

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N°:



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION: MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

Aiouadje Dounya

Intitulé :

Comportement d'un béton au résidu de bois en présence de températures élevés

Devant le jury composé de :

Dr. Salim Zitouni

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Encadreur

Année universitaire : 2023/2024



Remerciement

La famille précieuse, mon père rabi yerhmo et ma mère, et mes frères.

Ce travail a été mené au sein du laboratoire de matériaux du département de génie civil de la faculté de technologie de Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila

Ce travail a été effectué sous l'encadrement de monsieur SALIM ZITOUNI. Je le remercie vivement pour son encadrement brillant, pour ses conseils précieux et sa disponibilité tout le long de ce travail. C'est grâce à lui que le travail a pris le bon chemin. Je le remercie chaleureusement.

Je remercie également M. Baali, Chef du Département de Génie Civil, et tous les professeurs du Département de Génie Civil pour leur présence qui nous a amené à ce point. J'adresse mes remerciements à mes chers professeurs de l'Université de M'sila pour toutes les connaissances que j'ai acquises au cours de ma formation.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes amis, ainsi qu'à tous les travailleurs du laboratoire des matériaux du Département de Génie Civil de l'Université de M'sila.

Merci beaucoup à ma chère famille

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنين)

صدق الله العظيم

من قال انا لها...نالها

وانا لها وان ابنت رغما عنها اتيت بها

الحمد لله وشكرا وامتنانا ما كنت لافعل هذا لو لا

فضل الله فالحمد لله على البدء والختام

ها انا اليوم اهدي نجاحي الى كل من سعي معي لاتمام

هذه المسيرة

الى روح والدي الطاهرة الذي علمني ان الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة

الى من احمل اسمه بكل افتخار الى اعظم واعز رجل

في الكون "ابي الغالي رحمه الله"

الى ملاكي في الحياة من ساندتني في صلاتها و

دعائها الى من سهرت الليالي تنير دربي الى معنى الحب

والحنان الى أروع امرأة في الوجود "امي الغالية"

الى جسر المحبة والعطاء مصدر قوتي "اخواتي"

الى من رزقت به سندا لي "اخي الغالي"

" الى عزري واعتزازي من سهر معي الليالي وساندني بكل حب عند ضعفي"

الى من افتقدتهم في هذه الحياة الى من اودعوني لله

أتمنى ان يتغمدهم الله برحمته ويسكنهم فسيح جناته

الى نفسي المثابرة الطموحة

" الى صديقاتي شريكات الدرب الطويل من كانوا

في سنوات العجاف سحابا ممطرا"

صديقاتي العزيزات

الى كل من كان له الفضل في تعليمي منذ بداية

مسيرتي الى النهاية.

Résumé

L'homme a travaillé au cours des derniers siècles pour créer une nouvelle génération de béton, qui est basée sur de nouveaux matériaux (naturels) qui sont considérés comme des déchets tels que la sciure de bois et d'autres matériaux.

Là où la maîtrise de sa composition nécessite un développement continu de sa formulation, un contrôle strict de ses propriétés rhéologiques et une parfaite connaissance des propriétés de ses matériaux constitutifs.

Trois aspects principaux doivent être pris en compte dans la fabrication de cette formule : l'aspect économique, l'aspect environnemental et l'aspect technologique afin d'obtenir un produit innovant.

Dans notre étude expérimentale, nous avons traité dans sa première partie les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des matériaux locaux utilisés dans notre recherche, pour obtenir un mélange cohérent idéal avec des propriétés mécaniques et physiques élevées approuvées dans le monde.

Notre objectif est de produire un béton qui a une résistance acceptable et qui est un isolant thermique et phonique.

Ajoutez de la sciure de bois dans certaines proportions.

Nous avons également travaillé dans nos recherches pour mettre au point ce béton. à l'aide de sciure de bois, en essayant d'exploiter cette composition dans d'autres domaines que le domaine de la construction.

Nous avons également consacré la deuxième partie de notre étude à une recherche documentaire sur notre sujet.

Abstract

Man has worked in recent centuries to create a new generation of concrete which is based on new (natural) materials that are considered waste such as sawdust and other materials.

Where controlling its composition requires continuous development in its formulation, strict control of its rheological properties and full knowledge of the properties of its constituent materials.

Three main aspects must be taken into account in the manufacture of this formula: the economic aspect, the environmental aspect, and the technological aspect in order to obtain an innovative product.

In our experimental study, we dealt in its first part with the physical, chemical and mechanical properties of the local materials used in our research, to obtain an ideal coherent mixture with high mechanical and physical properties approved in the world.

Our goal is to produce a concrete that has acceptable resistance and is heat and sound insulator Add sawdust in certain proportions.

We also worked in our research to develop this concrete using sawdust, trying to exploit this composition in areas other than the field of construction.

We also devoted the second part of our study to documentary research on our topic.

ملخص

عمل الانسان في القرون الأخيرة على خلق جيل جديد من الخرسانة ، والذي يعتمد في صنعه على مواد جديدة (طبيعية) تعتبر نفايات كنشارة الخشب وغيرها من المواد .

حيث يتطلب التحكم في تكوينها تطويرا مستمرا في صياغتها ، والتحكم الصارم في خصائصها الريولوجية و المعرفة الكاملة بخصائص المواد المكونة لها .

كما يجب أن يراعى في تصنيع هذه التركيبة ثلاث جوانب رئيسية هي الجانب الاقتصادي ، الجانب البيئي ، و الجانب التكنولوجي من أجل الحصول على منتج مبتكر .

في دراستنا التجريبية هذه تناولنا في جزئها الأول الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية للمواد المحلية المستعملة في بحثنا ، للحصول على مزيج مثالي متماسك ذو خصائص ميكانيكية و فيزيائية عالية و معتمدة في العالم .

هدفنا هو إنتاج خرسانة تكون ذات مقاومة مقبولة وتكون عازلة للحرارة والصوت وذلك باضافة نشارة الخشب بنسب معينة.

كما عملنا أيضا في بحثنا على تطوير هذه الخرسانة باستعمال نشارة الخشب محاولين استغلال هذه التركيبة في مجالات أخرى غير مجال البناء .

كما خصصنا الجزء الثاني من دراستنا لبحث وناقى عن موضوعنا المتناول.

Table des matières

Sommaire	
Remerciement	VIII
Dédicace	VIII
Résumé	VIII
Abstract	VIII
ملخص	VIII
Table des matières	VIII
Liste des Tableaux	VIII
Introduction générale	2
Chapitre I : Revue Documentation	
I.1.Introduction	5
I.1.1. Historique	5
I.1.2. Définition	5
I.2. Les Constituants Du Béton	6
I.2.1. Les granulats	6
I.2.2. Le sable	12
I.2.3 Le ciment	15
I.2.4 L'eau de gâchage	18
I.2.5. Rôle des différents éléments constituant le béton	19
I.3. Propriétés des bétons	19
I.3.1. Affaissement au cône d'Abrams	19
I.3.2. Propriétés du béton durci	20
I.3.2.1. Résistance à la compression	20
I.4. La formulation de béton	21

I.4.1. Méthodes semi-empiriques	21
I.4.2. Méthodes graphiques	22
I.4.2.1. Méthode de Dreux-Gorisse	22
I.5. Quelques matériaux naturels	27
I.5.1. Le bois	27
I.5.1.1. Les propriétés du bois	27
I.5.2. Le bois de construction : un puits de carbone ?	28
I.5.3. Le bois matériau composite naturel	28
I.5.3.1. La fibre	29
I.5.3.2. Les fines	29
I.6. Conclusion	29
Chapitre II : Caractéristiques des Matériaux	
II.1. Introduction	31
II.2. Matériaux utilisés	31
II.3. Caractéristiques principales des matériaux utilisés	31
II. 3.1. Sable	31
II.3.1.1. Type de sable utilisé	31
II.3.1.1.1. Sable de Boussaâda	31
II.3.1.1.1.1. Masse volumique absolue	32
II.3.1.1.1.2. Masse volumique apparente	33
II.3.1.1.1.3. Porosité	34
II.3.1.1.1.4. Compacité	34
II.3.1.1.1.5. L'indice des vides	34
II.3.1.1.1.6. Analyse granulométrique	38
II.3.1.1.2. Sable Concassé	41
II.3.1.1.2.1. Masse volumique absolue	42
II.3.1.1.2.2. Masse volumique apparente	43
II.3.1.1.2.3. Porosité	44
II.3.1.1.2.4. Compacité	44
II.3.1.1.2.5. L'indice des vides	44
II.3.1.1.2.6. Analyse granulométrique : [NF P 18-304].	45
II.3.1.1.2.7. Module de finesse	46

II.3.1.1.2.8. Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598)	47
II. 3.2. Gravier	48
II.3.2.1. Type de gravier utilisé	48
II.3.2.1.1. Gravier concassé	48
II.3.2.1.1.1: Origine de gravier	48
II.3.2.1.1.2. Classes granulaires	48
II.3.2.1.1.3. Résistance à la compression de la roche d'origine	49
II.3.2.2. Caractéristiques physiques du gravier utilisé	49
II.3.2.2.1 Masses volumiques absolues	49
II.3.2.2.2. Masse volumique apparent	50
II.3.2.2.3. Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554	51
II.3.2.2.4. Analyse granulométrique	52
II.3.2.2.5. Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés	54
II.3.2.2.6. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.	55
II.3.2.2.6.1. Principe de l'essai	55
II.3.2.2.6.2. Formulation	55
II.3.2.2.6.3. Classification	55
II.3.2.2.7. Caractéristiques chimiques des graviers concassés	56
II. 3.3. Ciment	56
II.3.3.1. Type de ciment utilisé	56
II.3.3.1.1. Ciment Matine 42.5	56
II. 3.4. Sciure de bois	58
II. 3.4.1. Capacité d'absorption	59
II.3.4.2. L'adjuvant : super plastifiant Le MEDAFLOW 30	59
II.3.4.2.1. DESCRIPTION	60
II. 3.4.2.2. Propriétés	60
II.3.4.2.3. Mode D'emploi	61
II.3.4.2.4. Dosage	61
II. 3.5. L'eau de gâchage	61
II. 3.6.1 Caractéristique chimiques de l'eau utilisé	61
II.4. Calcul de la proportion des constituants	62
II.4.1 Formulation du béton Méthodes de Dreux Gorisse	62
II.4.2 Formulation des différents mélanges testés	67
II.5. Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci	70

II.5.1 Affaissement au cône d'Abrams	70
II.5.2 Résistance à la compression	71
II.6. Conclusion	72
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
III.1 Introduction	75
III.2. Objectif de la recherche	75
III.2. 1. Les résultats des essais effectués sur bétons	75
III.2.2 Affaissement	76
III.3. Béton a l'état durci	77
III.3.1. La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton	77
III.3.2: Résistance à la compression des différents mélanges	79
III.3.3 Mesure de la résistance à la traction (7, 14, 28) j	81
III.4. Conclusion	81
Chapitre IV : Résultats Et Interprétations Des Bétons Soumis A Des Températures Elevées	
IV.1. Introduction	84
IV.2 Résistance Mécanique A La Compression Des Eprouvtes Soumises A Des Températures 200,400 Et 600 °C	84
IV.2.1 Éprouvette exposé à une température de 200°C	85
IV.2.2 Éprouvette exposé à une température de 400°C	85
IV.2.3 Éprouvette exposé à une température de 600°C	86
IV.3. Conclusion	87
Conclusion générale	89

Liste des Tableaux

Liste des tableaux	
CHAPITRE I : REVUE DOCUMENTATION	
Tableau I.1 : Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse	14

Tableau I.2 : Valeur préconisée pour l'équivalent de sable	15
Tableau I.3 : les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %)	17
Tableau I.4 : Classes en fonction de la résistance normale à 28 jours	18
Tableau I.5 : valeur de coefficient du A	22
Tableau I.6 : Valeurs de G coefficient granulaire	24
Tableau I.7 : valeur du terme correcteur K	25
Tableau I.8 : coefficient de compacité	26
Tableau I.9 : Exemple de densité et porosité du bois.	27
CHPITRE II : CARACTEISTIQUES DES MATRERIAUX	
Tableau II.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda	33
Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda	34
Tableau II.3 : Porosité ; compacité et indice des vides (sable Boussaâda)	35
Tableau II.4 : Equivalent du sable de Boussaâda	37
Tableau II.5 : Comparaison des résultats	37
Tableau II.6 : Analyse granulométrique du sable (sable de Boussaâda)	40
Tableau II.7 : Masse volumique absolue du sable concassé.	43
Tableau II.8 : Masse volumique apparente du sable concassé.	44
Tableau II.9 : Porosité ; compacité et indice des vides (sable concassé)	45

Tableau II.10 : Analyse granulométrique du sable concassé	46
Tableau II.11 : Résultats de l'équivalent du sable (sable concassé).	48
Tableau II.12: Masse volumiques absolue des fractions 3/8 et 8/16 de gravier (concassé)	50
Tableau II.13: Masse volumiques apparentes des fractions 3/8 et 8/16 du gravier (concassé)	51
Tableau II.14 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.	52
Tableau II.15: Analyse granulométrique du gravier concassé 3/8	53
Tableau II.16: Analyse granulométrique du gravier concassé 8/16	54
Tableau II. 17 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé	55
Tableau II.18 : Classification des roches en fonction du coefficient LA	56
Tableau II.19 : Analyse chimique de la pierre concassée.	56
Tableau II. 20. les caractérisations de ciment Matine 42.5	58
Tableau II.21. Les teneurs des éléments de composition le ciment Matine 42.5	58
Tableau II.22 : Caractéristique Chimique D'eau	62
Tableau. II.23 : Valeurs de G coefficient granulaire	63
Tableau II.24: Formulation de Béton I	67
Tableau II.25: Formulation de Béton II	68

Tableau II.26: Formulation de Béton III	68
Tableau II.27: Formulation de Béton IV	68
Tableau II.29: Formulation de Béton V	69
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
Tableau III.1 : Rapport E/C en fonction du pourcentage de bois	75
Tableau III.2: les différents mélanges de bétons	76
Tableau III.3 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton	76
Tableau III.4 : La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton	77
Tableau III.5 : Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés.	79
Tableau III.6 : résistance à la traction par flexion (7j, 14j, 28j)	81
Chapitre IV : Résultats Et Interprétations Des Bétons Soumis A Des Températures Elevées	
Tableau IV.1: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à des températures 200,400 600°C	85

Liste des figures

Liste des figures
CHAPITRE I : REVUE DOCUMENTATION

Figure I.1 : Type de gravier	7
Figure I.2 : La forme d'un granulat	9
Figure I.3 : Modèle de la morphologie de l'aurole de transition d'un béton ordinaire [Diamond, 1986]	12
Figure I.4 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams	20
Figure I.5 : Mesure de l'affaissement	20
Figure I.6: Dosage en ciment	24
Figure I.8 : la courbe granulaire de référence	27
CHPITRE II : CARACTEISTIQUES DES MATR2RIAUX	
Figure II. 1: Le sable de Boussaâda	32
Figure II.2 : L'essai l'équivalent de sable	38
Figure II.3. Appareil de l'analyse granulométrique	38
Figure II.4 : La courbe granulométrique du sable de Boussaâda.	40
Figure II.5 : Le sable concassé	42

Figure II.6 : Appareil de l'analyse granulométrique	45
Figure II.7 : La courbe granulométrique du sable concassé.	46
Figure II.8 : Courbe Analyse granulométrique du gravier concassé 3/8	53
Figure II.9 : Courbe Analyse granulométrique du gravier concassé 8/16	54
Figure II.10 : Appareil de l'essai Los Angeles	55
Figure II.11: Ciment Matine 42.5	57
Figure II.12 : scuire de bois	59
Figure II.13 : Conforme la norme EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.	60
Figure II .14 : Dosage enciment	63
Figure II.15: Courbe Granulométrique (Sable, G3/8(Concassé), G8/16(Concassé))	65
Figure II.16 : Machine d'essai de compression Figure	72
Figure II.17: Les moules 10*10*10 cm	72
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	

Figure III.1: Rapport E/C en fonction du pourcentage De bois	75
Figure III.2 : Variation de l'affaissement du béton	76
Figure III .3 : masse volumique des mélanges de béton à 7 jours	77
Figure III.4 : masse volumique des mélanges de béton à 14 jours	78
Figure III.5 : masse volumique des mélanges de béton à 28 jours	78
Figure III.6 : Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés	79
Figure III.7 : Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés	80
Figure III.8: Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés	80
Figure III.9 : résistance à la traction par flexion (7j, 14j, 28j)	81
Chapitre IV : Résultats Et Interprétations Des Bétons Soumis A Des Températures Elevées	
Figure IV.1: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à une température 200°C.	85

Figure IV.2: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à une température 400°C.	86
Figure IV.3: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à une température 600°C.	86
Figure IV.4: Résistance mécanique en fonction de la température	87

Introduction Générale

Introduction générale :

Il est recommandé de maintenir le béton dans des conditions sèches en raison de sa densité lourde. La majorité des sociétés engagées dans la création de grands pas, les systèmes de stockage à température régulée. Plutôt que cela, il est fréquent de garantir la livraison du béton à temps sur le site.

Le terme "béton non armé" désigne une masse de béton qui n'est pas recouverte de matériaux de renforcement. Les caractéristiques physiques du béton non armé sont très similaires à celles de la pierre et incluent la capacité à supporter une pression considérable. Le béton est un matériau de construction qui est composé de ciment, de cendres, de gravier, de calcaire et de granit. Certaines catégories de béton incluent du sable, des mélanges de produits chimiques et de l'eau.

Le béton de sciure de bois est constitué de ciment, de sable, et de sciure de bois de différentes qualités. Ce béton a la caractéristique d'être léger ce qui est dû au fait que la sciure de bois est un matériau de remplissage de faible densité.

L'utilisation de ce matériau serait souhaitable si le cout est pris en considération ce type de béton est utilisé comme surface isolante et dans la production de blocs de construction ou de murs porteurs et non porteurs l'utilisation de la sciure de bois comme l'un des types de déchets végétaux dans l'industrie du béton.

Une étude bibliographique a été réalisée dans le premier chapitre de ce mémoire pour introduire cette étude et donner un aperçu ou une introduction à ce travail pratique en mettant en évidence un aperçu du béton, de ses usages et de ses différents types, l'historique de son utilisation dans l'ensemble de monde, et les moyens les plus importants de le développer,

Comme notre travail, dans lequel nous étudions l'effet de l'incorporation de sciure de bois avec deux types de sable (sable de Boussaâda, sable concassé) et de ciment, et de gravier concassé ceci pour obtenir des résultats positifs en obtenant un béton plus léger et plus résistant au feu que de nombreux autres matériaux de construction et pratique dans son utilisation.

Dans le chapitre suivant, nous avons examiné les diverses caractéristiques chimiques et physiques des divers matériaux utilisés dans notre étude en effectuant divers tests et essais en respectant les normes internationales établies.

On a également donné une brève description des différents matériaux utilisés afin de donner

Introduction Générale

une idée et d'acquérir les matériaux les plus appropriés que nous utilisons dans notre étude pour obtenir les meilleurs résultats.

Dans le troisième chapitre de notre thèse, nous présentons les essais qui ont été effectués sur le béton et les résultats obtenus à partir de plusieurs formulations différentes (**6formulations**) avec 6 pourcentages de sciure (**50%, 40%, 30% 20%,10%, 0%**) pour obtenir une composition homogène entre ciment, sable et gravier et sciure, et ceci en analysant les résultats obtenus au cours du temps (**7 jours, 14 jours et 28 jours**) en comparant les résultats expérimentaux de la résistance et de la traction et de la compression du béton avec leur analyse et discussion, et ceci dans le but d'obtenir un béton léger et plus résistant.

Chapitre I

Revue Documentation

CHAPITRE I : REVUE DOCUMENTATION

I.1. Introduction

I.1.1. Historique

Le béton classique consiste en une combinaison précise de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants.

L'argile a été utilisée par les Assyriens et les Babyloniens ^[1] comme matériau liant, c'est-à-dire comme le ciment, vers 2600 avant notre ère. Les Égyptiens ^[2] ont employé un mélange de chaux et de gypse comme ciment.

En 1756, John Sesson, un ingénieur anglais ^[3], a créé le premier béton contemporain (ciment hydraulique) en ajoutant des gravillons naturels semblables aux graviers et en utilisant un mélange de briques pulvérisées comme ciment.

En 1824, Joseph Aspdin, un inventeur anglais ^[4], invente un ciment portland, qui est aujourd'hui la méthode la plus couramment employée pour fabriquer du béton.

En 1849, Joseph Monier, un jardinier parisien ^[5], a créé le béton armé en utilisant des barres en fer pour renforcer les bacs à fleurs qu'il fabriquait en béton.

À partir du neuvième millénaire av. J.-C., la chaux fut progressivement domestiquée et dominée par les hommes. De cette façon, elle remplaça fréquemment, voire remplaça l'utilisation de la terre argileuse qui demande davantage d'entretiens car elle est moins durable et résistante aux variations du temps et des saisons. Parce que la chaux a une capacité de durcissement constante et irréversible, avec une grande facilité de manipulation Mise en place et mise en pratique.

Dès le Troisième millénaire avant J.-C., il a été utilisé par l'Égypte ancienne pour construire et modeler de nombreuses pyramides, avec la chaux comme liant à maçonner et à enduire, ainsi que pour fabrication de blocs de calcaire réagglomérés.

I.1.2. Définition

Le béton constitue un matériau hybride. Il est composé de divers matériaux, qui se rapprochent entre eux, soit lors de la construction (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Les différents éléments sont choisis dans des proportions étudiées pour obtenir les caractéristiques désirées, telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, en utilisant des méthodes spécialisées appelées "méthodes de formulation du

béton". Le béton est le matériau de construction le plus couramment employé à l'échelle mondiale pour la construction d'infrastructures de génie civil. Il se distingue principalement par sa résistance à la compression. Il présente des inconvénients à cause de sa faible résistance à la traction et de sa masse volumique assez importante.

- Le béton est constitué de deux principaux éléments : les granulats et la matrice.

En moyenne, les granulats constituent 70 à 80 % du volume du béton, et ils peuvent être présents sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. On les perçoit comme un soutien mécanique et on les considère comme des éléments intégrés. On obtient les granulats à partir des carrières de roches massives, des gisements alluvionnaires et artificiels (laitiers expansés, argiles expansées, schistes expansés). La taille du matériau et ses caractéristiques mécaniques sont influencées par eux. - La matrice liante enveloppe et rassemble les granulats entre eux. Sa structure complexe poreuse est responsable des échanges internes et externes. Parmi les différentes formes de matrices, on retrouve la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. Un examen plus approfondi révèle que la structure du béton est très hétérogène sur un vaste éventail de dimensions. [6]

I.2. Les Constituants Du Béton

I.2.1 Les granulats :

Le granulat est composé d'un ensemble de particules minérales qui, en fonction de leur taille (comprise entre 0 et 125mm), se classent dans l'une des 7 catégories suivantes : filles, sablons, sables, graves, gravillons, ballast et enrochements.

Les granulats sont fabriqués à partir de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, de roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore de produits recyclés (matériaux de démolition). Elles sont de nature, de forme et de caractéristiques différentes selon les gisements et les méthodes de production.

L'analyse granulométrique à l'aide de tamis permet de classer les granulats en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains). [7]

•Granulats roulé et granulats concassées :

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

• Les granulats de roche meuble :

Sont appelés roulés, dont la forme a été obtenue grâce à l'érosion. On lave ces granulats afin d'éliminer les particules argileuses, qui peuvent nuire à la résistance du béton, puis on les crible pour obtenir diverses tailles. Malgré la variété des roches disponibles en fonction de la

région d'origine, les granulats utilisés dans le béton sont généralement siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

• **Les granulats de roche massive :** On obtient ces produits appelés concassés en les abattant et en les concassés, ce qui leur confère des formes angulaires. Il est essentiel de procéder à une phase de pré-criblage afin d'obtenir des granulats propres. Les caractéristiques des granulats concassés sont influencées par de nombreux paramètres tels que l'origine de la roche, la régularité du banc et le degré de concassage.



Figure I.1 : Type de gravier

- **caractéristiques des granulats:**

- a) **Granulométrie:**

L'échelonnement des dimensions des grains présents dans un gravier est mesuré par la granulométrie. Dans cette méthode, les granulats sont tamisés sur une série de tamis à mailles carrées, avec des dimensions d'ouverture décroissantes, puis le refus est pesé sur chaque tamis. Les tamis ont des ouvertures carrées standardisées qui varient de 0,08 mm à 80 mm. La courbe granulométrique représente les proportions totales, en poids, des grains qui passent dans les différents tamis. On peut évaluer les courbes granulométriques des divers granulats en utilisant l'analyse granulométrique (NF P 18-560).^[8]

- b) **Classes granulaires:**

Les granulats sont classés en fonction de leur dimension à l'aide de tamis (mailles carrées) et de passoirs (trous circulaires), et chaque classe de granulats est identifiée par un ou deux chiffres. Le diamètre maximum D exprimé en mm est donné si un seul chiffre est donné ; si deux chiffres sont donnés, le premier est le diamètre minimum d des grains et le deuxième est le diamètre maximum D . Du point de vue granulaire, un granulat se distingue par sa classe d/D . Si d est inférieur à 2 mm, on appelle le granulat $0/D$. Il y a cinq catégories principales de granulats qui se distinguent par leurs dimensions extrêmes d et D (Norme NFP18-101).^[8]

- Les finés 0/D avec $D \leq 0,08$ mm
- Les sables 0/D avec $D \leq 6,3$ mm
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm

c) **Les ca Forme des granulats :**

1) **Coefficient volumétrique:**

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

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

Pour un granulat constitué d'un ensemble de grains :

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

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

2) **Indice de forme**

Trois grandeurs géométriques déterminent la forme d'un granulat (**Figure I.2**) :

-La distance maximale entre deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat est connue sous le nom de longueur L .

-La distance minimale entre deux plans parallèles tangents au granulat est l'épaisseur E .

-La grosseur G correspond à la taille minimale de la maille carrée du tamis qui permet le passage du granulat.

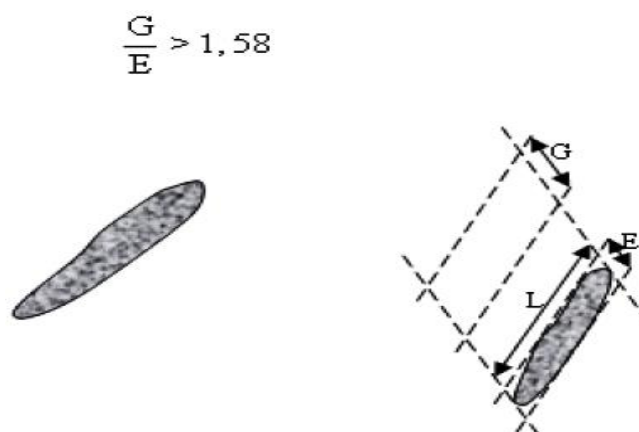


Figure I.2 : La forme d'un granulat

On distingue les formes des granulats suivantes :

- Forme cubique (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur inférieur à 2)
- Forme irrégulière (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur de 2 à 3)
- Forme anguleuse (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur supérieur à 3)

Cette dernière forme incluse les formes d'aiguilles et de plaquette.

En réalité, il est compliqué de trouver des graviers de forme cubique. La pierre concassée avec des formes anguleuses et des surfaces rugueuses offre une bonne maniabilité dans les mêmes conditions, tandis que le gravier roulé avec des surfaces lisses et des formes rondes offre une mauvaise maniabilité.

Selon des chercheurs, les grains de forme d'aiguille et de plaquette ont un comportement négatif, ce qui peut rendre le gravier plus poreux, réduire la maniabilité et la résistance du béton, et rendre le compactage plus difficile. Par conséquent, la dépense en ciment sera accrue. C'est pourquoi les granulats cubiques sont préférés aux plaquettes et aux aiguilles.

3) Coefficient d'aplatissement:

Le coefficient d'aplatissement représente la structure du granulat en fonction de sa taille et de son épaisseur. On l'évalue en effectuant un double tamisage, d'abord en utilisant la série de tamis à mailles carrée pour étudier la granulométrie. Ensuite, les refus retenus sur les différents tamis sont tamisés à nouveau sur une série de grilles à fentes parallèles. Avec un rapport de 1,58. entre les dimensions des tamis et des grilles. Les conditions de sa mesure sont établies par la norme NF P 18-561. [9]

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

e) Masse volumique apparent:

Il s'agit de la quantité de granulat sec qui occupe l'unité de volume. Elle est influencée par la taille, la forme et la granulométrie des grains. Elle est mesurée selon un protocole spécifique (normes NF P 18 554 et 18 555). Entre 1400kg/m³ et 1600kg/m³, la densité des granulats roulés silico-calcaires varie.

La valeur apparente est employée lorsque les différentes composantes du béton sont dosées en volume.

f) Porosité:

Il s'agit du pourcentage du volume des vides présents dans les grains par rapport au volume des grains. En règle générale, la porosité des granulats courants est extrêmement faible. Toutefois, l'importance de la porosité est cruciale pour les granulats légers. La porosité est évaluée conformément à la norme (NF P 18 554 et 18 555).^[10]

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

h) L'absorption d'eau des granulats:

Pendant un certain temps, la majorité des granulats conservés dans une atmosphère sèche peuvent ensuite absorber de l'eau. L'absorption est le processus par lequel le liquide entre dans la roche et l'augmentation de poids qui en découle. L'absorption peut différer considérablement en fonction de la nature du granulat. Pour le granulat léger, elle peut fluctuer de 0 à plus de 30 % du poids sec. Les granulats naturels employés dans la fabrication du béton sont généralement peu poreux et n'absorbent presque pas d'eau lorsqu'ils sont mélangés avec du ciment et de l'eau. En revanche, des granulats artificiels comme des agrégats légers d'argile expansés sont poreux. Il est donc nécessaire de prendre en considération l'absorption de l'eau par les granulats lors de la détermination de la quantité d'eau nécessaire pour la fabrication du béton. Le coefficient d'absorption d'eau est mesuré conformément à la norme (NFP 18554 et 18555).^[7]

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

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

Avec :

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

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

i) Résistance à la fragmentation:

Les granulats sont soumis à des contraintes dans les bétons, ce qui peut entraîner leur rupture : Leur résistance à la fragmentation est évaluée à l'aide de l'essai Los Angeles (LA). Son contenu est couvert par la norme NF P 18-573.

Il s'agit d'un test de résistance aux chocs, qui repose sur l'évaluation de la dégradation granulométrique des matériaux exposés aux chocs. Le

Coefficient Los Angeles est déterminé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré à la fin de l'essai, qui définit la granulométrie et la caractéristique du granulat. La capacité à résister à la fragmentation est d'autant plus grande que sa valeur est faible.^[11]

▪ **Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice)**

Toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment sont regroupées sous ce terme. La résistance des granulats à l'alcali-réaction est essentielle lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton. Afin de pouvoir établir un bilan pour une formulation de béton, il est nécessaire de pouvoir identifier la présence de granulats partiellement réactifs ou non qualifiés. Les problèmes causés par la réaction alcaline se manifestent par le faïençage ou l'éclatement du béton.^[9]

▪ **L'interface pâte de ciment/granulat :**

Selon Maso (1980), la liaison qui se forme lors de l'hydratation entre la pâte de ciment et les granulats se manifeste par une zone spécifique de pâte appelée "auréole de transition" ou interface pâte/granulats. Cette zone de transition est décrite par plusieurs modèles [Monteiro, 1986]. Dans la Figure 2.3, on peut observer le modèle de [Diamond, 1986] pour un béton classique.

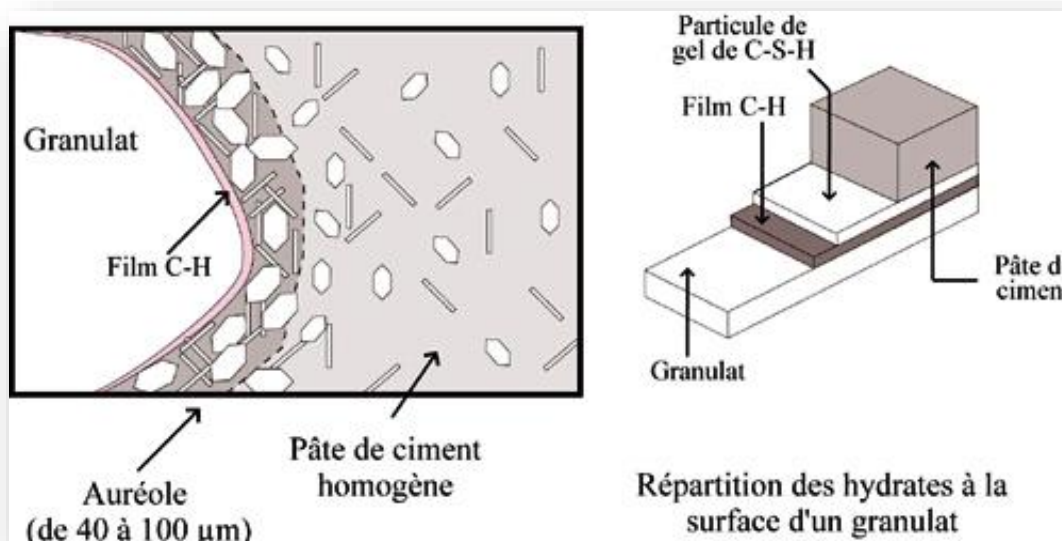


Figure I.3 : Modèle de la morphologie de l'auréole de transition d'un béton ordinaire
[Diamond, 1986]

La qualité de la zone de transition est influencée par la nature des granulats. Les liaisons les plus fortes entre les granulats calcaires (réactifs) et la pâte de ciment sont causées par les réactions chimiques qui se produisent au fil du temps et qui augmentent les forces d'adhésion. Les monocarbo-aluminates de calcium sont produits par la réaction entre le CaCO_3 issu des granulats calcaires et les aluminates tricalciques et les alumino-ferrites tétra calciques. Selon Gaweska Hager (2004), la zone de transition entre les granulats calcaires et la pâte de ciment présente une résistance accrue et une faible perméabilité. Les granulats de cette nature ont été utilisés pour augmenter la résistance du matériau béton, à la différence des granulats de type quartz (comme les granulats siliceux) qui sont neutres par rapport à la pâte de ciment (Malier, 1992). ^[12]

Grâce à la formation de ces C-S-H, la porosité diminue également, ce qui est amplifié par l'effet de remplissage (effet filler) de cette fine, ce qui améliore les performances mécaniques du matériau.

I.2.2. Le sable:

a) Définition:

Les sables sont définis comme la partie des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions allant de 80 μm à 05 mm. Cette définition est générale et les limites varient d'une classification à l'autre. En réalité, la définition de la granulométrie du sable est plus complexe et varie en fonction des époques et des pays, ainsi que de la destination. ^[13]

b) **Origin du sables:**

Les sables disponibles proviennent d'un processus d'érosion et de sédimentation souvent complexe. Il implique, à différents degrés, une dégradation sur place des différentes roches, suivie d'un transport par les cours d'eau et parfois par l'énergie éolienne.

La partie située entre 0,2mm et 0,5mm est généralement composée de quartz à une teneur de plus de 75%. En fonction de l'ampleur et de la nature de leur transport.

c) **Classification des sables :**

Sable grossier : Plus de 20 % des éléments ont une taille supérieure à 2 mm et plus de 50 % des éléments ayant une taille supérieure à 80µm ont une taille comprise entre 0,5 et 5 mm. Ces sables présentent des caractéristiques similaires à celles des graves.

Sable moyen : Les éléments supérieurs à 2 mm représentent moins de 20% et les éléments supérieurs à 80µm représentent plus de 50%, avec une plage de 0,2 à 2 mm.

Sable fin : Plus de la moitié des éléments de plus de 80 µm sont de moins de 0,5 mm. Il est nécessaire de modifier considérablement ces sables afin d'obtenir des caractéristiques similaires à celles des graves.

Module de finesse (Mf) : Le module de finesse (Mf) joue un rôle essentiel, en particulier pour les sables. Le module de finesse (Mf) d'un sable à béton de qualité doit être compris entre 2,2 et 2,8. En dessous, le sable contient une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui entraîne une augmentation du dosage en eau. Au-dessus, le sable manque de fines et le béton perd en ouvrabilité. [8]

Norme Française [NFP18-540]

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

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

- Si la résistance est inférieure à 1,8 <Mf< 2,2, il est recommandé d'utiliser du sable si l'on souhaite privilégier la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

- En cas de 2,2 <Mf< 2,8, il est recommandé d'utiliser du sable si l'on souhaite obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une résistance adéquate, tout en limitant les risques de ségrégation.

- Si l'on souhaite obtenir des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation, il est recommandé d'utiliser du sable avec une valeur de $2,8 < M_f < 3,2$.
- Pour $M_f > 3,2$ le sable est à rejeter.

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

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

d) Équivalent de sable selon la norme (NA454)

Les différentes applications des sables ne sont pas toutes propres, ils renferment une proportion plus ou moins importante d'argiles fines nuisibles qui peuvent avoir un impact considérable sur la qualité des matériaux.

On peut calculer cette proportion relative d'impureté dans les sables en utilisant l'essai de propreté connu sous le nom d'équivalent de sable. L'objectif de cet essai est de faire flocculer les impuretés du sable dans des conditions de temps et d'agitation normalisées.

Cet essai peut être réalisé par deux types de mesure :

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

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100\%$$

(1.7)

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} * 100\%$$

(1.8)

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

Tableau I.2 : Valeur préconisée pour l'équivalent de sable

I.2.3 Le ciment :

Les ciments couramment utilisés sont également connus sous le nom de liants hydrauliques, car ils ont la capacité de s'hydrater en présence d'eau et que cette hydratation forme une pâte liante, plus ou moins fluide, en un solide presque insoluble dans l'eau. Il est important de ne pas confondre :

Le ciment, qui est une poudre disponible en sac ou en vrac, avant d'être mélangé à de l'eau; la pâte de ciment, lors du mélange de l'eau et du ciment ; le ciment hydraté ou la pâte de ciment durcie lorsque le mélange d'eau et de ciment s'est incorporé.^[11]

Les constituants du ciment^[8]

1. fabrication du clinker

Les ciments sont constitués d'une combinaison de chaux provenant de roches calcaires et d'alumine, de silice et d'oxyde de fer provenant d'argiles. On extrait des carrières de calcaires et d'argile, puis on les concasse, on les homogénéise, on les porte à une température élevée (1450 °C) dans un four. Le clinker Portland est le résultat du refroidissement rapide (la trempe). On ajoute ensuite un pourcentage de gypse au clinker, puis on le broie finement pour obtenir une poudre dont la masse volumique absolue est de 3,0 à 3,2 kg/dm³.

2. Autres Constituants Des Ciments

Les propriétés du ciment sont altérées par leurs propriétés chimiques ou physiques. De par leur nature, ils contribuent également à réduire le coût de production.

a) laitier granulé de Haut fourneau (S) : On l'obtient en refroidissant rapidement des scories issues de la fusion de minerai de fer dans un fourneau à haut fourneau. Le lait présente des caractéristiques hydrauliques.

b) Pouzzolanes naturelles (Z) : Il s'agit de roches volcaniques ou sédimentaires avec une composition adéquate, ou d'argiles et de schistes chauds. Les propriétés hydrauliques des pouzzolanes sont inexistantes, mais en présence de la chaux libérée par le clinker lors de l'hydratation, elles se transforment en hydrates stables : on les appelle des pouzzolanes.

c) Cendres volantes (V ou W) : Ce sont les gaz de combustion des centrales thermiques au charbon qui les produisent. Les cendres volantes siliceuses (V) sont caractérisées par des caractéristiques pouzzolaniques, tandis que les cendres volantes calciques (W) présentent des caractéristiques hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

d) Schistes calcinés(T) : Il s'agit de schistes chauffés à 800°C dans un four spécifique. Très finement broyés, ils ont des propriétés hydrauliques élevées et également pouzzolaniques.

e) Calcaires (L) : Il est nécessaire qu'ils contiennent au moins 75% de CaCO_3 .

f) Fumées de silice (D) : Ils sont issus du secteur du silicium et des alliages. Les propriétés pouzzolaniques sont présentes.

g) Fillers(F) : Il s'agit de composants secondaires qui représentent moins de 5 % de la composition des ciments. Ce sont des matières minérales naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

Classification des ciments:

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

	Ciment portland	Ciment portland composé		Ciment de haut Fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	≥ 95%	≥ 80% ≤ 94%	≥ 65% ≤ 79%	≥ 35% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 34%	≥ 05% ≤ 19%	≥ 65% ≤ 90%	≥ 45% ≤ 64%	≥ 40% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 39%
Laitier (S)	-	06% ≤	21% ≤	≥ 36% ≤ 65%	≥ 66% ≤ 80%	≥ 81% ≤ 95%	-	-	≥ 18% ≤ 30%	≥ 31% ≤ 50%
Pouzzolane (Z)	-	total	total	-	-	-	10% ≤ total	36% ≤ total	18% ≤ total	31% ≤ total
Cendres siliceuses (V)	-	≤ 20%	≤ 35%	-	-	-	≤ 35%	≤ 55%	≤ 30%	≤ 50%
Fumée de silice (D)	-			-	-	-	(Fumée ≤ 10%)	(Fumée ≤ 10%)	-	-
Cendres calciques (W)	-	(Fumée de silice ≤ 10%)	(Fumée de silice ≤ 10%)	-	-	-	-	-	-	-
Schistes (T)	-			-	-	-	-	-	-	-
Calcaires (L)	-			-	-	-	-	-	-	-
Fillers (F)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau I.3 : les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants.

Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %)

2) Classification en fonction de leur résistance :

On distingue trois catégories en fonction de la résistance normale à 28 jours. Des sous-catégories sont associées aux trois catégories principales afin de désigner des ciments ayant une résistance élevée au jeune âge.

Les classes doivent se conformer aux caractéristiques mentionnées dans le tableau 2.4 ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont considérées comme des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être négatives par rapport aux valeurs indiquées.^[8]

	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>		<i>Retrait à 28 jours (1)</i>	<i>Début de prise</i>	<i>Stabilité</i>
	<i>Norme EN 196-1</i>		<i>norme</i>	<i>norme</i>	<i>Norme</i>
	<i>Au jeune âge</i>	<i>à 28 jours</i>	<i>P 15-433</i>	<i>EN 196-3</i>	<i>EN 196- 3</i>
<i>classe</i>	<i>2 jours</i> <i>7 jours</i>	<i>mini xi</i>	<i>(µm/m)</i>	<i>(min)</i>	<i>(mm)</i>
<i>32.5</i>	<i>(17.5)</i>	≥ 32.5 <i>(30)</i> \leq <i>52.5</i>	≤ 800	≥ 90	≤ 10
<i>32.5 R</i>	\geq <i>13.5</i> <i>(12)</i>	≥ 32.5 <i>(30)</i> \leq <i>52.5</i>	≤ 1000	≥ 90	≤ 10
<i>42.5</i>	\geq <i>12.5</i> <i>(10)</i>	≥ 42.5 <i>(40)</i> \leq <i>62.5</i>	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
<i>42.5 R</i>	≥ 20 <i>(18)</i>	≥ 42.5 <i>(40)</i> \leq <i>62.5</i>	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
<i>52.5</i>	≥ 20 <i>(18)</i>	≥ 52.5 <i>(50)</i>		≥ 60	≤ 10
<i>52.5 R</i>	≥ 30 <i>(28)</i>	≥ 52.5 <i>(50)</i>		≥ 60	≤ 10

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

I.2.4 L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle essentiel dans le béton en hydratant le ciment, ce qui facilite également la mise en place du béton ou du mortier. Selon une classification traditionnelle, on peut distinguer trois catégories d'eau :^[8]

- **L'eau chimiquement liée** : Elle ne fait plus partie de la phase liquide, car cette eau est ajoutée aux hydrates, dont elle est l'un des composants, sous forme d'eau dé cristallisation.

- **L'eau adsorbée** : Les couches de molécules d'eau se trouvent sur la surface solide des pores. Les particules de CSH sont soumises aux champs des forces électriques superficielles et à l'influence des forces de VAN DER WAALS. Dans cette situation, la structure électronique de la molécule d'eau ne change guère

- **L'eau libre** : La surface de cette eau échappe aux forces des particules solides. En plus de l'eau requise pour l'hydratation, elle occupe les macros pores.

- **L'eau dans la pâte de ciment** :^[12]

Le comportement du béton est influencé par l'eau présente dans les C-S-H et celle présente dans les zones d'adsorption empêchée.

I.3. Rôle des différents éléments constituant le béton :

- **Ciment** : Le composant est celui qui va interagir chimiquement avec l'eau, développer sa résistance et rassembler tous les ingrédients.

- **L'eau** : Elle est responsable de l'hydratation du ciment et de la flexibilité du mélange.

- **Les granulats** : Ils vont créer une structure plus ou moins organisée qui donnera au béton sa solidité. Le ciment hydraté est responsable de la "collation" des granulats.

- **Le sable** : il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

I.4. Propriétés des bétons

I.4.1. Propriétés des bétons frais

I.4.1.1. Affaissement au cône d'Abrams

L'objectif de cet essai est d'évaluer la profondeur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais lors de sa compaction dans un moule à tronc de cône. Quand on soutient verticalement le cône, on peut mesurer la consistance du béton en l'affaissant.^[16]

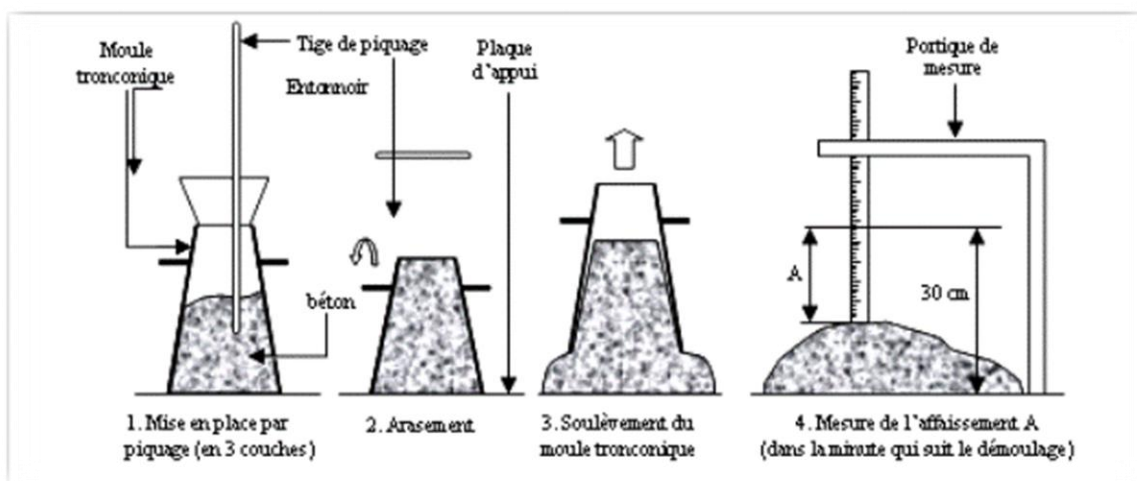


Figure I.5 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams



Figure I.6 : Mesure de l'affaissement

I.4.2. Propriétés du béton durci

Quand le béton a pris de la solidité, sa forme ne peut plus être altérée, mais ses caractéristiques restent en constante évolution pendant plusieurs mois, voire des années.

- La légèreté d'un béton (ou sa faible porosité) joue un rôle essentiel dans sa longévité.
- Une excellente capacité à résister à la compression est souvent recherchée pour le béton durci.
- L'évolution du béton est caractérisée par des phénomènes de retrait qui sont prévisibles.
- On connaît les caractéristiques des déformations sous charge du béton et on peut les mesurer.^[9]

I.4.2.1. Résistance à la compression ^[9]

La résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée parmi toutes les sollicitations mécaniques, probablement parce qu'elle donne généralement une vision globale

de la qualité d'un béton, car elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. En outre, il est essentiel de prendre en compte la résistance du béton en compression lors de la conception des structures en béton et de définir les spécifications de conformité.

Un béton est caractérisé par la résistance caractéristique à la compression à 28 jours, connue sous le nom de f_{c28} . On mesure la résistance du béton à la compression en utilisant une charge qui provoque l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les tests de compression sont effectués en chargeant les éprouvettes jusqu'à rupture dans une machine. La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression est calculée. L'équation qui donne la résistance à la compression est la suivante :

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

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

F : charge maximale, exprimée en Newtons.

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

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

I.5. La formulation de béton

Le processus d'analyse de la composition d'un béton vise à déterminer le mélange idéal des différents éléments du béton (granulat, eau, ciment) pour obtenir un béton avec les caractéristiques souhaitées (résistance, consistance).

Dans cette situation, on utilise différentes méthodes pour déterminer les proportions des différents composants, parmi lesquelles on retrouve : - Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).

Les techniques de représentation graphique (Joisel, Dreux-gorisse).

I.5.1. Méthodes semi-empiriques

a. Méthode de Bolomey

La formule de base est la suivante :

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

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

d : Le diamètre du plus petit granulat.

D : Le diamètre du plus gros granulat.

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

Consistance du béton	Granulats roulés	Granulats Concassé
Béton dame	6-8	8-10
Béton armé	10	12-14
Béton coulé	12	14-16

Tableau I.5 : valeur de coefficient du A

b. Méthode de Faury :

Faury^[17] Une nouvelle loi de granulation du type continu a été proposée, en se basant sur la théorie de Caquot^[18] concernant la taille d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

Le résultat de la loi de granulation est une loi fonction de $5\sqrt{d}$. Théoriquement, la courbe granulométrique idéale qui conduit à la compacité maximale est une droite ; cependant, Faury a fait une distinction entre les grains fins et moyens ($<D/2$) et les gros grains ($>D/2$), et la pente de la droite diffère pour chacune de ces deux catégories.

Une courbe granulométrique de référence est tracée pour l'ensemble du mélange de ciment, composée de deux droites, lorsque l'on utilise un graphique gradué, en abscisse $5\sqrt{d}$.

Le point de convergence de ces deux droites est défini comme $D/2$ et son ordonnée Y est obtenue à l'aide de la formule suivante.

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

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

D : Exprimé en dimension de passoire.

R : Le rayon moyen du moule.

I.5.2. Méthodes graphiques

I.5.2.1. Méthode de Dreux-Gorisse 28 ^[19]

La méthode de formulation a été sélectionnée en se basant sur les critères suivants :

- Une approche relativement simple et conviviale.
- Cette approche est utilisée dans les laboratoires de l'est algérien tels que le C.T.C. Est, le L.T.P. Est et d'autres laboratoires privés afin de pouvoir comparer les résultats avec ceux des autres organismes de contrôle.

a) Détermination du dosage en ciment :

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

$$R_b = GR_c \left(\frac{C}{E} - 0.05 \right) \quad (1.15)$$

Ou:

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

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

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

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

Valeurs de G coefficient granulaire

qualité des granulats	Dimension des granulats D(mm)		
	Fins	moyens	Gros
	$D \leq 12.5$	$20 \leq D \leq 31.5$	$D \leq 40$
Excellent	0.55	0.60	0.65

bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Tableau I.6 : Valeurs de G coefficient granulaire

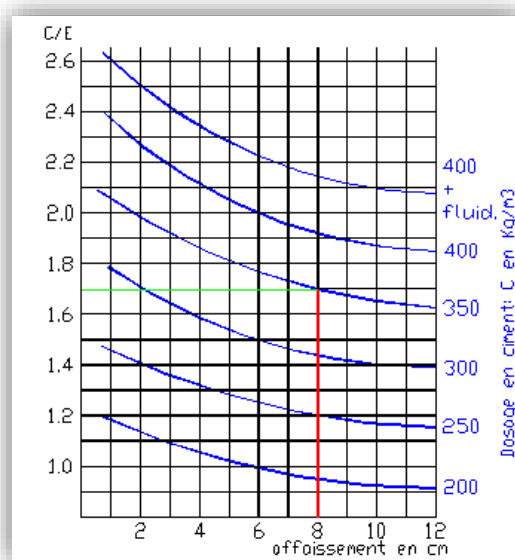


Figure I.7: Dosage en ciment

b) Détermination du dosage en eau :

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

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

c) Détermination du dosage en granulat :

La courbe OAB ci-dessous représente le pourcentage de sable et de gravier calculé à partir de la courbe granulaire de référence établie par l'une des méthodes de composition de béton (Figure 2.6). La courbe OAB représente la dimension D du plus gros granulat, tandis que le point de brisure A est défini par des coordonnées telles que :

• En abscisse :

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

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

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

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

K : Il s'agit d'un terme correcteur qui varie en fonction du dosage de ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur l'ensemble du sable, ainsi que de la finesse du sable donnée par le (Tableau)).

vibration	Foible		normal		Puissant	
	roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	Concassé
400+fluidifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

TableauI.7 : valeur du terme correcteur K

Il est nécessaire de tracer la courbe granulaire de référence OAB sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats constitutifs. Les lignes de partage entre chaque granulat sont alors tracées en ajoutant le point à 95% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite. Au point de croisement avec la ou les droites de partage, on peut observer sur la courbe de référence le pourcentage en volume absolu de chaque granulat, tels que g1, g2, g3, par exemple.

Si l'on utilise du ciment pour le dosage, le volume total des grains de ciment est :

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

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

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

Ou:

γ : coefficient de compacité qui est donné par le (Tableau I.8).

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=30	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855
	Vibration très puissante	0,790	0,820	0,835	0,845	0,850	0,855	0,860

Tableau I.8 : coefficient de compacité

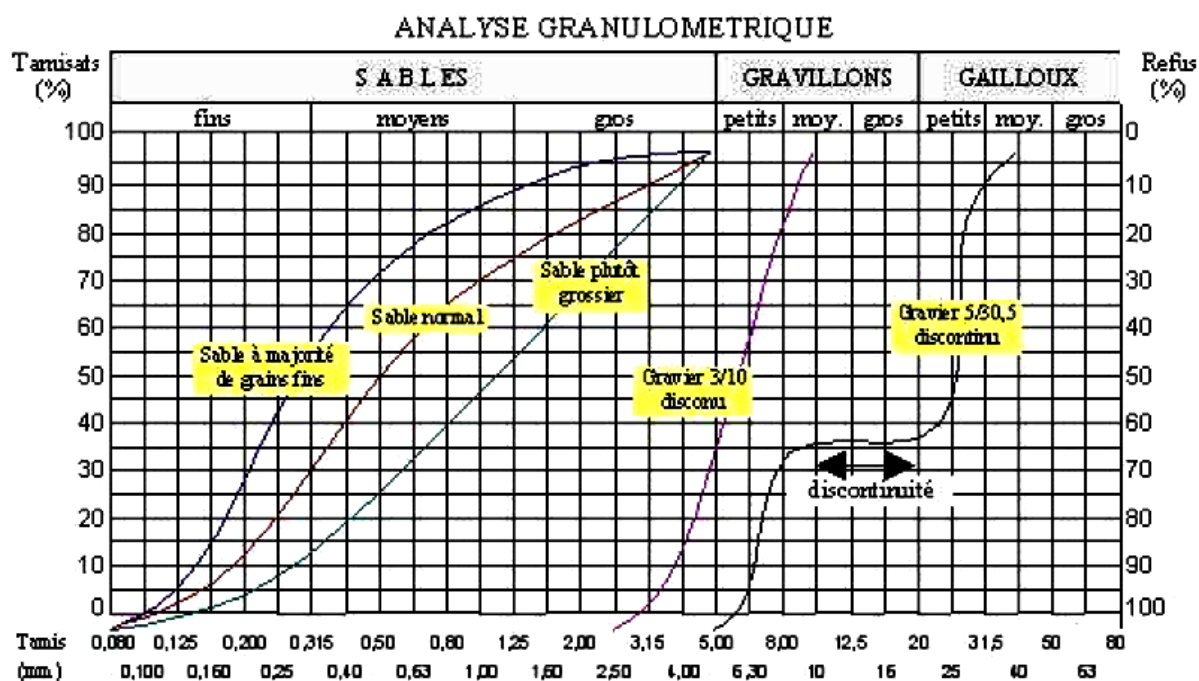


Figure I.8: la courbe granulaire de référence

I.6. Quelques matériaux naturels

I.6.1. Le bois :

Le bois est une matière végétale naturelle. C'est l'un des matériaux les plus prisés en raison de ses caractéristiques mécaniques, de son pouvoir calorifique et de sa capacité à servir de matière première dans de nombreux secteurs industriels. Il est utilisé de manière variée dans le domaine du bâtiment et de l'industrie (industries papetières, industries chimiques...) ainsi que comme combustible.

I.6.1.1. Les propriétés du bois :

La densité :

Essence	Densité anhydre Moyenne	Porosité (%)
Hêtre	0.65	58
Amourette (acaciaexotique)	1.30	17

Tableau I.9: Exemple de densité et porosité du bois.

Teneur en eau, résistances mécaniques et module d'élasticité :

La teneur en eau se calcule par la formule suivante :

$$W (\%) = 100(PW - P_0) / P_0$$

Du point de vue de l'utilisation, on appelle :

- Bois anhydre: $W=0$
- Bois desséché: $0 < W < 13\%$
- Bois sec à l'air : $13 < W < 18\%$
- Bois commercialement sec: $18 < W < 23\%$
- Bois mi- sec: $23 < W < 30\%$
- Boisvert: $W > 30\%$

En général, lorsque la teneur en eau augmente, cela entraîne une diminution significative de la résistance des fibres. Dès que la teneur en eau atteint 30%, la résistance et le module E demeurent presque constants. La teneur en eau a un impact beaucoup moins important sur le module E que sur la résistance. La résistance à l'air du bois vert et des pièces de bois mouillé (cintres, échafaudages) est donc inférieure à celle du bois sec.^[20]

I.6.2. Le bois de construction : un puits de carbone ?

Le puits de carbone représente un lieu de stockage et de stockage du carbone provenant de l'atmosphère, tels que les océans et les forêts (l'arbre absorbe le CO₂ pendant sa croissance). Le bois offre la possibilité de conserver une partie du carbone rejeté par l'industrie ancienne, tout en contribuant à la diminution des émissions de gaz à effet de serre en tant qu'alternative aux matériaux non renouvelables tels que les matières plastiques, les métaux et le béton. Peu importe la fin de vie, le bois a un effet retardateur (le carbone fixé par photosynthèse sera rejeté par décomposition ou combustion). Ainsi, le bois de construction joue un rôle essentiel en tant que matériau biosourcé pour faire face aux défis du changement climatique.^[21]

I.6.3. Le bois matériau composite naturel :

La structure du bois en fait un matériau "high-tech", un matériau composite naturel dont le modèle d'optimisation est utilisé comme fondement pour de nombreux matériaux composites artificiels. En effet, ces matériaux composites, qu'ils soient naturels ou artificiels, ont les caractéristiques suivantes en commun :

- Structure au caractère périodique marqué,

- Fibres aux propriétés mécaniques élevées, englobées dans une matrice en général thermodurcissable. (Ce sera l'ensemble cellulose/ hémicellulose/ lignine dans le composite bois massif).[22]

I.6.3.1. La fibre :

La fibre de chanvre se trouve sur de multiples marchés et fait partie de divers produits. Elle est concurrencée par de nombreux matériaux tels que le lin, la ramie et le jute.[23]

I.6.3.2. Les fines :

Les fines présentes dans les granulats de chanvre sont généralement des particules de taille inférieure à 0,5 mm. Aucune caractérisation géométrique supplémentaire n'a été effectuée sur les fines.

I.7. Conclusion :

Dans cette section théorique, nous pouvons tirer la conclusion que le béton est un matériau varié dont les composants sont sélectionnés en fonction des critères qui lui sont demandés. Les résistances mécaniques sont principalement influencées par la porosité, la qualité et les composants.

Chapitre II

Caractéristiques des Matériaux

CHPITRE II : CARACTEISTIQUES DES MATERIAUX

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposons les propriétés des matériaux employés dans ce projet, ainsi que les diverses expériences expérimentales. Il convient de souligner que cette expérience a été réalisée conformément aux normes européennes en vigueur, à l'exception des essais d'étalement et de temps d'écoulement des MAP frais, qui ne sont pas standardisés. Au sein du laboratoire du département de Génie Civil de l'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila, des tests physiques et mécaniques ont été réalisés.

II.2. Matériaux utilisés :

- Sable de Boussaâda.
- Sable concassé.
- Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- Ciment Matine42.5
- Sciure de bois
- Eau de gâchage (Eau potable pries au niveau du laboratoires de génie civil de l'université de M'SILA).
- Les adjuvants (MEDAFLOW 30 /30)

II.3. Caractéristiques principales des matériaux utilisés

II. 3.1. Sable :

II.3.1.1. Type de sable utilisé

II.3.1.1.1. Sable de Boussaâda

Dans cette étude, le sable utilisé provient des rives de l'oued Maïter (carrière de Lafarge). Situé entre les collines de Boussaâda, cet oued est traversé par un vent du sud rempli de grains fins. Au fur et à mesure que le désert s'est développé, le sable s'est accumulé dans l'oued, ce qui a permis son transport et son expansion.

Ce sable provient de l'énergie éolienne, il s'agit d'un sable de dune, du moins avec ses grains fins. Le sable siliceux de la dune de Boussaâda, avec ses grains roulés arrondis et des surfaces lisses, se distingue par sa finesse, sa granulométrie et son diamètre maximal inférieur à 3,0 mm.



Figure II.1 : Le sable de Boussaâda

II.3.1.1.1.1. Masse volumique absolue :

Il s'agit de la masse de la substance par unité de volume, c'est-à-dire le rapport entre la masse et son volume absolu.

*** Mode opératoire :**

La masse volumique totale du sable est calculée en utilisant un récipient de 1000 ml. Trois échantillons de 300g sont prélevés.

L'échantillon est placé dans un récipient de 1000 ml et on y verse 300 ml d'eau préalablement préparée dans un deuxième récipient gradué. Ensuite, on agit avec soin sur le contenu afin de retirer l'air présent. Une fois cette opération terminée, le volume final du mélange sable-eau est mesuré. Soit (V) cette quantité.

Étant donné que le volume d'eau versé est de 300 ml, il serait simple de calculer la quantité de sable seulement.

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

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

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

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

N° d'Essai	M (g)	V_e (Cm ³)	V_I (Cm ³)	ρ_{abs} (g /cm ³)	ρ_{abs} moyenne (g /cm ³)
1	55,7	120	22	2,53	2.59
2	63,2	120	24	2,63	
3	73,2	120	28	2,61	

TableauII.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda

II.3.1.1.2. Masse volumique apparente :

Masse volumique apparent :

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

* Mode opératoire:

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 cepooids.
- Volume de recipient $V_r=900\text{cm}^3$.
- La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app L} = \frac{M_2 - M_1}{V_r}$$

(3.2)

N° d'Essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{appL} (g /cm ³)	ρ_{appL} moye(g /cm ³)
1	116,7	1424,3	1,452	1.450
2	116,7	1422,8	1,451	
3	116,7	1421,6	1,449	

TableauII.2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda

II.3.1.1.1.3. Porosité :

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

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \quad (3.4)$$

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

Pour le sable de la dune :

- $P = 44.015 \%$

II.3.1.1.1.4. Compacité:

La taille d'un matériau correspond à la proportion de son volume réel occupé par la matière solide qui le compose, c'est-à-dire le rapport entre le volume absolu des grains et le volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \times 100 = 100 - \quad (3.5)$$

Pour le sable de la dune :

- $C = 55.98\%$

II.3.1.1.1.5. L'indice des vides:

Le rapport entre le volume du vide et le volume du solide est connu sous le nom d'indice des vides.

L'indice des vides donnée par la formule :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100-P)} \quad (3.6)$$

Avec P en pourcent (%).

- **Pour le sable de la dune :**

$$e = 0.78 \%$$

La Porosité P %	La Compacité C %	Indice des vides e %
44.015	55.98	0.78

Tableau II.3 : Porosité ; compacité et indice des vides (sable Boussaâda).

Les résultats de notre essai révèlent la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines présentes dans le sable, ainsi que le taux de poussières nuisibles et d'éléments argileux qui altèrent la qualité du béton et du mortier.

*** Mode opératoire:**

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vente jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
 - Laisserreposer pendant **10** minutes.
 - Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de **20cm** de cours horizontales en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
 - Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vanteau dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
 - Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins

et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

A / Equivalent de sable visuel (ESV) :

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

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100[\%] \quad (3.7)$$

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

B / Equivalent de sable piston (ESP) :

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

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100[\%] \quad (3.8)$$

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

N° d'Essai	h ₁	h ₂	ESV (%)	Moy ESV (%)	h' ₂	ESP (%)	Moy ESP (%)
1	7	6,4	91,4	90,21	6,2	88,57	88,93
2	6,8	6,1	89,705		6	88,23	
3	6,7	6	89,552		6,3	90	

Tableau II.4 : Equivalent du sable de Boussaâda

(ESV)moy= 90,21%

(ESP)moy= 88,93%

Donc : $75 \leq ES \leq 85$

$70 \leq ES \leq 80$

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

Tableau II.5: Comparaison des résultats

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

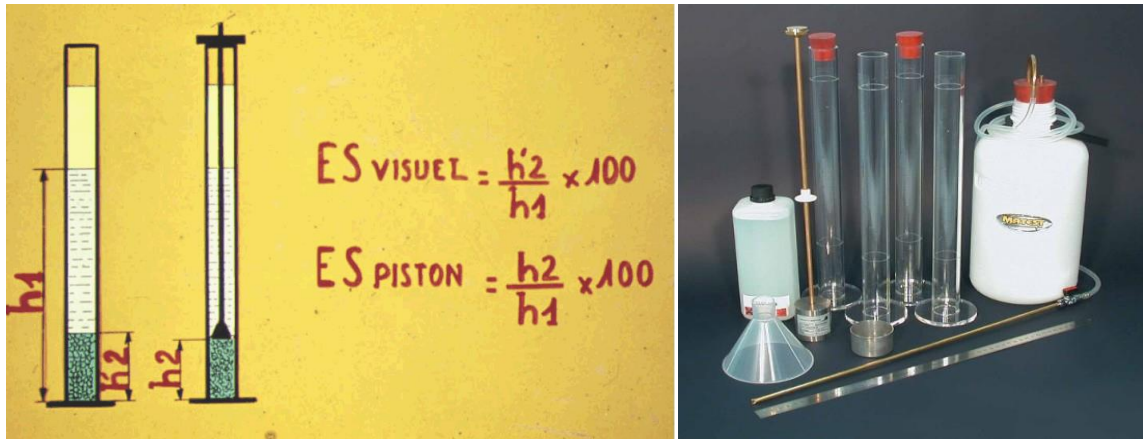


Figure II.2 : L'essai l'équivalent de sable

II.3.1.1.6. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique par tamisage peut être définie comme un ensemble d'opérations qui permettent de séparer les éléments constituant l'échantillon en fonction de leur grosseur, en utilisant des tamis à maille carrée. Cela permet d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.



Figure II.3. Appareil de l'analyse granulométrique

* Mode opératoire:

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

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

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

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

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

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

Ou:

- **T**: Tamisâten %
- **R_C**: Refuscumulésen %

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide (g)	Poids des Tamis + sable (g)	Refus du sable	Refus Cumulés	Refus Cumulés %	Tamisât Cumulés %
5	855	855	0	0	0	100
2.5	753	838	85	85	4.25	95.75
1.25	653	726	73	158	7.9	92.1
0.63	621	706	85	243	12.15	87.85
0.315	561	1135	574	817	40.85	59.15
0.16	518	1588	1070	1887	94.35	5.65
0.08	506	610	104	1991	99.55	0.45
fond	564	572	8	1999	99.95	0.05

Tableau II.6 : Analyse granulométrique du sable (sable de Boussaâda)

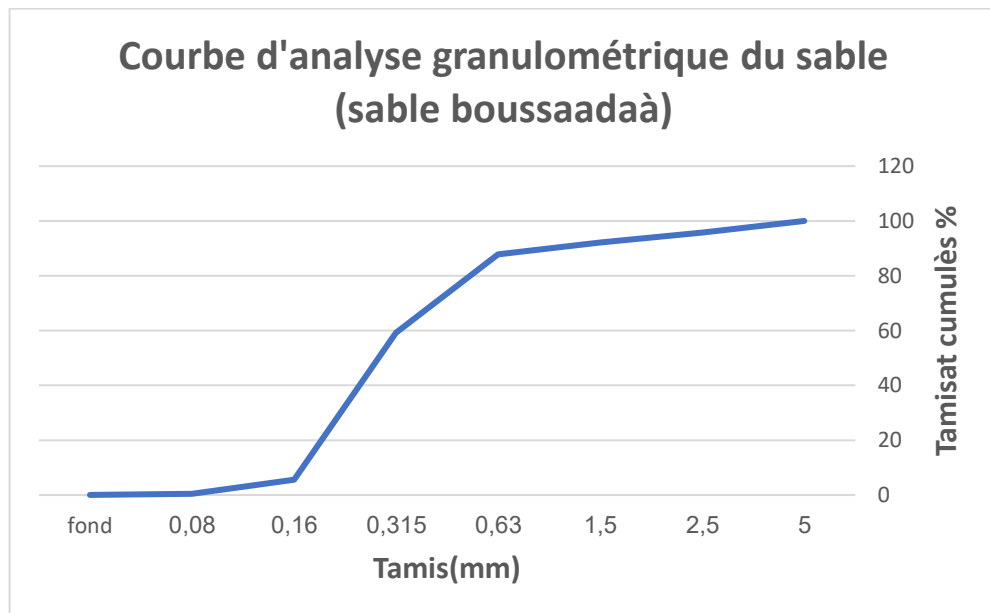


Figure II.4 : La courbe granulométrique du sable de Boussaâda.

✓ **Module de finesse:**

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

$$M_{Finesse} = \sum \frac{(Refuscumulésdetamis[(5,2.5,1.25,0.63,0.315,et 0.16)])}{100}$$

(3.11)

$$M_f = 1.9$$

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit :

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

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

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

Commentaire :

Le sable de BOUSAADA contient une grande quantité de silice.

II.3.1.1.2. Sable Concassé :

Le sable de carrière, également connu sous le nom de sable concassé, est un résultat des procédés industriels contrôlés de concassage, de lavage et de criblage utilisés sur des roches massives, principalement calcaires.

Il est rare d'utiliser ce sable, qui se trouve principalement dans la classe granulaire 0/3 mm, pour fabriquer des bétons en raison de leur teneur élevée en fines, qui varie de 8 à 30 %, ce qui pose problème de stockage dans les carrières. Différentes études ont été réalisées afin de mettre en valeur le sable de carrière dans la fabrication de mortiers et de bétons. En effet, il a été constaté que la forme de ces grains angulaires convient mieux à un accrochage plus efficace à la pâte de ciment que celle des sables roulés, ce qui leur confère une plus grande résistance au béton.

La granulométrie du sable de carrière et ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques déterminent son utilisation.

Dans la plupart des cas, il est employé pour les sous-fondations et les fondations, des applications liées au ciment, comme le béton, et pour la fabrication de mélanges bitumineux.

[BEN FETTACHA]



Figure II.5 : Le sable concassé

II.3.1.1.2.1. Masse volumique absolue :

Il s'agit de la masse de la substance par unité de volume, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

*** Mode opératoire :**

La masse volumique totale du sable est calculée en utilisant un récipient de 1000 ml. Trois échantillons de 300g sont prélevés.

L'échantillon est placé dans un récipient de 1000 ml et on y verse 300 ml d'eau préalablement préparée dans un deuxième récipient gradué. Ensuite, on agit avec soin sur le contenu afin de retirer l'air présent. Une fois cette opération terminée, le volume final du mélange sable-eau est mesuré. Soit (V) cette quantité.

Étant donné que le volume d'eau versé est de 300 ml, il serait simple de calculer la quantité de sable seulement.

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

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

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

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

N d'essai	Masse utilisée M (g)	Volume utilisée Ve (ml)	V2 (ml)	ρ (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	300	300	415	2.6	2.62
2	300	300	412	2.67	
3	300	300	415	2.6	

Tableau II.7 : Masse volumique absolue du sable concassé.

II.3.1.1.2.2. Masse volumique apparente :

Masse volumique apparent :

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

* Mode opératoire:

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$.
- La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app L} = \frac{M_2 - M_1}{V_r}$$

(3.2)

Essai	Vr(cm ³)	M1(g)	M2(g)	γ app (g/cm ³)	γ moy (g/cm ³)
1	900	116	1363	1.51	1.53
2		116	1392	1.54	
3		116	1391	1.54	

Tableau II.8 : Masse volumique apparente du sable concassé.

II.3.1.1.2.3. Porosité :

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

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \quad (3.4)$$

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

Pour le sable de la dune :

- $P = 41.07 \%$

II.3.1.1.2.4 Compacité :

La taille d'un matériau correspond à la proportion de son volume réel occupé par la matière solide qui le compose, c'est-à-dire le rapport entre le volume absolu des grains et le volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \times 100 = 100 - \quad (3.5)$$

Pour le sable de la dune :

- $C = 58.39\%$

II.3.1.1.2.5. L'indice des vides :

Le rapport entre le volume du vide et le volume du solide est connu sous le nom d'indice des vides.

L'indice des vides donnée par la formule :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100-P)} \quad (3.6)$$

Avec P en pourcent (%).

- Pour le sable de la dune :

$$e = 0.71 \%$$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux Tableaux suivants :

La Porosité P %	La Compacité C %	Indice des vides e %
41.07	58.39	0.71

Tableau II.9 : Porosité ; compacité et indice des vides (sable concassé).

II.3.1.1.2.6. Analyse granulométrique : [NF P 18-304].

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant 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.



Figure II.6 : Appareil de l'analyse granulométrique

Après avoir mené l'expérience, les résultats sont présentés dans le tableau

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide (g)	Poids des Tamis + sable (g)	Refus du sable	Refus Cumulés	Refus Cumulés %	Tamisât Cumulés %
5	868	868	0	0	0	100
2.5	753	947	194	194	9.7	90.3
1.25	653	1653	1000	1194	59.7	40.3
0.63	622	900	278	1472	73.6	26.4
0.315	560	841	281	1753	87.65	12.35
0.16	518	652	134	1887	94.35	5.65
0.08	507	599	92	1979	98.95	1.05
fond	561	568	7	1986	99.3	0.07

Tableau II.10 : Analyse granulométrique du sable concassé

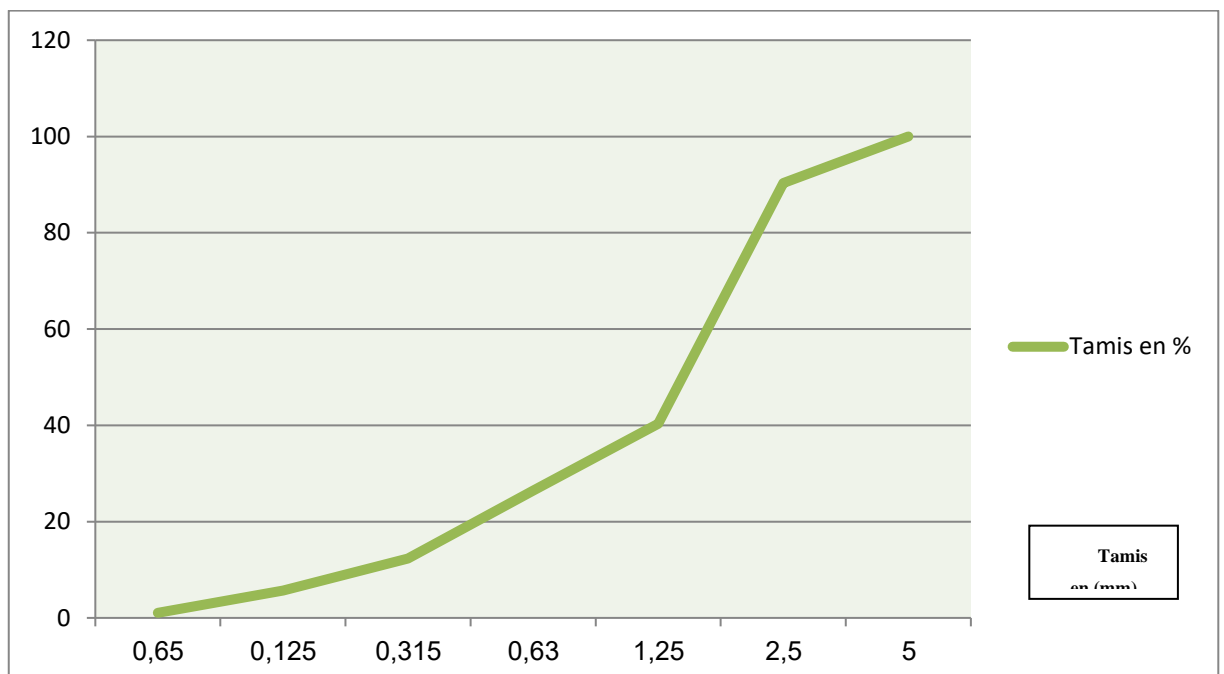


Figure II.7 : La courbe granulométrique du sable concassé.

II.3.1.1.2.7. Module de finesse :

Introduire la règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que de zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston, soit h_2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = (h_2'/h_1) * 100(\%)$$

On : h_1 : la hauteur du sable +floculat.

h_2' : la hauteur du sable ($h_2' < h_1$).

Essai	h_1	h_2 (cm)	E.S.V %	E.S.Vmoy	H_2' (cm)	E. S.P %	E.S.Pmoy
1	9.6	8.4	87.05	95	8.6	89. 58	93.2
2	11.1	11	99.09		10.5	94. 59	
3	8.8	8.7	98.86		8.4	95. 45	

Tableau II.11 : Résultats de l'équivalent du sable (sable concassé).

Donc :

$$E.S.V > 85$$

$$E.S.P > 80$$



Sable très propre : l'absence totale de fine argileux

D'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il

Faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

II. 3.2. Gravier :

II.3.2.1. Type de gravier utilisé

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude.

II.3.2.1.1. Gravier concassé :

II.3.2.1.1.1: Origine de gravier :

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers **B.B.A** (carrière **COSIDER**).

II.3.2.1.1.2. Classes granulaires:

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

II.3.2.1.1.3. Résistance à la compression de la roche d'origine :

La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à **610 g** /Cm².

II.3.2.2. Caractéristiques physiques du gravier utilisé :

II.3.2.2.1 Masses volumiques absolues :

La norme NFP 18-301 est appliquée à cet essai, qui définit la masse par unité de volume de la matière qui forme le granulat, sans prendre en compte les vides qui peuvent exister entre les grains.

➤ **But de l'Essai:**

L'objectif de cet essai est de déterminer la masse d'une fraction granulaire lors de l'élaboration d'une composition de bétons, par exemple. Ce paramètre offre notamment la possibilité de calculer la masse ou le volume des différentes catégories granulaires mélangées afin d'obtenir un béton dont les caractéristiques sont requises. La méthode de l'éprouvette graduée a été employée dans cette étude, elle est facile, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.

➤ **Mode opératoire:**

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

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

(3.12)

Fraction	N° d'Essai	M (g)	V_e (Cm ³)	V_I (Cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	$\rho_{abs\text{moye}}$ (g/cm ³)
3/8 (GC)	1	6 0,1	300	28	2,14	2.646
	2	7 0,6	300	24	2,94	
	3	8 0,3	300	28	2,86	
8/16 (GC)	1	6 0,2	300	20	3,01	2.451
	2	7 0,3	300	30	2,34	
	3	8 0,2	300	40	2,005	

**TableauII.12 : Masse volumiques absolue des fractions3/8 et 8/16 de gravier
(Concassé)**

II.3.2.2.2. Masse volumique apparent :

➤ But de l'Essai:

L'objectif de cet essai est de déterminer la masse d'une fraction granulaire lors de l'élaboration d'une composition de bétons, par exemple. Ce paramètre permet notamment d'évaluer la masse ou le volume des graviers nécessaires pour produire un béton dont les caractéristiques sont requises.

➤ Mode opératoire de l'Essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué ((71) pour le G 3/8 -(10l) pour le G 8/16) et déterminer la masse du contenu.

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

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (3.13)$$

Fraction	N° d'Essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{appL} (g / cm ³)	ρ _{appL} moye(g / cm ³)
3/8 (GC) v=900	1	116	141 3	1,44	1.445
	2	116	141 5	1,44	
	3	116	144 4	1,475	
8/16 (GC) v=900	1	116 ,7	144 5	1,47	1.437
	2	116 ,7	142 9	1,402	
	3	116 ,7	141 7	1,44	

Tableau II.13: Masse volumiques apparentes des fractions 3/8 et 8/16 du gravier (concassé)

II.3.2.2.3. Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554

Le mode opératoire est semblé celui effectuée pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

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

(3.14)

La compacité donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}$$

(3.15)

L'indice des vides est donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{C}$$

(3.16)

Fraction de gravie	Porosité (%)	Compacité (%)	L'indice de vide %
3/8 R	45.38	54.62	0.83
8/16 C	41.37	58.63	0.70

Tableau II.14 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

II.3.2.2.4. Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans la table auxci-dessous.

a) Fraction 3/8 concassé (1500g)

Ouvert ure des tamis (mm)	Poids tamis (gr)	Refus partiel (gr)	Refus cumulé		Tamis ât en (%)
			(gr)	(%)	
10	586	14	14	0.93	99.06 6
8	638	121	135	9	91
6,3	638	442.33	577. 33	38.4 9	61.51

5	656	306.33	883. 66	58.9 1	41.09
4	603	406.66	1290 .33	86	14
3.15	607	151.66	1442	96.1 3	3.86
2.5	596	35	1477	98.4 6	1.53
fond	451	23.66	1500 .66	100. 04	0.026

Tableau II.15: Analyse granulométrique du gravier concassé 3/8

MF=4.88

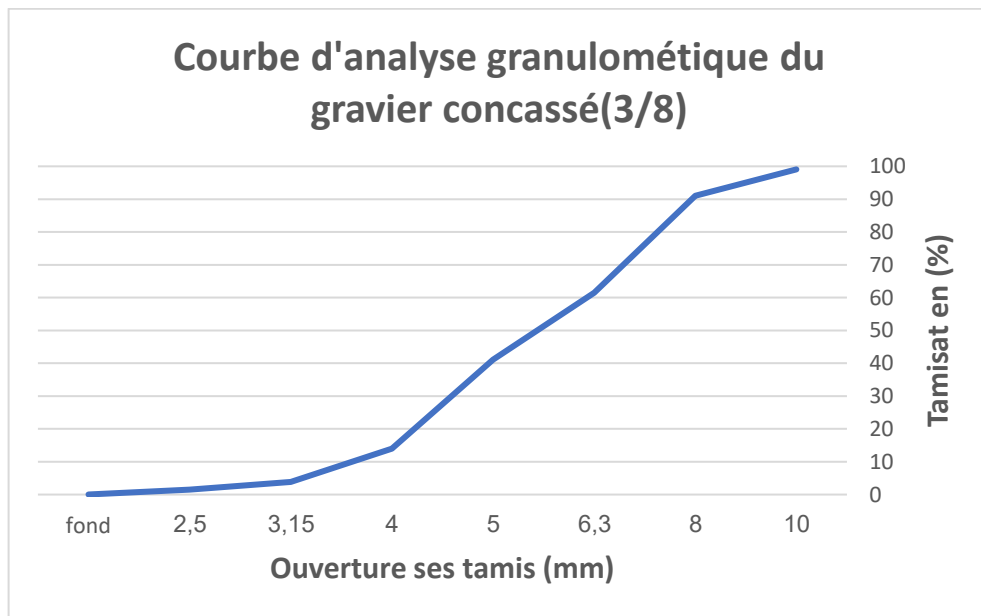


Figure II.8 : Courbe Analyse granulométrique du gravier concassé 3/8

b) Fraction 8/16 concassé (1500g)

Ouverture des tamis (mm)	Poids tamis (gr)	Refus partiel (gr)	Refus cumulé		Tamisât en (%)
			(gr)	(%)	
20	670	20	9.33	0.6	99.4
16	566	95,66	105	6.96	94.36

12.5	597	508	613	40.83	59.16
10	583	646	1259	83.92	10.43
8	638	214,33	1473.33	98.22	1.78
6.3	638	28	1494.66	99.62	0.35
Fond	451	5	1499.66	99.99	

Tableau II.16: Analyse granulométrique du gravier concassé 8/16

MF=4.22

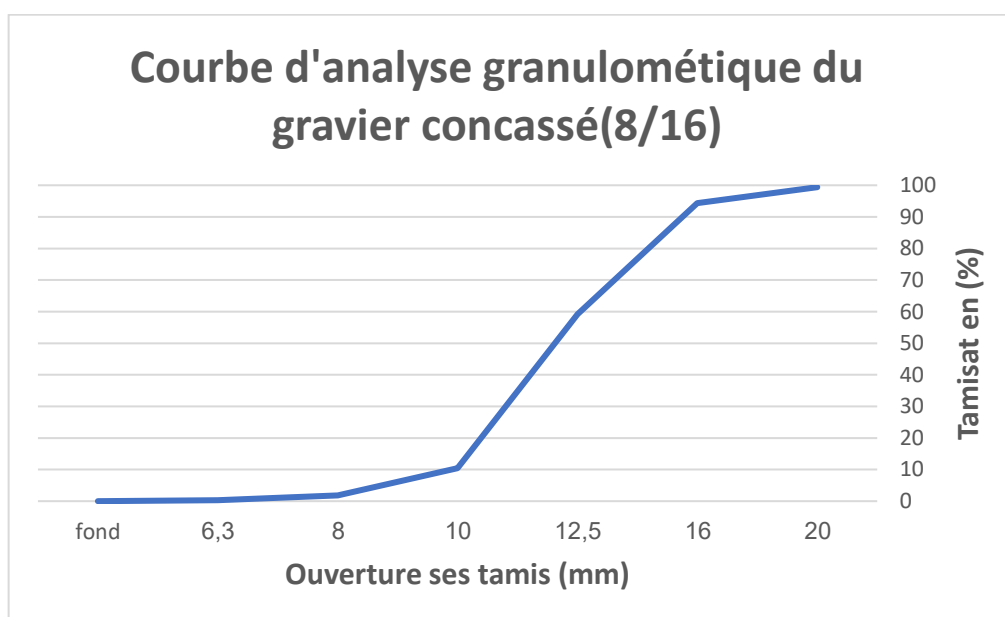


Figure II.9 : Courbe Analyse granulométrique du gravier concassé 8/16

II.3.2.2.5. Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés :

Il s'agit d'essais majeurs concernant les granulats routiers. Effectivement, le passage fréquent de véhicules entraîne un émoussement, une polition graduelle des granulats, ce qui réduit l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

Grâce à ces caractéristiques, il est également possible d'évaluer la qualité des granulats utilisés pour fabriquer du béton.

II.3.2.2.6. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles là, et sur le principe de l'effritement par abrasion.



Figure II.10 : Appareil de l'essai Los Angeles.

II.3.2.2.6.1. Principe de l'essai :

L'objectif de l'essai est de mesurer la masse m d'éléments de moins de 1,6 mm, obtenus par la fragmentation du matériau testé (avec des diamètres allant de 4 à 50 mm), et soumis aux chocs de boulets normalisés dans le cylindre de la machine Los Angeles pendant 500 rotations.

II.3.2.2.6.2. Formulation :

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles (LA) :

$$L_A = \left(\frac{m}{M} \right) * 100$$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Fraction de Gravier	Nombre de boules	M (Kg)	m (Kg)	Coef LA %
Gravier R 3/8	7	5	0.954	19.08
Gravier 8/16	11	5	1.163	23.26

Tableau II. 17 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé

II.3.2.2.6.3. Classification : Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Coefficient L_A	Nature de la Roche
< 20	Très dure
20 à 25	Dure

25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
> 50	Trèstendre

Tableau II.18: Classification des roches en fonction du coefficient LA

Commentaries:

- Le gravier roulé (3/8) : c'est un gravier très dur (LA=19.08 %) / (LA < 20),
- Le gravier (8/16) : c'est un gravier dur (LA= 23.26%) / (20 <LA<25),

II.3.2.2.7. Caractéristiques chimiques des graviers concassés :

- La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars **2004**, à la cimenterie de ACC (M'sila).

ELEMENT	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
Teneur (%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

Tableau II.19 : Analyse chimique de la pierre concassée.

II. 3.3. Ciment :

II.3.3.1. Type de ciment utilisé

II.3.3.1.1. Ciment Matine 42.5: Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II /A 42.5 NA 442 (MATINE). Provenant de la cimenterie de LAFARGE usine de M'sila. Il est obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. C'est un Ciment conforme de la norme NA 442 :2000.



Figure II.10 : Ciment Matine 42.5

Caractérisation de ciment Matine 42.5		Résultats
Module de finesse	MF(cm ² /g)	3488
La masse volumique	γ (kg/l)	1.316
	ρ_{abs} (g/cm ³)	3

Tableau II. 20. les caractérisations de ciment Matine 42.5 [16]

Eléments	Teneur (%)
SiO ₂	17.35
Al ₂ O ₃	4.51
Fe ₂ O ₃	2.92
CaO	59.87
MgO	1.62
SO ₃	3.08
K ₂ O	0.617
Na ₂ O	-

Tableau II.21. Les teneurs des éléments de composition le ciment Matine 42.5 [16]

II. 3.4. Sciure de bois :

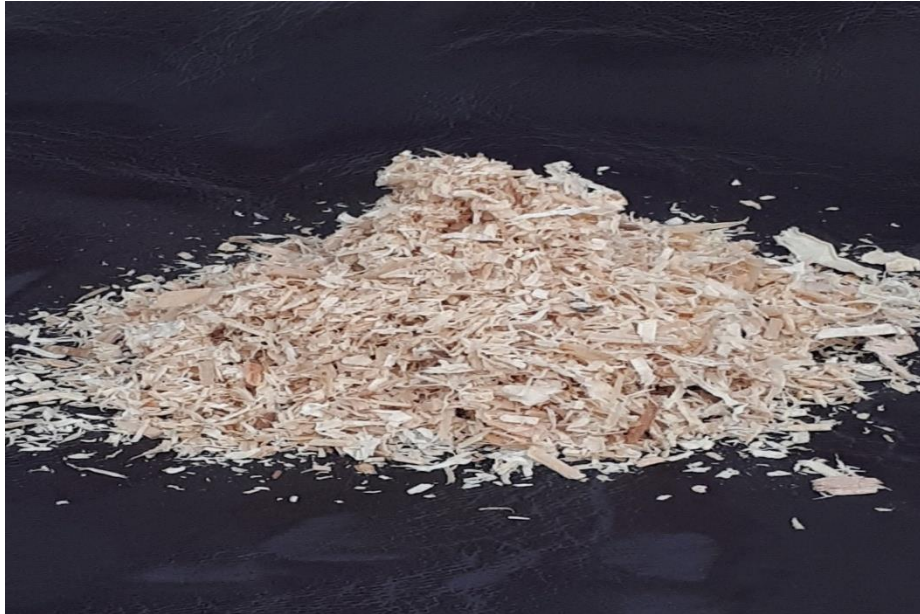


Figure II.11 : sciure de bois

II. 3.4.1. Capacité d'absorption

La différence de masses $M_1 = 20\text{g}$, $M_2 = 38\text{g}$, $M_3 = 18\text{g}$

$$M_3 - M_2 = 18 - 38 = -20 \text{ alors la différence est } 20\text{g}$$

Avec M_2 : masse saturée en eau, M_3 : Masse sèche de la sciure de bois

II.3.4.2. L'adjuvant : super plastifiant Le MEDAFLOW 30

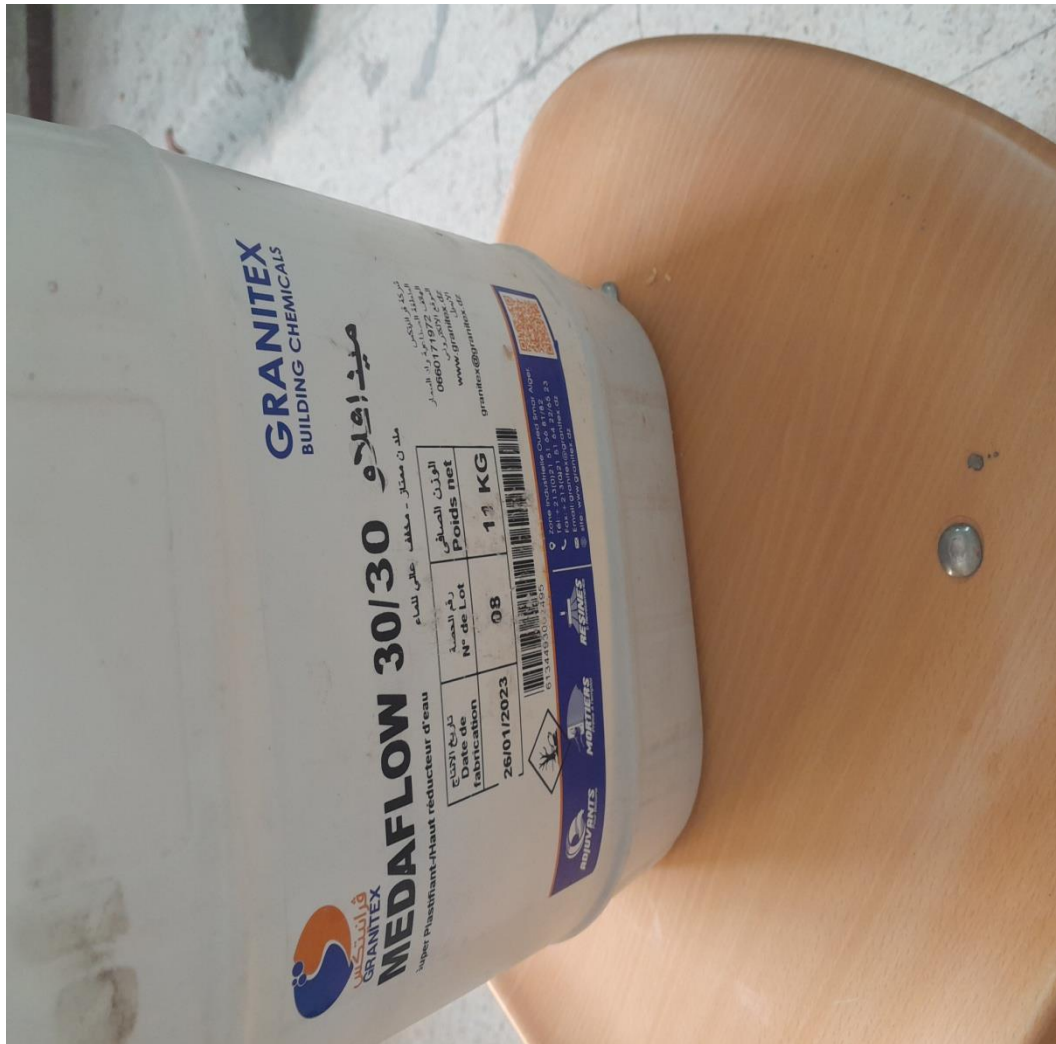


Figure II.12 : Conforme la norme EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

II.3.4.2.1. DESCRIPTION

Le MEDAFLOW 30 est un réducteur d'eau haut de gamme de plastifiant de la troisième génération. Il est fabriqué à partir de polycarboxylates d'Ether qui révèlent une amélioration significative des caractéristiques des bétons.

Le MEDAFLOW 30 offre la possibilité de fabriquer des bétons et des mortiers de grande qualité. Outre sa principale fonction de super plastifiant. Il aide à réduire considérablement la teneur en eau du béton. Le MEDAFLOW 30 n'a pas d'effet de retard.

II. 3.4.2.2. Propriétés :

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais:

- Obtention d'un rapport E/C très faible.

- Amélioration considérable de la fluidité.
- Une très bonne maniabilité.
- Éviter la ségrégation.
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

Sur béton durci:

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme.
- Diminuer la porosité.
- Augmenter la durabilité.

Diminuer le retrait et le risque de fissuration

II.3.4.2.3. Mode D'emploi :

On ajoute le **MEDAFLOW 30** à l'eau de gâchage. Il est conseillé d'incorporer l'adjuvant dans le béton après avoir déjà ajouté 50 à 70% de l'eau de gâchage.

II.3.4.2.4. Dosage

Plage de dosage recommandé :

0,8 à 2,0 % du poids de ciment. Soit 0,67L à 1,68L adjuvant pour 100 kg de ciment. Des dosages supérieurs à 1,5% du poids de ciment (soit 1,2l d'adjuvant par 100kg de ciment) permettent d'obtenir un retard de début de prise du ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.^[12]

II. 3.5. L'eau de gâchage :

Le produit utilisé pour le gâchage est une eau potable provenant du laboratoire du département de génie civil.

II. 3.6.1 Caractéristique chimiques de l'eau utilisé :

Le mesure	Teneur en (mg/L)
Degré de temperature d'échantillon	23.8
Ph	7.80
Conductibilité	1799
Chlore cl-	235.4
Sulfate So4-	351.60
Magnesium Mg2+	110.9
Sodium Na+	/
Calcium Ca+	267.1
Sediment sec	1413
Rééligibilité d'oxydationeneau	1024

Tableau II.22 : Caractéristique Chimique D'eau

II.4. Calcul de la proportion des constituants

II.4.1 Formulation du béton Méthodes de Dreux Gorisse

***Application numérique**

1. Détermination du dosage en ciment par m^3 de béton :

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

(3.20)

G : Coefficient granulaire donné par le (TableauIII.25), en fonction de la qualité et de La dimension maximale (D max) du gravier.

Valeurs de G coefficient granulaire

qualité des granulats	Dimension des granulats D(mm)		
	Fins	moyens	gros
	D ≤ 12.5	20 ≤ D ≤ 31.5	D ≤ 40
Excellent	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
passable	0.35	0.40	0.45

Tableau. II.23: Valeurs de G coefficient granulaire

$$D = 16\text{mm} \rightarrow G = 0.45$$

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

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

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

En sachant le rapport C\E de la fluidité souhaitée, qui est une donnée du problème, il est possible de déterminer le dosage de ciment en se basant sur l'abaque.

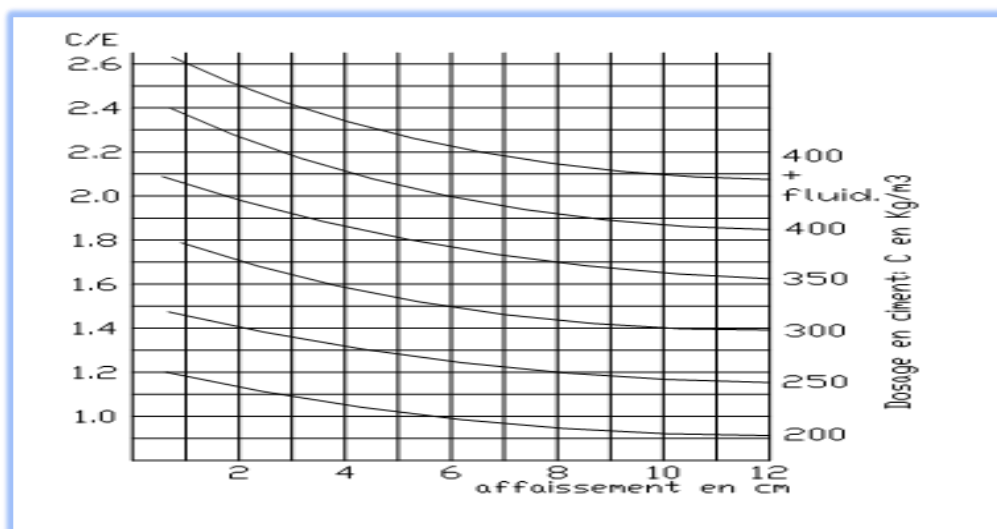


Figure II .14: Dosage enciment

$$A_f = 7\text{cm}$$

→ l'abaque donne la valeur du dosage en ciment : $C = 450 \text{ Kg}$ (voir figure II.10)

$$\frac{C}{E} = 2.045$$

2. Détermination du dosage en eau :

$$\frac{C}{E} = 2.045$$

→ On en déduit la valeur de E qui est : $E = 220 \text{ kg}$

Correction sur le dosage en eau

$$E = 220 \text{ kg}$$

$$C = 450 \text{ Kg}$$

3. Tracé de la courbe granulométrique de référence :

Composition granulométrique de référence **OAB** avec :

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

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

D = 16).

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

$$D = 16 < 20 \text{ mm} : X_A = D/2 = 8$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{1,25D} + K + K_s + K_p$$

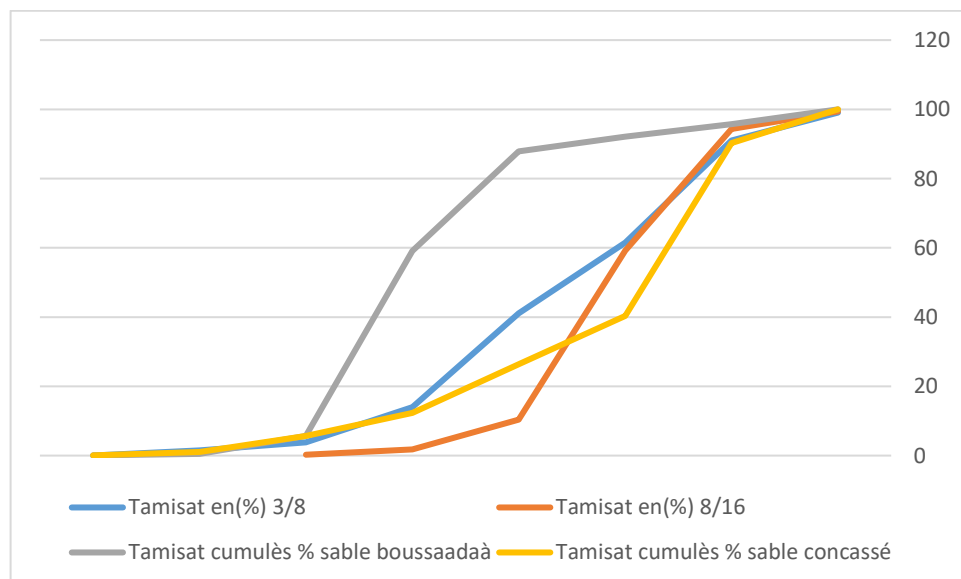


Figure II.15: Courbe Granulométrique (Sable, G3/8(Concassé), G8/16(Concassé))

Les pourcentages des granulats suivants :

- *Sable 0/5: 50%*
- *Gravier 3/8: 60%*
- *Gravier 8/16: 40%*

4. Coefficient de Compacité:

$$V_M = V_s + V_G + V_C \quad (3.21)$$

$$V = 1000\gamma - c \quad (3.22)$$

5. Dosage des granulats:

Volume absolu du Ciment:

$$c = \frac{C}{\rho_c} \quad (3.23)$$

$$c = \frac{450}{3.1} = 145,161 \text{ L}$$

Volume absolu du granulats (l'ensemble) :

$$V_G = 1000 \times 0.823 - 145.161 = 677.839 \text{ l}$$

- Volume absolu du Sable:

$$V_s = \frac{26}{100} \times V_G = 176.238 \text{ l}$$

- Volume absolu du Gravier 3/8:

$$V_{G_{3/8}} = \frac{15.5}{100} \times V_G = 105.065 \text{ l}$$

- Volume absolu du Gravier 8/16:

$$V_{G_{8/16}} = \frac{58.5}{100} \times V_G = 396.535 \text{ l}$$

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

- Volume absolu du Sable:

$$M_s = V_s \times \gamma_s = 456,45\text{ l}$$

- Volume absolu du Gravier 3/8:

$$M_{g_{3/8}} = V_{g_{3/8}} \times \gamma_{g_{3/8}} = 278,001\text{ l}$$

- Volume absolu du Gravier 8/16:

$$M_{g_{8/16}} = V_{g_{8/16}} \times \gamma_{g_{8/16}} = 971,907\text{ l}$$

Pour préparer 1m^3 de béton, il faudra donc les masses suivantes

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300
Sable concassé (50%)	300
Gravier concassé ($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé ($g_{8/16}$) (40%)	48
Ciment matine 42,5	450
Eau (E)	220

II.4.2 Formulation des différents mélanges testés : Pour préparer 1m^3

Combinaison I

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300
Sable concassé (50%)	300
Bois (0%)	0
Gravier concassé ($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé ($g_{8/16}$)	48
Ciment matine 42,5	450

Eau (E)	220
---------	-----

Tableau II.25: Formulation de Béton I**Combinaison II**

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300
Sable concassé (50%)	300
Gravier concassé($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé($g_{8/16}$)	48
10%Bois	1.4
Ciment matine42,5	450
Eau (E)	220

Tableau II.26: Formulation de Béton II**Combinaison III**

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300
Sable concassé (50%)	300
Gravier concassé($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé($g_{8/16}$)	48
20%de Bois	2.8
Ciment matine42,5	450
Eau (E)	220

Tableau II.27: Formulation de Béton III**Combinaison IV**

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300
Sable concassé (50%)	300
Gravier concassé($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé($g_{8/16}$)	48
30%de Bois	4.2
Ciment matine 42,5	450
Eau (E)	220

Tableau II.28 : Formulation de Béton IV**Combinaison V**

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300
Sable concassé (50%)	300
Gravier concassé($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé($g_{8/16}$)	48
40%de Bois	5.6
Ciment matine 42.5	450
Eau (E)	220

Tableau II.29: Formulation de Béton V**Combinaison VI**

Constituants	Masse (kg)
Sable de dune (50%)	300

Sable concassé (50%)	300
Gravier concassé($g_{3/8}$) (60%)	72
Gravier concassé($g_{8/16}$)	48
50de Bois	7
Ciment matine 42.5	450
Eau (E)	220

Tableau II.30: Formulation de Béton VI

Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques :

Pour coulage de 3 éprouvettes prismatique :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1 \times 9) + 3 \times 0.07 \times 0.07 \times 0.07] \times 0.28 = 0.01929 \text{ m}^3$$

II.5. Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci :

II.5.1 Affaissement au cône d'Abrams :

a) Principe de l'essai :

L'objectif de cet essai est d'évaluer la profondeur d'affaissement d'un volume tronconique de béton tout frais. Il est comprimé dans un moule de forme de tronc de cône. Quand on soutient verticalement le cône, on peut mesurer la consistance du béton en l'affaisant.

b) Appareillage :

- Le modèle de l'éprouvette doit être fabriqué à partir d'un métal non directement attaqué par la pâte de ciment, avec une épaisseur minimale de 1,5 mm. Il est important que la paroi intérieure du moule soit lisse, sans aspérités. Il est essentiel que le moule présente la forme d'un tronc de cône creux avec les dimensions intérieures suivantes :

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

c) Mode opératoire :

- Plonger le moule et le plateau de base dans de l'eau, puis déposer le moule sur le plateau.
- Pendant le remplissage, il est important de maintenir fermement le moule en place en le rapprochant par les deux pattes de fixation.

• Ajouter trois couches au moule, chacune correspondant approximativement, après avoir serré, au tiers de la hauteur du moule. Établir chaque couche à 25 reprises à l'aide de la tige de coupe. Distribuer les coups de manière homogène sur la partie de chaque couche. Il faut incliner légèrement la tige pour la couche inférieure et donner environ la moitié des piquages avec des coups en spirale jusqu'au centre. La deuxième couche et la couche supérieure doivent être piquées sur toute leur épaisseur, de manière à ce que la tige pénètre légèrement dans la couche en dessous. Avant de commencer le piquage, il est recommandé de placer un excès de béton au-dessus du moule lors du remplissage et du compactage de la couche supérieure. En cas d'absence de béton au-dessous du bord supérieur du moule lors du piquage de la couche supérieure. En ajoutant du béton, on peut toujours obtenir un excès. Une fois que l'on a bien piqué la couche supérieure, il faut araser le béton en suivant le bord supérieur du moule en sciant et en roulant avec la tige de piquage.

- Éliminer le béton s'écoulant sur le plateau de base. Démouler le béton en levant avec précaution le moule verticalement.

- Dès que le moule est retiré, évaluer l'affaissement (h) en étudiant la distance entre la hauteur du moule et le point le plus élevé du corps d'épreuve affaissé.

II.5.2 Résistance à la compression :

Nous effectuons l'essai de compression sur des échantillons de forme cubique normalisée et d'élancement 2 (10*10*10 cm ; norme NFP18-406, NA427). La vitesse de charge reste inchangée. Une presse de force de classe « B » avec une capacité maximale de 1500 kN est utilisée pour l'essai, conformément à la norme NF P 18-412 (NA 2832).

Les échantillons sont stockés sans être transportés pendant une durée de 24 heures. Une fois démoulé, Les échantillons de 10x10x10 cm³ sont stockés dans de l'eau à une température de 20 à 23°C pendant une période de 28 jours. On a effectué des essais d'écrasement à différents âges (7, 14, 28) tous les jours. On calcule la résistance à l'aide de la formule:

$$f_c = \frac{F}{AC}$$

(3.24)

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

F : charge maximale, exprimée en Newtons.

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

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



Figure II.16: Machine d'essai de compression Figure

Les moules 10*10*10 cm

Résistance à la traction par flexion :NF P18_408

But de l'Essai : cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance à la traction du béton c'est un essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prisme (7*7*7*28) de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.

Conduite de l'Essai :

Lors d'un de flexion trois points la poutre de béton est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction .compte tenu que le béton résiste beaucoup moins à la traction qu'à la compression (dans un rapport de 10)l'éprouvette va se rompre dès que le béton aura atteint sa limite en

traction .la contrainte limite qui d'école d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité (contrainte de traction par flexion).le matériau béton n'ayant pas un comportement élastique au voisinage de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction du béton un terme correctif de 0,6

II.6. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, on a établi les diverses caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des composants. On présente les courbes granulométriques de toutes les catégories granulaires. Il était crucial de déterminer la partie normative à laquelle les différents mélanges doivent répondre. On a élaboré la méthode de formulation et on a calculé la proportion des composants. Quelques paramètres ont été établis, tels que le rapport eau-ciment et le rapport granulats-sable et le rapport sciure de bois en ciment, granulats, sable et eau. Grâce à l'essai au cône d'Abrams, nous avons pu évaluer la texture des bétons étudiés. On explique les tests de compression et de traction par flexion. Les résistances à la compression et à la traction de tous les mélanges seront obtenues grâce à eux.

Chapitre III

Analyse Des résultats Et Discussions

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des essais effectués sur les bétons à base d'un mélange béton ordinaire plus un pourcentage de sciure de bois avec différentes combinaisons.

III.2. Objectif de la recherche :

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les propriétés rhéologiques et mécanique du mortier innovant au sciure de bois réalisés avec différents pourcentages de sciure de bois dans le but d'avoir un mortier résistant avec une bonne isolation thermique et phonique.

III.2. 1. Les résultats des essais effectués sur bétons

Béton		Pourcentage	E/C
Béton témoin	B1	0%	0.491
Béton ordinaire + bois	B2	10%	0.480
	B3	20%	0.464
	B4	30%	0.458
	B5	40%	0.450
	B6	50%	0.442

Tableau III.1 : Rapport E/C en fonction du pourcentage de bois

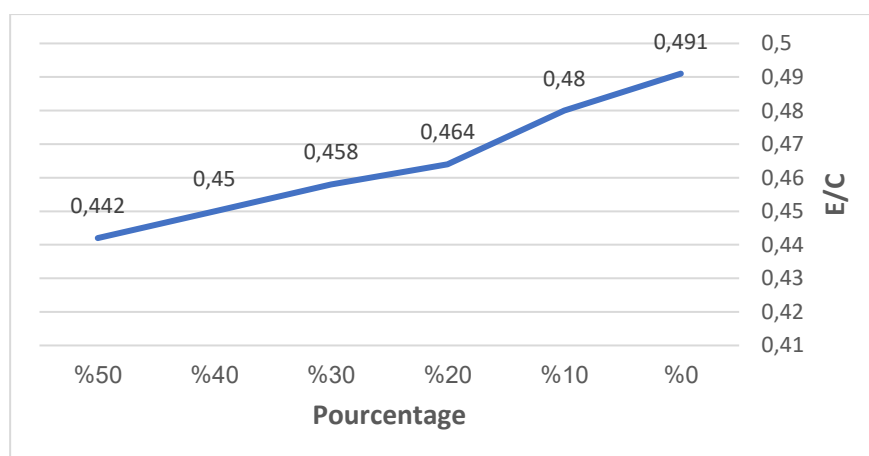


Figure III.1: Rapport E/C en fonction du pourcentage De bois

Ou remarque une diminution du rapport E/C par rapport au béton témoin **B1**, et le mélange **B.IV**(30% de bois) donne la meilleure valeur de E/C (E/C=0.458).

B1	Béton témoin
B2	Béton +10% de bois
B3	Béton +20% de bois
B4	Béton +30% de bois
B5	Béton +40% de bois
B6	Béton +50% de bois

Tableau III.2: les différents mélanges de bétons

III.2.2Affaissement

Pour une consistance normale. Entre 7 ± 1 cm au cône d’Abrams, nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :

Type de béton	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Affaissement (cm)	7	7	6.5	6.5	6.5	6.5

Tableau III.3 : Variation de l’affaissement fonction du type de béton

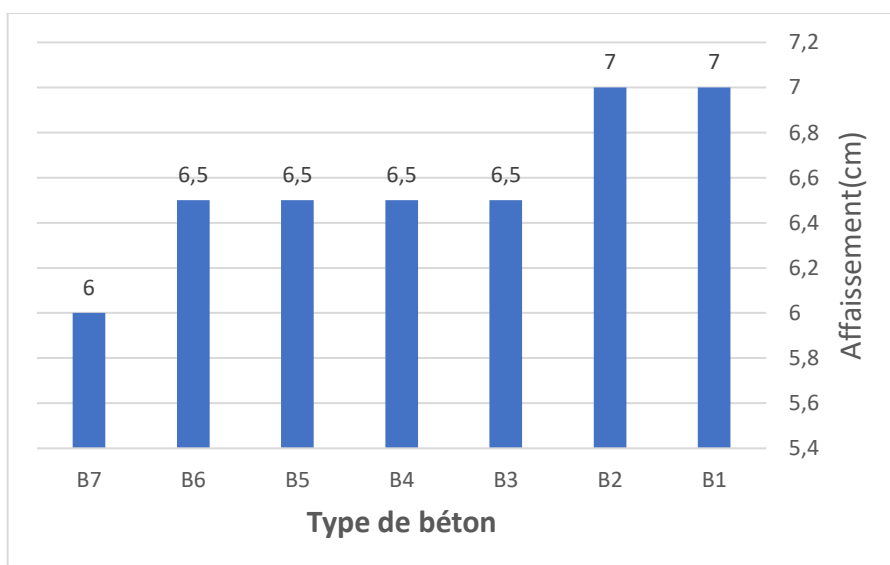


Figure III.2 : Variation de l’affaissement du béton

A la fin du malaxage, on mesure l’affaissement du béton à l’aide du cône d’Abrams, la figure III.2 représente la variation de l’affaissement en fonction du pourcentage de sciure de bois de chaque béton

On remarque que l’affaissement est prisé presque constant entre 6 et 7cm, mais la réduction d’eau est comptabilisée.

III.3. Béton a l’état durci

III.3.1. La masse volumique à l’état durci des mélanges de béton :

Type de béton $\rho_v(g/cm^3)$	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
7J	2.35	2.23	2.07	2.04	1.84	1.82
14J	2.36	2,25	2,09	2,06	1.87	1.85
28J	2.37	2,27	2.10	2.09	1.90	1.80

Tableau III.4 : La masse volumique à l’état durci des mélanges de béton

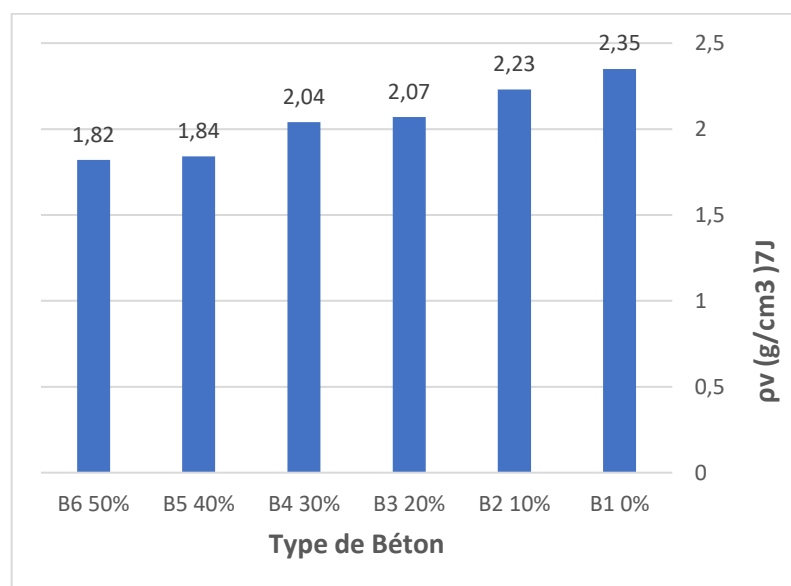
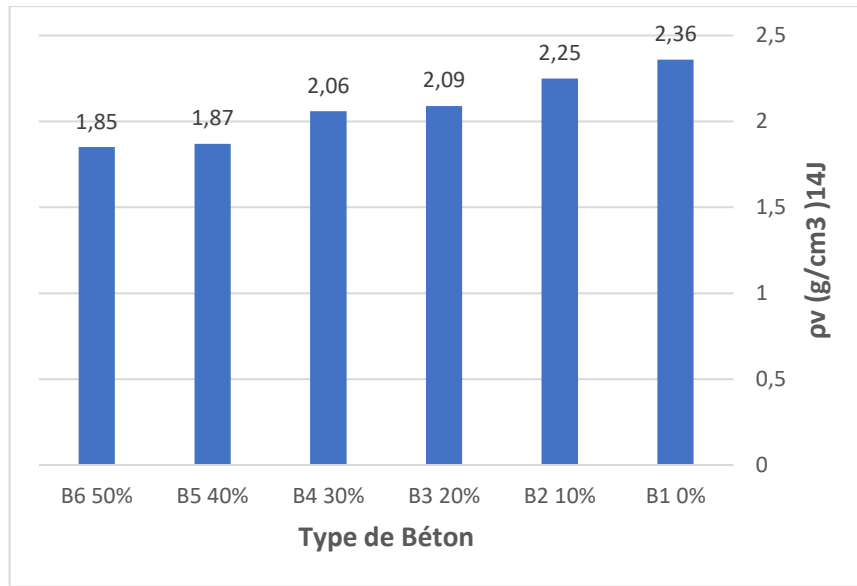
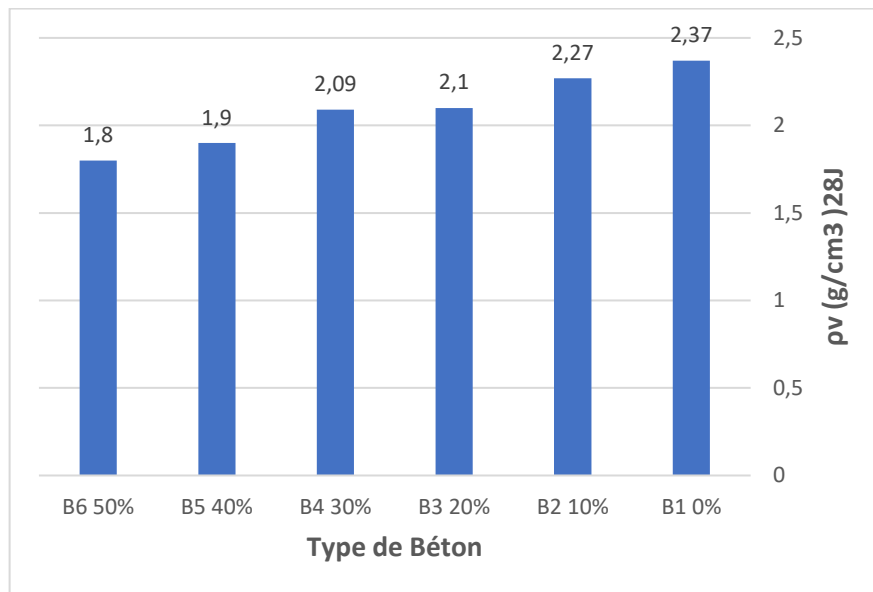


Figure III.3 : masse volumique des mélanges de béton à 7 jours



FigureIII.4 : masse volumique des mélanges de béton à 14 jours



FigureIII.5 : masse volumique des mélanges de béton à 28 jours

Remarque :

On constate une diminution de la masse volumique au fur et à mesure que la proportion de sciure bois dans le mélange augmente, et cela est dû au fait que la sciure de bois absorbe de l'eau en grande proportion et que la masse volumique de la sciure de bois est faible devant la masse volumique du béton.

III.3.2: Résistance à la compression des différents mélanges

Type de béton Rc	B1 0%	B2 10%	B3 20%	B4 30%	B5 40%	B6 50%
7J	46.33	24.66	19.26	18.35	17.19	13.37
14J	42.04	28.03	21.81	18.93	17.20	14,66
28J	55.61	36.93	22.06	17	10.27	9.43

Tableau III.5 : Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés.

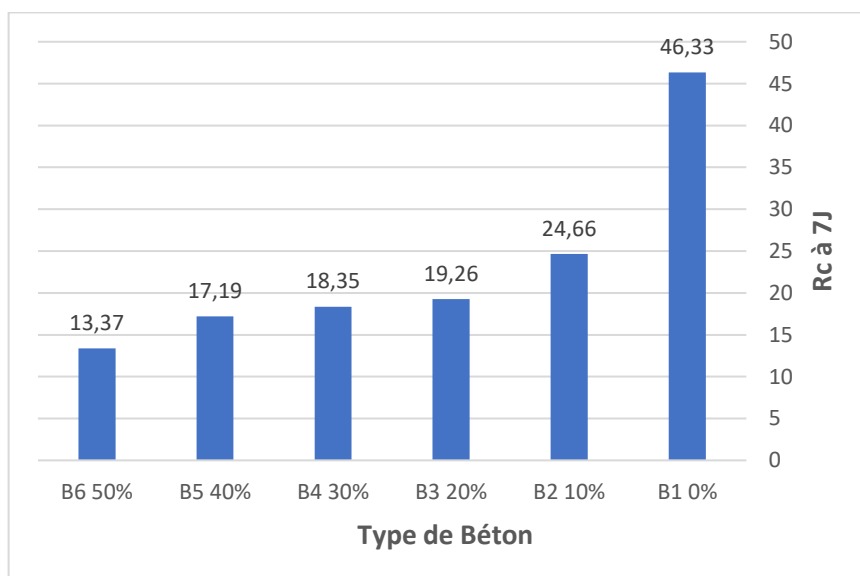
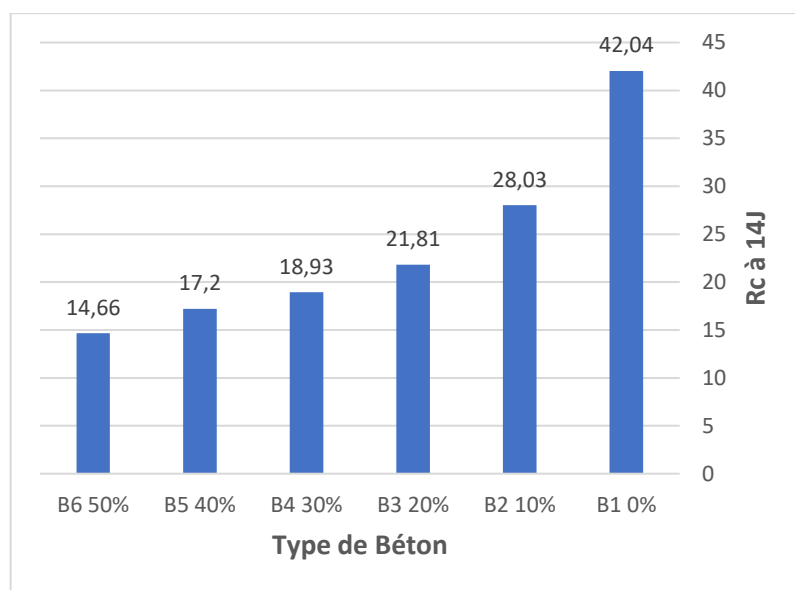
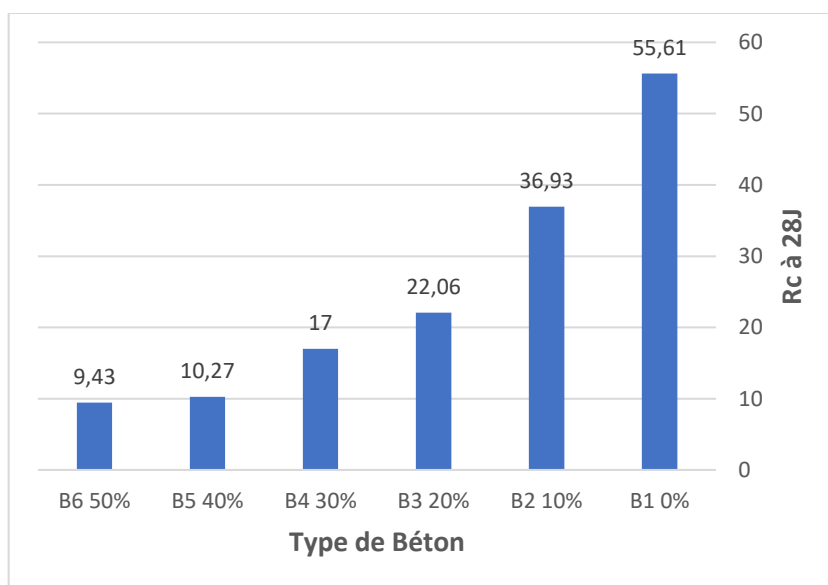


Figure III.6 : Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés



FigureIII.7 : Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés



FigureIII.8: Résistance à la compression à l'état durci des différents bétons étudiés

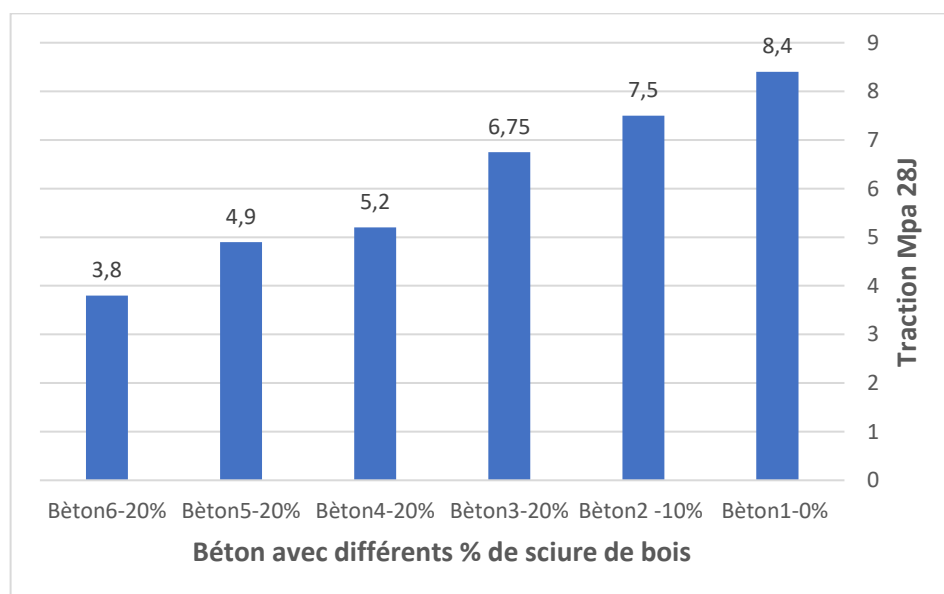
Remarque :

Les mélanges sans sciure de bois donnent les meilleurs résultats des résistances à la compression ce qui est normal, les mélanges avec 10% , 20% et 30% de sciure de bois donnent les meilleures valeurs de la résistance à la compression, plus en augmente le pourcentage de bois plus la résistance à la compression diminue, les mélanges avec 10 et 20 % de sciure de bois affiche des résistances supérieure à 20 Mpa ce qui est acceptable pour un béton Utilisé dans la confection de plaques de revêtement isolantes et iso phonique.

III.3.3 Mesure de la résistance à la traction (7, 14, 28) j

Béton avec différents % de sciure de bois	Traction par flexion à 28j (Mpa)
Béton1-0%	8.4
Béton2-10%	7.5
Béton3-20%	6.75
Béton4-30%	5.20
Béton5-40%	4.9
Béton6-50%	3.8

Tableau III.6 : résistance à la traction par flexion (7j, 14j, 28j)



FigureIII.9 : résistance à la traction par flexion (7j, 14j, 28j)

Nous notons que plus le pourcentage de sciure de bois dans le mélange augmente, plus la valeur de la résistance à la traction diminue.

III.4. Conclusion

La masse volumique du béton durci diminue en augmentons le pourcentage de sciure de bois pour tous les mélanges de béton étudiés.

Plus le pourcentage de sciure de bois dans le mélange augmente, plus la valeur de la résistance à la traction diminue.

La résistance à la compression augmente au cours du temps sauf pour le mélange avec 50% de sciure de bois qui affiche une mauvaise résistance.

Les mélanges sans sciure de bois donnent les meilleurs résultats des résistances à la compression ce qui est normal, les mélanges avec 10% et 20% de sciure de bois donnent les meilleures valeurs de la résistance à la compression, plus en augmente le pourcentage de bois plus la résistance à la compression diminue, les mélanges avec 10% et 20 % de sciure de bois affiche des résistances supérieures à 20 Mpa ce qui est acceptable pour un béton utilisé dans la confection de plaques de revêtement isolantes et iso phonique ou pour les murs de parements au niveau des habitations au voisinage d'aéroport ou de chemin de fer pour diminuer l'effet sonore des avions ou des trains.

Plus le pourcentage de sciure de bois dans le mélange augmente, plus la valeur de la résistance à la traction et la masse volumique diminue pour toutes les compositions.

Plus le pourcentage de sciure de bois dans le mélange augmente, plus la valeur de la résistance à la compression diminue pour toutes les compositions.

Chapitre IV

Résultats Et Interprétations Des Bétons Soumis A Des Températures Elevées

Chapitre IV : Résultats Et Interprétations Des Bétons Soumis A Des Températures Elevées

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous abordons les différents essais effectués sur les matériaux utilisés pour la formulation du béton avec le bois ainsi que les essais réalisés sur le béton confectionné pour évaluer ses propriétés à l'état durci

Avec les compositions suivantes :

- composition1 : béton formulé avec 0% de bois ;
- composition2 : béton formulé avec 10 de bois ;
- composition3 : béton formulé avec 20 de bois ;
- composition5 : béton formulé avec 40 de bois ;
- composition6 : béton formulé avec 50 de bois ;

IV.2 Résistance Mécanique A La Compression Des Eprouvettes Soumises A Des Températures 200,400 Et 600 °C :

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance mécanique à la compression des éprouvettes de béton avec différents pourcentages de sciure de bois exposées à des températures 200, 400 et 600°C.

Pourcentage de Sciure de Bois à la Résistance à la Compression	Température 200°C R _C 28j (Mpa)	Température 400°C R _C 28j (Mpa)	Température 600°C R _C 28j (Mpa)
0%	64.32	60.13	45.40
10%	44.13	20	25.26
20%	30.59	10	13.90
40%	22.71	9.45	8.90
50%	15.52	9.20	6.20

TableauIV.1: Résistance à la compression des éprouvettes exposées a des températures 200,400 600°C

IV.2.1 Éprouvette exposé à une température de 200°C

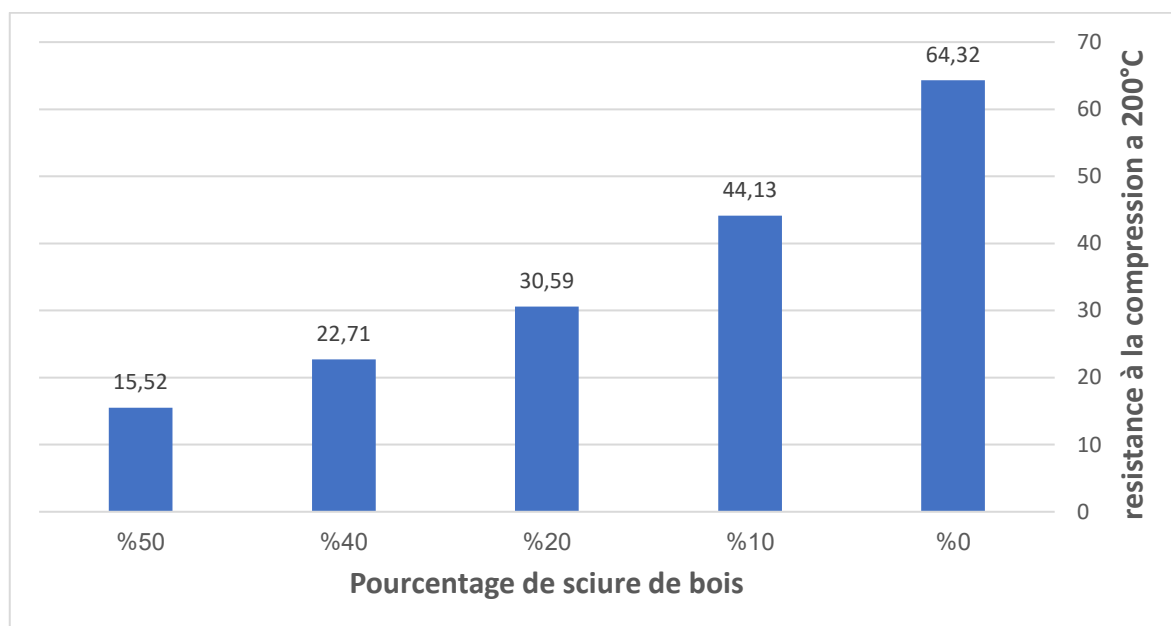


Figure IV.1: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à une température 200°C.

On remarque qu'à 50% de sciure de bois une diminution de la résistance mécanique ce qui indique qu'augmenter le pourcentage de sciure de bois réduit la résistance.

On remarque une nette augmentation de la résistance mécanique à 30% de sciure de bois. En réduisant le pourcentage de sciure de bois à 20%, la résistance continue d'augmenter de manière significative et à 10% c'est la valeur de résistance la plus élevée par rapport aux autres pourcentages de sciure de bois 20, 40 et 50% de sciure de bois.

IV.2.2 Éprouvette exposé à une température de 400°C

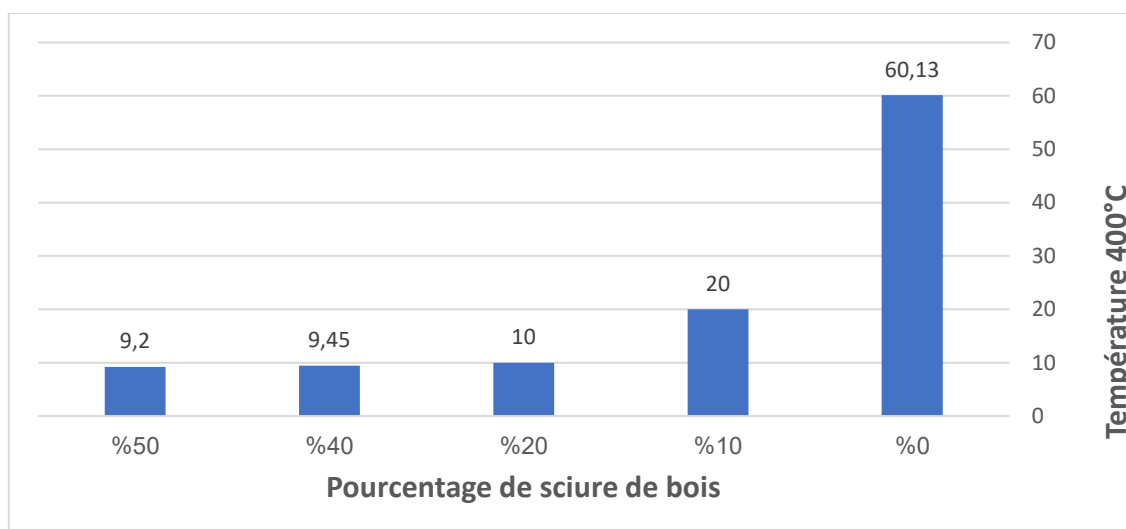


Figure IV.2: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à une température 400°C.

Même remarques que pour la température d'exposition a 200 °C, On remarque qu'à 50% de sciure de bois une diminution de la résistance mécanique ce qui indique qu'augmenter le pourcentage de sciure de bois réduit la résistance.

IV.2.3 Éprouvette exposé à une température de 600°C

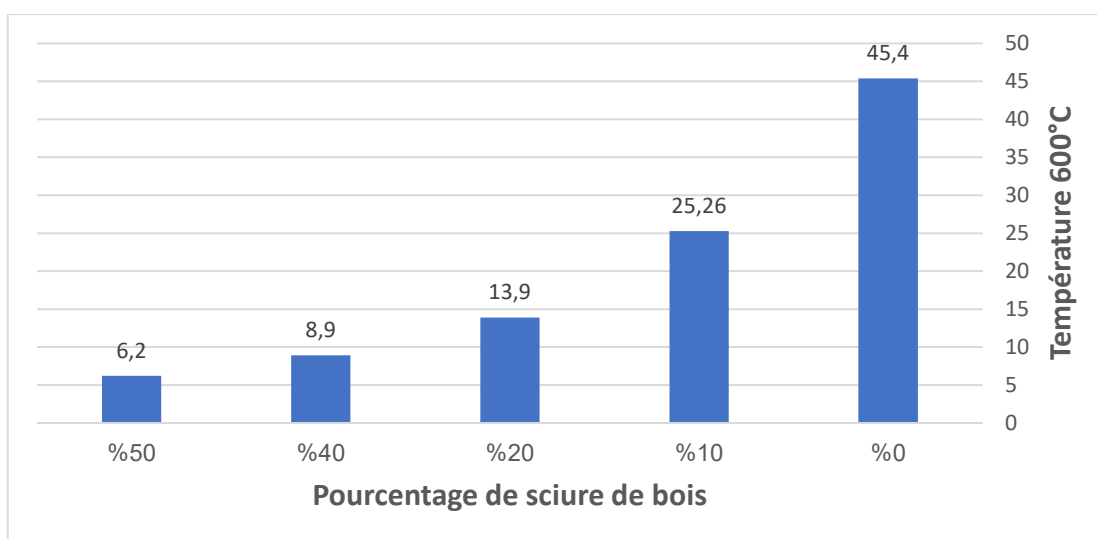


Figure IV.3: Résistance à la compression des éprouvettes exposées à une température 600°C.

À température 600°C

Plus la température d'exposition des éprouvettes est grande plus la diminution de la résistance à la compression diminue. On remarque qu'à 50%, la résistance est la plus faible Pour des pourcentages de sciure de bois de 10 et 20 % la résistance à la compression est acceptable pour des pièces non porteuses comme des plaques de revêtement pour isolation

thermique et phonique, ou pour des murs de parement au niveau des aéroports ou au niveau des chemin de fer pour l'isolation phonique.

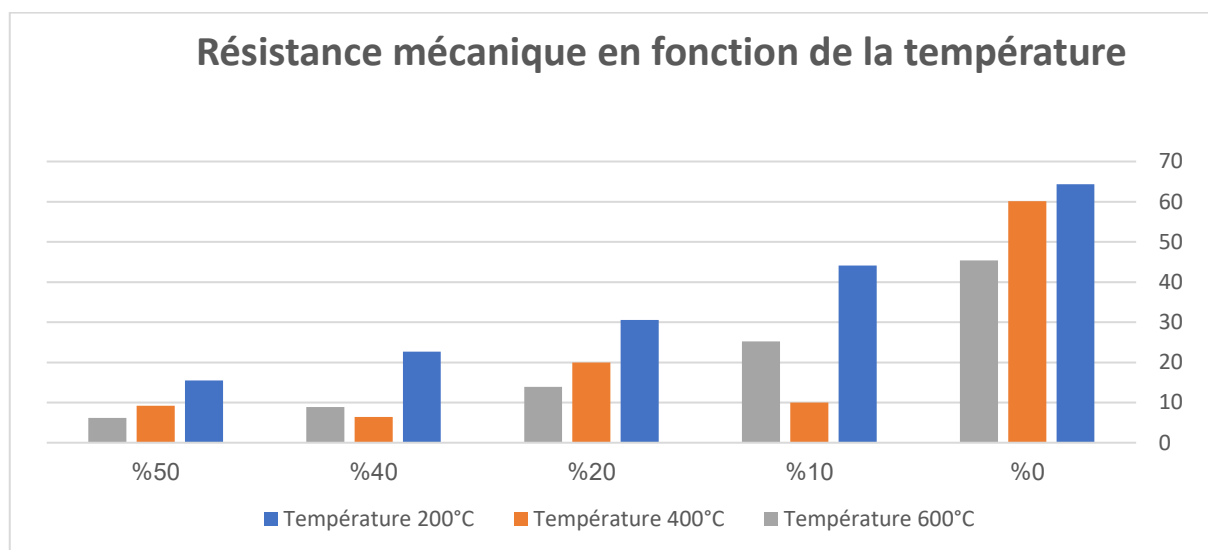


Figure IV.4: Résistance mécanique en fonction de la température

IV.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudions l'évolution de la résistance à la compression en fonction de la température d'exposition des cinq échantillons d'éprouvettes avec : (0% 10% 20% 40% 50% de sciure de bois).

Plus la température d'exposition des éprouvettes est grande plus la diminution de la résistance à la compression diminue. On remarque qu'à 50%, la résistance est la plus faible.

Pour des pourcentages de sciure de bois de 10 et 20 % la résistance à la compression est acceptable pour des pièces non porteuses comme des plaques de revêtement pour isolation thermique et phonique, ou pour des murs de parement au niveau des aéroports ou au niveau des chemin de fer pour l'isolation phonique.

La température affecte grandement le durcissement et la résistance du béton à haute température. Cependant, les températures élevées peuvent provoquer une évaporation rapide de l'eau, ce qui entraîne l'apparition des vides laissés par l'évaporation de l'eau contenu dans le béton ce qui entraîne une diminution de la résistance mécanique du béton.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

La majeure partie des bétons en Algérie dépend dans sa fabrication des matériaux classiques bien connus (sable, gravier, ciment). Sans considérer le travail de mise en valeur de ce matériau de base dans notre quotidien et l'exploitation des différents matériaux naturels qui se perdent, comme la sciure de bois, que nous avons abordée dans cette étude, essayer de fabriquer un béton en introduisant un pourcentage de sciure de bois, considérée comme un déchet résultant du travail sur le bois. Qui se caractérise par de nombreuses propriétés lorsqu'il est utilisé dans la fabrication de béton tel que (isolant phonique, isolant thermique...). Tout en conservant bien entendu les propriétés physiques et chimiques applicables (cohésion, bonne résistance...) ce matériau se présente comme une alternative intéressante d'un point de vue technique, économique et environnemental.

Le travail présenté dans cette thèse consiste à trouver la composition appropriée qui combine les deux types de sable (Boussaâda et concassé) avec du ciment et avec un certain pourcentage de sciure de bois par rapport au volume du mélange, bien sûr après avoir expérimenté plusieurs pourcentages de sciure de bois avec de nombreux mélanges.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

* La composition qui contient 10% et 20% de sciure de bois avec le mélange de notre étude donne le meilleur résultat après analyse des résultats obtenus et comparaison avec les résultats du béton témoin qui ne contient pas de sciure (0% sciure de bois), on a remarqué une bonne cohésion du mélange avec bonne résistances.

* Le pourcentage de sciure de bois peut affecter négativement ou positivement la qualité du béton, en comparant les résultats des différents ratios étudiés, (20% 30% 40% et 50 % de sciure de bois) le pourcentage de 50% de sciure de bois donne le résultat le plus faible avec la difficulté de cohésion du mélange.

* Une bonne résistance à la compression a été obtenue en utilisant (10% ou 20%) de sciure de bois). Cela donne une bonne et intéressante impression d'un point de vue environnemental et économique, en plus d'une perspective future sur le développement du béton, l'élargissement de ses utilisations, l'investissement dans les déchets naturels et leur valorisation dans le domaine de la construction.

Bibliographie

- [1] Peter Gössel et Gabriele Leuthäuser: L'architecture du xx^e siècle, Taschen, Köln, 1991.
- [2] Françoise Choay, L'urbanisme, utopies et réalités: Une anthologie, Paris, Éditions du Seuil, 1979. 104p.
- [3] Barjot, Dominique et Marie-Pierre: Histoire économique de la France au XIX^e siècle. Paris, Nathan, 1995. 352 p.
- [4] Cyrille Simonnet: « Le béton armé : origine, invention, esthétique».Thèse de doctorat Paris, EHESS, 1994.
- [5] Dennis Sharp: Histoire visuelle de l'architecture du xx^e siècle, Mardaga, Liège, 1972.
- [6] BERBAOUI.R: « Identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires a base polymère. » Soutenue le 21 janvier 2010 à l'université de Cergy Pontoise. Spécialité génie mécanique.
- [7] Les fiches techniques, TOME II, ont été réalisées par les experts de CIMBETON. Elles ont pour titre: « les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre ».
- [8] (F DE LARRARD) “concrète mixture-proportioning-A scientific Approach” Londres 1999.
- [9] B.B.AHMED mémoire de magister influence du granulat (classe granulaire .4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE 2011.
- [10] A.A.MOHAMED. étude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes : Université KASDI MERBAH de Ouargla 2011.
- [11] <http://www.estigc.fr/labo/beton/dreuxgranulats.htm>
- [12] ABDELKADIR MAKANI Influence de la nature minéralogique des granulats sur le comportement mécanique différé des bétons UNIVERSITE TOULOUSE LE11 JUILLET 2011.
- [13] Powers t.c properties of fresh concrete, « J. Wiley 1969».
- [14] Centre de documentation. institute Algerian de normalisation date: 2006.
- [15] P. KUMAR MEHTA AND PAULO J. M.MONTEIRO. Concrete: structure, properties, and materials. McGraw-hill Professional, NEW YORK, 2005.

- [16] « J. Baron, R. Lesage » Rapport de recherche LPC N° 64, la composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier, édition Décembre 1976.
- [17] Dreux: Nouveaux guide du béton, Ed. Eyrolles, 1979 ,120p.
- [18] Dreux: Nouveaux guide du béton, Ed. Eyrolles, 1979, 121p.
- [19] « J.Festa; G.Dreux » Eyrols, Nouveau guide du béton et ses constituants, huitième édition, troisième tirage 2007.
- [20] Laboratoire de Matériaux de Construction. [En ligne]. « *Travaux Pratique de Matériaux de Construction. Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANE* ». 2016. 17p.
- [21] BOUYGUES Construction. Shaping a Better Life. [En ligne]. Disponible sur : « <http://www.bouygues-construction.com> » (Consulté le 27-02-2018)
- [22]P. TRIBOULOT - B. REITZ. « Le bois dans le contexte des matériaux de construction ». [En ligne]. Format PDF. 1999,12p. Disponible sur : http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/5363/291_302.pdf?sequence=1 (consulté le 27-02-2018)
- [23]CHAMOIN Julien. « Optimisation des propriétés (physique, hydriques et mécaniques) de béton de chanvre par la maîtrise de laformulation ». [En ligne] thèse de doctorat en génie civil. Renne : INSA. 2013, 198p. Format PDF. Disponible sur : « <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00934732> » (consulté le 22-02-2018)
- [24] www.granitex-dz.com
