



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : *Génie Civil*

SPECIALITE : *Matériaux.*

THEME

*Influence de la teneur des grains de forme
D'aiguille et de plaquette dans les graviers
Roulés, sur les qualités d'un béton*

Dirigé par :

- Encadreur : *Mr.Zitouni.S*
- CO- Encadreur : *Pr.Nacéri.A*

Présenté par :

- *Abdelkebir Rabah*

Promotion : 2015/2016

dédicace

Je dédie ce modeste travail au premier degré à ceux qui sont plus chers à moi

Mes très chers parents pour leur amour et patience et qui n'ont pas cessé de m'encourager durant ma vie d'étude.

Vraiment je suis très fière et très heureux pour dédie ce mémoire du profond de mon cœur a les pupilles de mes yeux :

Ma perle précieuse qui n'a jamais cessé de me témoigner tendresse et d'affection depuis ma naissance jusqu'à ce jour pour me voir réussir

*Dans ma vie **ma mère.***

A mon soutien et mon appui dans la vie, le meilleur père sur cette terre, qui fait tout le possible pour m'aider

*Dans mes études et éclairé ma vie mon diamant **AHMAD***

*A mes très radieux et agréables frères **AZEDDINE, ZOHIR,***

HAMZA

ET TARIK

*Et le plus proche a mon cœur mon frère **ABDALLAH***

A mes très chères sœurs

*La plus adorable personne **BELKACEM AMINE***

Et tous les étudiants du département de génie civil m'sila .spécialement promo 2016

Et enfin à ceux que j'aime et qui m'aime

Remerciements

Je remercie Dieu, le tout puissant, je rende grâce pour m'avoir donné santé, patience, volonté et surtout raison

Ainsi, je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur, **Mr ZITOUNI**

SALIM pour avoir d'abord proposer ce thème, et lui exprime ma gratitude, pour la disponibilité et la patience dont il a fait preuve et dont les précieux conseils et les remarques pertinentes et pour son suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire dans les meilleures condition.

Je tient à remercier également mon Co-encadreur, **prof NACERI**

ABD ELGHANI pour ces conseils fructueux.

Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont fait l'honneur de juger ce travail.

Je suis aussi redevable à, tous les enseignants du département de génie civil.

J'exprime ma profonde reconnaissance à mes parents, mes frères, mes sœurs ainsi que toute ma famille pour leurs encouragements et prières qui mont permis de finaliser ce travail.

Enfin, j'exprime ma gratitude à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

Sommaire

Chapitre I : Introduction générale	1
Chapitre II : Revue Documentation	
II.1 Introduction	3
II.1.1 Historique	3
II.1.2 Définition	3
II.2 Les Constituants Du Béton	4
II.2.1 Les granulats :	4
II.2.2 Le sable :	9
II.2.3 Le ciment :	12
II.2.4 L'eau de gâchage :	14
II.2.5 Rôle des différents éléments constituant le béton :	15
II.3 Différents types de bétons	15
II.4 Propriétés des bétons :	16
II.4.1 Propriétés du béton frais	17
II.4.1.1 La masse volumique du béton frais	17
II.4.1.2 Affaissement au cône d'Abrams	18
II.4.2 Propriétés du béton durci	18
II.4.2.1 Résistance à la compression	18
II.4.2.2 Résistance à la traction par flexion	19
II.5. Le formulation de béton :	19
II.5.1 Méthodes semi-empiriques	20
II.5.2 Méthodes graphiques	21
II.5.2.1 Méthode de Dreux-Gorisse	21
II.6 Conclusion :	25
Chapitre III : Caractéristiques des Matériaux	
III.1 Introduction	26
III.2 Sable d'oued (BOUSAADA) :	26
III.2.1 Origine du sable :	26
III.2.2 Caractéristiques physiques des sables utilisés :	26
III.2.2.1 Masse volumique absolue :	26

III.2.2.2 Masse volumique apparente	27
III.2.2.3 Porosité :	28
III.2.2.4 Compacité :	28
III.2.2.5 L'indice des vides :	29
III.2.2.6 Equivalent de sable :	29
III.2.2.7 Teneur en eau :	31
III.2.2.8 Degré d'absorption d'eau :	32
III.2.2.9 Analyse granulométrique :	32
III.2.3 Les Caractéristiques chimiques du sable de Boussaâda :	35
III.3 Gravier Roulée :	35
III.3.1 Origine de gravier	35
III.3.2 Classes granulaires :	35
III.3.3 Caractéristiques physiques du gravier utilisé :	36
III.3.3.1 Masses volumiques absolues :	36
III.3.3.2 Masse volumique apparente :	36
III.3.3.3 Porosités (P) :	37
III.3.3.4 Compacité (C) :	38
III.3.3.5 Indice des vides (I) :	38
III.3.3.6 Degré d'absorption d'eau(A) :	38
III.3.3.7 Teneur en eau :	38
III.3.3.8 Analyse granulométrique :	39
III.3.3.9 Résistance à la fragmentation :	40
III.4 Appellations des mélanges de gravier :	41
III.5 Le ciment :	51
III.5.1 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :	51
III.5.2 Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé :	52
III.6 L'eau de gâchage	52
III.6.1 Caractéristique chimique de l'eau utilisée :	52
III.7 Calcul de la proportion des constituants	53
III.7.1 Formulation du béton Méthodes de Dreux Gorisse	53
III.7.2 Formulation des différents mélanges testés	56
III.8 Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci :	58
III.8.1 Affaissement au cône d'Abrams :	58
III.8.2 Résistance à la compression :	59

III.8.3 Résistance à la traction par flexion	60
III.9 Conclusion :.....	61
Chapitre IV : Résultats et Discussions	
IV.1 Introduction	62
IV.2 Résultats des essais effectués sur granulats	62
IV.2.1 La masse volumique et porosité des différent mélanges	62
IV.3 Les résultats des essais effectués sur bétons	63
IV.3.1 Rapport E/C en fonction du pourcentage de plaquettes et d'aiguilles	63
IV.3.2 Essais sur béton frais	64
IV .3.2.1 Masses volumiques des différents mélanges de béton :.....	64
IV.3.2.2 Affaissement	65
IV.3.3 Essais sur bétons durcis	66
IV.3.3.1 Masses volumiques des différents mélanges de béton :.....	66
IV.3.3.2 Résistance à la compression 28 jour en fonction du rapport E/C	67
IV.3.3.3 Résistance à la compression à 7j ; 14j et 28 jours	68
IV.3.3.4 La résistance de béton à la traction par flexion :.....	69
Chapitre V : Conclusion Générale	71
Bibliographie	72
Résumé :.....	73

Table du Figures

Fig. II.1 Type de gravier	4
Fig. II.2 La forme d'un granulat	6
Fig. II.3 Modèle de la morphologie de l'auréole de transition d'un béton ordinaire [Diamond, 1986].....	8
Fig. II.4 Etat de l'eau dans les C-S-H	15
Fig. II.5 Essai d'affaissement au cône d'Abrams	17
Fig. II.6 Mesure de l'affaissement	17
Fig. II.7 Dosage en ciment	22
Fig. II.8 la courbe granulaire de référence	24
Fig. III.1 L'essai l'équivalent de sable	31
Fig. III.2 Les Tamis	32
Fig. III .3 Courbe Analyse granulométrique du sable (0/5)	34
Fig. III .4 Courbe Analyse granulométrique du gravier 3/8 roulé	39
Fig. III .5 Courbe Analyse granulométrique du gravier 8/16roulé	40
Fig. III .6 Courbe Analyse granulométrique du mélange M ₁	42
Fig. III .7 Courbe Analyse granulométrique du mélange M ₂	45
Fig. III .8 Courbe Analyse granulométrique du mélange M ₃	47
Fig. III.9 Courbe Analyse granulométrique du mélange M ₄	49
Fig. III .10 Courbe Analyse granulométrique du mélange M ₅	51
Fig. III .11 Dosage en ciment	53
Fig. III.12 Courbe Granulométrique (Sable, GR3/8, GR8/16).....	54
Fig. III.13 Les moules 10*10*10 cm	60
Fig. III.14 Machine d'essai de compression	60
Fig. III.15 Essai de traction par flexion	61
Fig. III.16 Machine d'essai de traction par flexion	61
Fig. III.17 Eprouvettes coulées(7*7*28 cm)	61
Fig. III.18 Eprouvette7x7x28 cm	61
Fig. IV.1 La Masse volumique apparent en fonction de pourcentage de plaquettes et D'aiguilles	62
Fig. IV.2 Porosité en fonction de pourcentage de plaquettes et d'aiguilles	63

Fig. IV.3 Rapport E/C en fonction de pourcentage de plaquettes et d'aiguilles	64
Fig. IV.4 Masse volumique en fonction de pourcentage de plaquette et d'aiguilles des bétons frais	65
Fig. IV.5 Masse volumique des bétons à l'état durci (7, 14,28jours)	66
Fig. IV.6 Résistance à la compression 28 jours en fonction de rapport E/C	67
Fig. IV.7 courbe de la résistance à la compression en fonction du temps	68
Fig. IV.8 Résistance à la compression à 28 jours en fonction de mélange de béton	69
Fig. IV.9 Dispositif d'essai de traction par flexion	69
Fig. IV.10 La résistance de béton à la traction en fonction de mélange de béton	70

Table du Tableaux

Tableau. II.1 Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse	11
Tableau. II.2 Valeur préconisée pour l'équivalent de sable	12
Tableau. II.3 les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %)	13
Tableau. II.4 Classes en fonction de la résistance normale à 28 jours	14
Tableau. II.5 valeur de coefficient du A	20
Tableau. II.6 Valeurs de G coefficient granulaire	22
Tableau. II.7 valeur du terme correcteur K	23
Tableau. II.8 coefficient de compacité	24
Tableau III.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda	27
Tableau III.2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche	27
Tableau III.3 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact	28
Tableau III.4 : Equivalent du sable de Boussaâda	30
Tableau III.5 : Comparaison des résultats Equivalent du sable	31
Tableau III.6 : Teneur en eau du sable de Boussaâda	32
Tableau III.7 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda	32
Tableau III.8: Analyse granulométrique du sable d'oued Boussaâda (Oued Maitre).....	34
Tableau III.9: Analyse chimique du sable de BOUSAADA	35
Tableau III.10 : Masse volumiques absolue des fractions de gravier roulé	36
Tableau III.11 : Masse volumiques apparentes des fractions 3/8 et 8/16 du gravier roulé	37
Tableau III.12 : Masse volumiques apparentes des fractions 3/8 et 8/16 du gravier roulé	37
Tableau III.13 : Degré d'absorption d'eau du gravier roulé	38
Tableau III.14: Teneur en eau du gravier roulé	39
Tableau III.15 : Analyse granulométrique du gravier 3/8	39
Tableau III.16 : analyse granulométrique du gravier 8/16	40
Tableau III.17 Coefficient des los Angeles des graviers roulés	41
Tableau III.18 : Masse volumiques absolue du mélange M_1	41
Tableau III.19 : Masse volumiques apparentes du mélange M_1 à l'état lâche	41
Tableau III.20 : Masse volumiques apparentes du mélange M_1 à l'état compact	41
Tableau III.21 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_1	42

Tableau III.22 : analyse granulométrique du mélange M_1	42
Tableau III.23 : Masse volumiques absolue du mélange M_2	43
Tableau III.24 : Masse volumiques apparentes du mélange M_2 à l'état lâche	43
Tableau III.25 : Masse volumiques apparentes du mélange M_2 à l'état compact	43
Tableau III.26 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_2	44
Tableau III.27 : analyse granulométrique du mélange M_2	44
Tableau III.28 : Masse volumiques absolue du mélange M_3	45
Tableau III.29 : Masse volumiques apparentes du mélange M_3 à l'état lâche	45
Tableau III.30 : Masse volumiques apparentes du mélange M_3 à l'état compact	45
Tableau III.31 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_3	46
Tableau III.32 : analyse granulométrique du mélange M_3	46
Tableau III.33 : Masse volumiques absolue du mélange M_4	47
Tableau III.34 : Masse volumiques apparentes du mélange M_4 à l'état lâche	47
Tableau III.35 : Masse volumiques apparentes du mélange M_4 à l'état compact	47
Tableau III.36 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_4	48
Tableau III.37 : analyse granulométrique du mélange M_4	48
Tableau III.38 : Masse volumiques absolue du mélange M_5	49
Tableau III.39 : Masse volumiques apparentes du mélange M_5 à l'état lâche	49
Tableau III.40 : Masse volumiques apparentes du mélange M_5 à l'état compact	49
Tableau III.41 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_5	50
Tableau III.42: analyse granulométrique du mélange M_5	50
Tableau III.43 : Caractéristiques du CPJ	51
Tableau III.44: Caractéristiques chimiques du CPJ	52
Tableau III.45 : Caractéristiques Chimique D'eau	52
Tableau III.46 Valeurs de G coefficient granulaire	53
Tableau III.47 : Formulation de B1	56
Tableau III.48 : Formulation de B2	56
Tableau III.49 : Formulation de B3	57
Tableau III.50 : Formulation de B4	57
Tableau III.51 : Formulation de B5	57
Tableau IV.1 masse volumique apparent et porosité des différentes mélanges Sur Granulat	62

Tableau IV.2 Rapport E/C et pourcentage de plaquettes et d'aiguilles	63
Tableau IV.3 : les résultats des mesures de la masse volumique à l'état frais des bétons	64
Tableau IV.4 Affaissement et réduction d'Eau	65
Tableau IV.5: les résultats des mesures de la masse volumique des bétons à l'état durci (7, 14,28jours).....	66
Tableau IV.6 rapport E/C et Résistance à la compression 28 jour	67
Tableau IV.7 : Résistances à la compression	68
Tableau IV.8 : La résistance à la traction par flexion	70

Résumé :

L'amélioration de la qualité du béton est le but de tout chercheur dans le domaine de génie civil, ainsi la recherche de bons matériaux et de bonne combinaison de ces matériaux conduit à un béton performant.

Le but de notre recherche est l'étude de l'influence du taux de plaquettes et d'aiguilles qui compose les gros granulats sur les propriétés rhéologiques du béton frais et les caractéristiques mécanique du béton durcis.

Dans notre travail on a étudié 5 combinaisons avec différents mélanges et différents pourcentages des plaquettes et d'aiguilles utilisés afin de trouver le ou les mélanges optimaux qui donnent les meilleures résistances mécaniques.

Mots clés : Béton, gravier roulé, plaquette, d'aiguille, résistance mécanique.

ملخص:

تحسين نوعية الخرسانة هو هدف كل الباحثين في مجال الهندسة المدنية، وكذلك البحث عن نوعية جيدة للمواد المستعملة وتركيبية تعطي خرسانة ذات جودة.

الهدف من دراستنا هو دراسة إمكانية إستغلال الحجارة الناتجة عن غريلة الرمل المخصص للبناء، واستخراج حصيات مختلفة القياسات $3/8$ و $8/16$ مع تنقيتها من الحبيبات الموجودة على الشكل المسطح والإبري، ثم القيام بوضع نسب مئوية مختلفة من هذه الحبيبات في عدة خلطات من الخرسانة ونقوم بدراسة خصائصها الفيزيائية وتأثيرها على نوعية الخرسانة.

في عملنا نقوم بدراسة خمس خلطات مختلفة التركيب مع نسب مئوية مختلفة من الحبيبات المسطحة والإبرية وإستخدامها للعثور على الوجه الأمثل أو الخلطات التي تعطي أفضل مقاومة ميكانيكية.

كلمات مفتاحية :

خرسانة، حصى الرمل، حبيبات مسطحة، حبيبات إبرية، مقاومة ميكانيكية.

Abstract :

Improving the quality of concrete is the purpose of all researchers in the civil engineering field, and the search for good materials and good combination of these materials leads to an efficient concrete.

The goal of our study is to examine the possibility of exploiting the stones from sifting through sand for construction, and extraction of different pebbles measurements 8/3 and 16/8 with purification of granules on walabri pancake, and then put different percentages of these granules in various mixtures of concrete, we study the physical characteristics and their impact on the quality of the concrete.

In our work we study five different mixes of installation with different percentage ratios of walabrih flat granules and used to find optimal or mixtures which give the best mechanical resistance.

Keywords:

Concrete, gravel sand, flat granules, pellets needle, mechanical resistance.



Chapitre I

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

Une société moderne compte de plus en plus d'activités liées à la construction. Cette perpétuelle évolution fait que l'on construit tous les jours des routes, des autoroutes, des ponts, des voies de chemin de fer, des habitations, des barrages etc. L'activité de construction est immanquablement liée à la notion de développement d'un pays.

L'évolution historique des techniques de construction a vu l'utilisation de divers matériaux parmi lesquels on pourra citer le torchis, le bois, la pierre de taille, l'acier et le verre pour les bâtiments, la terre battue, les dalles ou les pavés pour les infrastructures de transport. Chacun de ces matériaux trouve toujours son utilité pour des besoins spécifiques. Mais les méthodes de construction qui répondent aujourd'hui le mieux aux attentes de nos sociétés sont celles qui passent par la mise en œuvre de granulats, qui répondent à la définition de « matériaux granulaires utilisés dans la construction ». Ces matériaux sont issus d'une ressource pratiquement universelle, leur élaboration est relativement simple, leur transport facile, leur mise en œuvre rapide. Aujourd'hui, les mélanges granulaires, bétons, mortiers, graves traitées ou non traitées, enrobés, représentent la solution la plus logique et la plus économique pour la construction des infrastructures.

Ainsi, à l'heure où la préservation de l'environnement est devenue une exigence sociétale, l'exploitation des granulats naturels en carrières permet de s'assurer de la pérennité des approvisionnements, avec une volonté affichée de concilier les impératifs économiques et environnementaux dans une perspective de développement durable.

Les granulats de part l'importance de leur utilisation à travers le monde constituent après l'air et l'eau, la troisième substance consommée par l'homme. A titre d'information, on consommerait en moyenne par nature d'ouvrage et de granulats :

- 2 tonnes pour 1 mètre cube de béton.
- 200 a 300 tonnes pour un logement.
- 20000 a 40000 tonnes pour un hôpital ou un lycée.
- 10000 tonnes pour 1 kilomètre de voie ferrée.
- 30000 tonnes pour 1 kilomètre d'autoroute.

Les granulats font l'objet d'études de plus en plus poussées pour définir leurs propriétés et leurs caractéristiques. La technologie des bétons s'est développée de telle manière a obtenir des bétons de plus en plus performants avec un degré de technicité induisant des niveaux de performances et de sécurité requis pour la construction des ouvrages, ce qui a imposé une normalisation et une optimisation de la qualité des granulats. Il faut avoir une connaissance précise de ces matériaux utilisés en génie civil. Ils doivent répondre à des critères précis de qualité et de régularité, définis par des normes.

L'objectif

Le but de ce travail est de déterminer d'un part, le pourcentage de plaquettes et d'aiguilles pour qu'un béton ait des propriétés convenables aux Normes d'autre part, d'étudier l'impact des taux limites de plaquettes et d'aiguilles sur la qualité du béton.

Structurée de mémoire :

Le mémoire est constitué de cinq chapitres.

Le premier chapitre est une introduction générale.

Le deuxième chapitre concerne l'état de l'art. Nous avons fait une synthèse bibliographique sur le matériau béton, sur les composants granulaires. Nous donnons les différentes caractéristiques à prendre en compte dans les formulations.

Le troisième chapitre expose le programme expérimental effectué. Nous avons défini toutes les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des différents granulats, du ciment et de l'eau comme le module de finesse, le pourcentage en fines, l'équivalent de sable, la teneur en eau, les coefficients d'aplatissement, Los Angeles, les masses volumiques, la valeur de la porosité inter granulaire. Les analyses granulométriques de chacune des pourcentages de plaquette et d'aiguille ont été établies.

Le quatrième chapitre concerne les résultats et discussion de l'étude expérimentale menée sur cinq bétons, formules par la méthode Dreux Gorisse. Les cinq mélanges sont un béton témoin, un béton de graves et cinq recomposes permettant de définir différents pourcentages des plaquettes et d'aiguilles utilisées dans la composition des bétons. Les expérimentations consistent en la détermination des résistances mécaniques comme la résistance à la compression à 7,14 et 28 jours et la résistance à la traction à 28 jours. Pour donner un sens pratique à ce travail, une étude comparative entre ces bétons a été faite, en prenant en compte les résultats obtenus afin de tirer quelques conclusions.

Le cinquième chapitre de notre mémoire est une conclusion générale concernant notre recherche.



Chapitre II

REVUE DE DOCUMENTATION

CHAPITRE II : REVUE DE DOCUMENTATION

II.1 Introduction

II.1.1 Historique

Le béton est un mélange précisément dosé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants.

Vers 2600 avant JC, les Assyriens et les Babyloniens [1] ont employé l'argile comme un matériau liant, c'est-à-dire comme le ciment. Les Égyptiens [2] ont utilisé un ciment à base de chaux et de gypse.

En 1756, un ingénieur Anglais, John Seaton [3] a fait le premier béton moderne (ciment hydraulique) en utilisant l'addition de gravillons naturels ressemblants aux graviers et d'un mélange de briques pulvérisées comme ciment.

En 1824, un inventeur Anglais, Joseph Aspdin [4] crée un ciment portland qui est la méthode la plus utilisée à ce jour pour la production de béton.

En 1849, un jardinier Parisien, Joseph Monier [5] a inventé le béton armé à partir de l'idée de renforcer les bacs à fleurs qu'il construisait en béton en y incorporant des barres en fer.

II.1.2 Définition

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ». Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde pour les réalisations des ouvrages de génie civil. Il est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée.

-La structure du béton est composée de deux principaux constituants les granulats et la matrice :

- Les granulats représentent en moyenne 70% à 80% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions. Les granulats sont obtenus à partir des carrières de roches massives, de gisements alluvionnaires et artificiels tels que les laitiers expansés, les argiles expansées et les schistes expansés. Ils conditionnent la compacité du matériau ainsi que ses caractéristiques mécaniques.

- La matrice liante enrobe et lie les granulats entre eux. Elle est formée d'une structure complexe poreuse source d'échanges internes et externes. Il existe plusieurs types de matrice parmi lesquelles on trouve : la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. Un examen plus approfondi,

montre que la structure du béton présente un caractère hétérogène sur un domaine de dimensions extrêmement étendu. [6]

II.2 Les Constituants Du Béton

II.2.1 Les granulats :

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes : – filles; – sablons; – sables; – graves; – gravillons; – ballast; – enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis. [7]

➤ Granulats roulé et granulats concassées : [7]

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

- **Les granulats de roche meuble** : dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico – calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau.

- **Les granulats de roche massive** : dits concassés sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.



Fig. II.1 Type de gravier

✓ **caractéristiques des granulats :**

a) Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un gravier. Elle consiste à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm. La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560). [8]

b) Classes granulaires :

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoirs (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D . Un granulats est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulats est désigné $0/D$. Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101) [8] :

- Les fines $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm.
- Les sables $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm.
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm.
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm.

c) Forme des granulats :

1) Coefficient volumétrique :

Pour un grain, c'est le rapport entre le volume v du grain considéré et la sphère circonscrite de diamètre d , d étant la plus grande dimension du grain. Pour un grain;

$$C = \frac{v}{\pi \frac{d^3}{6}} \quad (1.1)$$

Pour un granulats constitué d'un ensemble de grains;

$$C = \frac{\sum v}{\sum \pi \frac{d^3}{6}} = \frac{v}{\frac{\pi}{6} \sum d^3} \quad (1.2)$$

Un coefficient faible correspond à un granulats présentant un certain nombre d'éclats et d'aiguilles. Un coefficient élevé correspond à un granulats dit : "cubique" ou "arrondi".

2) Indice de forme :

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques (Fig. II.2) :

- La longueur L, distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- L'épaisseur E, distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat.
- La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

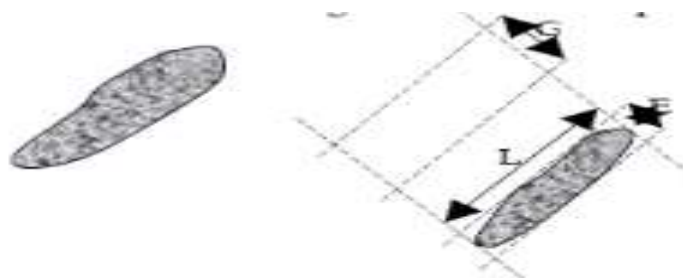


Fig. II.2 La forme d'un granulat

On distingue les formes des granulats suivantes :

- Forme cubique (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur inférieur à 2)
 - Forme irrégulière (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur de 2 à 3)
 - Forme anguleuse (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur supérieur à 3)
- Cette dernière forme incluse les formes d'aiguilles et de plaquette.

Dans la pratique c'est difficile de procurer les graviers de forme cubique. le gravier roulé avec des surfaces lisses et formes rondes donnent une bonne maniabilité, tandis que la pierre concassée avec des formes anguleuses et surfaces rugueuses donne une mauvaise maniabilité dans les mêmes conditions.

Des chercheurs ont indiqué le comportement négatif des grains de forme d'aiguille et de plaquette qui peuvent rendre le gravier plus poreux, peuvent diminuer la maniabilité et la résistance du béton, et causer des difficultés pour le compactage, par conséquent la dépense en ciment sera plus grande, c'est pourquoi on préfère les granulats cubiques aux plaquettes et aux aiguilles.

d) Coefficient d'aplatissement :

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série de tamis à mailles carrée utilisée pour l'étude de la granulométrie. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles. Le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1,58. La norme NF P 18-561 définit les modalités de sa mesure. [9]

$$A_i = \frac{M_i}{R_i} \quad (1.3)$$

e) Masse volumique apparente :

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis (normes NF P 18 554 et 18 555). Elle est comprise entre 1400kg/m^3 et 1600kg/m^3 pour les granulats roulés silico-calcaires.

La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton.

f) Porosité :

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers. La mesure de la porosité se fait selon la norme (NF P 18 554 et 18 555). [10]

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100 \quad (1.4)$$

j) L'absorption d'eau des granulats :

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé absorption. L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger. En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels que agrégats légers expansés d'argile, sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton. La mesure du coefficient d'absorption d'eau se fait selon la norme (NFP 18554 et 18555). [7]

L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pourcent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sèch}} * 100 \quad (1.5)$$

Avec :

M_{humide} la masse humide constante de l'échantillon après immersion.

$M_{sèche}$ la masse sèche constante de l'échantillon après séchage à l'étuve 105°C .

h) Résistance à la fragmentation :

Dans les bétons, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture: La mesure de leur résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA). Il fait l'objet de la norme NF P 18-573. C'est un essai de résistance aux impacts, basé sur la mesure de la dégradation granulométrique des matériaux soumis aux chocs. Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat et La résistance à la fragmentation est d'autant meilleure que sa valeur est petite. [11]

▪ Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice)

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. Les granulats doivent être inertes vis à vis de l'alcali-réaction lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton. Il doit être possible de connaître la teneur en alcalins actifs afin de pouvoir établir un bilan pour une formulation de béton et déterminer la présence de granulats partiellement réactifs ou non qualifiés. Les désordres occasionnés par l'alcali-réaction se présentent sous forme de faiénçage ou d'éclatement du béton. [9]

▪ L'inter face pâte de ciment/granulat : [12]

La liaison qui s'établit au cours de l'hydratation entre la pâte de ciment et les granulats se traduit par une zone de pâte particulière appelée " auréole de transition " ou interface pâte/granulats [Maso, 1980]. Son épaisseur augmente avec la taille des granulats mais est toujours inférieure à 50 m. Elle se caractérise par une porosité 30% plus importante que celle de la pâte de ciment et une orientation préférentielle des hydrates. Plusieurs modèles décrivent cette zone de transition [Monteiro, 1986], Sur la(Fig.2.3), le modèle de [Diamond, 1986] pour un béton ordinaire est présenté.

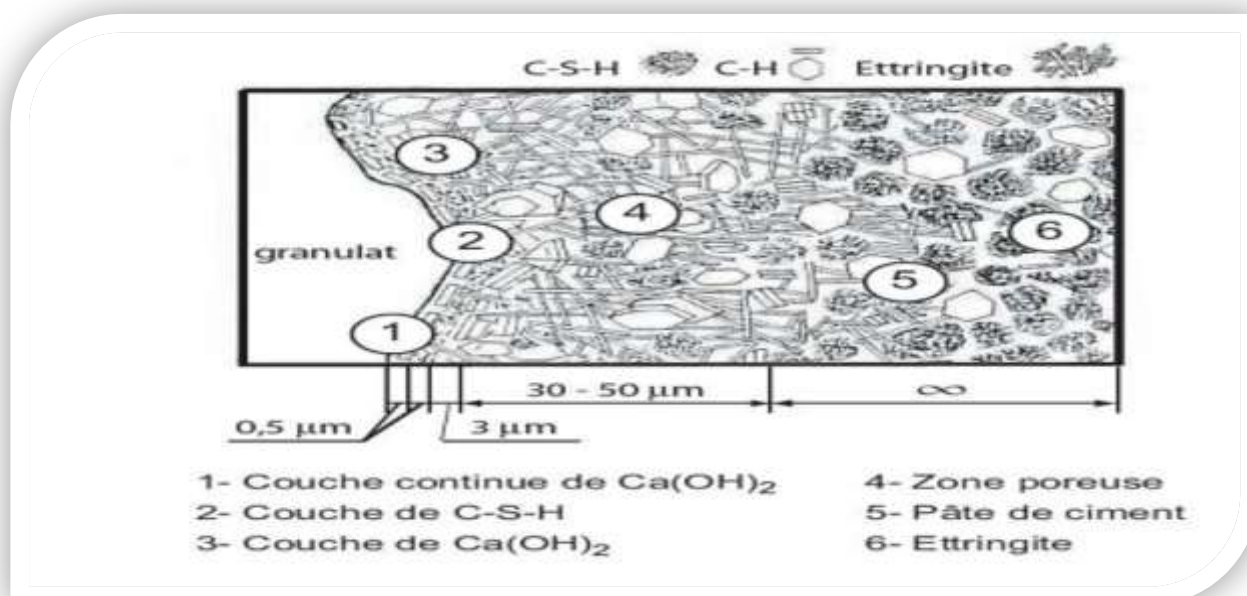


Fig. II.3 Modèle de la morphologie de l'auréole de transition d'un béton ordinaire

[Diamond, 1986]

On observe une zone de pâte hydratée particulière autour des granulats. La première couche la plus proche de la surface des granulats, très compacte, est composée de cristaux de portlandite orientés perpendiculairement aux granulats [Diamond, 1986]. La deuxième couche d'épaisseur approximative de 0,5 m est composée de feuillettes de C-S-H. Après une deuxième couche de portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$, nous passons dans la zone de forte porosité avec des grains de grande dimension et de faible cohésion et par conséquent de moindre résistance mécanique par rapport à la matrice. Cette zone représente le point faible des bétons soumis aux sollicitations mécaniques et les premières fissures contournent les granulats et passent à travers la matrice.

La nature des granulats influence la qualité de la zone de transition. Les granulats calcaires (réactifs) présentent les plus fortes liaisons avec la pâte de ciment du fait des réactions chimiques qui se produisent au cours du temps et augmentent les forces d'adhésion. La réaction entre le CaCO_3 provenant des granulats calcaires et les aluminates tricalciques et les alumino-ferrites tétra calciques engendrent une formation de monocarbo-aluminates de calcium $[\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6.\text{H}_2\text{O}]2\text{CO}_3.9\text{H}_2\text{O}$. Ainsi, la zone de transition entre les granulats calcaires et la pâte de ciment est ainsi plus résistante et de perméabilité plus faible [Gaweska Hager, 2004]. L'augmentation de la résistance du matériau béton obtenue avec les granulats de cette nature a été observée par [Malier, 1992], contrairement aux granulats de type quartz (comme les granulats siliceux) qui sont neutres par rapport à la pâte de ciment. [12]

La formation de ces C-S-H génère une réduction de la porosité également accentuée par l'effet de remplissage (effet filler) de cette fine, améliorant ainsi les performances mécaniques du matériau.

II.2.2 Le sable :

a) Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μm et 05 mm; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les fillers. A cette définition se rattachent les sables de concassage; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination. [13]

b) Origine du sables : [13]

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants ; c'est ainsi que la

plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir :

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau).
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent).
- Grains non usés.

Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects : granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique, pétrologique et minéralogique, forme des grains, dureté,...etc. [13]

c) Classification des sables :

Sable grossier : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

Sable moyen : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.

Sable fin : Plus de 75% des éléments supérieurs à 80 µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves. [8]

d) Module de finesse M_f :

Le module de finesse M_f est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8; au- dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. [8]

Norme Française [NFP18-540]

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

$$M_{Finesse} = \frac{\sum (Refus\ cumulés\ de\ tamis[(5,2.5,1.25,0.63,0.315, et\ 0.16)])}{100} \quad (1.6)$$

- Pour $1,8 < M_f < 2,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2,2 < M_f < 2,8$ le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

- Pour $2,8 < M_f < 3,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $M_f > 3,2$ le sable est à rejeter.

Sable	module de finesse MF	Refus cumul sur les tamis 0.633 en %
Gros	3.4 à 2.4	50 à 75
moyen	2.5 à 1.9	35 à 50
fin	2.0 à 1.5	20 à 35

Tableau. II.1 Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse

e) Équivalent de sable selon la norme(NA454) [14]

Les sables utilisés dans différents domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou moins importantes des argiles fins nuisibles qui peuvent réduire considérablement la qualité des matériaux.

Cette proportion relative d'impureté dans les sable peut être déterminée grâce à l'essai de propreté appelé "équivalent de sable".

Cet essai consiste à faire flocculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable.

Cet essai peut être réalisé par deux types de mesure :

- Mesure avec une règle de mesure (ESV).
- Mesure avec un piston (ESP).

$$ESV = \frac{h_1}{h_2} * 100\% \quad (1.7)$$

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} * 100\% \quad (1.8)$$

E.S.V	E.S.P	Nature Et Qualité Du Sable
Esv < 65	Esp < 60	sable argileux ; à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq \text{Esv} < 75$	$60 \leq \text{Esp} < 70$	sable légèrement argileux ; admissible pour des bétons de qualité courante
$75 \leq \text{Esv} < 85$	$70 \leq \text{Esp} < 80$	sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité.
$\text{Esv} \geq 85$	$\text{Esp} \geq 80$	sable très propre : absence presque totale de fines argileuses

Tableau. II.2 Valeur préconisée pour l'équivalent de sable

II.2.3 Le ciment :

Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Il ne faut pas confondre :

Le ciment, poudre commercialisée en sac ou en vrac, avant son gâchage avec l'eau; la pâte de ciment, au moment du gâchage du ciment avec l'eau; le ciment hydraté ou pâte de ciment durcie lorsque le mélange eau + ciment s'est solidifié. [11]

Les constituants du ciment [8]

1. fabrication du clinker

Le composé de base des ciments est un mélange de chaux apportée par des roches calcaires et d'alumine, de silice et d'oxyde de fer apportés par des argiles. Calcaires et argiles sont extraits de carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker Portland.

Le clinker, auquel on ajoute quelque pourcentage de gypse est ensuite finement broyé de manière à obtenir une poudre dont la masse volumique absolue varie de 3,0 à 3,2 kg/dm³.

2. Autres Constituants Des Ciments

Ils modifient les propriétés du ciment grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. De part leur nature, ils permettent aussi d'abaisser le prix de revient.

a) laitier granulé de Haut fourneau (S) : Il est obtenu par refroidissement rapide de scories provenant de la fusion de minerai de fer dans un haut fourneau. Le laitier a des propriétés hydrauliques.

b) Pouzzolanes naturelles (Z) : Ce sont des roches d'origine volcanique ou sédimentaires ayant une composition appropriée, ou des argiles et schistes activés thermiquement. Les pouzzolanes n'ont pas de propriétés hydrauliques, mais en présence de la chaux libérée par le clinker au cours de son hydratation, elles forment des hydrates stables : on dit qu'elles ont des propriétés pouzzolaniques.

c) Cendres volantes (V ou W) : Elles proviennent du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques au charbon. On distingue : Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques; Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

d) Schistes calcinés(T) : Ce sont des schistes portés à une température de 800°C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

e) Calcaires (L) : Ils doivent être constitués de 75% au moins de CaCO_3 .

f) Fumées de silice (D) : Proviennent de l'industrie du silicium et des alliages. Elles ont des propriétés pouzzolaniques.

g) Fillers(F) : Ce sont des constituants secondaires et n'excèdent pas 5% dans la composition des ciments. Ce sont des matières minérales naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

Classification des ciments :

1) Classification en fonction de leur composition : norme NFP15-301

	Ciment Portland	Ciment portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	≥ 95%	≥ 80% ≤ 94%	≥ 65% ≤ 79%	≥ 35% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 34%	≥ 5% ≤ 19%	≥ 65% ≤ 90%	≥ 45% ≤ 64%	≥ 40% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 39%
Laitier (S)	*	6% ≤	21% ≤	≥ 36% ≤ 65%	≥ 66% ≤ 80%	≥ 81% ≤ 95%	*	*	≥ 18% ≤ 30%	≥ 31% ≤ 50%
Pouzzolane (Z)	*	total	total	*	*	*	10% ≤ total	36% ≤ total	18% ≤ total	31% ≤ total
Cendres siliceuses (V)	*	≤ 20%	≤ 35%	*	*	*	≤ 35%	≤ 55%	≤ 30%	≤ 50%
Fumée de silice (D)	*	(fumée	(fumée	*	*	*	(fumée ≤ 10%)	(fumée ≤ 10%)	*	*
Cendres calciques (W)	*	de	de	*	*	*	*	*	*	*
Schistes (T)	*	silice	silice	*	*	*	*	*	*	*
Calcaires (L)	*	≤ 10%)	≤ 10%)	*	*	*	*	*	*	*
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tableau. II.3 les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5%)

2) Classification en fonction de leur résistance :

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous-classes sont associées aux 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées.

Les classes doivent respecter les spécifications indiquées dans (Tableau 2.4) ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées. [8]

Classe	Résistance à la compression (MPa) norme EN 196-1				Retrait à 28 jours (1)	Début de prise	Stabilité
	au jeune âge		à 28 jours		norme	norme	norme
	2 jours	7 jours	mini	maxi	P 15-433 ($\mu\text{m/m}$)	EN 196-3 (min)	EN 196-3 (mm)
32,5		(17,5)	$\geq 32,5$ (30)	$\leq 52,5$	≤ 800	≥ 90	≤ 10
32,5 R	$\geq 13,5$ (12)		$\geq 32,5$ (30)	$\leq 52,5$	≤ 1000	≥ 90	≤ 10
42,5	$\geq 12,5$ (10)		$\geq 42,5$ (40)	$\leq 62,5$	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
42,5 R	≥ 20 (18)		$\geq 42,5$ (40)	$\leq 62,5$	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
52,5	≥ 20 (18)		$\geq 52,5$ (50)			≥ 60	≤ 10
52,5 R	≥ 30 (28)		$\geq 52,5$ (50)			≥ 60	≤ 10

Tableau. II.4 Classes en fonction de la résistance normale à 28 jours

II.2.4 L'eau de gâchage :

L'eau est un constituant du béton nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier. Une classification classique permet de distinguer trois types d'eau : [8]

- **L'eau chimiquement liée** : Elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.
- **L'eau adsorbée** : est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores. Soumises aux champs des forces électriques superficielles des particules de CSH et à l'action des forces de VAN DER WAALS. La structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas là.
- **L'eau libre** : cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle occupe les macropores.
- **L'eau dans la pâte de ciment** : [12]

L'eau présente dans les C-S-H et celle présente dans les zones d'adsorption empêchée jouent un rôle majeur dans le comportement différé du béton. Leurs caractéristiques sont les suivantes.

L'eau dans les C-S-H: A partir de multiples méthodes expérimentales, Sierra, cité par Baron et Sauterey [Baron et Sauterey, 1982], a pu identifier dans la structure des C-S-H la présence de

l'eau sous trois formes, classées ici par ordre décroissant d'énergie de liaison avec le solide (Figure II.4).

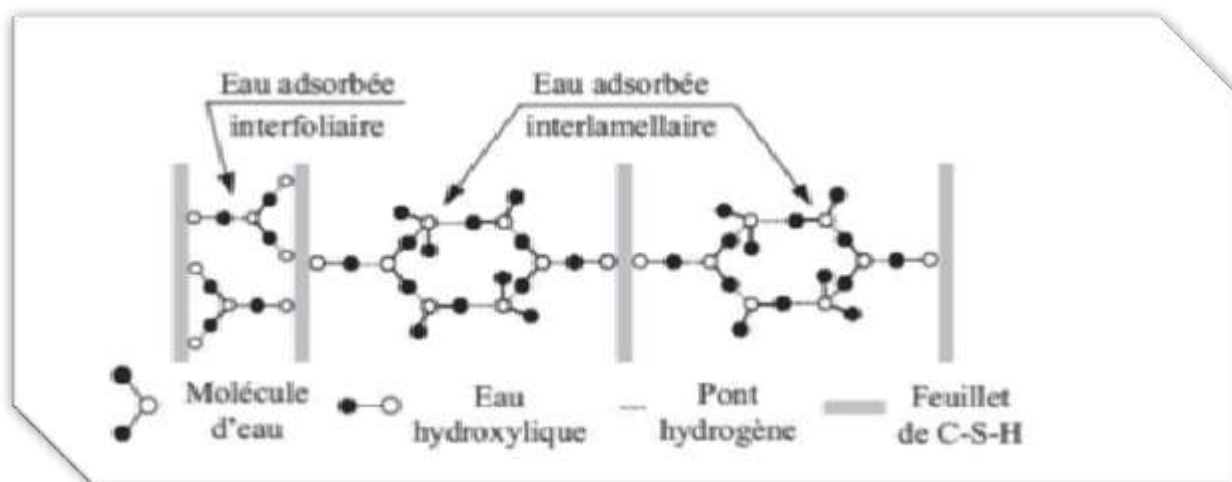


Fig.II.4 Etat de l'eau dans les C-S-H

- **L'eau hydroxyle (groupement O-H)** : elle est liée aux atomes de silicium et de calcium à la surface des feuillets.
- **L'eau inter foliaire (ou inter feuillet)** : elle est liée aux feuillets par des groupements hydroxyles. Elle intervient dans la cohésion intrinsèque de la lamelle.
- **L'eau inter lamellaire** : elle est soit fixée à la surface des lamelles par un hydroxyle, soit liée à d'autres molécules d'eau.

II.2.5 Rôle des différents éléments constituant le béton :

- **Ciment** : c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- **L'eau** : c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- **Les granulats** : ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- **Le sable** : il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

II.3 Différents types de bétons

- **Béton auto plaçant (BAP)**

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon [15], le béton auto plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration.

Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique. [16]

- **Béton de haute performance (BHP)**

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0,40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants. [17]

- **Béton de fibre**

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le treillis soudé traditionnel. [18]

- **Béton a durcissement rapide**

Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication. [19]

- **Béton léger**

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m³. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique. [20]

- **Béton lourd**

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau. [21]

- **Béton ordinaire**

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulats, eau, avec un rapport (E/C) qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée.

Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre 20 MPa ≤ f_{c28} ≤ 50 MPa. [22]

II.4 Propriétés des bétons :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais:** mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

- **le béton durci :** solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

II.4.1 Propriétés du béton frais

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage[7]. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau. [23]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [11], [8]

II.4.1.1 Affaissement au cône d'Abrams

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance. [24]

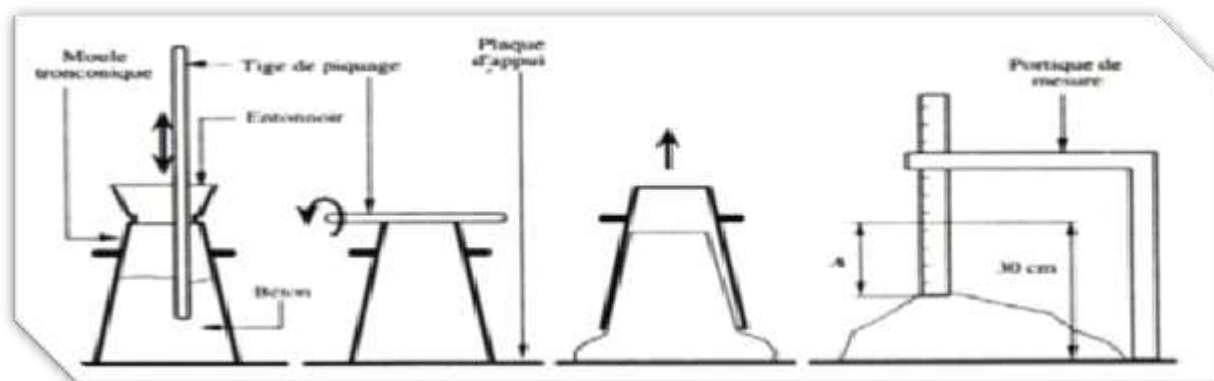


Fig. II.5 Essai d'affaissement au cône d'Abrams



Fig. II.6 Mesure de l'affaissement

II.4.1.2 La masse volumique du béton frais

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = (M_2 - M_1)/V \quad (1.9)$$

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

M₁ : est la masse du récipient (kg).

M₂ : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3).

La masse volumique du béton est arrondie aux 10 kg/m^3 les plus proches.

II.4.2 Propriétés du béton durci

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées. [9]

II.4.2.1 Résistance à la compression [9]

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_c = \frac{F}{AC} \quad (1.10)$$

f_c : résistance en compression, exprimée en mégapascal (Newton par millimètres carrés).

F : charge maximale, exprimée en Newtons.

AC : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à MPa (N/mm^2) près.

II.4.2.2 Résistance à la traction par flexion [9]

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NFP18-407(NA428), munie d'un banc de flexion à 4 points. Pour une charge totale P , le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = \frac{P * A}{2} \quad (1.11)$$

et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 6M / a^3$

La relation suivante permet de calculer la résistance :

$$F_{tj} = 1.8 \frac{P}{a^2} \quad (1.12)$$

II.5. Le formulation de béton :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants du béton (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance).

On a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

-Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).

-Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux-gorisse).

II.5.1 Méthodes semi-empiriques

a. Méthode de Bolomey

La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d}/D \quad (1.13)$$

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

d : Le diamètre du plus petit granulat.

D : Le diamètre du plus gros granulat.

A : Représente le pourcentage d'éléments très fins contenus dans le mélange sec, éléments qui ont une incidence sur la maniabilité du béton. La valeur de cette constante dépend de la consistance souhaitée pour le béton et de la provenance des granulats (Tableau I.1.2).

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

Tableau. II.5 valeur de coefficient du A

b. Méthode de Faury :

Faury [25] proposa une nouvelle loi de granulation du type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot [26] relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $5\sqrt{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($<D/2$), des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse $5\sqrt{d}$.

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par la formule suivante :

$$Y = 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (1.14)$$

B : Varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : Exprimé en dimension de passoire.

R : Le rayon moyen du moule.

c. Méthode de Valette

Valette [27] a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite certains nombres de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum des sables » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment. 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.

II.5.2 Méthodes graphiques

II.5.2.1 Méthode de Dreux-Gorisse [28]

Le choix de la méthode de formulation s'est fait en fonction des critères suivants :

- Une méthode assez simple et facile à utiliser.
- C'est une méthode appliquée au niveau des laboratoires de l'est algérien comme ceux du C.T.C. Est, le L.T.P. Est et autres laboratoires privés.
- pour pouvoir comparer les résultats à ceux des autres organismes de contrôle.

a) Détermination du dosage en ciment :

On évalue d'abord le rapport E/C en fonction de la résistance désirée sur la base de la formule :

$$R_b = GR_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad (1.15)$$

OU :

R_b : Résistance à la compression du béton prévue à 28 jours, en bars.

G : Coefficient granulaire donné par le (Tableau 1.6), en fonction de la qualité et de la dimension maximale (*D_{max}*) du gravier.

R_c : Classe vraie du ciment à 28 jours, en bars.

Connaissant le rapport C \ E la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque (Figure II.7).

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	Fins D 16	moyens 25 D 40	gros D 63
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
passable	0.35	0.40	0.45

Tableau. II.6 Valeurs de G coefficient granulaire

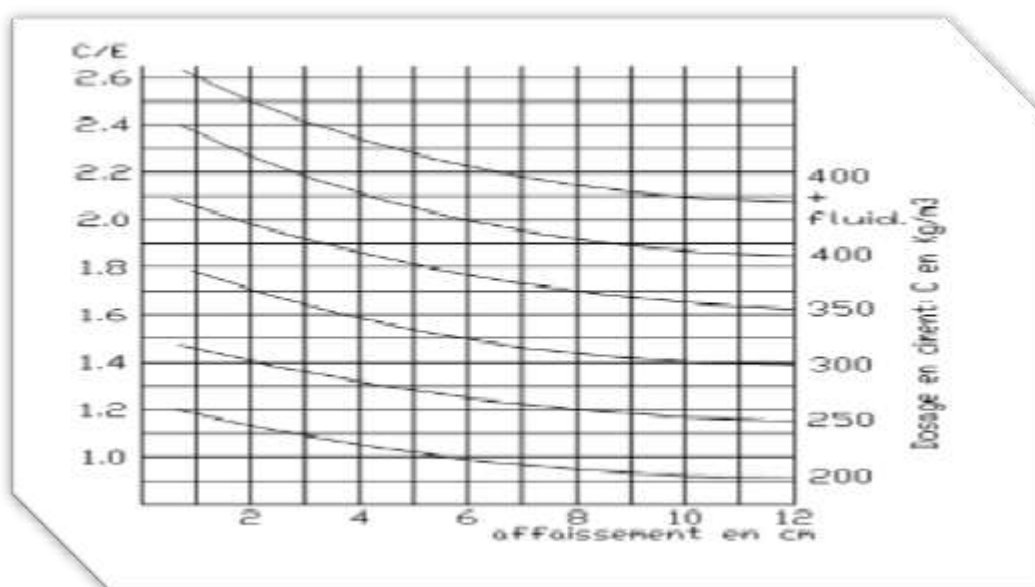


Fig. II.7 Dosage en ciment

b) Détermination du dosage en eau :

Connaissant C/E et le dosage en ciment (C) on déduit le dosage en eau total à prévoir par la formule :

$$E = \frac{C}{\frac{C}{E}} \quad (1.16)$$

c) Détermination du dosage en granulat :

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulaire de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton, (Figure 2.6) ci-dessous courbe OAB. La courbe OAB, où B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit :

• **En abscisse :**

Si $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$.

Si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38(5mm) et le module correspond à (D_{max}).

• **En ordonnée :** Y donnée par la formule suivante :

$$Y = 50 - \sqrt{D} - K \quad (1.17)$$

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur tout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable qui est donné par le (Tableau 2.7).

vibration	Faible		normale		puissante	
	roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	concassé
forme(s,t,sable)						
400+fluidifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Tableau. II.7 valeur du terme correcteur K

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1, g_2, g_3 par exemple.

Si c'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est :

$$c = \frac{C}{\rho_c} \quad (1.18)$$

ρ_c : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V = 1000\gamma - c \quad (1.19)$$

Ou :

γ : coefficient de compacité qui est donné par le (Tableau 2.8).

II.6 Conclusion :

Cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques, elles dépendent de la porosité et de la qualité et des composants.



Chapitre III

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

III.1 Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

Les matériaux utilisés sont :

- ◆ Le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- ◆ Le ciment CPJ de la cimenterie ACC de Hammam Dhalàa.
- ◆ L'eau potable du laboratoire de département de génie civil (M'sila).
- ◆ Gravier roulée de la région de BOUSAADA.

III.2 Sable d'oued (BOUSAADA) :

III.2.1 Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient : des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA).

III.2.2 Caractéristiques physiques des sables utilisés :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**.

III.2.2.1 Masse volumique absolue :

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

*** Mode opératoire :**

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. on prend **03** échantillons de masse **300g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2^{ème}** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable : $V_1 = V - 300$ (ml).

La masse de sable : $M = 300$ g.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_1} \quad (III.1)$$

N° d'essai	M (g)	V _e (cm ³)	V ₁ (cm ³)	ρ (g / cm ³)	ρ _{moy} (g / cm ³)
1	300	300	119.5	2.51	2.51
2	300	300	120	2.50	
3	300	300	119	2.52	

Tableau III.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda

III.2.2.2 Masse volumique apparente :

a) Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

*** Mode opératoire :**

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M₁.
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M₂ ce poids.
- Volume de récipient V_r=**900cm³**.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app L} = \frac{M_2 - M_1}{V_r} \quad (III.2)$$

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{app} moye (g/cm ³)
01	114	1523	1.565	1.567
02	114	1528	1.571	
03	114	1523	1.565	

Tableau III.2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche

b) Masse volumique apparente à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

*** Mode opératoire :**

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à **30** secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit M_2 le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app\ c} = \frac{M_2 - M_1}{V_r} \quad (III.3)$$

Où :

M_1 : Masse du récipient à vide.

M_2 : Masse du récipient plus le sable.

V_r : Volume du récipient.

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm ³)
01	114	1681	1.741	1.74
02	114	1670	1.728	
03	114	1685	1.745	

Tableau III.3 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

III.2.2.3 Porosité :

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100 \quad (III.4)$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche : $P_L = 37.57\%$.
- Etat compacte : $P_C = 30.68\%$.

III.2.2.4 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} * 100 = 100 - P \quad (III.5)$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche : $C_L = 62.43\%$.
- Etat compacte : $C_c = 69.32\%$.

III.2.2.5 L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

L'indice des vides donnée par la formule :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100-P)} \quad (III.6)$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche : $e_L = 0.602 \%$.
- Etat compacte : $e_c = 0.442\%$.

III.2.2.6 Equivalent de sable :

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

* Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant **10 minutes**.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90 cycles** de **20cm** de cours horizontale en **30 secondes** à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vanteau dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.

- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

A / Equivalent de sable visuel (ESV) :

- Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (III.7)$$

Où : $h_2 < h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

B / Equivalent de sable piston (ESP) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (III.8)$$

Où h'_2 : La hauteur du sable ($h'_2 < h_1$).

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h'_2 (cm)	ESP (%)
01	8.9	9.8	90.81	8.6	87.75
02	8.9	9.7	91.75	8.7	89.69
03	8.9	9.8	90.81	8.7	88.77

Tableau III.4 : Equivalent du sable de Boussaâda

$(ESV)_{\text{moy}} = 91.12\%$

$(ESP)_{\text{moy}} = 88.74\%$

Donc :

$ESV \geq 85$

$ESP > 80$

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S≥85	E.S>80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau III.5 : Comparaison des résultats

Pour le sable : C'est un Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

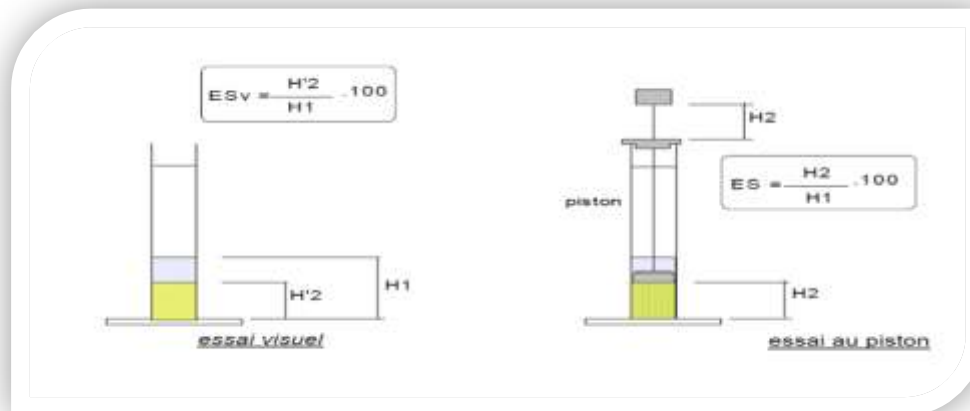


Fig. III.1 L'essai l'équivalent de sable

III.2.2.7 Teneur en eau :

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

* Mode opératoire :

- ◆ Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (**500 g**).
- ◆ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C à 110 °C** pendant **24heurs**.
- ◆ Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

La teneur en eau du sable est :

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100 \text{ [\%]} \quad (III.9)$$

Où :

- M_h : Poids du sable humide en (g).
- M_s : Poids du sable sec en (g).

N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	500	495	1	1,2
2	500	494	1,2	
3	500	493	1,4	

Tableau III.6 : Teneur en eau du sable de Boussaâda

III.2.2.8 Degré d'absorption d'eau :

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 \text{ [\%]} \quad (III.10)$$

Où :

- M_1 : La masse du matériau sec en (g).
- M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	A (%)	A_{moy} (%)
1	300	307,9	2,63	2,81
2	300	308,6	2,87	
3	300	308,8	2,93	

Tableau III.7 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda

III.2.2.9 Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

1. Tamisage.
2. Sédimentation.



Fig. III.2 Les Tamis

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissante.
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau. Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

*** Mode opératoire :**

- Prélever (**1,5 kg**) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement :

de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08mm**. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5 minutes**. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

- Peser chaque tamis séparément à **1 g** près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.

- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumuler du tamis 2 ($R_2=R_1$ +Refus partiel sur tamis).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : **$T= 100 - R_c$**

Où :

- T: Tamisât en %
- R_C : Refus cumulés en %

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	102	102	6.8	93.2
1.25	56	158	10.53	89.47
0.63	61	219	14.6	85.4
0.315	404	623	41.53	58.47
0.16	720	1343	89.53	10.47
0.08	145	1488	99.2	0.8
Fond	12	1500	100	0

Tableau III.8: Analyse granulométrique du sable d'oued Boussaâda (Oued Maitre)

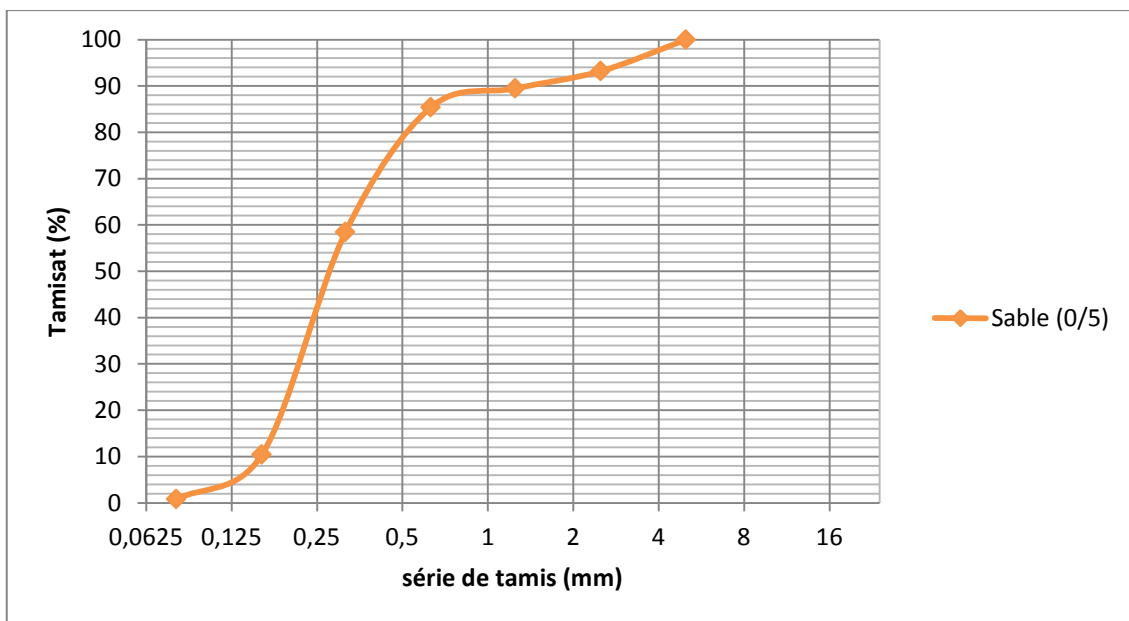


Fig. III .3 Courbe Analyse granulométrique du sable (0/5)

✓ **Module de finesse :**

Le module de finesse (**MF**) est une facteur très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_{Finesse} = \frac{\sum (\text{Refus cumulés de tamis}[(5,2.5,1.25,0.63,0.315, \text{et } 0.16)])}{100} \quad (III.12)$$

$$Mf = 1.59$$

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit :

- Sable gros $M_f > 2.5$
- Sable moyen $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

✓ Pour le sable de Boussaâda : $1.5 < M_f < 2$: C'est un **sable fin**.

III.2.3 Les Caractéristiques chimiques du sable de Boussaâda :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars **2005**, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (**Tableau. III 9**).

<i>CONSTITUANTS</i>		
<i>Elément</i>	<i>Symbole</i>	<i>Teneur en (%)</i>
Silice	SiO ₂	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde ferrique	Fe ₂ O ₃	0.90
Alumine	AL ₂ O ₃	1.92
Oxyde magnésium	MgO	0.53
Sulfate	So ₃	0.44
Pente au fer	P.A.F	2.81

Tableau III.9: Analyse chimique du sable de BOUSAADA

Commentaire :

Le sable de **BOUSAADA** est un sable à haute teneur en silice.

III.3 Gravier Roulée :

III.3.1 Origine de gravier :

Le gravier roulé de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA).

III.3.2 Classes granulaires :

- Fraction **3/8**.
- Fraction **8/16**.

III.3.3 Caractéristiques physiques du gravier utilisé :

III.3.3.1 Masses volumiques absolues :

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

➤ **But de l'essai :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est Simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.

➤ **Mode opératoire :**

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume **V1** d'eau.
- Peser un échantillon sec **M** de Gravier (environ **300 g**) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume **V2**.

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)} \quad (III.13)$$

fraction	Essai	M ₁ (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ _{abs} (g/ml)	ρ _{abs} moy (g/ml)		
3/8	1	300	300	415	2.608	2.55		
	2			418	2.542			
	3			420	2.5			
8/16	1			300	300	415	2.608	2.56
	2					417	2.564	
	3					419	2.521	

Tableau III.10 : Masse volumiques absolue des fractions de gravier roulé

III.3.3.2 Masse volumique apparente :

➤ **But de l'essai :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des gravie pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

➤ **Mode opératoire de l'essai :**

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué ((7l) pour le G 3/8 -(10l) pour le G 8/16) et déterminer la masse du contenu.

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué, et on pèse le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (III.13)$$

A l'état lâche

Fraction	Essai	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	ρ _{app} (kg/l)	ρ _{appmoy} (kg/l)
3/8 v=7l	1	2.92	13.301	1.483	1.49
	2		13.326	1.486	
	3		13.349	1.49	
8/16 v=10l	1	3.49	18.611	1.512	1.51
	2		18.630	1.514	
	3		18.593	1.510	

Tableau III.11 : Masse volumiques apparentes des fractions 3/8 et 8/16 du gravier roulé

A l'état compacte

Fraction	Essai	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	ρ _{app} (kg/l)	ρ _{appmoy} (kg/l)
3/8 v=7l	1	2.92	14.376	1.636	1.64
	2		14.399	1.639	
	3		14.369	1.635	
8/16 v=10l	1	3.49	19.708	1.622	1.61
	2		19.636	1.615	
	3		19.553	1.601	

Tableau III.12 : Masse volumiques apparentes des fractions 3/8 et 8/16 du gravier roulé

III.3.3.3 Porosités (P) :

Le mode opératoire est semblable celui effectué pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100 \quad (III.14)$$

Fraction		P _{Lâche} (%)	P _{Compacte} (%)
roulé	3/8	41.57	35.67
	8/16	41.02	37.11

La porosité Granulats roulés

III.3.3.4 Compacité (C) :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \quad (III.15)$$

Fraction		$C_{L\grave{a}che}(\%)$	$C_{Compacte}(\%)$
roulé	3/8	58.43	64.31
	8/16	58.98	62.89

Compacité Granulats roulés

III.3.3.5 Indice des vides (I) :

$$I = \frac{P}{C} \quad (III.16)$$

Fraction		$I_{L\grave{a}che}$	$I_{Compacte}$
roulé	3/8	0.71	0.55
	8/16	0.69	0.59

Indice de vide Granulats roulés

III.3.3.6 Degré d'absorption d'eau(A) :

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%] \quad (III.17)$$

Graviers	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}(\%)$
3/8	01	300	301	0.33	0.55
	02	300	302	0.66	
	03	300	302	0.66	
8/16	01	300	302	0.66	0,66
	02	300	302	0.66	
	03	300	302	0.66	

Tableau III.13 : Degré d'absorption d'eau du gravier roulé

III.3.3.7 Teneur en eau :

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100 [\%] \quad (III.18)$$

Graviers	N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
3/8	01	300	298	0.66	0,67
	02	300	299	0.33	
	03	300	297	1	
8/16	01	300	297	1	0.88
	02	300	298	0.66	
	03	300	297	1	

Tableau III.14: Teneur en eau du gravier roulé

III.3.3.8 Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

a)- Fraction 3/8 (1500g)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	33	33	2.2	97.8
6,3	790	823	54.87	45.13
5	483	1306	87.067	12.933
4	171	1477	98.47	1.53
3,15	19	1496	99.73	0.27
2,5	02	1498	99.87	0.13
Fond	02	1500	100	0

Tableau III.15 : Analyse granulométrique du gravier 3/8

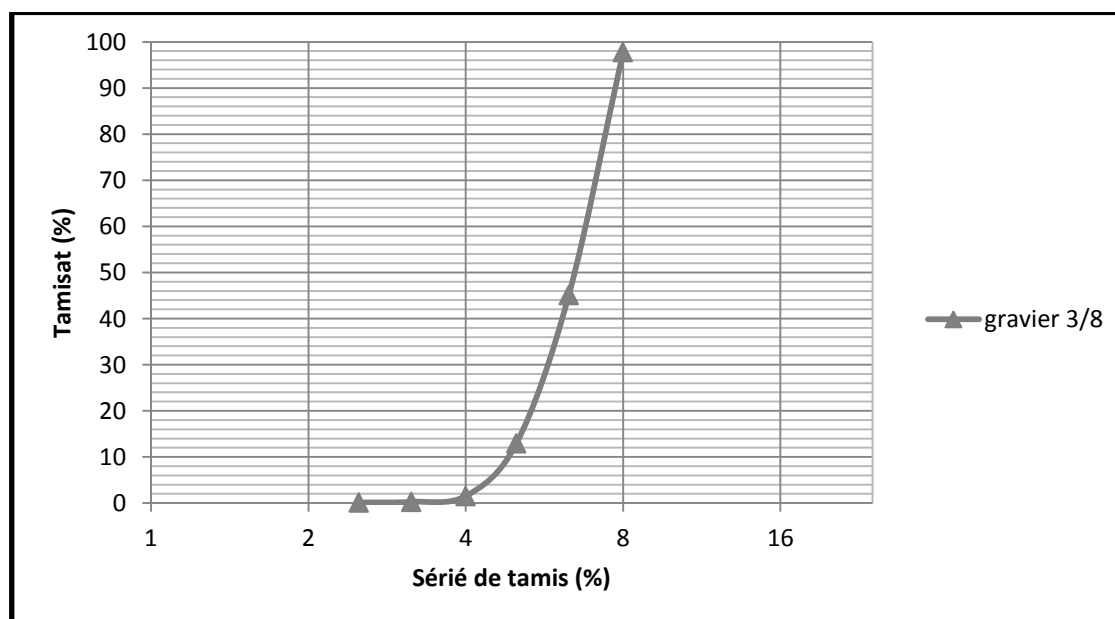


Fig. III .4 Courbe Analyse granulométrique du gravier 3/8 roulé

b)- Fraction 8/16 (1500g)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	25	25	1.67	98.33
12.5	149	174	11.6	88.4
10	512	686	45.73	54.27
8	723	1409	93.93	6.07
6,3	84	1493	99.53	0.47
Fond	7	1500	100	0

Tableau III.16 : analyse granulométrique du gravier 8/16

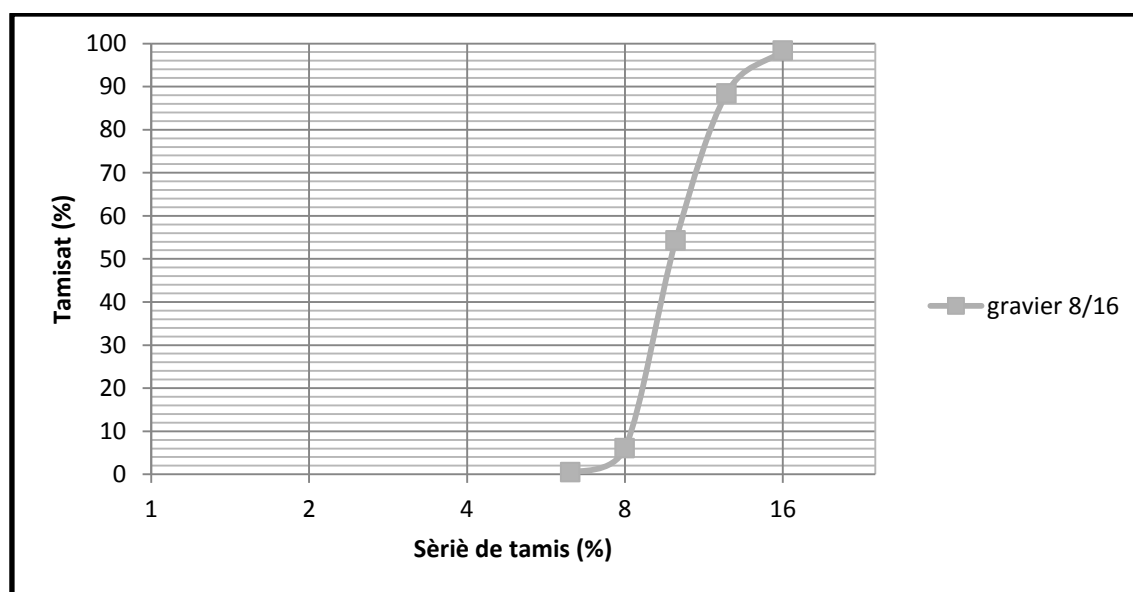


Fig. III .5 Courbe Analyse granulométrique du gravier 8/16roulé

III.3.3.9 Résistance à la fragmentation :

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec le charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min).

Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm

Coefficient de los Angeles « LA » :

$$LA = \frac{m}{5000} * 100 \quad (III.19)$$

• Si LA<20 : le gravier très dur.

• Si 20<LA< 30 : le gravier dur

Gruvier 3/8 : 25<L_A>30 =>Assez dure.

Gruvier 8/16 : 20<L_A>25 =>Dure.

• Si LA>20 : le gravier friable.

nature	Fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	L_A (%)
G Roulé	3/8	5000	1115	7	27.875
	8/16		1118	11	22.36

Tableau III.17 Coefficient des los Angeles des graviers roulés

Gravier 3/8 : $25 < L_A > 30 \Rightarrow$ Assez dure.

Gravier 8/16 : $20 < L_A > 25 \Rightarrow$ Dure.

III.4 Appellations des mélanges de gravier :

Les différents mélanges sont présentés sous cette forme :

$$M_{(\% \text{ Plaquette}, \% \text{ GR} 3/8, \% \text{ GR } 8/16)}$$

Avec GR : Gravier Roulé

a) Mélanges $M_{(0 \% \text{ Plaquette}, 40\% \text{ GR} 3/8, 60\% \text{ GR } 8/16)} : (M_1)$

1. Masses volumiques absolues :

Mélange	Essai	M (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	$\rho_{abs \text{ moy}}$ (g/ml)
M_1	1	300	300	419	2.56	2.55
	2			418	2.54	
	3			419	2.55	

Tableau III.18 : Masse volumiques absolue du mélange M_1

2. Masse volumique apparente :

A l'état lâche

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	$\rho_{app \text{ moy}}$ (g/ml)
M_1 $v=0.9l$	1	114	1545	1.59	1.56
	2		1523	1.56	
	3		1506	1.54	

Tableau III.19 : Masse volumiques apparentes du mélange M_1

A l'état compacte

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	$\rho_{app \text{ moy}}$ (g/ml)
M_1 $v=0.9l$	1	114	1568	1.615	1.62
	2		1585	1.634	
	3		1577	1.625	

Tableau III.20 : Masse volumiques apparentes du mélange M_1

3. Porosités (P) :

Mélange	$P_{Làche}(\%)$	$P_{Compacte}(\%)$
M_1	38.1	36.47

4. Compacité (C) :

Mélange	$C_{Làche}(\%)$	$C_{Compacte}(\%)$
M_1	61.9	63.53

5. Indice des vides (I) :

Mélange	$I_{Làche}$	$I_{Compacte}$
M_1	0.49	0.55

6. Degré d'absorption d'eau(A) :

Mélange	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}(\%)$
M_1	01	300	302	0.67	0.56
	02	300	301	0.33	
	03	300	302	0.67	

Tableau III.21 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_1

7. Analyse granulométrique : (1500g)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	27	27	1.8	98.2
12.5	203	230	15.33	84.67
10	436	666	44.4	55.6
8	244	910	60.67	39.33
6.3	289	1199	79.93	20.07
5	178	1377	91.8	8.2
4	105	1482	98.8	1.2
3.15	18	1500	100	0.0
2.5	0.0	1500	100	0.0
fond	0.0	1500	100	0.0

Tableau III.22 : analyse granulométrique du mélange M_1

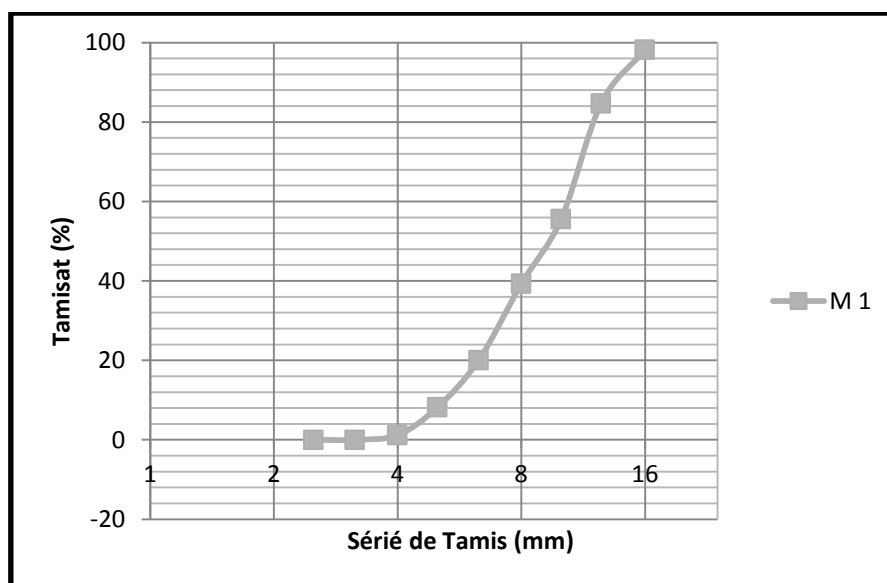


Fig. III .6 Courbe Analyse granulométrique du mélange M_1

b) Mélanges M (10 % Plaquette, 36% GR3/8, 54% GR 8/16) : (M_2)

1. Masses volumiques absolues :

Mélange	Essai	M_1 (g)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	ρ_{abs} moy (g/ml)
M_2	1	300	300	415	2.538	2.56
	2			416	2.586	
	3			415	2.56	

Tableau III.23 : Masse volumiques absolue du mélange M_2

2. Masse volumique apparente :

A l'état lâche

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} moy (g/ml)
M_2 $v=0.9l$	1	114	1509	1.55	1.54
	2		1494	1.533	
	3		1498	1.537	

Tableau III.24 : Masse volumiques apparentes du mélange M_2

A l'état compacte

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} moy (g/ml)
M_2 $v=0.9l$	1	114	1570	1.677	1.63
	2		1562	1.608	
	3		1558	1.604	

Tableau III.25 : Masse volumiques apparentes du mélange M_2

3. Porosités (P) :

Mélange	$P_{Làche}(\%)$	$P_{Compacte}(\%)$
M_2	40.77	37.31

4. Compacité (C) :

Mélange	$C_{Làche}(\%)$	$C_{Compacte}(\%)$
M_2	59.23	62.69

5. Indice des vides (I) :

Mélange	$I_{Làche}$	$I_{Compacte}$
M_2	0.69	0.59

6. Degré d'absorption d'eau(A) :

Mélange	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}(\%)$
M_2	01	300	301	0.33	0.44
	02	300	302	0.67	
	03	300	301	0.33	

Tableau III.26 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_2

7. Analyse granulométrique : (1500g)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	25	25	1.67	98.33
12.5	241	266	17.73	82.27
10	419	685	45.67	54.33
8	283	968	64.53	35.47
6.3	249	1217	81.13	18.87
5	164	1381	92.07	7.93
4	98	1479	98.6	1.4
3.15	21	1500	100	0.0
2.5	0.0	1500	100	0.0
fond	0.0	1500	100	0.0

Tableau III.27 : analyse granulométrique du mélange M_2

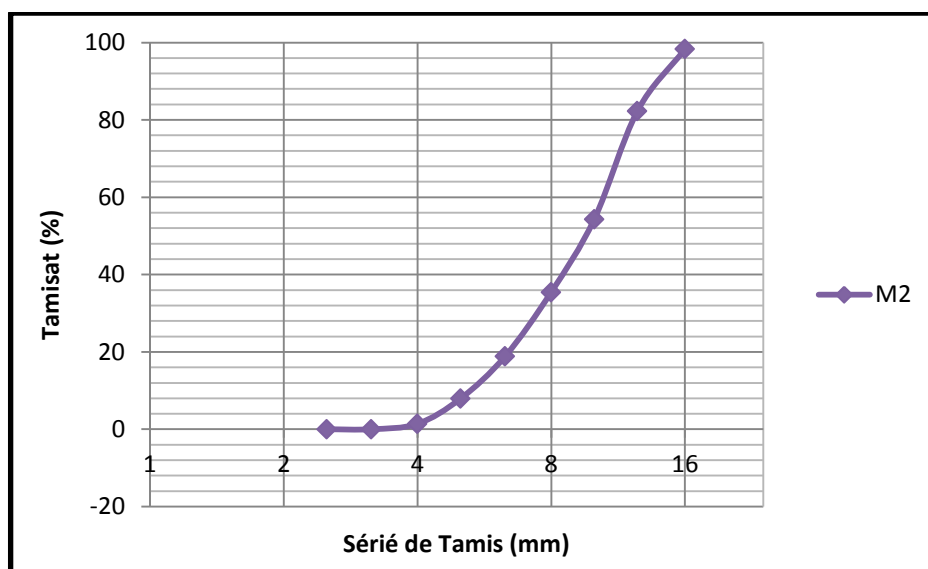


Fig. III .7 Courbe Analyse granulométrique du mélange M_2

C) Mélange M_3 (15% Plaquette, 34% GR3/8, 51% GR 8/16) : (M_3)

1. Masses volumiques absolues :

Mélange	Essai	M_1 (g)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	ρ_{abs} moy (g/ml)
M_3	1	300	300	416	2.586	2.58
	2			416	2.586	
	3			417	2.564	

Tableau III.28 : Masse volumiques absolue du mélange M_3

2. Masse volumique apparente :

A l'état lâche

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} moy (g/ml)
M_3 $v=0.9l$	1	114	1509	1.55	1.55
	2		1518	1.56	
	3		1502	1.54	

Tableau III.29 : Masse volumiques apparentes du mélange M_3

A l'état compacte

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} moy (g/ml)
M_3 $v=0.9l$	1	114	1567	1.614	1.62
	2		1587	1.637	
	3		1574	1.62	

Tableau III.30 : Masse volumiques apparentes du mélange M_3

3. Porosités (P) :

Mélange	$P_{Làche}(\%)$	$P_{Compacte}(\%)$
M_3	39.92	37.2

4. Compacité (C) :

Mélange	$C_{Làche}(\%)$	$C_{Compacte}(\%)$
M_3	60.08	62.8

5. Indice des vides (I) :

Mélange	$I_{Làche}$	$I_{Compacte}$
M_3	0.66	0.59

6. Degré d'absorption d'eau(A) :

Mélange	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}(\%)$
M_3	01	300	301	0	0.33
	02	300	301	0.33	
	03	300	301	0	

Tableau III.31 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_3

7. Analyse granulométrique :

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	41	41	2.73	97.27
12.5	184	225	15	85
10	487	712	47.47	52.53
8	274	986	65.73	34.27
6.3	195	1181	78.73	21.27
5	175	1356	90.4	9.6
4	113	1469	97.93	2.07
3.15	31	1500	100	0.0
2.5	0.0	1500	100	0.0
fond	0.0	1500	100	0.0

Tableau III.32 : analyse granulométrique du mélange M_3

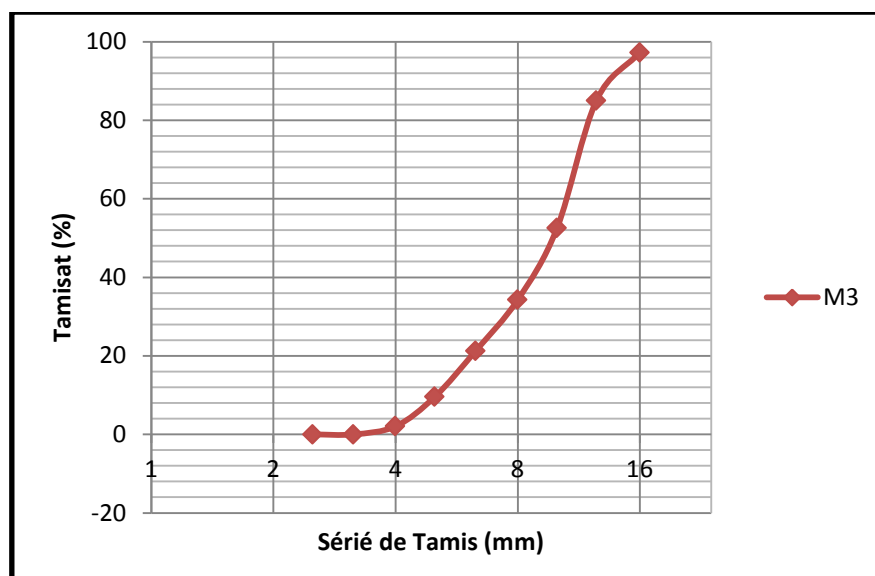


Fig. III .8 Courbe Analyse granulométrique du mélange M_3

d) Mélange $M_{(20\% \text{ Plaquette, } 32\% \text{ GR3/8, } 48\% \text{ GR 8/16)}$: (M_4)

1. Masses volumiques absolues :

Mélange	Essai	M_1 (g)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	$\rho_{abs \text{ moy}}$ (g/ml)
M_4	1	300	300	415	2.608	2.59
	2			416	2.586	
	3			416	2.586	

Tableau III.33 : Masse volumiques absolue du mélange M_4

2. Masse volumique apparente :

A l'état lâche

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	$\rho_{app \text{ moy}}$ (g/ml)
M_4 $v=0.9l$	1	114	1502	1.542	1.55
	2		1512	1.553	
	3		1514	1.555	

Tableau III.34 : Masse volumiques apparentes du mélange M_4

A l'état compacte

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	$\rho_{app \text{ moy}}$ (g/ml)
M_4 $v=0.9l$	1	114	1546	1.59	1.6
	2		1556	1.60	
	3		1568	1.615	

Tableau III.35 : Masse volumiques apparentes du mélange M_4

3. Porosités (P) :

Mélange	$P_{Làche}(\%)$	$P_{Compacte}(\%)$
M_4	40.15	38.22

4. Compacité (C) :

Mélange	$C_{Làche}(\%)$	$C_{Compacte}(\%)$
M_4	59.85	61.78

5. Indice des vides (I) :

Mélange	$I_{Làche}$	$I_{Compacte}$
M_4	0.67	0.62

6. Degré d'absorption d'eau(A) :

Mélange	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}(\%)$
M_4	01	300	302	0.67	0.56
	02	300	302	0.67	
	03	300	301	0.33	

Tableau III.36 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_4

7. Analyse granulométrique :

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	50	50	3.33	96.67
12.5	264	314	20.93	79.07
10	463	777	51.8	48.2
8	235	1012	67.47	32.53
6.3	191	1203	80.2	19.8
5	153	1356	90.4	9.6
4	114	1470	98	02
3.15	29	1499	99.93	0.07
2.5	1	1500	100	0.0
fond	0.0	1500	100	0.0

Tableau III.37 : analyse granulométrique du mélange M_4

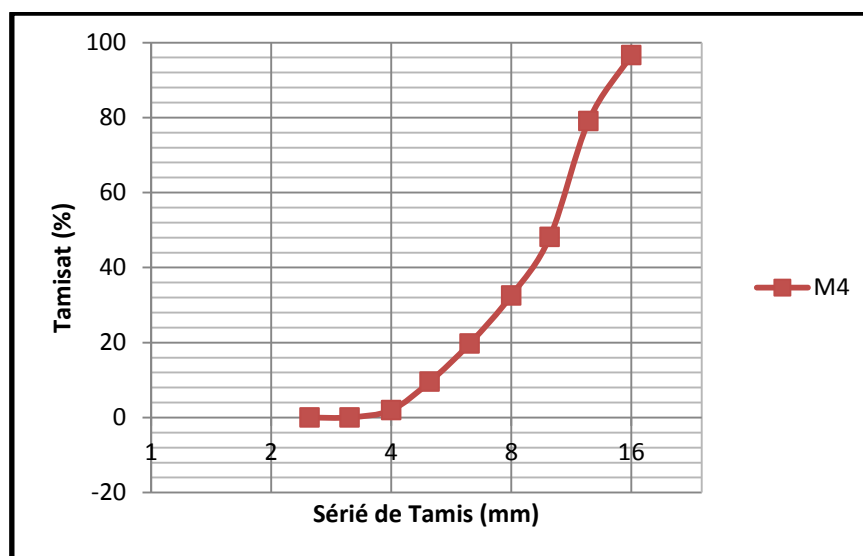


Fig. III.9 Courbe Analyse granulométrique du mélange M_4

e) Mélange M_5 (30 % Plaquette, 28% GR3/8, 42% GR 8/16) : (M_5)

1. Masses volumiques absolues :

Mélange	Essai	M_1 (g)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	ρ_{abs} moy (g/ml)
M_5	1	300	300	418	2.54	2.55
	2			417	2.56	
	3			417	2.56	

Tableau III.38 : Masse volumiques absolue du mélange M_5

2. Masse volumique apparente :

A l'état lâche

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} moy (g/ml)
M_5 $v=0.9l$	1	114	1483	1.52	1.52
	2		1496	1.53	
	3		1481	1.52	

Tableau III.39 : Masse volumiques apparentes du mélange M_5

A l'état compacte

Mélange	Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} moy (g/ml)
M_5 $v=0.9l$	1	114	1564	1.61	1.6
	2		1565	1.61	
	3		1552	1.6	

Tableau III.40 : Masse volumiques apparentes du mélange M_5

3. Porosités (P) :

Mélange	$P_{Làche}(\%)$	$P_{Compacte}(\%)$
M_5	40.39	37.26

4. Compacité (C) :

Mélange	$C_{Làche}(\%)$	$C_{Compacte}(\%)$
M_5	59.61	62.74

5. Indice des vides (I) :

Mélange	$I_{Làche}$	$I_{Compacte}$
M_5	0.68	0.59

6. Degré d'absorption d'eau(A) :

Mélange	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}(\%)$
M_5	01	300	301	0.33	0.44
	02	300	301	0.33	
	03	300	302	0.67	

Tableau III.41 : Degré d'absorption d'eau du mélange M_5

7. Analyse granulométrique :

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	45	45	3	97
12.5	309	354	23.6	76.4
10	483	837	55.8	44.2
8	220	1057	70.47	29.53
6.3	195	1252	83.47	16.53
5	134	1386	92.4	7.6
4	87	1473	98.2	1.8
3.15	27	1500	100	0.0
2.5	0.0	1500	100	0.0
fond	0.0	1500	100	0.0

Tableau III.42: analyse granulométrique du mélange M_5

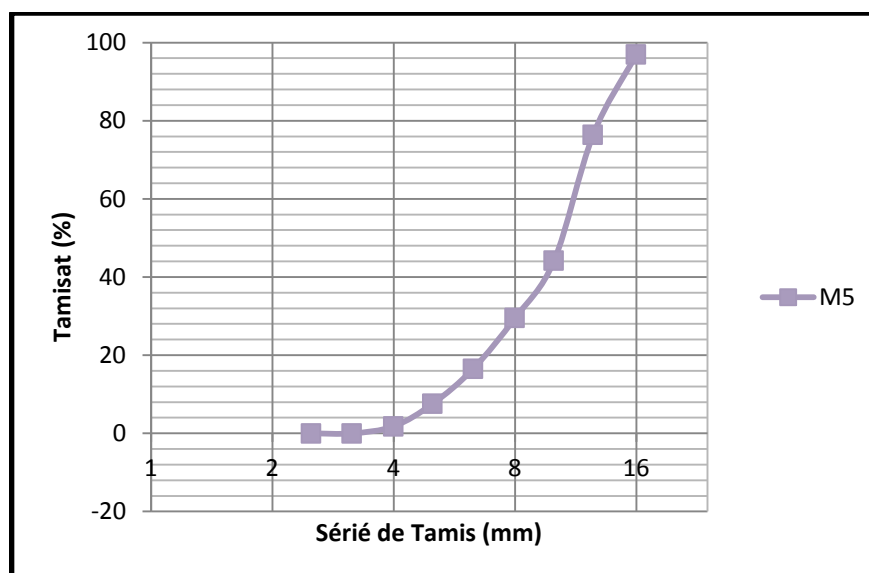


Fig. III .10 Courbe Analyse granulométrique du mélange M₅

III.5 Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. Le ciment provient de l'usine (Hammam Dhalàa).

Le produit a comme Identification CPJ-CEM II/A 42,5 et il a les caractéristiques suivantes :

III.5.1 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant:

		<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
Masse volumique absolue		g/cm ³	3,1
Consistance normale		%	26 – 28
La finesse (Blaine)		cm ³ /g	4000 – 4200
Le Chate lier	A froid	mm	00
	A chaud		2
Temps de prise	Début	Heur : min	2 : 30
	Fin		3 : 30
Résistance à la compression	2 jours	MPa	18
	7 jours		32
	28 jours		Plus de 42.5

Tableau III.43 : Caractéristiques du CPJ

III.5.2 Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé :

L'analyse chimique et minéralogique du CPJ est établie au laboratoire de l'ACC. Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

ELEMENT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CAO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O
Teneur (%)	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

Eléments	C3S	C2S	C3A	C4AF
	3CaOSiO ₂	2CaOSiO ₂	3CaAl ₂ O ₃	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Teneur %	59	14	6	10

Tableau III.44: Caractéristiques chimiques du CPJ

III.6 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

III.6.1 Caractéristique chimique de l'eau utilisée :

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie civil est établie en **10/05/05**, à laboratoire de département de chimie (M'sila).

Elle est donnée par le (**Tableau III.45**).

La mesure	Teneur en (mg / l)
Le temps de prise d'échantillon	10/10/05 (9.25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore cl ⁻	234.3
Sulfate So ₄ ⁻	351.60
Magnesium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
rééligibilité d'oxydation en eau	1024

Tableau III.45 : Caractéristiques Chimique D'eau

III.7 Calcul de la proportion des constituants

III.7.1 Formulation du béton Méthodes de Dreux Gorisse

*Application numérique

1. Détermination du dosage en ciment par m³ de béton :

$$R_b = GR_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad (III.20)$$

G : Coefficient granulaire donné par le (Tableau III.46), en fonction de la qualité et de la dimension maximale (D max) du gravier.

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	Fins D 16	moyens 25 D 40	gros D 63
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
passable	0.35	0.40	0.45

Tableau III.46 Valeurs de G coefficient granulaire

D = 16mm → G = 0.45

R_c: Classe vraie du ciment à 28 jours (46 MPA)

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{G * R_c} + 0.5 = \frac{28.75}{0.45 * 46} + 0.5$$

$$\frac{C}{E} = 1.89$$

Connaissant le rapport C \ E la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque (Figure III .11).

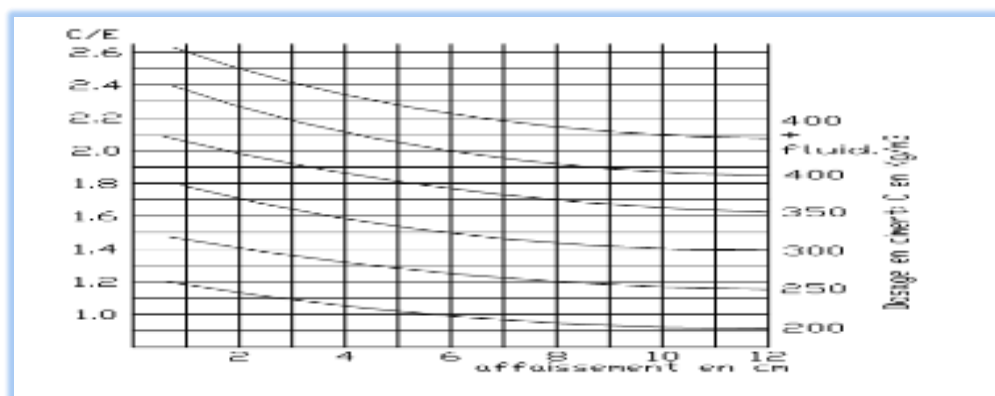


Fig. III .11 Dosage en ciment

$$A_f = 7cm$$

→ l'abaque donne la valeur du dosage en ciment : **C = 383Kg** (voir fig III .10)

$$\frac{C}{E} = 1.89$$

2. Détermination du dosage en eau :

$$\frac{C}{E} = 1.89$$

→ On en déduit la valeur de E qui est : **E = 202.64Kg**

$$C = 383Kg$$

3. Tracé de la courbe granulair de référence :

Composition granulair de référence **OAB** avec :

Le point **O** est repéré par ses coordonnées [0.08 ; 0]

Le point **B** est repéré par ses coordonnées [D ; 100] (D : le diamètre du plus gros granula
D = 16).

Le point de brisure **A** a les coordonnées suivantes :

$$D = 16 < 20mm: X_A = D/2 = 8$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K \rightarrow Y_A = 44$$

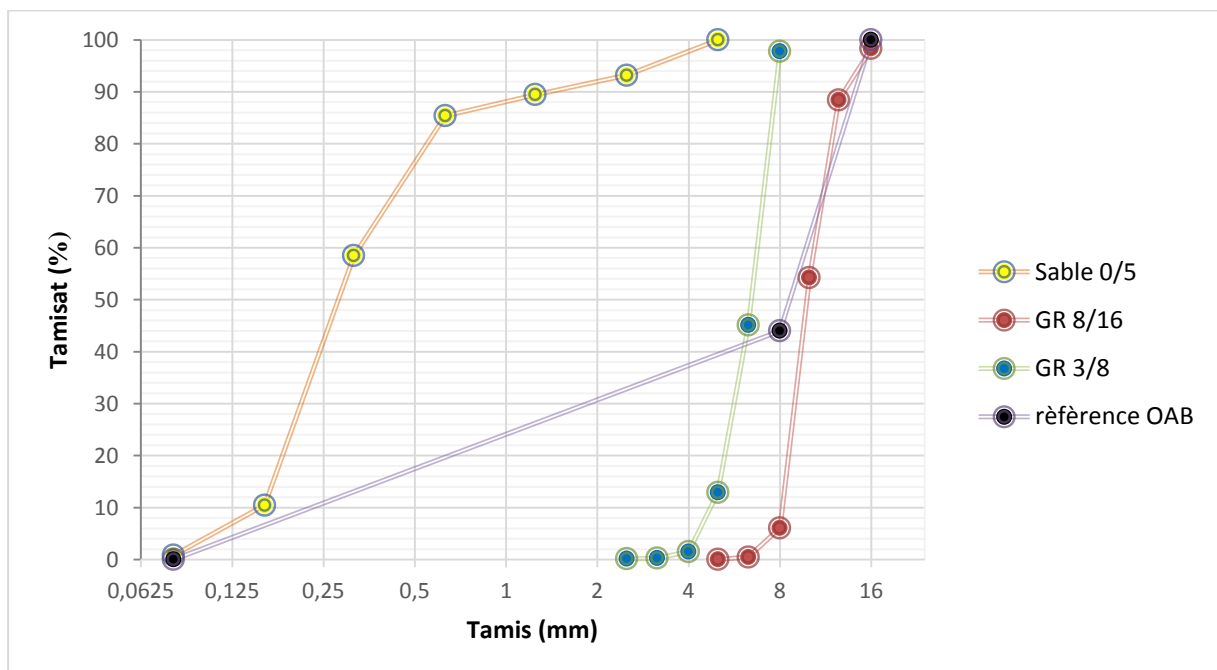


Fig. III.12 Courbe Granulométrique (Sable, GR3/8, GR8/16)

Les pourcentages des granulats suivants :

- Sable 0/5 : 37%
- Gravier 3/8 : 7%
- Gravier 8/16 : 56%

4. Coefficient de compacité :

$$V_M = V_s + V_G + V_c \quad (III.21)$$

$$V = 1000\gamma - c \quad (III.22)$$

5. Dosage des granulats :

Volume absolu du ciment :

$$c = \frac{C}{\rho_c} \quad (III.23)$$

$$c = \frac{383}{3.1} = 123.55 \text{ L}$$

Volume absolu du granulats (l'ensemble) :

$$V_G = 1000 * 0.820 - 123.55 = 696.45 \text{ l}$$

- Volume absolu du Sable :

$$V_S = \frac{V_G * 37}{100} = 257.68 \text{ l}$$

- Volume absolu du Gravier 3/8 :

$$V_{G3/8} = 48.75 \text{ l}$$

- Volume absolu du Gravier 8/16 :

$$V_{G8/16} = 390.012 \text{ l}$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m^3 de béton sont donnés par :

- Masse de Sable :

$$M_S = V_S * \gamma_S = 669.968 \text{ Kg}$$

- Masse de Gravier 3/8 :

$$M_{G3/8} = V_{G3/8} * \gamma_{G3/8} = 126.75 \text{ kg}$$

- Masse de Gravier 8/16 :

$$M_{G8/16} = V_{G8/16} * \gamma_{G8/16} = 1014.03 \text{ kg}$$

Pour préparer $1m^3$ de béton, il faudra donc les masses suivants :

Constituants	Masse (kg)
Sable 0/5	669.968
Gravier 3/8	126.75
Gravier 8/16	1014.03
Ciment CPJ-CEMII/A 42,5	383
Eau (E)	202.64

III.7.2 Formulation des différents mélanges testés : Pour préparer $1m^3$

Combinaison 1

Mélange	Plaquette%	$G_{3/8}$ %	$G_{8/16}$ %	Constituants	Masse (kg)
B_1	0	40	60	Sable	669.968
				$G_{3/8}$	456.31
				$G_{8/16}$	684.47
				Ciment	383
				G Plaquette	0
				Eau	202.5

Tableau III.47 : Formulation de B1

Combinaison 2

Mélange	Plaquette%	$G_{3/8}$ %	$G_{8/16}$ %	Constituants	Masse (kg)
B_2	10	36	54	Sable	669.72
				$G_{3/8}$	410.68
				$G_{8/16}$	616.02
				Ciment	383
				G Plaquette	114.078
				Eau	202.5

Tableau III.48 : Formulation de B2

Combinaison 3

Mélange	Plaquette%	G _{3/8} %	G _{8/16} %	Constituants	Masse (kg)
B₃	15	34	51	Sable	669.72
				G _{3/8}	387.865
				G _{8/16}	581.797
				Ciment	383
				G Plaquette	171.117
				Eau	202.5

Tableau III.49 : Formulation de B3

Combinaison 4

Mélange	Plaquette%	G _{3/8} %	G _{8/16} %	Constituants	Masse (kg)
B₄	20	32	48	Sable	669.968
				G _{3/8}	365.05
				G _{8/16}	547.574
				Ciment	383
				G Plaquette	228.156
				Eau	202.5

Tableau III.50 : Formulation de B4

Combinaison 5

Mélange	Plaquette%	G _{3/8} %	G _{8/16} %	Constituants	Masse (kg)
B₅	30	28	42	Sable	669.968
				G _{3/8}	319.42
				G _{8/16}	479.13
				Ciment	383
				G Plaquette	342.23
				Eau	202.5

Tableau III.51 : Formulation de B5

Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1 \times 9) + (0.07 \times 0.07 \times 0.28 \times 3)] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3$$

III.8 Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci :

III.8.1 Affaissement au cône d'Abrams :

a) Principe de l'essai :

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. Ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

b) Appareillage :

- Moule pour former l'éprouvette : en métal non directement attaquant par la pâte de ciment, d'une épaisseur minimale de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

- diamètre de la base : (200 ± 2) mm;
- diamètre du haut : (100 ± 2) mm;
- hauteur : (300 ± 2) mm;

Le moule doit être muni, à sa partie supérieure, de deux poignées et, à sa partie inférieure, de pattes de fixation ou d'appui, afin de l'immobiliser.

- Tige de piquage : de section circulaire, rectiligne, en acier, de (16 ± 1) mm de diamètre, et de (600 ± 5) mm de longueur, dont les extrémités sont arrondies.
- Entonnoir (facultatif) : en matériau non absorbant et non directement attaquant par la pâte de ciment, ayant un dispositif permettant à l'entonnoir d'être placé correctement sur le moule spécifié ci-dessus.
- Règle : graduée de 0 mm à 300 mm, avec des graduations de 5 mm, le zéro étant situé à une extrémité de la règle.
- Surface ou plateau de base : plateau ou autre surface, rigide, plat, non absorbant, sur lequel le moule sera posé.
- Récipient de ré-homogénéisation : plateau plat de structure rigide, en matériau non absorbant et non directement attaquant par la pâte de ciment. Ses dimensions doivent être appropriées de sorte que le béton puisse être facilement regâché, à l'aide de la pelle carrée.
- Pelle carrée : La pelle de forme carrée est nécessaire pour assurer un mélange correct du matériau sur le récipient de ré-homogénéisation. Minuterie ou horloge : capable de mesurer le temps à 1 seconde près.

c) Mode opératoire :

- Humidifier le moule et le plateau de base, puis placer le moule sur le plateau.
- Maintenir fermement le moule en place pendant le remplissage, en le solidarissant par les deux pattes de fixation.
- Remplir le moule en trois couches, chacune correspondant approximativement, après serrage, au tiers de la hauteur du moule. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage. Répartir les coups uniformément sur la section de chaque couche. Pour la couche inférieure, il est nécessaire d'incliner légèrement la tige et de donner approximativement la moitié des piquages avec des coups en spirale jusqu'au centre. Piquer la deuxième couche et la couche supérieure, chacune sur toute son épaisseur, de sorte que la tige pénètre légèrement dans la couche sous-jacente. Lors du remplissage et du compactage de la couche supérieure, mettre un excès de béton au-dessus du moule avant de commencer le piquage. Si lors du piquage de la couche supérieure apparaît un manque de béton au-dessous du bord supérieur du moule. Ajouter du béton pour avoir toujours un excès. Après avoir piqué correctement la couche supérieure, aplanir le béton suivant le bord supérieur du moule en effectuant un mouvement de sciage et de roulage à l'aide de la tige de piquage.
- Enlever le béton qui s'est écoulé sur le plateau de base. Démouler le béton en soulevant verticalement le moule avec précaution.
- Immédiatement après avoir retiré le moule, mesurer l'affaissement (h) en déterminant la différence entre la hauteur du moule et le point le plus haut du corps d'éprouve affaissé.

III.8.2 Résistance à la compression :

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubique normalisée et d'élanement 2 (10*10*10 cm; norme NFP18-406, NA427) .La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 1500 kN conforme à la norme NF P 18-412 (NA 2832).

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacées pendant 24 heures. Après démoulage, Des éprouvettes 10x10x10 cm³ sont conservées dans l'eau à une température de 20 à 23°C jusqu'à 28 jours. Des essais d'écrasement ont été réalisés aux âges (7, 14, 28) par jours La résistance est calculée selon la formule :

$$f_c = \frac{F}{AC} \quad (III.24)$$

f_c : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés).

F : charge maximale, exprimée en Newtons.

AC; l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à MPa (N/mm^2) près.



*Fig. III.13 Les moules 10*10*10 cm*



fig. III.14 Machine d'essai de compression

III.8.3 Résistance à la traction par flexion

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée. [15] Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-407 (NA 428), munie d'un banc de flexion à 4 points.

Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est : $M = P \times a / 2$ et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_t = 6M / a^3$ où on trouve la relation finale permet de calculer la résistance :

$$f_t = 1.8P / a^2 \quad (III.25)$$



Fig. III.15 Essai de traction par flexion *Fig. III.16 Machine d'essai de traction par flexion*



Fig. III.17 Eprouvettes coulées



Fig. III.18 Eprouvette 7x7x28 cm

III.9 Conclusion:

Dans ce chapitre, les différentes caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des composants ont été établies. Les courbes granulométriques de toutes les classes granulaires sont présentées. Il était important de définir la partie normative à laquelle doivent répondre les différents mélanges. La méthode de formulation a été développée et le calcul de la proportion des constituants a été fait. Nous avons fixé quelques paramètres comme le rapport eau – ciment, le rapport granulat– sable. L'essai au cône d'Abrams nous a permis de déterminer la consistance des bétons étudiés. Les essais à la compression et à la traction par flexion sont décrits. Ils seront utilisés pour obtenir les valeurs des résistances à la compression et à la traction de tous les mélanges.



Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction

Les résultats des essais vont nous permettre de générer un ensemble de données qui vont servir à valider le choix des classes granulaires spécifiques. Pour cela, la formulation de plusieurs mélanges de béton a été élaborée. L'étude c'est faite sur les caractéristiques des granulats, des classes granulaires, du pourcentage de plaquettes et aiguilles dans nos graviers et des bétons.

IV.2 Résultats des essais effectués sur granulats

IV.2.1 La masse volumique et porosité des différent mélanges

Mélanges	M1	M2	M3	M4	M5
Pourcentage de plaquettes et d'aiguilles (%)	0	10	15	20	30
GR _{3/8} (%)	40	36	34	32	28
GR _{8/16} (%)	60	54	51	48	42
Masse volumique apparente (kg/cm ³)	1.62	1.63	1.62	1.6	1.6
Porosité (%)	36.47	36.33	36.84	37.74	37.25

Tableau IV.1 masse volumique apparent et porosité des différentes mélanges Sur granulat

Avec ces mélanges optimums qui ont donné une masse volumique apparente maximale (Porosité minimale), nous avons confectionné nos bétons.

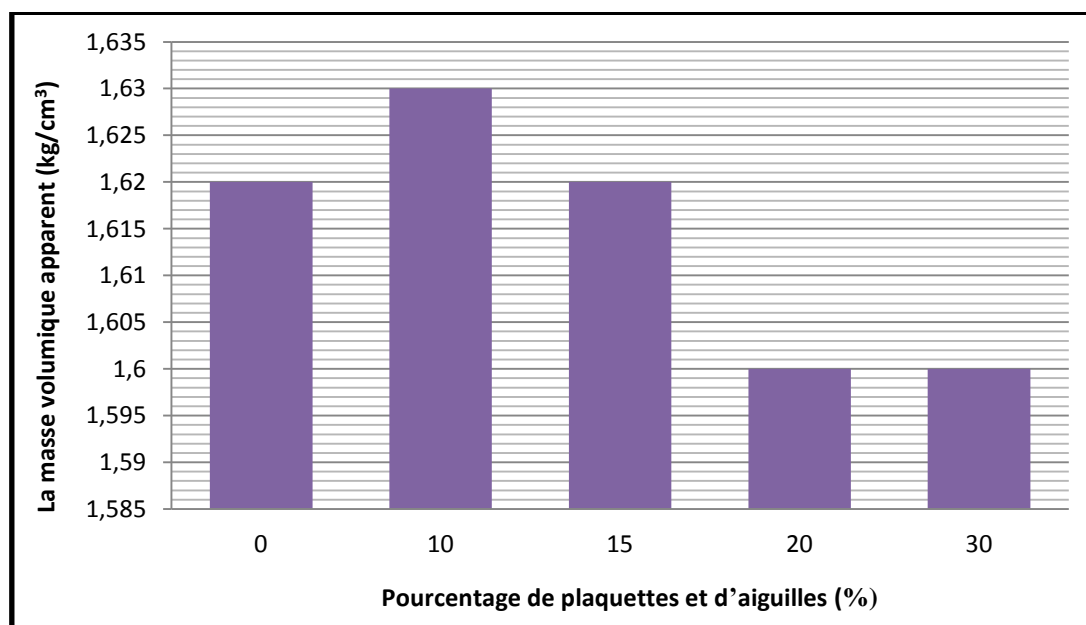


Fig. IV.1 La Masse volumique apparent en fonction de pourcentage de plaquettes et d'aiguilles

Le mélange M₂ (36% GR_{3/8}, 54%GR_{8/16}, 10% plaquettes et d'aiguilles) donne la meilleure masse volumique apparent.

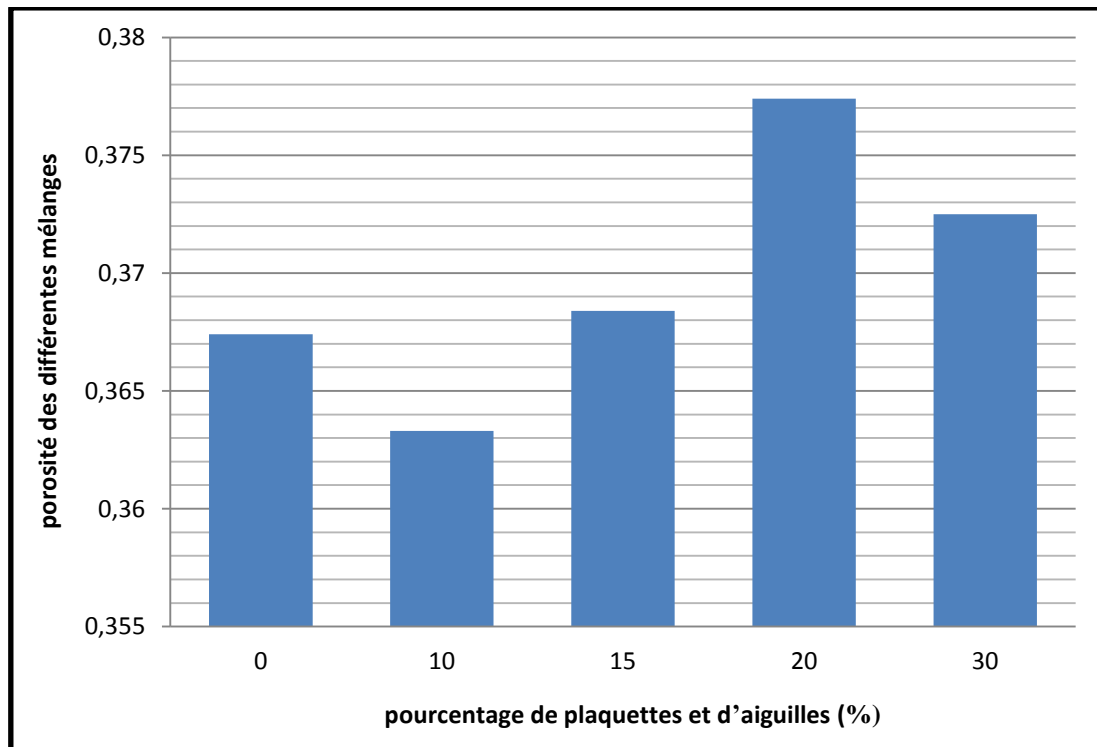


Fig. IV.2 Porosité en fonction de pourcentage de plaquettes et d'aiguilles

Même remarque pour la porosité c à d : le mélange M₂ (36% GR_{3/8}, 54%GR_{8/16}, 10% plaquettes et d'aiguilles) donne une porosité minimale.

IV.3 Les résultats des essais effectués sur bétons

IV.3.1 Rapport E/C en fonction du pourcentage de plaquettes et d'aiguilles

Béton	E/C	Plaquettes et D'aiguilles (%)
B ₁	0.513	0
B ₂	0.505	10
B ₃	0.503	15
B ₄	0.503	20
B ₅	0.502	30

Tableau IV.2 Rapport E/C et pourcentage de plaquettes et d'aiguilles

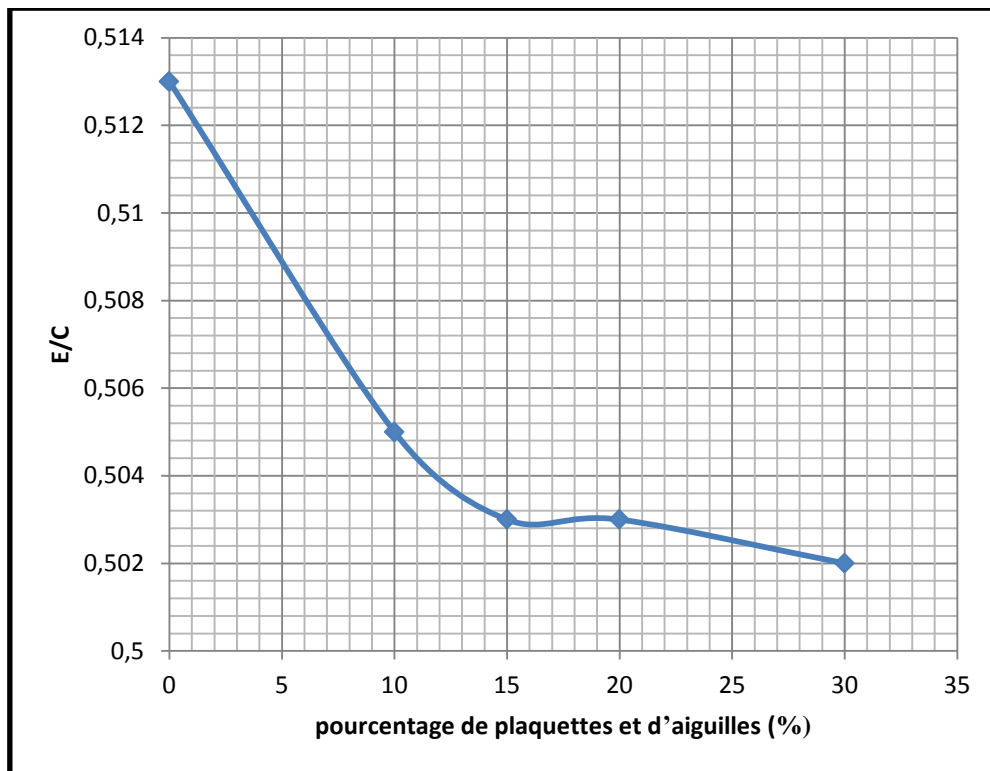


Fig. IV.3 Rapport E/C en fonction de pourcentage de plaquettes et d'aiguilles

Ou remarque une diminution du rapport E/C par rapport au béton témoin B₁ (0% plaquettes et d'aiguilles, 40% GR_{3/8}, 60% GR_{8/16}), le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% GR_{3/8}, 42% GR_{8/16}) donne la meilleure valeur de E/C (E/C=0.502).

IV.3.2 Essais sur béton frais

Avec ces mélanges optimums qui ont donné une masse volumique apparente maximale (porosité minimale), nous avons confectionné nos bétons et on à mesuré les différents masses volumiques à l'état frais.

IV .3.2.1 Masses volumiques des différents mélanges de béton : (éprouvette cubiques 10*10*10) Cm.

Béton	plaquettes et d'aiguilles %	G _{3/8} %	G _{8/16} %	Masse volumique (kg/cm ³)
B ₁	0	40	60	2.467
B ₂	10	36	54	2.448
B ₃	15	34	51	2.437
B ₄	20	32	48	2.441
B ₅	30	28	42	2.483

Tableau IV.3 : les résultats des mesures de la masse volumique à l'état frais des bétons

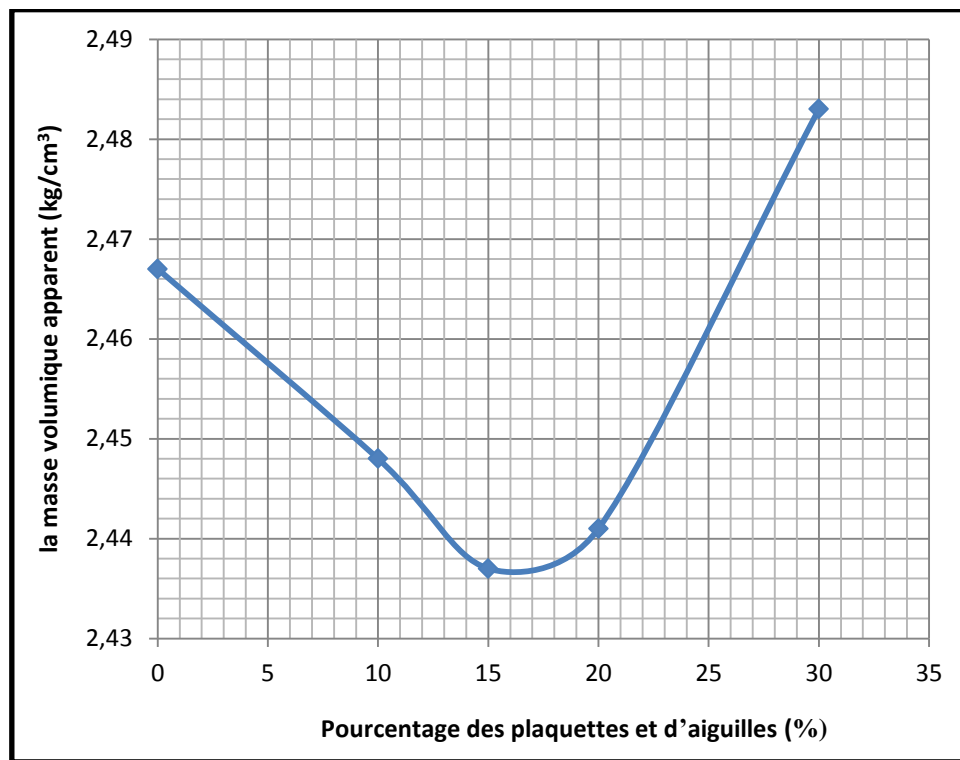


Fig. IV.4 Masse volumique en fonction de pourcentage de plaquette et d'aiguilles des bétons frais

On constate d'après les résultats de la masse volumique des mélanges, que le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% GR_{3/8}, 42% GR_{8/16}), le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% GR_{3/8}, 51% GR_{8/16}), donne la plus petite masse volumique.

IV.3.2.2 Affaissement

Pour une consistance normale. Entre 6 et 7 cm au cône d'Abrams, nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :

Béton	Plaquettes et d'aiguilles (%)	Affaissement	Réduction d'eau (g)
B ₁	0	7	100
B ₂	10	6.5	150
B ₃	15	7	160
B ₄	20	7	158
B ₅	30	6	170

Tableau IV.4 Affaissement et réduction d'Eau

On remarque ici que l'affaissement est prise presque constant entre 6 et 7cm, mais la réduction d'eau est contabilisé.

IV.3.3 Essais sur bétons durcis

IV.3.3.1 Masses volumiques des différents mélanges de béton :

Béton	Plaquettes et d'aiguilles (%)	$G_{3/8}$ (%)	$G_{8/16}$ (%)	Masse volumique (kg/m^3)		
				7Jours	14Jours	28Jours
B ₁	0	40	60	2.407	2.408	2.409
B ₂	10	36	54	2.401	2.403	2.404
B ₃	15	34	51	2.387	2.389	2.390
B ₄	20	32	48	2.396	2.398	2.400
B ₅	30	28	42	2.418	2.420	2.422

Tableau IV.5: les résultats des mesures de la masse volumique des bétons à l'état durci (7, 14,28jours)

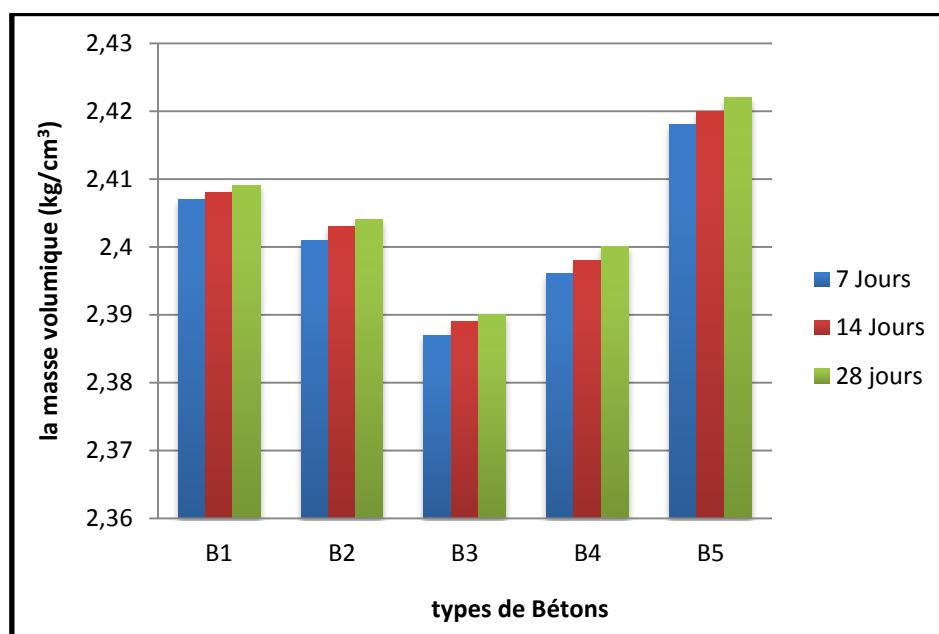


Fig. IV.5 Masse volumique des bétons à l'état durci (7, 14,28jours)

Le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% GR_{3/8}, 42% GR_{8/16}) donne la meilleure masse volumique à l'état durci pour différents âges.

Les résultats trouvés sont meilleurs que celle pour le béton témoin B₁ (0% plaquettes et d'aiguilles, 40% GR_{3/8}, 60% GR_{8/16}).

Le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% GR_{3/8}, 51% GR_{8/16}) donne la plus mauvaise valeur de la masse volumique.

IV.3.3.2 Résistance à la compression 28 jour en fonction du rapport E/C

Béton	E/C	Résistance à la compression 28 jour (MPa)
B ₁	0.513	30.06
B ₂	0.505	29.47
B ₃	0.503	27.2
B ₄	0.503	28.12
B ₅	0.502	33.88

Tableau IV.6 rapport E/C et Résistance à la compression 28 jour

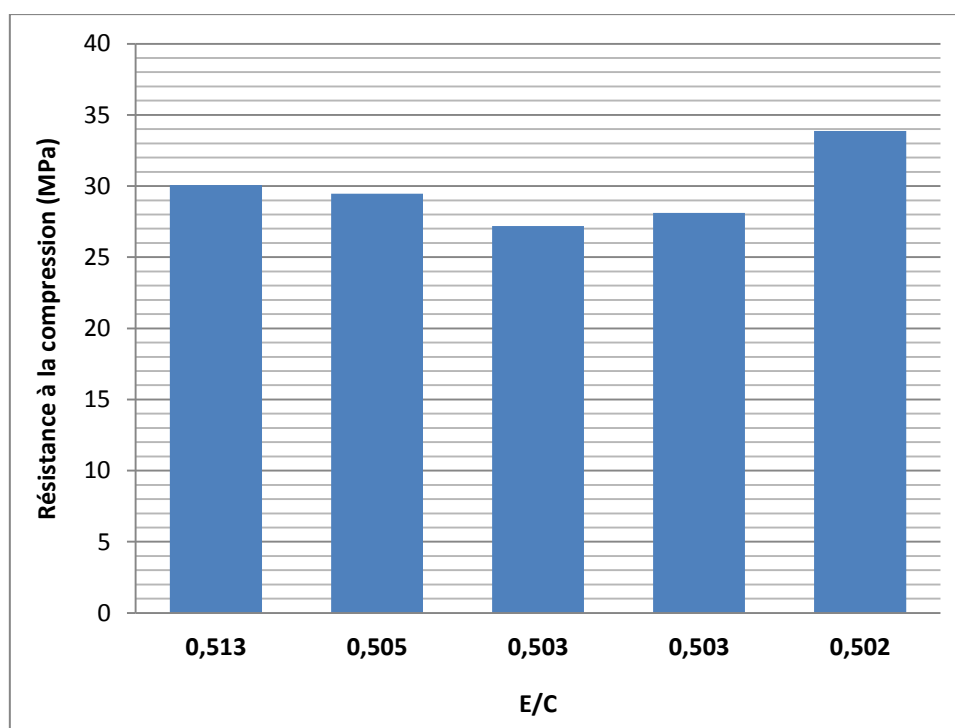


Fig. IV.6 Résistance à la compression 28 jours en fonction de rapport E/C

Le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% GR_{3/8}, 42% GR_{8/16}) donne la meilleure résistance à la compression ($R_{c28} = 33.88\text{MPa}$) et meilleure valeur de E/C ($E/C=0.502$).

IV.3.3.3 Résistance à la compression à 7j ; 14j et 28 jours

Béton	Plaquette%	$G_{3/8}$ %	$G_{8/16}$ %	Résistances à la compression (MPa)		
				7 jours	14 jours	28 jours
B ₁	0	40	60	25.45	27.16	30.06
B ₂	10	36	54	24.44	26.056	29.47
B ₃	15	34	51	22.48	23.93	27.2
B ₄	20	32	48	22.55	23.99	28.12
B ₅	30	28	42	22.57	25.67	33.88

Tableau IV.7 : Résistances à la compression

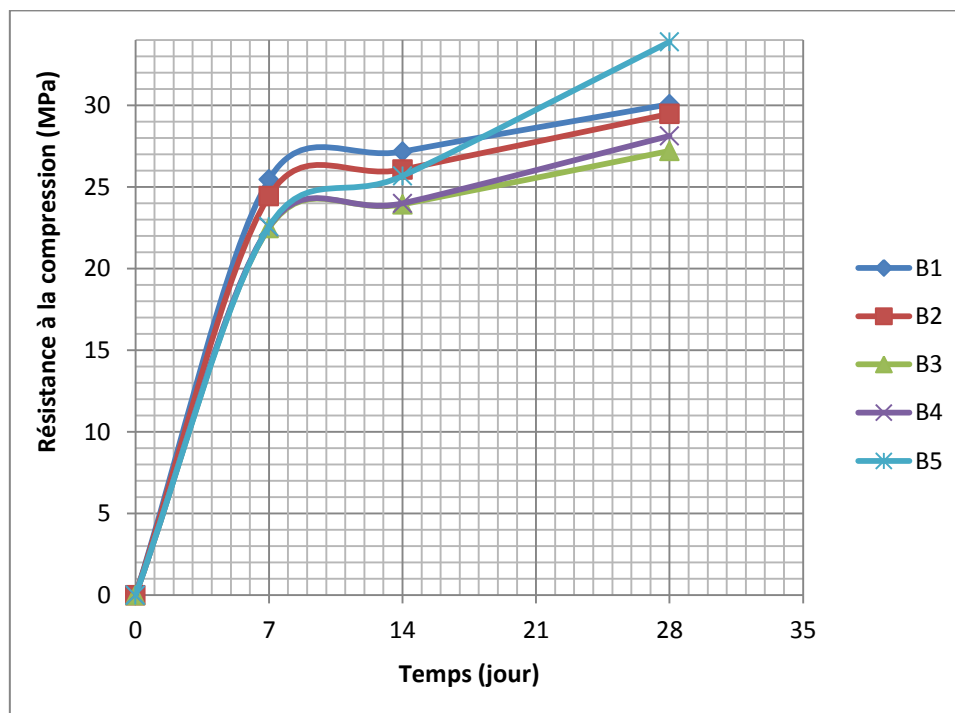


Fig. IV.7 courbe de la résistance à la compression en fonction du temps

La résistance augmente avec le temps le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% $GR_{3/8}$, 42% $GR_{8/16}$) donne la meilleure résistance à la compression ($R_c = 33.88$ MPa).

Le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% $GR_{3/8}$, 51% $GR_{8/16}$) donne la plus faible résistance à la compression.

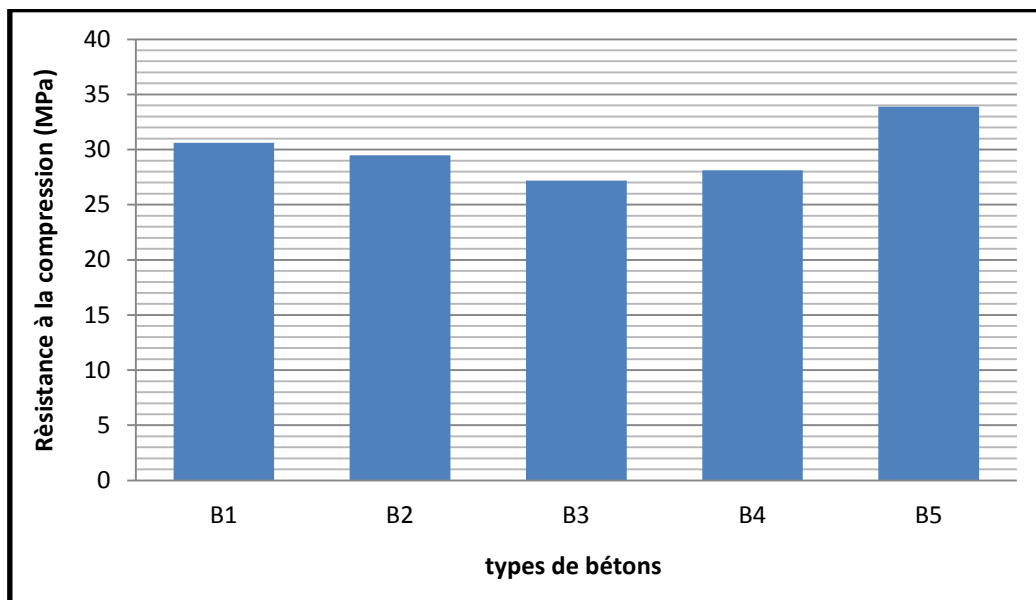


Fig. IV.8 Résistance à la compression à 28 jours en fonction de mélange de béton

IV.3.3.4 La résistance de béton à la traction par flexion :

Les résistances moyennes à la traction par flexion des bétons sont données sur le tableau.

Nous avons utilisé des éprouvettes prismatiques (7*7*28), et nous avons mesuré la résistance à la traction par flexion à 28 jours.

Nous avons utilisé la formule suivante, pour le calcul de la résistance après avoir mesurer l'effort (p) :

$$f_{tj} = 1.8P / a^2.$$



Fig. IV.9 Dispositif d'essai de traction par flexion

Béton	Pourcentage de plaquettes et d'aiguilles (%)	Résistance à la traction (KN) 28jour	Résistance à la traction par flexion (MPa)
B ₁	0	5.23	1.92
B ₂	10	4.5	1.65
B ₃	15	4.33	1.59
B ₄	20	4.65	1.71
B ₅	30	4.73	1.74

Tableau IV.8 : La résistance de béton à la traction par flexion

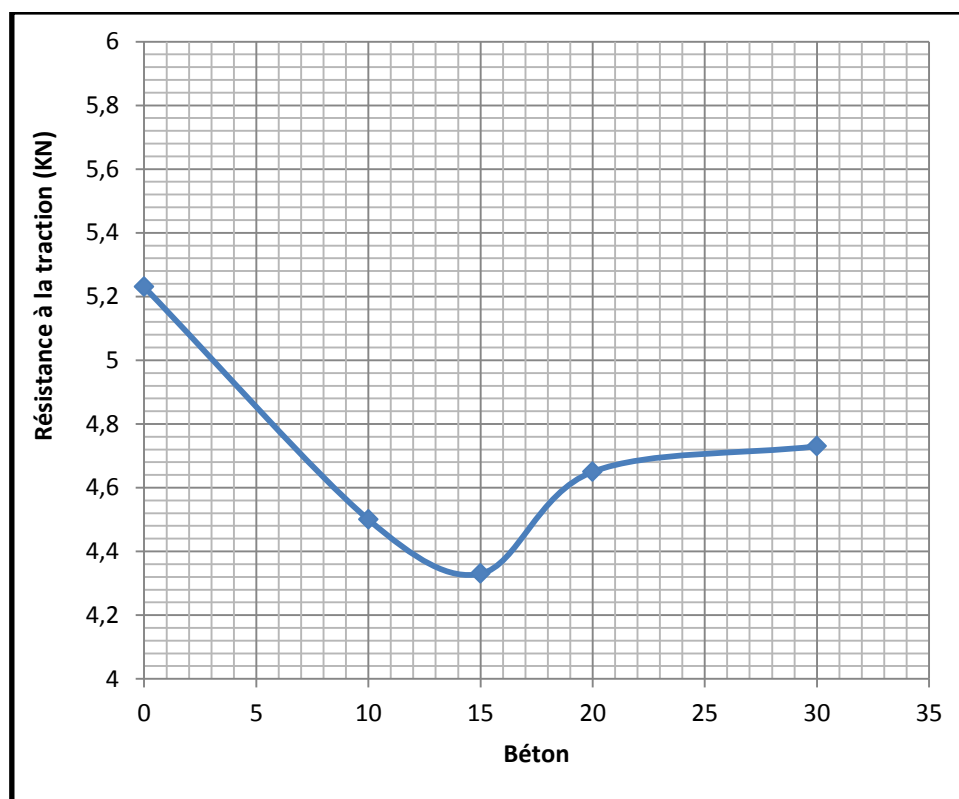


Fig. IV.10 La résistance de béton à la traction en fonction de mélange de béton

Le mélange témoin B₁ (0% plaquettes et d'aiguilles, 40% GR_{3/8}, 60% GR_{8/16}) la meilleure valeur de la résistance à la traction ($R_t = 5.23\text{MPa}$).

Le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% GR_{3/8}, 51% GR_{8/16}) donne la plus mauvaise résistance à la traction.



Chapitre V

CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE V : CONCLUSION GENERALE

Dans cette recherche nous avons travaillé sur le pourcentage de plaquette et d'aiguilles utilisées dans le béton, nous avons procédé à la caractérisation des granulats entrant dans la composition de cinq mélanges :

La méthode de formulation utilisée est celle de Dreux-Gorisse, de cette recherche on a tiré les conclusions suivantes :

1. Masses volumiques des différents mélanges de béton :

Le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% GR_{3/8}, 42% GR_{8/16}) donne la meilleure masse volumique à l'état durci pour différents âges (2.422kg/cm³).

Les résultats trouvés sont meilleurs que cette pour le béton témoin B₁ (0% plaquettes et d'aiguilles, 40% GR_{3/8}, 60% GR_{8/16}) (2.409kg/cm³).

Le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% GR_{3/8}, 51% GR_{8/16}) donne la plus mauvaise valeur de la masse volumique (2.390kg/cm³).

2. Résistance à la compression :

La résistance augment avec le temps, le mélange B₅ (30% plaquettes et d'aiguilles, 28% GR_{3/8}, 42% GR_{8/16}) donne la meilleure résistance à la compression ($R_{c28} = 33.88\text{MPa}$) et la meilleure valeur de E/C (E/C=0.502).

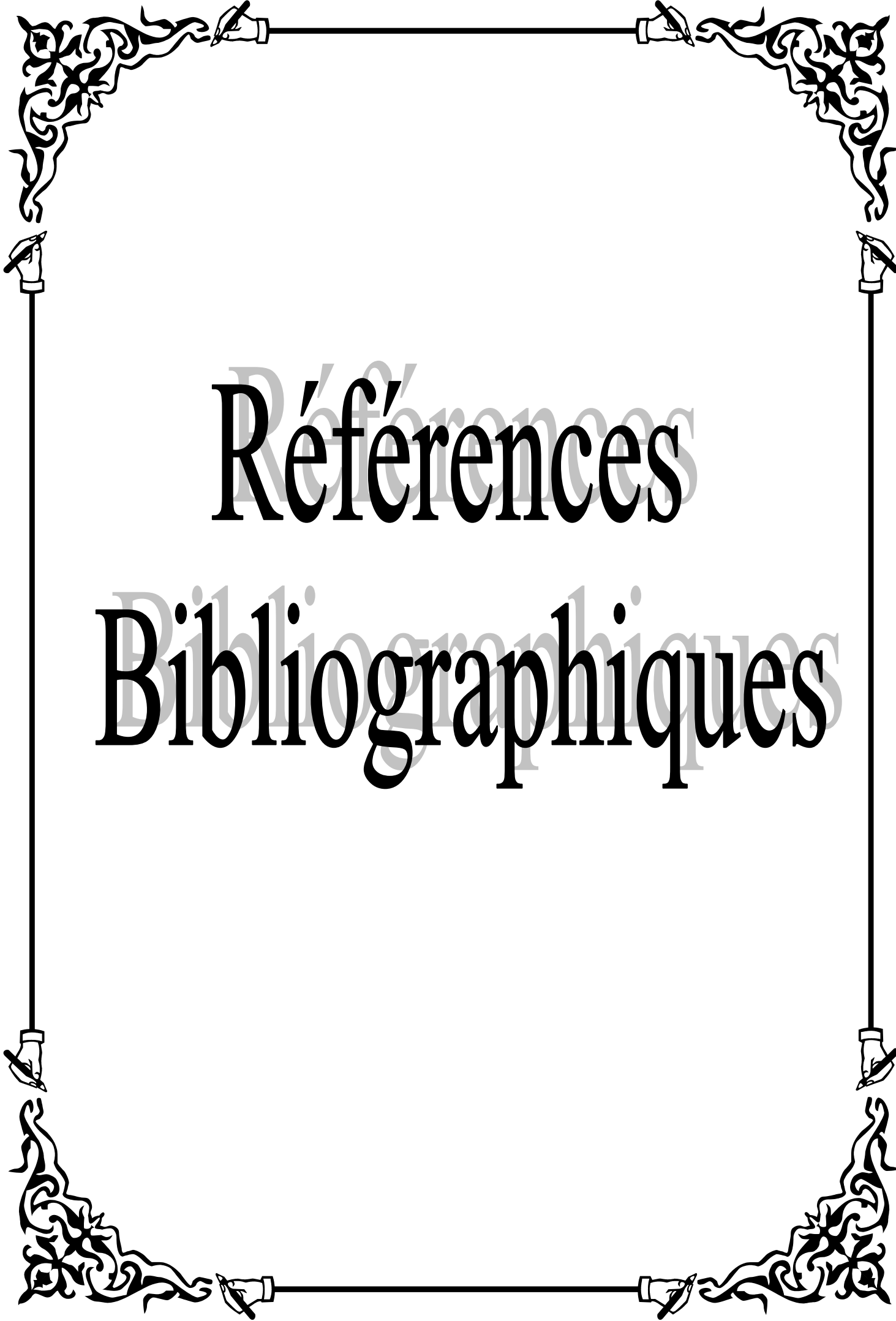
Le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% GR_{3/8}, 51% GR_{8/16}) donne la plus faible résistance à la compression ($R_{c28} = 27.2\text{MPa}$).

3. La résistance à la traction :

Le mélange témoin B₁ (0% plaquettes et d'aiguilles, 40% GR_{3/8}, 60% GR_{8/16}) donne la meilleure valeur de la résistance à la traction ($R_t = 5.23\text{MPa}$).

Le mélange B₃ (15% plaquettes et d'aiguilles, 34% GR_{3/8}, 51% GR_{8/16}) donne la plus mauvaise résistance à la traction ($R_t = 4.33\text{MPa}$).

Un taux important de plaquettes et d'aiguille influe négativement sur les qualités d'un béton, la forme lisse et aplati des plaquettes dans le gravier roulé facilité le réarrangement de ces plaquettes les unes sur les autres, ce qui améliore la résistance à la compression, par contre la résistance à la traction diminue avec l'augmentation du pourcentage de plaquettes a cause de la faible adhérence avec la pate de ciment (surface lisse).



Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] **Peter Gössel et Gabriele Leuthäuser** : L'architecture du xx^e siècle, Taschen, Köln, 1991.
- [2] **Françoise Choay, L'urbanisme, utopies et réalités** : Une anthologie, Paris, Éditions du Seuil, 1979. 104p.
- [3] **Barjot, Dominique et Marie-Pierre** : Histoire économique de la France au XIX^e siècle. Paris, Nathan, 1995. 352 p.
- [4] **Cyrille Simonnet** : « Le béton armé : origine, invention, esthétique ». Thèse de doctorat Paris, EHESS, 1994.
- [5] **Dennis Sharp** : Histoire visuelle de l'architecture du xx^e siècle, Mardaga, Liège, 1972.
- [6] **BERBAOUI.R**: « Identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires a base polymère. » Soutenue le 21 janvier 2010 à l'université de Cergy Pontoise. Spécialité génie mécanique.
- [7] Les fiches techniques, TOME II, ont été réalisées par les experts de **CIMBETON**. Elles ont pour titre : « les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre ».
- [8] **(F DE LARRARD)** "concrète mixture-proportioning-A scientific Approach"
Londres 1999.
- [9] **B.B.AHMED** mémoire de magister influence du granulat (classe granulaire .4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE **2011**.
- [10] **A.A.MOHAMED**. étude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes : Université KASDI MERBAH de Ouargla **2011**.
- [11] <http://www.estigc.fr/labo/beton/dreuxgranulats.htm>
- [12] **ABDELKADIR MAKANI** Influence de la nature minéralogique des granulats sur le comportement mécanique différé des bétons UNIVERSITE TOULOUSE **LE11 JUILLET 2011**.
- [13] **Powers t.c properties of fresh concrete**, « **J. Wiley 1969**».
- [14] Centre de documentation .institut algérien de normalisation date : **2006**.
- [15] **Baron .J et Sauterey. R** : Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses, 1982.
- [16] **Chanvillard. G et La plante .P** : Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication : Les bétons bases et données pour leur formulation, 1997.

- [17] **Aitcin .P.C et Baron .J** : Bétons haute performance, Ed. Eyrolles, 1996.
- [18] **CIM béton** : Le ciment est ses applications, fiches technique ,2000 .
- [19] **Bresson .J** : Prévision des résistances, paris, Tech batim. Trav .public, 1980, 387p.
- [20] **Cormon .P** : Bétons légers d'aujourd'hui, Ed .Eyrolles au radiateur .Editions du BRGM 1973.
- [21] **Dreux et Festa. J** : Nouveaux guide du béton et de ces constituants, Ed. Eyrolles ,1998 278p.
- [22] **Dupain .R et Lanchon .R** : Granulats, sols, ciment et bétons paris : Ed Educalivre, 276p.
- [23] **P. KUMAR MEHTA AND PAULO J. M.MONTEIRO**. Concrete: structure, properties, and materials. McGraw-hill Professional, **NEW YORK, 2005**.
- [24] « **J. Baron, R. Lesage** » Rapport de recherche LPC N° 64, la composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier, édition **Décembre 1976**.
- [25] **Dreux.** : Nouveaux guide du béton, Ed. Eyrolles, 1979 ,120p.
- [26] **Dreux.** : Nouveaux guide du béton, Ed. Eyrolle, 1979, 121p.
- [27] **Dreux et Festa. J** : Nouveaux guide du béton et de ces constituants, Ed. Eyrolles 1998,125p.
- [28] « **J.Festa ; G.Dreux** »Eyrols, Nouveau guide du béton et ses constituants, huitième édition, troisième tirage **2007**.

Résumé

L'amélioration de la qualité du béton est le but de tout chercheur dans le domaine de génie civil, ainsi la recherche de bons matériaux et de bonne combinaison de ces matériaux conduit a un béton performant.

Le but de notre recherche est l'étude de l'influence du taux de plaquettes et d'aiguilles qui compose les gros granulats sur les propriétés rhéologiques du béton frais et les caractéristiques mécanique du béton durcis.

Dans notre travail on à étudier 5 combinaisons avec différent mélanges et différent pourcentages des plaquettes et d'aiguilles utilisés afin de trouver le ou les mélanges optimums qui donnent les meilleures résistances mécaniques.

✓ **Mots clés :** Béton, gravier roulé, plaquette, d'aiguille, résistance mécanique.

ملخص

تحسين نوعية الخرسانة هو هدف كل الباحثين في مجال الهندسة المدنية، وكذلك البحث عن نوعية جيدة للمواد المستعملة وتركيبية تعطي خرسانة ذات جودة.

الهدف من دراستنا هو دراسة إمكانية إستغلال الحجارة الناتجة عن غربلة الرمل المخصص للبناء، وإستخراج حصيات مختلفة القياسات 3/8 و 8/16 مع تنقيتها من الحبيبات الموجودة على الشكل المسطح والإبري، ثم القيام بوضع نسب مئوية مختلفة من هذه الحبيبات في عدة خلانط من الخرسانة ونقوم بدراسة خصائصها الفيزيائية وتأثيرها على نوعية الخرسانة.

في عملنا نقوم بدراسة خمس خلطات مختلفة التركيب مع نسب مئوية مختلفة من الحبيبات المسطحة والإبرية وإستخدامها للعثور على الوجه الأمثل أو الخلانط التي تعطي أفضل مقاومة ميكانيكية.

✓ **كلمات مفتاحية :**

خرسانة، حصى الرمل، حبيبات مسطحة، حبيبات إبرية، مقاومة ميكانيكية.

Abstract

Improving the quality of concrete is the purpose of all researchers in the civil engineering field, and the search for good materials and good combination of these materials leads to an efficient concrete.

The goal of our study is to examine the possibility of exploiting the stones from sifting through sand for construction, and extraction of different pebbles measurements 8/3 and 16/8 with purification of granules on walabri pancake, and then put different percentages of these granules in various mixtures of concrete, we study the physical characteristics and their impact on the quality of the concrete.

In our work we study five different mixes of installation with different percentage ratios of walabri flat granules and used to find optimal or mixtures which give the best mechanical resistance.

✓ **Keywords:**

Concrete, gravel sand, flat granules, pellets needle, mechanical resistance.