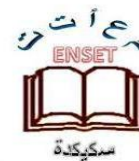




République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement
Technologique-Skikda



Département de Technologie

Filière : Génie civil.

Mémoire

**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement Secondaire
Technique**

Thème :

**L'utilisation des granulats recyclés dans la fabrication du
béton ordinaire**

Présenté par : **DAHMANI Amina**

BENAISSA Soumia

Encadrant(e) : **HOUDA Amina**

Jury de Soutenance :

Nom et prénom	Grade	Université	Rôle
MOUDJARI Maroua	MCB	ENSET-Skikda	Président
HOUDA Amina	MAB	Chadli Bendjedid ElTarf	Encadrant
MIROUZI Ghania	MCA	ENSET-Skikda	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons particulièrement à remercier, notre créateur dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, et la volonté pour élaborer et finaliser ce modeste travail.

Nous adressons nos profonds remerciements à notre encadreur de mémoire, Mme HOUDA Amina, pour ses conseils et ses orientations pour mieux élaborer ce travail de recherche et nous soutenir durant toutes les étapes de ce travail.

Nous voudrions remercier également les membres du jury qui ont consacré leur précieux temps afin d'apporter les critiques constructifs à la mise en forme de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude a tout le personnel de :

-Laboratoire de génie civil de l'Université Bordj Badji Mokhtar à Annaba.

-Laboratoire des travaux publics de l'est LTPE Skikda.

-Laboratoire national de l'habitat et de la construction LNHC Skikda.

-Département de Technologie surtout les enseignants de la spécialité génie civil.

Enfin, nous remercions tous les personnes de près ou de loin pour leurs aides et surtout pour leurs soutient.

الإهداء

بعد بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على أشرف المرسلين سيدنا وحبينا محمد عليه
أفضل الصلاة والسلام وبعد قوله تعالى: (وَكَانَ فَضْلُ اللَّهِ عَلَيْكَ عَظِيمًا).

إلى الله قبل كل شيء الحمد لله كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك.

إلى سكان قلبي :

إلى صاحب الوجه الطيب والأفعال الحسنة ومن كان لي عون في كل يوم، إلى من كل العرق جبينه
ومن علمني أن النجاح لا يأتي إلا بالصبر والإصرار، إلى النور الذي أنار دربي والسراج الذي لا
ينطفئ نوره بقلبي أبداً، من بذل الغالي والنفيس واستمدت منه قوتي واعتزازي بنفسه إلى رجل
الكفاح وبطلني إلى من علمني المبادئ الإسلامية فكانت خير الأمور فعلاً.

(والدي العزيز أطل الله في عمره)

إلى من أخذت كل تفكيري أفضلها على نفسي ولم لا إلى من جعلت الجنة تحت أقدامها وسهلت
علي الشدائد بدعائها إلى الإنسانية العظيمة إلى الأمان إلى رمز الحب والحنان.

(والدتي العزيزة أطل الله في عمرها)

إلى العين التي قرأتني وقلب تألم لأجلي وحضن منحني به موطننا كل مشاعري تنحني لهم حبا
إلى من شددت عضدي بهم أخي وأخواتي

(عبد الله ، فاطمة الزهراء ، أم كلثوم ، خديجة ، مريم)

إلى من كانت عوني وسندي في هذا الطريق إلى رفيقة الدرب (سمية بن عيسى)

إلى كل من جعلنا أقوى من أهل وأحباب ورفقاء درب وكل من امتلأنا به القدرة على الاستمرار
شكرا من القلب

فالحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والحمد لله شكرا وحبا وامتنانا على البدء والختام.

آمنة

الإهداء

(وآخر دعوانهم أن الحمد لله رب العالمين)

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

الحمد لله ما تم جهد و لا ختم سعي إلا بفضلته و ما تخطى

العبد من عقبات و صعوبات إلا بتوفيقه و معونته.

وجاءت لذة الوصول لتزول مشقة السنين.

إلى من فضلتني على نفسها فهي من ضحت من أجلي

و التي لم أراها يوما تدخر جهدا في سبيل إسعادي دائما و أبدا، إليك أُمي رزقك الله الفردوس
عوضا عن سنين عمرك التي ضحيت بها من أجلنا.

إلى الراحل الباقي في قلبي أبي.

إلى أجمل الأقدار ومن قال فيهم الرحمن "سندك عضدك بأخيك"

إلى الذين هم ملاذي و رمز فخري و اعتزازي فأنا منهم و هم مني إخوتي وأختي سعاد.

إلى سندي في الحياة و ضلعي الثابت الذي لا يميل أخي عبد المجيد و أخي بن سليم.

إلى زميلتي و رفيقتي و صديقة عمري دحماني آمنة.

لكل من كان عوننا و سندنا لي في هذا الطريق، ممتنة لكم جميعا ما كنت لأصل لولا فضلكم من
بعد الله.

لكل من راهن على فشلي بدأنا و لم ينتهي.

و أخيرا إلى صاحبة البطولات ، الشجاعة ، الفريدة من نوعها، إلى نفسي.

لقد أنجزت، ومازلت أنجز ما كان يبدو مستحيلا

و أصابت سهامنا هذه المرة ولم تخطئ، ولمعت أعيننا من فرط الانتصار، وكتبنا في سطورنا
أننا نلنا ما صبرنا لأجله، فالحمد لله.

سمية

Résumé

En Algérie, avec l'épuisement des réserves naturelles de granulats et les obstacles pour créer de nouvelles carrières, il est nécessaire de trouver de nouvelles sources d'approvisionnement afin de répondre aux besoins en granulats pour les grands projets lancés par le gouvernement.

Cette étude vise à valoriser les déchets de la construction comme le béton recyclé, le marbre et la brique sous forme de granulats dans les mélanges des bétons ordinaires.

Cette étude repose sur la substitution du gravier naturel de mélange par (50% ou totalement 100%) de gravier provenant de déchets de brique, de marbre et de béton recyclé. La méthode expérimentale utilisée dans ce mémoire vise à examiner l'impact de ses granulats recyclés sur les caractéristiques du béton, à la fois à l'état frais et à l'état durci.

Les résultats de substitution montrent que l'utilisation des graviers recyclés, des déchets de brique et des déchets de béton recyclé entraîne une diminution au niveau des propriétés mécaniques du béton, contrairement à l'utilisation des déchets de marbre qui améliore les propriétés mécaniques du béton.

Mots clés :

Caractérisation mécanique, granulats recyclés, résistance, béton ordinaire, déchets, marbre, brique, béton recyclé.

المخلص

في الجزائر، مع استنفاد المحميات الطبيعية من المجاميع والعقبات التي تحول دون إنشاء محاجر جديدة ، من الضروري إيجاد مصادر جديدة للإمداد لتلبية احتياجات المجاميع للمشاريع الكبيرة التي تطلقها الحكومة. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم نفايات البناء مثلًا الخرسانة المعاد تدويرها والرخام والطوب على شكل مجاميع في خلطات الخرسانة العادية .

تستند هذه الدراسة إلى استبدال الحصى الطبيعي (50% أو 100%) تمامًا بالحصى من نفايات الطوب والرخام والخرسانة المعاد تدويرها. تهدف الطريقة التجريبية المستخدمة في هذه الأطروحة إلى فحص تأثير المجاميع المعاد تدويرها على خصائص الخرسانة، في الحالة الطازجة والصلبة.

تظهر نتائج الاستبدال أن استخدام الحصى المعاد تدويره من نفايات الطوب ونفايات الخرسانة المعاد تدويرها يؤدي إلى انخفاض الخصائص الميكانيكية للخرسانة، على عكس استخدام نفايات الرخام التي تحسن الخصائص الميكانيكية للخرسانة.

الكلمات المفتاحية :

التوصيف الميكانيكي، الركام المعاد تدويره، القوة، الخرسانة العادية، النفايات، الرخام، الطوب، الخرسانة المعاد تدويرها.

Abstract

In Algeria, with the depletion of natural reserves of aggregates and the obstacles to create new quarries, it is necessary to find new sources of supply in order to meet the needs of aggregates for large projects launched by the government.

This study aims to valorize construction waste such as recycled concrete, marble and brick in the form of aggregates in the mixtures of ordinary concretes.

This study is based on the substitution of natural mixing gravel by (50% or totally 100%) gravel from waste brick, marble and recycled concrete. The experimental method used in this thesis aims to examine the impact of its recycled aggregates on the characteristics of concrete, both fresh and hardened.

The substitution results show that the use of recycled gravel, brick waste and recycled concrete waste leads to a decrease in the mechanical properties of concrete, unlike the use of marble waste, which improves the mechanical properties of concrete.

Keywords:

Mechanical characterization, recycled aggregate, strength, ordinary concrete, waste, marble, brick, recycled concrete.

Table des matières

Résumé	I
المخلص	II
Abstract	III
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des symboles	VII
Introduction générale	1

Chapitre I : Bibliographie

I.1.Le béton ordinaire	2
I.1.1.Introduction	2
I.1.2.Définition	2
I.1.3.Les composants du béton	3
I.1.3.1.Le ciment	4
A.Définition.....	4
B.Types du ciment	4
I.1.3.2.L'eau de gâchage	5
I.1.3.2.1.Classification des types d'eau	5
I.1.3.3.Les granulats	6
A.Définition.....	6
B.Classe des granulats.....	6
C.Les différents types des granulats.....	7
1.Les granulats naturels	7
2.Les granulats artificiels.....	9
3.Les granulats recyclés.....	9
I.1.3.4.Les adjuvants	9
I.2.Les granulats recyclés	11
I.2.1.Introduction	11
I.2.2.Fabrication des granulats recyclés.....	11

I.2.2.1.Evaluation du béton source.....	11
I.2.2.2.Ecrasement du béton démolit.....	11
I.2.2.3.Enlèvement des contaminants	12
I.2.3.Déchets utilisés comme granulats du béton	12
I.2.3.1.Déchet de la démolition.....	12
I.2.3.2.Déchet de brique	12
I.2.3.3.Déchet de marbre.....	13
I.2.3.4.Déchet de pneus.....	13
I.2.3.5.Déchet de Verre	14
I.2.3.6.Déchet de bois	15
I.2.4.Caractéristique physiques et mécaniques des granulats recyclés.....	15
I.2.4.1.Granulométrie	15
I.2.4.2.Masse volumique	15
I.2.4.3.Absorption	16
I.2.4.4.Résistance à l’usure	16
I.2.4.5.Essai los Angeles	16
I.2.5.Avantages des granulats recyclés	17
I.2.6.Inconvénients des granulats recyclés	17
I.2.7.Application des granulats recyclés.....	18
I.3.Conclusion	18

Chapitre II: Etude expérimentale (matériels et essais)

II.1.Introduction.....	19
II.2.Matériaux utilisés.....	19
II.2.1.Le liant hydraulique	19
II.2.2.Les granulats	20
II.2.3.Eau de gâchage	22
II.2.4.Superplastifiant	22
II.2.4.1.Mode d’emploi	22
II.2.4.2.Dosage.....	22
II.2.4.3.Caractéristiques	23
II.3.Essais de caractérisation des matériaux.....	23
II.3.1.Analyse granulométrique	23
II.3.2.Module de finesse	28

II.3.3.Équivalent de sable	28
II.3.4.La masse volumique apparente	29
II.3.5. La masse volumique absolue	29
II.3.6.Essais Los Angeles	30
II.3.7.Essai d'usure Micro-Deval	31
II.4. Formulation du béton	32
II.4.1.Formulation du béton selon la méthode Dreux-Gorisse	32
II.4.2.Confection du béton	36
II.5.Propriétés du béton	37
II.5.1.Propriété du béton à l'état frais	37
II.5.1.1.Affaissement au cône d'Abrams	37
II.5.2.Propriété du béton à l'état durci	38
II.5.2.1.Préparation et conservation des éprouvettes	38
II.5.2.2. Résistance à la compression	39
II.5.2.3. Résistance à la traction par flexion	40
II.6.Conclusion.....	40

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction	41
III.2.Effet des granulats recyclés et de pourcentage de substitution.....	41
III.2.1. Béton à l'état frais.....	41
III.2.2.Béton à l'état durci	43
III.2.2.1. Résistance à la compression.....	43
III.2.2.2. Résistance à la traction par flexion	45
III.3.Conclusion	47
Conclusion générale	48
Référence bibliographique	49

Liste des figures

<u>Chapitre I: Bibliographie</u>		
Figure I.1	Béton ordinaire	2
Figure I.2	Constituants du béton	3
Figure I.3	Ordre et proportions des différents composants du béton en volume et en poids ^[3]	3
Figure I.4	Ciment	4
Figure I.5	Fabrication du ciment ^[5]	5
Figure I.6	Courbe granulométrique	7
Figure I.7	Différents types des granulats	7
Figure I.8	Les granulats alluvionnaires	8
Figure I.9	Les granulats de carrières	8
Figure I.10	Schématisation d'un granulat recyclé	11
Figure I.11	Déchets de brique	13
Figure I.12	Déchets de marbre	13
Figure I.13	Déchets de pneus	14
Figure I.14	Déchets de verre	14
Figure I.15	Déchets de bois	15
Figure I.16	Absorption d'un granulat recyclé en fonction du temps ^[26]	16
Figure I.17	Machine Los Angeles	17
<u>Chapitre II: Etude expérimentale (matériels et essais)</u>		
FigureII.1	Ciment	19
Figure II.2	Granulats naturels	20
FigureII.3	Les éprouvettes de béton avant et après le concassage	20
FigureII.4	Les déchets de brique avant et après le concassage	21
Figure II.5	Lesdéchets de marbre avant et après le concassage	21
FigureII.6	Le concasseur	21
Figure II.7	Adjuvant Walcrete77	22

Figure II.8	Analyse granulométrique des granulats	23
Figure II.9	Courbe granulométrique de sable (0/3mm)	24
Figure II.10	Courbe granulométrique de gravier (8/15mm)	25
Figure II.11	Analyse granulométrique des granulats recyclés	27
Figure II.12	Éprouvette de mesure pour l'essai d'équivalent de sable	28
Figure II.13	La masse volumique apparente	29
Figure II.14	Essai los Angeles	31
Figure II.15	Essai Micro-Deval	32
Figure II.16	Courbe granulaire de Dreux-Gorisse	34
Figure II.17	Les composants de béton	36
Figure II.18	Malaxage des différents constituants de béton ordinaire	37
Figure II.19	Mode opératoire de l'essai d'affaissement	38
Figure II.20	L'essai d'affaissement de cône d'abrams	38
Figure II.21	Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau	39
Figure II.22	Essai de compression	39
Figure II.23	Essai de traction	40
<u>Chapitre III: Résultats et discussions</u>		
Figure III.1	les différents types de slumps	41
Figure III.2	L'affaissement pour les différents types du Béton à l'état frais	42
Figure III.3	Résistance à la compression pour les différents types Béton à 7 jours	43
Figure III.4	Résistance à la compression pour les différents types Béton à 14 jours	44
Figure III.5	Résistance à la compression pour les différents types Béton à 28 jours	44
Figure III.6	Résistance à la traction par flexion pour les différents types Béton à 7 jours	45
Figure III.7	Résistance à la traction par flexion pour les différents types Béton à 14 jours	46
Figure III.8	Résistance à la traction par flexion pour les différents types Béton à 28 jours	46

Liste des tableaux

<u>Chapitre I :Bibliographie</u>		
Tableau I.1	Types de ciment	4
Tableau I.2	Classes des granulats selon la norme XP P 18-540	6
Tableau I.3	Type des adjuvants	10
<u>Chapitre II :Etude expérimentale (matériels et essais)</u>		
Tableau II.1	Caractéristiques d'adjuvant	23
Tableau II.2	Analyse granulométrique de sable carrière 0/3	24
Tableau II.3	Analyse granulométrique de gravier 8 /15	25
Tableau II.4	Analyse granulométrique du béton recyclé	26
Tableau II.5	Analyse granulométrique de marbre	26
Tableau II.6	Analyse granulométrique de brique	27
Tableau II.7	Résultat d'équivalent de sable	28
Tableau II.8	Résultats de la masse volumique apparente	29
Tableau II.9	Résultats de la masse volumique absolue	30
Tableau II.10	Résultat d'essai Los Angeles	30
Tableau II.11	Résultat d'essai Micro-Deval	31
Tableau II.12	Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	33
Tableau II.13	Les compositions du béton	35

Liste des symboles

GN : Granulats naturels

GR : Granulats recyclés

BR : Béton recyclé

GM : Gravier marbre

GB : Gravier brique

GBR : Gravier béton recyclé

NF : Norme Française

EN : Norme Européenne

MF : Module de finesse de sable

ES : Equivalent de sable

M_{vapp} : La masse volumique apparente

M_{vabs} : La masse volumique absolue

LA : Los Angeles

MDE : Micro-Deval

F_{c28} : la résistance à la compression par 28 jours

C/E : la quantité de ciment / la quantité d'eau

D ou D_{max} : Dimension maximale du plus gros granulaire de béton

d : Dimension de plus petit grain d'un mélange granulaire

Ps% : pourcentage de sable

Pg% : pourcentage de gravier

AC : Affaissement au cône d'Abrams

Introduction générale

Au fil de sa croissance, l'homme cherche à élaborer et à sélectionner ses matériaux en fonction de ses besoins dans les divers secteurs. Aujourd'hui, le secteur de la construction est en constante évolution et amélioration pour s'adapter aux évolutions du temps, ce qui nécessite l'utilisation de grandes quantités de matériaux. Parmi ceux-ci, le béton est le matériau le plus couramment utilisé à travers le monde : 1m³ est utilisé chaque année et par habitant sur la planète. En même temps, la démolition et la déconstruction d'ouvrages anciens en béton s'accélèrent, ce qui entraîne une accumulation importante de déchets. En raison des changements anthropiques, il est donc crucial de concevoir de nouvelles méthodes de construction afin de réduire ses conséquences sur l'environnement et de prendre en considération le cycle de vie des matériaux utilisés. Parmi les multiples possibilités qui sont actuellement explorées, la mise en valeur des matériaux provenant de la démolition et de la déconstruction vise à préserver les ressources naturelles tout en réduisant les émissions de déchets.

Au cours des dernières décennies, les granulats recyclés issus du broyage des déchets de construction et de démolition ont été conseillés comme alternative aux granulats naturels (GN). À la différence des derniers, les granulats recyclés (GR) provenant de la déconstruction et de la démolition ont la particularité de renfermer du mortier et de la pâte de ciment résiduels qui impactent plusieurs de leurs caractéristiques. Il est possible de trouver ces éléments sous forme de broyage ou de concassage, accolés ou non au granulat du béton démolé. Il est possible de modifier les caractéristiques des bétons fabriqués à partir de ces matériaux recyclés.

Cette étude consiste à évaluer la possibilité d'utilisation des granulats recyclés dans les bétons en analysant l'influence des différentes proportions 50% et 100% de granulats recyclés(marbre, brique et béton recyclé) sur les caractéristiques du béton.

Afin d'atteindre nos objectifs, notre mémoire a été structurée sur la base de trois chapitres :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons et leurs composants, en se concentrant sur les divers types de granulats.
- Le deuxième chapitre expose les propriétés des matériaux utilisés pour la fabrication des mélanges et les diverses expériences effectuées.
- Le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus et les discussions.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale, puis des perspectives seront présentées.



Chapitre I :

Bibliographie

I.1. Le béton ordinaire

I.1.1. Introduction

Plus que tout autre matériau, le béton est actuellement le matériau le plus utilisé au monde. Il est impossible de réaliser les constructions modernes en matière de logement, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures sans le béton. Il est à la fois fiable et applicable, ses capacités mécaniques et physiques se développent constamment, et sa formulation, qui était auparavant empirique, est en train de devenir une approche rationnelle avec des outils d'ingénieurs basés sur des bases scientifiques qui impliquent toutes les disciplines impliquées dans la Science des matériaux.

Le béton est un matériau artificiel obtenu en mélangeant, en proportions convenables et de manière homogène, du ciment (liant), un granulat (sable + gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants.^[1]



Figure I.1: Béton ordinaire

I.1.2. Définition

Le béton est un matériau composite obtenu en mélangeant du gravier, du sable et du ciment avec de l'eau. Le mélange acquiert sa qualité et ses différentes propriétés après un certain temps à mesure qu'il se solidifie. Le béton est devenu un matériau célèbre utilisé dans le monde entier en raison de sa facilité, de l'accessibilité de ses fixations et des progrès de son innovation réalisés au cours des dernières décennies.^[2]

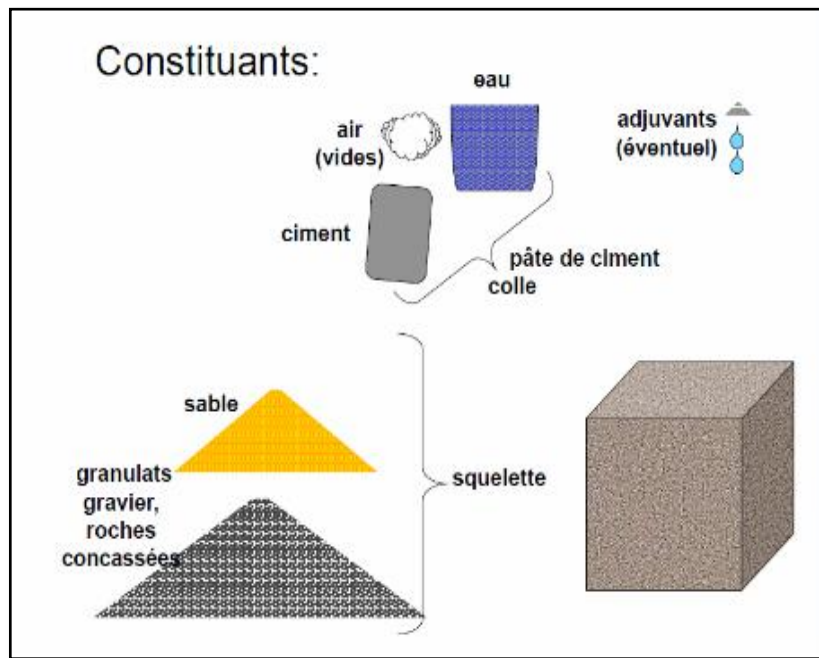


Figure I.2: Constituants du béton

I.1.3. Les composants du béton

Il n'est pas étonnant que les performances des bétons dépendent des propriétés des granulats qui les composent, car 75 % de leur volume est composé de granulats.

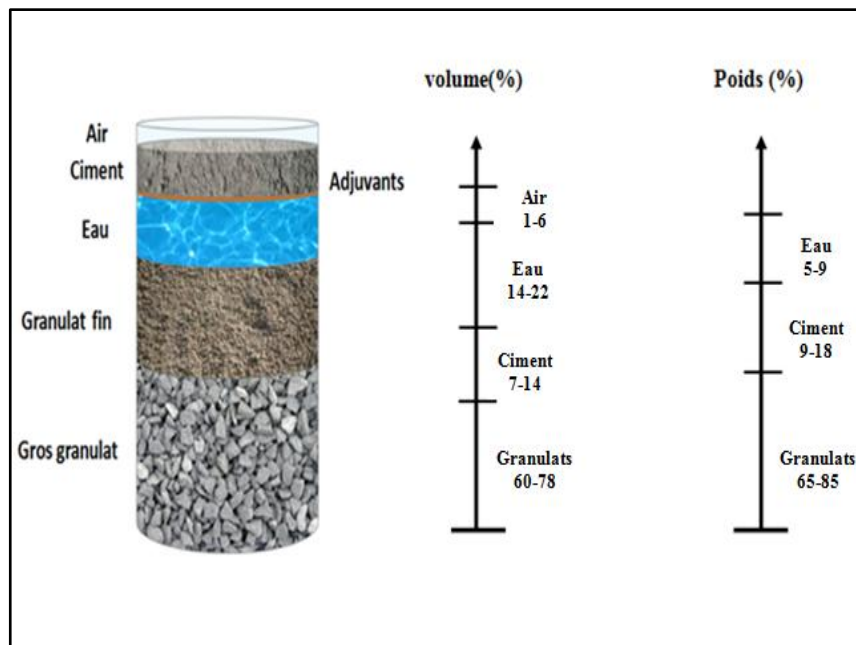


Figure I.3: Ordre et proportions des différents composants du béton en volume et en poids ^[3]

I.1.3.1. Le ciment

a. Définition

Le ciment est obtenu par un mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres ajouts contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuits à une température de fusion de 1450 à 1550 °C (température de clinkérisation) puis broyés. Tous les ciments courants contiennent du clinker Portland qui assure la fonction liante.

Le ciment courant est également connu sous le nom de liant hydraulique, car il a la capacité de s'hydrater et de durcir en présence d'eau, transformant la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est le résultat de l'hydratation de certains composés minéraux, tels que les aluminates de calcium et les silicates. [4]



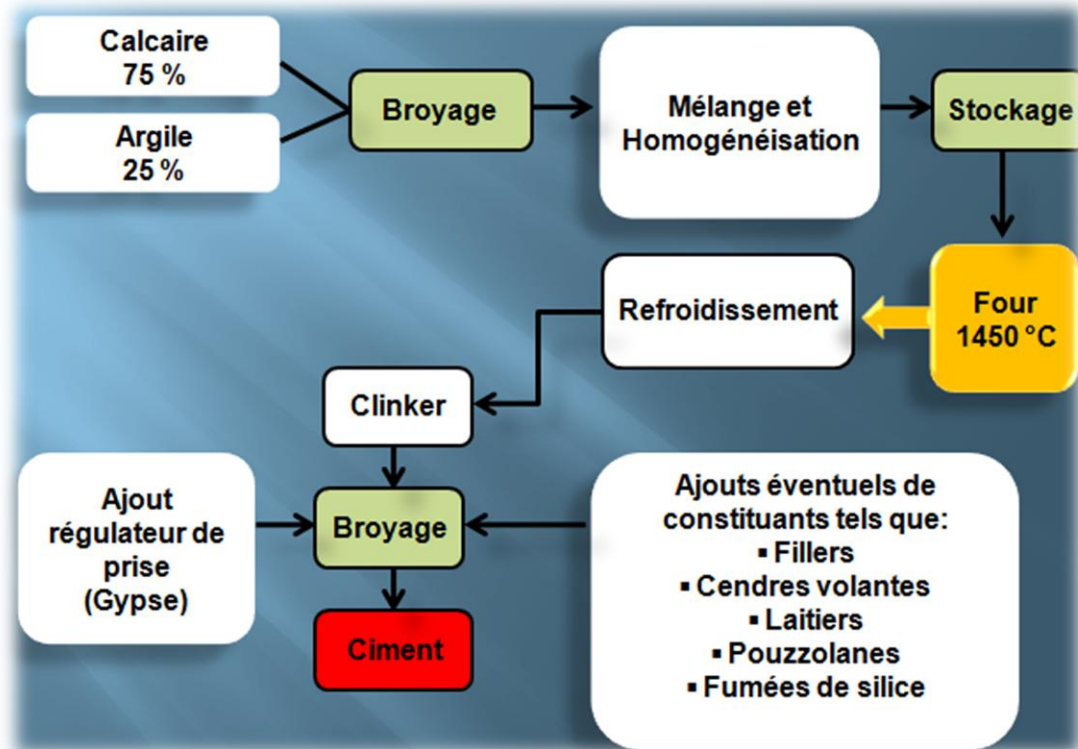
Figure I.4: Ciment

b. Types du ciment [5]

Il existe cinq types de ciment normés « CEM ». Cette désignation caractérise un ciment conforme à la norme européenne [EN 197-1].

Tableau I.1 : Types de ciment

CEM I	Ciment Portland
CEM II	Ciment Portland composé
CEM III	Ciment de haut fourneau
CEM IV	Ciment pouzzolanique
CEM V	Ciment composé

Figure I.5: Fabrication du ciment ^[5]

I.1.3.2. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Il est ajouté lors du mélange pour hydrater le ciment et faciliter la liaison des composants du béton. Le mélange est également plus facile à manipuler grâce à l'eau, ce qui facilite la mise en œuvre du béton.

L'eau utilisée doit être absolument propre et ne doit pas être ajoutée avec excès pour obtenir du béton. Si ces deux exigences ne sont pas respectées, le béton risque d'être fragile et de perdre ses performances. ^[6]L'eau de gâchage est conforme aux prescriptions de la norme [NBN EN 206-1].

I.1.3.2.1. Classification des types d'eau ^[7]

En général, l'aptitude à l'emploi de l'eau pour la production de béton dépend de son origine. Les types suivants peuvent être distingués:

a. Eau potable

Cette eau est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai.

b. Eaux d'origine souterraine

Ces eaux peuvent être appropriées, mais doivent être soumises à des essais.

c. Eau de mer et eaux saumâtres

Ces eaux peuvent être utilisées pour la production de béton non armé, mais ne conviennent pas en général à la production de béton armé ou précontraint.

d. Eaux naturelles de surface et eaux de rejet industrielles

Ces eaux peuvent être appropriées, mais doivent être soumises à des essais.

e. Eaux usées

Ces eaux ne conviennent pas pour la fabrication du béton.

I.1.3.3. Les granulats**a. Définition**

Les granulats sont des matériaux inertes provenant de l'érosion des roches ou de leur broyage, utilisé dans la construction et entrant dans la composition des mortiers et des bétons, leurs dimensions varient de 0mm et 25mm. ^[8]

Les principales divisions granulométriques des granulats sont définies par la norme française [XP P 18-540]. ^[9]

b. Classe des granulats

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) qui est déterminée par une analyse granulométrique à l'aide de tamis.

Un granulat est désigné par sa classe granulaire exprimée par le couple d/D ou 0/D avec :

d : dimension inférieure du granulat.

D : dimension supérieure du granulat.

Tableau I.2 : Classes des granulats selon la norme XP P 18-540

Classe	Dénotations	Caractéristique
Fillers	0/D	$D < 2 \text{ mm}$ et ayant au moins 70% de grains passant au tamis de 0.63mm
Sablons	0/D	$D \leq 1 \text{ mm}$ avec moins de 70 % de grains passant au tamis de 0.63 mm
Sables	0/D	$1 \text{ mm} < D \leq 6.3 \text{ mm}$
Graves	0/D	$D > 6,3 \text{ mm}$
Gravillons	d/D	$d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$
Ballasts	d/D	$d \geq 25 \text{ mm}$ et $D \leq 50 \text{ mm}$

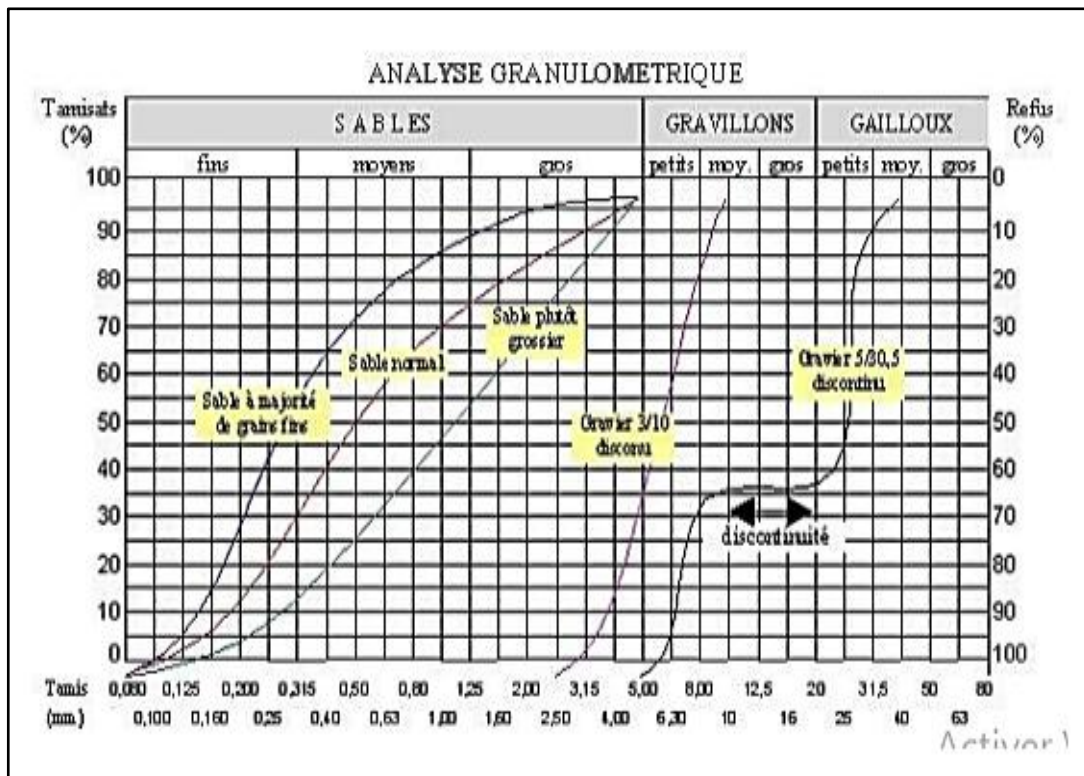


Figure I.6: Courbe granulométrique

c. Les différents types des granulats

Les granulats utilisés dans la fabrication du béton peuvent être recyclés, naturels ou artificiels :

1. Les granulats naturels

Les granulats naturels sont classés en deux catégories : Les granulats alluvionnaires ou de roches meubles et de roches massives.

Les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- éruptives : granites, basaltes porphyres.
- sédimentaires : calcaires, grès, quartzites.
- métamorphiques : gneiss, amphibolites.



Figure I.7: Différents types des granulats

a. Les granulats alluvionnaires

Dits roulés, qui ont acquis une forme arrondie à la suite de l'érosion. Sont principalement des dépôts alluvionnaires situés dans un lit de rivière (et parfois en mer).^[10] Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats.^[11]



Figure I.8: Les granulats alluvionnaires

b. Les granulats de carrières

Les granulats sont obtenus par abattage et concassage, suivis d'opérations de criblage ou de tamisage pour sélectionner des grains à une dimension spécifique. Les caractéristiques des granulats concassés sont influencées par divers facteurs tels que l'origine de la roche, la régularité du banc et le degré de concassage.^[12] À cause de leur texture de surface et de leur rugosité, ce type de granulats montre une excellente liaison avec la pâte de ciment. Cependant, en raison de leurs angles et de leurs surfaces spécifiques étendues, ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité spécifique.^[13]



Figure I.9: Les granulats de carrières

2. Les granulats artificiels

Il existe plusieurs variétés de granulats artificiels qui peuvent être utilisés pour des fins particulières. ^[14]

a. Les sous-produits industriels, qu'ils soient concassés ou non

Le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenu par refroidissement à l'eau sont les deux types de laitier les plus couramment utilisés.

b. Granulats à hautes caractéristiques

Il s'agit de granulats industriels élaborés pour répondre à certains emplois, notamment des granulats très durs pour renforcer la résistance des dalles industrielles (granulats ferreux) ou des granulats réfractaires.

3. Les granulats recyclés

Le granulat recyclé est le granulat produit par la transformation de matériaux inorganiques qui ont été utilisés dans la construction auparavant. Des granulats tels que le béton concassé ou le fraisât d'enrobés bitumineux sont classés dans cette catégorie.

I.1.3.4. Les adjuvants ^[15]

Un adjuvant est un produit qui, lorsqu'il est ajouté à faible dose (inférieure à 5 % de la masse du ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, modifie les propriétés du mélange, qu'il soit frais ou durci. Il existe différents types d'adjuvants voir le tableau :

Tableau I.3 : Types des adjuvants

Catégories	Effets
<p style="text-align: center;">Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton</p>	<p>1. Plastifiant : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer.</p> <p>2. Plastifiant réducteur d'eau : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange, tout en ayant une bonne maniabilité.</p> <p>3. Superplastifiant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Fonction fluidifiant</u> : (dosage en eau normal) améliore La maniabilité mais diminue la résistance. ➤ <u>Fonction réducteur</u> : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.
<p style="text-align: center;">Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement</p>	<p>1. Accélérateur de prise : diminue le temps de prise du béton.</p> <p>2. Accélérateur de durcissement : accélère le temps de durcissement du béton.</p> <p>3. Retardateur de prise : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer.</p>
<p style="text-align: center;">Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton</p>	<p>1. Entraîneur d'air : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène. Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide.</p> <p>2. Hydrofuge : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.</p> <p>3. Les pigments : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.</p>

I.2. Les granulats recyclés

I.2.1. Introduction

Les granulats recyclés (GR) sont formés du granulat d'origine et du mortier attaché à celui-ci. Ceux-ci doivent donc être considérés comme un système composé de deux phases distinctes, le mortier et le granulat d'origine.^[16] La teneur en mortier résiduel attaché au granulat d'origine a un grand impact sur les propriétés du granulat recyclé (GR)^[17].

Elle est également une des caractéristiques importantes permettant d'évaluer la qualité d'un granulat recyclé (GR). Une des conséquences de la présence du mortier résiduel est la formation d'une zone de transition entre le granulat original et le mortier résiduel en plus de la zone de transition se formant entre le granulat recyclé (GR) et la nouvelle pâte de ciment. La configuration du granulat recyclé (GR) est illustrée sur la Figure suivante.

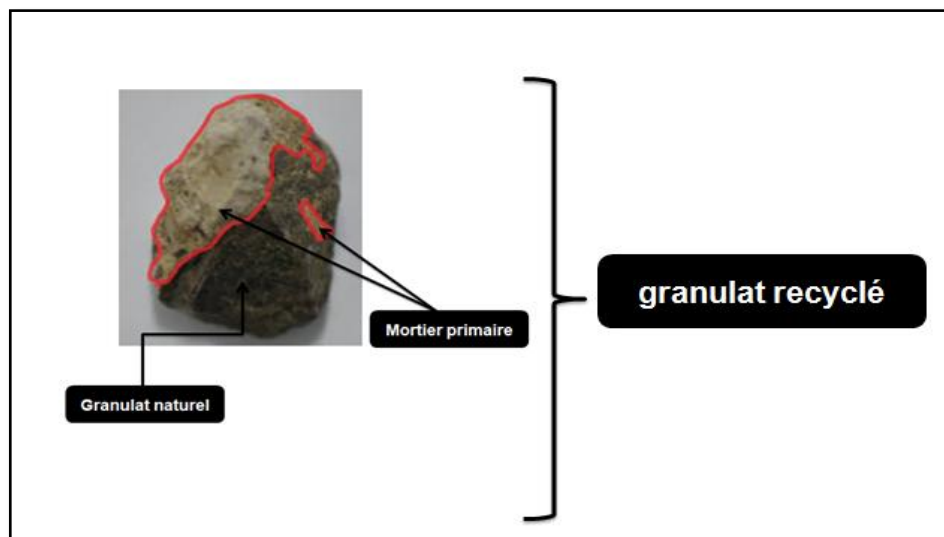


Figure I.10: Schématisation d'un granulat recyclé

I.2.2. Fabrication des granulats recyclés

La fabrication des granulats recyclés se déroule en trois étapes principales comprenant :

I.2.2.1. Evaluation du béton source

La détermination de la quantité de béton source est la première étape de la production des granulats recyclés. Les caractéristiques et les données du béton de base, telles que la résistance. La durabilité concerne la composition qui est analysée afin de choisir le béton source adéquat.

I.2.2.2. Ecrasement du béton démoli

Le processus simple consiste à concasser le béton dans la taille et la qualité spécifique généralement de taille 20 mm à 50 mm.

I.2.2.3.Enlèvement des contaminants

Il ne faut pas supprimer les contaminants tels que l'acier d'armature, les matériaux de fondation, les accotements en béton bitumineux, le sol, etc. On peut le réaliser à travers différentes techniques, telles que le criblage ou la séparation de l'air la démolition l'utilisation de l'électroaimant.

I.2.3.Déchets utilisés comme granulats dans béton

I.2.3.1.Déchet de la démolition

La destruction des constructions en béton et l'industrie des matériaux de construction produisent toujours des produits secondaires ou des déchets. Le stockage de ces déchets solides dans des dépôts entraîne une pollution de l'environnement. Étant donné que les réserves de granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc essentiel de trouver une solution pour valoriser ces produits et les réutiliser comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé ne diffère que du vieux béton qui est broyé afin de créer des granulats. Il est possible d'utiliser ce matériau dans les couches de fondation, telles que le béton maigre, en tant que seule source de granulats ou en remplacement partiel des granulats dans le béton neuf.

En règle générale, les granulats de béton recyclé ont une plus grande capacité d'absorption et une densité moindre que les granulats classiques. Les particules ont une forme similaire à celle de la pierre concassée. En général, le béton fabriqué à partir de granulats issus du recyclage possède de bonnes caractéristiques en termes de maniabilité, de durabilité et de résistance à l'action du gel-dégel. Selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton, la résistance en compression peut varier.

I.2.3.2.Déchet de brique

Il existe toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites, selon la méthode de fabrication et de manipulation des briques. Les blocs de béton peuvent être fabriqués avec des briques concassées et bien cuites. Dans le cas où les briques contiennent des sels solubles, le béton peut être plus perméable et subir des phénomènes de corrosion et d'efflorescence.

La résistance au feu du béton à base d'argile cuite est bien supérieure à celle du béton à base de gravier naturel.^[18]



Figure I.11:Déchet de brique

I.2.3.3.Déchet de marbre

Provenant des carrières à blocs de marbre comprennent les bocains, les chutes et les moellons. Ces déchets sont réduits en granulats et en poudre, qui sont utilisés dans la production de carreaux en granito de marbre. Les routes sont construites avec du marbre provenant des carrières dérivées (marbre de diverses classes granulaires).L'usine de transformation utilise les déchets (chutes de carreaux) pour revêtir les sols.



Figure I.12:Déchet de marbre

I.2.3.4.Déchet de pneus

Dans un mortier, l'ajout de granulats en caoutchouc provenant du broyage de pneus usagés permet au composite obtenu d'avoir une capacité de déformation accrue avant de localiser la macro fissure. Il en découle que le composite cimentaire qui intègre des granulats en caoutchouc présente une résistance élevée à la fissuration de retrait, même si ses variations dimensionnelles de retrait sont plus élevées. Bien que le composite intégrant des granulats en caoutchouc présente des limites

en termes de résistance en compression, il présente donc un intérêt évident dans toutes les applications où la prévention des fissures causées par les déformations est une priorité. [19]



Figure I.13:Déchet de pneus

I.2.3.5.Déchet de Verre

Chaque année, des millions de tonnes de verre sont collectées. La résistance du béton à base de verre est généralement plus faible que celle du béton à base de gravier. La résistance est particulièrement faible lorsqu'on utilise du ciment à forte teneur en alcaline. En présence de granules alcalins, le verre de récupération a une réaction. Le contact avec du ciment à forte teneur alcaline entraîne une dilatation importante, ce qui explique la faible résistance des bétons en verre. Prenons l'exemple du béton contenant du gravier dont la dilatation est de 0,018% sur une période de 12 mois, tandis que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3% [20].



Figure I.14:Déchet de verre

I.2.3.6. Déchet de bois

L'essentiel du bois que nous utilisons est le bois manufacturé, qui se termine toujours en déchet. Les produits de protection, de conservation ou d'habillage (peinture et vernis...) qui sont utilisés tout au long de sa vie ne lui permettent pas d'être réutilisé. Seules les panneaux de particules, que l'on obtient également avec de la colle et des produits injectés, sont réutilisés de manière marginale. Certains textes officiels demandent que le bois en fin de vie soit détruit dans une centrale spécifique, mais cela n'est qu'un rêve de croire. Souvent, les cheminées et les centrales sont brûlées, ce qui entraîne soit une émission de produits nocifs dans l'atmosphère, soit un stockage sans réutilisation en décharge (sauvage) et cela rarement pour le bien de notre santé.



Figure I.15: Déchet de bois

I.2.4. Caractéristique physiques et mécaniques des granulats recyclés

La réutilisation des GR dans le béton repose sur des caractéristiques physiques essentielles, comme la masse volumique réelle et le coefficient d'absorption d'eau ; distribution granulométrique et d'autres caractéristiques mécaniques telle que la résistance à la compression et à la traction. Les granulats recyclés présentent des caractéristiques physiques et mécaniques différentes des granulats naturels. ^[21]

I.2.4.1. Granulométrie

Les granulats recyclés ont souvent plus de particules fines que les granulats naturels. Toutefois, cette caractéristique ne peut pas être généralisée car elle diffère considérablement en fonction du type de granulat recyclé utilisé et du type de granulat naturel auquel on le compare.

^[22] I.2.4.2. Masse volumique

Le granulat recyclé présente une densité relative plus faible ^[22] La diminution de la masse volumique du granulat recyclé est due à la présence du mortier résiduel, qui présente une masse volumique inférieure à celle du granulat original, ce qui réduit la masse volumique totale du granulat recyclé. ^[22]

I.2.4.3. Absorption

L'absorption d'eau des agrégats recyclés est supérieure aux agrégats naturels, et cela doit être compensé pendant la conception des bétons.^[23] La présence plus importante du mortier résiduel provoque une augmentation du taux d'absorption d'eau des GR^[24]. Le même effet est constaté si les GR contiennent des matériaux céramiques et des impuretés, tel que le gypse.^[25]

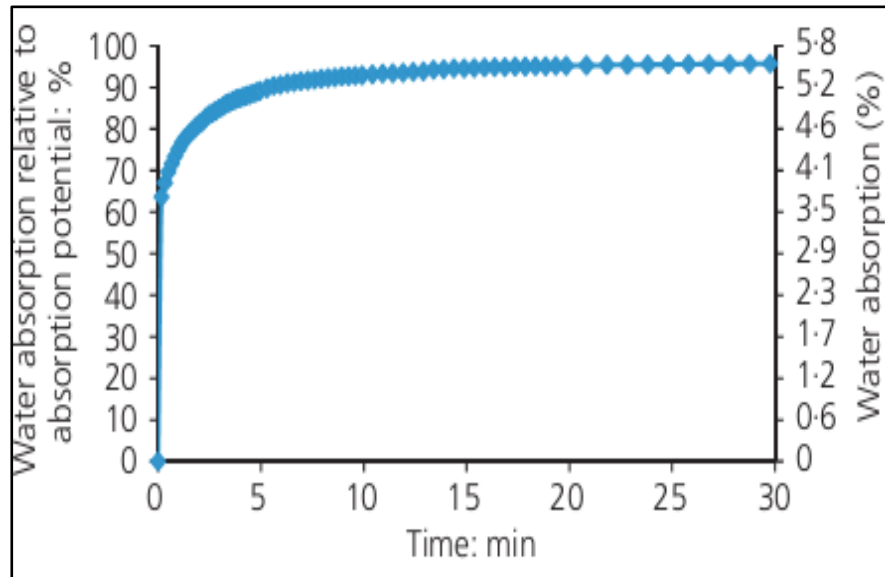


Figure I.16: Absorption d'un granulat recyclé en fonction du temps ^[26]

Cette représentation graphique montre que la majorité de l'eau absorbée par le granulat se produit dans les 30 premières minutes.^[27] Une très forte absorption est également observée même après seulement 5 minutes (89,2 %). Le taux d'absorption de cette substance diminue considérablement ensuite. Selon les estimations, 90 % du potentiel d'absorption du granulat se produit pendant les 5 premières minutes.^[26]

I.2.4.4. Résistance à l'usure

Les bétons à base de sable naturel et de graviers recyclés ont une résistance à la fatigue en flexion plus élevée que les bétons ordinaires, en raison de la forte liaison entre la matrice cimentaire (où se produit la rupture) et les granulats recyclés.^[17]

I.2.4.5. Essai Los Angeles

Lors de l'essai de résistance à l'abrasion Los Angeles, tout le mortier résiduel lié au granulat d'origine se détache de celui-ci sous l'effet de l'abrasion^[28]. On observe ainsi une grande perte de masse pour le granulat recyclé ce qui explique des coefficients Los Angeles plus élevés que ceux généralement relevés pour des granulats naturels.^[29] La résistance à l'abrasion est donc directement reliée à la résistance à la teneur en mortier résiduel.^[28]

Généralement, les GR présentent un coefficient d'abrasion supérieur à celui des GN, ce qui s'explique par la présence de mortier.^[30]



Figure I.17: machine Los Angeles

I.2.5. Avantages des granulats recyclés

- Optimise la production des granulats vierges, ce qui entraîne une diminution de l'évaluation des ressources naturelles.
- Lorsqu'il est écrasé en petites particules, une grande quantité de dioxyde de carbone est absorbée, ce qui diminue la quantité de CO₂ présente dans l'atmosphère.
- Les études ont démontré une importante diminution des coûts de construction en utilisant du béton recyclé.
- Maintient l'espace de stockage, diminue la nécessité de créer de nouvelles décharges et réalise ainsi des économies supplémentaires.
- Offre davantage d'opportunités d'emploi dans le secteur du recyclage.

I.2.6. Inconvénients des granulats recyclés

- La qualité du béton a été déclassée.
- Augmentation de 3 % à 9 % de la capacité d'absorption d'eau.
- Réduction de 10% à 30 % de la résistance à la compression du béton.
- Réduit la maniabilité du béton
- Manque de spécification et de lignes directrices
- La durabilité est moins élevée, mais il y a peu de papier qui montre une amélioration en le mélangeant avec des matériaux spécifiques tels que les cendres volantes.

I.2.7. Application des granulats recyclés

- Il est possible d'utiliser les granulats recyclés pour la construction de gouttières, de trottoirs, etc.
- Les revêtements peuvent être construits à partir de gros morceaux d'agrégats concassés, ce qui est très bénéfique pour contrôler l'érosion des sols.
- Les gravettes de béton recyclé peuvent également servir d'agrégats grossiers dans le béton.
- Le béton recyclé génère également de nombreux sous-produits qui peuvent être utilisés de différentes manières, comme un matériau d'amélioration du sol, un ajout de béton, un agent de remplissage d'asphalte, etc.

I.3. Conclusion

Le béton recyclé (BR) présente une résistance moins élevée et une absorption plus élevée que le béton classique. En général, le béton à base de granulats recyclés (GR) présente des caractéristiques certes plus faibles que le béton classique.



Chapitre II :

**Etude expérimentale
(matériels et essais)**

II.1.Introduction

L'objectif de ce chapitre est de bien écrire et de représenter les différentes étapes et manipulations réalisées au laboratoire, à savoir la caractérisation physique et mécanique des granulats naturels et recyclés utilisés dans la fabrication du béton, en effectuant plusieurs tests d'identification comme l'analyse granulométrique, l'essai de Los Angeles etc. Le béton que nous avons fabriqué dans notre étude est du type ordinaire qui sera utilisé dans le domaine du génie civil, en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse pour déterminer la quantité de différents composants nécessaires pour 1m^3 de béton.

Ce chapitre est composé de trois parties :

- La première partie expose les modes opératoires des essais réalisés.
- La deuxième partie traite les caractéristiques des matériaux utilisés.
- La troisième partie détermine la préparation et la formulation des bétons.

Dans cette étude, sept types de béton ont été préparés. Le premier échantillon est un béton naturel BN, qui a été préparé uniquement avec des granulats naturels. Les six autres échantillons sont des bétons à base des granulats recyclés (brique, marbre et béton recyclés), dans lesquels sont remplacés par des granulats recyclés à différents taux de remplacement. On commençant par remplacer 100% les granulats naturel dans le béton par les granulats recyclé, en suit on remplace 50% des granulats naturels par les granulats recyclés.

II.2.Matériaux utilisés

II.2.1.Le liant hydraulique

Le ciment utilisé dans cette étude est produit par le groupe industriel des ciments d'Algérie GICA du type CPJ-CEM II/A-M[S-L] 42,5 N, est aussi conforme à la norme Algérienne (NA 442).



Figure II.1:Ciment

II.2.2. Les granulats

Dans cette étude, on a utilisé deux types de granulats, des granulats naturels GN et des granulats recyclés GR.

A. Granulats naturel :

- Sable carrière (0/3), la carrière d'AIN ABID CANSTANTINE.
- Gravier (8/15), la carrière d'AIN ABID CANSTANTINE.

B. Granulats recyclés :

- Béton recyclé (8/15)
- Déchets de brique (8/15)
- Déchets de marbre (8/15)

Ses granulats recyclés sont produits par le concassage et le broyage des éprouvettes. Ces procédures ont été effectuées l'aide d'un concasseur au niveau du laboratoire de génie civil de l'Université Bordj Badji Mokhtar à Annaba.



Figure II.2: Granulats naturels



Figure II.3: Les éprouvettes de béton avant et après le concassage



Figure II.4: Les déchets de brique avant et après le concassage



Figure II.5: Les déchets de marbre avant et après le concassage



Figure II.6: Le concasseur

II.2.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée est l'eau disponible au niveau du laboratoire des travaux public LTPE de SKIKDA qui est une eau de robinet potable.

II.2.4. Superplastifiant

Walcrete 77 superplastifiant unique et polyvalent basé sur une technologie de polymères innovante. Son action diffère des polymères traditionnels dans la mesure où l'adsorption de Walcrete 77 sur les particules de liant est assurée par une liaison chimique qui ne gêne pas l'écoulement du béton.

Cette innovation améliore considérablement le comportement rhéologique du béton traité avec Walcrete 77. Ce qui se traduit par une viscosité et une limite d'élasticité inférieure. Associées à une meilleure rétention de l'eau à maniabilité.



Figure II.7: Adjuvant Walcrete77

II.2.4.1. Mode d'emploi

Walcrete 77 est un adjuvant pour béton qui doit être incorporé dans le malaxeur. L'effet optimal est obtenu par incorporation du Walcrete 77 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur. Eviter d'ajouter le Walcrete 77 sur les granulats secs.

II.2.4.2. Dosage

Le dosage recommandé est de 0,3 à 2 % du poids de ciment en fonction de la formulation du béton et des propriétés souhaitées.

II.2.4.3. Caractéristiques

Voir le tableau suivant :

Tableau II.1 : Caractéristiques d'adjuvant

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité à 25°C	1.07±0.02
Ph	4 - 7

II.3. Essais de caractérisation des matériaux

II.3.1. Analyse granulométrique : [NF EN 933-1-A1]

L'analyse granulométrique des granulats est réalisée par voie sèche et selon la norme [NF EN 933-1-A1]. Un échantillon de masse $M= 3 \text{ Kg}$ pour le gravier et $M= 1\text{Kg}$ pour le sable est préalablement séché dans une étuve ($105 \pm 5^\circ\text{C}$) et est tamisé à travers une série de tamis qui correspond à chaque cas de granulats suivant:

- Pour le sable carrière : **4 – 2 – 1 – 0.5– 0.315 – 0.25 – 0.125 – 0.063mm**. Le sable utilisé dans la confection des bétons ordinaire et recyclés est un sable carrière.
- Pour le gravier naturel et les granulas recyclés 8/15: **16 - 14 - 10 - 8 - 6,3 - 4 – 2 mm**



Figure II.8: Analyse granulométrique des granulats

Tableau II.2 : Analyse granulométrique de sable carrière 0/3

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Réfus partiel (g)	Réfus cumulés (g)	Réfus cumulés (%)	Tamisé (%)
Sable carrière 0 /3	4	6.46	6.46	0.54	99.46
	2	173.9	180.36	15.03	84.97
	1	258.69	439.05	36.59	63.41
	0.5	229.71	668.076	55.73	44.27
	0.315	96.19	764.095	63.09	36.25
	0.25	52.15	817.1	68.09	31.91
	0.125	104.87	912.97	76.08	23.92
	0.063	55.12	977.09	81.42	18.58

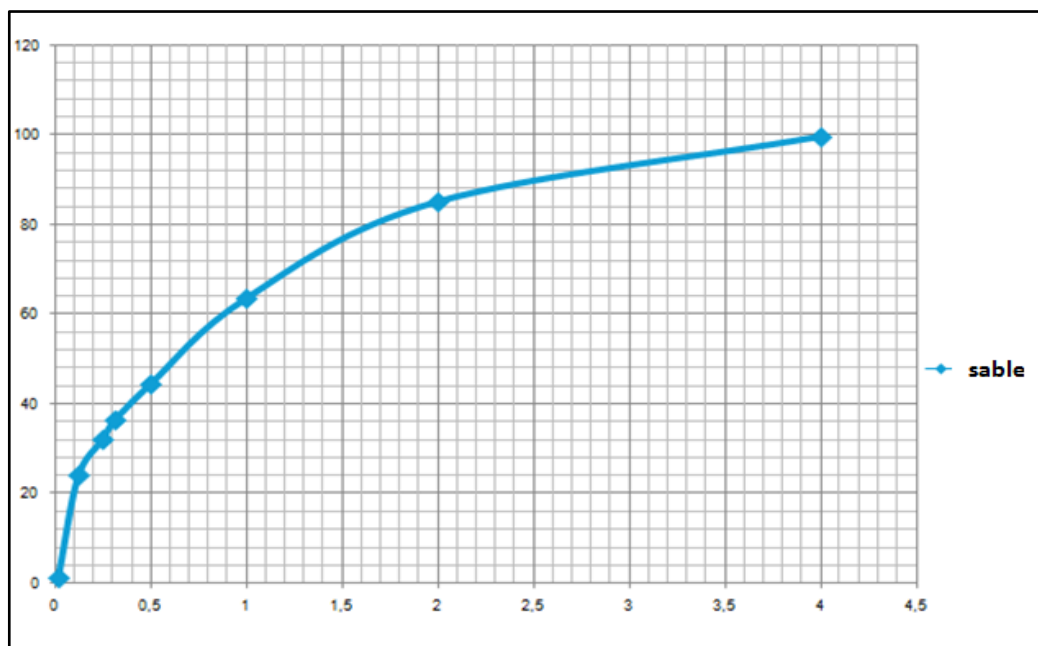


Figure II.9 : courbe granulométrique de sable (0/3mm)

Tableau II.3 :Analyse granulométrique de gravier 8 /15

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Réfus partiel (g)	Réfus cumulés (g)	Réfus cumulés (%)	Tamisat (%)
gravier 8/15	16	168.7	168.70	5.62	94.38
	14	287.46	456.16	15.205	84.795
	10	1449.9	1906.06	63.54	36.46
	8	742.9	2648.96	88.33	11.7
	6.3	300.20	2949.16	98.3	1.7
	4	48.56	2997.72	99.92	0.08

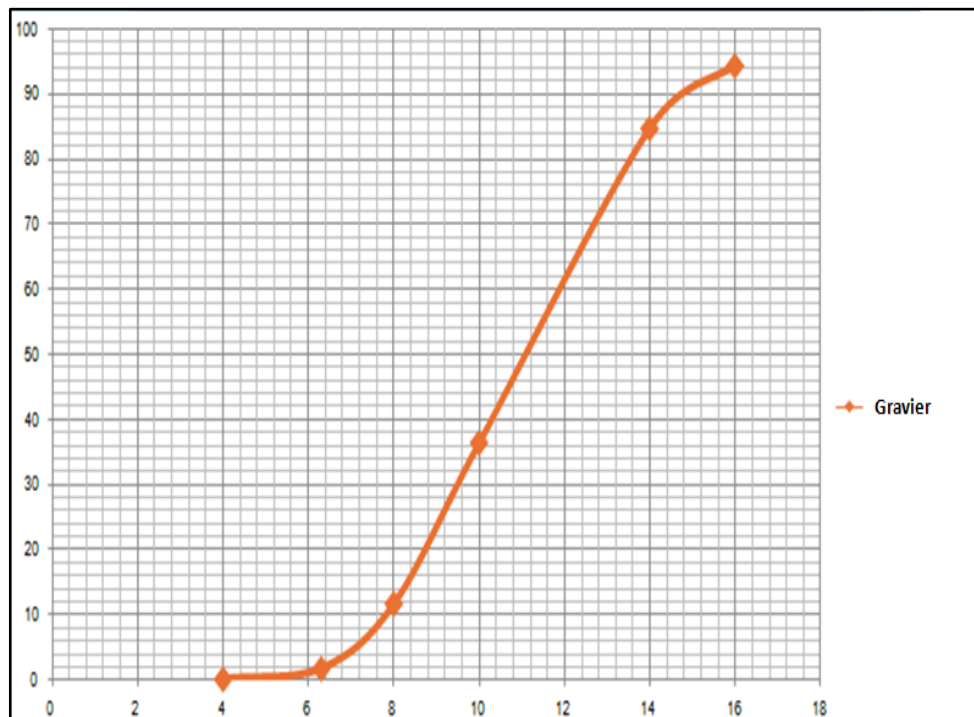


Figure II.10 : courbe granulométrique de gravier (8/15mm)

Tableau II.4 : Analyse granulométrique du béton recyclé

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Réfus partiel (g)	Réfus cumulés (g)	Réfus cumulés (%)	Tamisat (%)
Béton recyclé	16	17	17	1.061	98.399
	12.5	440	457	28.544	71.456
	10	751	1208	75.45	24.55
	8	370	1578	98.56	1.44
	5	23	1601	100	0
	fond	0	1601	100	0

Tableau II.5 : Analyse granulométrique de marbre

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Réfus partiel (g)	Réfus cumulés (g)	Réfus cumulés (%)	Tamisat (%)
marbre	16	30	30	1.87	98.13
	12.5	744	774	48.28	51.72
	10	553	1327	82.78	17.22
	8	249	1576	98.315	1.685
	5	20	1596	99.56	0.44
	fond	7	1603	100	0

Tableau II.6 : Analyse granulométrique de brique

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Réfus partiel (g)	Réfus cumulés (g)	Réfus cumulés (%)	Tamisat (%)
brique	16	35	35	2.187	97.81
	12.5	538	573	35.812	64.18
	10	632	1205	75.312	24.688
	8	346	1551	96.937	3.063
	5	46	1597	99.812	0.188
	Le fond	0	1597	99.812	0.188

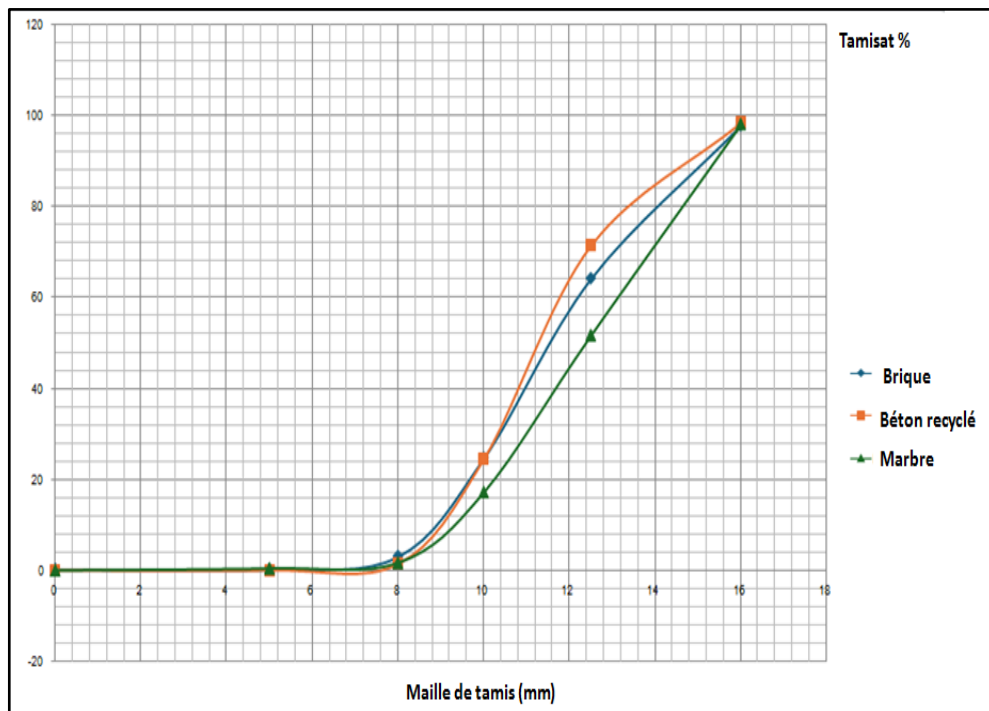


Figure II.11 : Analyse granulométrique des granulats recyclés

II.3.2. Module de finesse

Le module de finesse d'un sable est défini par le **1/100** de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivant[NF EN 12620]:

0.125;0.25;0.5;1;2;4. Il est donné par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum Ri}{100}$$

Avec :

Ri : refus cumulés en (%).

Mf=3,33%

Donc notre sable est un sable préférentiel.

II.3.3.Équivalent de sable :[NF EN 933-8]

L'essai d'équivalent de sable permet de mesure leur propreté, cet essai est en général utilisé pour les sables destinés au béton. Le but de cet essai est de mettre en suspension les fines (particules <0.063 mm soit 63µm) puis de laisser se déposer au fond d'un tube transparent .La proportion de fines par rapport au reste de l'échantillon est alors mesurée puis calculée.



Figure II.12 : Éprouvette de mesure pour l'essai d'équivalent de sable

Tableau II.7 : Résultat d'équivalent de sable

ES%	Nature et qualité du sable
$70 \leq 71.02 \leq 80$	On a un sable propre à faible pourcentage de fines.

II.3.4. La masse volumique apparente

Elle est calculée en utilisant les normes [NF P 18-554] et [NF P 18-555] pour le gravier et le sable. Le test consiste à remplir un récipient vide de volume (V) avec du matériau sec sans le tasser, puis à peser cette quantité (M). Le rapport entre la masse et le volume donne la masse volumique du matériau à l'état frais comme il est indiqué dans la formule ci-dessous :

$$M_{\text{vapp}} = \frac{m_{\text{rempli}} - m_{\text{vide}}}{V} (\text{g/cm}^3)$$

m_{vide} : est la masse du récipient vide en g.

m_{rempli} : est la masse du récipient rempli du matériaux en g.

V : le volume du récipient en cm^3 .

Tableau II.8 : Résultats de la masse volumique apparente

Matériau	Masse volumique apparente (g/cm^3)
Sable 0/3	1,69
Gravier 8 /15	1,45



Figure II.13 : La masse volumique apparente

II.3.5. La masse volumique absolue

Elle est calculée en utilisant les normes [NF P 18-554] et [NF P 18-555] pour le gravier et le sable. La méthode utilisée est celle de l'éprouvette graduée. En versant une quantité connue de granulat dans une quantité d'eau, il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume, de matière pleine sans vide entre les grains. La masse volumique absolue est obtenue en rapportant la différence de volume du matériau à sa masse.

La formule suivante est utilisée pour déterminer la masse volumique :

$$M_{vabs} = \frac{M}{V_2 - V_1} (\text{g/cm}^3)$$

M en (g): La masse sèche du matériau.

V1 en (cm³): représente le volume du récipient.

V2 en (cm³): représente le volume du récipient plus matériau.

Tableau II.9 : Résultats de la masse volumique absolue

Matériau	Masse volumique absolue (g/cm ³)
Sable 0/3	2,5
Gravier 8/15	2,6

II.3.6. Essais Los Angeles: [NF EN 1097-2]

L'essai Los Angeles est utilisé pour déterminer la résistance à la fragmentation (au choc) d'un échantillon de granulat. Le coefficient los Angeles (LA) obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1,6 mm après fragmentation dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations à une vitesse régulière en présence de boulets d'acier (11 boulets). Plus le pourcentage LA est bas, plus l'échantillon est résistant à la fragmentation. Les matériaux sont lavés, tamisés et séchés à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante. Le coefficient Los-Angeles est déterminé par la formule :

$$LA = \left(\frac{5000 - M_i}{50} \right) (\%)$$

Mi: la masse du refus au tamis à 1.6mm (g).

Tableau II.10 : Résultat d'essai Los Angeles

Expression des résultats	
Masse de la classe 10/12.5	3000
Masse de la classe 12.5/14	2000
Masse de la prise d'essai	5000
Masse du refus au tamis 1.6mm	3900
LA	22%



Figure II.14 : Essai los Angeles

II.3.7.Essai d'usure Micro-Deval : [NF EN 1097-1]

L'essai Micro-Deval est utilisé pour déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats. Le coefficient micro-Deval (MDE) obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1,6 mm après usure par rotation dans un cylindre en présence de bille d'acier inox et d'eau. Plus le pourcentage d'usure est bas, plus l'échantillon est résistant à l'usure. Le coefficient Micro-Deval est déterminé par la formule :

$$\text{MDE} = \frac{500 - M_i}{5} (\%)$$

M_i : la masse du refus au tamis à 1.6mm (g).

Tableau II.11 : Résultat d'essai Micro-Deval

Expression des résultats	
Masse de la classe 10/12.5	300
Masse de la classe 12.5/14	200
Masse de la prise d'essai	500
Masse du refus au tamis 1.6mm	410
MDE	18%



Figure II.15 : Essai Micro-Deval

II.4. Formulation du béton

Pour la formulation du béton on a utilisé la méthode de Dreux-Gorisse .L'objectif de cette méthode est de déterminer la nature et la quantité des matériaux nécessaires pour fabriquer un mètre cube (1m^3) de béton(eau E, ciment C, sable S, gravier G en kg/m^3) en fonction de sa maniabilité et de sa résistance.

II.4.1. Formulation du béton selon la méthode Dreux-Gorisse

⇒ Résistance visée :

En termes de sécurité, la résistance visée correspond à un accroissement de 15% de la résistance souhaitée. Donc, on obtient la résistance visée de la manière suivante :

La résistance souhaitée pour le béton à une durée de 28 jours est: $F_{c28} = 30\text{MPa}$

$$\begin{aligned} \text{La résistance visée est donc : } f_{c'} &= F_{c28} + 15\%F_{c28} \\ &= 30 + 15\% \times 30 = 34.5\text{MPa} \end{aligned}$$

⇒ Dosage en ciment et en eau

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visé et de la qualité du ciment et des granulats. Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

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

$f_{c'}$ = résistance visée à 28 jours donc : $f_{c'} = 34.5\text{MPa}$

C : dosage du ciment en kg/m^3 de béton.

E : dosage de l'eau en kg/m^3 de béton.

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

G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats.

Expérimentalement, il est établi que cette qualité du granulat, mais également de son diamètre selon les valeurs suivants :

Tableau II.12 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G

Qualité des Granulats	Dimension D des granulats		
	$D \leq 12.5$	$20 \leq D \leq 31.5$	$D \geq 50$
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

On a $G = 0.45$ d'après le tableau.

$$34.5 = 0.45 \cdot 39 \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \Rightarrow \frac{C}{E} = \frac{34.5}{0.45 \times 39} + 0.5 = 2.46$$

⇒ **Dosage en ciment d'un mètre cube de béton**

On a Le rapport $C/E = 2.46$ et Affaissement = 7cm

L'intersection de ces deux entrées se fait sur la courbe du dosage à 400kg de ciment. Le dosage en ciment pour obtenir 1m^3 de béton en place est de 400kg.

⇒ **Dosage en eau**

Le dosage en eau s'en déduit : $C/E = 2.46$ avec $C = 400\text{kg}$, $E = C/2.46$

$$E = 400 / 2.46 \Rightarrow E = 162.60 \text{ kg}$$

⇒ **Correction du dosage en eau**

Il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre. Pour un mélange granulaire de diamètre $D=16 \text{ mm}$ il faut majorer le dosage en eau de 4 %.

$$E = 162.60 + 4\% = 162.64 \text{ kg}$$

⇒ **Traçage de la courbe de référence AOB**

Nous traçons une courbe 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 granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

- en abscisse :

- Le plus gros granulat est $D_{max} = 16\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse:

$$X_A = 16/2 = 8\text{mm}$$

-en ordonnée : $Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_s$

$$K = 0$$

$$K_s = 6M_f - 15$$

$$K_s = 6 \times 3.33 - 15 = 4.98$$

$$\text{Alors } \Rightarrow Y_A = 50 - \sqrt{16} + 4.98 = 50.98$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont:

[8 ; 50.98]

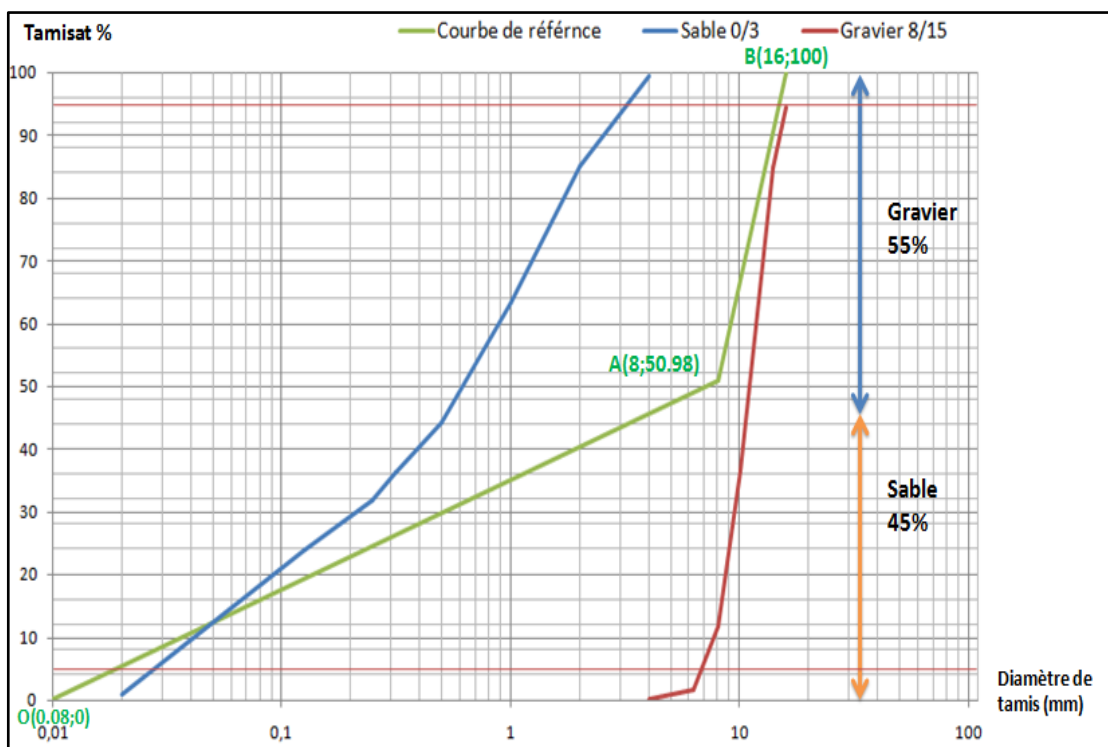


Figure II.16 : Courbe granulométrique de Dreux-Gorisse

⇒ Nous obtenons donc un mélange optimal avec un volume absolu de 45% de sable et de 55% de gravier.

Les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB représentent les pourcentages des granulats suivants sur la courbe de granulométrie :

- Sable: 45%
- Gravier : 55%

⇒ Détermination de la composition en volume absolu

On détermine le dosage du béton afin d'obtenir un mètre cube de béton en place, ce qui implique que le volume de matière est de 1m^3 :

$$V_{\text{abs}} = V_S + V_g + V_C = 1\text{m}^3$$

$$V_C = \frac{mc}{MV_C} = \frac{400}{3100} = 0.129 = 129\text{L}$$

-Volume absolu de granulats :

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

En remplaçant le volume de granulats $V_S + V_g$ par la valeur V_G , alors $\gamma = (V_C + V_G)$

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

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

γ : Coefficient de compacité pour un béton plastique – vibration normal et $D_{\text{max}} = 16\text{mm}$ alors :

$$\gamma = 0.82$$

$$\text{Donc : } V_G = (1000 \times 0.82) - 129$$

$$V_G = 691\text{L}$$

-Volume de sable :

$$V_S = P_s \% V_G = 45\% \times 691 = 310.95\text{ L} = 0.310\text{ g.m}^3$$

-Volume de gravillons :

$$V_g = P_g \% V_G = 55\% \times 691 = 380.05\text{ L} = 0.380\text{ g.m}^3$$

⇒ Détermination de la composition en Kg

Masse de ciment $C = 400\text{ Kg/ m}^3$

Masse d'eau $E = 162.64\text{ kg/ m}^3$

Masse de sable $S = V_S \times M_{V_{\text{abs}}}$

$$S = 777.3\text{ Kg/ m}^3$$

Masse de gravillons $G = V_g \times M_{V_{\text{abs}}}$

$$G = 988.13\text{ Kg/m}$$

Tableau II.13 : Les compositions du béton

Constituants	Dosage (Kg/ m ³)
Eau	162.64
Ciment	400
Sable	777.3
Gravier	988.13
SP 0.32%	1.28

II.4.2. Confection du béton

Le malaxage des bétons a été réalisé à l'aide d'une bétonnière de 30 L de capacité tout en respectant les références normatives [NF EN 12390-1 2001] et [NF EN 12390-2 2001]

Les séquences de malaxage pour le béton ordinaire :

- Malaxage à sec des compositions du béton (sable + gravier + ciment) (1min).
- Introduction de 75 % de l'eau de gâchage et malaxage (2min).
- Introduction de 25% de l'eau de gâchage mélangé avec le superplastifiant et malaxage (2 minutes).

La vibration est le moyen le plus courant pour donner au béton sa compacité maximale et pour éliminer le maximum de vides. Elle est réalisée à l'aide d'une table vibrante à amplitude de vibration réglable avec une durée de vibration d'une minute.

Après le démoulage des éprouvettes et après 24 heures de conservation à l'air libre, ces éprouvettes sont conservées sous l'eau (humidité saturante) et une température ambiante jusqu'à l'échéance d'essai.



Figure II.17 : Les composants de béton



Figure II.18 : Malaxage des différents constituants de béton ordinaire

II.5. Propriétés du béton

II.5.1. Propriété du béton à l'état frais

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures. Propriété des bétons à l'état frais. ^[31]

II.5.1.1. Affaissement au cône d'Abrams

La consistance ou l'ouvrabilité d'un béton est un facteur important. Elle conditionne la facilité de mise en place du béton dans le coffrage et influe sur le dosage en ciment et en eau dans le béton. L'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui est réalisé selon les prescriptions de la norme [NF EN 12350-2 1999]. Il permet de déterminer la consistance d'un béton frais en mesurant l'affaissement qui n'est autre que la différence entre la hauteur du moule conique utilisé et le point le plus haut du corps d'épreuve affaissé.

Le cône utilisé est de dimensions (diamètre de la base de 200 mm, diamètre de la partie supérieure de 100 mm et de hauteur de 300 mm). Le cône doit être posé sur un plateau métallique horizontal légèrement humidifié au préalable comme le montre la figure II. Le remplissage du cône se fait en trois couches de même hauteur, chaque couche étant piquée par 25 coups à l'aide d'une tige de piquage normalisée. Une fois rempli, le moule doit être retiré verticalement. L'affaissement h est mesuré après stabilisation de l'affaissement par l'intermédiaire d'une règle. L'affaissement de notre béton est égal à 7. ^[31]

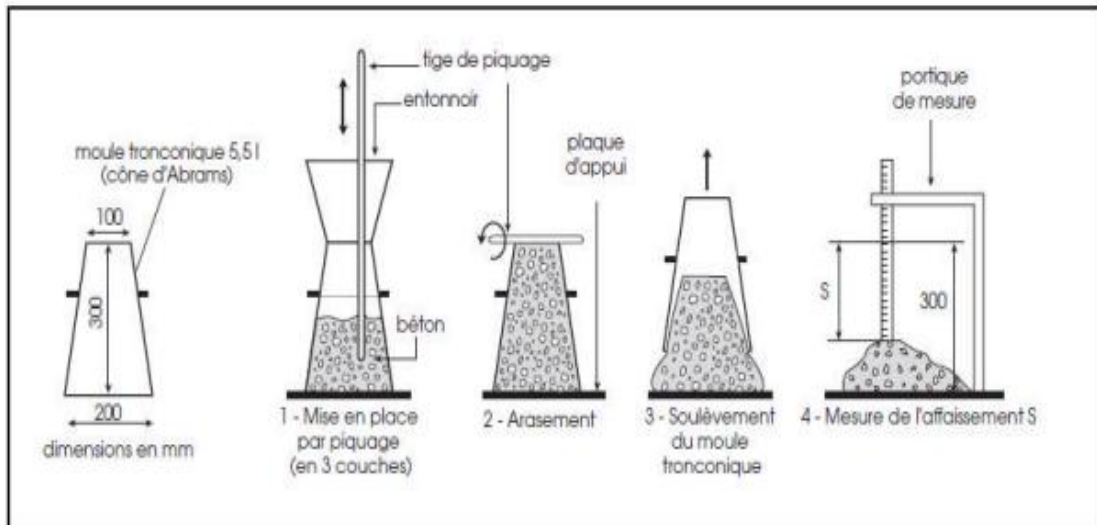


Figure II.19 : Mode opératoire de l'essai d'affaissement



Figure II.20 : L'essai d'affaissement de cône d'abrams

II.5.2. Propriété du béton à l'état durci

II.5.2.1. Préparation et conservation des éprouvettes

Après avoir déterminé les quantités des composants pour un mètre cube de béton, et pour caractériser les propriétés mécaniques du béton, trois éprouvettes cubiques de dimensions (10 x 10 x 10) cm ont été fabriquées pour effectuer l'essai de compression simple, et trois éprouvettes prismatiques de dimensions (7 x 7 x 28) cm pour l'essai de traction par flexion.

Les éprouvettes ont été conservées dans leurs moules sans être déplacées pendant la première journée, à température ambiante, après le démoulage, les éprouvettes sont conservées dans le même milieu ambiant sous l'eau jusqu'au jour de l'écrasement.

L'écrasement est réalisé à des échéances de 7,14 et 28 jours et pour chaque essai on utilise 03 éprouvettes.



Figure II.21 : Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau

II.5.2.2. Résistance à la compression

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique (10×10×10) cm, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression. Il est important que le contact de l'éprouvette avec le plateau supérieur contenant la rotule soit homogène.



Figure II.22: Essai de compression

II.5.2.3. Résistance à la traction par flexion

Les éprouvettes utilisées dans l'essai de traction sont des éprouvettes prismatiques (7×7×28 cm) selon la norme NF EN 12390-3, fabriqués dans des moules d'acier. L'essai consiste à rompre en deux points des éprouvettes à l'aide d'un appareillage de traction, La valeur de la charge à la rupture est enregistrée directement au cours de l'essai on calcul la résistance par la formule suivante:

$$R = \frac{1.5 \times F_{tx} \times L}{b^3}$$

R : la résistance (MPa)

F : la force (N)

L : distance entre appuis (mm)

b : côté de la section (mm)



Figure II.23 : Essai de traction

II.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, les diverses caractéristiques physiques et mécaniques des composants ont été déterminées. Les courbes granulométriques des différentes catégories de granulats (sable 0/3, graviers 8/15 naturels et recyclés). La formulation a été élaborée et la proportion des composants a été calculée. Grâce à l'essai au cône d'Abrams, nous avons pu mesurer la consistance des bétons étudiés. On décrit les tests de compression et de traction par flexion. Dans le prochain chapitre, nous les utiliserons afin d'obtenir les valeurs des résistances à la compression et à la traction de tous les mélanges.



Chapitre III :

Résultats et discussions

III.1.Introduction

Ce chapitre présente et analyse les résultats de la recherche expérimentale. Les données exposées incluent les résultats des caractéristiques à l'état frais (affaissement) et les caractéristiques à l'état durci, comme les résistances à la compression et à la traction par flexion.

III.2.Effet des granulats recyclés et de pourcentage de substitution

Afin d'étudier l'impact des granulats recyclés sur les caractéristiques du béton, une comparaison a été réalisée entre des mélanges de granulats naturels (GN) et de granulats recyclés (GR). Deux pourcentages de substitution des granulats recyclés ont été employés, soit 50% et 100% respectivement. Les conclusions tirées sont abordées dans les paragraphes suivants.

III.2.1.Béton à l'état frais

Il existe différentes formes de l'affaissement :

- Un béton s'effondre entièrement.
- Un affaissement par cisaillement, où la partie supérieure du béton se cisaille et glisse latéralement.
- Un véritable affaissement, où le béton s'abaisse simplement, en maintenant une forme plus ou moins douce.

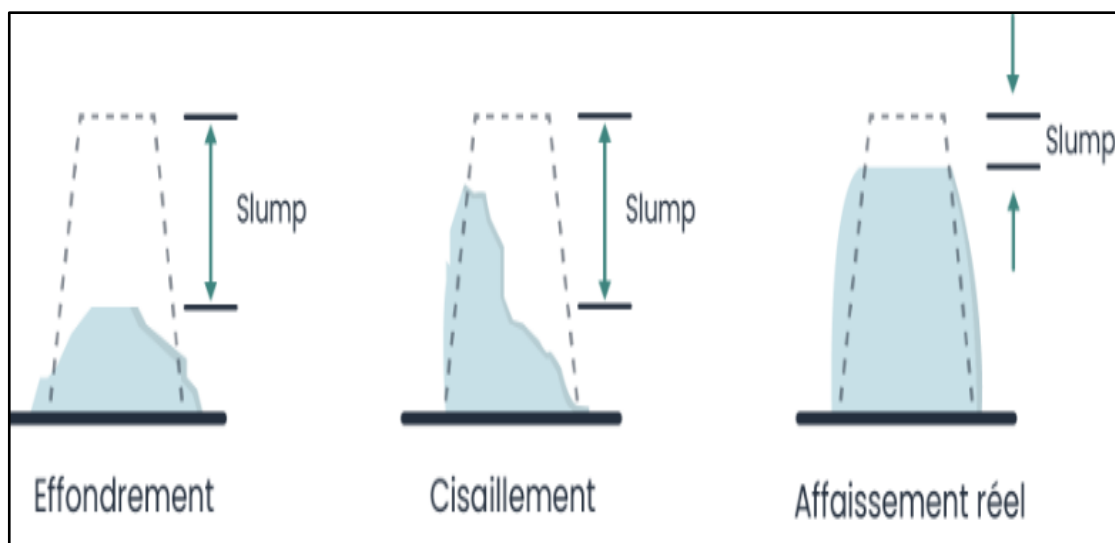


Figure III.1 : les différents types de slumps

Les résultats de l'essai d'affaissement pour les différents types de bétons sont présentés sur la figure suivante :

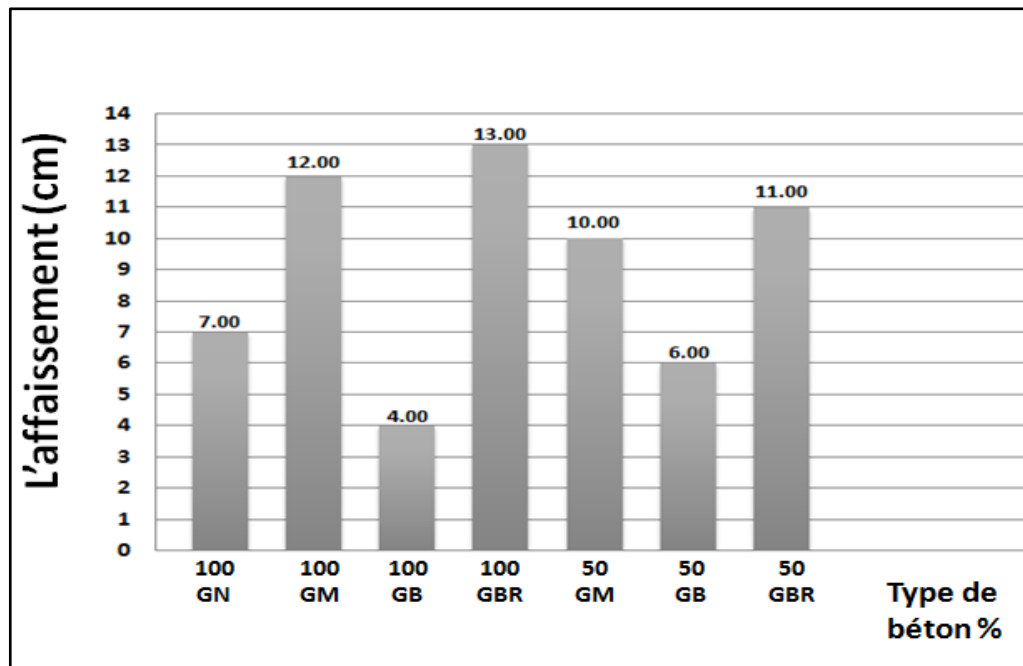


Figure III.2 : L'affaissement pour les différents types du Béton à l'état frais

Selon la figure (III.2), on observe une diminution dans la consistance des bétons constitués avec un taux de 50% et 100% des granulats de brique avec un pourcentage de 14.28% et 42.85% respectivement. On peut dire que cette diminution de la consistance du béton contenant du gravier recyclé à partir de déchets de briques concassées est due à plusieurs facteurs. Les graviers recyclés peuvent avoir une granulométrie différente de celle des graviers ordinaires. Si les graviers recyclés sont plus fins ou plus irréguliers, cela peut entraîner une consistance du béton plus faible, car les espaces entre les particules peuvent ne pas être bien remplis. Les matériaux recyclés peuvent avoir une capacité d'absorption d'eau différente de celle des matériaux ordinaires. Si les graviers recyclés absorbent plus d'eau, cela peut réduire la quantité d'eau disponible pour le mélange de béton, ce qui peut affecter sa consistance. Les matériaux recyclés peuvent contenir une plus grande quantité de fines (particules de petite taille) par rapport aux matériaux ordinaires. Les fines peuvent agir comme des particules de remplissage et réduire la consistance du béton.

Par contre, on observe une augmentation dans la consistance des bétons constitués avec des granulats de béton recyclé et de marbre, avec des pourcentages de 85,71% et 42,85%, quel que soit le taux de substitution 50% ou 100%. Les bétons avec les granulats recyclés (marbre et béton recyclé) concassés sont plus absorbants que le béton ordinaire avec du gravier naturel. Cette absorption est due à la porosité de la pâte de ciment. Il est observé que l'utilisation effective de l'eau de gâchage pour garantir cet affaissement augmente en fonction du taux de substitution en granulats recyclés d'une part et du type de granulat d'autre part.

En raison de ces facteurs, le béton contenant des graviers recyclés à partir de déchets de marbre et de béton recyclé concassé peut avoir une consistance plus grande par rapport au béton ordinaire. Cependant, avec une bonne conception de mélange et des ajustements appropriés, il est possible d'obtenir des performances satisfaisantes avec des matériaux recyclés.

III.2.2. Béton à l'état durci

III.2.2.1. Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression pour les différents mélanges de béton ordinaire à 7j, 14j et 28j sont présentés dans les figures suivantes :

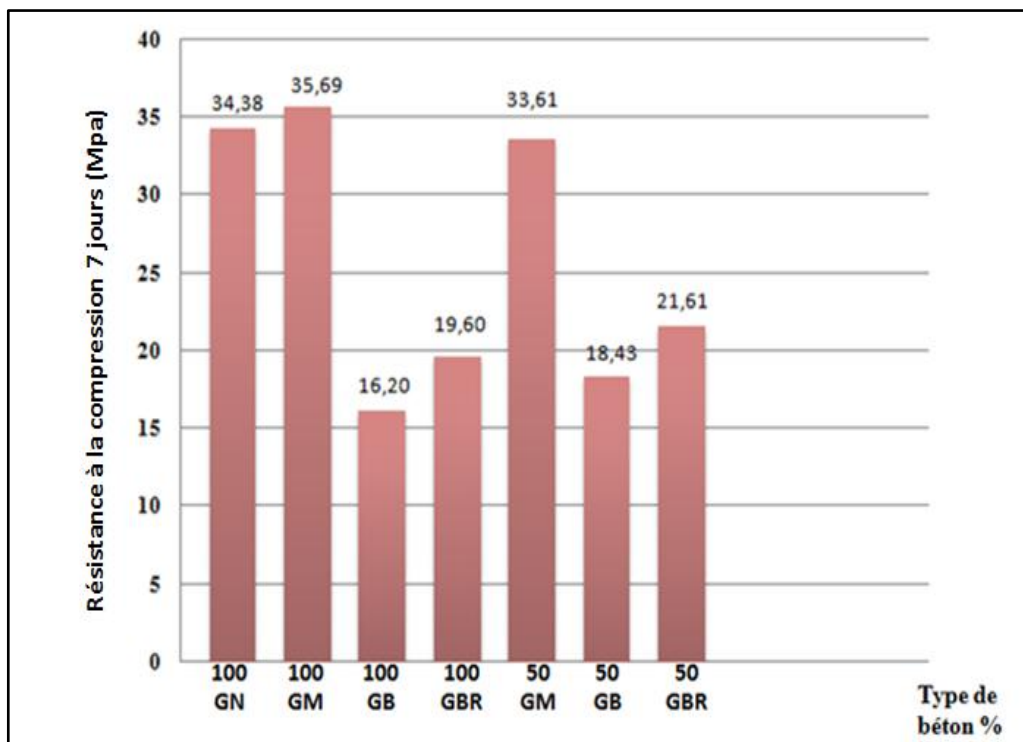


Figure III.3 : Résistance à la compression pour les différents types Béton à 7 jours

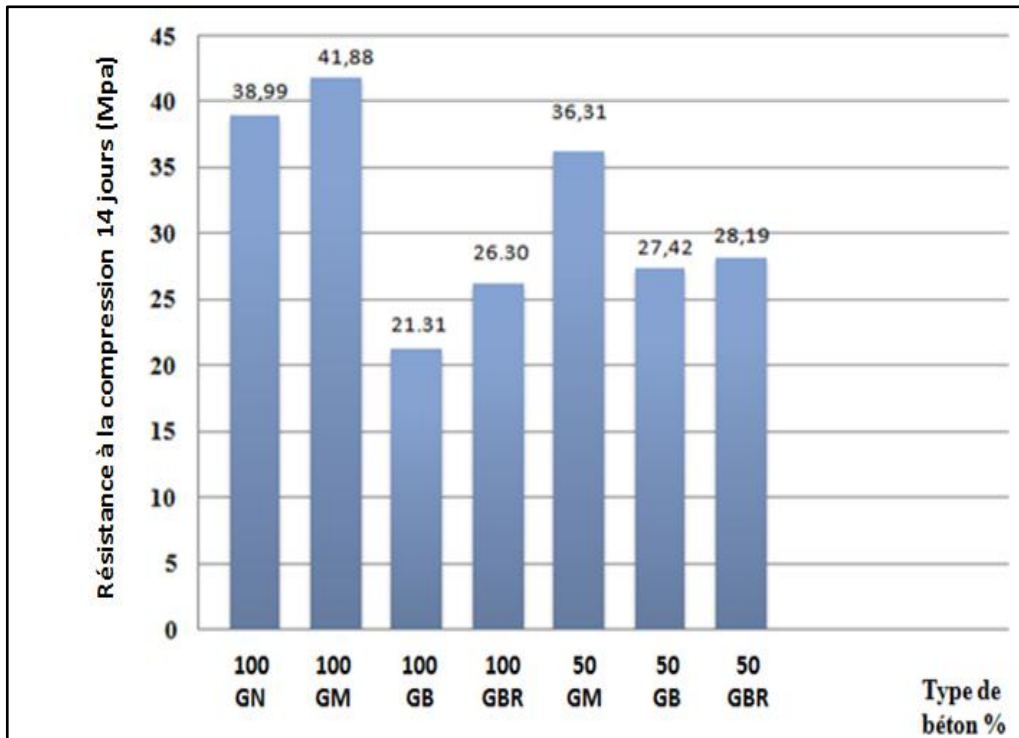


Figure III.4: Résistance à la compression pour les différents types Béton à 14 jours

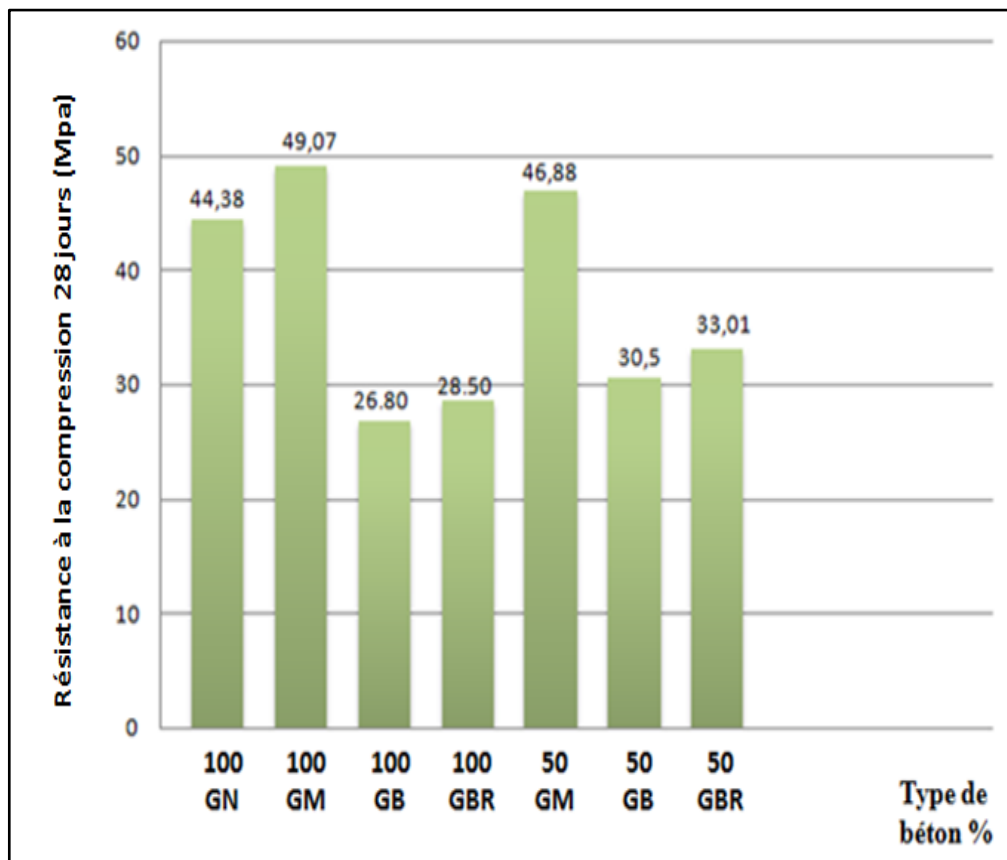


Figure III.5: Résistance à la compression pour les différents types Béton à 28 jours

D'après les trois figures :(Figure III.3) ;(Figure III.4) ; (Figure III.5), on observe une diminution de la résistance à la compression du béton recyclé (granulats de brique et de béton recyclé), quel que soit le taux de substitution 50% ou 100 % d'un pourcentage entre 39,61 % et 25,61% par rapport au béton ordinaire. Cette perte peut être due à la composition fragile des granulats.

Contrairement, l'utilisation des granulats recyclés en marbre dans le béton augmente la résistance à la compression par rapport aux granulats naturels, de 10,56%.Donc, on peut dire que le marbre est généralement plus résistant. Il se caractérise par sa résistance et sa rigidité élevées, ainsi que par sa capacité à résister aux contraintes et aux charges mieux que le béton ordinaire. Cela est dû à sa composition chimique et à sa structure cristalline dense.

III.2.2.2. Résistance à la traction par flexion

On a réalisé l'essai de traction par flexion à trois points sur des éprouvettes prismatiques. Les figures récapitulent les résultats d'essai de traction par flexion des différents bétons étudiés :

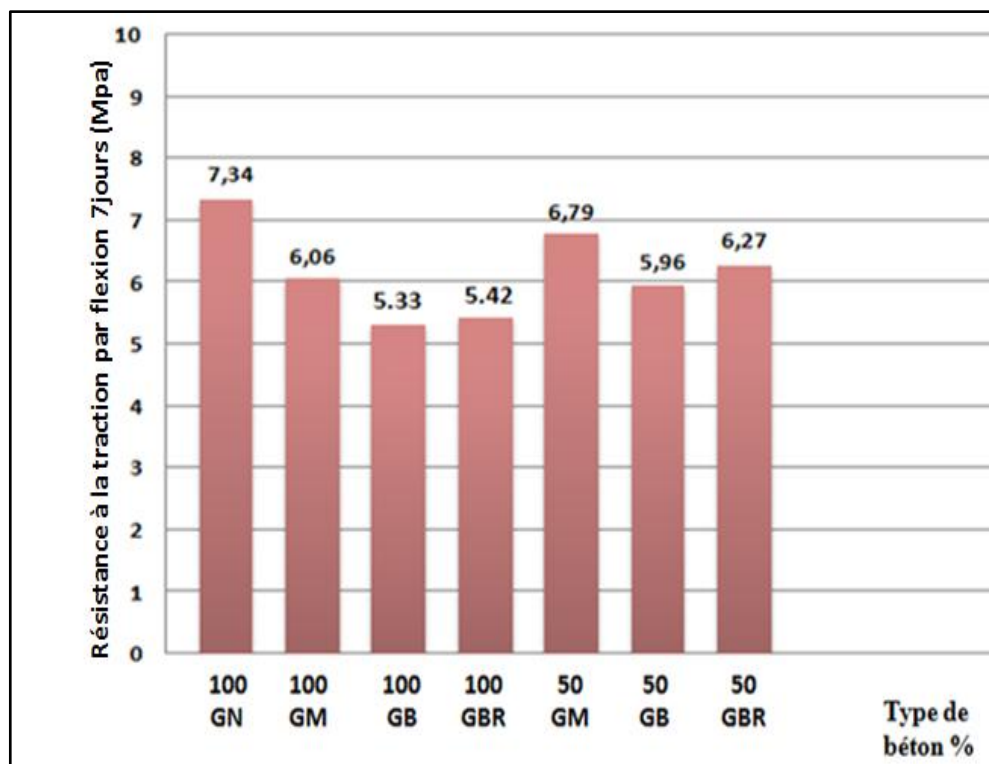


Figure III.6: Résistance à la traction par flexion pour les différents types Béton à 7 jours

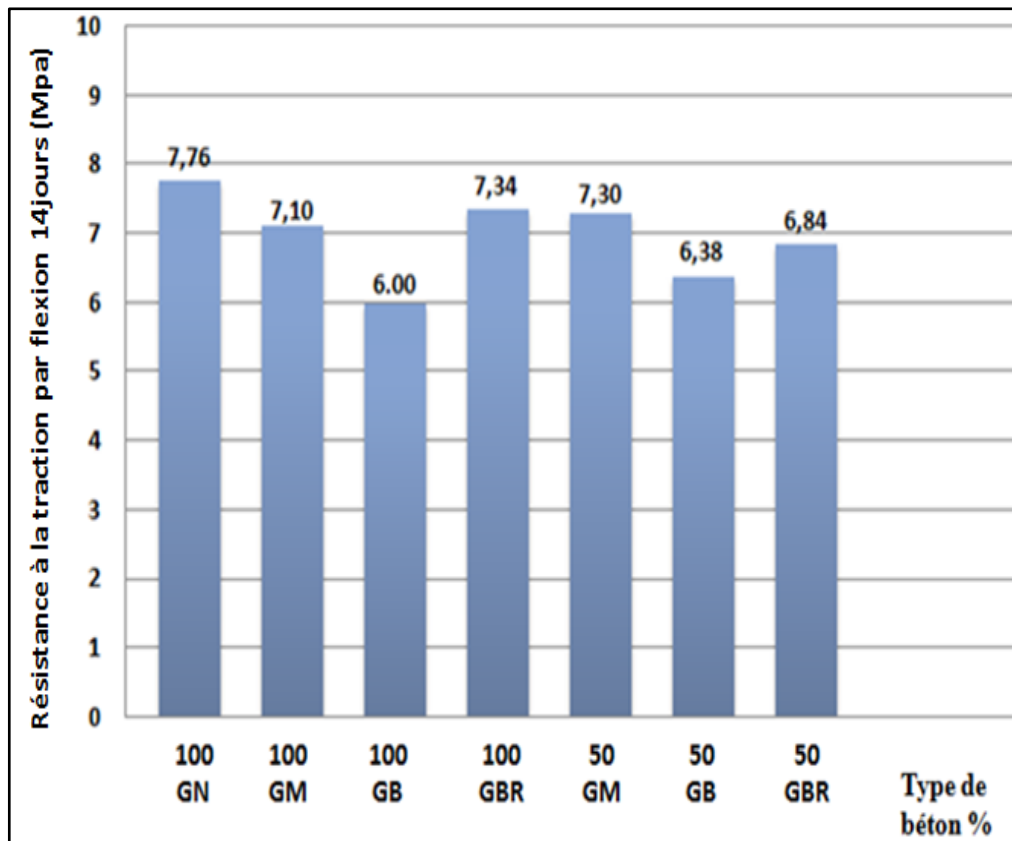


Figure III.7 : Résistance à la traction par flexion pour les différents types Béton à 14 jours

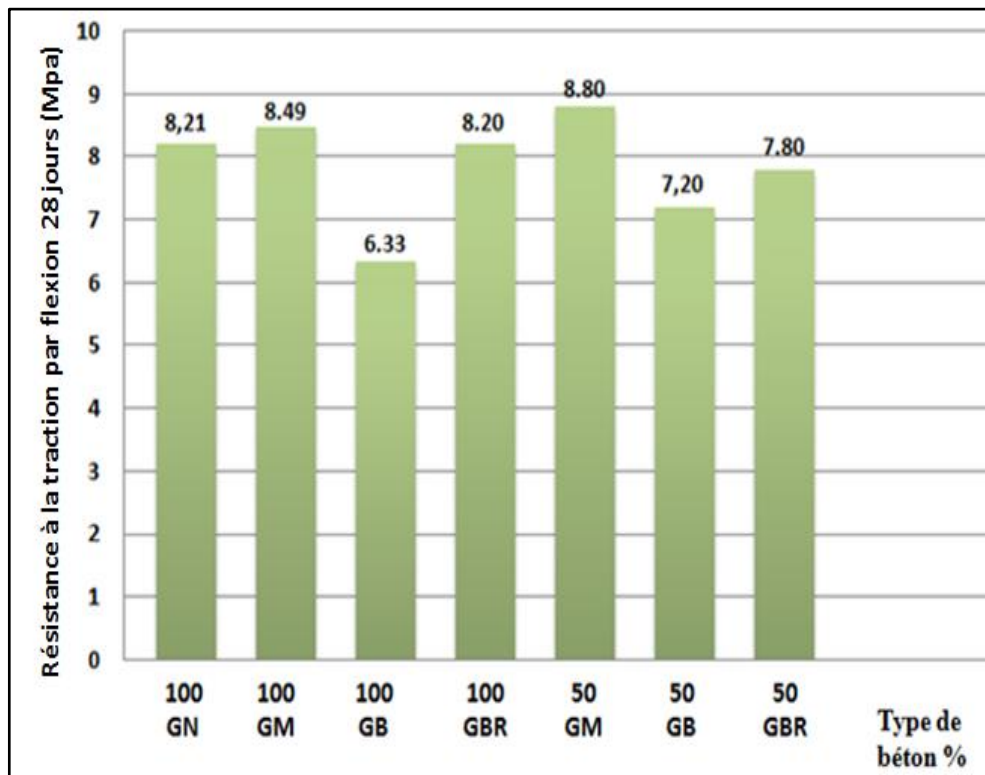


Figure III.8: Résistance à la traction par flexion pour les différents types Béton à 28 jours

D'après les trois figures : (Figure III.6) ; (Figure III.7) ; (Figure III.8) , on peut observer qu'il y a une diminution de la résistance à la traction par flexion dans le béton constitué avec un taux de 100% des granulats de brique avec un pourcentage de 22.89%. Cependant, on peut observer que la combinaison entre les granulats naturels et les granulats recyclés améliore la résistance à la traction par flexion. On peut expliquer cette diminution par les micro-fissures trouvées dans les GBR et la forme angulaire moins cubique de ces granulats.^[32] Ce qui peut aussi expliquer cette baisse.

Pour le béton constitué avec un taux de 100% des granulats de béton recyclé, on remarque qu'il n'y a pas de variation significative de la résistance.

En remarque aussi que la résistance à la traction par flexion dans le béton produit en utilisant les granulats de marbre concassé présente une augmentation légèrement supérieure à celle du béton des granulats naturels. On peut expliquer cette augmentation par le fait que le marbre concassé a des propriétés physiques et chimiques différentes qui peuvent contribuer à une meilleure résistance du béton, et des réactions chimiques de sorte que le marbre peut réagir différemment avec les composants chimiques du béton, tels que le ciment, ce qui peut conduire à des liaisons plus fortes entre les particules et donc à une meilleure résistance globale du matériau. Une répartition plus uniforme de la taille des particules et une réduction possible des fissures. Cependant, les performances du béton dépendent de nombreux autres facteurs, et les avantages du marbre concassé peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de fabrication et d'utilisation du béton.

III.3. Conclusion

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent l'influence de l'incorporation des granulats recyclés quel que soit le taux de substitution 50% ou 100 % sur les propriétés du béton ordinaire à l'état frais et durci. On a constaté que :

- Une diminution dans la consistance des bétons constitués avec des granulats de brique.
- Une augmentation dans la consistance des bétons constitués avec des granulats de béton recyclé et de marbre.
- La résistance à la compression et à la traction par flexion du béton ordinaire plus élevée par rapport du béton recyclé (granulats de brique et de béton recyclé).
- La résistance à la compression et à la traction par flexion du béton fabriqué à partir de granulats de marbre concassé est supérieure à celle du béton fabriqué à partir de granulats naturels.

Conclusion générale

Le recyclage des granulats est particulièrement intéressant car il permet de résoudre le manque de granulats naturels, d'améliorer la durée d'exploitation des carrières existantes et de diminuer les déchets déversés en décharge.

Selon la recherche bibliographique, Le matériel utilisé pour la production d'agrégats recyclés n'est pas très différent de celui utilisé pour la production d'agrégats naturels. La distribution des grains d'agrégats recyclés produite par le concasseur est similaire à celle des agrégats naturels.

- L'emploi des granulats recyclés dans le béton présente une perspective prometteuse pour résoudre les problèmes liés aux déchets de démolition.
- La fabrication et l'application du béton recyclé (en particulier ceux composés d'agrégats de béton concassé) sont très similaires à celles du béton ordinaire fabriqué à partir de granulats naturels.
- La maniabilité du béton recyclé (granulats de marbre et de béton recyclé) peut atteindre le double de celle du béton ordinaire.
- La résistance à la compression des bétons à base des granulats recyclés (brique et béton recyclé) diminue en fonction du pourcentage de granulats recyclés contrairement au béton contenant du marbre concassé il y a une augmentation relative par rapport au béton ordinaire.
- La résistance à la traction par flexion ne change pas de façon significative pour béton recyclé utilisant les granulats de marbre et béton recyclé par rapport au béton ordinaire, mais elle diminue avec les granulats de brique.
- On a pu mettre en évidence la faisabilité des granulats recyclés comme substituts aux granulats naturels, tant que sur le plan de l'exploitation des ressources naturelles que sur celui de l'environnement et de l'économie.

Les Perspectives :

En vue de l'avenir, il sera essentiel de compléter ce travail en :

- Etude de la microstructure des bétons recyclés.
- Compléter l'étude des caractéristiques mécaniques par l'étude de la déformation de ce type du béton.
- Compléter l'étude de durabilité par d'autres essais.

Référence bibliographique

- ^[1]**A.MERDAS**, « Cours de matériaux de construction II, Chapitre I : les bétons », U.F.A de Sétif, p2.
- ^[2]**P.BOERAEVE**, «Technologie du béton », Edition 1994, Groupement Belge du béton.
- ^[3]**CHENNOUF Azzedine**, «Effet des ajouts minéraux actifs sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons à base des granulats de la région de Bordj Bou Arreridj», Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi -Bordj Bou Arreridj, 2014/2015.
- ^[4] **Raymond Dupain, Roger Lanchon, Jean-Claude Saint-Arroman, A Capliez**, « Granulats, sols, ciments et béton : Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Editions CASTEILLA, 2004.
- ^[5]**B.SAFI**, Cours Procédés et Mise en forme des Matériaux: bétons, TECHNOLOGIE DES BÉTONS, p9.
- ^[6]**Approuve par le Gouvernement Wallon**, matériaux et produits de construction, cahier des charges type qualiroutes chapitre C, 2011.
- ^[7]« Eau de gâchage pour béton.», 1999, p18-303.
- ^[8]**CHAREF A.** : « La problématique des granulats au Maroc », Push-Button Publishing, 2007.
- ^[9]**RACHIL, DENDANI.M**, «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire», Mémoire de master, Université De M'hamed Bougara -Boumerdes, 2016.
- ^[10]**DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICALS FRANCE**, « La Technologie du Béton », Guf\Formation\Béton\Technobeton, Vol.5, No.1, p 140.
- ^[11]**J. BARON, et R. SAUTREY**, « Le béton hydraulique », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées-Paris, 1982, p 560.
- ^[12]**V. PHOUMMAVONG**, « matériaux de construction », Université Nationale du Laos ,2006.
- ^[13]**A.M.NEVILLE**, « Propriétés des bétons », Edition Eyrolles, 2000, p806.
- ^[14]**DAHMANE Aissa** , « les constituants des bétons et mortiers, chapitre 2 », 2012 p30-41.
- ^[15]**G. DREUX et. J. FESTA**, « Nouveau guide du béton et de ses constituants », EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisièmes tirages 2007.

- ^[16]**G.Fathifazl,A.Abbas,A.G.Razaqpur,O.B.Isgor,B.Fournier,S.Foo**, Newmixture proportioning method for concrete made with coarse recycled concrete aggregate, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 21, No.10, 2009, p 601- 611.
- ^[17]**M.Etxeberria,E.Vazquez,A.Mari,M.Barra** , Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, No. 5, 2007 ,p735-742.
- ^[18]**SAADANI Sabrina**, « Comportement des bétons à base de granulats recycles» thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine ,2003.
- ^[19]**François PERCHE**, « adsorption des polycarboxylates et de lignosulfates sur poudre modèle et ciments », Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- ^[20]**BARKAT Abderezzak**, «valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrage en béton », thèse de Magister Université Kasdi Merbah Ouargla, 2006/2007.
- ^[21]**F.Larrard, H.Colina**, *Le béton recyclé*. Marne-la-Vallée : Ifsttar, Ouvrages Scientifiques, 2018, p83.
- ^[22]**M.Chakradhara Rao,S.K.Bhattacharyya, S.V.Barai**, Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, Vol. 44, No .1, 2011, p205-220.
- ^[23]**A.Domingo-Cabo,C.Lázaro, F.Lopez-Gayarre, M. Serrano-Lopez, P.Serna, J.O. Castaño-Tabares** , "Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete", *Construction and Building materials*, Vol. 23, No. 7, 2009,p2545-2553.
- ^[24]**F.L.Gayarre,C.López-Colina, M.Serrano,A.López-Martínez**, "Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW", *Construction and Building materials*, Vol.40, 2013, p 1193-1199.
- ^[25]**S. C.Kou, C.S. Poon, F. Agrela** , Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 33 ,No.8 , 2011,p788.
- ^[26]**L.Ferreira, M.Barra, J.Brito**, Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties, *Magazine of Concrete Research*,Vol. 63, No. 8, 2011,p 617-627.
- ^[27]**M.Malesev,V.Radonjanin,S.Marinkovic**, Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, Vol. 2, No.5, 2010, p1204-1225.

^[28]**M.S.Juanet,P.A.Gutierrez**, Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, *Construction & Building Materials*, Vol. 23, No. 2, 2009, p 872.

^[29]**F.Lopez-Gayarre,P.Serna, A.Domingo-Cabo, M.Serrano-Lopez, C.Lopez-Colina**, Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. *Waste Management*, Vol.29, No.12, 2009, p 3022-3028.

^[30]**M.Rakshvir, S.V.Barai**, "Studies on recycled aggregates-based concrete", *Waste Management & Research*, Vol. 24, No. 3, 2006, p225-233.

^[31]**HOUDA Amina**,« Renforcement des poutres en béton armé par des matériaux composites », Thèse de doctorat ,Université Abbas Laghrour Khenchela ,2022.

^[32]**V.W.Tam,X.Gao,C.M.Tam**, "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", *cement and concrete research*,Vol.35,No.6,2005,p11

