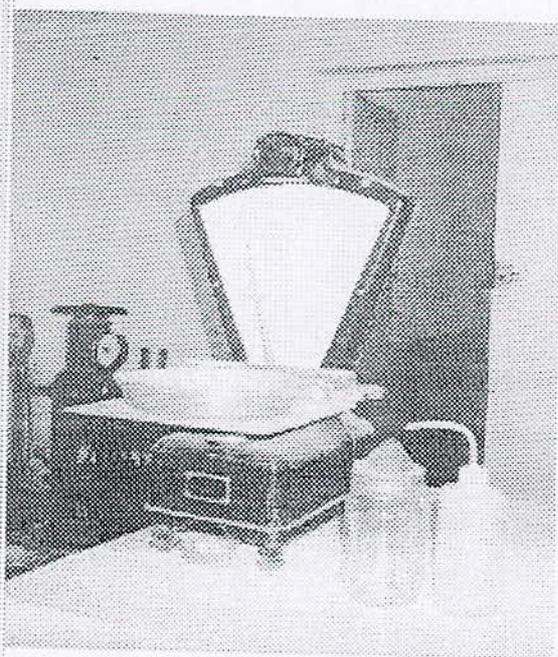


Photo n°3 : Appareillage pour la mesure de la densité absolue

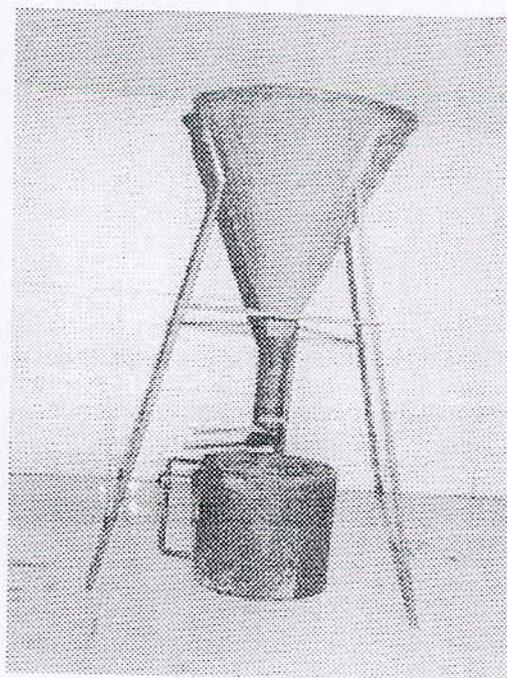


Photo n°4 : Appareillage pour la mesure de la densité apparente

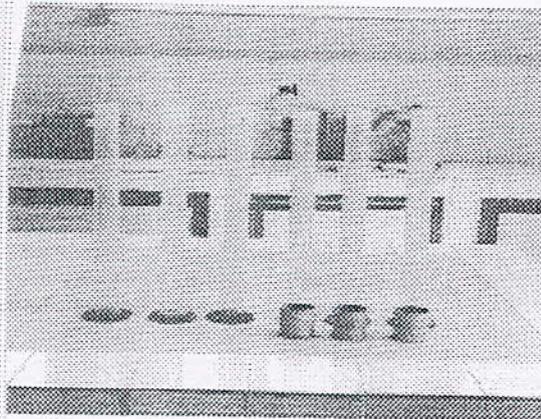


Photo n°5 : Appareillage de l'essai d'équivalent de sable

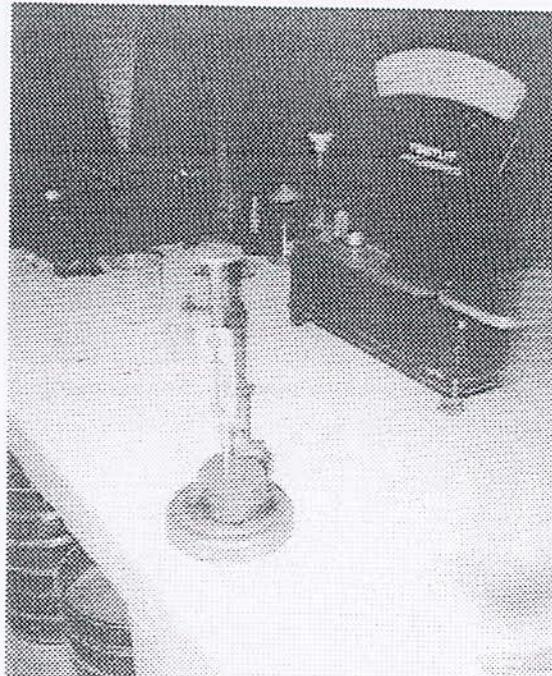


Photo n°8 : Appareillage de l'essai de Vicat

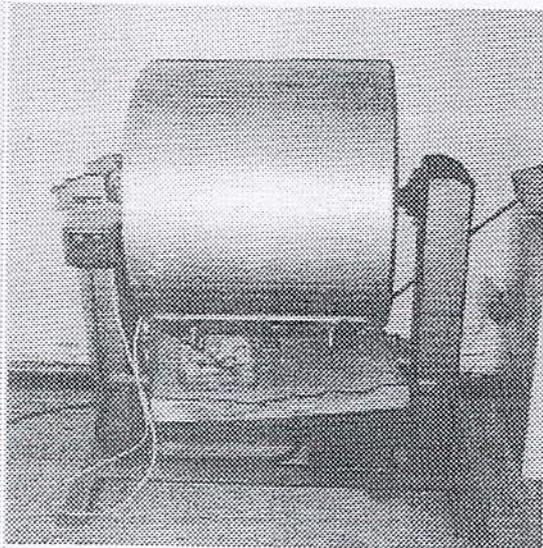


Photo n°6 : Appareillage de l'essai Los Angeles

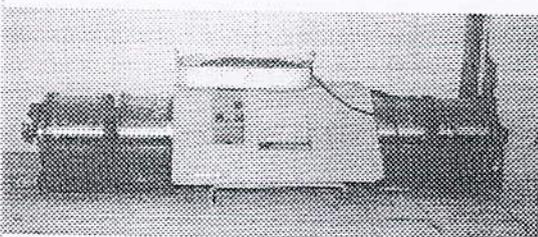


Photo n°7 : Appareillage de l'essai Micro Deval

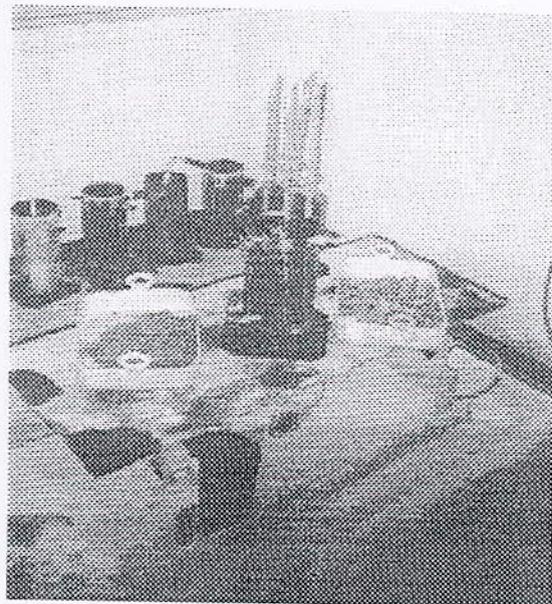


Photo n°9 : Appareillage d'essai pour la détermination de la quantité du gravier

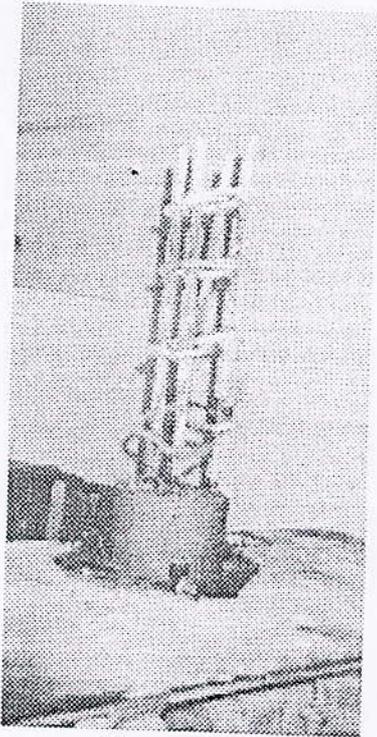


Photo n°10

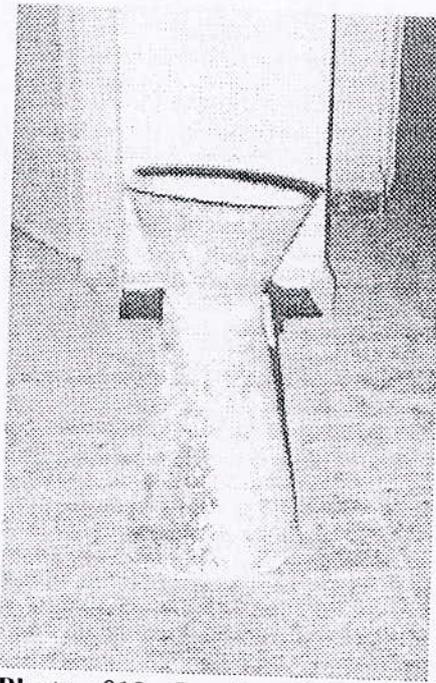


Photo n°12 : Le cône d'Abrams



**Photo n°11 : La quantité de gravier qui
été introduite dans le mortier**

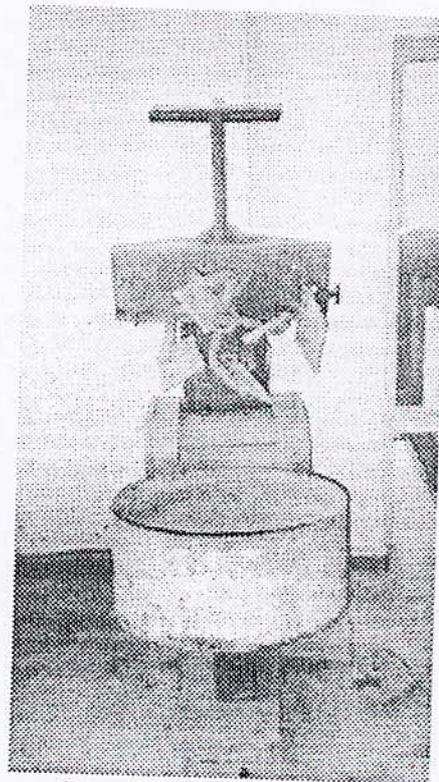


Photo n°13 : Malaxeur

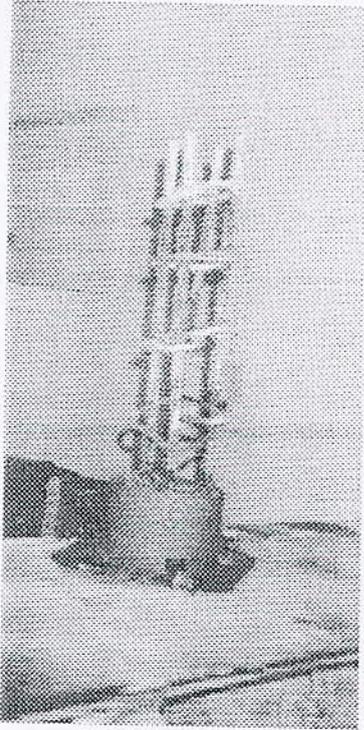


Photo n°10



Photo n°12 : Le cône d'Abrams



**Photo n°11 : La quantité de gravier qui
été introduit dans le mortier**



Photo n°13 : Malaxeur

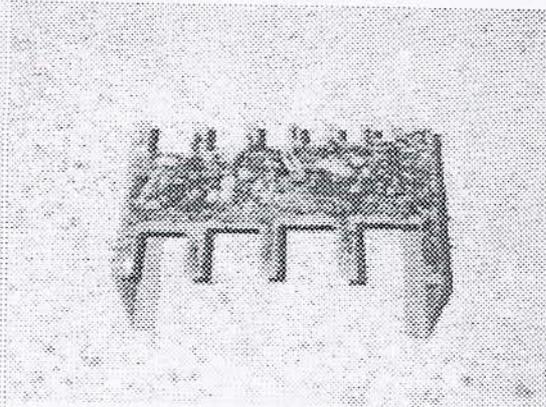


Photo n°14 : Appareillage de l'essai du coefficient volumétrique



Photo n°16 : Confection des éprouvettes

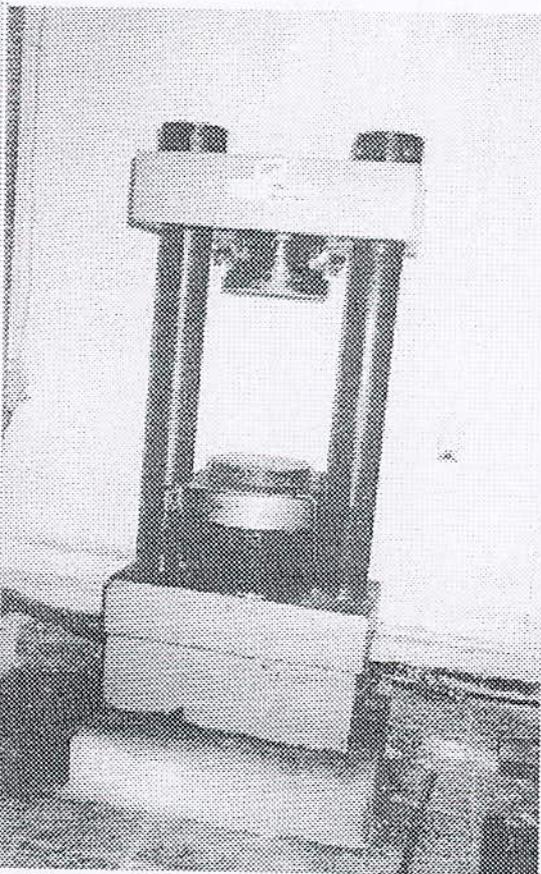


Photo n°15 : La presse hydraulique

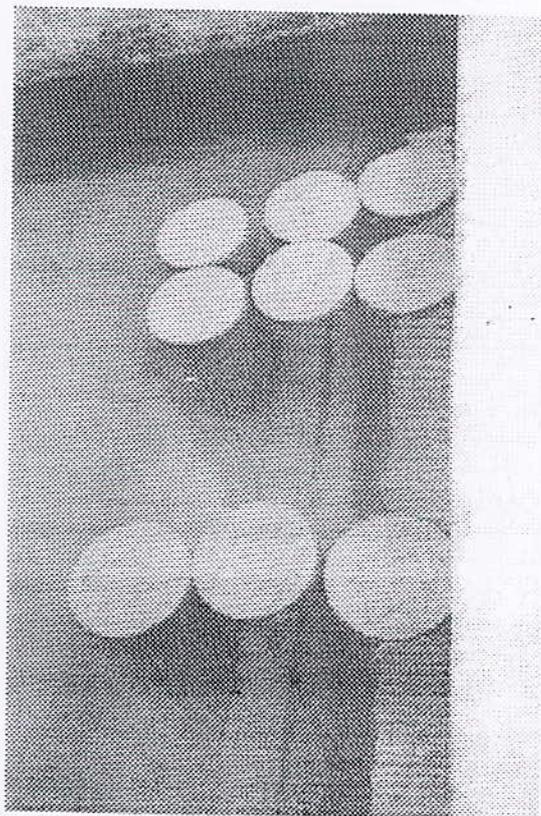


Photo n°17 : Conservation des éprouvettes

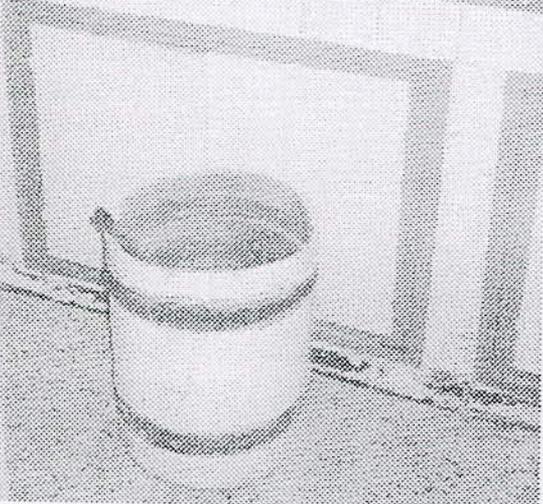
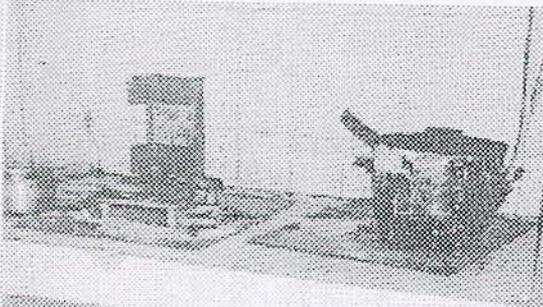


Photo n°18 : Appareillage de surfacage

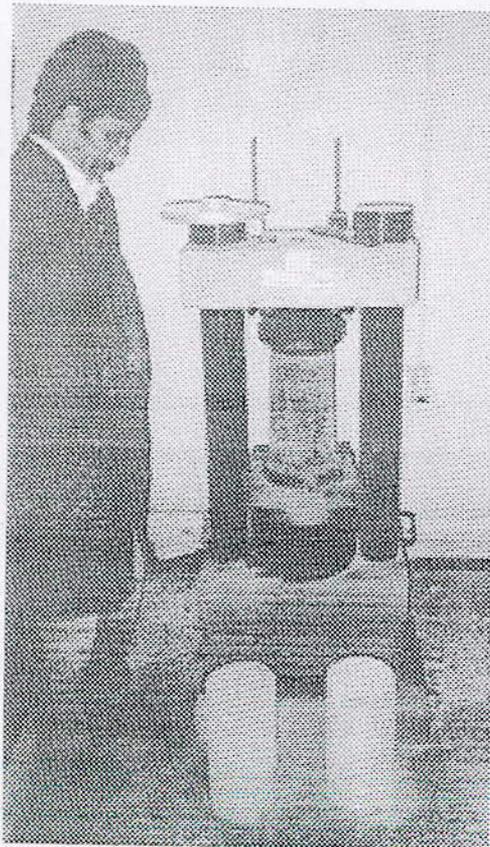


Photo n°19 : Ecrasement des éprouvettes

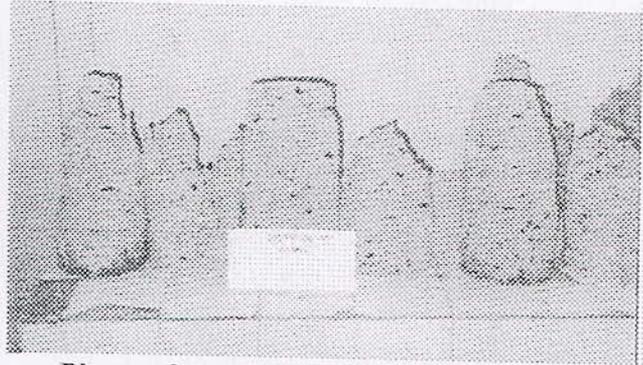


Photo n°20 : obtention de cônes après écrasement (méthode de Faury)

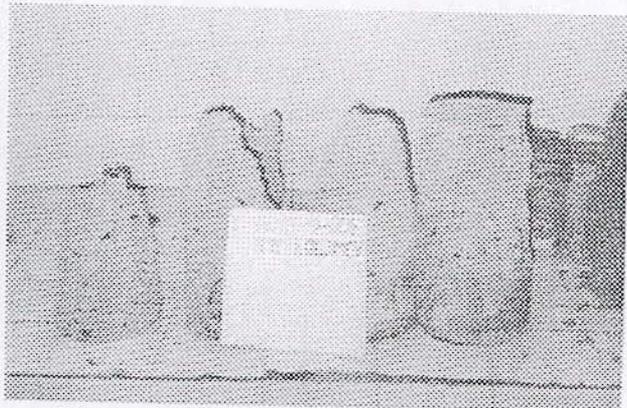


Photo n°21 : obtention de cônes après écrasement (méthode de Bolomey)

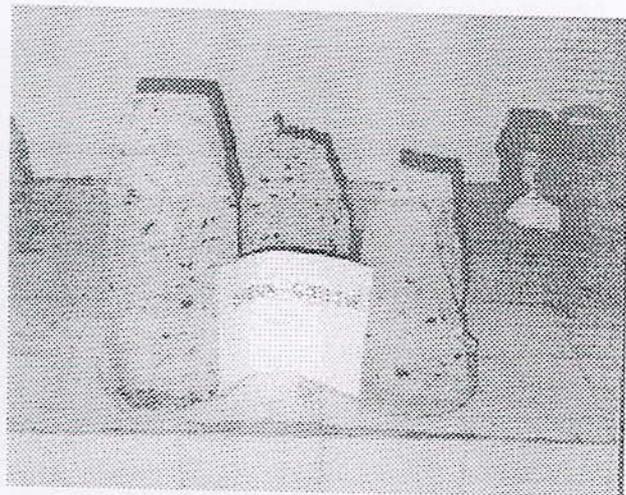


Photo n°22 : obtention de cônes après écrasement (méthode de Dreux-Gorisse)

Bibliographie

Bibliographie

- [1]. « ARNOULD.M ET VIRLOGEUX.M » , Granulats et beton légers ,1986.
- [2]. « DREUX George – Jean FESTA » , Nouveau guide du béton et de ces constituants ,Eyrolles.
- [3]. « DREUX-GORISSE » , Nouveau guide du béton, Eyrolles,1978.
- [4]. « J.BARON et S.RAYMON » , Le béton hydraulique, Eyrolles.
- [5]. « J.BARON et J.OLLIVIER » , Les bétons ,bases et données pour leur formulation, Eyrolles, 1999.
- [6]. « R.LANCHON » , cours de laboratoire, Granulats, Bétons, sols , Disforges,1983.
- [7]. « H.RENAUD et F.LETERTRE » , Ouvrages en béton armé, Foucher, 1978.
- [8]. « PERA, TUEST, BOSC, JANIN » , Travaux pratique des matériaux, Polycope, Institut Nationale des sciences appliquées, Toulouse.
- [9]. « Réunion d'ingénieurs » , Matériaux de construction, Eyrolles, 1979.

ملخص :

تهدف دراسة تركيب الخرسانة إلى تحديد أفضل خليطه مكونة من مختلف الحبيبات المتوفرة إلى عياري الإسمنت و الماء من اجل تحقيق خرسانة ذات الصفات المرجوة لبناء المنشأ أو الجزء المقصود من المنشأ.

من بين العديد من الطرائق تركيب الخرسانة المعروضة، فإن طرائق بولومي، فوري، فالات، درو-قوريس و " طريقة الورشة" تمت دراستها على حدى و بالمقارنة فيما بينها و عناصر المقارنة هي : التوزيع الوزني لعناصر الخرسانة، النسب E/C و G/S ثم المقاومات الميكانيكية في 7 و 28 يوما .

كلمات مفتاحيه :

خرسانة - طرائق التركيب - مقارنة - توزيع وزني - نسبة E/C - نسبة G/S - شد - الإنضعاظ.

Résumé :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimale des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause.

Parmi les nombreuses méthodes de composition présentées, les méthodes de Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse et celle du « Chantier » sont étudiées séparément et comparativement entre-elles. Les éléments de comparaison sont : la distribution pondérale des constituants, la masse volumique du béton, les rapports E/C et G/S et les résistances mécaniques à 07 et 28 jours.

Mots-clés :

Béton - Méthodes de composition - Comparaison - Distribution pondérale - Rapport E/C - Rapport G/S - Traction - Compression.

Abstract :

The survey of the composition of a concrete consists to define the optimal mixture of the different granulats of which one arranges as well as dosage made of cement and in water in order to achieve a concrete whose bill of particulars are those sought-after for the construction of the work or the part of work in reason.

Among the numerous methods of composition presented, the methods of Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse and the one of the " Yard " is studied separately and comparatively between them. The elements of comparison are: the gravimetric distribution of the constituent, the density of the concrete, the E/CS reports and G/S and the mechanical strengths 07 and 28 days.

Keywords:

Concrete - Methods of composition - Comparison - gravimetric Distribution - Report E/C - Report G/S - Traction - Compression.