

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES **SCIENCES DE L'INGENIEUR**
DEPARTEMENT DE **GENIE CIVIL**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

INFLUENCE DES FINES MINERALES SUR LES PROPRIETES MECANQUES ET LA DURABILITE DU BETON A BASE DE SABLE DE CARRIERES DE LA REGION DE GUELMA

Option: **Matériaux et Structures**

Soutenu le.../.../2007

Par:

Chérifa GHERDAOUI

Directeur de mémoire: **Dr BENMALEK M^{ed}. Larbi** M.C. Univ de Guelma

Devant le Jury:

Président:	Pr. Bachir REDJEL	Professeur	Univ. de Annaba
Examineurs:	Dr. Yazid HADDIDANE	MC	Univ. de Annaba
	Dr. Redjem BELOUETTAR	MC	Univ. de Annaba
	Dr. Djamel ACHOURA	Dr	Univ. de Annaba

A l'âme de mon Grand Père.

A l'âme de mon grand oncle.

A toute personne qui brûle pour éclairer la
vie des autres.

A tous ceux qui luttent pour apprendre et
enrichir leurs connaissances.

A toutes les mains noires qui nous donnent
du pain blanc.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire (Matériaux de Constructions et Structures) de l'institut de Génie Civil à l'Université Badji Mokhtar Annaba.

Au terme de ce travail je tiens à remercier en premier lieu Dieu Miséricordieux qui m'a donné la force, la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

J'aimerais exprimer mes plus profonds remerciements à tous ceux qui, directement ou indirectement ont contribué à l'achèvement de ce travail.

Je remercie, tout d'abord, Monsieur, Benmalek Mouhamed Larbi, Maître de Conférences à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, le premier directeur de ce travail, pour la proposition de ce sujet de recherche, sa grande patience, tous les encouragements qu'il n'a cessé de me prodiguer, pour la confiance qu'ils m'ont accordée. Je le remercie pour l'aide qu'il a su m'apporter.

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur Redjel Bachir Professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs Hadidane Yazid, Belouatar Redjem et Achoura Djamel maîtres de conférences à l'Université Badji Mokhtar Annaba, qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail et ont bien voulu participer à ce jury.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Hacène Chaouche A/Madjid chef du département de Génie Civil de l'Université Badji Mokhtar Annaba, pour toute l'aide apportée.

Je remercie monsieur Behim Mourad, maîtres de Conférences à l'Université de Badji Mokhtar Annaba, pour ses orientations, ses conseils judicieux qui m'ont beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail.

Mes remerciements à tous mes enseignants du département de Génie Civil de l'Université Badji Mokhtar Annaba ainsi qu'au personnel technique et administratif.

Mes remerciements particuliers s'adressent à ma chère amie Nawel, toute la promotion «Matériaux et Structures 2002» et les étudiants de 3^{ème} année Génie Civil du département de Génie Civil de l'Université Badji Mokhtar Annaba.

Un remerciement spécial s'adresse au personnel du service « Matériaux » du Laboratoire des Travaux Publics de l'Est antenne d'Annaba.

Je remercie avec tout mon cœur ma famille et plus particulièrement mes parents, en reconnaissance de leur sacrifice et toute leur abnégation, mes sœurs et mes frères.

Enfin, à toute personne qui m'a aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

ABSTRACT

In Algeria, the intense exploitation of river sand and balusters in concrete for building construction and travels publics has conduct to quick use up of materials. This situation as pushed enterprises of construction to an anarchy utilization and non-regulation of sea sands alternative of this sands.

Calcareous sands could replay for this need, but posses this inconvenience of imply an important ratios of fines which can harm mechanics performances of concrete which it is prepared.

The aim of this study which has an experimental order is to research for ratios of fines content in sands which are tolerable in concrete with accept mechanicals properties and current usage. It is carried out through tests of compressive strength, flexural strength, capillarity, water absorption and shrinkage.

This study is concerned of crushed sand of the region of Guelma with incorporation of different percentages of fines. The ratios studied in this research work are 0%, 12%, 15%, 18% and 21%.

The results of this experimental program on concrete proved that feeble ratios of fines could not present harm on performances concrete and the ratios can expand according to this study until 21%.

RESUME

En Algérie, l'exploitation intensive des sables d'Oued et de ballastières dans la fabrication du béton destiné à la construction des bâtiments et des travaux publics a conduit à un épuisement rapide de ces matériaux. Cette situation a poussé les entreprises de construction à une utilisation anarchique et non réglementaire des sables homométriques de mer alternatives à ces sables.

Le sable de carrières peut répondre à ce besoin, mais il possède cet inconvénient de comporter des taux de fines importants pouvant nuire aux performances mécaniques du béton avec lequel il est confectionné.

L'objectif de cette étude d'ordre expérimental, est de rechercher les taux de fines pouvant être tolérés pour la fabrication des bétons de caractéristiques mécaniques acceptables et d'usage courant. Elle est réalisée à travers une série d'essais sur la résistance à la compression, à la traction, la capillarité, l'absorption d'eau et le retrait.

Cette étude concerne le sable de carrière de la région de Guelma avec incorporation de différents pourcentages de fines. Les taux étudiés dans ce travail sont 0%, 12%, 15%, 18% et 21%. Les résultats obtenus tendent à prouver que les faibles taux de fines ne nuisent pas aux caractéristiques du béton et que ces taux peuvent s'étendre, selon cette étude jusqu'à 21%.

لاختش

الاستغلال الكبير و المبالغ فيه لرمال الوديان والأنهار بغرض صناعة الخرسانة الموجهة لقطاع البناء و كذا في قطاع الأشغال العمومية أدى إلى النفاذ السريع لهاته المواد. هذ الوضعية دفعت شركات البناء إلى الاستغلال الفوضوي و غير تنظيمي لرمال البحر بالتناوب مع هذه الرمال.

رمل المحجرة يمكن أن يكون حلاله ذا المطلب المتزايد لكنه و بالمقابل يمتلك عائق احتوائه على نسبة عالية من المواد الناعمة الدقيقة (التي تقل أقطارها عن 0.080 ملم) والتي يمكن أن تؤثر سلبا على الخصائص الميكانيكية للخرسانة التي دخلت في تكوينها. الهدف من هذه الدراسة ذات الطابع التجريبي هو البحث عن نسبة المواد الناعمة التي يمكن أن يكون مسموحا بها في إعداد خرسانة ذات خصائص ميكانيكية مقبولة وذات استخدام عادي.

هذه الدراسة تمت عبر سلسلة من التجارب حول مقاومة الضغط ، مقاومة التمدد، النفاذية، امتصاص الماء و التقلص وهي تعتمد أساسا على رمل المحجر خاص بمنطقة قالمة مع إدخال نسب متفاوتة من المواد الناعمة الدقيقة. هذ النسب هي 0 % ، 12% ، 15% ، 18% و 21%.

النتائج المتحصل عليها أثبتت أن النسب الضعيفة من هاته المواد الدقيقة الناعمة لا تؤثر سلبا على خصائص الخرسانة ويمكن أن تمتد نسبتها حتى 21%.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Page

ملخص

RÉSUMÉ

ABSTRACT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION..... 2

BUT DU TRAVAIL..... 4

PLAN DU TRAVAIL..... 5

CHAPITRE I: ETUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE

I-1/GENERALITES SUR LES GRANULATS POUR BETON..... 7

I-1-1/ Granulats naturels..... 7

I-1-2/ Granulats artificiels 7

I-2/ CARACTERISTIQUES DES ROCHES POUR GRANULATS 8

I-2-1/Les principales familles de minéraux rencontrés..... 8

I-2-1-1/ La silice..... 9

I-2-1-2/Les silicates 9

I-2-1-3/Les carbonates 10

I-2-2/Les roches massives..... 10

I-2-2-1/Les roches magmatiques 10

I-2-2-2/Les roches sédimentaires..... 11

I-2-2-3/Les roches métamorphiques 12

I-2-3/Les roches meubles 12

I-3/ ELEMENTS SUR L'ELABORATION DES GRANULATS..... 13

I-3-1/Les principales opérations effectuées 13

I-3-2/ L'extraction..... 13

I-3-3/Le concassage et le criblage 14

I-3-4/Le criblage 14

I-3-5/Le lavage et le définage..... 15

I-3-5-1/Le lavage des granulats..... 15

I-3-5-2/Le définage à sec..... 18

I-3-6/ Classification granulométrique des granulats..... 18

I-3-7/Caractéristiques des granulats recherchées pour usage routier ou pour fabrication du béton	20
I-4/INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS.....	21
I-4 -1/Influence de la masse volumique des granulats	21
I-4 -2/Influence de la dimension des granulats	23
I-4 -3/Influence sur l'ouvrabilité.....	25
I-5/ INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI.....	26
I-5-1/ Résistance à la compression	26
I-5-1-1/La conservation des éprouvettes	26
I-5-1-2/La propreté des granulats.....	27
I-5-1-3/L'air entraîné	28
I-5-1-4/Autres paramètres	28
I-5-2/ Résistance à la traction, à la flexion et aux chocs.....	28
I-5-3/ Module d'élasticité	29
I-5-4/ Retrait et fluage	29
I-5-5/ Coefficient de dilatation thermique	29
<u>CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES GRANULATS DE LA WILAYA DE GUELMA ET CHOIX DES GRANULATS POUR LES BETONS D'ETUDE</u>	
II -CARACTERISTIQUES DES GRANULATS DE LA WILAYA DE GUELMA.....	31
II-1/GEOLOGIE DE LA REGION DE GUELMA.....	31
II-1-1/Ensemble Anté-nappe.....	31
II-1-1-1/Formations mésozoïques.....	31
II-1-1-1-1/Trias inférieur.....	31
II-1-1-1-2/ Trias D'argile bariolées.....	31
II-1-1-1-3/Jurassique	31
II-1-1-1-4/Crétacé.....	32
II-1-1-1-5/ Crétacé à faciès pélagique.....	32
II-1-1-2/Formations cénozoïques.....	32
II-1-1-2-1/La nappe du matériel Eocène.....	32
II-1-1-2-2/ La nappe Numidienne.....	32
II-1-1-2-3/L'autochtone.....	33
II-1-2/Ensemble Mio-Pliocène (continental lacustre du bassin de Guelma).....	33

II-1-3/Ensemble récent (Pliocène et Quaternaire).....	33
II-1-3-1/Plioquaternaire.....	33
II-1-3-2/Quaternaire.....	33
II-2/LES MATERIAUX RENCONTRES DANS LA REGION DE GUELMA	35
II-3/HISTOGRAMMES DE PRODUCTION.....	36
II-4/DESCRIPTION ET EPPERCU GEOLOGIQUE DE QUELQUES CARRIERES DE LA REGION.....	38
II-4-1/Carrière de Bouzitoune.....	38
II-4-2/Carrière de Bendjerrah.....	38
II-4-3/Carrière de Hammam Debagh.....	39
II-4-4/Carrière de EL Kelaa.....	40
II-4-5/Carrière de Tamlouka (Ain Arco).....	40
II-4-6/Carrière de Dahouara.....	40
II-4-7/Carrière de Roknia.....	41
II-4-8/Carrière de Guelaat Bousbaa.....	41
II-5/LE CARRIERE PROPOSEE POUR L'ETUDE.....	41
<u>CHAPITRE III : METHODES DE FORMULATION DES BETONS</u>	
III-1/INTRODUCTION.....	43
III-2/OBJECTIFS D'UNE FORMULATION.....	43
III-3/QUELQUES METHODES DE COMPOSITION DES BETONS.....	44
III-3-1/La méthode de Bolomey.....	45
III-3-2/La méthode d'Abrams.....	46
III-3-3/La méthode de Faury.....	46
III-3-4/La méthode de Valette.....	46
III-3-5/La méthode de Joisel.....	47
III-3-6/La méthode de Dreux-Gorisse.....	48
III-4/CONCLUSION ET CHOIX D'UNE METHODE DE FORMULATION.....	48
III-5/DONNEES ESSENTIELLES DE BASE.....	48
III-5-1/Dimensions et qualité des granulats.....	48
III-5-2/Résistance désirée.....	49
III-5-3/Consistance désirée « ouvrabilité ».....	49
III-5-4/Dosage en ciment.....	50
III-5-5/Dosage en eau	50
III-5-6/Adjuvants.....	51

CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES ET DES MATERIAUX ELABORES

IV-1/CIMENT.....	53
IV-1-1/Essais physiques	53
IV-1-1-1/Essais de prise NA. 230/1990	53
IV-1-1-2/Essais de la consistance NA. 230/1990.....	53
IV-1-1-3/Masse volumique apparente	54
IV-1-1-4/Masse volumique absolue NF P 18-558.....	54
IV-1-1-5/Porosité.....	55
IV-2/ GRANULATS.....	55
IV-2-1/Granulats utilisés.....	55
IV-2-1-1/Sable.....	55
IV-2-1-2/Gravier	55
IV-2-1-3/ Essais sur granulats	56
IV-2-1-3-1/ Etude granulométrique	56
IV-2-1-3-1-1/Sable 0/4.....	57
IV-2-1-3-1-2/Gravier 5/16.....	59
IV-2-1-3-2/Masses volumiques et porosité.....	62
IV-2-1-3-3/ Propreté des granulats.....	62
IV-2-1-3-4/Module de finesse (MF).....	63
IV-2-1-3-5/Nature du sable utilisé.....	64
IV-3/Eau de gâchage	64
IV-4/COMPOSITION DU BETON.....	64
IV-4-1/Confection et cure des éprouvettes.....	66
IV-4-2/Modalité des essais –Programme principal	66
IV-4-2-1/Ouvrabilité	66
IV-4-2-2/Essai de résistance à la compression	67
IV-4-2-3/Essai de traction par flexion.....	68
IV-4-2-4/Essai de capillarité.....	69
IV-4-2-5/Essai d'absorption d'eau par immersion.....	70
IV-4-2-6/Essai de retrait.....	70

CHAPITRE V : ANALYSES DES RESULTATS ET INTERPRITATIONS

V/ANALYSES DES RESULTATS ET INTERPRITATIONS.....	73
V-1/ INTRODUCTION.....	73
V-2/ BETON FRAIS.....	73

V-2-1/Consistance et maniabilité du béton.....	73
V-3/BETON DURCI.....	74
V-3-1/Introduction.....	74
V-3-2/Résistance à la compression.....	75
V-3-3/Résistance à la traction par fendage.....	77
V-3-4/Relation entre résistance à la compression et résistance à la traction par fendage.....	79
V.3.5/ Module d'Young (E).....	81
V.3.6/ Capillarité.....	83
V.3.7/ Absorption d'eau par immersion.....	84
V.3.8/ Retrait hydraulique.....	85
CONCLUSION GENERALE.....	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	90

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau I.1	Les familles de roches magmatiques.....	11
Tableau I.2	Les limites de l'analyse granulométriques.....	19
Tableau I.3	Paramètres caractéristiques des granulats.....	20
Tableau I.4	Influence de la propreté des granulats sur la résistance des bétons.....	27
Tableau II.1	Matériaux rencontrés dans la wilaya de Guelma.....	35
Tableau IV.1	Analyse granulométrique du sable concassé 0/4.....	57
Tableau IV.2	Analyse granulométrique du gravier 5/16.....	59
Tableau IV.3	Masses volumiques apparente, absolue et porosité des granulats utilisés....	62
Tableau IV.4	Equivalent de sable et module de finesse du sable concassé.....	63
Tableau V.1	Variation du rapport E/C en fonction du pourcentage de fines.....	73
Tableau V.2	Résistance à la compression en fonction du pourcentage de fines.....	75
Tableau V.3	Résistance à la traction par fendage en fonction du pourcentage de fines...	77
Tableau V.4	Relation entre Rc/Rt en fonction du pourcentage de fines.....	79
Tableau V.5	Module d'Young en fonction du pourcentage de fines.....	82
Tableau V.6	Variation de la capillarité en fonction du pourcentage de fines.....	83
Tableau V.7	Variation de l'absorption d'eau en fonction du pourcentage de fines.....	84
Tableau V.8	Variation du retrait en fonction du pourcentage de fines.....	85

LISTE DES FIGURES

		Page
Fig.I.1	Extraction et élaboration des granulats.....	16
Fig.I.2	Opérations de lavage des granulats.....	17
Fig. I.3	Influence de la masse volumique des granulats sur le débit d'écoulement.....	22
Fig. I.4	Influence de la dimension des granulats sur le débit d'écoulement.....	24
Fig. I.5	Influence du nombre de granulats par unité de volume sur le débit d'écoulement.....	24
Fig.I.6	Recherche de la proportion gravillon/sable pour laquelle le temps 'écoulement du béton est minimal.....	25
Fig.I.7	Réduction de la résistance à la compression à vingt-huit jours due à une dessiccation des éprouvettes pendant les premiers jours de conservation.....	26
Fig.II.1	Production du gravier.....	36
Fig.II.2	Production d'argile.....	36
Fig.II.3	Production du marbre.....	37
Fig.II.4	Production du Kaolin.....	37
Fig.IV.1	Analyse granulométrique (Norme NF P 18-560) du sable concassé 0 / 4	58
Fig.IV.2	Analyse granulométrique (Norme NF P 18-560) du gravillon 5/16	61
Fig.IV.3	Composition granulaire du béton d'étude.....	65
Fig.IV.4	Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.....	67
Fig.IV.5	Mode de rupture des éprouvettes cylindriques en compression.....	68
Fig.IV.6	Essai de traction par fendage.....	69
Fig.IV.7	Organigramme des différents essais effectués sur le béton.....	71
Fig.V.I	Variation du rapport E/C en fonction du pourcentage de fines.....	73
Fig.V.2A	Résistance à la compression à 28 j en fonction du pourcentage de fines.....	76
Fig.V.2B	Résistance à la compression à 07 j en fonction du pourcentage de fines.....	76
Fig.V.3A	Résistance à la traction par fendage à 28 j en fonction du pourcentage de fines.....	78
Fig. V.3B	Résistance à la traction par fendage à 07 j en fonction du pourcentage de fines.....	78
Fig. V.4A	Relation entre Rc/Rt à 28 j en fonction du pourcentage de fines.....	80
Fig. V.4B	Relation entre Rc/Rt à 07 j en fonction du pourcentage de fines.....	80

Fig. V.5	Module d'Young en fonction du pourcentage de fines.....	82
Fig. V.6	Variation de la capillarité en fonction du pourcentage de fines.....	83
Fig. V.7	Variation de l'absorption d'eau en fonction du pourcentage de fines.....	84
Fig. V.8	Variation du retrait en fonction du pourcentage de fines.....	85

BUT DU TRAVAIL

L'objectif principal de la présente étude est la contribution à la valorisation de ces sous produits de carrières dans la confection de béton de structure.

Il s'agit d'étudier expérimentalement le comportement du béton envisagé à base de ces sables provenant d'une carrière implantée dans la région de Guelma en ajoutant des pourcentages différents de fines (0%, 12%, 15%, 18% et 21%).

On propose d'étudier l'influence des fines minérales sur la résistance mécanique à la compression et à la traction par fendage.

A cause des variations dimensionnelles pouvant être provoquées par la présence excessive des fines minérales, une étude sur la durabilité et la tenue à l'eau est également envisagée. Elle sera réalisée à travers une campagne d'essais sur le retrait, la capillarité et l'absorption d'eau par immersion.

PLAN DU TRAVAIL

Après une introduction générale sur le problématique des granulats posé en Algérie, une revue bibliographique sur ces derniers et sur le béton frais et durci est présentée dans le premier chapitre.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude géologique des différentes formations de la wilaya de Guelma ainsi que les matériaux à choisir.

Le suivant présente les principales méthodes de formulation des bétons: les méthodes empiriques ou semi empiriques. Celles-ci sont généralement les plus utilisées aussi bien par les laboratoires d'analyses que par les laboratoires de recherche.

Les matériaux utilisés et les différents essais expérimentaux effectués sont récapitulés dans le quatrième chapitre. Le cinquième traite les résultats des essais effectués et de leurs discussions.

Enfin une conclusion générale relative à ces travaux et des recommandations pour futurs travaux éventuels est proposée.

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION

Dans le domaine du génie civil et du bâtiment, les années 1980 ont marqué une étape importante dans l'évolution du béton, matériau le plus universellement utilisé [1]. Résistant, s'adapte en souplesse aux conditions les plus variées, économique, facile à fabriquer et simple d'emploi, extrêmement polyvalent, il est, après l'eau, le produit le plus consommé sur la planète ! pourtant, on l'associe souvent à un matériau bon marché et à un symbole de ce que les villes présentent de plus repoussant en matière d'architecture.

Ceci a fait l'objet d'intenses recherches sur ce matériau ainsi que sur ses composants dont les principaux sont le ciment, l'eau et les granulats. Ces derniers constituent environ 90% de tous les ouvrages de Génie civil et 75% en masse du béton [2]. Cette préoccupation nous donne une idée sur les besoins du chantier de construction Algérien en granulats, qui est sans doute énorme. A titre d'exemple pour construire un logement, il faut en moyenne 150 tonnes de granulats et la réalisation d'un kilomètre de route demande environ 12000 tonnes.

Au sujet des granulats, leur consommation est considérable car les besoins en sable sont estimés à 25,1 Millions de tonnes, dont 16 Millions de tonnes pour la construction et 9,1 Millions de tonnes pour la réalisation de routes [3]. Cette sensible et croissante demande a conduit à un épuisement rapide des sablières et des ballastières et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages.

A cet effet, en 1991 et 1999 deux décrets émanant du Ministère de l'Équipement et du Logement ont interdit l'exploitation abusive du sable du mer et du sable d'alluvions [4], [5].

Or l'Algérie est riche en calcaires, notamment dans les régions où les problèmes d'approvisionnement sont les plus cruciaux (Constantine, Mila, Oum EL Bouaghi,...) [6], pouvant répondre favorablement à la demande.

En langue de chiffres, environ 1010 carrières sont implantées à travers le territoire national avec une capacité de production annuelle totale de 68 Millions de tonnes et de 10 à 400 tonnes par heure [3]. Ces dernières génèrent 15 Millions de tonnes de sable comme un sous produit. Ce dernier n'est utilisé que partiellement dans la construction des routes et rarement dans le béton provoquant ainsi un problème de stockage au niveau des carrières et un problème d'environnement.

Ces sables sont peu et parfois rarement utilisés dans les bétons en raison de leurs taux élevés en fines (éléments inférieurs à 80 μm) qui varie de 8 à 30 %.

Ce problème n'est pas spécifique pour l'Algérie uniquement, car dans le monde plusieurs pays le rencontrent. Pour cela et depuis quelques temps des chercheurs se préoccupent activement des possibilités d'utilisation des granulats calcaires de concassage malgré la méfiance dans certaines entreprises qui entoure l'emploi de ces granulats dans les bétons. Une grande partie de cette méfiance est liée à la présence de grandes quantités de fillers et à l'action de ces fillers sur les propriétés du béton frais et durci.

Il était admis que ces fillers avaient principalement un effet physique de comblement de la porosité (un rôle de remplissage et un rôle de colmatage). Ces études ont conduit à amender leurs normes et en particulier la majoration du taux de fines de 12 à 16% [7], 18% [8], des proportions allant jusqu'à 20% n'ont pas d'influence néfaste sur les performances et la durabilité des bétons [9].

Les résultats obtenus au CRERIB ont montré que l'utilisation de ce type de sable, présentant une quantité de fines allant jusqu'à 25% est possible sans conséquences préjudiciables sur les caractéristiques physico mécaniques finales des mortiers et bétons [10].

CHAPITRE I

ÉTUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE

I/ETUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE

I-1/GENERALITES SUR LES GRANULATS POUR BETON

Les pierres et les granulats de toutes origines, naturelle ou artificielle, demeurent, à l'heure actuelle, les matériaux essentiels de toutes les constructions du génie civil.

S'il s'agit de bâtiment, les pierres, d'une part pour la maçonnerie, et les granulats, pour les mortiers et bétons interviennent pour les neuf dixièmes de la construction des édifices, tant en fondation qu'en structure [11].

La simple définition donnée à ces derniers est qu'ils sont un constituant essentiel des bétons qui conditionne à la fois leurs caractéristiques et leur coût. Leur élaboration relève des industries extra actives.

La norme NF P18-101 [A] les définit comme un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, destinés pour la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation, de base et de roulement des chaussées et des assises et de ballasts de voies ferrés [12].

Ils se subdivisent en :

I-1-1/ Granulats naturels

Issus de roches meubles ou massives extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (c'est-à-dire concassage, broyage, criblage, lavage, sélection); on peut les classer de trois manières différentes :

- ✓ les pierres calcaires et les pierres silicatées.
- ✓ les pierres et agrégats provenant de roches éruptives de roche sédimentaire et de roches métamorphiques.
- ✓ les pierres et agrégats cristallins, microcristallins, crypto cristallins et amorphes.

I-1-2/ Granulats artificiels

Provenant de la transformation thermique de roches, de minerais, de sous-produits industriels (laitier, scories,...etc.) ou encore de la démolition d'ouvrages ou bâtiments divers en béton, souvent appelés granulats recyclés.

La norme P18-101 [A] qualifie les granulats légers, les produits dont la masse volumique réelle est inférieure à $2t/m^3$ (déterminée suivant les normes NF P18-554 [B] et NF P18- 555) [C]). Ce sont essentiellement des argiles, des schistes, des laitiers expansés ou encore des pouzzolanes; ils sont destinés à la préparation de bétons légers.

Les granulats pour bétons hydrauliques concernés par la norme P 18-541 [D] ont des masses volumiques réelles supérieures ou égales à $2t/m^3$.

Au même titre que les granulats courants, les granulats lourds (baryte, pyrite, hématite) sont utilisés dans la fabrication de bétons de protection d'ouvrages maritimes (blocs, tétrapodes) ou de bétons isolants vis-à-vis des radiations ionisantes (NF P 18-540) (octobre 1997) [E].

I-2/ CARACTERISTIQUES DES ROCHES POUR GRANULATS

Comme nous l'avons présenté ci-dessus, les granulats naturels sont issus de roches massives ou meubles, caractérisées par leur composition minéralogique, leur texture, leur état d'altération, leur porosité. De ces caractéristiques dépendront les propriétés des granulats (résistances mécaniques, absorption d'eau, homogénéité, gélivité, altérabilité, réactivité aux alcalins).

I-2-1/Les principales familles de minéraux rencontrés

Les granulats naturels quelque soient leurs sources (roches massives ou meubles) sont essentiellement constitués de silice, de silicates (ces deux familles de minéraux constituent 90% de l'écorce terrestre) et de carbonates.

I-2-1-1/ La silice

Le quartz en est le représentant le plus fréquent ; on le trouve dans les roches massives (granites, gneiss, grès) et dans les alluvions. La calcédoine (silice fibreuse), l'opale (silice amorphe) se rencontrent dans des roches sédimentaires comme les silex, les cherts, les chailles, etc. ainsi que dans certaines roches métamorphiques.

La silice, lorsqu'elle est microcristalline, crypto cristalline, fibreuse ou amorphe, peut donner lieu, dans certaines conditions, à des réactions alcalines au sein du béton.

Toutes les formes de silice sont dotées d'une grande dureté, facteur de bon comportement à l'attrition des granulats, mais cause d'usure des matériels.

I-2-1-2/Les silicates

Les silicates sont formés essentiellement par un assemblage de tétraèdres $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Une partie des ions Si^{4-} peut être remplacée par des ions Al^{3+} , ce qui crée un déficit de charges positives compensé par l'introduction d'ions Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , etc.

On distinguera essentiellement :

- ✓ les feldspaths (silicates d'alumine cristallisés) se présentant sous forme de tablettes que l'on rencontre dans les roches magmatiques et métamorphiques.
- ✓ les silicates en feuillets comme les micas et les argiles.

Les autres silicates, pour l'essentiel ferromagnésiens, tel qu'amphiboles, pyroxène olivines, etc. que l'on rencontre dans les roches magmatiques ou métamorphique pauvres en silice telles que diorites, gabbros, basaltes.

Les silicates sont moins durs, beaucoup moins abrasifs que le quartz. Ils peuvent être altérés, ce qui leur confère une perte de résistance, de la porosité, l'apparition de certaines espèces hydrophiles (argiles) et, dans certains cas, la faculté de libérer des ions alcalins en milieu calcique du béton.

I-2-1-3/Les carbonates

Ce sont essentiellement :

- ✓ la calcite Ca CO_3 ,
- ✓ la dolomite $\text{Ca Mg (CO}_3)_2$ que l'on trouve dans certaines roches sédimentaires et métamorphiques.

I-2-2/Les roches massives

I-2-2-1/Les roches magmatiques

Elles viennent des profondeurs de l'écorce terrestre où la matière, qualifiée de magma, est soumise à de hautes pressions et à des températures élevées. Elles appartiennent à deux familles :

- ✓ à texture grenue (à grains millimétriques), si le magma est refroidi lentement ; ce sont les roches plutoniques (ou intrusives).
- ✓ à petits cristaux non visibles à l'œil nu (texture microlitique ou microgrenue) avec subsistance d'une phase vitreuse et de gros cristaux (structure porphyrique), si le magma s'est refroidi rapidement en s'épanchant à la surface de l'écorce terrestre; ce sont les roches volcaniques (ou effusives).

Ce sont des roches polygéniques à silice et à feldspaths pouvant renfermer des micas et des silicates ferromagnésiens (amphiboles). Le tableau ci-dessous présente les principales familles rencontrées.

Tableau I.1 Les familles de roches magmatiques [13]

Roches à feldspaths alcalins: avec quartz sans quartz	Roches grenues	Roches microgrenues
	Granite Syénite	Rhyolite Trachyte
Roches à feldspaths calcosodiques : avec quartz sans quartz	Granodiorite Diorite Gabbro Diabase Dolérite	Dacite Andésite Basalte Ophite

I-2-2-2/Les roches sédimentaires

Elles forment une importante famille dont nous retiendrons :

- ✓ les grès et grès quartzites (roches détritiques).
- ✓ les roches carbonatées (roches d'origine chimique et biogène).
- ✓ les roches et silex (roches d'origine chimique et biogène).

Les grès et grès quartzites proviennent de la cimentation de sables (quartz dans les quartzites) par de la silice. Leur résistance est essentiellement fonction du degré de remplissage des vides entre les grains (porosité).

Les calcaires sédimentaires sont des dépôts organochimiques, de calcite et dolomite, pouvant renfermer d'autres minéraux inclus comme du quartz, de la silice diffuse ou des argiles. Comme pour les grès, leurs caractéristiques mécaniques sont essentiellement liées à leur porosité et à leur texture.

Les silex constitués de silice crypto ou microcristalline, ainsi que les cherts renfermant essentiellement de la calcédoine se forment, en général, en nodules ou en couches dans les calcaires.

I-2-2-3/Les roches métamorphiques

Elles résultent de la transformation de roches magmatiques et/ou sédimentaires sous l'action de la température et des pressions subies pendant leur enfouissement ou au contact de corps chauds. Suivant l'intensité du métamorphisme et des roches mères, il existe une grande variété de roches.

On citera :

- ✓ les gneiss (origine: granites, porphyres, diorites, etc., roches sédimentaires schisteuses).
- ✓ les micaschistes (origine: pélites ou argiles).
- ✓ les quartzites (origine: grès quartzite).
- ✓ les quartzites (origine : grès quartzite).
- ✓ les cornéennes.

Leurs propriétés dépendent de la nature de la roche mère et du degré de métamorphisme qu'elles ont subies. Souvent, elles présentent un caractère anisotrope (structure orientée, litée, schisteuse). Dans ce cas, l'élaboration de produits de bonne forme nécessite qu'un soin particulier soit apporté à la définition des circuits de matériaux et au choix des matériels de fragmentation.

I-2-3/Les roches meubles

Ce sont des dépôts anciens ou actuels résultant d'un processus d'érosion, d'altération et de sédimentation de roches massives. Ces dépôts se présentent sous forme:

- ✓ d'alluvions de rivières ou de fleuves ou fluvio-glaciaires (anciennes moraines reprises par un cours d'eau) déposées dans des basses vallées ou terrasses anciennes qui, d'ailleurs, peuvent avoir été submergées par la mer (sables et graviers marins).
- ✓ de plages et dunes, actuelles ou anciennes, submergées.
- ✓ de gisements appartenant à un horizon stratigraphique défini (sables siliceux provenant de rivages anciens).

- ✓ de formations autres, telles qu'éboulis, brèches, conglomérats, moraines, arènes.
- ✓ Les alluvions peuvent être silico-calcaires (le plus souvent), calcaires ou polygéniques (composées d'éléments siliceux et silicatés), suivant la nature du bassin à partir duquel s'est constitué le dépôt.

Les éléments dominants sont, en général, ceux qui sont les moins altérables (quartz, silex, grès, calcaires). Leur granularité est fortement dépendante de leur position par rapport au cours du fleuve ou de la rivière (lit mineur, lit majeur, terrasses anciennes, cours supérieur, moyen ou inférieur).

I-3/ELEMENTS SUR L'ELABORATION DES GRANULATS

I-3-1/Les principales opérations effectuées

L'élaboration de granulats à partir de roches meubles ou massives nécessite un certain nombre d'opérations qui sont présentées dans le tableau présenté ultérieurement.

Les caractéristiques géométriques (granularité, forme) et de propreté des granulats dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement.

I-3-2/ L'extraction

L'ensemble des opérations d'extraction de la roche dans le gisement peut être défini dans un plan d'exploitation qui traite:

- ✓ de la reconnaissance du gisement.
- ✓ de l'enlèvement de la découverte.
- ✓ des méthodes d'extraction.
- ✓ de l'organisation des fronts.
- ✓ de l'homogénéisation des produits extraits et, s'il y a lieu, de la dilution (opération qui consiste à diluer de façon contrôlée un faciès altéré ou réactif vis-à-vis des alcalins par mélange avec une extraction de matériaux sains, de façon que les produits élaborés soient conformes aux spécifications des normes, non réactifs et homogènes).

Dans les roches massives, l'extraction se fait par minage suivant des plans de tir définis permettant d'obtenir un produit de blocométrie de l'ordre de 0/1000 mm.

(Voir schéma d'extraction et élaboration des granulats) [12].

I-3-3/Le concassage et le criblage

La fragmentation des matériaux (comminution) se fait par concassage et broyage, la distinction entre les deux termes relevant de l'usage. Les producteurs appellent concassage la fragmentation grossière et broyage l'élaboration de sables, petits gravillons et fillers.

Les appareils utilisés se divisent en trois grandes catégories :

- ✓ les appareils travaillant par écrasement lent.
- ✓ les appareils travaillant par chocs.
- ✓ les appareils à effets multiples, travaillant éventuellement par gravité.

L'ouverture d'entrée (largeur et prise) conditionne la taille des plus gros éléments admis à l'alimentation et l'ouverture de sortie (appelée quelquefois réglage) la granularité du produit sortant.

I-3-4/Le criblage

C'est l'opération qui permet de séparer et de classer un ensemble de grains $0/D_n$ provenant de l'extraction et/ou du concassage en sous-ensembles $0/D_i$ ou d_i/D_i . Elle se fait au moyen de cribles vibrants inclinés, constitués par un caisson équipé de grilles mis en vibration, le plus souvent, par un arbre balourdé, le tout étant supporté par une suspension souple (ressorts, tampons en caoutchouc). Les grilles subissent un mouvement vibratoire (dont l'amplitude dépend du balourd) imposé aux matériaux qui sont ainsi secoués et avancent par gravité. L'intensité du secouage (couple vitesse amplitude) varie en fonction du type de criblage.

La surface du crible conditionne son débit qui est influencé par la granularité de l'alimentation (proportion de grains voisins de la maille) et un éventuel arrosage. Les appareils actuels peuvent atteindre dix-huit mètres carrés. Généralement, ils ont deux ou trois étages de grilles, mais la surface effective de travail diminue avec l'étage (elle est de 90 % de la surface géométrique au deuxième étage et de 75% au troisième). Les équipements varient : barreaux pour le scalpage, toiles à mailles carrées, en général, tissus à mailles à ondes pour les criblages difficiles ou grilles à fissures (égouttage), etc.

La maille effective de criblage D est inférieure à la dimension géométrique D_0 de la maille de l'équipement du crible. En général, D est de l'ordre de 0,85 à 0,95 D_0 .

I-3-5/Le lavage et le défilage

I-3-5-1/Le lavage des granulats

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution (argiles) et l'excès de fines. On peut suivant le degré et le type de pollution faire:

- ✓ un lavage après extraction (sur gros appareil débourbeur).
- ✓ un lavage sur crible sur le tout venant et/ou les gravillons.
- ✓ un lavage du sable en fin de parcours.

Le lavage des sables consiste en une mise en suspension dans l'eau dans un cône séparateur qui rejette les eaux boueuses de lavage et délivre une pulpe traitée dans un séparateur fluidique éliminant les fines (roues ou vis laveuses, hydro cyclones). Les contraintes d'environnement n'autorisent le rejet des eaux de lavage qu'après décantation.

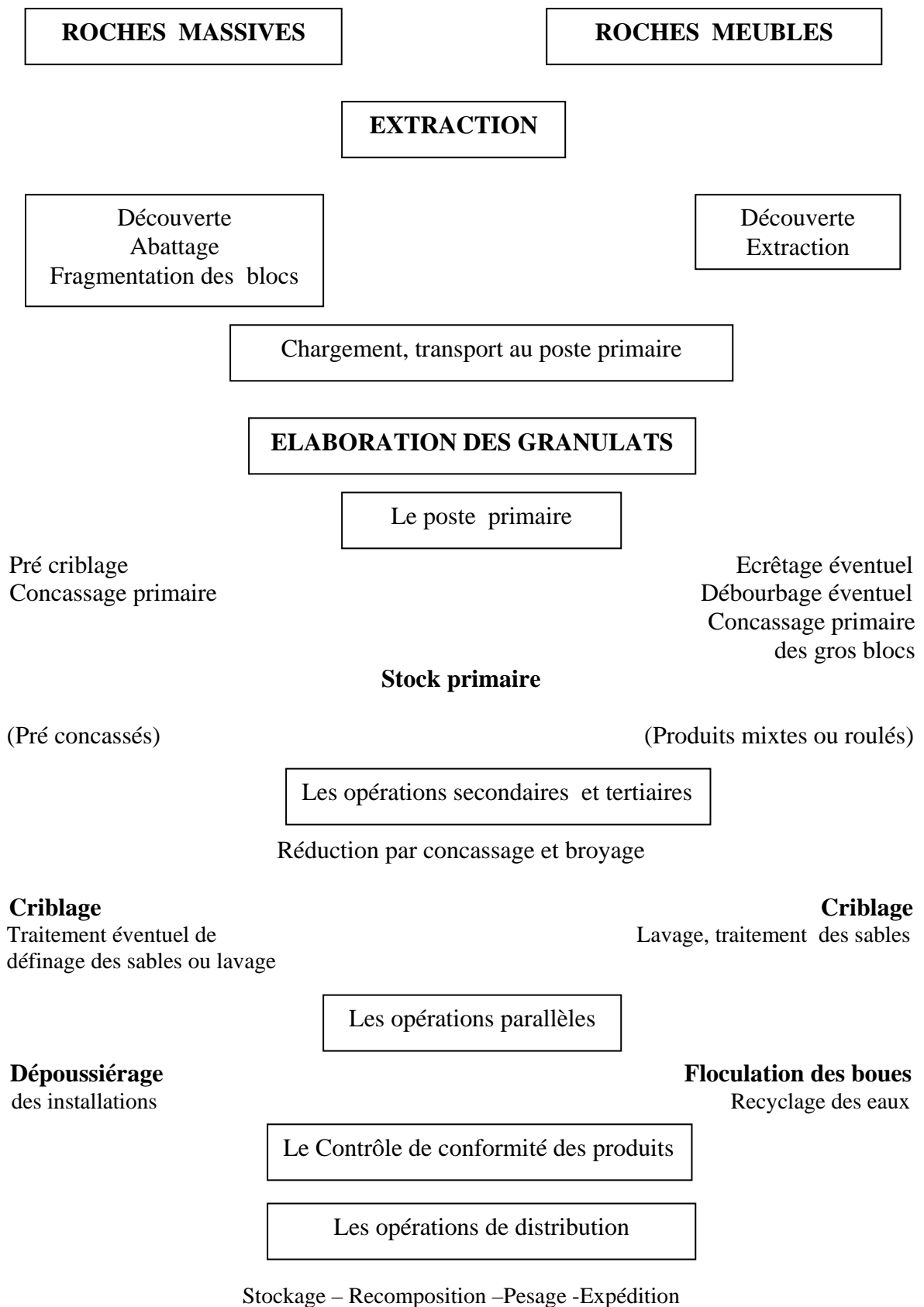


Fig.I.1 Extraction et élaboration des granulats [12]

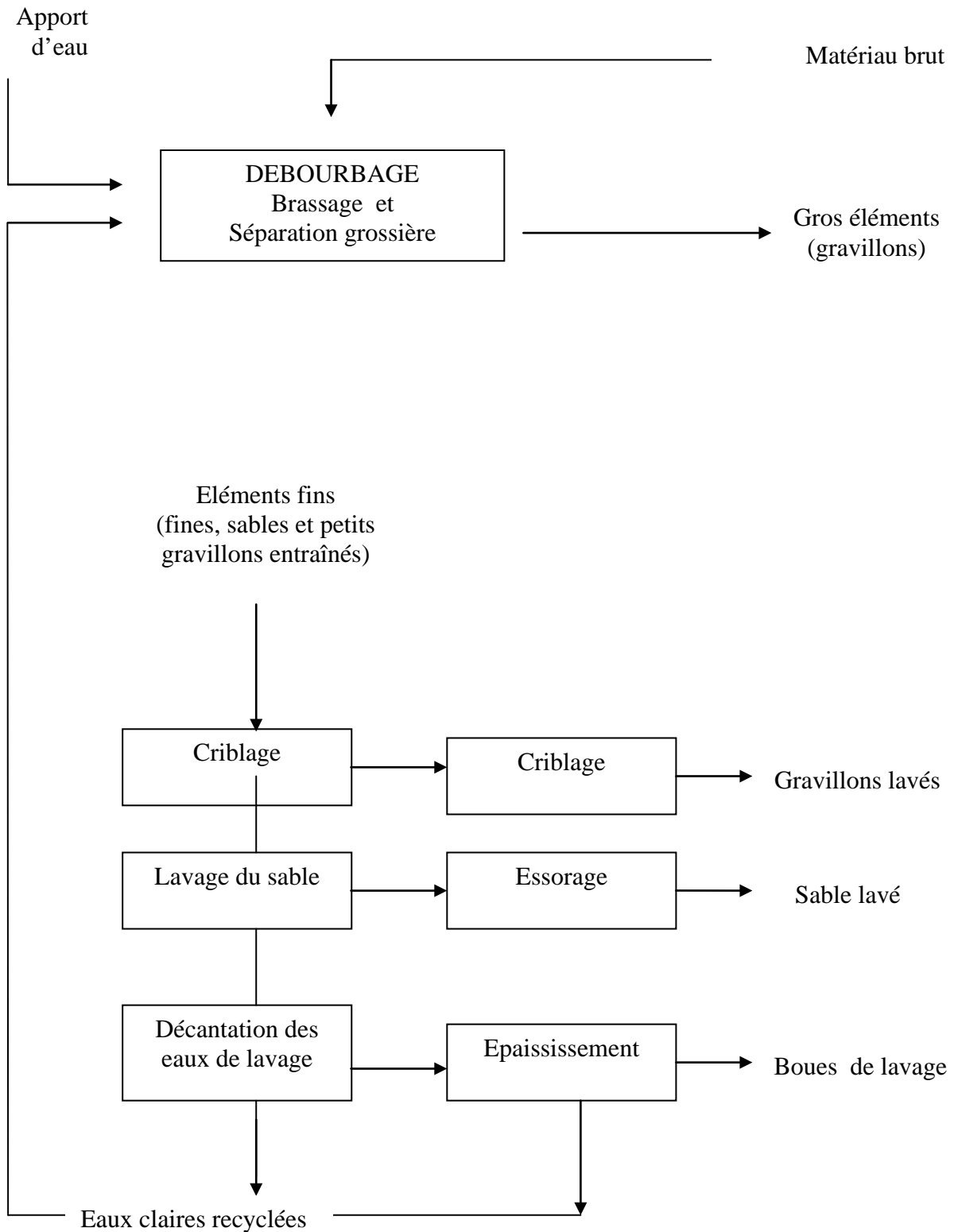


Fig.I.2 Opérations de lavage des granulats [12]

I-3 -5-2/Le définage à sec

Il a pour but d'éliminer par voie sèche l'excès de fines de broyage de sables. Il ne peut se faire que sur des produits très peu pollués par de l'argile (valeur de bleu inférieure à 1) et secs (humidité inférieure à 0,6 -0,8 %). Dans les cas d'humidité plus élevée, il faut sécher le produit avant définage.

Dans des conditions faciles (produit non pollué et sec), pour éliminer un excédent de fines, des systèmes du type goulotte de définage, procédant par brassage et aspiration, conviennent. Dans les autres cas, il faut faire appel à des technologies complexes mettant en œuvre des séparateurs centrifuges mécaniques à courant ascendant.

Le rejet d'air chargé de poussières est interdit, ce qui nécessite toujours l'installation d'un système de dépoussiérage complexe.

I-3-6/ Classification granulométrique des granulats

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrées dans la série normalisée NF ISO 565 (indice de classement X 11-501). Ils sont désignés par d et D qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions de l'appellation commerciale des produits. Ils sont appelés d/D ou 0/D lorsque d est inférieure à un millimètre.

Les intervalles d/D ou 0/D sont également appelés classes granulaires.

Le projet de révision de la norme P 18-101 (future norme P 18-540, partie 1) retient pour les dimensions d et D, exprimées en millimètres, des classes granulaires désignant les produits commerciaux, la série suivante :

0 – 1 – 2 – 4 – 6,3 – 8 – 10 – 12,5 – 14 – 16 – 20 – 25 – 31,5 – 40 – 63 – 125 mm.

Si nécessaire, les coupures à 2,5 – 3,15 – 5 – 25 – 50 et 90 mm peuvent être utilisées.

Familles des granulats :

- ✓ Fillers 0/D où $D \leq 2$ mm et contenant au moins 70 % de passant à 0,063 mm.
- ✓ Sables 0/D où $D \leq 6,3$ mm (ramené à 4 mm pour le sable à béton).
- ✓ Sablons 0/D où $D \leq 1$ mm et contenant moins de 10 % de passant à 0,063 mm.
- ✓ Gravillons d/ D où $d \geq 1$ mm et $D \leq 31,5$ mm.
- ✓ Cailloux d/ D où $d \geq 20$ mm et $D \leq 125$ mm.
- ✓ Graves 0/ D où $D > 6,3$ mm.

Les passants à d et les refus à D doivent, lors de l'analyse granulométrique, respecter les limites suivantes:

Tableau I.2 Les limites de l'analyse granulométriques

	Granulats 0/D	Granulats d/D	
Passant à 2D	100 %	100 %	
Passant à 1,58D	≥ 99 %	≥ 99 %	(cas général: $D < 50$ mm)
Passant à D	≥ 85 % et ≤ 99 %	≥ 85 % et ≤ 99 %	(jusqu'à 80% si $D \leq 1,6d$)
Passant à d	-	0 à 15 %	(jusqu'à 20% si $D \leq 1,6d$)
Passant à 0,63 d	-	≤ 5 %	

Pour les fillers et les sables, il est également spécifié, dans la norme P 18-541[D], les teneurs maximales en éléments fins. Ces éléments fins sont :

- ✓ soit les passants à 0,080 mm (≤ 12 % pour les sables à bétons); la valeur de ce passant doit pouvoir être communiquée, sur demande, pour les sables;
- ✓ soit les passants à 0,063 mm (≥ 70 % pour les fillers).

Pour les granulats d/D, il est spécifié que l'étendue du fuseau de régularité est limitée à 35 %, au tamis médian $(d + D)/2$ (si $D \geq 2,5 d$), dans la norme P 18 -541[D] (Granulats pour bétons hydrauliques).

I-3-7/Caractéristiques des granulats recherchées pour usage routier ou pour fabrication du béton

Tableau I.3 Paramètres caractéristiques des granulats [14]

	Granulats pour usages routiers	Granulats pour bétons
Mise en œuvre	<u>Comportement à court terme:</u> -granulométrie -angularité -propreté -teneur en eau -masse volumique	<u>Comportement à la mise en œuvre:</u> -granulométrie -angularité -teneur en eau
Niveau de service	<u>Evolution à long terme et niveau d'usage:</u> -résistance mécanique -fragmentation -usure - polissage -affinité aux liants -gélivité -angularité	<u>Résistances mécaniques et évolution à long terme:</u> -affinité aux ciments -résistance mécanique -gélivité -alcali réaction -teneur en chlorure et sulfates

I-4/INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS

Les caractéristiques des granulats ont une grande influence sur celles des bétons: soit il y a une influence directe sur une propriété particulière du béton, soit il y a une influence sur le rapport E/C nécessaire pour obtenir la maniabilité voulue, avec toutes les conséquences qui en résultent sur la résistance et la durabilité. Pour réduire les coûts on cherche, autant que possible, à utiliser les granulats disponibles localement; dans quelques cas, cependant, le choix peut être orienté par le ou les objectifs techniques comme la maniabilité, l'aspect des parements, les résistances, la durabilité.

I-4 -1/Influence de la masse volumique des granulats

Des études expérimentales effectuées par Barrioulet M. et Lergand C. [15] s'intéressent à la variation du débit d'écoulement Q en fonction de la concentration en granulats de mélanges composés de pâtes interstitielles de même composition ($\gamma^* = 0,570$) d' où :

$$\gamma = \frac{\text{volume de la phase solide}}{\text{volume de la phase solide} + \text{volume de la phase liquide}}$$

et de granulats de même caractéristiques dimensionnelle (d =10 mm).

Pour une concentration en granulats donnée, on constate une variation quasi linéaire du débit du mélange en fonction de la masse volumique ξ_G des granulats, que cette dernière soit d'ailleurs supérieure ou inférieure à la masse volumique de la pâte ζ_p .

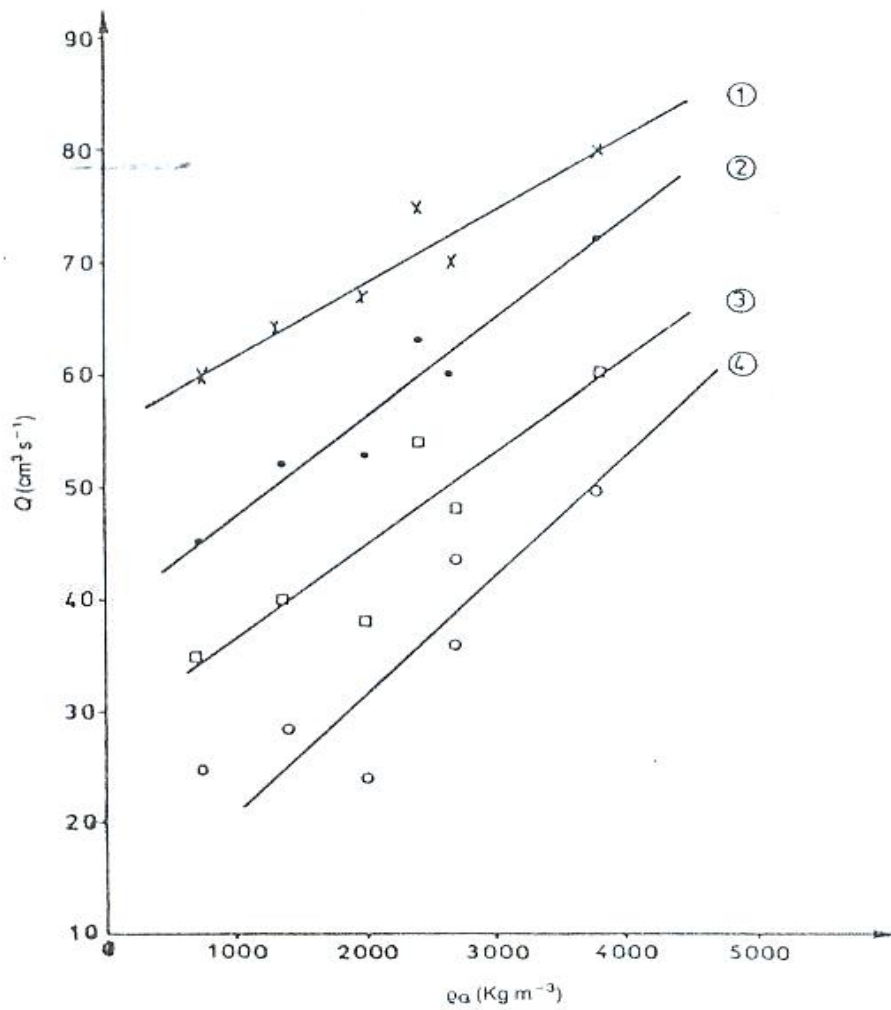


Fig. I.3 Influence de la masse volumique des granulats sur le débit d'écoulement.

Pâte de calcite: $\gamma = 0,570$ – $\rho_p = 1979 \text{ kg m}^{-3}$. Granulats: nature différente, $d = 10 \text{ mm}$. (1) $\Gamma = 10 \%$; (2) $\Gamma = 20 \%$; (3) $\Gamma = 30 \%$; (4) $\Gamma = 40 \%$ [15].

I-4 -2/Influence de la dimension des granulats

Même si les paramètres caractéristiques des granulats sont fixés, leur dimension influe sur l'écoulement.

Lorsque celle-ci (la dimension) augmente de 5 à 15 mm, on constate une décroissance linéaire du débit pour des mélanges constitués de billes de verre, cette variation est aussi constatée pour des mélanges formulés de granulats de calcite de dimension moyenne allant de 5 à 12 mm environ. Il semble logique que cette influence de la dimension est liée au nombre de granulats se trouvant dans le mélange [15]. L'augmentation du nombre de grains, à concentration constante, entraînant une amélioration de l'écoulement.

Il convient de noter que lorsque la dimension des granulats devient inférieure à 5 mm la loi de la variation est inversée : le débit décroît lorsque la dimension des grains diminue.

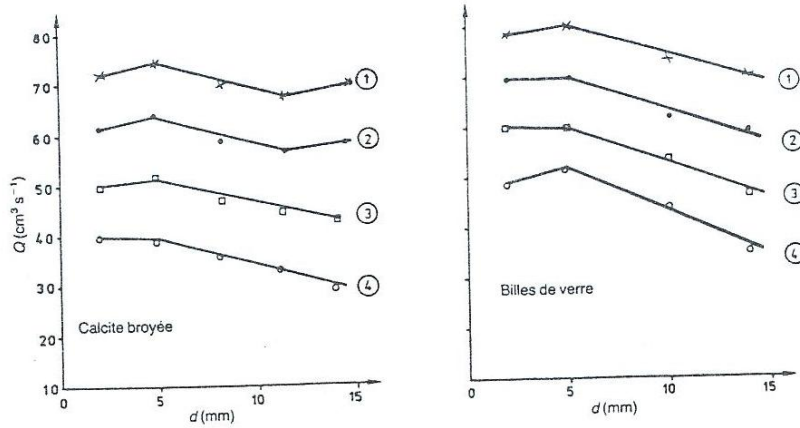


Fig. I.4 Influence de la dimension des granulats sur le débit d'écoulement.

Pâte de calcite: $\gamma=0,570$ – (1) et (4) [15].

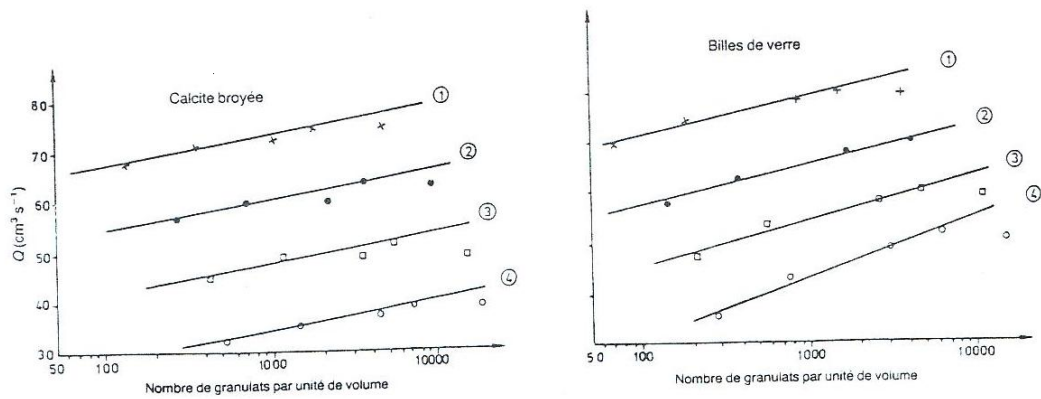


Fig. I.5 Influence du nombre de granulats par unité de volume sur le débit d'écoulement. Pâte de calcite: $\gamma=0,570$ – (1) et (4) [15].

I-4 -3/Influence sur l'ouvrabilité

Les courbes A, B, C correspondent à différents bétons. Elles montrent toutes un temps d'écoulement minimal pour un rapport gravillon /sable voisin de 1,8. Mais, selon les courbes, l'optimum est plus ou moins plat. La courbe A illustre un mélange très « pointu » où l'incidence du rapport G/S est primordiale sur la maniabilité du béton. Dans ce cas, il faut impérativement se tenir à la valeur de 1,8 (en ajoutant cependant quelques dizaines de kilogrammes de sable si le ferrailage est très dense). La courbe B montre un mélange moins « pointu » dont l'optimum se situe autour de 1,75. C'est, par exemple, le cas d'un sable fin (module de finesse autour de 2,30). Enfin, la courbe C indique un mélange, donc l'incidence du rapport G/S est pratiquement nulle, d'autant qu'à ces valeurs de temps d'écoulement au maniabilimètre LCL de 14 à 16 secondes la précision de la mesure est de ± 1 s. Cette courbe C pourrait être, par exemple, celle d'un mélange contenant 6 à 8 % de fumée de silice [14] et [16].

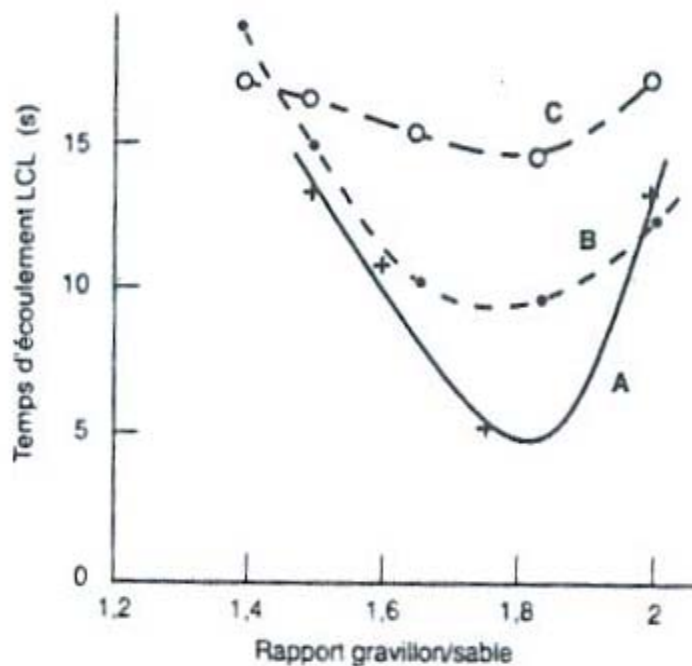


Fig.I.6 Recherche de la proportion gravillon/sable pour laquelle le temps d'écoulement du béton est minimal[14] et [16].

I-5/ INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI

I-5-1/ Résistance à la compression

I-5-1-1/La conservation des éprouvettes

La norme NF P 18-404 [F] spécifie que l'éprouvette doit constamment être protégée contre la dessiccation de son eau interne, dès la fin du moulage et pendant le transport. Ces précautions sont indispensables: une dessiccation précoce pendant les cinq premiers jours fait chuter la résistance de 10% (Fig.I.7). La résistance d'un béton exposé pendant sept jours à une humidité relative de 50% peut être réduite de 25% par rapport à celle d'un béton témoin protégé contre la dessiccation de son eau interne [17].

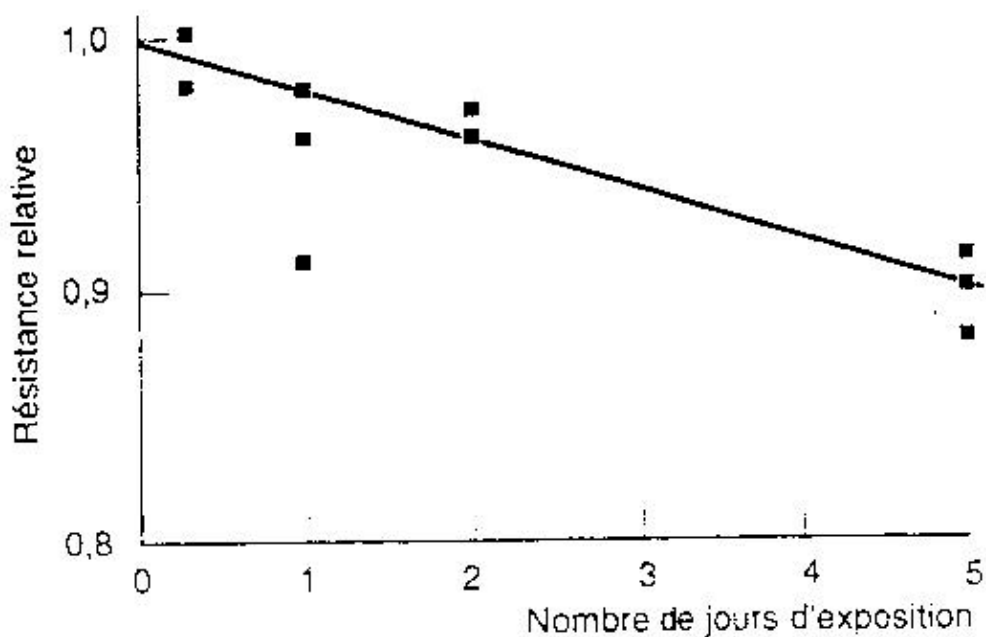


Fig.I.7 Réduction de la résistance à la compression à vingt-huit jours due à une dessiccation des éprouvettes pendant les premiers jours de conservation [17].

I-5-1-2/La propreté des granulats

La variation de la propreté des granulats, par interruption momentanée du lavage par exemple, peut s'accompagner d'une diminution de la résistance de l'ordre de 10 à 15% (Tableau I.4).

Tableau I.4 Influence de la propreté des granulats sur la résistance des bétons [17]

Ciment	Origine et état du granulat	f_{c28} (Mpa)	f_{c28} (%)
CPA-CEM I 42,5	Lavé	33,9	100
	Non lavé	29,9	88
CPJ-CEM II 32,5	A Lavé	35,2	100
	Non lavé	29,3	83
CPA-CEM I 42,5	Lavé	34,7	100
	Non lavé	31,3	90
CPJ-CEM II 32,5	B Lavé	36,0	100
	Non lavé	31,6	87

Le fait qu'un lavage insuffisant des granulats puisse provoquer une baisse de résistance n'est pas en contradiction avec l'existence d'une valeur optimale de l'équivalent de sable, autour de 0,75. Ce n'est pas la présence des éléments fins qui sont néfastes mais, entre autres causes, leur collage sur la surface des gravillons qui peut empêcher une bonne adhérence [17].

I-5-1-3/L'air entraîné

La présence d'air entraîné, recherchée pour la tenue du béton au gel et aux sels fondants, doit être prise en compte, au moment de la formulation du béton, pour l'obtention de la résistance garantie. Mais un surcroît d'air peut aussi résulter d'un effet secondaire d'un adjuvant, un plastifiant par exemple. On retiendra que 1% d'air a exactement le même effet sur la résistance à la compression que dix litres d'eau, soit une baisse de 4 à 6 % [17].

A l'inverse, la présence de carbone ou autres matières organiques dans une addition peut réduire la teneur en air occlus et augmenter artificiellement la résistance à la compression [17].

I-5-1-4/Autres paramètres

D'autres causes peuvent se rencontrer, une chute de la résistance à la compression du béton due à l'utilisation de granulats très chauds (70 °C, cas d'un tas exposé au soleil): une baisse de la résistance de 10 à 15% a été observée, attribuable, d'une part, à l'augmentation du dosage en eau nécessaire pour obtenir une consistance plastique (dix à douze litres d'eau en plus) et, d'autre part, à un affaissement de la liaison gravillon -mortier [17].

I-5-2/Résistance à la traction, à la flexion et aux chocs

Le béton se rompt toujours en traction (même si, à l'échelle de l'éprouvette, il est sollicité en compression). La principale différence, sur laquelle on peut chercher à agir, est le mode de propagation de la fissure qui, en compression simple, est naturellement stable et, en traction simple, naturellement instable (la fissure, à peine initiée, s'emballe et traverse la pièce). Le principe consiste donc à rendre la propagation de la fissure plus difficile [17]. C'est l'un des rôles de l'armature dans le béton armé. L'emploi de fibres métalliques augmente sensiblement la résistance aux chocs. En revanche, l'augmentation des résistances à la compression ou à la traction est négligeable pour les bétons courants, à cause du déchaussement des fibres. Pour qu'une augmentation de la résistance soit significative, il faut une meilleure adhérence et, pour cela, une pâte de ciment elle-même plus compacte et plus résistante.

I-5-3/ Module d'élasticité (E)

Le module d'élasticité du béton dépend fortement de la valeur du module d'élasticité des granulats, qui occupent 70% du volume. En choisissant les granulats, on peut donc faire varier significativement la valeur du module d'élasticité du béton à résistance à la compression constante: la réduire, par exemple, en utilisant des granulats légers [17].

I-5-4/ Retrait et fluage

Le retrait et le fluage du béton ont principalement leur origine dans la pâte de ciment. En général, ces propriétés sont prises en considération pour les bétons de génie civil contenant de 350 à 400 kg de ciment par mètre cube. Sur ces bétons, il est possible de réduire la valeur du fluage ou du retrait en diminuant la quantité de la pâte de ciment, ce qui revient à augmenter la proportion des granulats [17]. Cela peut être fait, à résistance à la compression constante, si la porosité de la pâte de ciment reste la même. En pratique, il est nécessaire d'utiliser un plastifiant ou même un super plastifiant: cet adjuvant peut alors avoir un effet propre sur le fluage et le retrait, effet qui doit être étudié expérimentalement [17].

I-5-5/ Coefficient de dilatation thermique

Le coefficient de dilatation thermique du béton dépend principalement de celui des granulats (sable et gravillon) qui occupent environ 70% de son volume. Or, ce dernier peut varier de $6 \cdot 10^{-6}$ (granulats calcaires) à $13 \cdot 10^{-6}$ (granulats siliceux) [17].

CHAPITRE II

**CARACTERISTIQUES DES
GRANULATS DE
LA WILAYA DE GUELMA
ET CHOIX DES GRANULATS POUR
LES BETONS D'ETUDE**

II /CARACTERISTIQUES DES GRANULATS DE LA WILAYA DE GUELMA

II-1/GEOLOGIE DE LA REGION DE GUELMA

La géologie de la région de Guelma peut être divisée en trois grands ensembles: [D'après J.C.Lahondère]:

- ✓ ensemble anté-nappe.
- ✓ ensemble Mio-Pliocène (continental, lacustre du bassin de Guelma).
- ✓ ensemble récent (Pliocène et Quaternaire) [18] et [19].

II-1-1/Ensemble Anté-nappe

Cet ensemble comprend les formations mésozoïques et cénozoïques jusqu'au Miocène moyen.

Ces formations ont, ou bien données des nappes (nappes Telliennes, nappe Numidienne) ou bien elles se trouvent chevauchés par ces nappes (formations des Sellaouas). [D'après J.C.Lahondère].

II-1-1-1/Formations mésozoïques

II-1-1-1-1/Trias inférieur

Il affleure au nord du massif de Nador N'bail sous forme de schistes satinés alternant avec des bancs de grès.

II-1-1-1-2/ Trias d'argile bariolées

Il est représenté par des argiles bariolées injectées de gypse, des cargneules et de calcaire.

II-1-1-1-3/Jurassique

Caractérisé par des calcaires et des dolamies massives noires affleurant au voisinage du trias du Nador.

II-1-1-1-4/Crétacé

Représenté par des calcaires néritiques des massifs de la région de Guelma (Djebel Debagh, Grar, Taya) qui sont surmontés stratigraphiquement par des niveaux argilo-marneux de teinte sombre, à microfaunes planctoniques du Maestrichien et du Paléocène.

II-1-1-1-5/ Crétacé à faciès pélagique

En outre au nord ouest de la région Djebel Sba affleurent d'importantes formations marneuses claires abondante microfaune planctonique; il s'agit de l'ultra tellien (J.M.Vila 1969).

II-1-1-2/Formations cénozoïques

II-1-1-2-1/La nappe du matériel Eocène

Cette nappe comprend :

- ✓ les formations de l'Eocène inférieur : calcaire noir à patine claire.
- ✓ les formations de l'Eocène moyen: marnes et argiles.
- ✓ les formations de Paléocène: marnes et argiles noires.

II-1-1-2-2/ La nappe Numidienne

Cette nappe comprend trois termes:

- ✓ des argiles de base de l'oligocène à côté d'Hammam Meskoutine.
- ✓ un terme gréseux et pélitique de l'Aquitainien.
- ✓ un terme argileux supérieur du Burdigalien inférieur surmonté à Djebel Khenza par des grés à dragées de Quartz.

II-1-1-2-3/L'autochtone

Représenté par les formations des Sellaouas: ce domaine correspond à un sillon a reçu le nom de sillon de Sellaouas en Algérie et qui prolonge le sillon Tunisien. Il est limité vers le sud par le domaine Hodnéen et la plate forme néritique Constantinoise. Dans la série de Sellaouas on a une sédimentation argileuse qui prend parfois l'aspect de turbudites.

II-1-2/Ensemble Mio-Pliocène (continental lacustre du bassin de Guelma)

On y voit se succéder deux cycles:

- ✓ la molasse de Guelma à la base composée de grès jaunes friables, intercalés avec des unités argilo marneuses grises ou jaunes parfois gypseuses. Cette molasse remanie des galets à sa base et son recouvrement anormal par le Trias gréseux de la Seybouse est un phénomène très récent.
- ✓ le second cycle formé par une succession d'argiles et de conglomérats rouges, les argiles grises à gypse et à soufre des tufs et des calcaires lacustres.

II-1-3/Ensemble récent (Pliocène et Quaternaire)

II-1-3-1/Plioquaternaire

Occupe une grande partie de la ville de Guelma avec des travertins associés à des filons d'onix.

II-1-3-2/Quaternaire

Il se présente sous forme de terrasses alluviales emboîtées les unes dans les autres. Ces terrasses sont composées principalement de galets et graviers.

Nous notons à ce niveau que cinq terrasses s'étagent au dessus du lit actuel:

- ✓ les alluvions du lit actuel.
- ✓ les alluvions de l'ouest Seybouse.
- ✓ une terrasse d'alluvions anciennes qui domine de 30 à 35 m le lit actuel.
- ✓ ces deux terrasses suivent la vallée principale de l'ouest.

- ✓ une terrasse d'alluvions anciennes dominant de 60 m le lit de l'ouest et se rattachant vers le sud à la terrasse Pliocène de 90 m. Cette terrasse se compose de limons cailloux, conglomérats marno-calcaires, elle s'élargit au sud est de la ville pour former une vaste plaine.

II-2/LES MATERIAUX RENCONTRES DANS LA REGION DE GUELMA

En langue des chiffres la wilaya de Guelma contient [20]:

- ✓ une mine de Kaolin dans la commune de Roknia.
- ✓ une carrière de Marbre dans la commune de Bendjerrah et une autre implantée dans la commune de Roknia.
- ✓ quatre (04) carrières de graviers (appartenant au secteur public).
- ✓ trente trois (33) carrières de graviers (appartenant au secteur privé).
- ✓ un matériau d'argile à Bordj Sabath.
- ✓ un matériau d'argile à Bendjerrah.
- ✓ un matériau de gypse à Djebela Khemissi.

Pour plus de détails le tableau suivant illustre la production des matériaux (gravier, argile, marne et kaolin) durant la dernière décennie.

Tableau II.1 Matériaux rencontrés dans la wilaya de Guelma

Années	Matériaux			
	Gravier (M ³)	Argile (Tonne)	Marbre (M ³)	Kaolin (Tonne)
1989	690391	/	4809	5061
1990	441456	/	3212	5052
1991	524978	/	2194	4903
1992	312584	/	2860	4925
1993	277132	/	3302	7412
1994	286784	/	3915	6333
1995	301459	/	2995	6228
1996	347998	/	6941	5836
1997	270593	/	8344	3862
1998	277972	89619	3653	1356
1999	351112	116629	2270	3504
2000	448738	108952	5024	3586
2001	454655	113980	3160	1385
2002	432958	66771	4940	/

II-3/HISTOGRAMMES DE PRODUCTION

On s'intéresse uniquement à la production de ces quatre matériaux au cours des cinq dernières années.

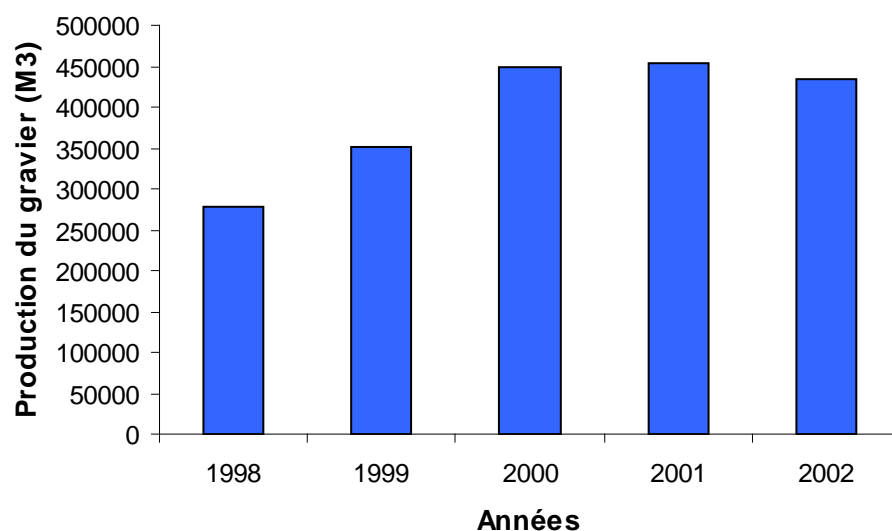


Fig.II.1 Production du gravier

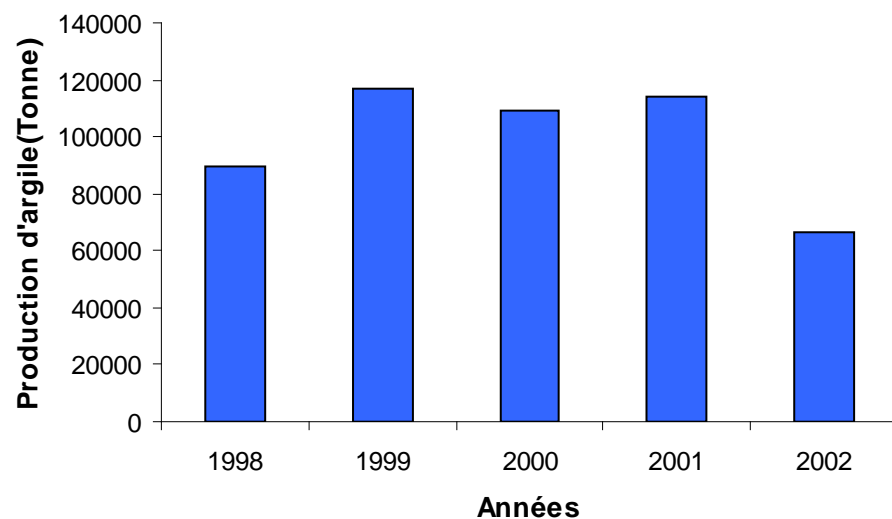


Fig.II.2 Production d'argile

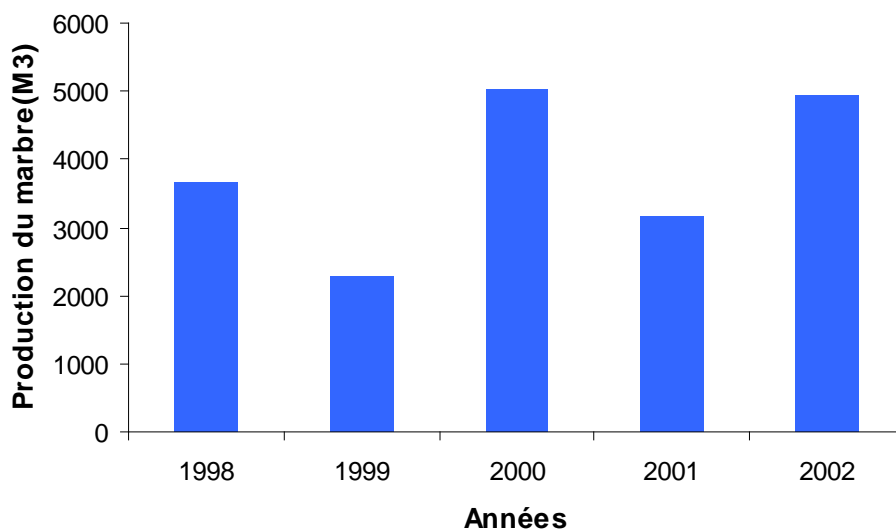


Fig.II.3 Production du marbre

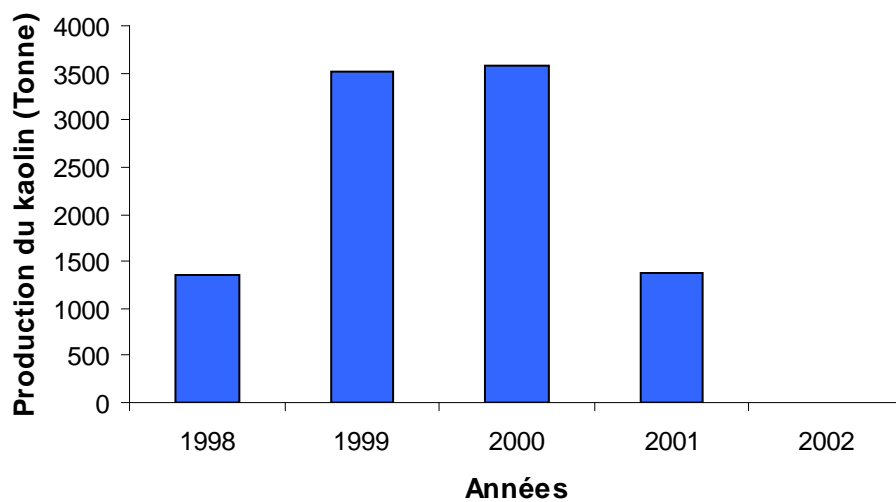


Fig.II.4 Production du kaolin

II-4/DESCRIPTION ET APPERCU GEOLOGIQUE DE QUELQUES CARRIERES DE LA REGION

II-4-1/Carrière de Bouzitoune

Elle est l'une des carrières les plus anciennes de la wilaya de Guelma (les travaux préparatoires ont commencer à partir de 1973 et la mise en exploitation en 1974) [21].

Cette carrière se situe au flanc de la colline Mechetat Bouzitoune (altitude 362 mètres) à environ 2,5 Kilomètre au nord ouest du village d'Héliopolis.

***Etude géologique du massif d'Héliopolis**

Les études réalisés ont montré que le terrain sur lequel se dispose Héliopolis est un plateau qui est constitué par des roches meubles (sable argiles éboulis) d'âge Quaternaire, les mêmes roches ont été constaté au fond de la fouille, se trouvent à droite de la route reliant la carrière et la route nationale (Guelma-Annaba). On peut dire que dans le plateau il n'y a pas des formations anciennes que le Quaternaire.

Le sondage en profondeur de 20 mètres fait au fond de la vallée appelée Bouzitoune a montré que le sous sol est constitué par des formations d'âge Mio-Pliocène (grés, agriles) et marneux de couverture récente d'épaisseur de 5 à 7 mètres, encore plus au nord ouest de la vallée il y a des collines qui sont des affleurants des calcaires compacts, des calcaires marneux et des marnes d'âge crétacé.

Sur la base de cette étude géologique on dit que le gisement de Bouzitoune qui se trouve sur la vallée d'Héliopolis est de nature Calcaire [21].

II-4-2/Carrière de Bendjerrah

Le site est dit Djebel EL-Halouf est à 2 Kilomètres environ au sud de la vallée de Guelma dans la commune de Guelma.

Il est à environ 2,5 Kilomètres du site Tabet en naga où est située l'installation de traitement (concassage et criblage) [22].

***Etude géologique**

Le gisement de Djebel EL-Halouf est composé de roches sédimentaires produits de la désagrégation de roches magmatiques sous l'effet des précipitations et des variations de température et déposés dans les marins.

D'âge Pliocène, ce massif rocheux, Karstique dans son ensemble, est formé de dolomies et de calcaires dolomitiques de couleurs grisâtres de structures micro granulaires uniformes et de textures massives.

La couche superficielle de 6 mètres est elle aussi de nature calcaire tendre et poreuse de couleur rosâtre que l'on peut classer comme travertin intéressant pour la pierre taillée.

Comme résumé; le gisement est de nature calcaire et fait partie du massif rocheux de Mahouna qui surplombe la ville de Guelma du côté sud [22].

II-4-3/Carrière de Hammam Debagh

Elle est située dans la commune de EL Fedjoudj au lieu dit Ain Ragoula avec une superficie d'environ 4 Ha nord ouest du village, elle est à 15 Kilomètres au nord du chef lieu de la wilaya, la surface exploitable est estimée au environ de 2 Ha 5A [23].

***Etude géologique**

La présente région est caractérisée par des calcaires néritiques des massifs de la région de la wilaya de Guelma (Djebel Debagh, Grar et Taya) qui sont surmontés stratigraphiquement par des niveaux argilo-marneux de teinte sombre, à microfaunes planctoniques du Maestrichien et du Paléocène.

Le gisement est de nature calcaire comme les précédentes [23].

II-4-4/Carrière de EL Kelaa

Le site est situé à environ 6 Kilomètres au sud ouest de la ville de Guelma. Tous les terrains rencontrés dans le secteur d'étude sont d'âge tertiaire.

Le massif rocheux qui a suscité notre intérêt est représenté par des calcaires. Ces calcaires s'étendent vers l'est et le nord sur de très grandes étendues.

Dans la partie occidentale du gisement, deux (02) formations d'âge Eocène sont rencontrées. La première, représentée par un ensemble d'argile et de grés, entoure deux (02) affleurements calcaires qui s'étendent sur près de deux (02) Kilomètres. La deuxième, située à l'ouest, est constituée par de grés qui forment le relief où culmine le Bouchoucha [24].

II-4-5/Carrière de Tamlouka (Ain Arco)

Une analyse réalisée au laboratoire sur une pierre prélevée du site a montré que c'est une roche grisâtre calcaire.

A la lumière des différents résultats d'analyses obtenus au laboratoire, cette roche est conseillée pour son utilisation comme granulats pour la composition du béton ainsi que pour l'enrochement (digues et jetés) [25].

II-4-6/Carrière de Dahouara

Elle est située dans un lieu dit Ain H'Djel.

Nature de la roche: calcaire gris bleu a veinules calciques oxydées.

Les matériaux exploités sont: le sable 0/3 et le gravier 5/15 ainsi que le 15/25 [26]. Ces matériaux peuvent être utilisés dans:

- ✓ les techniques des chaussées.
- ✓ les bétons hydrauliques.

II-4-7/Carrière de Roknia

Cette dernière est sise dans la commune de Roknia au lieu dit KAIDI Amar. La pierre prélevée pour analyse est un calcaire gris noirâtre.

A la lumière des différents essais effectués physiques et mécaniques, il s'avère que ces résultats sont satisfaisants pour la production en agrégats (graviers et sable). Il est conseillé de les utiliser dans la composition du béton ou pour l'utilisation de construction de chaussées [27].

II-4-8/Carrière de Guelat Bousbaa

Les agrégats ont une nature calcaire [28].

II-5/LA CARRIERE PROPOSEE POUR L'ETUDE

Après consultation des différents rapports et sur la base de la synthèse précédente et vu la production de chaque carrière, le choix est difficile car la nature calcaire est le facteur commun entre elles.

C'est ce facteur qui nous amène à choisir une seule carrière; celle de **Hammam Debagh** en raison de sa proximité et des facilités fournies par sa direction que nous remercions par cette occasion.

CHAPITRE III

METHODES DE FORMULATION DES BETONS

III/METHODES DE FORMULATION DES BETONS

III-1/INTRODUCTION

Le mot méthode associé aux noms de DREUX, FAURY, ABRAMS, VALETTE, etc. n'est qu'une démarche semi empirique qui permet d'aboutir à une formule de composition de béton approximative qui ne peut guère prétendre être la meilleure et la seule valable, puisque les paramètres à prendre en compte dans l'étude de la composition d'un béton sont nombreux.

L'essentiel est que la méthode choisie aboutit à une formule donnant un béton dont les caractéristiques désirées sont satisfaisantes vis-à-vis des essais d'étude et de convenance pour tel ouvrage sur tel chantier avec ses matériaux et son matériel et dans les conditions pratiques de l'exécution [29].

Formuler un béton, c'est procurer aux chantiers une composition de béton capable de répondre non seulement aux exigences du maître d'œuvre, du bureau d'études et du bureau des méthodes, mais également à la durabilité. L'enjeu est, à la fois, technique et économique car les possibilités se sont diversifiées grâce à la variété des ciments, additions et adjuvants disponibles sur le marché [30].

III-2/OBJECTIFS D'UNE FORMULATION

Les performances requises pour un béton impliquent:

- ✓ une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement au cône d'Abrams, noté ici A_{ft} .
- ✓ des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours; on notera f_{c28} cette résistance.
- ✓ des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment C_{min} et un rapport E/C maximum $(E/C)_{max}$ [14].

La formulation du béton doit permettre de respecter les deux premières exigences au moindre coût, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment C le plus faible possible tout en vérifiant $C \geq C_{min}$.

III-3/QUELQUES METHODES DE COMPOSITION DES BETONS

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 [31].

Cette composition à donner à un béton dépend des qualités que l'on désire, des besoins à satisfaire et des moyens dont on dispose pour le réaliser.

Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes; elles aboutissent à des dosages « volumétriques » ou de préférence « pondéraux », le passage de l'un à l'autre pouvant toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac [31].

Ces méthodes sont dites à « granularité continue » et d'autres à « granularité discontinue »; la première permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité, par contre la seconde conduit à des bétons à maximum de gros éléments et minimum de sable présentant en général des résistances en compression un peu supérieure mais parfois au détriment de l'ouvrabilité. Cependant, on peut estimer que pratiquement la plupart des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue [31].

De nombreux spécialistes se sont penchés sur cette question. Mais quelques méthodes sont plus utilisées, parmi elles nous pouvons citer :

1. la méthode de Bolomey.
2. la méthode d'Abrams.
3. la méthode de Faury.
4. la méthode de Valette.
5. la méthode de Joisel.
6. la méthode de Dreux-Gorisse.

III-3-1/La méthode de Bolomey

A partir d'une formule appropriée, Bolomey [32] fait introduire le plus petit et le plus gros diamètre d et D des granulats et un coefficient qui représente le pourcentage d'éléments fins contenus dans le mélange sec et qui dépend de la consistance souhaitée du béton ainsi que la nature des granulats. On se réfère donc aux courbes granulométriques des constituants secs et on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :

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

Avec

P : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d .

D: diamètre du plus gros grain.

A: coefficient qui varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

La présente méthode a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études des bétons. C'est une bonne méthode. Toutefois elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique est comprise entre 2,2 et 2,7 g/cm³; ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants. Elle donne des bétons riches en éléments fins, assez plastiques, donc maniables, susceptibles de rester bruts au décoffrage, employée lorsque les qualités de béton sont recherchées, la résistance mécanique devant simplement être bonne. Son emploi est fréquent pour les travaux routiers et pour les bétons devant être mis en place par pompage [29].

Cette méthode aboutit théoriquement à une granularité continue.

III-3-2/La méthode d'Abrams

Abrams proposa une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer [31]. Autrement dit elle permet de calculer les pourcentages relatifs des granulats de modules de finesse Mf_1 et Mf_2 pour obtenir un module Mf choisi pour le mélange. Ce dernier est choisi de manière que les vides dans ce mélange, soient, en principe réduits au minimum.

Ce module dépend évidemment de nombreux paramètres tels que: forme, nature et dimension des granulats, dosage en ciment, résistance et plasticité désirée.etc [31].

III-3-3/La méthode de Faury

C'est en 1942 que Faury proposa une nouvelle loi de granulation du type «continu ». Il s'inspirait de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un usage moyen. La loi de granulation qui en découle est une fonction de $\sqrt[3]{d}$; c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[3]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduit à la compacité maximale est alors théoriquement une droite; cependant Faury a distingué les grains fins moyens ($D/2$) des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories [31].

III-3-4/La méthode de Valette

Le principe de cette méthode [33] est tout à fait différent de celui de Bolomey et de Faury, car il ne fait plus appel à des courbes granulométriques. C'est une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. 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 » car dans les cas les plus courants, on partira généralement de deux granulats (bétons binaires): un sable 0/5 mm et un gravier présentant une certaine discontinuité avec le sable, un 16/25 mm par exemple.

Son principe repose sur le calcul du dosage de sable et ciment devant donner un mortier plein à minimum de ciment; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment [31].

On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé (en ciment) [31].

Cette méthode a l'avantage de donner des bétons très résistants mais au détriment de la maniabilité car ils sont très peu maniables. Bétons pleins donc étanches. Application malaisée à plus de deux granulats. Très aisément adaptables aux chargements de dosage [29].

III-3-5/La méthode de Joisel

Comme celle de Faury, cette méthode s'inspire de la théorie de Caquot mais en la généralisant. Joisel considère que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est en fonction de $\sqrt[m]{d}$, m est fonction de la compacité avec laquelle se serre un granulats de dimension uniforme selon les moyens de serrage; m peut alors varier de 3 à 10[31].

Afin d'obtenir une courbe granulométrique de référence qui se réduit à une simple droite, l'échelle des abscisses n'est plus systématiquement proportionnelle à $\sqrt[5]{d}$ (Faury) mais à $\sqrt[m]{d}$, m variant avec le serrage des matériaux.

Comme dans la méthode de Faury, on aboutit donc à une granularité continue sauf, bien entendu, si les granulats dont on dispose présentent une discontinuité.

Toutefois, pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse D/2, Joisel a déterminé l'échelle de l'intervalle (D/2) / D de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite, c'est l'avantage de cette méthode.

C'est ensuite par une méthode graphique dont nous nous inspirons que se déterminent les pourcentages des divers granulats [31].

Comme pour les méthodes de Faury et Valette, le dosage en ciment déterminé par cette méthode est le dosage minimal correspondant théoriquement sur le plan granulométrique, à la compacité maximale; ce dosage est en général nettement inférieur (150 à 200 Kg/m³) au dosage nécessaire ou exigé (250 à 400 Kg/m³ dans la plupart des cas). Une correction doit donc être apportée dans ce sens [31].

III-3-6/La méthode de Dreux-Gorisse

Cette méthode a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné satisfaction. Elle est très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés.

Après la composition du béton, il est toujours loisible de procéder à quelques essais en variant les proportions des différents granulats pour vérifier si une amélioration de la maniabilité paraît réalisable [14].

III-4/CONCLUSION ET CHOIX D'UNE METHODE DE FORMULATION

Après ce bref exposé des principales méthodes rencontrées pour élaborer une formulation d'un mètre cube de béton, comme la majorité d'entre elles est basée sur la théorie de Caquot et comme celle de « Dreux-Gorisse » est issue d'un grand nombre de formules, notre choix s'est porté vers cette dernière.

III-5/DONNEES ESSENTIELLES DE BASE

Comme il a été déjà écrit précédemment, plusieurs paramètres doivent être pris en compte lors d'une formulation d'un béton. Nous en citons par ordre de priorité décroissant quelques uns.

III-5-1/Dimensions et qualité des granulats

Les granulats doivent répondre aux prescriptions de la norme NF P18-541[D].

III-5-2/Résistance désirée

En général elle est définie par la résistance à la compression à 28 jours mesurée sur cylindres de 16x32 cm (et notée R_{c28} ou f_{c28} selon les ouvrages).

C'est elle qui nous conduit directement vers le choix du dosage approximatif en ciment dont la classe vraie C_E sur laquelle on peut compter doit être connue.

III-5-3/Consistance désirée « ouvrabilité »

Elle est l'aptitude d'un béton à être mis en œuvre, c'est une qualité évolutive dans le temps du béton avant prise. Par la valeur de la consistance, les bétons se classent suivant une échelle de fluidité croissante: très ferme, ferme, plastique très plastique et fluide.

- ✓ les essais de mesure de la consistance sont nombreux, les plus utilisés sont:
- ✓ essai d'affaissement au cône d'Abrams (Slump test).
- ✓ essai à l'appareil V.B (Vebe test).
- ✓ essai de compactage de Watz.
- ✓ essai de remoulage à l'appareil de Powers.
- ✓ essai d'étalement sur la table à secousse Allemande.
- ✓ essai au maniabilimètre LCL.
- ✓ essai à la sphère Kelly.
- ✓ essai de compacité à consistomètre de graville.
- ✓ le test CES.
- ✓ le plasticimètre à rotation (Inclumat).
- ✓ l'essai de serrage à l'appareil de Fritsh.
- ✓ l'essai d'écoulement ou plasticimètre Megnier-orth.
- ✓ l'essai de pénétration au cylindre de Graf.
- ✓ l'essai de pénétration à la sonde de humm.

Plusieurs paramètres (caractéristiques et qualités) dépendent de l'ouvrabilité: la compacité, la résistance, l'enrobage des armatures, cohésion du béton conduisant à un faible risque de ségrégation.

La résistance et l'ouvrabilité sont étroitement liées l'une à l'autre, quant aux facteurs dont elles dépendent mais elles varient en sens inverse.

III-5-4/Dosage en ciment

A partir d'une résistance et d'une plasticité désirée, on obtient une valeur approximative du dosage en ciment et du dosage en eau en utilisant la formule suivante:

$$f_c = G_{F_{CE}} (C/E - 0,5) \quad [31]$$

Avec

F_c : résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en MPa.

F_{CE} : classe vraie du ciment à 28 jours en MPa.

C: dosage en ciment en Kg/m^3 .

E: dosage en eau sur matériaux secs en litre pour 1 m^3 .

G: coefficient granulaire fonction de la qualité et de la dimension des granulats.

On commence par une valeur approximative du rapport C/E; puis à partir des abaques on détermine C et E en fonction de C/E, de la résistance et des plasticités désirées [31].

III-5-5/Dosage en eau

Dans un mètre cube de béton, la qualité d'eau sert pour la moitié à peu près à l'hydratation du ciment, tandis que l'autre moitié, sous forme d'eau de mouillage et interstitielle confère au béton ses qualités de plasticité et d'ouvrabilité.

Après détermination du dosage en eau, il sera plus facile en utilisant l'essai d'affaissement au cône d'Abrams de déterminer avec une précision suffisante et moins illusoire que celle d'un calcul préalable, le dosage en eau nécessaire pour obtenir effectivement en pratique un béton de la plasticité désirée[31].

III-5-6/Adjuvants

L'augmentation du dosage en eau entraîne, certes, la maniabilité du béton mais malheureusement au détriment de la résistance. Si l'on veut conserver la résistance en augmentant l'ouvrabilité on a recours à des adjuvants; qui sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 5% du poids de ciment, permettant d'améliorer certaines de ses propriétés.

Pour augmenter la maniabilité, on utilise des plastifiants ou superplastifiants dans le but de diminuer le dosage en eau [29].

CHAPITRE IV

CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES ET DES MATERIAUX ELABORES

IV/CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES ET DES MATERIAUX ELABORES

IV-1/CIMENT

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé est conforme à la norme NF P 15-301. Le liant utilisé dans notre étude est un ciment portland composé fabriqué à Hadjar El Soud dans la Wilaya de Skikda. Il est commercialisé comme étant un CPJ de classe 42,5 et contient près de 65% de clinker, le reste étant l'un ou plusieurs des constituants secondaires suivants: Laitier, Pouzzolane, Cendres, Fillers. Sa résistance à la compression est de 42.5 MPA, les essais effectués sur le ciment sont comme suit:

IV-1-1/Essais physiques

IV-1-1-1/Essais de prise NA. 230/1990

Il est nécessaire de connaître le béton et la fin de prise des liants hydrauliques afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés. Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne le béton et la fin de prise. La pâte est préparée avec 400 g de ciment et 27% d'eau. Suivant la norme Algérienne NA. 230/1990:

- ✓ Le temps, mesuré depuis l'instant zéro, au bout duquel la distance entre l'aiguille et la plaque de base est de 4 ± 1 mm est le temps de début de prise du ciment. On a noté que le **début de prise** du ciment **CPJ 45,5** est de **60 minutes**.
- ✓ le temps, mesuré depuis l'instant zéro, au bout duquel l'aiguille ne pénètre plus pour la première fois qu'à 0,5 mm dans l'éprouvette est le temps de fin de prise du ciment. On a noté que le **la fin de prise** du ciment **CPJ 42,5** est de **10 heures**.

IV-1-1-2/Essais de la consistance NA. 230/1990

L'appareil utilisé est celle utilisé pour l'essai de prise sauf que l'aiguille est remplacée par une sonde, au bout du quel la distance entre l'extrémité de la sonde et le font du moule est de 6 ± 1 mm. On a noté que le **la consistance** du ciment **CPJ 42,5** est de **27%**.

IV-1-1-3/Masse volumique apparente

Est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant. Les essais consistent à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau; elle est donnée par la formule:

$$M_{vapp}=P/V$$

P: la masse du matériau sec.

V: le volume du récipient.

La masse volumique apparente du ciment **CPJ 42,5** est de **1.1 g/cm³**, cette valeur est déduite de la moyenne de trois essais.

IV-1-1-4/Masse volumique absolue NF P 18-558

Est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, on a appliqué la méthode de l'éprouvette gradués:

- ✓ remplir une éprouvette graduée avec un volume $V_1=125$ ml de mazoute.
- ✓ peser un échantillon sec du ciment $M=75$ g et on l'introduire dans l'éprouvette graduée en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- ✓ le liquide monte dans l'éprouvette de volume V_2 .

La masse volumique absolue est donnée par la formule:

$$M_{vabs}= M/ (V_2- V_1)$$

La masse volumique absolue du ciment **CPJ 42,5** est de **3,1 g/cm³**, cette valeur est déduite de la moyenne de trois essais.

IV-1-1-5/Porosité

A partir de la masse volumique absolue on déduit la porosité qui est définie par la formule suivante:

$$P = [1 - (M_{vapp} / M_{vabs})] \times 100$$

La porosité du ciment CPJ 42,5 est de 63,33 %.

IV-2/ GRANULATS

Les granulats sont des matériaux inertes, sable, gravier ou cailloux qui entrent dans la composition des bétons, les granulats utilisés et les essais effectués, dans cette étude sont:

IV-2-1/Granulats utilisés

IV-2-1-1/Sable

Comme notre étude est une contribution à la valorisation des sables de concassage dans la fabrication des bétons de structure et pour nos besoins, nous utilisons un sable de carrière de nature calcaire provenant de la carrière de Hammam Debagh wilaya de Guelma.

L'approvisionnement de ces granulats a été assuré par des moyens personnels.

Les différents essais effectués sur les granulats ont été réalisés au laboratoire du département de génie civil de l'université Badji Mokhtar-Annaba-.

Avant de réaliser ces différents essais, nous avons procédé à l'opération de tamisage qui a permis la récupération des éléments de dimensions inférieures à 80~~0~~m (proprement dit les fillers).

IV-2-1-2/Gravier

Le gravier utilisé est un gravier provenant de la carrière de Hammam Debagh commercialisé sous la fraction 5/15.

IV-2-1-3/ Essais sur granulats

Une série d'essais sur les granulats a été effectuée, elle a concerné la mesure des caractéristiques granulométriques, physiques et chimiques.

IV-2-1-3-1/ Etude granulométrique

L'analyse granulométrique a pour objet de déterminer la grosseur et les pourcentages respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon des granulats (sable et gravier). Elle a été réalisée conformément à la norme NF P18-560 [Septembre 1990] [J]. Le matériau a été séché à l'étuve à une température de 105 ° C puis passé à travers une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit décroissante du haut vers le bas.

IV-2-1-3-1-1/Sable 0/4

Le sable concassé utilisé est séché à l'étuve à 105° C jusqu'à poids constant, la quantité prise pour effectuer l'essai est de 1000 grammes.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau IV.1

Tableau IV.1 Analyse granulométrique du sable concassé 0/4

Tamis en mm	Refus cumulés en gr	Refus cumulés en %	Tamisats cumulés en %
5	0,50	0,05	99,95
3,15	60,90	6,09	93,91
2	285,00	28,50	71,50
1,25	507,60	50,76	49,24
0,8	633,10	63,31	36,69
0,5	708,80	70,88	29,12
0,315	787,30	78,73	21,27
0,200	832,90	83,29	16,71
0,125	874,00	87,40	12,60
0,080	914,55	91,45	8,55
fillers	994,30	99,43	0,57

La perte = $[(1000-994,30)/1000] \times 100 = 0,57 \% < 2 \%$ condition vérifiée

La courbe granulométrique correspondante à ce sable est représentée sur la figure (Fig.IV.1).

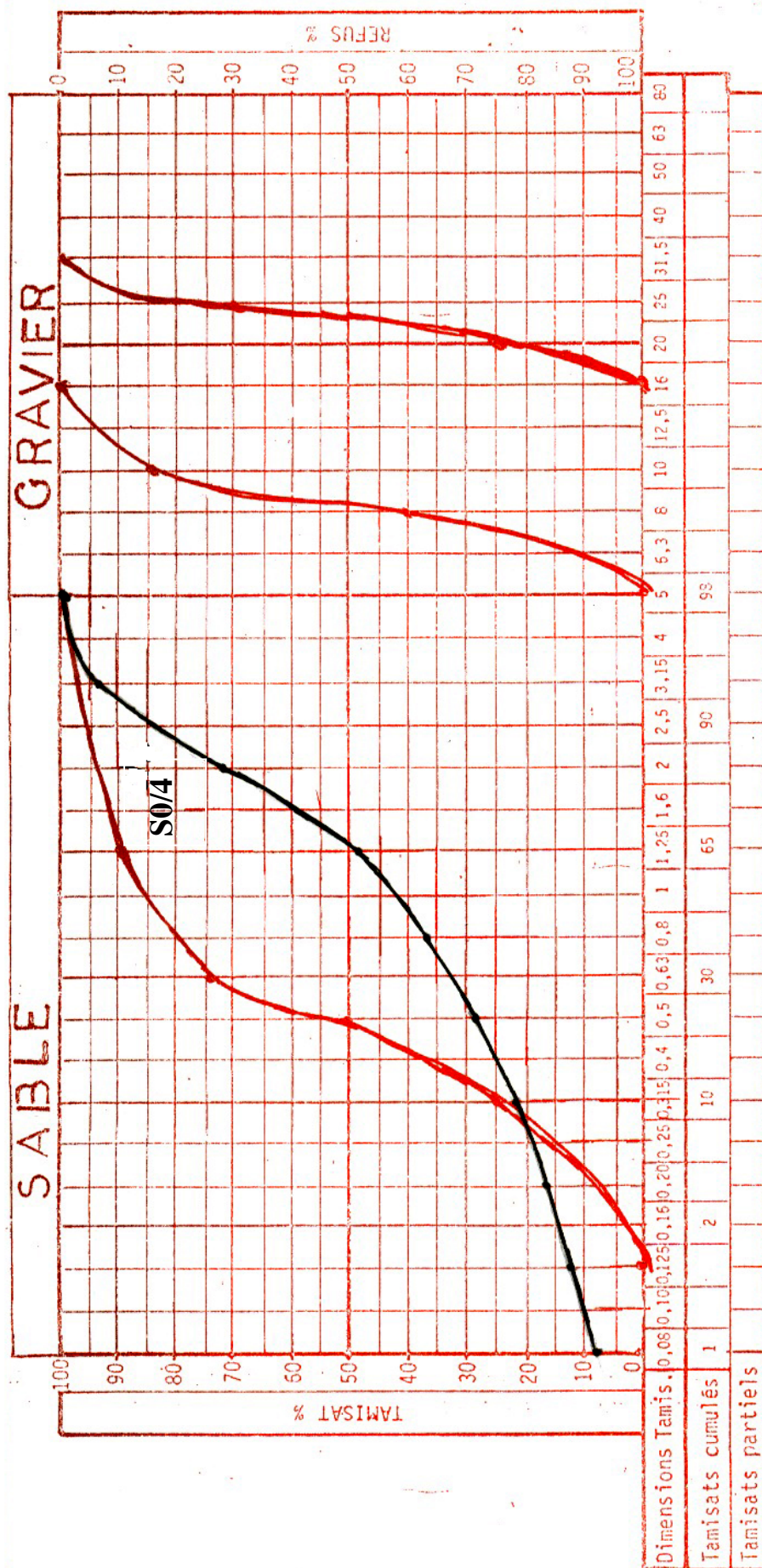


Fig.IV.1 Analyse granulométrique (Norme NFP 18-560) du sable concassé 0 / 4

A partir des résultats présentés au tableau IV.1 et la courbe granulométrique (Fig.IV.1) on déduit la classe granulaire de notre sable d'étude où les valeurs de d et D doivent ainsi satisfaire aux conditions suivantes:

- ✓ **le refus sur le tamis D est compris entre 1 % et 15 % si $D > 1,58d$:**

Pour $D = 4 \text{ mm}$, le refus cumulé = 2,50 % (Fig.IV.1)

$1 \% < 2,5 \% < 15 \%$ condition vérifiée.

- ✓ **le tamisat sur le tamis d est compris entre 1 % et 15 % si $D > 1,58d$:**

Pour $d = 0,080 \text{ mm}$, le tamisat = 8,55 % (TableauIV.1 et Fig.IV.1)

$1 \% < 8,55 \% < 15 \%$ condition vérifiée

- ✓ **si $d < 2 \text{ mm}$, le granulat est dit 0/d**

$d = 0,080 \text{ mm} < 2 \text{ mm}$ donc notre sable concassé est de **classe 0/4**.

IV-2-1-3-1-2/Gravier 5/16

Le gravier utilisé est séché à l'étuve à 105° C jusqu'à poids constant, la quantité prise pour effectuer l'essai est de 3000 grammes.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau IV.2

Tableau IV.2 Analyse granulométrique du gravier 5/16

Tamis en mm	Refus cumulés en gr	Refus cumulés en %	Tamisats cumulés en %
20	17,70	0,59	99,41
16	240,00	8,00	92,00
12,5	646,20	21,54	78,46
10	1849,05	61,63	38,37
8	2700,00	90,00	10,00
5	2955,00	98,50	1,50
3,15	3000	100	00,00
La perte = 0 %			

La courbe granulométrique correspondante au gravier est représentée sur la Fig.IV.2.

A partir des résultats présentés au tableau IV.2 et la courbe granulométrique (Fig.IV.2) on déduit la classe granulaire de notre gravier d'étude où les valeurs de d et D doivent ainsi satisfaire aux conditions suivantes:

- ✓ **le refus sur le tamis D est compris entre 1 % et 15 % si $D > 1,58d$:**

Pour $D = 16$ mm, le refus cumulé = 8 % (Fig.IV.2)

1 % < 8 % < 15 % condition vérifiée.

- ✓ **le tamisat sur le tamis d est compris entre 1 % et 15 % si $D > 1,58d$:**

Pour $d = 5$ mm, le tamisat = 1,50 % (TableauIV.2 et Fig.IV.2)

1 % < 1,50 % < 15 % condition vérifiée

- ✓ **le tamisat sur le tamis $0,63d$ est inférieur à 3 % si $D > 5$ mm:**

$0,63d = 3,15$ mm, le tamisat sur le tamis $0,63d = 0$ % (TableauIV.2 et Fig.IV.2)

la condition vérifiée.

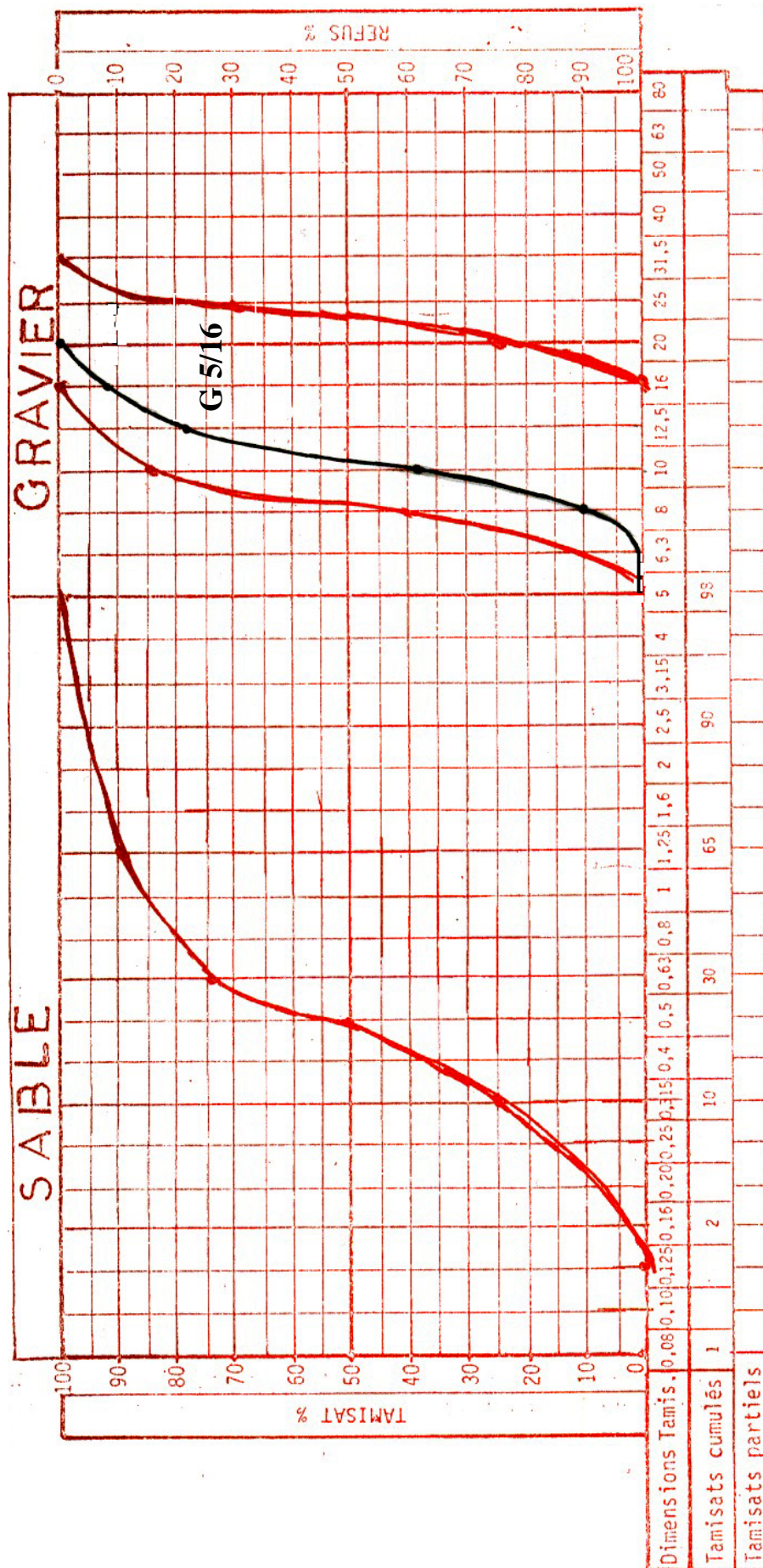


Fig.IV.2 Analyse granulométrique (Norme NFP 18-560) du gravier 5/16

IV-2-1-3-2/Masses volumiques et porosité

Les masses volumiques apparente, absolue et la porosité des différents granulats sont réalisées d'après les normes NF P18-554 et NF P18-555 [Décembre 1990] [B] et[C].

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de ces essais.

**Tableau IV.3 Masses volumiques apparente, absolue et porosité
des granulats utilisés**

Masse volumique apparente (g /cm ³)	Sable	Gravier
	1,51	1,39
Masse volumique absolue (g /cm ³)	2,56	2,62
Porosité (%)	41,01	46,95

IV-2-1-3-3/ Propreté des granulats

Pour évaluer la propreté des sables sans pouvoir déceler la nature des fines, l'essai utilisé est celui d'équivalent de sable selon la norme NF P18-598 (octobre 1991) [K].

Le processus de l'essai est le suivant :

- ✓ remplir de l'éprouvette d'eau jusqu'au premier trait.
- ✓ peser de 120 g de sable sec.
- ✓ verser cette quantité dans l'eau.
- ✓ secouer l'éprouvette 60 cycles en 30 secondes.
- ✓ laver le sable avec de l'eau.

Après 20 minutes de repos, on mesure :

H_1 : hauteur du niveau supérieur du flocculant par rapport au fond de l'éprouvette.

H_2 : hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée.

$$ES = (H_2 / H_1) \times 100 \quad [14]$$

Selon que la hauteur H_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine :

ES_v : équivalent de sable visuel.

ES_p : équivalent de sable au piston.

IV-2-1-3-4/Module de finesse (MF)

Il quantifie le caractère plus ou moins fin du sable. Il correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32,35 et 38 [14].

Plus le module de finesse est faible et plus le sable est riche en éléments fins.

Les spécifications actuelles des granulats exigent que le module de finesse soit :

$$MF \geq 1,8 \text{ et } MF \leq 3,2 \text{ [tolérance de } 0,35].$$

Le tableau ci-dessous illustre les résultats des deux essais.

Tableau IV.4 Equivalent de sable et module de finesse du sable concassé

	Sable	Critères de la norme
Equivalent de sable au piston ES_p	91	≥ 70 [65 et 60 pour sables concassés ou broyés]
Equivalent de sable visuel ES_v	86,33	≥ 75
Module de finesse	2,9	$1,8 \leq MF \leq 3,2$

IV-2-1-3-5/Nature du sable utilisé

L'analyse chimique sommaire du sable étudié réalisé par le L.T.P.E* antenne de Guelma en date du 08/01/2006 (N° du dossier 46/05/56/01) a montré que notre sable est constitué de:

- ✓ insolubles: 5,8 %.
- ✓ Carbonates: 92,68%.
- ✓ Gypses: traces

IV-3/Eau de gâchage

Associée au ciment l'eau remplit deux fonctions principales, d'une part fonction physique qui permet de conférer au béton les propriétés de fluidification et d'autre part une fonction chimique qui contribue à la réaction d'hydratation.

On conçoit donc, en premier lieu, que les impuretés nocives interdites pour les granulats ne doivent pas être apportées par l'eau de gâchage. Ceci nous ramène à l'utilisation d'une eau plus disponible; l'eau potable distribuée par le réseau public.

IV-4/COMPOSITION DU BETON

La méthode utilisée est celle de Dreux-Gorisse parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné satisfaction.

D'autre part elle est simple d'utilisation puisqu'elle ne demande de connaître que les courbes granulométriques des granulats utilisés.

La composition est calculée pour un diamètre maximal des granulats de 16cm, un Slump test de 80mm et une résistance caractéristique de béton à 28 jours de 25 MPa.

[Dans l'application de la méthode de Dreux-Gorisse, la valeur D (plus gros granulats) retenue est telle que le refus sur le tamis correspondant soit le plus proche possible de 8%][14]. La composition granulaire du béton d'étude est représentée sur la fig.IV.3.

L.T.P.E* : Laboratoire des Travaux Publics de l'Est.

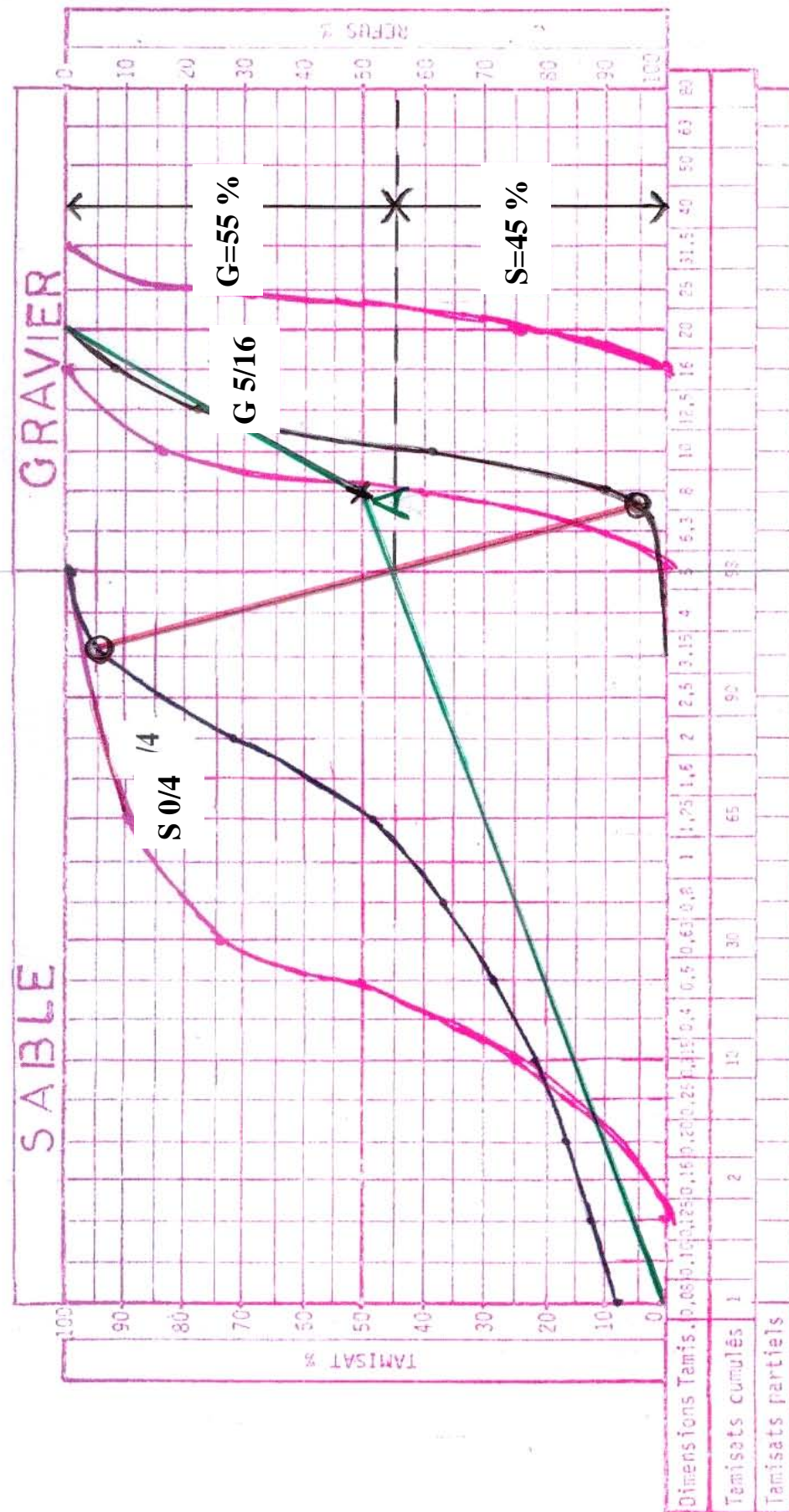


Fig.IV.3 Composition granulaire du béton d'étude

IV-4-1/Confection et cure des éprouvettes

L'étude de l'influence des fillers sur le comportement des bétons durcis (évaluation des performances mécaniques et physiques) a été réalisée sur des éprouvettes cylindriques d'élanement 2 (16x 32 cm) pour des essais de compression (NF P18-406)(décembre 1981)[L] et prismatiques (7x7x28 cm) pour les essais de traction par flexion et de retrait.

La confection de ces éprouvettes a été réalisée conformément au modalité des normes NF P18-404 (décembre 1981) [F].

Après démoulage, elles ont été conservées dans l'eau.

Les éprouvettes des essais de retrait et d'absorption d'eau capillaire ont été conservées à l'air libre (20° à 30°C et 50 à 60% d'humidité relative) à l'intérieur du laboratoire.

IV-4-2/Modalité des essais –Programme principal

IV-4-2-1/Ouvrabilité

L'essai le plus couramment utilisé est le cône d'Abrams (appelé aussi Slump test) conformément à la norme NF P 18-451 (décembre 1981) [M].

Cet essai est très simple à mettre en œuvre, (il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40mm), consiste à mesurer l'affaissement d'un cône de béton frais sous l'effet de son propre poids (plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide).

Le principe de l'essai est l'introduction du béton dans un moule tronconique, légèrement huilé, en trois couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche. Une fois le moule rempli, nous arasons son bord supérieur, puis le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton s'affaisse suivant sa résistance caractéristique, cette hauteur est mesurée grâce au portique. C'est cette valeur qui nous donne la nature du béton formulé [ferme, plastique, très plastique ou fluide].

(Tous les bétons confectionnés pour notre étude ont été fabriqués à ouvrabilité constante environ 80 mm).

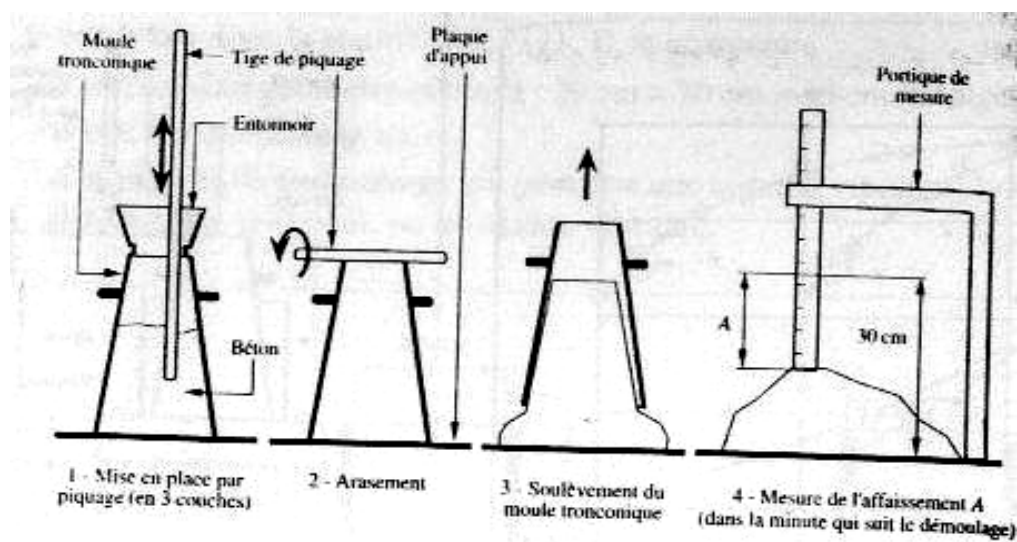


Fig.IV.4 Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams [14]

IV-4-2-2/Essai de résistance à la compression

L'essai a pour but la détermination de la résistance à la compression R_c (en MPa) du béton. Il a été effectué selon la norme NF P18-406 (décembre 1981)[L] sur une presse électrique de marque " Controls " à doubles manomètres et grands plateaux, ayant une capacité maximale de 200 tonnes, le principe de l'essai est le suivant:

- ✓ Surfaçage des éprouvettes au soufre (NF P18-416) (septembre 1994) [N] pour assurer la planéité des surfaces au contact et leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvette.
- ✓ Centrage de l'éprouvette sur la presse d'essai.
- ✓ La mise en place qui s'effectue avec une vitesse de chargement constante de 0,5 MPa/Seconde.
- ✓ Application d'une charge croissante jusqu'à la rupture.
- ✓ La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes pour chaque béton et pour chaque âge, elle est donnée par la formule suivante :

$$R_c = 10P/S \quad (\text{en MPa})$$

Avec

P : charge de rupture en KN.

S : surface de l'éprouvette en cm^2 .

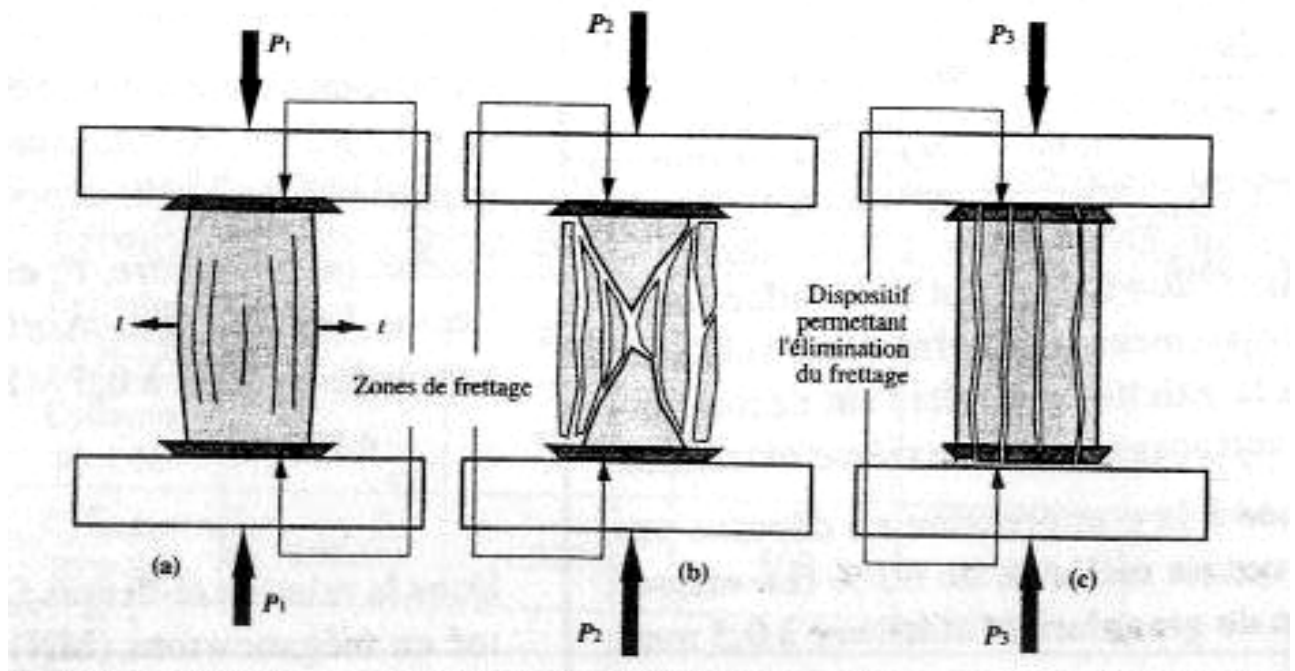


Fig.IV.5 Mode de rupture des éprouvettes cylindriques en compression [14]

IV-4-2-3/Essai de traction par fendage

Dans le but de connaître la résistance à la traction des éprouvettes, la méthode utilisée est celle de traction par fendage (essai Brésilien) conformément à la norme NF P18-408 (décembre 1981)[O] sous une machine de compression et sur des éprouvettes cylindriques de (16 cm x 32 cm). Trois éprouvettes ont été testées pour chaque âge du béton et pour chaque béton.

La résistance à la traction par fendage est donnée par la formule suivante:

$$R_t = 2 P / \pi D L \quad (\text{en MPa})$$

Avec

P : charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical en Newton.

D : diamètre de l'éprouvette en mm.

L : hauteur de l'éprouvette en mm.

R_t : résistance à la traction en MPa.

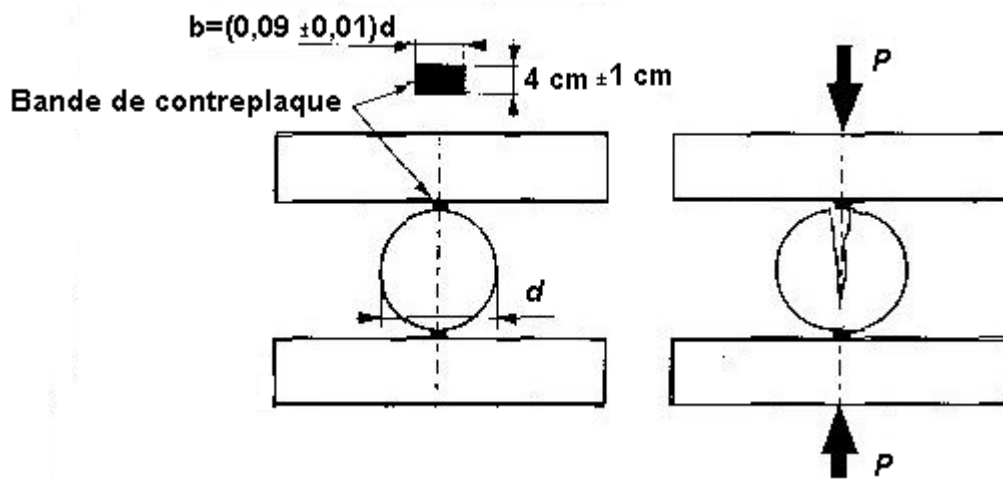


Fig.IV.6 Essai de traction par fendage [31]

IV-4-2-4/Essai de capillarité

L'essai s'effectue sur des prismes de (70x70x280 mm) sèches jusqu'à poids constant.

Le principe de l'essai consiste à poser les éprouvettes de béton sur leurs bases (70x70mm), séparées d'au moins de 10mm, il est exigé et pendant tout l'essai de maintenir le niveau d'eau constant (20mm) et de peser les éprouvettes à des temps réguliers.

Conformément à la norme NF P 18-502 (décembre 1981) [P], cet essai se déroule dans un intervalle de temps de 90 minutes.

Le coefficient de capillarité est défini par la formule suivante:

$$C(en\%) = \frac{100M}{S\sqrt{t}}$$

M: masse d'eau absorbée (gr).

S : section de la base de l'éprouvette (mm²).

t : temps d'absorption (secondes).

IV-4-2-5/Essai d'absorption d'eau par immersion

Le principe de cet essai consiste à mettre les éprouvettes prismatiques (70x70x280 mm) dans l'étuve et de les peser jusqu'à poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C pendant 24 heures (jusqu'à leur saturation) dans le but de calculer le volume des vides du béton.

Le coefficient d'absorption d'eau par immersion est déduit de la formule suivante:

$$Ab(en\%) = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100$$

Ms : masse de l'éprouvette sèche.

Ma : masse de l'éprouvette saturée (après saturation).

IV-4-2-6/Essai de retrait

Conformément à la norme NF P 18-432 (décembre 1981) [Q], les mesures de retrait s'effectuent sur des éprouvettes prismatiques (70x70x280 mm).

Après démoulage à 24 heures, les éprouvettes sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse. Leur conservation se fait à l'air libre au sein du laboratoire à une température de 20°C à 30°C et une humidité relative entre 50 à 60 %.

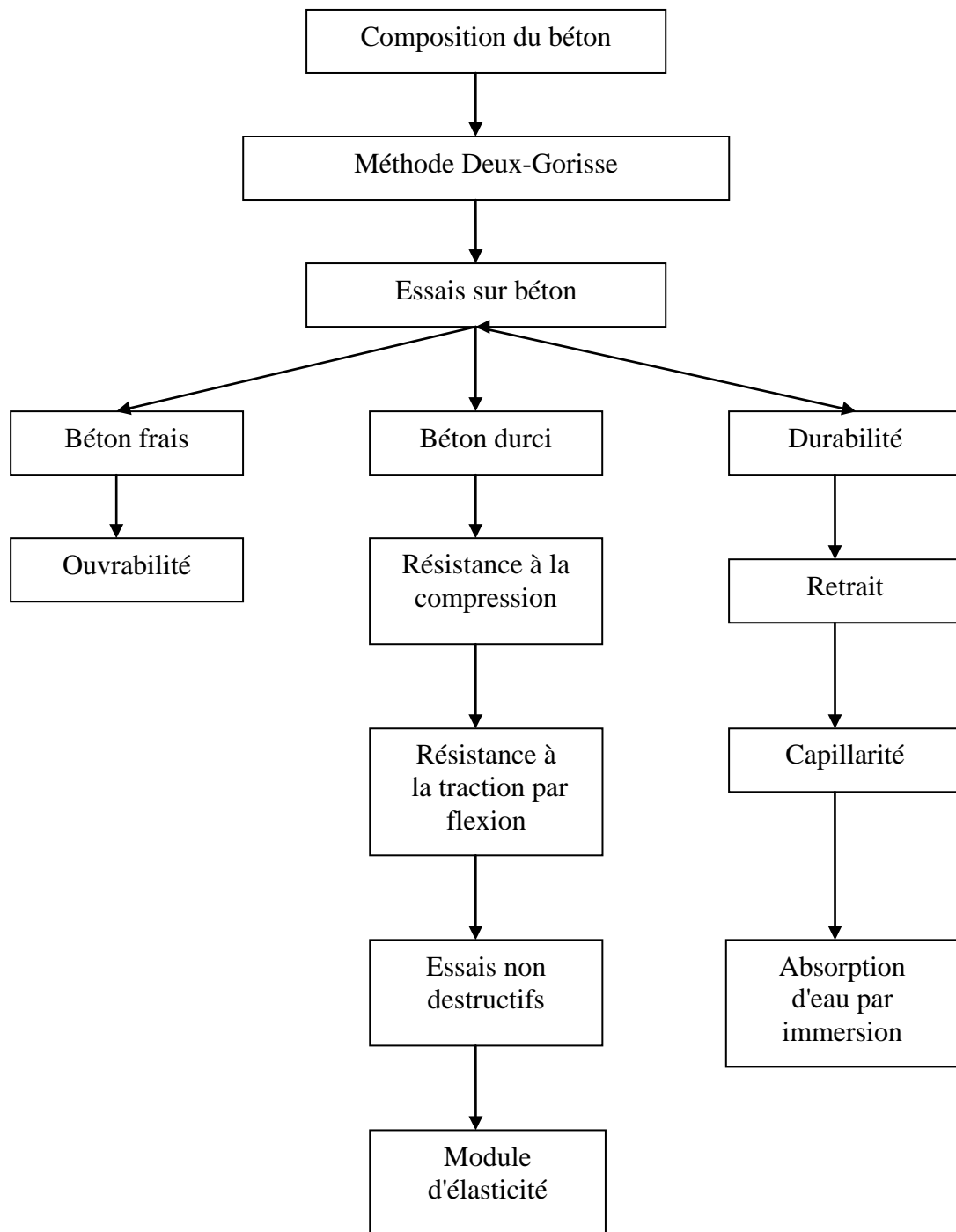


Fig.IV.7 Organigramme des différents essais effectués sur le béton

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

A partir de cette étude préliminaire et sur la base des résultats des essais mécaniques et hydriques réalisés sur le béton à base de sable de concassage de la région de Guelma, nous pouvons conclure ce qui suit :

- ✓ L'incorporation de fines dans le béton dans des proportions allant jusqu'à 21 % est sans conséquences préjudiciables sur les résistances mécaniques de ces bétons d'où leur utilisation est recommandée.
- ✓ L'évolution de la résistance à la traction par fendage du béton à base de sable de carrière est similaire à celle de compression.
- ✓ Le module d'Young du béton à base de sable concassé diminue légèrement d'environ 0,15 % à 2,31 % pour un intervalle de fines incorporés de 12 % à 21% par pas de 3.
- ✓ L'augmentation du taux de fines dans le béton à base de sable concassé influe proportionnellement avec la capillarité, car ces fines demandent un excès d'eau de mouillage.
- ✓ La variation de l'absorption d'eau par immersion pour les bétons à base de sable concassé suit la même allure que celle de la capillarité.
- ✓ Il est bien évident que l'excès d'eau de gâchage est la cause principale pour le retrait, d'où ce dernier est proportionnel avec le pourcentage de fines.
- ✓ Il est admis que ces fines ajoutées au sable de concassage ont un rôle de remplissage et un rôle de colmatage. Leur utilisation peut donc être conseillée de ce point de vue.
- ✓ Cependant, l'utilisation de ce type de sable exige un contrôle stricte des qualités de ce matériau et surtout celles des fines.
- ✓ L'idée de combiner le sable de concassage avec d'autres sables paraît être utile (sable d'Oued, de dune, de mer, de laitier granulé).

Conclusion générale

- ✓ Il est préférable d'utiliser un réducteur d'eau (plastifiant ou un superplastifiant ou autre produit) dans le but de réduire la quantité d'eau demandée par les fines de sables qui peuvent réduire les résistances des bétons.
- ✓ La réaction entre les fines calcaires incorporées dans le sable (dans des proportions bien déterminées) avec le ciment portland lui-même constitué d'environ 80% de calcaire est évidente. Il reste à définir avec exactitude l'apport de cette réaction dans le processus d'hydratation de l'ensemble ciment-fines calcaires et de durcissement. Ce point de vue n'a pas été considéré dans ce travail, mais il reste intéressant à étudier dans un travail ultérieur.

La question qui se pose est jusqu'à quel pourcentage de fines toutes ces variations des caractéristiques mécaniques et hydriques des bétons formulés à base de sable de concassage sont acceptables d'où il est bien souhaitable et même utile d'approfondir et d'enrichir cette étude en se basant sur des pourcentages de fines dépassant les 21% car l'emploi des sables de concassage dans les bétons a un intérêt certain, tant sur le plan de l'exploitation des ressources locales que sur celui de l'environnement et de l'économie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01]: **VERONIQUE BAROGHEL-BOUNY, PATRICK ROUGEAU, SABINE CARE et JOSETTE AUSEWITCH.**
«Etude comparative de la durabilité des bétons B30 et B80 des ouvrages jumeaux de bourges. I- Microfissuration, propriétés de durabilité et retrait». LCPC N°217, Septembre - Octobre 1998, pp. 61-73.
- [02]: **BETOCIB.**
«Les granulats pour bétons». Annale de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP), série Matériaux, Décembre 1997, pp. 31-60.
- [03]: «Sable la nouvelle donne». Document E.N.G.Alger. Mars 1999, pp. 01-05.
- [04]: «Ministère de l'Equipement et du Logement, Instruction Ministérielle N° 017/SPM/ D.RTC/ 92 relative à la gestion et à la protection du domaine public maritime et hydraulique (concession d'extraction des matériaux)». Alger, Décembre 1991.
- [05]: «Chef de gouvernement, Instruction N°003/ S.P/ CG».
«Exploitation de sable de plage et de sable d'alluvions». Alger. Mars 1999.
- [6]: **GLANGEAUD.L**
«Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger». Bulletin de la carte géologique de l'Algérie, 1934.
- [07]: **C.N.E.R.I.B.**
«Valorisation des sables de concassage». Rapport de groupe spécialisé, Ministère de l'habitat, Alger. Janvier 1999.
- [08]: **Z'HOR GUEMMADI et HACENE HOUARI.**
«Influence de l'ajout des fines calcaires sur les performances des bétons dans l'Est Algérien» Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP), N°06, Décembre 2002, pp. 23-32.
- [09]: **Y.BENNA.**
«Valorisation des sables de concassage». 1^{er} colloque Magrébin de Génie Civil, Biskra les 16 et 17 Novembre 1998.
- [10]: **KENALS, BENNA.Y et MENADI.B.**
«The effect of fines in crushed calcareous sand on properties of mortar and concrete» International conference, University of Sheffield, Centre for cement and concrete structural Integrity Research Institute, Sheffield, 28, June, 1999, pp. 03-09.
- [11]: **KEDJOUR NASR-EDDINE.**
«Propriété et pathologie du béton ». Office des publications universitaires, 1993.

[12]: BARON.JACQUES et OLLIVIER.JEAN.PIERRE.

«Les bétons : bases et données pour leur formulation ». Association technique de l'Industrie des liants hydrauliques, troisième tirage, Eyrolles, France, 1999.

[13]: BERTRANDY.R et C.PIKETTY.

«Les granulats pour bétons». «Les bétons : bases et données pour leur formulation » Association technique de l'Industrie des liants hydrauliques, troisième tirage, Eyrolles, France 1999. pp. 65-86.

[14]: R.DUPAIN, R.LANCHON, J.C.SAINT ARROMAN.

«Granulats, sols, ciments et bétons ». Caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoire, Paris, 1995.

[15]: BARRIOULET.M et LEGRAND.C

«L'effet de la masse des granulats dans l'écoulement du béton frais vibré ». Matériaux et construction N°20, 1987, pp. 196-201.

[16]: J.M.BROCHERIEUX et P.MONACHON.

«Comment se pose le problème de formulation pour une entreprise ». « Les bétons : bases et données pour leur formulation ». Association technique de l'Industrie des liants hydrauliques Troisième tirage, Eyrolles, France, 1999. pp. 167-185.

[17]: P.C.AITCIN, J.BARON et J.P.BOURNAZEL.

«Viser une résistance à la compression ». « Les bétons : bases et données pour leur formulation ». Association technique de l'Industrie des liants hydrauliques, troisième tirage, Eyrolles, France, 1999. pp. 277-305.

[18]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de Guelaât Bousbaa.

[19]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de Hammam Debagh.

[20]: Rapport interne direction de l'industrie et des mines. Premier trimestre 2003.

[21]: Dossier technique d'exploitation

Carrière de Bouzitoune (Héliopolis).

[22]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de Bendjerrah.

[24]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de EL Kalaa.

[25]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de Tamlouka (Ain Arco).

[26]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de Dahouara.

[27]: Dossier technique d'exploitation.

Carrière de Roknia.

[29]: **MAKHLOUFI ZOUBIR.**

«Etude du béton calcaire Turonien de Laghouat ». Thèse de Magister, Université de Laghouat 2001,159p.

[30]: **MESSIOUD SALAH.**

« Identification et caractérisation du béton à base des granulats de la région de Guelma et Annaba ». Thèse de Magister, Université de Guelma 2002,135p.

[31]: **GEORGES DREUX et JEAN FESTA.**

« Nouveau guide du béton et de ses constituants ». Huitième édition, Eyrolles, France, 1998.

[32]: **BOLOMEY.**

« Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), N°20, Juillet -Août 1966.

[33]: **VALETTE.R**

« Manuel de composition des bétons ». Edition Eyrolles.

[A]: **NF P 18-101** «Granulats –Vocabulaire –Définitions -Classifications».

AFNOR, Paris 1990.

[B]: **NF P 18-554** «Granulats – Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux».

AFNOR, Paris 1990.

[C]: **NF P 18-555** «Granulats –Mesures des masses volumiques, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables».

AFNOR, Paris 1990.

[D]: **NF P 18-541** «Granulats – Définitions – Conformité et Spécifications».

AFNOR, Paris 1997.

[E]: **NF P 18-540** «Granulats – Définitions – Conformité et Spécifications».

AFNOR, Paris 1997.

[F]: **NF P 18-404** «Bétons – Essais d'étude, de convenance et de Contrôle- Confection et Conservation des éprouvettes».

AFNOR, Paris 1981.

[G]: **NF P 15-301**«Liants hydrauliques –Définitions, classification et spécification des ciments».

AFNOR, Paris 1994.

Références bibliographiques

[H]: NA. 230/1990 «Ciments, détermination du temps de prise».

Norme Algérienne 1990.

[I]: NF P 18-558 «Granulats – Détermination de la masse volumique absolue des fines».

AFNOR, Paris 1990.

[J]: NF P 18-560 «Granulats –Analyse granulométrique par tamisage».

AFNOR, Paris 1990.

[K]: NF P 18-598 «Granulats –Equivalent de sable».

AFNOR, Paris 1990.

[L]: NF P 18-406 «Bétons – Essais de compression ».

AFNOR, Paris 1981.

[M]: NF P 18-451 «Bétons – Essais d'affaissement».

AFNOR, Paris 1981.

[N]: NF P 18-416 «Bétons – Surfaçage au soufre des éprouvettes cylindriques».

AFNOR, Paris 1994.

[O]: NF P 18-407 «Bétons – Essais de Flexion».

AFNOR, Paris 1981.

[P]: NF P 18-502 «Additions pour béton hydraulique- Fumées de silice».

AFNOR, Paris 1981.

[Q]: NF P 18-432 «Bétons – Essais de Retrait».

AFNOR, Paris 1981.

UNIVERSITE BADJI MOUKHTAR – ANNABA -

NOM : GHERDAOUI

DATE DE SOUTENANCE

PRENOM : CHERIFA

Le

TITRE :

***INFLUENCE DES FINES MINERALES SUR LES PROPRIETES
MECANIQUES ET LA DURABILITE DU BETON A BASE DE SABLE DE
CARRIERE DE LA REGION DE GUELMA***

Mémoire Magister (Génie Civil)

Option : Matériaux.et Structures

RESUME :

En Algérie, l'exploitation intensive des sables d'Oued et de ballastières dans la fabrication du béton destiné à la construction des bâtiments et des travaux publics a conduit à un épuisement rapide de ces matériaux. Cette situation a poussé les entreprises de construction à une utilisation anarchique et non réglementaire des sables homométriques de mer alternatives à ces sables.

Le sable de carrières peut répondre à ce besoin, mais il possède cet inconvénient de comporter des taux de fines importants pouvant nuire aux performances mécaniques du béton avec lequel il est confectionné.

L'objectif de cette étude d'ordre expérimental, est de rechercher les taux de fines pouvant être tolérés pour la fabrication des bétons de caractéristiques mécaniques acceptables et d'usage courant. Elle est réalisée à travers une série d'essais sur la résistance à la compression, à la traction, la capillarité, l'absorption d'eau et le retrait.

Cette étude concerne le sable de carrière de la région de Guelma avec incorporation de différents pourcentages de fines. Les taux étudiés dans ce travail sont 0%, 12%, 15%, 18% et 21%. Les résultats obtenus tendent à prouver que les faibles taux de fines ne nuisent pas aux caractéristiques du béton et que ces taux peuvent s'étendre, selon cette étude jusqu'à 21%.

MOTS CLES : Sable de carrière, fines, béton, caractéristiques mécaniques.

RAPPORTEUR : BENMALEK MOHAMED LARBI

PRÉSIDENT DE JURY : PROF .REDJEL BACHIR

COMPOSITION DU JURY : M.C.HADDIDANE YAZID, M.C BELOUATAR REDJEM ET
M.C. ACHOURA DJAMEL