

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique**

**Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued
Faculté de la Technologie**

**Mémoire de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme de**

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : hydraulique et génie civil

Spécialité : matériaux en génie civil

Présenté par :

BELKHEIR Amina

SAHRAOUI Nesrine

LAMOUDI Hadj Brahim

Thème

**Amélioration de la résistance à la compression du béton par
l'ajout du sable de dunes.**

Soutenu le 06/10/2020

Devant le Jury :

Mr AMMARI Mohammed Seghir
Mr SOULIMANE Ilyas
Mme HACHEM Rafika

Président
Encadreur
Rapporteur

Université d'El Oued.
Université d'El Oued.
Université d'El Oued

Année universitaire : 2019/2020



Remerciements

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

*J'adresse ma profonde et respectueuse gratitude à notre encadrer
Dr. SOULIMANE Ilyas qui a dirigé ce travail de recherche
attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.*

*Je remercie vivement Monsieur FATHI pour avoir dirigé ce
travail du côté laboratoire, leur conseil, disponibilité et patience.*

A tout le personnel de :

*Laboratoire Géotechnique de Construction et Routes « Sedira »
d'El-oued (LGCR).*



Dédicace

A mon cher père «Ismail».

A ma chère mère «Fatma Zohra»

A mes chers frères « Abdelhak , Abdelghafour ».

A mes grande mère, mes grand père

A mes tantes « Siham, Meriem, Soumaya ».

A toute ma famille.

*A mes amies «Hind, Amina, Nour, Marwa, Hanane, Fatiha,
Bothaina»*

A mon fiancé «Amine».

A tous les enseignants du département de génie civil.

*A mes chers amis : à tous mes collègues de 2^{ème} année Master de
génie civil promo 2020.*

A tous ceux qui me connaît

«Amina».

Dédicace

En premier lieu, nous tenons à remercier «DIEU» qui nous a aidé pour que ce modeste travail soit achevé et pour que nous avons réussi.

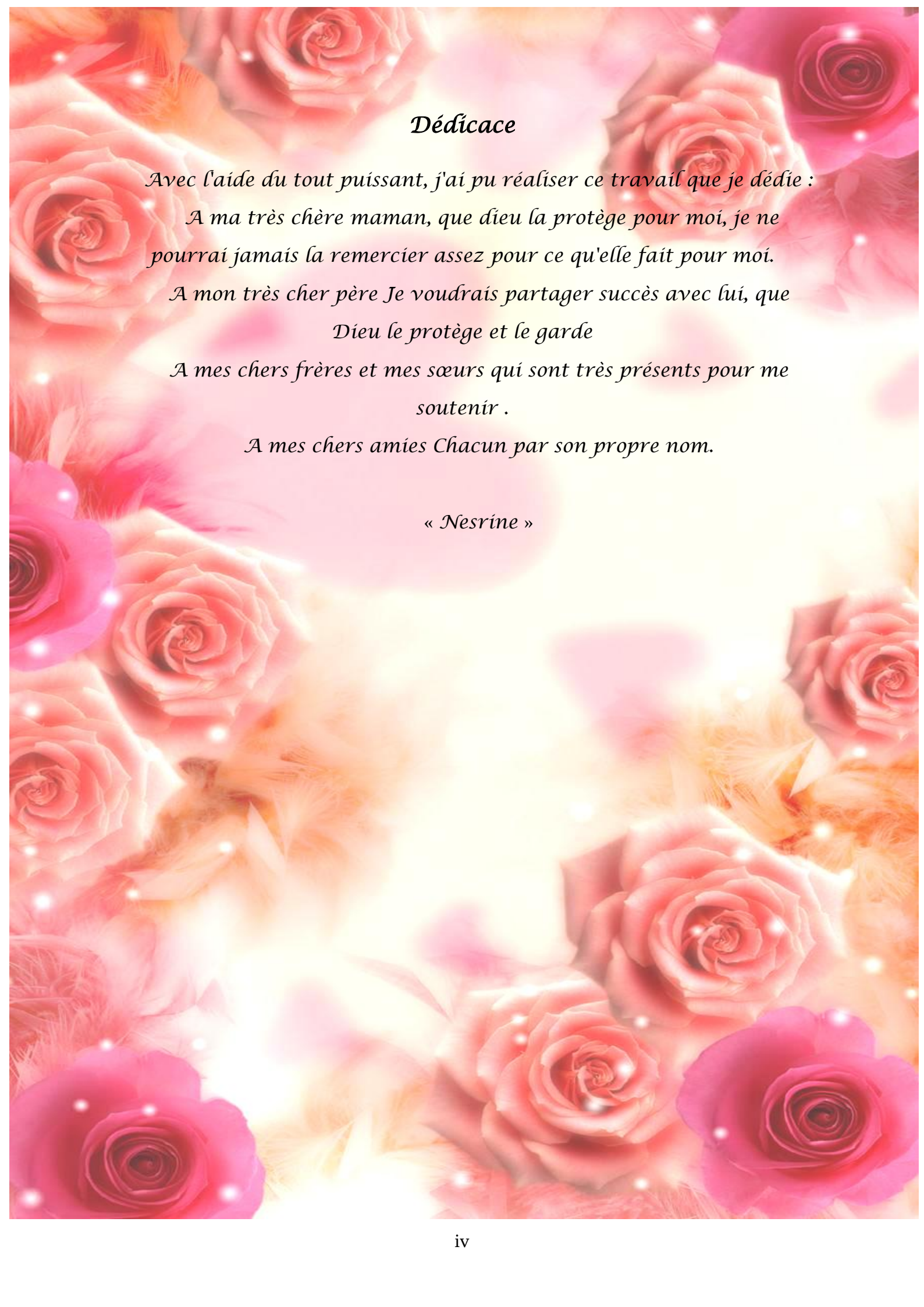
A ma très chère mère Dr-Yamina bkz Quoi que je fasse ou que je dise ,je ne saurai point te remercier comme il se doit ton affection me couvre , ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotes a toujours été ma source de force pour affronter les différent obstacles.

A mon très cher père LAMOUDI Abdel Hakim tu as toujours été à mes cotes pour me soutenir et m en courages que ce travaille traduit ma gratitude et mon affection .

A mes très chers frères Iyad et Okba et mes belles sœurs Dhikra et Chayma .

Et remerciement votre encadreur Dr. SOULIMAN Ilyas que aidé et conseille pour terminer le travail.

LAMOUDI hadj brahim



Dédicace

Avec l'aide du tout puissant, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :

*A ma très chère maman, que dieu la protège pour moi, je ne
pourrai jamais la remercier assez pour ce qu'elle fait pour moi.*

*A mon très cher père Je voudrais partager succès avec lui, que
Dieu le protège et le garde*

*A mes chers frères et mes sœurs qui sont très présents pour me
soutenir .*

A mes chers amies Chacun par son propre nom.

« Nesrine »

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Dédicace.....	iii
Dédicace.....	iv
Sommaire	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux.....	x
Abréviations	xii
Résumé :.....	xiii
Introduction générale	1

Chapitre I Etude théorique et bibliographique

I.1 Introduction :	3
I.2 Les composants d'un béton :	3
I.3 Les éléments de constitution du béton :.....	4
I.3.1 Les granulats :.....	4
I.3.1.1 Classification des granulats selon la provenance :.....	4
I.3.1.1.a Granulats naturels :	4
I.3.1.2 Les sables :.....	6
I.3.1.2.a Classification des sables selon leurs provenances :	7
I.3.1.2.b Sable des dunes :.....	7
I.3.1.2.b.1 Définition :.....	7
I.3.1.2.c Propriétés des sables des dunes :.....	7
I.3.1.3 Les graviers :.....	8
I.3.2 Ciment (la norme EN 197-1) :	8
I.3.2.1 Définition :.....	8
I.3.2.2 Classification des ciments :.....	9
I.3.2.2.a Classification suivant la composition :	9
I.3.2.2.b Classification suivant les résistances à la compression :	10
I.3.3 Les adjuvants :	11
I.3.3.1 Définition :.....	11
I.3.3.2 Classification des adjuvants :.....	11

I.3.3.2.a Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :	11
I.3.3.2.b Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :.....	12
I.3.3.2.c Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :	12
I.3.4 L'eau de gâchage :	12
I.4 Formulation de béton :	13
I.4.1 Méthode de Faury :	14
I.4.2 Méthode de Dreux –Gorisse :	17
I.5 La résistance à la compression :	20
I.6 Conclusion :	21
 Chapitre II Caractérisation des matériaux étudiés et méthodes d'essais	
II.1 Introduction :	23
II.2 Caractéristiques des matériaux :	23
II.2.1 Le sable :	23
II.2.1.1 Analyse granulométrique du sable (la norme NF P 18 -560) :	24
II.2.1.1.a But de l'essai :	24
II.2.1.1.b Principe de l'essai :	24
II.2.1.1.c Matériel nécessaire :	24
II.2.1.2 Module de finesse(Mf) :	32
II.2.1.3 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598) :	32
II.2.1.3.a But de l'essai :	33
II.2.1.3.b Principe de l'essai :	33
II.2.1.4 La masse volumique absolue (la norme NF P 18 -555) :	35
II.2.1.4.a But de l'essai :	35
II.2.1.4.b Conduite de l'essai :	35
II.2.1.5 La masse volumique apparente (la norme NF P 18 -555) :	36
II.2.2 Le gravie :	37
II.2.2.1 Analyse granulométrique du gravier : (la norme NF P 18 -560) :	37
II.2.2.2 Absorption d'eau (NF P 18-555) :	39
II.2.2.3 Masse volumique absolue et apparente (la norme NF P 18 -555):.....	40
II.2.2.4 Los Angeles (la norme NF P 18 -573) :	40
II.2.2.4.a Définition et But de l'essai :	40
II.2.2.4.b Principe :	41

II.2.3 Ciment :	42
II.2.3.1 Caractéristiques chimiques :	43
II.2.3.2 Caractéristiques mécaniques :	43
II.2.3.3 Caractéristiques physiques :	43
II.2.4 L'eau de gâchage :	43
II.2.5 L'adjuvant :	44
II.3 Formulation de béton :	44
II.3.1 Principe :	44
II.3.2 Calcul approché de la formulation :	45
II.3.3 Etude du mélange :	47
II.3.4 Compositions corrigées :	48
II.4 Affaissement au cône d'Abrams :	53
II.5 Confection des éprouvettes en béton NF P-18 404 :	54
II.5.1 Mise en place :	54
II.5.2 Conservation avant démoulage :	55
II.5.3 Conservation après démoulage :	55
II.6 Essai de résistance à la compression :	56
II.6.1 Machine d'essai de compression manuel:	56
II.7 Conclusion :	57

Chapitre III Résultats et Discussions

III.1 Introduction :	59
III.2 Les courbes d'analyse granulométrique :	59
III.2.1 Sable :	59
III.2.2 Gravier :	60
III.2.3 La courbe granulométrique par la méthode de FAURY :	60
III.3 Essai d'affaissement au cône d'Abrams :	61
III.4 Essai de résistance à la compression :	62
Conclusion générale	66
Références	I
Annexes	IV

Liste des figures

Figure I.1 : Composition du béton ordinaire	3
Figure I.2 : Granulat de mer.....	5
Figure I.3 : Granulat de rivière.....	5
Figure I.4 : Granulat des dunes.	5
Figure I.5 : Courbe de référence de Faury.	17
Figure I.6 : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse	18
Figure II.1 : Différents types de sable utilisé.....	24
Figure II.2 : Série des tamis.	25
Figure II.3 : Courbe granulométrique du sable utilisé.	26
Figure II.4 : Courbe granulométrique du sable mélange (95% SDJ + 5% SD).....	27
Figure II.5 : Courbe granulométrique du sable mélange (90% SDJ + 10% SD).....	28
Figure II.6 : Courbe granulométrique du sable mélange (80% SDJ + 20% SD).....	29
Figure II.7 : Courbe granulométrique du sable mélange (70% SDJ + 30% SD).....	30
Figure II.8 : Courbe granulométrique du sable mélange (65% SDJ + 35% SD).....	31
Figure II.9 : Schéma de principe de l'équivalent de sable.	33
Figure II.10 : Essai de détermination de l'équivalent de sable.	34
Figure II.11 : Essai de détermination de la masse volumique absolue du sables utilisé.	35
Figure II.12 : Essai de détermination de la masse volumique apparente du sables utilisé.	36
Figure II.13 : Différents types de gravier utilisé.....	37
Figure II.14 : Courbe granulométrique du gravier utilisé.....	39
Figure II.15 : Essai de détermination de la masse volumique apparente et absolue du gravies utilisé.	40
Figure II.16 : L'appareil de Los Angeles et les boules.	41
Figure II.17 : Sac de 50kg de ciment CPJ utilisé.....	42
Figure II.18 : La courbe granulaire de FUARY.	45
Figure II.19 : Courbe granulométrique de béton témoin.	48
Figure II.20 : Courbe granulométrique du composition corrigée (95% SDJ + 5% SD).....	49
Figure II.21 : Courbe granulométrique de la composition corrigée (90% SDJ + 10% SD)...	50
Figure II.22 : Courbe granulométrique de la composition corrigée (80% SDJ + 20% SD). ..	51
Figure II.23 : Courbe granulométrique de la composition corrigée (70% SDJ + 30% SD)...	52
Figure II.24 : Courbe granulométrique de la composition corrigée (65% SDJ + 35% SD)...	53
Figure II.25 : Mesure d'affaissement.....	54

Figure II.26 : Mise en place.	54
Figure II.27 : Mise en place des éprouvettes.	55
Figure II.28 : Conservation du béton au niveau de laboratoire.	55
Figure II.29 : Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau.	56
Figure II.30 : Eprouvettes cylindriques.	56
Figure II.31 : Machine d'essai de compression.	56
Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable utilisé.	59
Figure III.2 : Courbe granulométrique du gravies utilisé.	60
Figure III.3 : la courbe granulométrique selon méthode de Faury.	60
Figure III.4 : Valeurs des affaissements	61
Figure III.6 : Evolution de la résistance mécanique à la compression en fonction de temps.	63

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Désignation des différents ciments en fonction de leur composition.....	10
Tableau I.2 : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe.	11
Tableau I.3 : Valeur du coefficient A	15
Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable 0/5 DJAMAA.....	25
Tableau II.2 : Analyse granulométrique du sable de DUNE.....	26
Tableau II.3 : Analyse granulométrique du 95% sable 0/5 DJAMAA + 05% sable de DUNE.	27
Tableau II.4 : Analyse granulométrique de 90% sable 0/5 DJAMAA + 10% sable de DUNE.	28
Tableau II.5 : Analyse granulométrique du 80% sable 0/5 DJAMAA + 20% sable de DUNE.	29
Tableau II.6 : Analyse granulométrique du 70% sable 0/5 DJAMAA + 30% sable de DUNE.	30
Tableau II.7 : Analyse granulométrique du 65% sable 0/5 DJAMAA + 35% sable de DUNE.	31
Tableau II.8 : Résultats modules de finesse des sables étudiés.	32
Tableau II.9 : Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature et la qualité du sable.	34
Tableau II.10 : Résultat d'essai de l'équivalent de sable.	34
Tableau II.11 : Résultat de la masse volumique absolue et apparente du sables.	37
Tableau II.12 : Analyse granulométrique du gravier 15/25.	37
Tableau II.13 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.	38
Tableau II.14 : Absorption d'eau des granulats utilisés.	39
Tableau II.15 : Résultat de la masse volumique absolue et apparente du graviers.	40
Tableau II.16 : Nombre des boulets et poids total de la charge correspondant à chaque classe granulaire.....	41
Tableau II.17 : Caractéristique de l'essai Los Angeles pour chaque classe granulaire.	42
Tableau II.18 : Résultat de Los Angeles du gravier.	42
Tableau II.19 : L'analyse chimique du ciment.	43
Tableau II.20 : Caractéristiques mécaniques du ciment utilisé.	43
Tableau II.21 : Analyse chimique de l'eau de gâchage.	43
Tableau II.22 : Caractéristiques de l'adjuvant utilisé.	44

Tableau II.23 : Les dosages de béton dans 1 m ³ de composition.	47
Tableau II.24 : Les résultats de dosage des constituants pour le béton témoin.....	48
Tableau II.25 : Les résultats de dosage des constituants pour la composition 1.	49
Tableau II.26 : Les résultats de dosage des constituants pour la composition 2.	50
Tableau II.27 : Les résultats de dosage des constituants pour la composition 3.	51
Tableau II.28 : Les résultats de dosage des constituants pour la composition 4.	52
Tableau II.29 : Les résultats de dosage des constituants pour la composition 5.	53
Tableau III.1 : Résultats de l'essai de l'affaissement.	61
Tableau III.2 : Résultats de l'essai de compression sur les bétons étudiés.	62

Abréviations

SDJ : Sable DJAMAA.

SD : Sable de DUNE.

Mf : module de finesse.

ESv : équivalent de sable visuel.

ESp : équivalent de sable au piston.

γ_{app} : Masse volumique apparente.

γ_{abs} : Masse volumique absolue.

Rc : la résistance à la compression du béton

Sm1 : le sable mélange 95% sable 0/5 djamaa + 05% sable de dune .

Sm2 : le sable mélange 90% sable 0/5 djamaa + 10% sable de dune .

Sm3 : le sable mélange 80% sable 0/5 djamaa + 20% sable de dune .

Sm4 : le sable mélange 70% sable 0/5 djamaa + 30% sable de dune .

Sm5 : le sable mélange 65% sable 0/5 djamaa + 35% sable de dune .

C1 : Composition 1(95% SDJ + 5% SD + deux classe de gravie + ciment EL-MATINE + eau + adjuvant).

C2 : Composition 2(90% SDJ + 10% SD + deux classe de gravie + ciment EL-MATINE + eau + adjuvant).

C3 : Composition 3(80% SDJ + 20% SD + deux classe de gravie + ciment EL-MATINE + eau + adjuvant).

C4 : Composition 4(70% SDJ + 30% SD + deux classe de gravie + ciment EL-MATINE + eau + adjuvant).

C5 : Composition 5(65% SDJ + 35% SD + deux classe de gravie + ciment EL-MATINE + eau+adjuvant).

Résumé :

Nos travaux visent à étudier la possibilité d'utiliser du sable de dune, qui se trouve en quantité importante en Algérie en général et dans le sud en particulier, pour préparer du béton avec des spécifications mécaniques et des propriétés suffisantes qui le qualifient pour diverses applications et utilisations dans le domaine de la construction.

L'amélioration de la résistance à la compression du béton a été obtenue en ajoutant des dunes de sable au mélange de béton. La méthode de formulation des proportions des composants du mélange est basée sur le remplacement du sable de construction par le sable des dunes selon différents rapports de masse de 5, 10, 20, 30 et 35%. Les résultats obtenus ont montré que l'ajout de sable de dunes rend le béton plus résistant à la compression. Nous avons également constaté que l'ajout dans les proportions de 10, 20, 30% pourrait donner de meilleures propriétés mécaniques que celles données par le témoignage concret. Nous obtenons également la résistance la plus élevée à 20%.

Mots clés : béton, sable de dune, gradient granulaire, résistance à la compression.

ملخص :

يهدف عملنا إلى دراسة إمكانية استعمال رمل الكثبان الذي يوجد بكميات معتبرة في الجزائر عامة وفي الجنوب خاصة، لإعداد خرسانة ذات مواصفات وخصائص ميكانيكية كافية تؤهلها لمختلف تطبيقات واستخدامات في مجال البناء.

تحسين مقاومة الضغط للخرسانة تمّ عن طريق إضافة رمل الكثبان للخلطة الخرسانية. منهجية صياغة نسب مكونات الخلطات تستند على استبدال رمل البناء برمل الكثبان وفق نسب كتلية مختلفة 5، 10، 20، 30، 35٪، وأظهرت النتائج المتحصل عليها أن إضافة رمل الكثبان تجعل الخرسانة أكثر قدرة على مقاومة الضغط. كما وجدنا أيضا أن إضافته بنسب 10، 20، 30٪ يمكن أن تعطي خصائص ميكانيكية أفضل من تلك التي تعطيها الخرسانة الشاهد. كما تحصلنا أيضا على أعلى مقاومة عند النسبة 20٪.

كلمات مفتاحية: خرسانة، رمل الكثبان، التدرج الحبيبي، المقاومة الضغط.

Abstract:

Our works aim to study the possibility of using dunes sand, which is found in large quantities in Algeria in general, and in the south in particular, to prepare concrete with mechanical specifications and sufficient properties that qualify it for various applications and uses in the construction field. .

The improvement in the compressive strength of concrete was achieved by adding dunes sand to the concrete mix. The method for formulating the proportions of the components of the mixture is based on the replacement of building sand with dunes sand at different mass ratios of 5, 10, 20, 30 and 35%. The results obtained showed that the addition of dunes sand makes the concrete more resistant to compression. We have also observed that the addition in the proportions of 10, 20, 30% could give better mechanical properties than those given by concrete testimony. We also get the highest resistance at 20%.

Keywords: concrete, dunes sand, granular gradient, compressive strength..

Introduction générale

Introduction générale

La consommation annuelle mondiale de béton est estimée à un mètre cube par habitant, et il est considéré comme l'un des matériaux les plus utilisés sur la planète. En conséquence, le secteur de la construction est le plus grand consommateur de ressources naturelles et énergétiques dans diverses industries.

Avec la consommation croissante de ce secteur, il nécessite le développement et l'amélioration des aspects économiques et environnementaux pour bénéficier des avantages des ressources, des matériaux et des transports, et pour renforcer les capacités locales de l'économie et des sociétés dans le monde.

Le béton est un mélange hétérogène composé d'agréats (gravier, sable), de ciment et d'eau avec l'apparence d'autres matériaux et les exigences du chantier.

Et l'un des composants les plus importants du sable, où environ 35% à 40% du volume de sable est utilisé dans le mélange de béton, et il est considéré comme la ressource naturelle la moins chère, mais sa sur utilisation conduira à sa rareté.

Il existe plusieurs logiques en Algérie face à une pénurie de sable naturel de construction de haute qualité. Par conséquent, il est nécessaire de rechercher des alternatives au sable naturel sans compromettre l'intégrité du béton. Il existe de nombreuses alternatives, telles que les sables de dune, les déchets de démolition de bâtiments, la poussière de carrière, les scories de four, etc.

Contrairement à la rareté du sable naturel et à l'abondance des sables de dune dans notre patrie en particulier, il existe plusieurs études pour étudier le béton de sable, en particulier le béton de sable de dune, bien que ces sables souffrent du problème de la finesse.

En conséquence, dans cette recherche, nous avons tenté de participer en clarifiant l'étendue de la possibilité d'ajouter et de valoriser le sable de dune dans le mélange de béton.

Nous avons divisé notre travail en trois chapitres : dans le premier, nous avons traité de l'étude de la théorie et des généralités.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les propriétés des matériaux utilisés et la méthodologie des expériences utilisées.

Dans le troisième chapitre, nous expliquons les résultats obtenus et les discutons.

Chapitre I

Etude théorique et bibliographique

I.1 Introduction :

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux dont le diamètre maximal $D < 63 \text{ mm}$ et le liant est un ciment, généralement un ciment portland. Les différents granulats forment le squelette granulaire du béton. Le ciment, l'eau et éventuellement les adjuvants forment la pâte liante qui est l'élément unique et actif du béton enrobant les granulats. Son objectif est de remplir les vides existants entre les grains. Elle joue le rôle de lubrifiant et de colle. [5] Dans ce chapitre nous avons élaboré une présentation générale sur le béton et ses composants.

I.2 Les composants d'un béton :

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier, et le plus souvent, adjuvants (figure I.1) qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m^3 ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de $0.5 \mu\text{m}$ (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales [3].

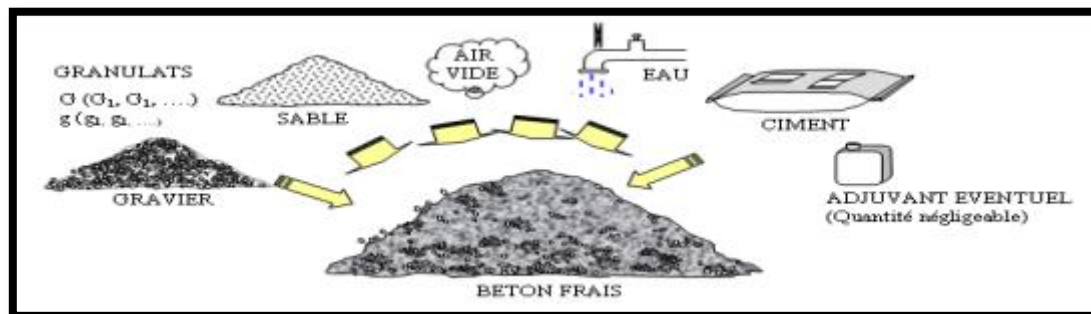


Figure I.1 : Composition du béton ordinaire

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à déterminer et à optimiser la composition granulaire et le dosage des divers constituants.

Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers,...) peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de super plastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange [3].

I.3 Les éléments de constitution du béton :

I.3.1 Les granulats :

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux, dont l'origine peut être naturelle ou artificiel NF P 15-010).

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (gros et fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton : le 1^{er} économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ; et le 2^{ème} technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment) [7].

I.3.1.1 Classification des granulats selon la provenance :

I.3.1.1.a Granulats naturels :

Granulats roulés : ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel.

Ainsi, ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes [7].

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'Oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.



Figure I.2 : Granulat de mer.



Figure I.3 : Granulat de rivière.



Figure I.4 : Granulat des dunes [7].

Granulats concassés (de carrières) : ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.

I.3.1.1.b Granulats artificiels: Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple: laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

I.3.1.1.c Granulats recyclés: Lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés.

I.3.1.1.d Granulats courants: Lorsque leur masse volumique réelle est supérieure ou égale à 2 Mg/m³ (ou t/m³). [7]

I.3.1.2 Classification des granulats selon la grosseur:

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur les tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres (mm).

Le terme granulat d/D est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments. La norme expérimentale précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles.

La norme distingue quatre familles de granulats : les fillers, les sablons, les sables et les gravillons, et également quatre catégories pour les granulats naturels A, B, C et D [3].

- ✓ Filler 0/D pour $D < 2$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm ;
- ✓ Sablon 0/D pour $D < 1$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm ;
- ✓ Sable 0/D lorsque D est tel que : $1 \text{ mm} < D \leq 6,3 \text{ mm}$;
- ✓ Graves 0/D lorsque $D > 6,3 \text{ mm}$;
- ✓ Gravillons d/D lorsque $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$;
- ✓ Ballast d/D lorsque $d \geq 25 \text{ mm}$ et $D \leq 50 \text{ mm}$.

La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en (mm) :

0.063 ; 0.08 ; 0.100 ; 0.125 ; 0.160 ; 0.200 ; 0.250 ; 0.315 ; 0.40 ; 0.50 ; 0.63 ; 0.80 ; 1.00 ;
1.25 ; 1.60 ; 2.00 ; 2.50 ; 3.15 ; 4.00 ; 5.00 ; 6.30 ; 8.00 ; 10.00 ; 12.50 ; 16.00 ; 20.00 ; 25.00 ;
31.50 ; 40.00 ; 50.00 ; 63.00 ; 80.00 ; 100.00 ; 125.00.

I.3.1.2 Les sables :

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" une roche sédimentaire meuble constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre les dimensions 0 à 5mm, 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 [7].

Le sable utilisé dans la confection du béton doit être sain, siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du béton en œuvre. Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent du sable (norme NF P 18-598).

I.3.1.2.a Classification des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit [6] :

- **Sable de rivière:** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer:** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable des dunes :** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables des dunes se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

I.3.1.2.b Sable des dunes :

I.3.1.2.b.1 Définition :

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée.

Dans une autre signification le sable des dunes qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [2].

I.3.1.2.c Propriétés des sables des dunes :

Le sable dunaire est en abondance dans près de 60% de la superficie du territoire algérien. L'épaisseur moyenne de la couche sableuse est de 6m. Cette énorme quantité a amené les ingénieurs à s'interroger sur les propriétés physico-chimiques de ces sables afin de les valoriser et de les utiliser dans le domaine de la construction [7].

I.3.1.3 Les graviers :

Les graviers sont constitués d'un ensemble des graves des dimensions 0/D ($D \geq 6.3$ mm) et des gravillons des dimensions d/D ($d \geq 2\text{mm}$ et $D \leq 63\text{mm}$). Ils proviennent soit des concassages (gravillons concassés), soit directement des rivières ou sablières (graviers roulés).

Les qualités primordiales d'un gravier sont : sa résistance à l'écrasement, sa stabilité et son adhérence avec la pâte de ciment.

Les graviers alluvionnaires couramment appelés graviers roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion, 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 graviers concassés sont des granulats de carrière obtenus par abattage et concassage des roches massives, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les graviers concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité de la coloration, degré de concassage... La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon. [5]

I.3.2 Ciment (la norme EN 197-1) :

I.3.2.1 Définition :

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant, les 1450°C . Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables.

Les travaux effectués ont montré que les principaux composants du ciment portland sont :

- Le Silicate Tricalcique (Alite): $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C3S).
- Le Silicate Bicalcique (Belite): $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C2S).
- L'Aluminate Tricalcique: $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A).
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique: $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF).

Et d'autres éléments tels que les sulfates, les alcalins ... etc.

La pâte du ciment est le constituant à l'origine de la cohésion du béton, elle représente 20% à 50% du volume total, se caractérise par sa capacité à s'hydrater et à former une matrice solide qui lie les granulats entre eux. La pâte du ciment se constitue du ciment anhydre, d'eau et d'éventuels adjuvants additifs.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse [3].

I.3.2.2 Classification des ciments :

I.3.2.2.a Classification suivant la composition :

Les ciments sont classés en fonction de leur composition en cinq types principaux définis par la norme EN 197-1 :

- CEM I: Ciment Portland Artificiel.
- CEM II: Ciment Portland Composé.
- CEM III: Ciment de Haut Fourneau.
- CEM IV: Ciment Pouzzolanique.
- CEM V: Ciment aux Laitiers et aux Cendres.

Les proportions (en masse) des différents constituants sont indiquées dans le tableau (I.1). Les constituants marqués d'une étoile (*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné ; leur total ne doit pas dépasser 5% [1].

Tableau I.1 : Désignation des différents ciments en fonction de leur composition

	Cim. Port- land	Ciment Portland composé		Ciment de haut-fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment composé	
	CEM I	CEM II/A	CEM II/B	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM IV/A	CEM IV/B	CEM V/A	CEM V/B
Clinker (K)	≥ 95%	≥ 80% ≤ 94%	≥ 65% ≤ 79%	≥ 35% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 34%	≥ 5% ≤ 19%	≥ 65% ≤ 89%	≥ 45% ≤ 64%	≥ 40% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 38%
Laitier (S)	*	6% ≤ Total ≤ 20% (fumé e De Silice ≤ 10%	6% ≤ Total ≤ 35% (fumé e De Silice ≤ 10%	≥ 36% ≤ 65%	≥ 66% ≤ 80%	≥ 81% ≤ 95%	*	*	≥ 18% ≤ 30%	≥ 31% ≤ 50%
Pouzzola -nes (P ou Q)	*			*	*	*	11% ≤	36% ≤	18% ≤	31% ≤
Cendres Siliceuses (V)	*			*	*	*	Total ≤ 35%	Total ≤ 55%	Total ≤ 30%	Total ≤ 50%
Fumée de silice (D)	*			*	*	*	(fumé e ≤ 10%	(fumé e ≤ 10%	*	*
Cendres Calciques (W)	*			*	*	*	*	*	*	*
Schistes (T)	*			*	*	*	*	*	*	*
Calcaires (L ou LL)	*			*	*	*	*	*	*	*
Fillers	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

I.3.2.2.b Classification suivant les résistances à la compression :

Trois classes de résistance sont définies en fonction de la résistance minimale à 28 jours et une sous classe "R" ou "N" est associée pour désigner les ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées ou normales. Les spécifications de ces classes sont rappelées dans le tableau I.2 [1].

Tableau I.2 : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe.

classe	Résistance à la compression (MPa) EN 196-1 (et P15-301)				Retrait à 28 jours (1) P15-433 (µm/m)	Début De prise EN 196-3 (min)	Stabilité EN 196-3 (mm)
	au jeune âge		à 28 jours				
	2jours	7 jours	mini	maxi			
32.5 N		≥ 16.0 14	≥ 32.5 30	≤ 52.5	≤ 800	≥ 75 (90) 60(90)	≤ 10
32.5 R	≥ 10 (13.5) 8(12)		≥ 32.5 30	≤ 52.5	≤ 1000	≥ 75 (90) 60(90)	≤ 10
42.5 N	≥ 10 (12.5) 10		≥ 42.5 40	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60 50(60)	≤ 10
42.5 R	≥ 20 18		≥ 42.5 40	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60 50(60)	≤ 10
52.5 N	≥ 20 18		≥ 52.5 50			≥ 45 (60) 40(60)	≤ 10
52.5 R	≥ 30 28		≥ 52.5 50			≥ 45 (60) 40(60)	≤ 10

I.3.3 Les adjuvants :**I.3.3.1 Définition :**

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci.

Un adjuvant n'est pas un palliatif. Il n'est, ni pour mission, ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage, ou d'une mise en œuvre défectueuse. Ce n'est pas un produit capable de se substituer aux règles de la bonne technique [3].

I.3.3.2 Classification des adjuvants :

La norme classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants [3].

I.3.3.2.a Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise.

Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte, et en modifient la viscosité.

- **Plastifiants - Réducteurs d'eau** : Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans

modifier La teneur en eau, en augmentent l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois.

- **Super plastifiants - Haut réducteurs d'eau** : Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent Considérablement l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois.

I.3.3.2.b Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

Ces adjuvants modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Leur action se traduit par une évolution différente de la résistance d'un béton, mortier ou coulis adjuvanté comparée à celle du témoin. On peut distinguer deux types d'adjuvants :

- **Accélérateurs de prise et durcissement** : Les premiers diminuent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont utilisés souvent en préfabrication et les derniers augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise. Ils sont préférentiellement utilisés par temps froid.
- **Retardateurs de prise** : Ces adjuvants augmentent le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont généralement utilisés par temps chaud.

I.3.3.2.c Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :

On peut distinguer deux types d'adjuvants :

- **Entraîneurs d'air** : Ces adjuvants permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties et qui subsistent après durcissement. Ils sont utilisés pour protéger les bétons du gel.

- **Hydrofuges de masse** : Ces adjuvants permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques,

I. 3.4 L'eau de gâchage :

L'eau est un ingrédient essentiel du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau. Introduite dans le béton lors de sa fabrication, elle va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère aux bétons frais les propriétés rhéologiques

d'un pseudo-liquide permettant l'écoulement et le moulage ; une fonction chimique d'hydratation du ciment qui apporte la résistance mécanique. [1]

Dans le béton, l'eau de gâchage a deux fonctions :

- Assurer l'hydratation du ciment. Dans le cas d'un ciment type CEMI ou II, il faut moins 25 litres d'eau pour hydrater 100 Kg de ciment.
- Fournir au béton une maniabilité suffisante pour permettre sa mise œuvre.

Aujourd'hui, les caractéristiques de l'eau destinée au gâchage des bétons sont fournies par la norme NF EN 1008 qui définit les différents types d'eau rencontrés [7] :

- Potable.
- Récupération de la fabrication des bétons.
- Eaux superficielles et rejets industriels.
- Eaux de nappe.
- Eaux de mer et saumâtres.
- Eaux usées.

I.4 Formulation de béton :

La formulation joue le rôle effectuant par ses paramètres propriétaires qui permettent d'apporter un nouveau regard sur béton, elle consiste à choisir des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre, elle doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins difficile vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximale tolérée. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats [4].

Plusieurs auteurs Bolomey (1925), Caquot (1937), Valette (1940), Faury (1942), Joisel (1952), cités dans la référence [Dreux et Festa, 1998] ont développé des méthodes de formulation de bétons. Selon le pays et l'école de pensée, les plus utilisées sont, la méthode Américaine (1994), la méthode Britannique (1988), la méthode française [Dreux, 1970], la méthode Barron Lesage (France, 1976), la méthode basée sur le modèle d'empilement

compressible (France, 2000), la méthode des plans d'expériences (Louvet F.) citée dans [Baronet Olliver, 1996] [4].

I.4.1 Méthode de Faury :

En 1942, J. FAURY proposa, comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type continu. Il s'inspirait pour cela d'une théorie de Caquot 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 $\sqrt[5]{D}$; c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[5]{D}$. 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 de référence n'est pas la même, pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc 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, en $\sqrt[5]{D}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$, et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat, et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualité des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense) [7].

Cette valeur se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

D : grosseur maximum de l'agrégat (en mm).

R : rayon moyen du coffrage (en mm) (parties de l'ouvrage les plus ferraillées).

A : coefficient tenant compte la forme des agrégats, et la consistance du béton.

B : dépend du serrage. Il varie de 1, pour une vibration puissante, à 1.5 pour un serrage moyen.

Tableau I.3 : Valeur du coefficient A

	Sable et graviers roulés usuels	Sables roulés et graviers de broyage usuels	Sable et graviers de broyage usuels
Consistance très fluide. Mise en œuvre sans serrage	≥ 32	≥ 34	≥ 37
Consistance fluide pour faible serrage	30 à 32	32 à 34	36 à 38
Consistance molle pour serrage moyen	28 à 30	30 à 32	34 à 36
Consistance ferme pour serrage soigné	26 à 28	28 à 30	32 à 34
Consistance très ferme pour serrage puissant	24 à 26	26 à 28	30 à 32
Consistance de terre humide, serrage très puissant	22 à 24	24 à 26	28 à 30
Serrage exceptionnellement puissant	<22 (à déterminer dans chaque cas)	<24 (à déterminer)	<28 (à déterminer)

Le calcul est-il fait selon les étapes suivantes :

$$D_{max} = D_n \left(1 + \frac{x}{2y}\right)$$

D_{n-1} : le diamètre qui correspond au tamis n-1.

X : le refus sur le tamis n-1.

Y: le refus entre $D_n - 1$ et $\frac{D_{n-1}}{2}$

Alors :

$$D_{max} = D_n \left(1 + \frac{x}{2y}\right)$$

$$y \frac{D_{max}}{2} = 27 + 17.8 \sqrt[5]{D_{max}} + 3.5$$

On calcul $\frac{D}{2}$

D : la fraction max de la classe supérieure.

$D_{100\%} \dots D$: le diamètre du tamis situé avant le premier tamis d'analyse granulométrique.

D'après ce calcul la courbe de référence de Faury est définie par trois points

$$[0.0065; 1], \left[\frac{D}{2}; y \frac{D_{\max}}{2} \right], [D_{100\%}; 100\%]$$

Après le traçage la courbe granulaire de FAURY.

La quantité E, d'eau est donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{D_{\max}}{\sqrt[5]{D}} \times 1000$$

Détermination des éléments secs

Eléments secs ES= 1000- E

Pour notre cas on a choisi le dosage de ciment à 350Kg /m³

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal $V_c \frac{350}{M_{vabs}}$

Alors le pourcentage de ciment égal $\frac{V_c}{ES} \times 1000$

Les pourcentages

-D'après la courbe on obtient alors :

-Le pourcentage du sable.

-Le pourcentage du gravier (3/8).

-Le pourcentage du gravier (8/15).

-Le pourcentage du gravier (15/28).

-La composition d'un mètre cube de béton en volume égal à :

Sable = le pourcentage du sable × ES.

Gravier (3/8) = le pourcentage de 3/8 × ES.

Gravier (8/15) = le pourcentage de 8/15 × ES.

Gravier (15/25) = le pourcentage de 15/25 × ES.

Ciment = le dosage choisi par un mètre cube.

Eau = calculé par la formule.

La composition en masse : les quantités massiques des granulats sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{le volume en litre} \times \text{la densité absolue} = \text{la masse en kg}$$

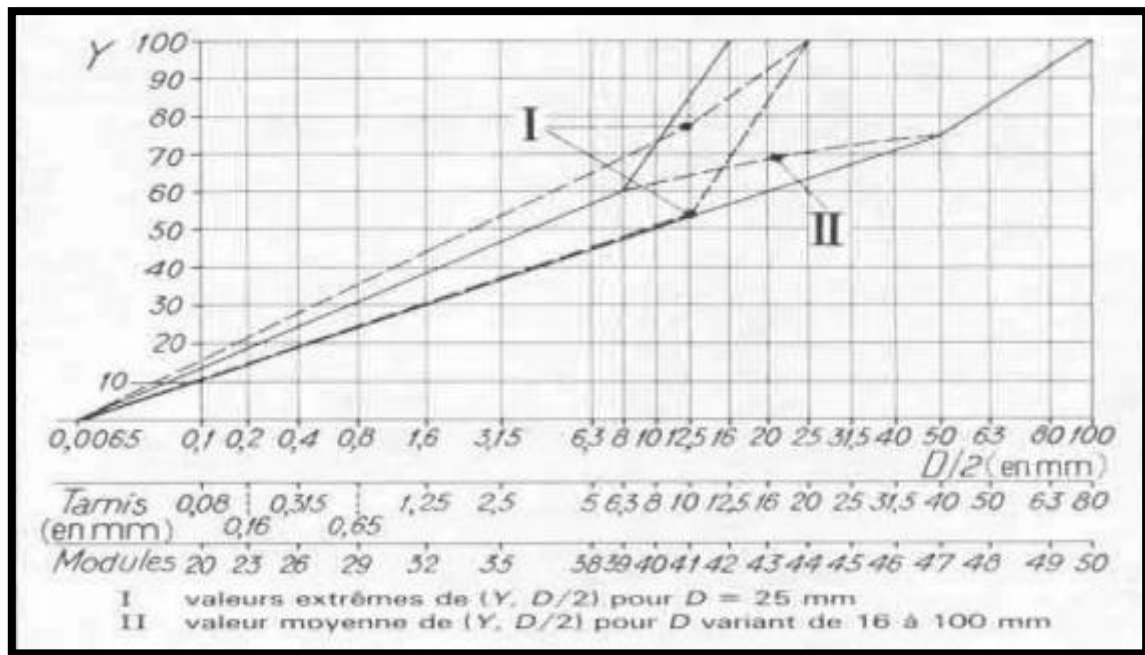


Figure I.5 : Courbe de référence de Faury.

I.4.2 Méthode de Dreux –Gorisse :

Cette méthode française est de nature fondamentalement empirique qui date de 1970. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisantes, sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme Semi-logarithmique.

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés.[4]

-Résistance visée :

$$\sigma'_{28j} = \sigma_{8j} + 0.15\sigma_{28j}, \quad \text{soit } \sigma'_{28j} = 1.15\sigma_{28j}$$

-Dosage en ciment et en eau :

$$f_{c'} = G \cdot f_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

Avec :

$f_{c'}$: résistance visée à 28 jours

f_{CE} : Classe vraie du ciment en MPa.

G : coefficient granulaire.

C : dosage en ciment (Kg de ciment/m³ de béton).

E : dosage en eau (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

-par la suite d'après le rapport $\frac{E}{C}$ on détermine le volume d'eau comme suit :

$E =$ le rapport $(\frac{E}{C}) \times$ dosage du ciment

- Tracé de la courbe granulaire de référence AOB :

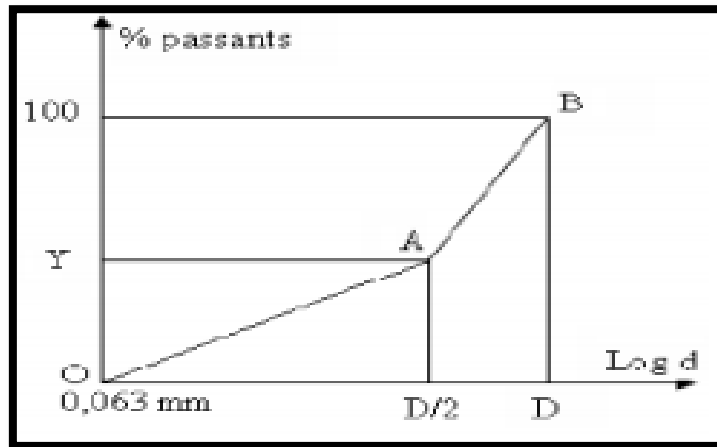


Figure I.6 : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse

-Sur le graphe d'analyse granulométrique, type AFNOR (pourcentage de tamisât en fonction du module ou diamètre de tamis) nous traçons une composition granulaire de référence OAB

Avec :

- le point O est repéré par ses coordonnées : [0.01 ; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées : [D ; 100], (D : le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées [D/2 ; Y], suivantes :

- en abscisse :
- si $D \leq 20$ mm, le point de brisure a pour abscisse : $A = D/2$
- en ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

D : diamètre du plus gros granulat

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés.

- La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulat. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues

sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

-Après le traçage de la courbe on obtient les pourcentages des granulats (sable et gravier).

-Détermination de la composition en volume absolu :

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vaut 1m^3 :

$$V_{abs} = V_s + V_g + V_c = 1\text{m}^3$$

V_{abs} : la masse absolue de ciment kg/m^3

V_s, V_g et V_c : le volume de sable, gravier et ciment respectivement d'un mètre cube du béton.

$$V_c = \frac{C}{V_{abs}} \quad \text{soit, } C: \text{ dosage en ciment (kg/m}^3\text{)}$$

-Volume absolu de granulats :

De la relation de $\gamma = (V_s + V_g + V_c)$ on en déduit V_g et V_s

en remplaçant le volume de granulats $V_s + V_g$ par la valeur V_G , alors $\gamma = (V_c + V_G)$

$$V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$$

V_G : volume absolu des granulats en litre ($V_G = V_g + V_s$)

γ : Coefficient de compacité.

-Volume du sable = Le pourcentage $\times V_G$

- Détermination de la composition pondérale sèche en Kg

-Masse du ciment : le dosage choisi

-La quantité d'eau : E par la formule

-Masse du sable $S = V_s \times M_{vabs}$

-Masse des gravillons $G_{8/15} = V_g \times M_{vabs}$

$$G_{15/25} = V_g \times M_{vabs}$$

Finalement on trouve les quantités des masses de gravier, sable et eau et dosage du ciment pour un mètre cube de béton.

I.5 La résistance à la compression :

Généralement la résistance en compression c'est la caractérisation de base du béton durci. Cette résistance est déterminée suivant la norme européenne NF EN 12390-3. La résistance à 28 jours après un mûrissement à l'eau sert en général de référence.

La liaison entre la pâte durcie et les granulats qu'elle enrobe conditionne également la résistance mécanique du béton. Une bonne résistance à la compression est la performance bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette résistance dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier le type et le dosage du ciment, le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment. [4]

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons traité l'essentiel des éléments qui nous concerne dans cette étude en l'occurrence les constituants élémentaires pour la réalisation du béton, la propriété mécanique (compression). Ainsi que la méthode de formulation étudiée.

Chapitre II

Caractérisation des matériaux étudiés et méthodes d'essais

II.1 Introduction :

La qualité et le comportement mécanique du béton est le résultat d'une interaction complexe entre ses divers constituants, l'emploi judicieux de ses matériaux dans la construction exige la connaissance de leurs diverses propriétés : physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, et qui permet de faire un choix répondant à leur destination. Par ailleurs, il est essentiel que ces matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes et la détermination des dosages optimaux. Ainsi que l'illustration des certaines interprétations ne pourraient être possibles que si les différents constituants sont bien caractérisés [7].

Dans ce chapitre nous étudions les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition du béton (le ciment, les granulats, l'eau et l'adjuvant) à savoir : la granulométrie, la masse volumique, l'équivalent de sable et autres propriétés physiques, ainsi que l'essai mécanique sur le béton.

Les essais ont été effectués au sein du laboratoire géotechnique de construction et routes « Sedira » d'El-oued (LGCR).

II.2 Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration de certaine interprétation ne pourraient être possibles que si les différents constituants sont bien caractérisés.

II.2.1 Le sable :

Dans notre étude on distingue deux types de sable, sable 0/5 DJAMAA (JAUNE) et sable de Dunes, substitué par le sable de construction avec des pourcentages 5%,10%,20%,30% et 35%.



Figure II.1 : Différents types de sable utilisés.

II.2.1.1 Analyse granulométrique du sable (la norme NF P 18 -560) :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage, c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant l'échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

II.2.1.1.a But de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- En déduire le Module de finesse (**Mf**).

II.2.1.1.b Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

II.2.1.1.c Matériel nécessaire :

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé

d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure 2).

La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.



Figure II.2 : Série des tamis.

Les valeurs de l'analyse granulométrique des sables utilisés dans notre étude sont exprimées dans les tableaux suivants :

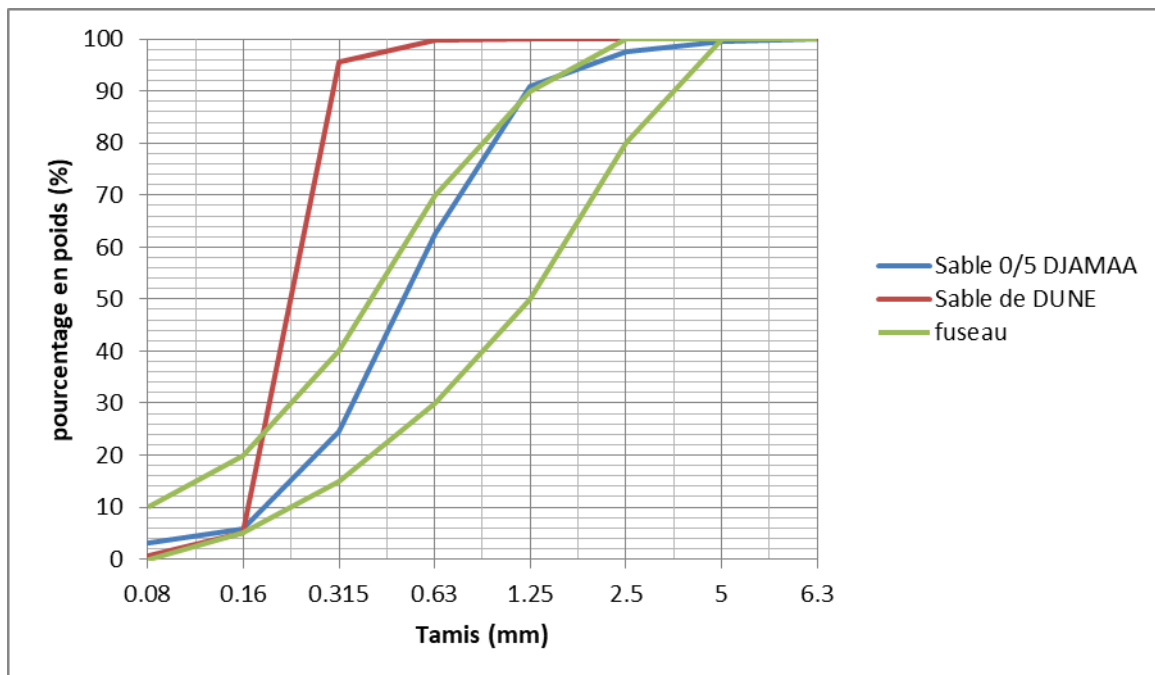
Sable 0/5 DJAMAA (JAUNE) :

Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable 0/5 DJAMAA.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	5	5	0,5	99,5
2.5	20	25	2,5	97,5
1.25	65	90	9	91
0.63	285,5	375,5	37,55	62,45
0.315	379,8	755,3	75,53	24,47
0.16	187,5	942,8	94,28	5,72
0.08	26,7	969,5	96,95	3,05

Sable de DUNE :**Tableau II.2 :** Analyse granulométrique du sable de DUNE.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.63	3	3	0,3	99,7
0.315	40,6	43,6	4,36	95,64
0.16	905	948,6	94,86	5,14
0.08	45,6	994,2	99,42	0,58

**Figure II.3 :** Courbe granulométrique du sable utilisé.

Le sable mélange :**Tableau II.3 :** Analyse granulométrique du 95% sable 0/5 DJAMAA + 05% sable de DUNE.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	4,75	4,75	0,475	99,525
2.5	19	23,75	2,375	97,625
1.25	61,75	85,5	8,55	91,45
0.63	271,375	356,875	35,6875	64,3125
0.315	362,84	719,715	71,9715	28,0285
0.16	223,375	943,09	94,309	5,691
0.08	27,645	970,735	97,0735	2,9265

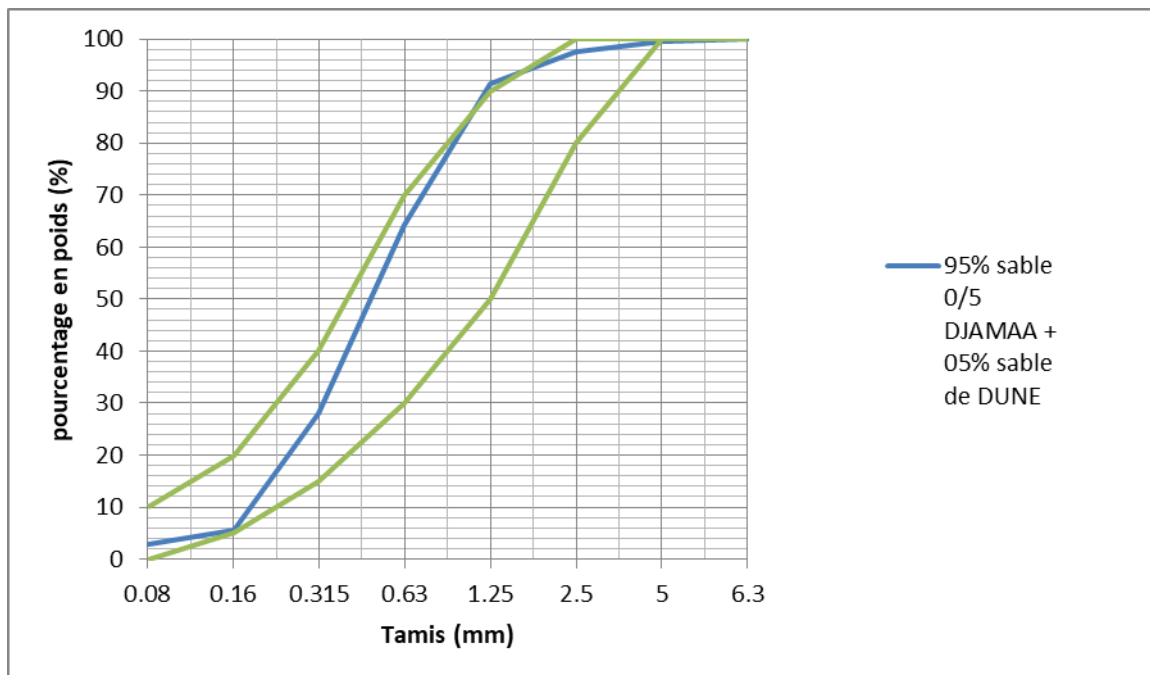
**Figure II.4 :** Courbe granulométrique du sable mélange (95% SDJ + 5% SD).

Tableau II.4 : Analyse granulométrique de 90% sable 0/5 DJAMAA + 10% sable de DUNE.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	4,5	4,5	0,45	99,55
2.5	18	22,5	2,25	97,75
1.25	58,5	81	8,10	91,9
0.63	257,25	338,25	33,83	66,18
0.315	345,88	684,13	68,41	31,59
0.16	259,25	943,38	94,34	5,66
0.08	28,59	971,97	97,20	2,80

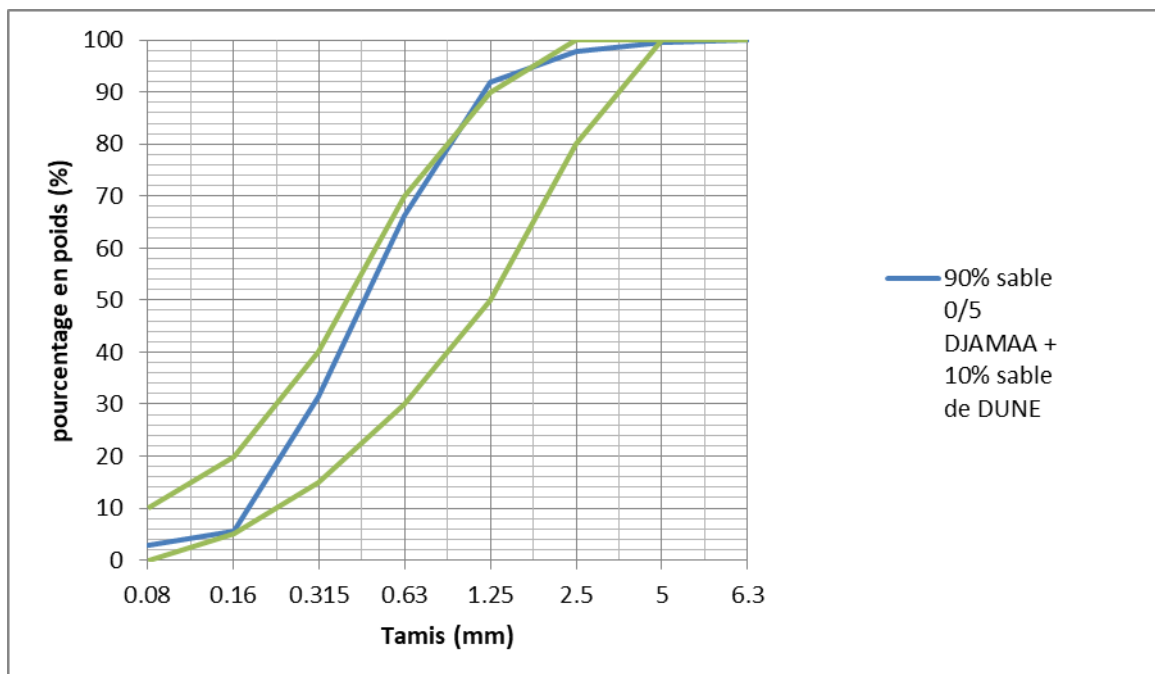
**Figure II.5 :** Courbe granulométrique du sable mélange (90% SDJ + 10% SD).

Tableau II.5 : Analyse granulométrique du 80% sable 0/5 DJAMAA + 20% sable de DUNE.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	4	4	0,4	99,6
2.5	16	20	2	98
1.25	52	72	7,2	92,8
0.63	229	301	30,1	69,9
0.315	311,96	612,96	61,30	38,70
0.16	331	943,96	94,40	5,60
0.08	30,48	974,44	97,44	2,56

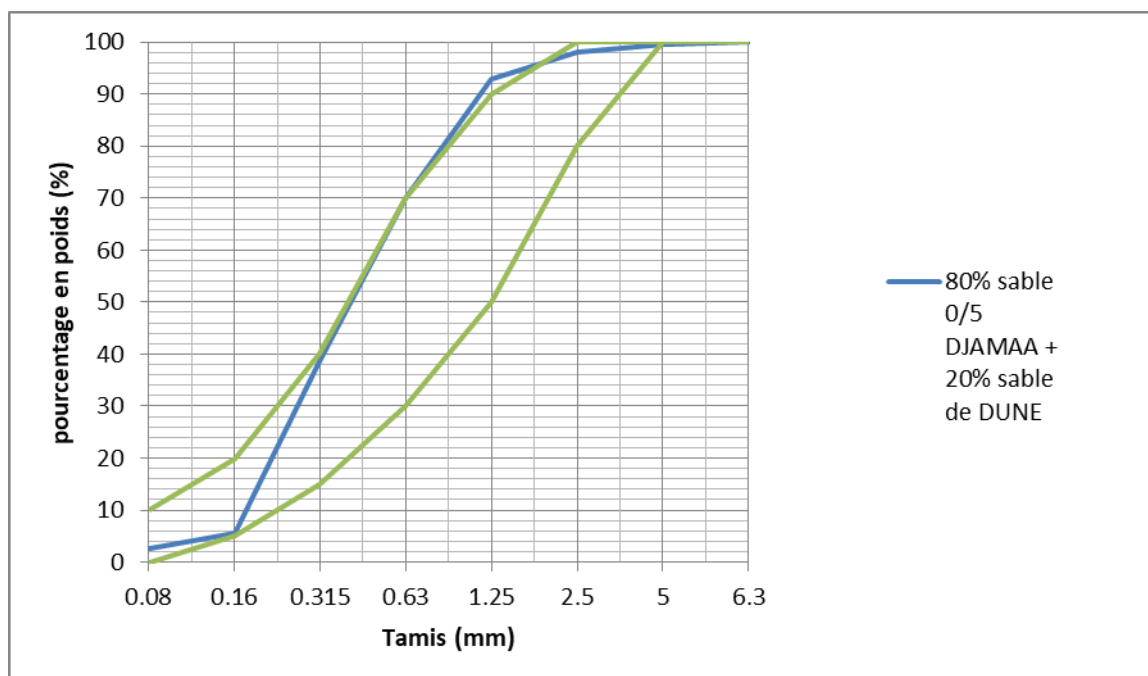
**Figure II.6 :** Courbe granulométrique du sable mélange (80% SDJ + 20% SD).

Tableau II.6 : Analyse granulométrique du 70% sable 0/5 DJAMAA + 30% sable de DUNE.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	3,5	3,5	0,35	99,65
2.5	14	17,5	1,75	98,25
1.25	45,5	63	6,3	93,7
0.63	200,75	263,75	26,375	73,625
0.315	278,04	541,79	54,18	45,82
0.16	402,75	944,54	94,45	5,55
0.08	32,37	976,91	97,69	2,31

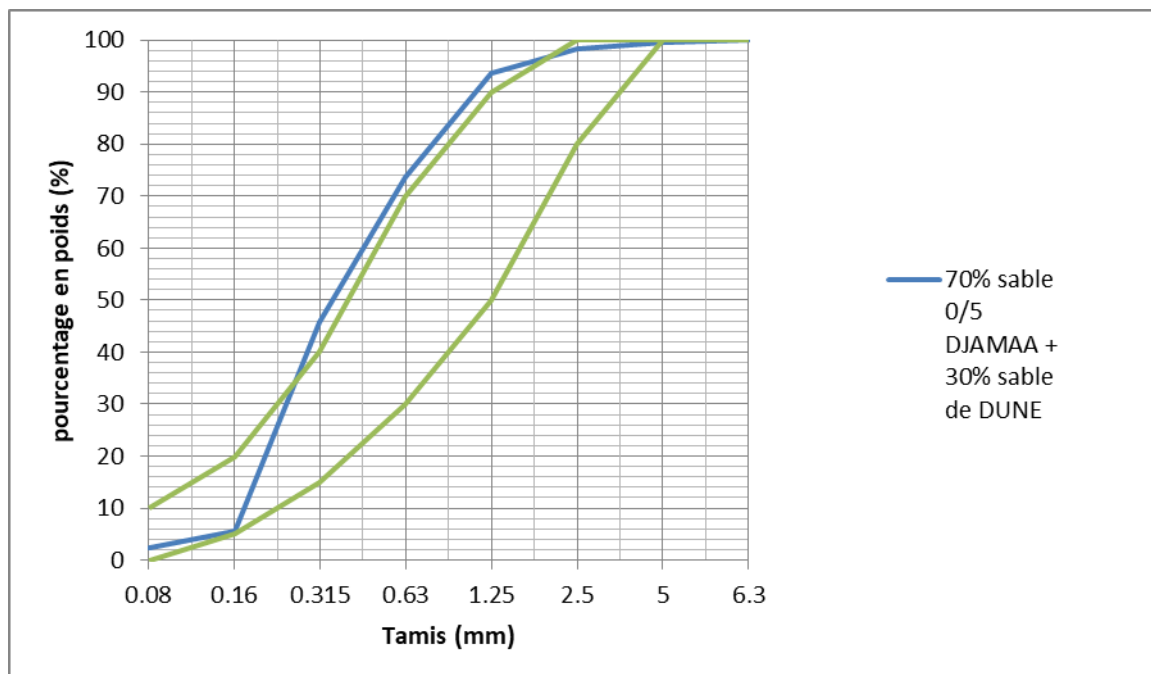
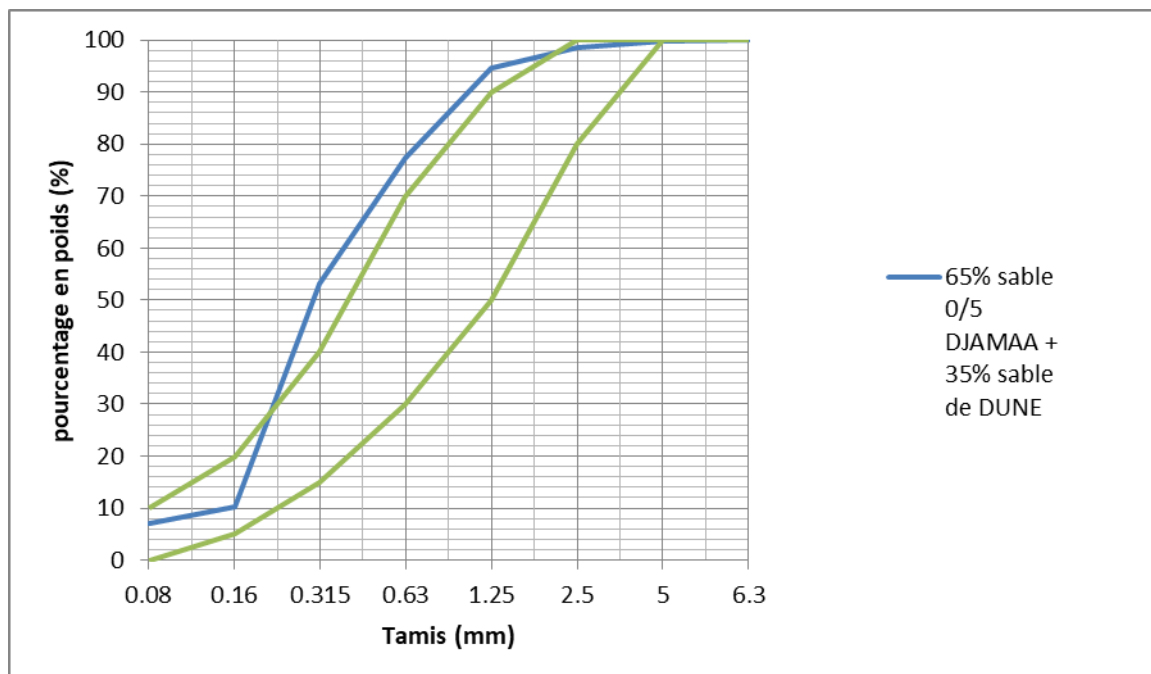
**Figure II.7 :** Courbe granulométrique du sable mélange (70% SDJ + 30% SD).

Tableau II.7 : Analyse granulométrique du 65% sable 0/5 DJAMAA + 35% sable de DUNE.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0		0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	0	0	0	100
14	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	0	0	0	100
5	3	3	0,3	99,7
2.5	12	15	1,5	98,5
1.25	39	54	5,4	94,6
0.63	172,35	226,35	22,64	77,365
0.315	242,09	468,44	46,84	53,156
0.16	429,25	897,69	89,77	10,231
0.08	31,98	929,67	92,97	7,033

**Figure II.8 :** Courbe granulométrique du sable mélange (65% SDJ + 35% SD).

II.2.1.2 Module de finesse(Mf) :

Ce paramètre est utilisé pour caractériser la finesse des sables à béton suivant la norme (NF P18-540).

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 demande une augmentation du dosage en eau, et au-dessus, le sable manque de finesse et le béton y perd en ouvrabilité.

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.

$$M_f = \frac{\sum RC}{100}$$

Rc: refus cumulé en (%) sous les tamis de module 23 à 38(0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 et 5).

Les valeurs de le module de finesse des sables utilisés dans notre étude sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Résultats modules de finesse des sables étudiés.

Type de sable	SDJ	SD	Sm_1	Sm_2	Sm_3	Sm_4	Sm_5
Module de finesse	2.19	0.99	2.13	2.07	1.95	1.83	1.77

II.2.1.3 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598) :

L'essai de l'équivalent de sable permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

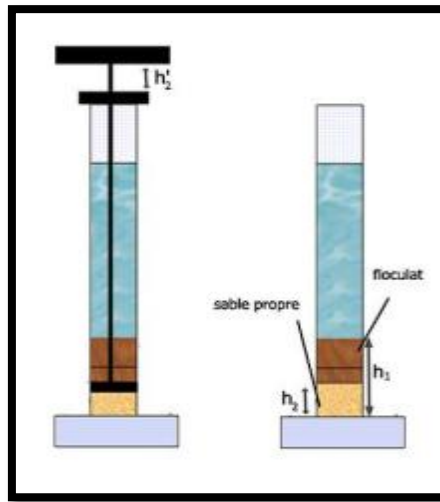


Figure II.9 : Schéma de principe de l'équivalent de sable.

II.2.1.3.a But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

II.2.1.3.b Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h_1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur h_2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent du sable qui, par convention est :

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

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESv (équivalent de sable visuel) ou ES_p (équivalent de sable au piston)



Figure II.10 : Essai de détermination de l'équivalent de sable.

Tableau II.9 : Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature et la qualité du sable.

ES visuel	ES piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%		Sable argileux risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
$65\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ES \geq 85\%$	$ES \geq 80\%$	Sable très propre. l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Les valeurs de ES du sable utilisé dans notre étude sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.10 : Résultat d'essai de l'équivalent de sable.

Type de sable	SDJ	SD	Sm ₁	Sm ₂	Sm ₃	Sm ₄	Sm ₅
ES%	79.8	92.7	81	82	83.5	85	86
Nature et qualité du sable	Sable très propre. l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.						

II.2.1.4 La masse volumique absolue (la norme NF P 18 -555) :

La masse volumique absolue γ_{abs} est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre γ_{abs} avec la masse volumique γ qui est la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .



Figure II.11 : Essai de détermination de la masse volumique absolue du sable utilisé.

II .2.1.4.a 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 compression de béton. 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.

II .2.1.4.b Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume d'eau (Niveau N1).
- Peser un échantillon sec M_s de granulats (environ 100g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume (Niveau N2).

La masse volumique est alors :

$$\gamma_{abs} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

γ_{abs} : Masse volumique absolue ;

M_s : Masse des grains solides ;

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (grains solide + eau).

II.2.1.5 La masse volumique apparente (la norme NF P 18 -555) :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\gamma_{app} = \frac{M}{V}$$

γ_{app} : Masse volumique apparente ;

M : Masse de l'échantillon ;

V : Volume de l'échantillon.



Figure II.12 : Essai de détermination de la masse volumique apparente du sables utilisé.

Les valeurs des masses volumiques apparentes et absolues du sable utilisé dans notre étude sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau II.11 : Résultat de la masse volumique absolue et apparente du sables.

Type de sable	SDJ	SD	Sm ₁	Sm ₂	Sm ₃	Sm ₄	Sm ₅
Masse volumique absolue γ_{abs} (g/cm ³)	2.5	2.66	2.508	2.516	2.532	2.548	2.556
Masse volumique apparente γ_{app} (g/cm ³)	1.60	1.56	1.598	1.596	1.592	1.588	1.586

II.2.2 Le gravie :

Dans notre étude, on a utilisé des pierres concassées de fraction 8/15 et 15/25 de la région d'AIN-TOUTA.

**Figure II.13** : Différents types de gravier utilisé.

II.2.2.1 Analyse granulométrique du gravier : (la norme NF P 18 -560) :

Les résultats de l'analyse granulométrique des graviers sont exprimés dans les tableaux suivants :

Tableau II.12 : Analyse granulométrique du gravier 15/25.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0	0	0	100
31.5	0	0	0	100
25	0	0	0	100
20	590	590	11,8	88,2
16	2015	2605	52,1	47,9
14	1425	4030	80,6	19,4
12.5	630	4660	93,2	6,8
10	210	4870	97,4	2,6
8	85	4955	99,1	0,9
6.3	30	4985	99,7	0,3
5	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0
1.25	0	0	0	0
0.63	0	0	0	0
0.315	0	0	0	0
0.16	0	0	0	0
0.08	0	0	0	0

Tableau II.13 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.

TAMIS	REFUS PARTIEL	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
40	0	0	0	100
31.5	0		0	100
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	50	50	1	99
14	390	440	8,8	91,2
12.5	865	1305	26,1	73,9
10	1620	2925	58,5	41,5
8	1345	4270	85,4	14,6
6.3	575	4845	96,9	3,1
5	120	4965	99,3	0,7
2.5	5	4970	99,4	0,6
1.25	0	0	0	0
0.63	0	0	0	0
0.315	0	0	0	0
0.16	0	0	0	0
0.08	0	0	0	0

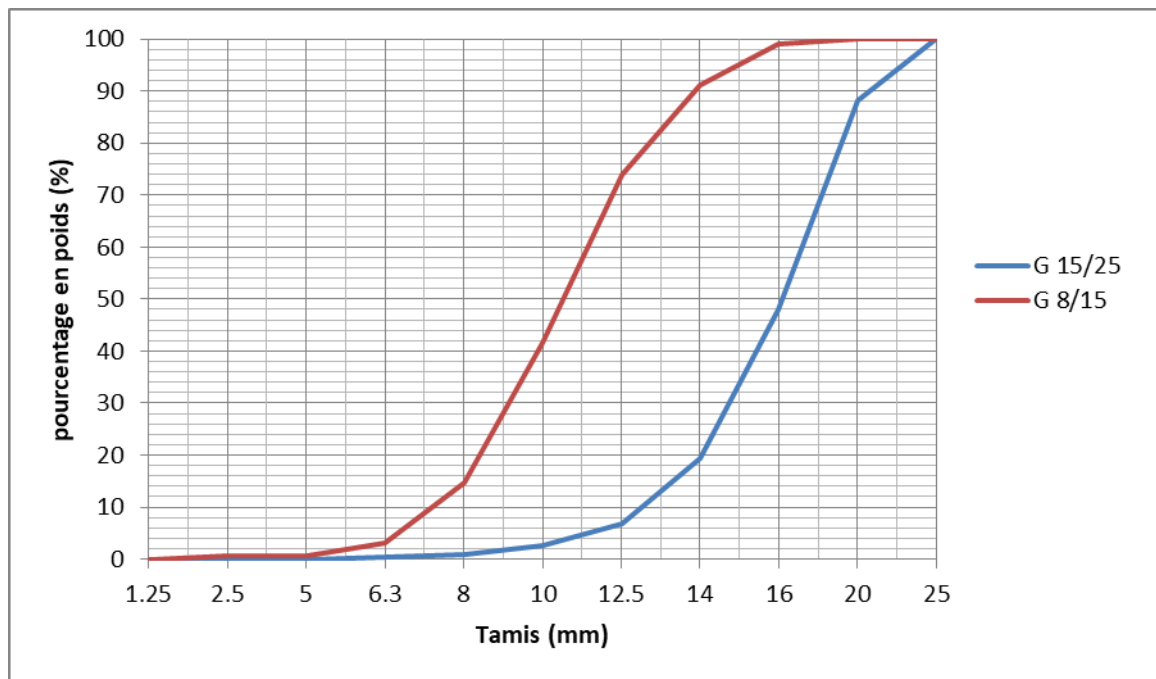


Figure II.14 : Courbe granulométrique du gravier utilisé.

II.2.2.2 Absorption d'eau (NF P 18-555) :

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24 heures à 22 °C à la masse sèche de l'échantillon, conformément à la norme NF P 18-555.

On prend 2000 g des trois classes de graviers (8/15) (15/25). Les résultats de cet essai sur les granulats utilisés sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau II.14 : Absorption d'eau des granulats utilisés.

Type de gravie	G 8/15	G 15/25
P (%)	0.20	0.26

II.2.2.3 Masse volumique absolue et apparente (la norme NF P 18 -555):



Figure II.15 : Essai de détermination de la masse volumique apparente et absolue du gravies utilisé.

Les valeurs de masses volumiques apparentes et absolues du gravie utilisé dans notre étude sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau II.15 : Résultat de la masse volumique absolue et apparente du graviers.

Type de gravie	G 15/25	G 8/15
Masse volumique absolue γ_{abs} (g/cm ³)	2.22	2.35
Masse volumique apparente γ_{app} (g/cm ³)	1.44	1.46

II.2.2.4 Los Angeles (la norme NF P 18 -573) :

II.2.2.4.a Définition et But de l'essai :

L'essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement. Le matériau évolue pendant l'essai, d'une part par suite du choc des boulets sur le granulat (rupture fragile des éléments), d'autre part par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine et sur les boulets.

$$LA = 100 \times \frac{m}{M}$$

M : masse de l'échantillon 5000 g.

m : masse du tamisât au tamis de 1,6 mm.



Figure II.16 : L'appareil de Los Angeles et les boules.

II.2.2.4.b Principe :

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi six granularités-types, de la classe granulaire 4/6,3 mm – 6,3/10 mm – 10/14 mm – 10/25 mm – 16/31,5 mm et 25/50 mm, se rapprochant au mieux de la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre. Le poids de la charge de boulets varie en fonction du type de granularité.

Tableau II.16 : Nombre des boulets et poids total de la charge correspondant à chaque classe granulaire.

Classes granulaires (mm)	fractions	Nombre de boulets	Poids total de la charge (g)	Poids de fractions (g)
4-6.3		7	3080±20	5000±2
6.3-10		9	3960±25	5000±2
10-14		11	4840±25	5000±2
10-25	10-16	11	4840±25	3000
	16-25	11	4840±25	2000
16-31.5	16-25	12	5280±25	2000
	25-31.5	12	5280±25	3000
25-50	25-40	12	5280±25	3000
	40-50	12	5280±25	2000

Tableau II.17 : Caractéristique de l'essai Los Angeles pour chaque classe granulaire.

Valeur repères	
Coefficient Los Angeles	Appréciation
<15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à moyen
25 à 40	Moyen à faible
>40	médiocre

Les valeurs de Los Angeles du gravier utilisé dans notre étude sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau II.18 : Résultat de Los Angeles du gravier.

Type de gravier	G 15/25	G 8/15
Los Angeles (%)	22	23

Donc le gravillon est classé comme un matériau bon.

II.2.3 Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II /B-L 42.5N disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie (MATINE).

**Figure II.17** : Sac de 50kg de ciment CPJ utilisé.

II.2.3.1 Caractéristiques chimiques :

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage massique dans le tableau suivant [NA 5042] :

Tableau II.19 : L'analyse chimique du ciment.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PAF
18.88	4.36	3.10	62.23	1.43	2.70	0.28	0.58	6.50

II.2.3.2 Caractéristiques mécaniques :

Le tableau suivant résume certaines caractéristiques mécaniques du ciment utilisé.

Tableau II.20 : Caractéristiques mécaniques du ciment utilisé.

Propriétés physiques et mécaniques	CPJ-CEM II /B-L
Début de prise (min) [NA 230]	200
Fin de prise (min) [NA 230]	245
R _{C28} (MPa) [NA 234]	≥42.5
R _{t28} (MPa) [NA 234]	4.3

II.2.3.3 Caractéristiques physiques :

La densité : 3100 kg/m³

Consistance normale de la pâte de ciment (%) : 25 - 28.50

Finesse suivant la méthode de Blaine [NA 231] (cm²/g) : 4200

Retrait à 28 jours (µm/m) : <1000.

Expansion (mm) : 1mm [NA 230].

II.2.4 L'eau de gâchage :

C'est l'eau de robinet de laboratoire géotechnique de construction et routes (LGCR). De la nappe (cité belle vue El-oued).

Les résultats d'analyse chimique d'eau utilisés dans notre mélange sont exprimés dans le tableau suivant [8] :

Tableau II.21 : Analyse chimique de l'eau de gâchage.

PH	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	So ₄ ²⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
7.51	713.5	72.6	629.2	41	1495	2.51	713.5	121.74	12.51

II.2.5 L'adjuvant :

L'adjuvant utilisé dans notre étude est un plastifiant –réducteur d'eau à fonction super plastifiant de nouvelle génération, à base de poly-carboxylate modifié particulièrement recommandé pour le béton prêt à l'emploi et les chantiers de génie civil. Compatible avec la majorité des ciments.

Le nom commercial de l'adjuvant utilisé est CHRYSO[®] Fluid Optima 220 (Annexe), ses caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.22 : Caractéristiques de l'adjuvant utilisé.

Nature	Couleur	Densité	PH	Extrait sec (halogène)	Extrait sec (EN 480-8)	Teneur en Na ₂ O équivalent	Teneur en ions Cl ⁻
liquide	brun	1,050 ± 0,020	5,00 ± 1,00	21,60 % ± 1,00 %	21,80 % ± 1,00 %	≤ 1,00 %	≤ 0,10 %

II.3 Formulation de béton :

Le béton témoin formulé est un mélange ordinaire préparé à partir de sable de DJAMAA et deux classes de graviers ; 8/15 et 15/25 de AIN TOUTA, de ciment CPJ CEM II /B-L 42.5N et l'eau, et un dosage de 1.48% de plastifiant, la méthode de composition utilisée est la méthode FAURY. Relative à E/C = 0,48% et C = 350 kg/m³.

II.3.1 Principe :

Dans cette partie on explique le mode de travail de notre étude, après la détermination des quantités des composants de chaque mélange pour un mètre cube de béton, on doit transférer les quantités pour un volume d'éprouvette de (16x32cm).

Les compositions de chaque mélange réalisé :

Béton témoin : 100% SDJ + deux classes de gravier + ciment MATINE + eau + adjuvant.

Composition 1 : 95% SDJ + 5% SD + deux classes de gravier + ciment MATINE + eau + adjuvant.

Composition 2 : 90% SDJ + 10% SD + deux classes de gravier + ciment MATINE + eau + adjuvant.

Composition 3 : 80% SDJ + 20% SD + deux classes de gravier + ciment MATINE + eau + adjuvant.

Composition 4 : 70% SDJ + 30% SD + deux classe de gravier + ciment MATINE + eau + adjuvant.

Composition 5 : 65% SDJ + 35% SD + deux classes de gravier + ciment MATINE + eau + adjuvant.

II.3.2 Calcul approché de la formulation :

$$D_{\max} = 21.17\text{mm}, \quad \frac{D_{\max}}{2} = 10.58\text{mm}.$$

$$Y \frac{D_{\max}}{2} = 60.28\text{mm}.$$

Alors les trois points ont les coordonnées suivants : [0.0065, 1] ; [10.58, 60.28] ; [21.17, 100%].

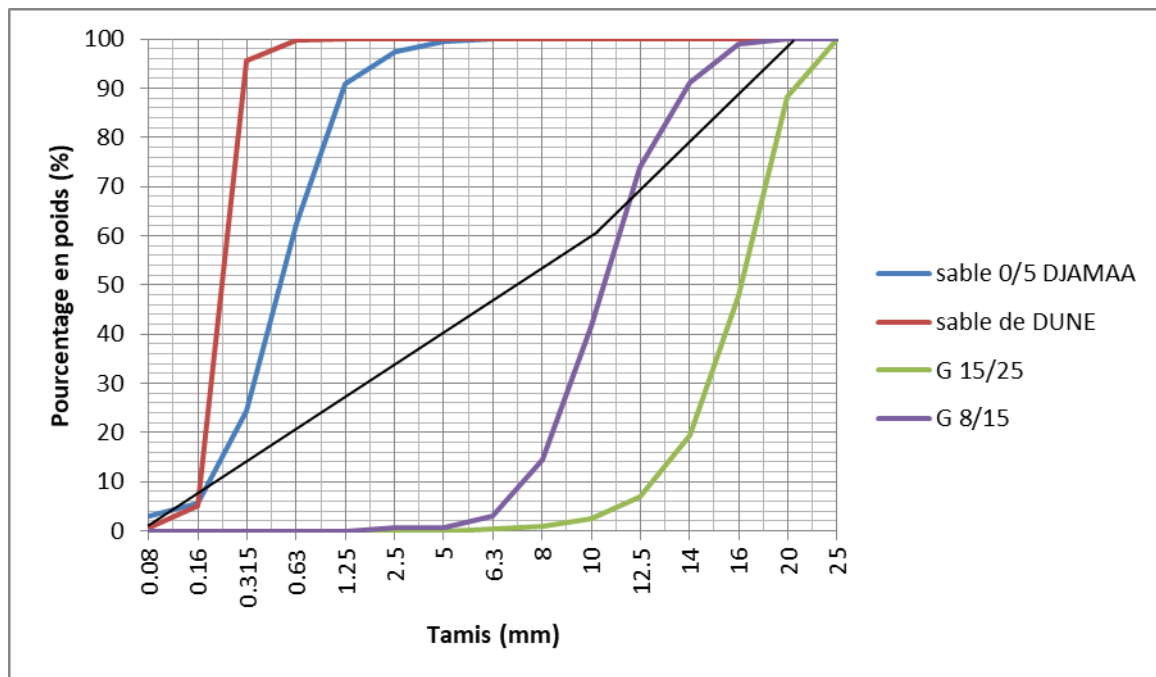


Figure II.18 : La courbe granulaire de FUARY.

- ✓ La quantité d'eau : E=168 l
- ✓ Détermination des éléments secs

Éléments secs 1000- E= 1000-168= 832 l

Pour notre cas on a choisi le dosage du ciment à 350Kg, sa densité égale à 3100 kg/m^3 .

Donc le volume du ciment dans un mètre cube de béton égal à $\frac{350}{3.1} = 112.6 \text{ l}$.

Alors le pourcentage du ciment égal à $\frac{112.9}{832} \times 1000 = 13.57\%$.

✓ Les pourcentages

-D'après les graphes on obtient

-Le pourcentage du sable =38.43%

-Le pourcentage du gravier (8/15)= 24%

-Le pourcentage du gravier (15/25)= 24%

✓ Alors la composition d'un mètre cube de béton en volume égal à :

Sable = $38.43\% \times 832 = 319.74 \text{ l}$

Gravier (8/15)= $24\% \times 832 = 199.68 \text{ l}$

Gravier (15/25)= $24\% \times 832 = 199.68 \text{ l}$

Eau=165.5 l

Adjuvant= 2.5 l

✓ La composition en masse :

la masse en kg = le volume en litre $\times$ la densité absolue

Sable= $319.74 \times 2.5 = 799.35 \text{ kg}$

Gravier (8/15)= $199.68 \times 2.35 = 469.248 \text{ kg}$

Gravier (15/25)= $199.68 \times 2.22 = 443.289 \text{ kg}$

Ciment= 350 kg

Eau= 168 kg

Adjuvant= 2.62 kg

II.3.3 Etude du mélange :

L'étude de composition de béton consiste à définir les quantités des différents constituants: graviers, sable, ciment ainsi que la quantité d'eau et les adjuvants, afin de réaliser un béton de quantité.

A partir de la courbe granulométrique de la composition qu'on a tracé à l'aide de la méthode FAURY, on a commencé à extraire les dosages des constituants de composition. Les dosages obtenus pour 1m^3 de béton sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.23 : Les dosages de béton dans 1 m^3 de composition.

composants	Pourcentage	Volume	Poids en
		absolue	Kg
HYDROFUGE		2,5	2.62
EAU		165.5	168
CIMENT	13,57%	112,90	350
GRAVIER 15/25	24%	199,68	443.289
GRAVIER 8/15	24%	199,68	469.248
SABLE 0/5	38,43%	319,74	799.35
TOTAL	100%	1000.00	2 232,507

Notre projet consiste aux essais de la compression par des moules cylindriques pour cela nous allons faire sortir les calculs d'une éprouvette cylindrique de (16/32cm) le béton témoin. À partir du dosage des composants d'un 1m^3 de béton. Les résultats trouvés sont effectués dans le tableau suivant :

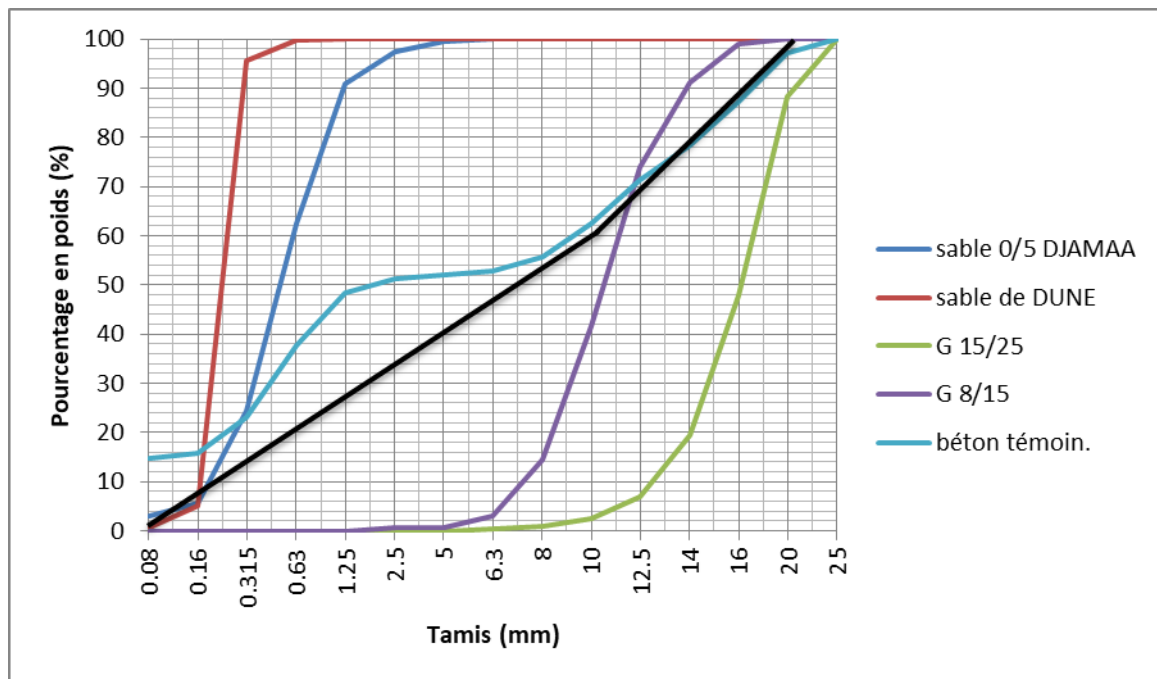


Figure II.19 : Courbe granulométrique de béton témoin.

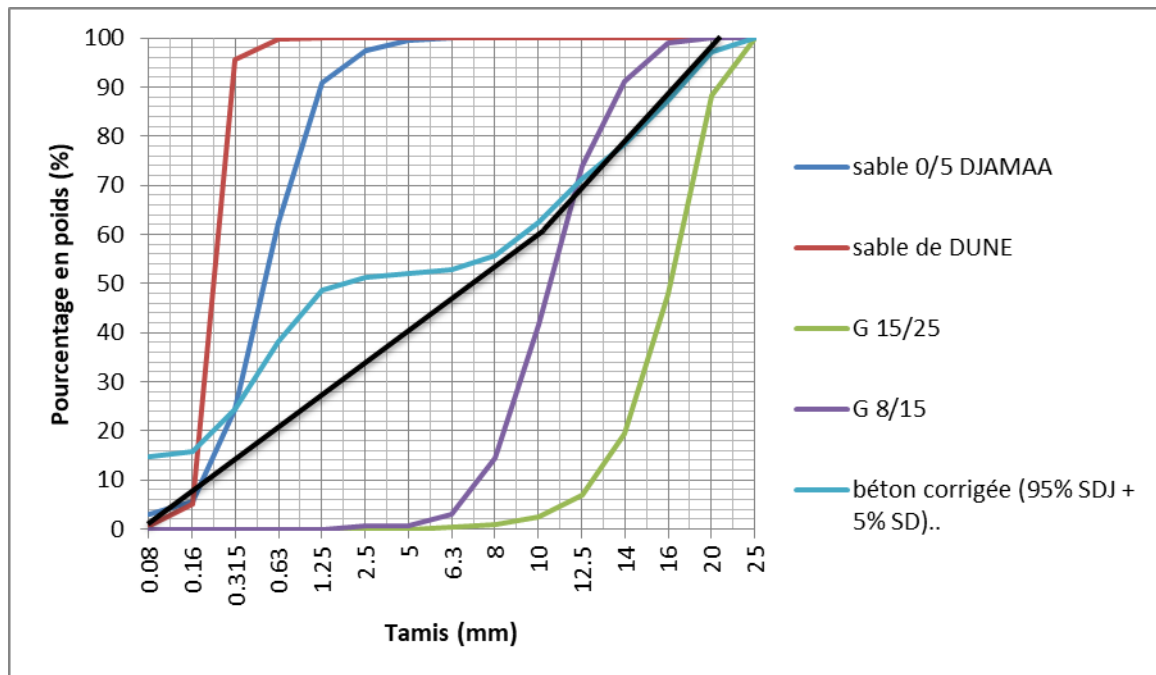
Tableau II.24 : Les résultats de dosage des constituants pour le béton témoin.

Composition du béton à 100% sable 0/5 DJAMAA	
Compositions	Les masses (kg) pour 3 éprouvettes
HYDROFUGE	0.0655
EAU	4.2
CIMENT	8.75
GRAVIER 15/25	11.08
GRAVIER 8/15	11.73
SABLE 0/5	19.98

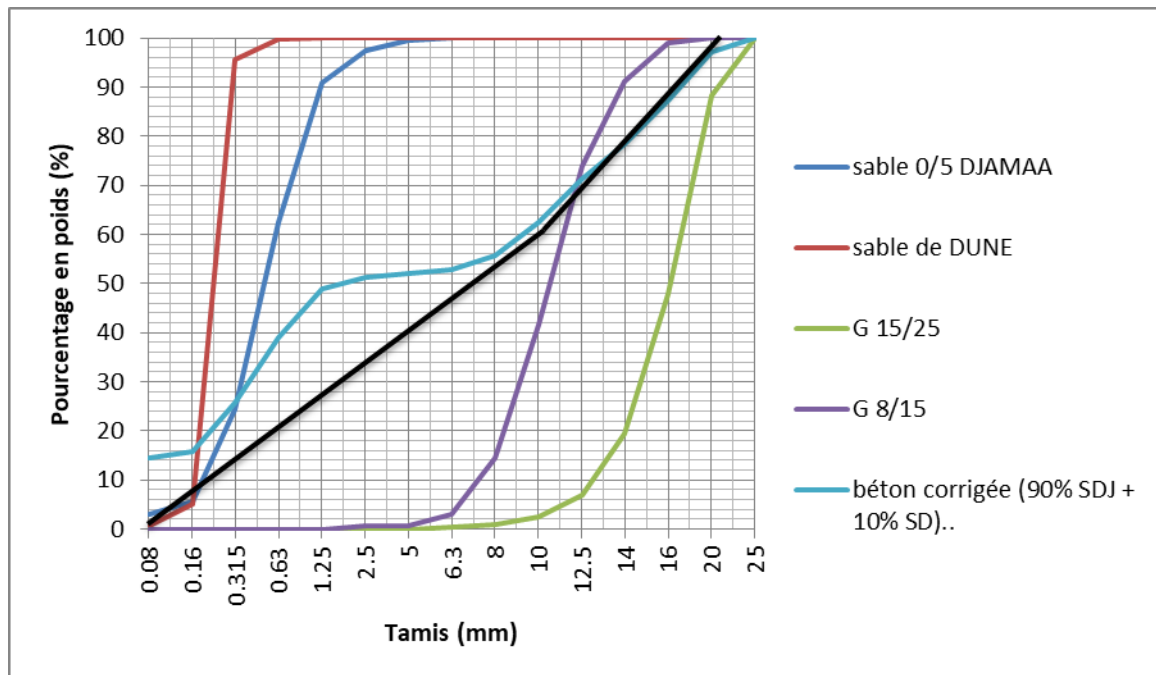
II.3.4 Compositions corrigées :

Après l'obtention de la formulation du béton de 100% sable 0/5 DJAMAA, nous avons corrigé cette dernière par le sable de dune.

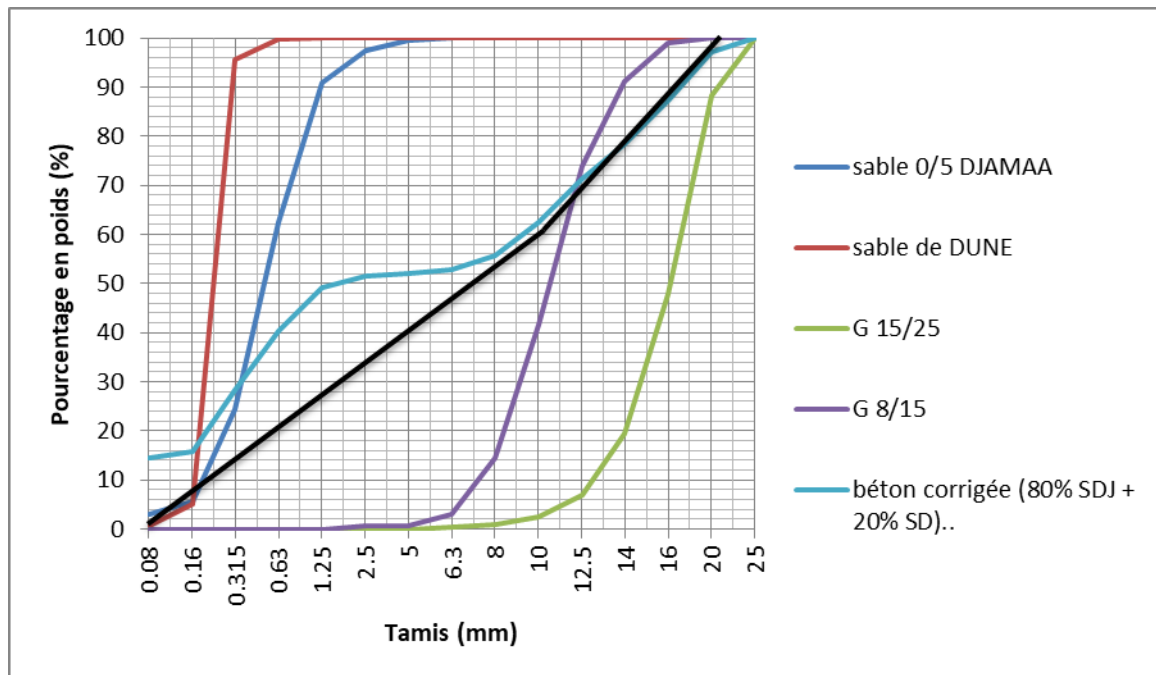
Dans cette partie de l'étude, nous avons réalisé deux autres types de mélange, de la même composition, mais qui se diffèrent dans la quantité de sable de dune et sable 0/5 DJAMAA :

Composition 1 :**Figure II.20 :** Courbe granulométrique du composition corrigée (95% SDJ + 5% SD).**Tableau II.25 :** Les résultats de dosage des constituants pour la composition 1.

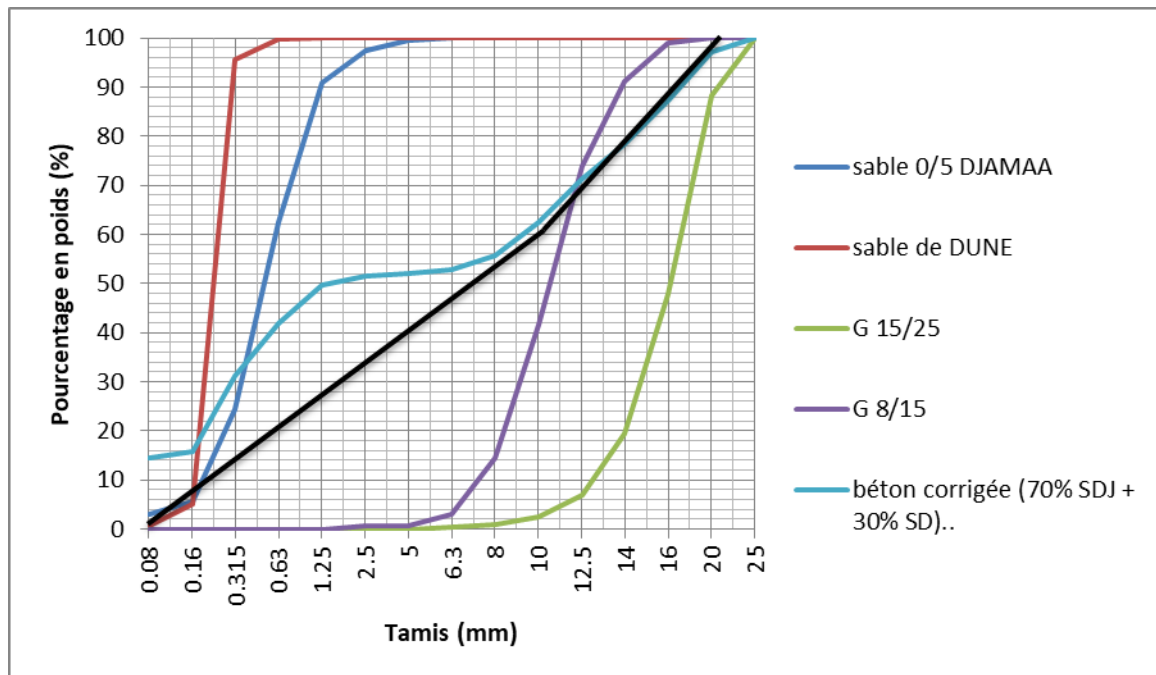
Composition du béton à 95% SDJ + 5% SD	
Compositions	Les masses (kg) pour 3 éprouvettes
HYDROFUGE	0.0655
EAU	4.2
CIMENT	8.75
GRAVIER 15/25	11.08
GRAVIER 8/15	11.73
SABLE 0/5	18.98
SABLE DE DUNE	0.99

Composition 2 :**Figure II.21 :** Courbe granulométrique de la composition corrigée (90% SDJ + 10% SD).**Tableau II.26 :** Les résultats de dosage des constituants pour la composition 2.

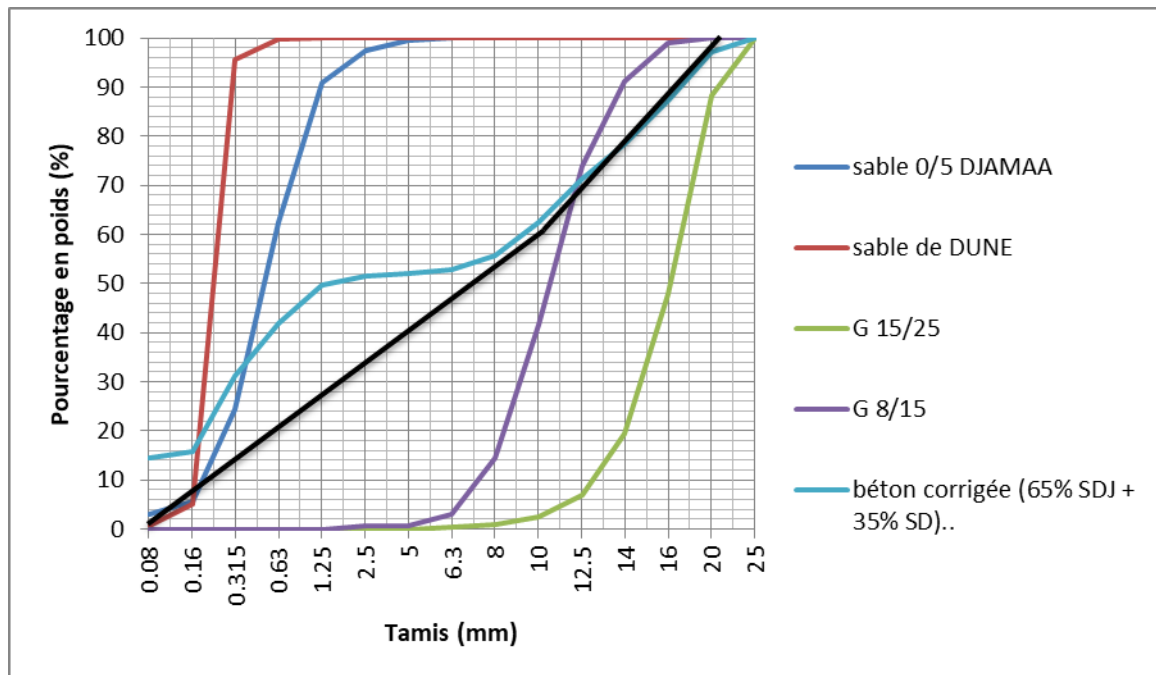
Composition du béton à 90% SDJ + 10% SD	
Compositions	Les masses (kg) pour 3 éprouvettes
HYDROFUGE	0.0655
EAU	4.2
CIMENT	8.75
GRAVIER 15/25	11.08
GRAVIER 8/15	11.73
SABLE 0/5	17.98
SABLE DE DUNE	1.99

Composition 3 :**Figure II.22 :** Courbe granulométrique de la composition corrigée (80% SDJ + 20% SD).**Tableau II.27 :** Les résultats de dosage des constituants pour la composition 3.

Composition du béton à 80% SDJ + 20% SD	
Compositions	Les masses (kg) pour 3 éprouvettes
HYDROFUGE	0.0655
EAU	4.2
CIMENT	8.75
GRAVIER 15/25	11.08
GRAVIER 8/15	11.73
SABLE 0/5	15.99
SABLE DE DUNE	3.99

Composition 4 :**Figure II.23 :** Courbe granulométrique de la composition corrigée (70% SDJ + 30% SD).**Tableau II.28 :** Les résultats de dosage des constituants pour la composition 4.

Composition du béton à 70% SDJ + 30% SD	
Compositions	Les masses (kg) pour 3 éprouvettes
HYDROFUGE	0.0655
EAU	4.2
CIMENT	8.75
GRAVIER 15/25	11.08
GRAVIER 8/15	11.73
SABLE 0/5	13.99
SABLE DE DUNE	5.99

Composition 5 :**Figure II.24 :** Courbe granulométrique de la composition corrigée (65% SDJ + 35% SD).**Tableau II.29 :** Les résultats de dosage des constituants pour la composition 5.

Composition du béton à 65% SDJ + 35% SD	
Compositions	Les masses (kg) pour 3 éprouvettes
HYDROFUGE	0.0655
EAU	4.2
CIMENT	8.75
GRAVIER 15/25	11.08
GRAVIER 8/15	11.73
SABLE 0/5	12.99
SABLE DE DUNE	6.99

II.4 Affaissement au cône d'Abrams :

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams (figure 26) est décrit dans la norme NF P18-451. Il est facile à réaliser et couramment utilisé.

Cet essai a pour but de mesurer la consistance du béton et son ouvrabilité. Le moule tronconique ($D = 20 \text{ cm}$, $d = 10 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$), étant légèrement huilé et fixé sur la plaque d'appui, on le remplit en trois couches d'égale hauteur, mises en place par piquage à raison de 25 coups par couche à l'aide de la tige de piquage. Après le cône est arasé bien nivellement au supérieur, finalement on le lève immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler, la mesure exprimée en cm, est réalisée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage.



Figure II.25 : Mesure d'affaissement



Figure II.26 : Mise en place.

II.5 Confection des éprouvettes en béton NF P-18 404 :

Le moule utilisé pour la confection des éprouvettes, est un moule normalisé en acier en forme cylindrique ($16 \times 32 \text{ cm}$).

II.5.1 Mise en place :

Le béton est mis en œuvre et serré à refus en trois couches pour les cylindres $16/32 \text{ cm}$, les moules sont huilés et fixés, on le remplit en d'égale hauteur, mises en place par piquage à raison de 25 coups par couche à l'aide de la tige de piquage, ou vibré avec une table vibrante. L'opération de finition a été effectuée à l'aide d'une règle à araser.



Figure II.27 : Mise en place des éprouvettes.

II.5.2 Conservation avant démoulage :

Just après le remplissage des moules, on a stocké dans l'ambiance du laboratoire, le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué 24h après le coulage.



Figure II.28 : Conservation du béton au niveau de laboratoire.

II.5.3 Conservation après démoulage :

Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées à la même température, sous l'eau pendant 28jours.

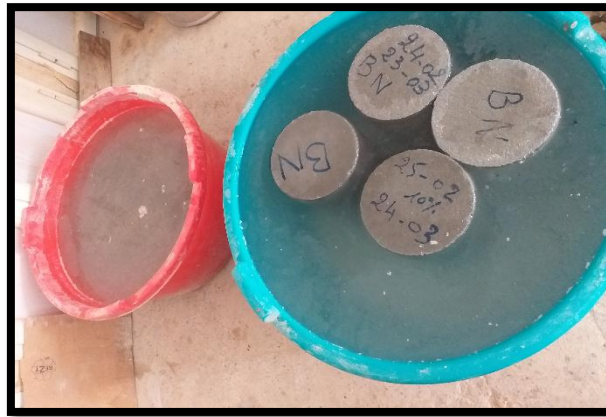


Figure II.29 : Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau.

II.6 Essai de résistance à la compression :

La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Le béton est un matériau qui travaille bien en compression. La connaissance de ses propriétés mécanique est donc indispensable pour le dimensionnement et le calcul des ouvrages.

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.



Figure II.30 : Eprouvettes cylindriques.



Figure II.31 : Machine d'essai de compression.

II.6.1 Machine d'essai de compression manuel:

Construction mécano-soudée rigide en acier. la charge maximale :1500 KN. Course du piston : 50 mm. Energie élastique :1922 J

II.7 Conclusion :

Nous avons montré dans ce chapitre une caractérisation sur les matériaux utilisés dans notre projet, ainsi que les procédures expérimentales qui vont nous permettre d'analyser nos résultats afin d'évaluer l'influence de la méthode de formulation du béton sur sa résistance à la compression.

Chapitre III Résultats et Discussions

III.1 Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les courbes granulaires obtenues par les matériaux utilisés, comme les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode FAURY, en différents coefficients granulaires.

III.2 Les courbes d'analyse granulométrique :

Les résultats obtenus par le tamisage des granulats dans le chapitre précédent, sont représentés sous forme d'un tracé (courbe granulométrique) sur un diagramme granulométrique comportant en abscisse le diamètre du tamis (mm) et en ordonnée le pourcentage des tamisât.

III.2.1 Sable :

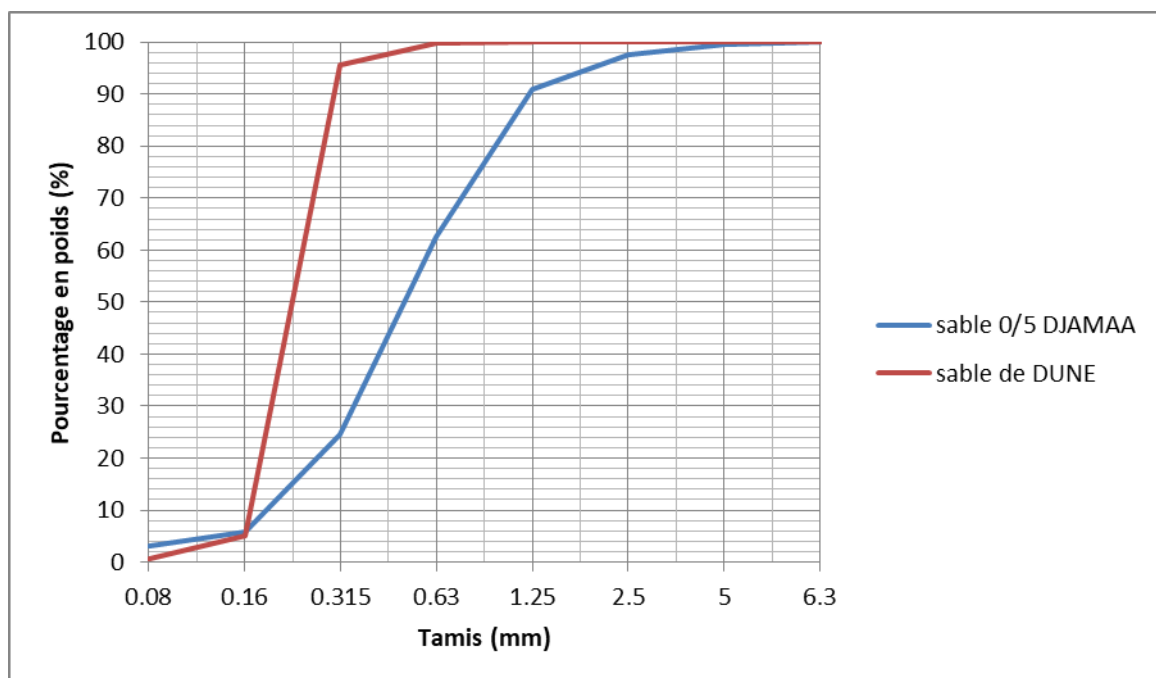


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable utilisé.

D'après la courbe granulométrique de la figure, on remarque qu'elle est une tracé continue, uniforme et étalée, qui nous confirme que le sable présente une bonne granulométrie bien graduée, et qu'elle se situe dans le fuseau recommandé par la norme NFP 18-560.

III.2.2 Gravier :

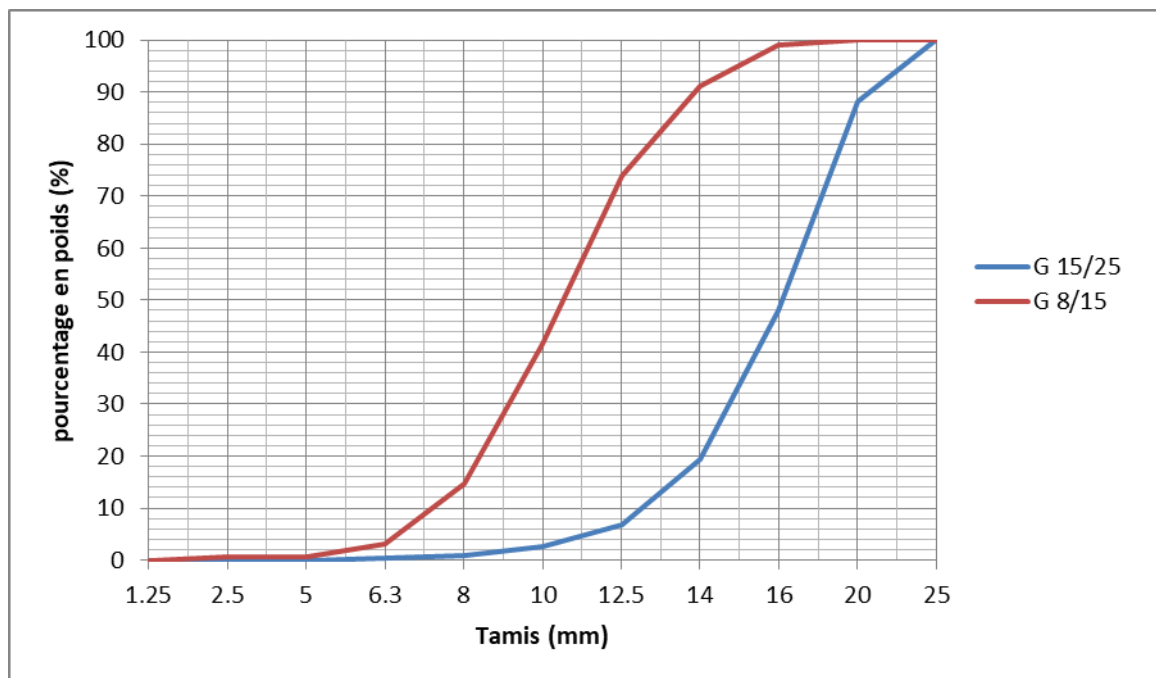


Figure III.2 : Courbe granulométrique du gravier utilisé.

La figure nous montre que la courbe de gravier 8/15 et 15/25 est continue c.à.d. elle ne présente pas de discontinuité dans la répartition granulaire, comme elle est uniforme, qui nous assure la bonne répartition des granulats.

III.2.3 La courbe granulométrique par la méthode de FAURY :

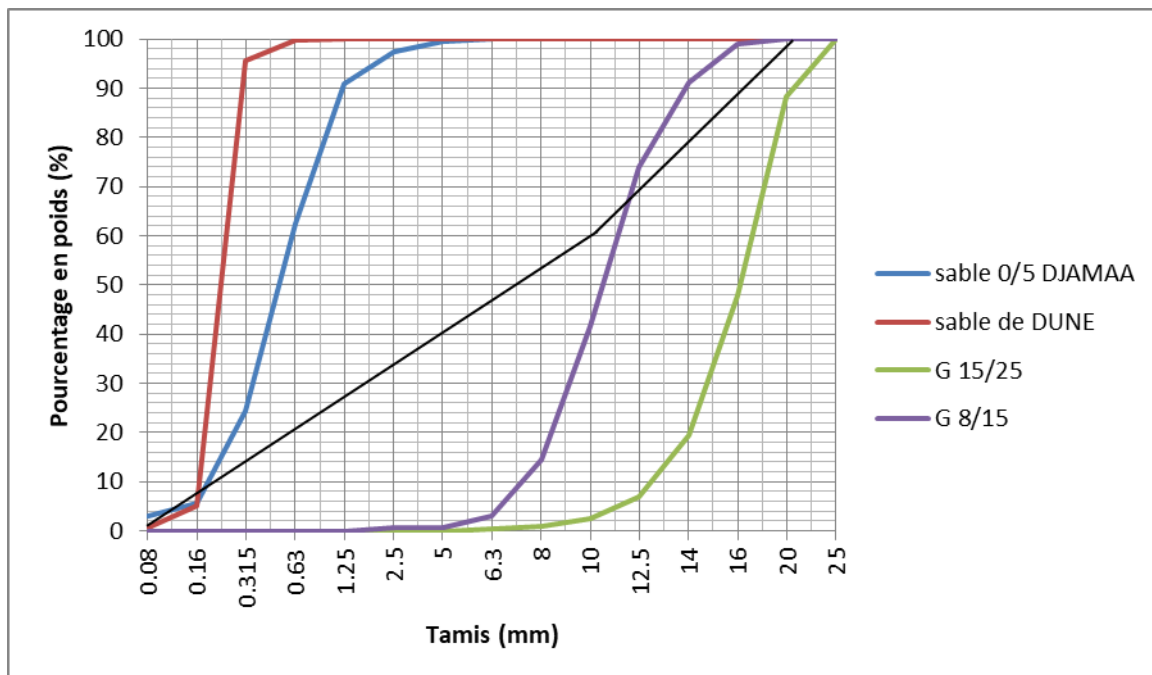


Figure III.3 : la courbe granulométrique selon méthode de Faury.

On remarque d'après la courbe granulaire de la figure 3, que les pourcentages obtenus pour chaque constituant à savoir (sable + ciment), gravier 8/15 et gravier 15/25, de l'ordre respectif de 52%, 24% et 24% par mètre cube de béton.

III.3 Essai d'affaissement au cône d'Abrams :

Les résultats des mesures d'affaissement pour chaque mélange sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Résultats de l'essai de l'affaissement.

Compositions	Béton témoin	C1	C2	C3	C4	C5
Affaissement (cm)	22	21.5	21	20	19.5	19

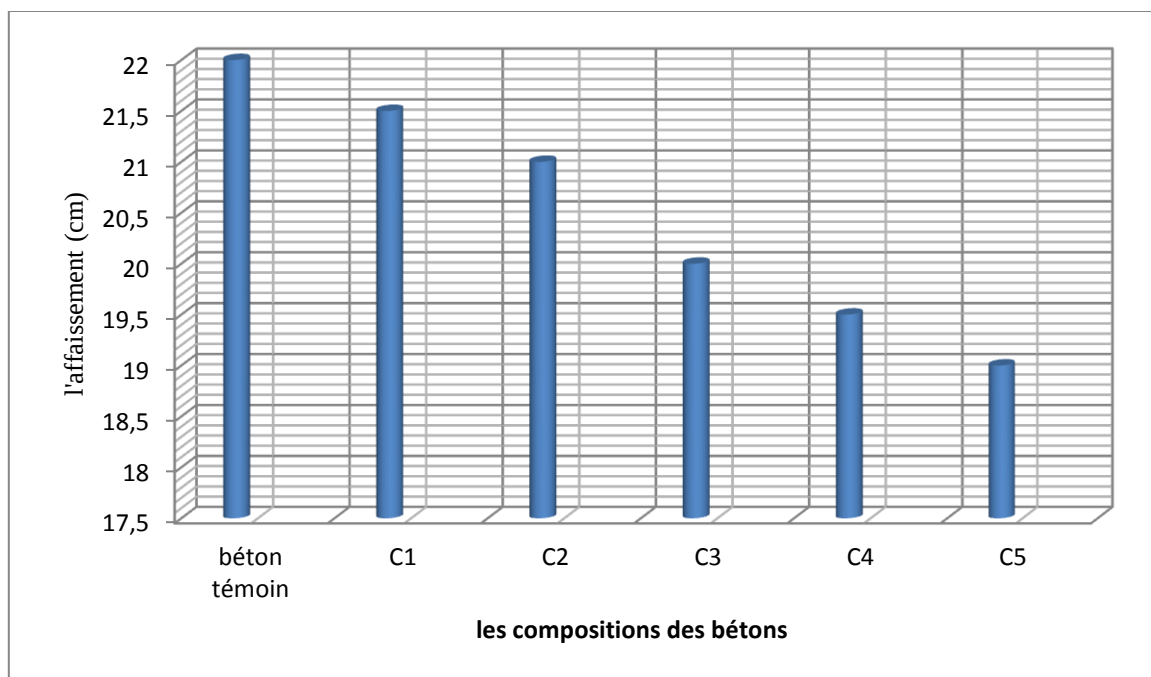


Figure III.4 : Valeurs des affaissements

Nous constatons que les résultats obtenus indiquent qu'il existe une relation inverse entre la valeur d'affaissement et le pourcentage de sable de dune ajouté, Plus le pourcentage de sable de dune est augmenté, plus la valeur d'affaissements est réduire.

III.4 Essai de résistance à la compression :

L'essai mécanique de compression est déterminé selon la norme française [NF 12390-3] sur des éprouvettes 16×32 cm .Nous avons procédé à trois mesures (essais), pour chaque formulation, les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 2.



Figure III.5 : Exemple de différentes éprouvettes après l'écrasement.

compositions	Résistance à la compression (MPa)			
	28 jour			
	R _c 1	R _c 2	R _c 3	R _c M
Béton témoin	21	31.5	23	25.16
Composition 1	21.75	17.5	20	19.75
Composition 2	28.1	33.7	30	30.6
Composition 3	30	36.5	32.5	33
Composition 4	31	21	26	26
Composition 5	25	21.25	27.25	24.5

Tableau III.2 : Résultats de l'essai de compression sur les bétons étudiés.

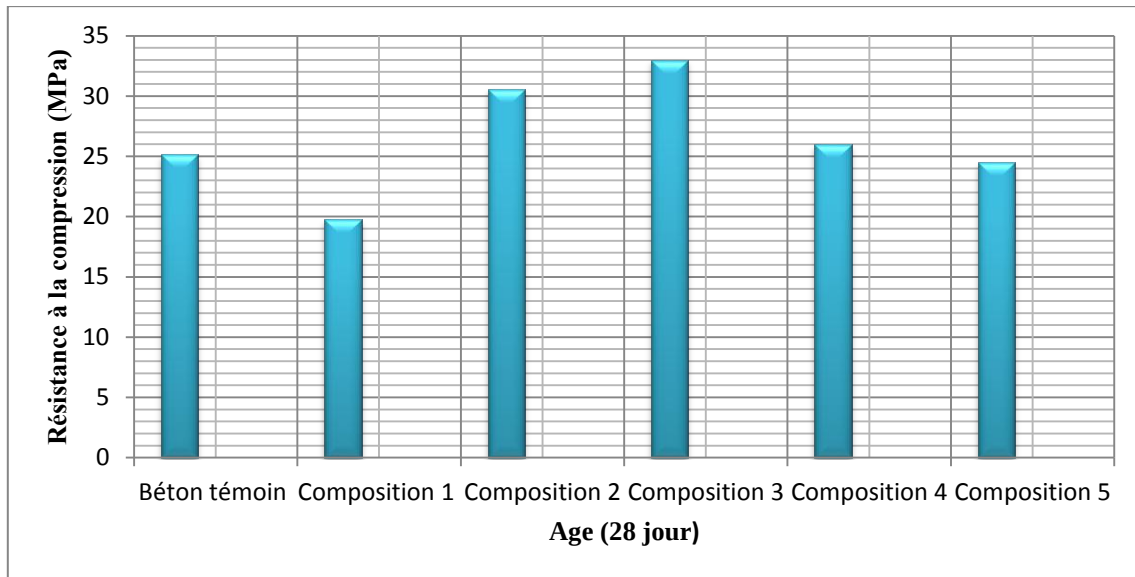


Figure III.6 : Evolution de la résistance mécanique à la compression en fonction de temps.

La figure 6, montre la variation de la résistance mécanique à la compression des bétons étudiés en fonction du temps (28 jour). Les résultats obtenus montrent que :

- La résistance de compression du béton avec le remplacement du sable naturel de construction par le sable de dune continue d'augmenter jusqu'à ce que le sable naturel de construction soit remplacé à 30 % par le sable de dune.
- Les compositions C2 et C3 (10% et 20%) présentent des résistances maximales par rapport aux autres compositions. Ceci montre l'efficacité de ces sables à l'amélioration de cette caractéristique mécanique.
- Le remplacement du sable naturel de construction par le sable de dune avec des pourcentages de 10% à 20% augmente la résistance à la compression jusqu'à 15%.

III.4 Conclusion :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats expérimentaux pour les différentes formulations du béton. D'après les résultats obtenus, on peut dire que :

- La comparaison de tous les résultats de l'écrasement, il a été constaté que la composition optimale de l'amélioration par rapport au béton de référence avec 100% de sable 0/5 DJAMAA c'est la composition avec 80% SDJ + 20% SD.
- La quantité (pourcentage) du sable de dune influe sur la résistance mécanique du béton.

Conclusion générale

Conclusion générale

Durant l'élaboration de ce travail et à partir des résultats et analyses, des conclusions peuvent être soulignées dans ce mémoire.

Ce travail a été réalisé par l'utilisation des plans d'expériences qui nous ont permis d'obtenir 6 différentes compositions du béton, où on a effectué un changement dans le sable utilisé, sachant que la composition de base de ce béton introduit le sable naturel de construction ainsi que les deux classes des graviers (8/15 et 15/25) approvisionnés de AIN TOUTA, le ciment CEM II B-L 42.5 EL MATINE, un adjuvant CRYSO plastifiant réducteur d'eau.

Les principaux objectifs de notre travail étaient de découvrir comment le sable de dune dans la composition du béton affecte la résistance à la compression en utilisant la méthode Faury de formulation du béton.

En résumé, ce modeste travail de recherche sur amélioration de la résistance à la compression du béton par l'ajout du sable de dunes , nous a permis d'avancer ce qui suit :

- La correction du sable naturel de construction par l'ajout de sable de dune dans la formulation du béton donne de bons résultats à la compression.
- La résistance à la compression est augmentée avec l'augmentation de pourcentage du sable de dune augmente les caractéristiques mécaniques jusqu'à 15%.
- La composition 3 avec le pourcentage de 80% SDJ et 20% SD était la plus efficace en termes de résistance.

Références

Références

- [1] : GUESSOUM Younes, TAIBI Said «Etude comparative de la résistance et de la durabilité des différents bétons à base de sable modifié», master 2019, université d'El-Oued .
- [2] : BELKHIRI Houssam, DERRAGUI Ahmed «Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses», master 2016, université Ziane Achour de Djelfa.
- [3] : AYADI Walid Abdelghani, GUENOUNE Abdelmalek « Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire», master 2016, université M'hamed Bougara-Boumerdes.
- [4] : BENAMRANE Dounia Zed «L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton», master 2017, université KASDI Merbah Ouargla.
- [5] : ABDOULAYE Souleymane Adoum «Caractérisation des bétons renforcés à l'aide des fibres végétales», master 2011, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement Ouagadougou.
- [6] : REZIG Salima «Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux », magister, université Mohamed Khider –Biskra .
- [7] : TAYEB HAMMANI Karima, BOUYAHIA Chérifa «Influence des effets de température et de conservation sur la résistance mécanique du béton», master 2018, université Ahmed Draia-Adrar.
- [8] : BOUSELSAL Boualem «Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère libre d'El Oued souf (SE Algérie)», master 2016, université Badji Mokhtar-Annaba.

Normes

Analyse granulométrique du sable : la norme NF P 18 -560

Module de finesse(Mf) : la norme NF P18-540

Equivalent de sable : la norme NF P 18 -598

Masse volumique et Absorption d'eau : la norme NF P 18 -555

Los Angeles : la norme NF P 18 -573

Caractéristiques chimiques : la norme NA 5042

Affaissement au cône d'Abrams la norme NF P18-451

La résistance à la compression la norme NF EN 12390-3

Annexes

Annexes

CHRYSO® Fluid Optima 220

Plastifiant Réducteur d'eau



CHRYSO® Fluid Optima 220 est un plastifiant – réducteur d’eau à fonction superplastifiant de nouvelle génération, à base de polycarboxylate modifié particulièrement recommandé pour le béton prêt à l’emploi et les chantiers de génie civil.

CHRYSO® Fluid Optima 220 est destiné à créer une forte réduction d’eau et/ou une augmentation de l’ouvrabilité du béton. Il permet de réaliser des bétons avec un long maintien d’ouvrabilité sans retard de prise. Ainsi **CHRYSO® Fluid Optima 220** peut être utilisé dans une gamme étendue de bétons.

CHRYSO® Fluid Optima 220 est particulièrement adapté à la formulation de bétons auto-plaçants homogènes ayant une capacité de remplissage élevée.

CHRYSO® Fluid Optima 220 est compatible avec la majorité des ciments.

Informations indicatives

- Nature : liquide
- Couleur : Brun
- Durée de vie : 9 mois

Spécifications

- Densité (20 °C) : $1,050 \pm 0,020$
- pH : $5,00 \pm 1,00$
- Extrait sec (halogène) : $21,60 \% \pm 1,00 \%$
- Extrait sec (EN 480-8) : $21,80 \% \pm 1,00 \%$
- Teneur en Na_2O équivalent : $\leq 1,00 \%$
- Teneur en ions Cl^- : $\leq 0,10 \%$

Informations normatives et réglementaires

- Ce produit satisfait aux exigences réglementaires du marquage CE. La déclaration correspondante est disponible sur notre site Internet.
- Ce produit est conforme au référentiel de certification NF 085 dont les spécifications techniques sont celles de la partie non harmonisée de la norme NF EN 934-2.
- Adresse AFNOR - 11, Avenue de Pressensé - 93571 Saint Denis La Plaine Cedex

Domaines d'application

- Bétons auto-plaçants
- Bétons de consistance supérieure à 50 mm au cône
- BPE
- Ouvrages d'art

Précautions

Stocker à l’abri du gel.
En cas de gel, ce produit conserve ses propriétés.
Après dégel, une agitation efficace est nécessaire jusqu’à l’obtention d’un produit totalement homogène.

Mode d'emploi

Plage de dosage : 0,3 à 2,0 kg pour 100 kg de ciment.

Ce produit doit être incorporé dans l’eau de gâchage.

Dans le cas d’un ajout différé sur béton frais, dans un camion toupie, il est nécessaire de malaxer à grande vitesse puis à vitesse lente (avec un minimum de 3 minutes, pour chaque



CHRYSO S.A.S. - 19 Place de la Résistance - 92446 Issy-les-Moulineaux cedex - FRANCE - Tel. : +33 (0)1 41 17 18 19 - Fax : +33 (0)1 41 17 18 80



Page : 1 / 2

09/12/2014

CHRYSO® Fluid Optima 220

Plastifiant Réducteur d'eau



régime).

L'efficacité maximale de ce produit doit être déterminée après des essais de convenance prenant en compte les caractéristiques rhéologiques et les performances mécaniques souhaitées pour le béton.

Selon les applications prévues, il est possible d'utiliser ce produit en synergie avec d'autres adjuvants CHRYSO®.

Sécurité

Avant toute utilisation, consulter la fiche de données de sécurité sur le site internet www.chryso.com



Les informations contenues dans la présente fiche technique sont l'expression de nos connaissances et de résultats d'essais effectués dans un souci constant d'objectivité. Elles ne peuvent cependant, en aucun cas, être considérées comme apportant une garantie ni comme engageant notre responsabilité en cas d'application défectueuse ou d'utilisation de nos produits en dehors des stipulations du paragraphe « Application » de la fiche technique. Des essais préalables à chaque utilisation devront être effectués par les utilisateurs et permettront ainsi de vérifier que les modes d'emploi et les conditions d'application donnent satisfaction. Consultez la version la plus récente de la fiche technique, disponible sur www.chryso.com.

CHRYSO S.A.S. - 19 Place de la Résistance - 92446 Issy-les-Moulineaux cedex - FRANCE - Tel. : +33 (0)1 41 17 18 19 - Fax : +33 (0)1 41 17 18 60

Page : 2 / 2

CHRYSO
www.chryso.com

09/12/2014