

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Faculté De Technologie

Département De Génie Civil

N° :



Domaine : Technologie

Filière : Génie civil

Option : Matériaux

Mémoire Présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : ALLAL CHERIF Zineb

SALAH Somia

Intitulé

***Amélioration du comportement mécanique
d'un béton à base d'agréats recyclés
(Béton démoli)***

Soutenu devant le jury composé de :

BENCHEIKH Mohamed

Université de M'sila

Président

BELGRAA Larbi

Université de M'sila

Rapporteur

SELINE Mohamed

Université de M'sila

Examineur

BELOUADEH Messouda

Université de M'sila

Examineur

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciement

Le premier remerciement c'est pour dieu qui nous a permis d'être dans cette situation et d'avoir cette formation.

Merci, chers parents, vous source de mon énergie dans la vie, base de ma réussite et mon appui dans tous les temps.

*Merci, « **Dr.Belagraa larbi** » et qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de réalisation de ce projet.*

*Pour cette occasion je tiens a remercier les ingénieurs du laboratoire de génie civil surtout **Yamna** et **imen omri***

*Je remercie aussi mon amie « **bouazzize amel** » et « **Achour hanene** » qui m'ont soutenu dans ce travail de recherche.*

*Enfin je remercie « **Mr. Chateh mohamed** »responsabl de laboratoire de société de production les granulats concassée groupe (GICA) et « **DR.deghfel** » responsable de laboratoire de société (BERM) Qui nous a donné des conseils pendant la formation et dans mon domaine d'expertise*

*Et toutes mes amies de spécialités « **Matériaux de construction** ».*

Je remercie également tous les enseignants du département de Génie civil ainsi que ceux du membre du jury et tous les professeurs qui ont participé à mon cursus (scolaires et universitaire).

*« **Salah soumia** »*

*« **Allal cherif zineb** »*

Dédicace

Je dédie ce mémoire de Master :

En signe de respect et de reconnaissance aux

*Personnes les plus chères : ma mère « **Fatma** » et mon père
«**Mohamed** ».*

*A mes frères «**Adel** , **Fateh**, et **Sid ahmed** » et mes sœurs. « **sadjia** , et
ibtissam » Et les fils de ma sœur
« **Mohemed**, **Menel** et **Younes** »*

*Mon fiancé « **Mahrez** » de m'avoir aidé et de rester avec moi*

*A toute la famille **Allal cherif** et **Dourari***

Aux étudiants de génie civil et toute la promotion 2018.

*A vous mes amis : **Rachida**, **Hanene** ,**Soumia** et **Amel**
Au monde du génie-civil.*

A tous mes frères et sœurs en islam

Dédicace

Je dédie premièrement mon travaillé à mes très chers parents :

*« **amm**ar » et « **z**ahra ».*

*Et ma grand famille : « **salah** » et « **missadi** ».*

*Je dédie mes frères : « **djamal et fares** » et mes sœurs « **fayza**
,karima, fatiha et ahlam ».*

*Je dédie à mes chers grands parents « **madani** » et « **om lkhir**»
« **regaya** » qui sont toujours donnée des conseils pour ma vie.*

*Et ma copine dans ce travail « **zineb**»,*

*Je dédie chers amies « **Souade** » « **abla**».*

Aux étudiants de génie civil et toute la promotion 2018

المخلص

ان ضرورة مراعاة الاحتياجات العالمية في ميدان تكنولوجيا صناعة الخرسانة تدعم الحفاظ على الموارد الطبيعية وحماية البيئة ولستخدلم عقلاني للطفلة. ان رسكلة نفايات الإنجاز وهدم البنائيات جلبت اهتماما متزايدا في مجال البناء، كونها مصدرا للحصى ولإنتاج الخرسانة.

في الجزائر، ونظرا لنقص المخازن الطبيعية للحصى وصعوبة فتح محاجر طبيعية جديدة استلزم البحث عن مصادر أخرى بديلة. لسد الاحتياجات الكبيرة من الحصى لإنجاز المشاريع المبرمجة من طرف الدولة منها على سبيل الذكر لا الحصر.

الهدف الأساسي المرجو من هذه الدراسة هو إيجاد الحلول لنقص ونفاذ مادة الحصى لصناعة الخرسانة وكذا رسكلة المواد الخاملة لبقايا عمليات الهدم وخصوصا مادة الخرسانة الصلبة.

هذه الدراسة تمت عبر سلسلة من التجارب حول الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصى الطبيعي و المرسل على حد سواء، و تأثير هذا الأخير على الخصائص الخرسانة اللينة و الصلبة. ومنها تبين ان الحصى المرسل غير متجانس، له قدرة كبيرة في امتصاص المياه وصلابة متوسطة الجودة. مع ذلك فان الحصى المرسل صالح لصناعة الخرسانة وفق المعايير العالمية.

أظهرت نتائج الدراسة ان المقاومة الميكانيكية للانضغاط والشد عن الطريق الانفلاق بدلالة الزمن، للخرسانة بالحصى المرسل بمختلف الخلطات وبوجود الإضافات وغبار السيليس، مقبولة عموما مقارنة مع الخرسانة الطبيعية. ومنه يمكن صناعة الخرسانة من الحصى المرسل ذات مقاومة في حدود 30-40ميجا باسكال.

الكلمات المفتاحية : حصى مرسل، خرسانة، اضافات، غبار السيليس مقاومة الضغط ،

RESUME

Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Le recyclage des déchets de construction et de démolition en tant que source de granulats pour la production de béton, a attiré des intérêts croissants de l'industrie du bâtiment.

En Algérie, l'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour mettre en place de nouvelles carrières imposent de rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement, pour faire face aux besoins en granulats pour les grands chantiers lancés par le gouvernement algérien.

Dans ce contexte, ce travail s'inscrit dans l'optique d'apporter des réponses aux soucis de manque en granulats pour béton. Il a pour objectif aussi la valorisation de la fraction inerte des matériaux de démolition et principalement les bétons comme source de granulats pour la fabrication de nouveaux bétons hydrauliques à base de granulats recyclés.

Cette étude expérimentale expose les résultats de caractérisations physiques et mécaniques des granulats naturels et recyclés, ainsi que leurs influences sur les propriétés du béton frais et durci. La caractérisation des matériaux utilisés a montré que, les granulats recyclés présentent une hétérogénéité, un fort pouvoir d'absorption d'eau et une dureté de qualité moyenne. Toutefois, les limites prescrites par les normes en vigueur ne disqualifient pas ces matériaux pour une application dans le béton.

Les résultats obtenus de l'étude montrent que les résistances mécaniques, à la compression et à la traction par flexion en fonction du temps, des bétons adjuvés (Superplastifiant SP 45 et 5 % de remplacement de ciment par la fumée de silice) à base des granulats recyclés, avec différentes combinaisons granulaires, sont acceptables par rapport à celles des bétons naturels. Ces performances mécaniques mettent en évidence, que les granulats recyclés peuvent fournir des bétons de résistance caractéristique à 28 jours en compression dans les limites de 30 à 40 MPa sans aucune technologie adaptée.

Les mots clé : Granulats recyclé, béton, superplastifiant, fumée de silice, résistance à la compression,

ABSTRACT

The need to conserve resources, protect the environment and make good use of energy must be felt in the field of concrete technology. The recycling of construction and demolition waste as a source of aggregates for concrete production, still attracting a great interest from the building industry.

In Algeria, the shortage of natural deposits of aggregates and the difficulties to set up new quarries impose new sources of supply, this to meet the need for aggregates for major projects initiated by the Algerian government.

In this context, the present work is a part of the perspective in providing answers to the lack concerns in concrete aggregates. It also aims to recover the inert fraction of demolition materials and mainly concrete as a source of aggregates for the manufacture of new hydraulic concretes based on recycled aggregate.

This experimental study presents the results of physical and mechanical characterization of natural and recycled aggregates, as well as their influence on the properties of fresh and hardened concrete. The characterization of the materials used has shown that the recycled aggregates have a heterogeneity, a high water absorption capacity and a hardness of average quality. However, the limits prescribed by the standards in force do not disqualify these materials for application in concrete.

The results of this study show that the mechanical resistances (compressive and tensile flexural strength) as a function of time, for concretes with (admixtures SP 45 and 5 % silica fume replacement) and based on recycled aggregates, with different granular combinations, are acceptable compared to those of natural concretes. These mechanical performances highlight that the recycled aggregates can provide characteristic 28-day compressive strength concrete in the range of 30 to 40 MPa without any particular technology..

Key words: Recycled aggregates, concrete, superplastizier, silica fume, compressive strength,

Sommaire

Introduction générale

Introduction.....	01
Problématique.....	02
Objectifs de l'étude.....	02
Aperçu sur le mémoire.....	03

Chapitre I : Revue bibliographique

Partie A : Notions générales sur le béton hydraulique	05
I .A.1. Introduction.....	05
I.A.2. Béton hydraulique	05
I.A.2.1. Définition.....	05
I.A.2.2. Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du Béton.....	06
I.A.3. Les constituants du béton	06
I.A.3.1. Le ciment.....	06
I .A.3.1.1. Le ciment Portland (aussi appelé clinker Portland)	07
I .A.3.1.2. Classification des ciments courants	07
I.A.3.2. Les granulats.....	08
I.A.3.2.1. les différents types des granulats	08
a) Granulats naturels.....	08
b) Granulats artificiels.....	08
c) Granulats Recyclé.....	08
I.A.3.2.2. Classification des granulats.....	09

I.A.3.3. Eau de gâchage	09
I.A.4. Rôle des différents éléments constituant le béton	09
a) Ciment	09
b) L'eau	10
c) Les granulats.....	10
d) Le sable.....	10
I.A.5. Les adjuvants.....	10
I.A.5.1. Les plastifiants	10
I.A.5.2. Les retardateurs de prise du ciment	10
I.A.5.3. Les accélérateurs de prise et de durcissement.....	10
I.A.5.4. Les entraîneurs d'air.....	10
I.A.6. Propriétés Fondamentales D'un Béton.....	11
I.A.6.1. Propriétés de béton physique.....	11
a) Ouvrabilité.....	11
b) Le Retrait	12
c) La compacité et la porosité	13
d) La diffusivité.....	13
e) La perméabilité.....	13
I.A.6.2. Propriétés de béton mécanique	14
a) Résistance mécanique.....	14
b) Résistance à la compression.....	14
c) Résistance à la traction	14
d) Durabilité.....	14
I.A.7. Différents types de béton.....	15

Partie B : Notions générales sur le béton recyclé	15
I.B.1. Introduction.....	15
I.B.2. Description de granulats recyclés.....	16
I.B.3. Classification des déchets de la construction.....	16
I.B.4. Classification des déchets dans le génie civil	18
I.B.5. Caractéristique des granulats recyclés.....	18
I.B.5.1. Etat frais.....	18
I.B.5.1.1. Distribution granulométrique.....	18
I.B.5.1.2. la densité / la masse volumique	19
I.B.5.1.3. la teneur en air.....	19
I.B.5.2. Etat durci.....	19
I.B.5.2.1. Absorption.....	19
I.B.5.2.2. porosité	19
I.B.5.2.3. Perméabilité.....	20
I.B.5.2.4. Résistance à la compression.....	20
I.B.5.2.5. Résistance à la traction et à la flexion.....	20
I.B.5.2.6. Fluage et retrait.....	20
I.B.5.2.7. Module d'élasticité	21
I.B.6. Durabilité du béton à base de granulat recyclé.....	21
I.B.7. Conclusion	21
Partie C : les additions dans le béton recyclé.....	22
Partie C.1 : les ajouts minéraux.....	22
I.C.1.1. Additions minérales.....	22
a) Avantages économique et environnementaux.....	22
b) Avantages technique.....	22

I.C.1.2. Différents types d'additions minérales.....	22
I.C.1.2.1. Fillers calcaires	22
I.C.1.2.2. laitier granulé de hauts fourneaux.....	23
Partie C.2 : les bétons recyclés adjuvants à base de fumée de silice.....	23
I.C.1. Adjuvants.....	23
I.C.1.1. Définition.....	23
I.C.1.2. Mode d'action.....	24
I.C.1.3. Classe des adjuvants	24
I.C.1.3.3. Les superplastifiant :.....	24
I.C.1.3.3.1. plastifiant/réducteur d'eau (BV)	24
I.C.1.3.3.2. super plastifiant/haut réducteur (FM).....	25
I.C.1.3.4. Rétenteur d'eau (ST).....	25
I.C.1.3.5. Entraîneur d'air (LP).....	25
I.C.1.3.6. Retardateur de prise (VZ).....	25
I.C.1.3.7. Hydrofuge de masse (DM)	25
I.C.1.3.8. accélérateur de prise (SBE).....	25
I.C.1.3.9. accélérateur de durcissement (HBE)	25
I.C.2. Fumé de silice.....	25
I.C.2.1. Caractéristiques techniques et contrôle de production.....	25
I.C.2.1.1. Une poudre ultrafine non cristalline	25
I.C.2.2. Les différents aspects d'une fumée de silice.....	26
I.C.2.3. Les mécanismes de fonctionnement de la fumée de silice.....	26
I.C.2.3.1. L'effet granulaire	26
I.C.2.3.2. L'effet pouzzolanique	27
I.C.2.4. Caractéristique des fumées de silice.....	27
I.C.2.5. les formes de la fumée de silice	27
I.C.2.6. Influence fumée de silice du béton.....	28
I.C.2.6.1. Influence sur les propriétés du béton frais.....	28
I.C.2.6.2. Influence sur les propriétés du béton durci	28

I.C.2.7 Les avantages de fumée de silice.....	28
I.C. Conclusion.....	29

Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés et des essais destructifs et non destructifs

II.1.Introduction.....	31
II.2. Matériaux utilisés.....	31
II.3. Caractéristiques des matériaux	31
II.3.1. Caractéristiques du gravier	31
II.3.1.1. Analyse granulométrique par tamisage	31.
a) Gravier concassé.....	31
b) Gravier recyclé	33
II.3.1.2 La densité	35
II.3.1.3 Masse volumique	35
a) La masse volumique apparente (γ)	35
b) La masse volumique absolue ou spécifique (ρ)	36
II.3.1.4. La porosité	37
II.3.1.5. La compacité	37
II.3.1.6. L'indice des vides.....	37
II.3.1.7. Essai Los Angeles.....	38
II.3.1.8. Degré d'absorption d'eau.....	39
II.3.2. Caractéristique du sable.....	39
II.3.2.1. Analyse granulométrique.....	40
II.3.2.2. Modules de finesse	40
II.3.2.3. Equivalent de sable.....	40
II.3.2.4. Caractéristiques physiques du sable.....	41
a) Masse volumique apparent.....	41
a.1) Masse volumique à l'état lâche	41

a.2) Masse volumique à l'état compacte	41
b) La porosité.....	42
b.1) à l'état lâche.....	42
b.2) à l'état compact	42
c) La compacité.....	42
c.1) à l'état lâche	42
c.2) à l'état compact	42
d) L'indice des vides.....	42
d.1) à l'état lâche	42
d.2) à l'état compact.....	42
II.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé.....	43
II.3.3.1. Présentation du ciment (MATINE).....	43
II.3.3.2. Domaines d'utilisation	43
II.3.3.3. Analyses et caractérisation	44
II.3.4. L'eau de gâchage	45
II.3.5. Adjuvant	45
II.3.6. Fumée de silice.....	46
II. 4. Formulation du béton	46
II.4.1. Méthodes de Dreux_Gorisse.....	47
II .4.2. Volume des mélanges d'essais.....	47
II.5. les essais destructifs et non destructifs.....	47
II.5.1. Les méthodes d'essai destructif sur le béton	47
II.5.1.1. Essai de compression.....	47
II.5.1.2. Essais de traction par flexion.....	48

II.5.2. Les méthodes d'essais non-destructifs sur le béton	49
II.5.2.1 Essai au scléromètre	49
II.5.2.3 Essai d'auscultation dynamique.....	49
II.5.3 Méthodes combinées.....	50
II.6. Conclusion	50

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Introduction	52
III.2. Les formulations des bétons étudiés.....	52
III.3. Présentation des résultats.....	52
III.3.1. Résultats des essais à l'état frais.....	55
III.3.2. Résultats des essais directs à l'état Durci	57
III.3.2.1. La masse volumique.....	57
III.3.2.2. Taux d'absorption d'eau (A)	58
III.3.2.3. Résistance à la compression (Rc)	59
III.3.2.4. Résistance à la traction par flexion (Rt).....	60
III.3.3. Résultats des essais non directs à l'état Durci	61
III.3.3.1. Ultrason.....	61
III.3.3.2. Scléromètre.....	62
III.4. Conclusion.....	63
Conclusion générale	64

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.3 : les principales grandeurs caractéristiques de la fumée de silice [32].....27

Chapitre II :

Tableau II.1 : L'analyse granulométrique de gravier concassé (3/8) (8/16).....32

Tableau II.2 : L'analyse granulométrique de graviers recyclés (3/8) (8/16). 34

Tableau II.3 : La masse volumique apparente (ρ) du gravier concassé (3/8), (8/16).....36.

Tableau II.4 : La masse volumique apparente (ρ) du gravier recyclé (3/8), (8/16).....36

Tableau II.5 : La masse volumique absolue (ρ) du gravier concassé (3/8), (8/16).....36

Tableau II.6 : La masse volumique absolue (ρ) du gravier recyclé (3/8), (8/16).....37

Tableau II .7 . Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé.....38

Tableau II.8. Porosité, compacité et indice des vides du gravier recyclé.....38

Tableau II.9 : Résultats d'essai de Los Angeles du gravier concassé (8/16).....38

Tableau II.10 : Résultats d'essai de Los Angeles du gravier recyclé (3/8), (8/16).....39

Tableau II.11 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16) concassé.....39

Tableau II.12 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16) recyclé. 39

Tableau II.13 : Analyse granulométrique du sable de BOUSAADA.....40

Tableau II.14 : Résultats d'essais d'équivalent de sable du sable de dune testé. 41

Tableau II.15 : Caractéristiques physiques du sable de dune (OUED MAITHER).....	43
Tableau II.16 : Analyse chimiques du ciment MATINE.....	44
Tableau II.17 : Composition minéralogique du clinker.....	44
Tableau II.18 : Propriétés physiques du ciment utilisé.....	45
Tableau II.19 : Temps de prise à 20°C.....	45
Tableau II.20 : Résistance mécanique à la compression.....	45
Tableau II.21 : Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.....	46

Chapitre III

Tableau III.1 : Résultats des essais des propriétés physico-mécaniques des mélanges étudiés de la Classe 30 à base d'agrégats concassés.....	53
Tableau III.2 : Résultats des essais des propriétés physico-mécaniques des mélanges étudiés de la classe 30 à base d'agrégats concassés.....	54
Tableau III.3 : Le rapport E/C de béton ordinaire et recyclé.	55
Tableau III.4 : Résistance à la traction par flexion des différents types de bétons à 28 jours.....	60

Liste des figures

Chapitre I : Revue Bibliographique

Figure I.1 : Composition de béton.....	05
Figure I.2 : Les constituants du béton.....	06
Figure I.3 : Cuisson de clinker [1].....	07
Figure I.4 : Classification des granulats.....	09
Figure I.5 : Entraîneurs d'air	11
Figure I.6 : Phénomène de retrait.....	12
Figure I.7 : Schématisation d'un granulat recyclé [3]	16
Figure I.8 : Montre les quatre grandes catégories permettant de classer ces déchets industriels[5].....	17
Figure I.9 : Différents type du granulat recyclé.....	17
Figure I.10 : Distributions granulométrique de deux types de GBR pour des Fractions fines et grossières [17].....	18
Figure I.11 : prises avec un microscope électronique en transmission (MET) démarque JEOL 2010F Haute résolution.....	26
Figure I.12 : les différentes formes de la fumée de silice.....	27

Chapitre II : Caractéristique des matériaux, matériels et essais.

Figure II.1 : Courbe granulométrique des granulats concassés (3/8), (8/16).....	33
Figure II.2 : procédure de préparation des granulats recyclés.....	33
Figure II.3 : Courbe granulométrique des granulats recyclés (3/8), (8/16).....	35
Figure II.4 : Presse hydraulique capacité 3000 KN.....	48
Figure II.5 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.....	48
Figure II.6 : L'appareil de scléromètre	49

Figure II.7 : Principe du Scléromètre. 49

Figure II.8 : Appareil d'auscultation sonore.....50

Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III.1 : La variation du rapport (E/C) pour les différents types du béton (recyclé, ordinaire).....55

Figure III.2 : La variation de la masse volumique apparente pour les différents types des bétons (recyclé, concassé).....56

Figure III.3 : La densité pour les différents types des bétons étudiés à (7,14 et 28) jours.....57

Figure III.4 : Absorption d'eau des bétons recyclés (BR) et ordinaire (BO).....58

Figure III.5 : Evolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge des différents bétons.....59

Figure III.6 : Evolutions de la résistance à la traction par flexion.....60

Figure III.7 : Ultrason pour les différents types des bétons étudiés à (7,14 et 28) jours.....61

Figure III.8 : scléromètre pour les différents types des bétons étudiés à (7,14 et 28) jours.....62

Liste des cymbales

BO : Béton Ordinaire.

BOA : Béton Ordinaire adjuvant

BOF : Béton Ordinaire fumée de silice

BOAF : Béton Ordinaire adjuvant fumée de silice

BR : Béton recyclée

BRA : Béton recyclée adjuvant

BRF : Béton recyclée fumée de silice

BRAF : Béton recyclée adjuvant fumée de silice

BV : plastifiant/réducteur d'eau

FM : superplastifiant /haut reducteur

ST : rétenteur d'eau

LP : entraineur d'aire

VZ : retardateur de prise

DM : hydrofuge de masse

SBE : accélérateur de prise

HBE : accélérateur de durcissement

MET : microscope électronique transmission

ND : non densifiée

DM : densifiée mécanique

DP : densifiée pneumatique

DI : déchets inertes

DD : déchets dangereux.

DB : déchets banals.

C : ciment.

E : eau.

G : gravier.

S : sable

E/C : rapport eau sur ciment.

t : le temps.

Is : indice sclérométrique.

V : volume.

ρ **abs** : masse volumique absolue.
 ρ **app** : masse volumique apparent.
P(%) : porosité.
C(%) : compacité.
e(%) : indice des vides.
Pc(%) : porosité à l'état compacte.
Cc(%) : compacité à l'état compacte.
ec(%) : indice des vides à l'état compacte.
LA : coefficient de Los Angeles.
A (%) : taux d'absorption.
Mh : La masse du matériau sature d'eau.
Ms : La masse du matériau sec.
MF : module de finesse du sable.
Esv : équivalent de sable visuel.
Esp : équivalent de sable par piston.
 γ **c** : masse volumique à l'état compacte.
 γ **L** : masse volumique à l'état lâche.
Rt : résistance à la traction par flexion.
 ρ **FRAIS** : la masse volumique à l'état frais.
 ρ **durci** : la masse volumique à l'état durci.
Rc : résistance à la compression.
1.5% : pourcentage d'adjuvant.
5% : pourcentage de fumé de silice
PL(%) : porosité à l'état lâche.
CL(%) : compacité à l'état lâche.
eL(%) : indice des vides à l'état lâche.
SP : super plastifiant
MgO :oxyde de magnésium
C3S : Silicates tricalciques
C2S ; Silicates bicalsiques
C3A ; Aluminates tricalcique
C4AF :Aluminoferrites tetracalciques
C30 : classe 30.
SO₃ : sulfates

Introduction générale

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence. Environ 4 milliards de Mètres cubes de béton sont utilisés tous les ans de par le monde pour la construction d'ouvrages de toutes natures, notamment des bâtiments, d'immeubles d'habitation, de ponts, de routes, de Tunnels, d'aéroports, de barrages, de ports, de centrales thermiques et nucléaires et de plates-formes offshore,...etc.

Ce matériau composite résultant du mélange d'un creusement dosé d'un squelette granulaire (granulats) et d'une matrice pâteuse durcie par du sable composé de ciment d'eau et le plus souvent d'adjuvants.

Il est alors évident que la conception correcte d'un ouvrage quel qu'il soit requiert : la connaissance des propriétés des matériaux utilisés. Le calcul de dimensionnement des pièces. Cette connaissance des propriétés des matériaux implique que la constitution de ceux-ci doit être connue en premier lieu. L'utilisation massive de quantités énormes dans l'industrie de fabrication du béton pousse les spécialistes du génie civil à songer à une solution alternative comme le cas d'un béton à base d'agréats recyclés qui peut présenter une solution pour réduire l'impact sur l'environnement et économiser les ressources de granulats naturels. Cet usage engendre

L'utilisation de certains des additifs minéraux (fumée de silice). Ceci, peut être combiné avec les adjuvants ; notamment les superplastifiants ; afin de surmonter certains inconvénients en matière de résistance ou de durabilité de ces produits dits bétons recyclés adjuvés.

En finalité, le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà bien engagé dans le secteur des travaux publics mais moins dans les travaux de génie civil, semble être une solution idéale, la plus prometteuse pour les problèmes de déchets. Il a connu une grande évolution dans les pays développés, répond aux soucis de manque de granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers et de promouvoir le respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages de gravats et la figure suivante est bien édifiante.

Les granulats issus du recyclage des produits de démolition s'inscrivent dans le cadre des matériaux locaux de substitution, ils sont utilisés actuellement dans la plupart des pays Européens dans le domaine routier

Les études sur l'utilisation des granulats recyclés durent depuis 50 ans. Et parallèlement, on a constaté selon différentes sources bibliographiques le manque d'études sur la composition d'un béton à base de granulats recyclés. Ceci constitue un problème, voire une insuffisance majeure.

I.2 : Problématique :

Les agrégats récupérés d'ancien béton peuvent provoquer la chute de résistance d'un béton recyclé en comparaison avec un béton ordinaire du fait des natures des granulats recyclés de qualité inférieure. Cependant, ce handicap peut être surmonté par l'usage d'autres ajouts (pozzolane, laitier, fillers de calcaire et la fumée de silice) en combinaison avec les adjuvants superplastifiant pour améliorer certaines propriétés de ce béton ordinaire ou en particulier le béton recyclé. En finalité,

La formulation d'un béton écologique qui répond aux exigences d'un béton conventionnel performant.

Ayant des performances acceptables en terme de rhéologie à l'état frais ; bonne fluidité, sans ségrégation ainsi qu'à l'état durci bonne résistance mécanique et durable.

Cette étude vise l'investigation de l'effet de l'addition minérale fumée de silice avec les avec différents dosages (0, 5%) et combiné avec un adjuvant d'un dosage optimale de sur les % pour les deux types de béton étudiés. L'effet sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton recyclé comparé à un béton ordinaire confectionné avec dès les mêmes composants est considérée

Cette étude utilise les essais destructifs et les essais non destructifs [ultra son (v) et scléromètre (Is)] comme moyens d'évaluation des performances mécaniques du dit béton produit.

I.3. Objectifs de l'étude :

L'objectif principal de cette étude consiste à étudier l'influence de l'addition (fumée de silice) et le superplastifiant sur le comportement d'un béton (recyclé ou ordinaire) adjuvanté. L'adjuvant superplastifiant à un dosage fixé à 1.5 % est combiné avec différents dosages addition de 0 et 5% fumée de silice sur les propriétés physico- mécaniques

D'un béton à base d'agrégats recyclés et un béton témoin confectionné avec des agrégats concassés.

Elle a pour but :

-) Voir l'effet de la fumée de silice sur la réponse mécanique d'un béton Recyclée ou ordinaire sans ajout et après incorporation de 'addition et adjuvant.
-) Voir l'effet combiné de l'adjuvant et la fumée de silice et le super plasfiant sur les caractéristiques physiques à l'état frais et durci.
-) Enfin, étude de comparaison de cette composition avec un béton témoin.
-) Evaluation des grandeurs obtenues par les essais indirects ultrason (V) et l'indice scléro métrique (Is) pour la prédiction de la valeur de la résistance à l'écrasement (Rc).

I.4. Aperçu sur le mémoire :

Ce mémoire est composé de trois chapitres qui sont les suivant :

-) **Introduction générale** : Problématiques et Objectifs.
-) **Chapitre I** : Revue générale sur le béton hydraulique : consiste à donner une idée générale

Sur l'apparition, la définition et le domaine d'application du béton ordinaire et notions générales sur les bétons recyclés .et les additions pour cette béton

-) **Chapitre II** : Les caractéristique des matériaux utilisés, et essais destructif et non destructif et formulation du béton : donne une idée sur les essais utilisés pour la caractérisation physiques, chimique et mécaniques des matériaux, ainsi que sur les matériels utilisés pour ces essais.
-) **Chapitre III** : Résultats et discussions
-) **Conclusion générale** : On présente les principales conclusions tirées à partir résultats

Obtenus lors de cette étude ainsi que les futurs perspectives.

Chapitre I :

Revue bibliographique

CHAPITRE I / Revue Bibliographique

Partie A : Notions générales sur le béton hydraulique

I .A.1. Introduction :

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Simple en apparence, il est en réalité très complexe, avec une diversité d'applications et de méthodes de formulations. C'est le matériau le plus utilisé au monde : environ 7 milliards de mètres cubes de béton sont mis en œuvre annuellement. La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sûr, des matériaux de base qui entrent dans la formulation mais également des opérations de : malaxage, mise en œuvre, vibration et cure (protection contre la dessiccation). Il s'agit de déterminer la meilleure qualité du béton qu'on puisse obtenir. Pour ne citer que la résistance à la compression du béton qui reste, du point de vue de l'ingénieur, la propriété la plus importante du matériau, si l'on exclut les indicateurs de durabilité, nous allons examiner ci-après les différents facteurs ayant une influence sur cette résistance, et sur lesquels on pourra compter pour l'amélioration de la qualité du béton.

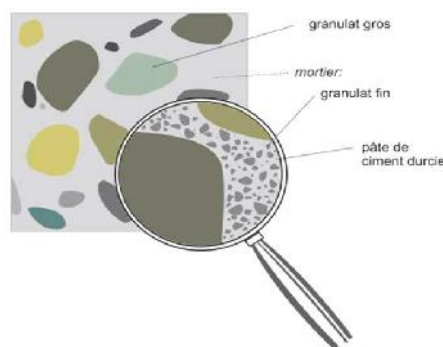


Figure I.1 : Composition de béton

I.A.2. Béton hydraulique

I.A.2.1. Définition

Le béton est une roche artificielle, composite fabriqué à partir de mélange de granulats gros (graviers) et fins (sables), Ils constituent le squelette du béton liés entre eux par un liant. Le liant peut être « hydraulique » ce liant est appelé « Ciment » formé une pâte de ciment (ciment + eau). La pâte de ciment, élément actif du béton enrobe les granulats. La pâte joue à l'état frais le rôle de lubrifiant et de colle à l'état durci.

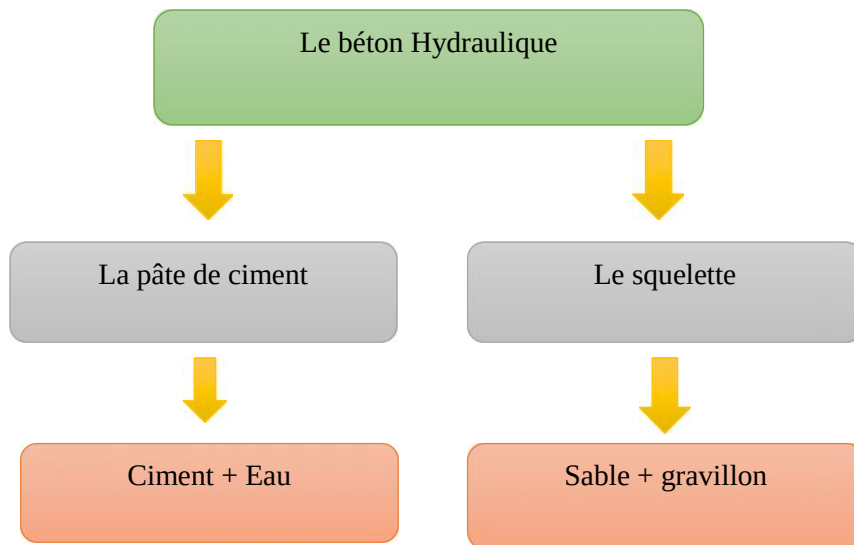


Figure I.2 : Les constituants du béton.

I.A.2.2. Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du Béton

✓ Les avantages de béton :

-)] Se moule, épouse toutes les formes, des plus massives aux plus délicates.
-)] Peu coûteux, facile à fabriquer, peu d'entretien.
-)] Devient solide comme de la pierre.
-)] Résiste bien au feu et aux actions mécaniques habituelles.
-)] Associé à l'acier, il offre des possibilités de constructions très vastes

✓ Les inconvénients de béton :

-)] Faible résistance à la traction.
-)] Faible isolation thermique.
-)] Coffrages nécessaires pour sa mise en œuvre.
-)] Sa destruction entraîne un coût élevé (en cas de démolition) et n'est pas ou peu recyclable.

I.A.3. Les constituants du béton :

I.A.3.1. Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit

Un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation)

S'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau.

I .A.3.1.1. Le ciment Portland (aussi appelé clinker Portland) :

Il s'agit d'un mélange, finement moulu de roche calcaire (craie) et de schiste (argile), Homogénéisé, séché, décarbonaté puis fondu (**1500°C**) dans un four rotatif. Ensuite ce mélange est refroidi rapidement et enfin broyé. On obtient ainsi le clinker Portland.

Le clinker est finement broyé pour donner un ciment. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à Boulets, gros cylindres chargés de boulets d'acier et mis en rotation.

Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au Clinker. On obtient alors le ciment.

Les matières premières (calcaire, argile) sont obtenues à partir de carrières naturelles à ciel ouvert.

Elles sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle Mécanique. C'est la raison pour laquelle les cimenteries sont situées près de carrières de calcaire ou de craie. [1]

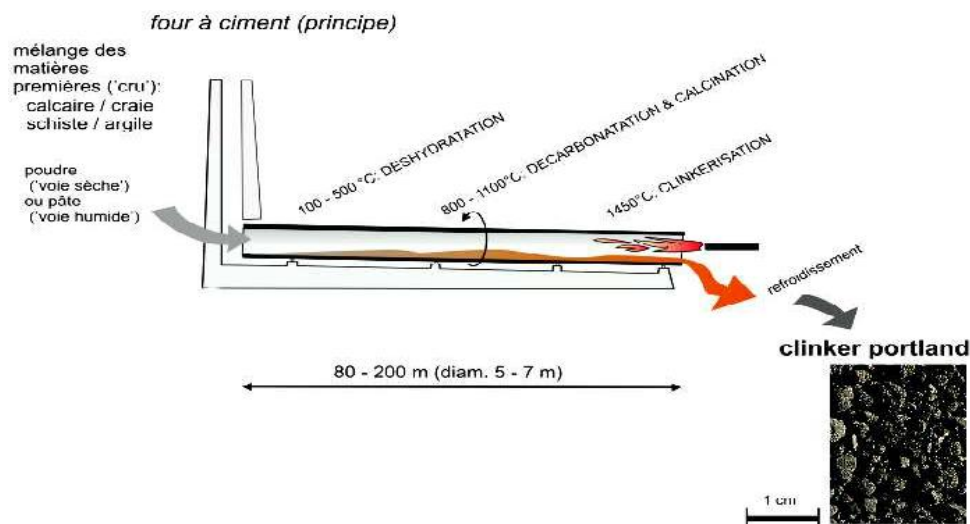


Figure I. 3: Cuisson de clinker. [1]

I.A.3.1.2. Classification des ciments courants :

27 types de ciments courants séparés en 5 catégories :

- ⌋ CEM I : Ciment Portland artificiel (CPA);
- ⌋ CEM II : Ciment Portland (CPJ);
- ⌋ CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF) ;

-) CEM IV : Ciment Pouzzolanique (CPZ) ;
-) CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

I.A.3.2. Les granulats :

(Sable, gravillons) constituent le squelette du béton. Ils doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. Les formations géologiques à partir desquelles il est possible de produire des granulats à béton peuvent être d'origine détritique (essentiellement alluvionnaire), sédimentaire, métamorphique ou éruptive. Selon leur origine, on distingue les granulats roulés, extraits de ballastières (ou sablières) naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et concassée, obtenus à partir de roches exploitées en carrière.

On utilise en général, pour les ouvrages courants, des granulats constitués uniquement par du sable et des gravillons.

On emploie également des granulats légers qui sont le plus souvent artificiels et fabriqués à partir de matières minérales, comme les argiles, les schistes (argiles expansées) et les silicates (vermiculite et perlite). Les premières permettent la fabrication de bétons de structure légers, dont la résistance peut atteindre de **40 à 50 Mpa**. Les seconds servent à la fabrication de parois en béton très léger, à fort pouvoir d'isolation thermique. Le poids volumique apparent de ces granulats varie d'environ **0.6 à 8 KN/M³**

I.A.3.2.1. les différents types des granulats :

a) Granulats naturels :

Les granulats naturels issus de différentes roches meubles ou massives

Extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (Concassage, broyage, criblage, lavage, sélection).

Sable et gravier de rivière, sable de mer, et sable de dune dite de désert.

b) Granulats artificiels :

Qui proviennent de la transformation thermique des roches, des déminerais, de sous-produits industriels (laitiers, scories, etc.) ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton, souvent appelés granulats recyclés.

c) Granulats Recyclé :

Obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments.

I.A.3.2.2. Classification des granulats :

Les granulats sont classés en fonction leurs démontions par criblage sur des tamis à mailles carrées dont les dimensions intérieures sont en (mm).Le terme (granulats d/D) est réservée granulats sont les dimensions s'étalent de d pour les petits à D pour les refus grands. [2]

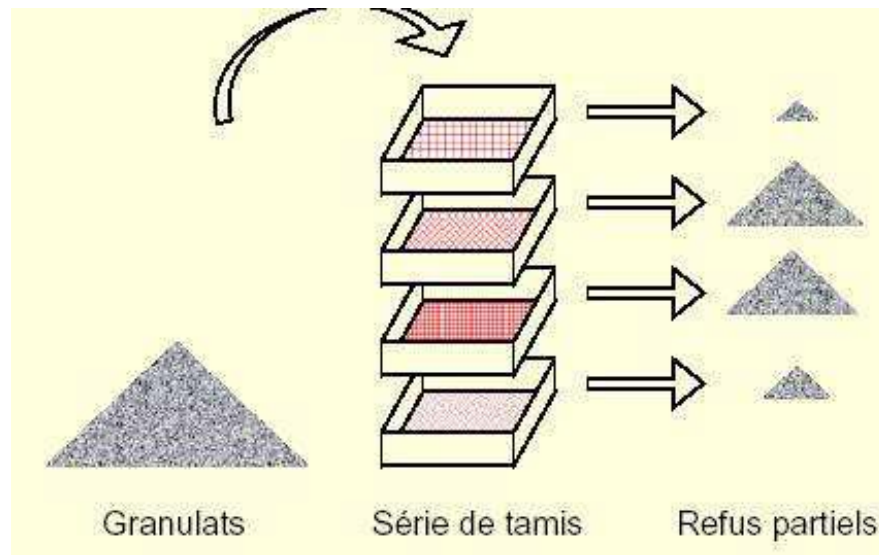


Figure I.4. Classification des granulats

I.A.3.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. Tout comme les autres composants du mélange, l'eau doit être propre. Le dosage doit faire preuve d'une attention particulière :

-) Trop d'eau $\longrightarrow$ Mélange trop mouillé $\longrightarrow$ forte ouvrabilité, entraîne la naissance de fissures et une perte de résistance au moment du séchage.
-) Peu d'eau $\longrightarrow$ Mélange trop sec $\longrightarrow$ Peu Ouvrable.

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C du mélange, ce dernier varie entre 0,4 et 0,6. Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF EN 1008

I.A.4. Rôle des différents éléments constituant le béton :

- a) **Ciment** : c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.

- b) L'eau :** c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- c) Les granulats :** ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- d) Le sable :** il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats. [3]

I.A.5. Les adjuvants :

Sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faibles quantités (en générale moins de 3% du poids de ciment, donc moins de 0,4% du poids du béton) afin d'en améliorer certaines propriétés. Leur efficacité est liée à l'homogénéité de leur répartition dans la masse du béton. Les principaux adjuvants sont :

I.A.5.1. Les plastifiants :

Qui jouent un double rôle. Ils permettent, d'une part, d'obtenir des bétons frais à consistance parfaitement liquide, donc très maniables, par défloculation des grains de ciment. A maniabilité donnée, ils offrent, d'autre part, la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton. La résistance du béton durci peut ainsi être notablement augmentée. La durée d'action de ces adjuvants est de 1 à 3 heures

I.A.5.2. Les retardateurs de prise du ciment :

Qui prolongent la durée de vie du béton frais. Ils trouvent leur utilisation dans le transport du béton sur de grandes distances ou la mise en place par pompage, en particulier par temps chaud. Ils sont aussi employés pour éviter toute discontinuité lors de reprises de bétonnage.

I.A.5.3. Les accélérateurs de prise et de durcissement :

Qui permettent, pour les premiers, la réalisation de scellements ou d'étanchements et pour les seconds, une acquisition plus rapide de résistance au béton durci.

I.A.5.4. Les entraîneurs d'air :

Qui confèrent au béton durci la capacité de résister aux effets de gels et de dégel successifs en favorisant la formation de microbulles d'air réparties de façon homogène. Le volume d'air occlus doit être de l'ordre de 6% de celui du Béton durci.



Figure I.5 : Entraîneurs d'air

I.A.6. Propriétés Fondamentales D'un Béton

I.A.6.1. Propriétés de béton physique

a) Ouvrabilité :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour :

-)] Le remplissage parfait du coffrage.
-)] L'enrobage complet du ferrailage.

L'ouvrabilité doit être maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire, elle est principalement influencée par :

-)] Type et dosage en ciment ;
-)] La forme des granulats ;
-)] La granularité et la granulométrie ;
-)] Le dosage en eau. [4]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons qu'un essai

b) Le Retrait :

Est une diminution dimensionnelle du béton en l'absence de chargement, dû à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment. Le siège du retrait se situe dans la pâte du ciment, selon les circonstances, peuvent se développer dans un béton cinq types de retrait :

Le retrait plastique, le retrait de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et le retrait de carbonatation. Ces retraits provoquent des contraintes internes qui se matérialisent par l'apparition de fissures micro et macroscopiques à la surface de l'élément de béton ou dans l'ensemble de sa masse, ces fissures détériorent l'esthétique et endommagent l'élément, tels l'accélération de la corrosion du béton et des armatures en laissant pénétrer des agents agressifs.

[4]

-) Retrait plastique ;
-) Retrait endogène ;
-) Retrait de séchage ;
-) Retrait thermique ;
-) Retrait de carbone ; [4]

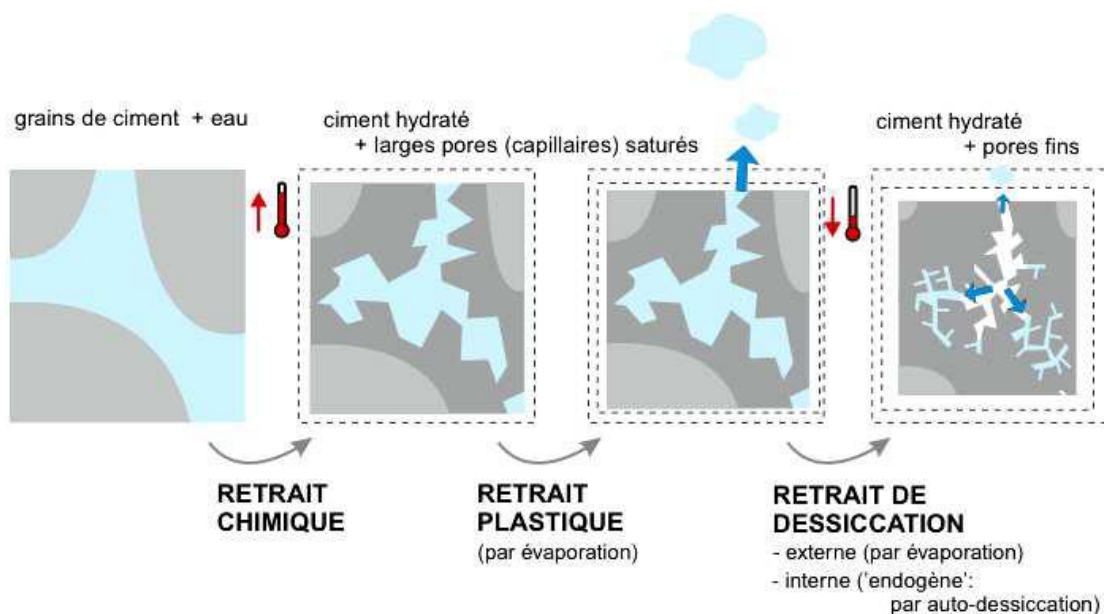


Figure I.6 : Phénomène de retrait

c) La compacité et la porosité :

Sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, conditionnent plusieurs propriétés de ce dernier telles que sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité.

On distingue les pores contenus dans les granulats leur taille et leur volume n'évoluent pas, par contre ceux se trouvant dans la pâte de ciment leur dimension diminue avec la progression d'hydratation on distingue :

Les pores capillaires ($0.01 \mu\text{m} \leq \text{diamètre} \leq 0.5 \mu\text{m}$) occupent les espaces entre les grains de ciment en suspension dans l'eau, leur taille et leur volume dépendent du rapport E/C. La perméabilité du matériau est essentiellement dépendante de ces pores.

Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ($0.01 \mu\text{m} < \text{diamètre} < 5 \mu\text{m}$) sont présents dans le gel de C-S-H. Le volume de ces pores n'est pas affecté par le rapport E/C. Ces pores sont divisés en pores inter cristallites qui se situent entre les gels et les pores intra cristallites présents à l'intérieur du gel lui-même. [5]

Les bulles d'air occlus ($10 \mu < \text{diamètre} < 1 \text{ mm}$) piégées non intentionnellement à l'intérieur du béton lors du malaxage du béton frais. [5]

d) La diffusivité :

Il est indispensable le pouvoir caractériser de façon précise et complète la microstructure des matériaux à base de ciment, dans la mesure où celle-ci conditionne non seulement les propriétés mécaniques, mais également celle liées à la durabilité de ces matériaux [6]. La diffusion désigne le processus de transport d'un constituant dans un milieu donné sous l'effet de son agitation aléatoire à l'échelle moléculaire. S'il existe des différences de concentration entre deux points du milieu, ce phénomène engendre un transport global du constituant considéré. Les transports par diffusion peuvent intervenir sous deux formes : en phase liquide ou en phase gazeuse.

e) La perméabilité :

Elle est relative au déplacement d'un fluide sans l'effet d'une pression motrice ; elle dépend de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide ainsi que leur interconnexion. [7], [8].

L'inconvénient majeur dans sa détermination réside dans le grand nombre d'infiltration possibles. En effet, selon la composition du fluide interstitiel (pluies, acides,

eau de mer ou gaz), et le mode de préparation, nous obtiendrons des écoulements et donc des valeurs très différentes. D'où l'intérêt de préciser une valeur intrinsèque de perméabilité [9].

I.A.6.2. Propriétés de béton mécanique :

a) Résistance mécanique :

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques essentielles du béton. Le béton est employé, en général, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton. La résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir : la nature et la qualité des constituants (ciments, granulats, eau, adjuvant) ; les conditions de mise en œuvre de ces constituants ; les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation. Elle est définie par la résistance à la compression et par la résistance à la traction.

b) Résistance à la compression :

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages.

En béton et en béton armé. Le béton est caractérisé par la résistance à la compression R_{c28} mesurée sur des éprouvettes écrasées à 28 jours selon la norme NF EN 12390-3 [10].

c) Résistance à la traction :

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile. Le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points, désignée par F_{t28} . [10]

d) Durabilité :

Un béton durable est un béton capable de résister à un degré satisfait aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration. Il conserve sa forme originale et sa qualité quand il est exposé à son environnement. La durabilité du béton dépend des facteurs qu'il n'est pas toujours aisé d'isoler : condition de mise en œuvre, compositions des différents constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants), âge du béton, conditions climatiques et le milieu dans lequel le béton est exploité.

Les facteurs influençant la durabilité peuvent être internes aux bétons comme la porosité, perméabilité et diffusivité, la fissuration, les ions chlore (présent dans certains accélérateurs et eau de gâchage), réaction alcalis granulats, les ions sulfates (dans certains granulats calcaires), ou externes (cycle de gel dégel, l'action des sels de déverglace...), les ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides ...etc.

I.A.7. Différents types de béton :

-) Béton auto plaçant (BAP)
-) Béton de hautes performances (BHP)
-) Béton de fibres
-) Béton compacte au rouleau (BCR)
-) Béton préfabriqué
-) Béton à durcissement rapide
-) Béton de terre
-) Béton léger
-) Béton lourd
-) Le béton extra lourd
-) Le béton réfractaire
-) Béton de poudre réactive (BPR)
-) Béton ordinaire.

Partie B : Notions générales sur le béton recyclé

I.B.1. Introduction :

Le cadre du présent chapitre concerne initialement la définition des granulats de béton recyclé (**GBR**), la classification des déchets de chantier ainsi que le contexte générale de la production et la consommation de ces granulats. Ensuite, on présente les caractéristiques physico-mécaniques des granulats de béton recyclés où l'analyse des travaux précédemment réalisés permet d'identifier et de comprendre les lignes directives à développer tout au long de ce programme de recherche

I.B.2. Description de granulats recyclés :

On entend par « granulat recyclé », un granulat provenant du recyclage de débris de démolition en opposition aux « granulats naturels » provenant de carrières ou de sablières. Les granulats recyclés sont formés du granulat d'origine et de 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 [11]. La teneur en mortier résiduel attaché au granulat d'origine a un grand impact sur les propriétés du granulat recyclé [12]. La teneur en mortier résiduel du granulat est une des caractéristiques importantes permettant d'évaluer la qualité d'un granulat recyclé. 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 et la nouvelle pâte de ciment. La schématisation du granulat recyclé est illustrée sur la **figure I.7** [13].

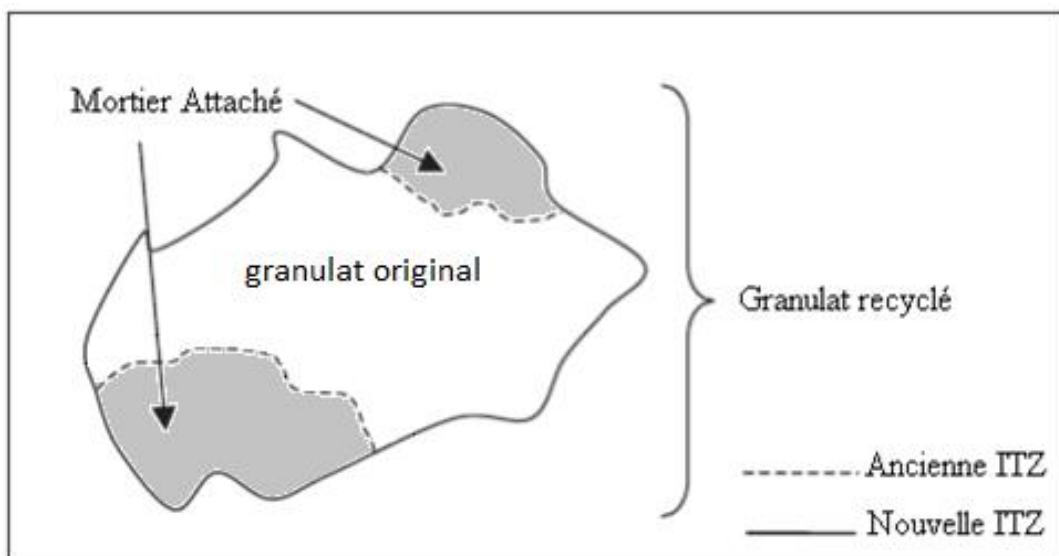
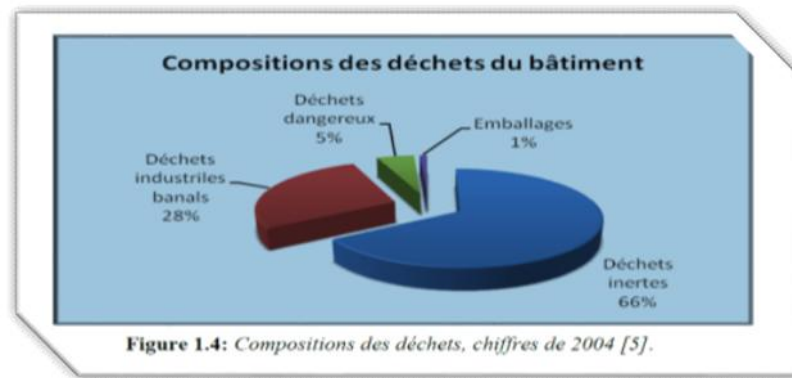


Figure I.7 : Schématisation d'un granulat recyclé [3]

I.B.3. Classification des déchets de la construction

Les granulats recyclés proviennent des déchets de démolition de bâtiments ou de routes. Ces déchets de chantier sont constitués de résidus des procédés de production et de transformation (déchets chimiques, emballages, bois traités ou non traités...). Ces déchets de démolition font partie des déchets industriels dans la classification usuelle (à distinguer des déchets urbains et des déchets agroalimentaires). **La figure I.8 : montre** les quatre grandes catégories permettant de classer ces déchets industriels :



La figure I.8 : Montre les quatre grandes catégories permettant de classer ces déchets industriels [5]

Approximative des déchets de démolition de bâtiments peuvent donc être constitués comme suit :

-) béton (40 %),
-) brique (30 %),
-) bois (10 %),
-) plastique (5 %),
-) métaux (5 %),
-) autres éléments (10 %).

La démolition des routes génère des déchets d'enrobés mais également des déchets de bétons hydrauliques, le traitement de ces déchets permet d'extraire les éléments non appropriés comme les métaux. Dans la fabrication de granulats recyclés pour usage routier, on distingue trois :

-) Granulat recyclé béton,
-) Granulat recyclé enrobés,
-) Granulat recyclé tout venant.



Figure I.9 : Différents type du granulat recyclé

I.B.4. Classification des déchets dans le génie civil : [14]

* Déchets inertes (DI)

* Déchets banals (DB)

* Déchets dangereux (DD)

Il a été démontré que sur le long terme les granulats recyclés sont économiquement bien plus intéressants. Les avantages du recyclage incluent la préservation de l'espace d'enfouissement, la conservation des ressources naturelles et l'épargne des coûts de transport et d'énergie. Du point de vue technique, grâce à la normalisation, la qualité des produits 'granulats recyclés' est identifiable et reconnue. [15.16]

I.B.5. Caractéristique des béton à granulats recyclés :

I.B.5.1. Etat frais

I.B.5.1.1. Distribution granulométrique :

La distribution granulométrique des **GBR** est généralement différente par rapport à celle des granulats ordinaires. Cependant, dans les usines et également dans plusieurs travaux de recherches, les **GBR** sont produits en adoptant les procédés de broyage et de criblage et, par conséquent, la taille des GBR se situent généralement dans les limites maximales de la gradation du broyeur. L'utilisation de la technique de broyage similaire avec la même taille maximale (ou si le broyeur est réglé sur une ouverture spécifique) génère des **GBR** avec des distributions granulométriques similaires [17].

Chen et *al.* [17] ont trouvé des distributions granulométriques similaires pour deux types de GBR, où la composition de leurs bétons d'origine est légèrement différente, mais broyés par des concasseurs similaires avec la même taille maximale (**Figure I.10**).

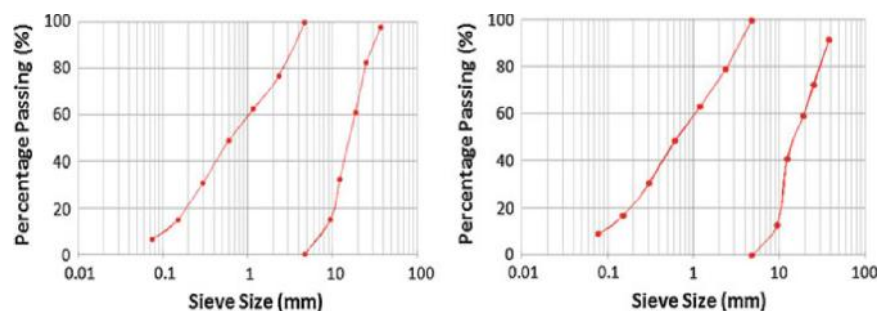


Figure I.10 : Distributions granulométrique de deux types de GBR pour des Fractions fines et grossières [17].

I.B.5.1.2. la densité / la masse volumique :

La densité est l'un des paramètres fondamentaux des granulats. La littérature à ce sujet indique que la densité relative des granulats recyclés se situe généralement entre 2,4 et 2,5 alors que les granulats naturels ont généralement une densité de l'ordre de 2,75. La masse volumique plus faible des granulats recyclés est causée par la présence du mortier résiduel qui a une masse volumique plus faible que celle des granulats ordinaires ce qui fait diminuer par conséquent la masse volumique totale des granulats recyclés. Cette réduction en densité est fonction de la teneur en mortier résiduel [18], [19].

I.B.5.1.3. la teneur en air :

La teneur en air du béton de granulat recyclé est légèrement supérieure (4% à 5,5%) Par rapport au béton à base des granulats 100% naturel. [20]

Cette augmentation de teneur en air peut être attribuée à la plus grande porosité des agrégats recyclée

I.B.5.2. Etat durci :**I.B.5.2.1. Absorption :**

Il semble que la partie plus fins des granulats recyclés absorbe une quantité d'eau plus élevée que les éléments plus grossiers. Ce critère influe considérablement sur le comportement rhéologique des bétons frais. En effet, les bétons de granulat recyclé requièrent approximativement 15% d'eau supplémentaire pour un même affaissement qu'un béton classique [21].

I.B.5.2.2. porosité :

La forte capacité d'absorption des bétons de granulat recyclé est liée une forte porosité de ce matériau. Le taux de ciment dans le béton de granulat recyclé. Celle-ci augmente significativement avec l'augmentation de la quantité de pate de ciment [20].

I.B.5.2.3.Perméabilité :

Lorsque le rapport E/C est supérieur à 0,55, la présence de granulats de recyclage ne modifie pas cette propriété. Par contre pour des faibles valeurs du rapport E/C, la perméabilité des bétons recyclés est supérieure à celles des bétons conventionnels [22]

I.B.6.2.4. Résistance à la compression :

Des études antérieures montrées que lors du remplacement des agrégats naturels par des granulats recyclés, les caractéristique et propriétés mécanique des bétons de granulats recyclés changent. Il provoque réduction sur cette propriété mécanique [23].

L'ampleur de la réduction est liée à des paramètres tels que le type de béton utilisé pour la fabrication des agrégats recyclé (élève, moyen ou faible résistance), le ratio de remplacement, de l'eau / ciment et l'état d'humidité des granulats recyclé [24-25]. Des études ont également montré que l'utilisation de mélanges cimentaire supplémentaires, telles que la fumé de silice, ... etc. contribue à améliorer les propriétés du béton à base de granulat recyclé [25]. Rao a trouvé la résistance du béton à base de granulat recyclé et le béton des référence à comparable avec un remplacement à 100%, à condition que le rapport eau-ciment est supérieur à 0.55 [26, 27].

I.B.5.2.5. Résistance à la traction et à la flexion :

La résistance à la traction des bétons recyclés présentent des résultats légèrement différents les uns des autres. Si toutes indiquent une perte de résistance pour le béton recyclé par rapport au béton standard, certaines ont montré une réduction de 15 à 20% à un taux de remplacement de 100% et d'autres une perte de moins de 10% pour un essai réalisé a 28 jours [26, 27].

I.B.1.5.2.6. Fluage et retrait :

L'utilisation des agrégats recyclés dans le béton induit une contraction due à la forte absorption de ces agrégats. Certaines études montrent que, pour le béton à base de granulat recyclé à l'âge de 90 jours, le retrait pourrait être d'environ de 0.55 à 0.8mm/m, alors que les valeurs pour un béton à base de granulat naturel est seulement d'environ 0.30mm/m [20].

Cependant les résultats des tests pour fluage en conditions normales de laboratoire ne se pas si évident, si certaines études ont montré la tendance à s'inverser, c'est-à-dire le fluage après 1 an est d'environ 20% inférieur à celle du béton avec béton à base des granulats naturel [25].

I.B.5.2.7. Module d'élasticité :

Pour un béton ordinaire, le module d'Young augmente en fonction de l'âge du béton tandis que le module d'Young des bétons de granulats recyclé (26,6 Gpa) ne semble pas dépendre de l'âge de l'éprouvette de béton (à rappeler que la valeur conventionnellement utilisée pour un béton ordinaire est 35 Gpa) [28].

I.B.6. Durabilité du béton à base de granulat recyclé :

Les études de durabilité ont été réalisées pour mieux comprendre l'effet de l'utilisation de différentes qualités des agrégats recyclés sur les propriétés du béton à base de granulat recyclé. Cependant, certaines études ont montré que le béton à base de granulat recyclé est beaucoup plus perméable que le béton à base de granulat naturel, donc est un béton moins résistant à un degré satisfaisant aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration par la carbonatation par exemple [24-29, 30, 31].

Il a été noté que les propriétés de durabilité peuvent être améliorées par l'utilisation des cendres volantes, fumée de silice condensée, etc.... [25].

I.B.7. Conclusion

Dans le monde il existe un réel potentiel d'utilisation des granulats recyclés dans le secteur de la construction des bâtiments, en génie civil et en travaux routiers. Les techniques modernes de recyclage peuvent aider à réduire l'impact environnemental des déchets de béton, ce qui rend ce produit plus respectueux vis-à-vis de l'environnement. Au même titre que les granulats naturels, les granulats recyclés répondent à des normes et à des réglementations strictes garantissant la connaissance qualitative performante des produits. Cette première étude bibliographique a aussi permis de définir les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons recyclés.

Partie C : les additions dans le béton recyclé

Partie C.1 : les ajouts minéraux

I.C.1.1. Additions minérales :

Une addition minérale est définie par la norme européenne **EN206-1** comme étant, un matériau minéral finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières. D'après la norme précédente on a considéré deux types d'addition [30] :

-) **Le type 1** : additions quasiment inertes contiennent (filler, pigments.....etc.)
-) **Le type 2** : additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent contiennent (cendre volante, fumé de silice ...etc.).

a) Avantages économique et environnementaux [31] :

Réduire la production du ciment qui nécessite une chaleur importante
Réduire la quantité de combustible utilisé pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO₂ dans la nature et réduire le coût du béton.

b) Avantages technique [31] :

- Améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons, en raison de leurs petites dimensions.
- Limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble.
- Les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

I.C.1.2. Différents types d'additions minérales :

I.C.1.2.1. Fillers calcaires :

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, bentonite, cendres volantes) les fillers se différencient les uns des autres par :

-) Leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
-) Leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.

) Leur dureté, leur porosité. Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés à un CPA peuvent jouer plusieurs rôles :

) Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).

) Rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle

) Rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C3S et du C3A à la formation de carboaluminates : germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates. [32]

I.C.1.2.2. laitier granulé de hauts fourneaux :

Le laitier de haut Fourneaux, ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

Les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention puisque tout écart par rapport à cette composition. Chimie optimale se traduit par une augmentation des coûts énergétique assez importants de donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte.

Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible (de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte (qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au-dessus de la fonte au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément. [32]

Partie C.2 : les bétons recyclés adjuvants à base de fumée de silice

I.C.1. Adjuvants

I.C.1.1. Définition :

. On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange.

Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (20000. 30000).

Les adjuvants de béton sont des produits chimiques solubles dans l'eau qui modifient Principalement :

-) les solubilités
-) les vitesses de dissolution
-) hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique [33]

I.C.1.2. Mode d'action :

Leur action est différente d'un adjuvant à un autre en contact des grains de ciment.

D'une manière générale, les adjuvants enrobent le grain de ciment pendant hydratation pour Augmenter une charge négative sur la surface de la particule de ciment.

Nous détaillerons plus bas, certaines réactions des différents adjuvants avec le ciment. [33]

I.C.1.3. Classe des adjuvants :

Selon leur fonction dans les catégories suivantes :

-) les super plastifiants
-) les retardateurs
-) les accélérateurs
-) les agents de mouture
-) les hydrofuges

On peut également citer d'autres adjuvants tels que :

-) les produits de cure
-) les entraîneurs d'air

I.C.1.3.3. Les superplastifiant :

I.C.1.3.3.1. plastifiant/réducteur d'eau (BV)

Adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire la teneur en eau d'un béton donne ou qui sans modifier la teneur en eau, en augmente l'affaissement/l'étalement, ou produit les deux effets à la fois.

I.C.1.3.3.2. super plastifiant/haut réducteur (FM)

Adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire fortement la teneur en eau d'un béton donné ou, qui sans modifier la teneur en eau, en augmente considérablement l'affaissement/l'étalement, ou produit les deux effets à la fois.

Mode d'action

I.C.1.3.4. Rétenteur d'eau (ST) :

Adjuvant qui réduit la perte d'eau en diminuant le ressuage.

I.C.1.3.5. Entraîneur d'air (LP) :

Adjuvant qui permet d'incorporer pendant le malaxage, une quantité contrôlée de fines bulles d'air uniformément réparties et subsistant après durcissement.

I.C.1.3.6. Retardateur de prise (VZ) :

Adjuvant qui augmente le début du temps de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

I.C.1.3.7. Hydrofuge de masse (DM) :

Adjuvant qui réduit l'absorption capillaire du béton durci.

I.C.1.3.8. accélérateur de prise (SBE) :

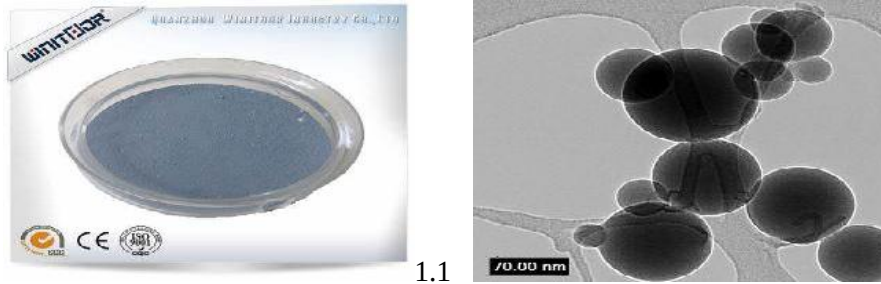
Adjuvant qui diminue le début du temps de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

I.C.1.3.9. accélérateur de durcissement (HBE) :

Adjuvant qui augmente la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise. [34]

I.C.2. Fumé de silice**I.C.2.1. Caractéristiques techniques et contrôle de production****I.C.2.1.1. Une poudre ultrafine non cristalline**

La fumée de silice se présente sous la forme de particules individuelles, avec un diamètre compris entre 50 et 200 nanomètres. Ces sphères contiennent majoritairement du SiO₂, avec des quantités variables en oxydes de Ca, Al, Na, K comme impuretés principales. La fumée de silice est un produit amorphe et non cristallin.



1.1

**Figure I.11 : prises avec un microscope électronique en transmission (MET)
démarque JEOL 2010F Haute résolution**

I.C.2.2. Les différents aspects d'une fumée de silice :

La fumée de silice non densifiée (ND) a une densité apparente faible, ce qui rend sa manipulation difficile. Par un traitement de densification, il est possible d'augmenter sa densité apparente et ainsi faciliter son transport, son stockage et sa manipulation. La densité apparente dépend du mode de densification qui peut être mécanique (DM) ou pneumatique (DP). Elle est généralement comprise entre 400 et 650 kg/m³.

En augmentant la densité du produit, on améliore la coulabilité et la manipulation du produit, mais on diminue sa capacité à se disperser dans l'eau. L'utilisateur doit donc trouver un compromis entre la manipulation et la dispersion potentielle du produit.

La densification ne change pas les propriétés physico-chimiques du produit. La fumée de silice est aussi disponible sous une forme prête à l'emploi : le slurry, suspension aqueuse avec environ 50 % en masse de fumée de silice. Le slurry est un produit stable dans le temps, avec une basse viscosité et donc facile à pomper et à utiliser. Son procédé de fabrication conduit à un produit très finement dispersé dans l'eau et donc dans le béton lors du malaxage.

I.C.2.3. Les mécanismes de fonctionnement de la fumée de silice

Les fumées de silice sont capables d'intervenir selon deux mécanismes :

I.C.2.3.1. L'effet granulaire :

Les particules de la fumée de silice étant sphériques, lisses et très petites, viennent combler les interstices entre les grains de ciment. C'est grâce à un produit défoulant que cet effet granulaire peut être obtenu et conduira à une réduction importante de la teneur en eau. C'est la forme de ces particules qui va aider à la mise en place des bétons.

I.C.2.3.2. L'effet pouzzolanique :

La fumée de silice, amorphe et riche en silice, peut se combiner à la chaux lors de l'hydratation du ciment, afin de donner des hydrates supplémentaires. Ce mélange permettra d'obtenir des bétons à haute et très haute performance [35]

I.C.2.4. Caractéristique des fumée de silice :

Les principales caractéristiques sont représentées dans le [tableau (I.1)] :

Tableau I.1 : les principales grandeurs caractéristiques de la fumée de silice [32]

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	Pertes au feu
93.7	0.6	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	2.9

I.C.2.5. les formes de la fumée de silice :

-) **Poudre densifiée**, d'une densité apparente d'environ 500 kg/m^3 , sa manipulation ne pose pas de problème, mais du la durée du malaxage doit être prolongée afin que l'ajout soit réparti uniformément (**figure C.3**).
-) **Poudre non-densifiée**, d'une densité apparente d'environ 200 kg/m^3 , pratiquement pas manipulation sur les chantiers.
-) **Suspension aqueuse (coulis)**, avec environ 50% de matières solides de densité apparente à 1400 kg/m^3 , sensible au gel doit être remuée pour rester homogène et stable.



Non densifiée (ND)

Densité apparente
= 150 kg/m^3

Densifiée mécanique (DM)

Densité apparente
= 450 kg/m^3

Densifiée pneumatique (DP)

densité apparente
= 650 kg/m^3

Figure I.12 : les différentes formes de la fumée de silice

I.C.2.6. Influence fumée de silice du béton**I.C.2.6.1. Influence sur les propriétés du béton frais :**

Les fumées de silice et le béton frais Chaque kg de fumées de silice fixe environ 1 kg d'eau de gâchage sous forme de couche mince sur la surface .Les particules de fumées de silice mouillées adhèrent aux particules de ciment, lesquelles sont de ce fait réparties uniformément. Elles remplacent également une partie de l'eau interstitielle. Il en résulte une pâte de ciment durcie de structure plus régulière .Les fumées de silice exigeant beaucoup d'eau, particulièrement si elles sont utilisées en grandes quantités, le béton obtenu est collant et difficile à mettre en œuvre. On peut y remédier en ajoutant des plastifiants (BV) ou des super fluidifiants (HBV) .Un béton frais de cette composition té moine d'une bonne cohésion et d'une bonne comptabilité et, même de consistance plastique, ne tend ni HP m- 1 1 -« Mise en place d'un revêtement routier en béton recyclé contenant des fumées de silice (N 13). au ressuage ni à la ségrégation. Les fumées de silice ayant une grande affinité avec l'eau, l'eau s'évaporant à la surface ne vient pas de l'intérieur du béton. Le traitement de cure pour humidifier le béton doit commencer sitôt après la mise en place, afin d'empêcher la formation de fissures de retrait à un stade précoce. [36]

I.C.2.6.2. Influence sur les propriétés du béton durci :

Deux des propriétés des bétons contenant des fumées de silice sont particulièrement intéressantes : la faible perméabilité et la résistance élevée. C'est entre le 3eme et le 28e jour que les fumées de silice apportent la principale contribution à la résistance. La résistance à un jour est généralement pareille ou supérieure à celle des bétons sans fumées de silice, indépendamment de l'utilisation des fumées de silice comme substitut du ciment ou comme ajout. Les fumées de silice augmentent non seulement la résistance à la compression, mais également la résistance à la traction par flexion et ce qui souvent n'est pas souhaité- le module d'élasticité. Les bétons à haute résistance en particulier-sur lesquels nous reviendrons plus loin - sont sensibles à la rupture de fragilité, et peuvent de ce fait se rompre soudainement, sans déformation notable au préalable. [36]

I.C.2.7 Les avantages de fumée de silice :**) Sur bétons à l'état frais :**

Réduction de : Amélioration de :

-) la ségrégation ;
-) l'adhésion ;
-) la chaleur d'hydratation ;
-) la cohésion.

) l'exsudation.

) **Sur bétons durcis :**

Amélioration des résistances mécaniques (en particulier résistance en compression).

Amélioration significative de :

*la résistance aux attaques

Chimiques, aux sulfates et

Aux chlorures ;

*la corrosion des armatures ;

*la résistance au cycle gel/dégel ;

Réduction significative de :

*la porosité et la perméabilité ;

*la carbonatation.

*la résistance à l'abrasion ;

Prévention du risque :

*d'alcali-réaction ;

* de RSI. [37]

I.C. Conclusion :

Cette partie contient des additions dans le béton recycle leur influence sur les bétons spécialement le BR, que L'incorporation de fumée de silice conduit à des améliorations la fumée de silice complète le fuseau granulaire et supprime les tendances au ressuage ou à la ségrégation tout en réduisant les chaleurs d'hydratation. Pour les bétons durcis, la finesse de la fumée de silice permet de créer une microstructure très dense à caractéristiques mécaniques élevées en réduisant les teneurs en eau grâce à l'adjuvantation. Ces bétons ont ainsi une résistance nettement renforcée vis-à-vis des agents ou des phénomènes agressifs.

Chapitre II :

**Caractérisation des matériaux utilisés et des
essais destructifs et non destructifs**

CHAPITRE II / CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISENT

II.1.Introduction :

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

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR)
- Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila
- Le ciment CEM II/B 42.5 de la cimenterie Lafarge de Hammam Dhalàa (M'sila)
- L'eau potable du laboratoire (laboratoire de génie civil de M'sila)
- Gravier recyclé : Issus d'éprouvettes d'ancien béton du laboratoire de génie civil.
- Adjuvant (Superplastifiant de la société Granitex (MEDAFLUID SP 40)
- Fumée de silice

II.2.Matériaux utilisés:

Nous avons utilisé des matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement dans cadre de ce projet et qui ont fait l'objet d'essais réalisés par nos soins au laboratoire de génie civil à l'Université de M'sila.

II.3. Caractéristiques des matériaux :

II.3.1. Caractéristiques du gravier :

II.3.1.1. Analyse granulométrique par tamisage [NF EN 933-5] :

Le gravier de base utilise 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**).

a) Gravier concassé :

) But de l'essai

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

TableauII.1 : L'analyse granulométrique de gravier concassé (3/8) (8/16).

	Ouverture du tamis (mm)	Refus partiel (g)				Refus cumulé	% des refus cumulés	% de tamis cumulé
		Essai 01	02	03	Moy			
Gruvier 3/8 1600g	8	10.1	18	6.8	11.63	11.63	0.726	99.274
	6.3	246.2	265.4	297	267.86	279.49	17.47	82.53
	5	499.3	484.5	515.6	498.46	777.95	48.62	51.38
	4	423.5	435.9	439.2	432.86	1210.81	75.67	24.33
	3.15	290.7	288.9	240.3	275.3	1486.11	92.88	7.12
	2.5	115.5	95.3	87.3	99.36	1585.47	99.09	0.91
	Fond	13.2	9.8	13.1	12.033	1597.503	99.84	0.16
Gruvier 8/16 3200g	16	25.4	20.7	27	24.36	24.36	0.76	99.24
	12.5	729.3	724.6	828.1	760.66	785.02	24.53	75.47
	10	1264.9	1277.2	1180.9	1241	2026.02	63.31	36.69
	8	765.1	763.4	754.8	761.1	2787.12	87.097	12.903
	6.3	400.2	392.9	391.7	394.93	3182.05	99.44	0.56
	Fond	13.2	20	15	16.06	3198.11	99.94	0.06

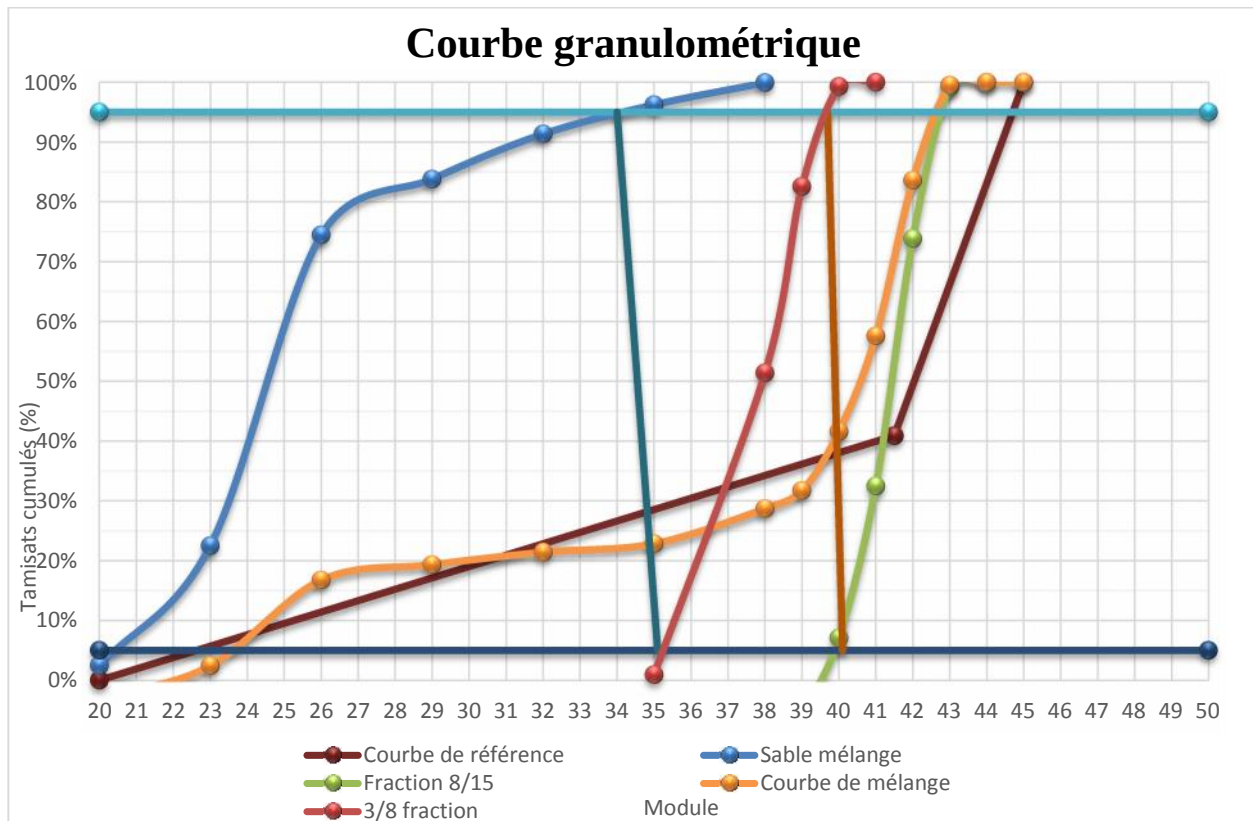


Figure II.1 : Courbe granulométrique des granulats concassés (3/8), (8/16).

b) Gravier recyclé :

La source de ces éprouvettes est un béton local fabriqué dans le chantier et testé dans le laboratoire.

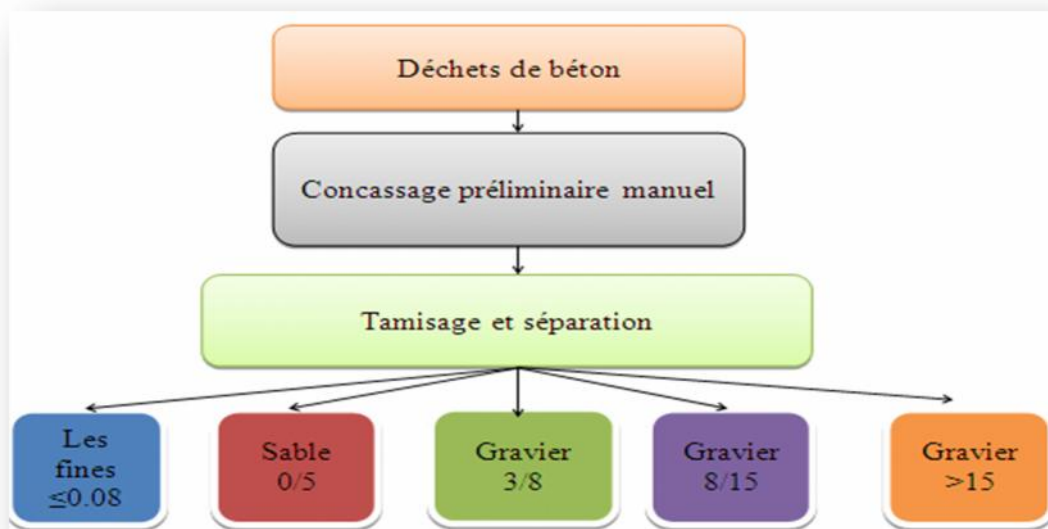


Figure II.2 : Procédure de préparation des granulats recyclés.

Tableau II.2 : L'analyse granulométrique de graviers recyclés (3/8) (8/16).

	Ouverture du tamis (mm)	Refus partiel (g)				Refus cumulé	% des refus cumulés	% de tamis cumulés
		Essai 01	02	03	Moy			
Gravier 3/8 1600g	8	21	33.4	53	35.8	35.8	2.23	97.23
	6.3	824	839.1	838.3	833.8	869.6	54.35	45.65
	5	276	263.6	270.4	270	1139.6	71.225	28.77
	4	288	275.2	259.3	274.16	1413.76	88.36	11.64
	3.15	143	149.7	131.5	141.4	1555.16	97.19	2.81
	2.5	41	33	37	37	1592.16	99.51	0.49
	Fond	7	4.3	8.9	6.73	1598.89	99.93	0.07
Gravier 8/16 3200g	16	93	112	145.3	116.76	116.76	3.64	96.36
	12.5	1661.2	1458.4	1401.2	1506.93	1623.69	50.74	49.26
	10	939.4	1110.1	1113.4	1054.3	2677.99	83.68	16.32
	8	397	417.1	415	409.7	3087.69	96.49	3.51
	6.3	97	84	110	97	3184.69	99.52	0.48
	Font	11	18	14	14.33	3199.02	99.96	0.04

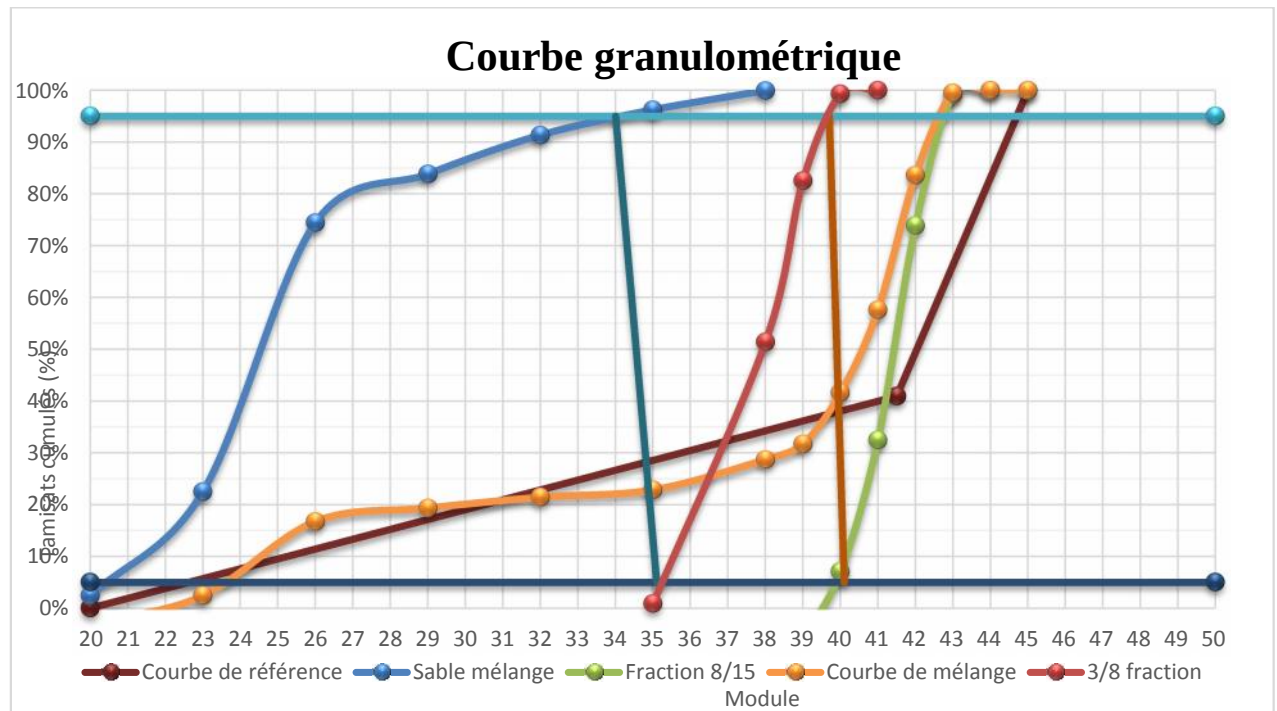


Figure II.3 : Courbe granulométrique des granulats recyclés (3/8), (8/16).

En sens physique ; c'est le degré de remplissage de la masse d'un corps par la matière solide. Elle est calculée par le rapport de la masse volumique de ce matériau à celle de l'eau à une température Elle est exprimée sans unité.

II.3.1.3 Masse volumique :

a) La masse volumique apparente (γ):

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm^3 ; Kg/m^3 ; t/m^3).

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

Tableau II.3 : La masse volumique apparente (ρ) du gravier concassé (3/8), (8/16).

matériaux	M ₁ (kg)	V(l)	M ₂ (kg)	γ_{app}	γ_{moy} (kg/l)
3/8	2.922	7	12.640	1.388	1.392
			12.693	1.395	
			12.674	1.393	
8/16	3.467	10	17.521	1.405	1.403
			17.500	1.403	
			17.480	1.401	

Tableau II.4 : La masse volumique apparente (ρ) du gravier recyclé (3/8), (8/16).

matériaux	M ₁ (kg)	V (l)	M ₂ (kg)	γ_{app}	γ_{moy} (kg/l)
3/8	2.922	7	11.580	1.236	1.148
			11.426	1.214	
			11.483	1.223	
8/16	3.467	10	16.725	1.325	1.239
			16.691	1.322	
			16.588	1.312	

b) La masse volumique absolue ou spécifique (ρ):

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte des vides et des pores). Elle est exprimée en (t/m^3 , kg/dm^3 , g/cm^3).

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

Tableau II.5 : La masse volumique absolue (ρ) du gravier concassé (3/8), (8/16).

matériaux	M(g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ_{abs}	ρ_{moy} (kg/l)
3/8	300	300	410	2,73	2.69
			415	2,61	
			410	2,73	
8/16	300	300	415	2,61	2.65
			415	2,61	
			410	2,73	

Tableau II.6 : La masse volumique absolue (ρ) du gravier recyclé (3/8), (8/16).

matériaux	M(g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ_{abs}	ρ_{moy} (kg/l)
3/8	300	300	442	2,112	2.117
			441	2,112	
			441	2,127	
8/16	300	300	443	2,097	2.102
			442	2,112	
			443	2,097	

II.3.1.4. La porosité :

C'est le rapport du volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P (\%) = \frac{V}{V} \times 100$$

En peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

$$P (\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100$$

II.3.1.5. La compacité :

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle exprime en pourcentage (%) et donner par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{V}{V} \times 100$$

Aussi :

$$C(\%) = 1 - P$$

II.3.1.6. L'indice des vides :

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granulats.

$$e(\%) = \frac{V}{V}$$

Aussi :

$$e(\%) = \frac{1-C}{C}$$

Tableau II .7 . Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé.

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C(%)	Indice des vides e(%)
(3/8)	48.30	51.70	0.93
(8/16)	47.1	52.9	0.77/0.89

Tableau II.8. Porosité, compacité et indice des vides du gravier recyclé.

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C(%)	Indice des vides e(%)
(3/8)	42.2	57.8	0.73
(8/16)	37.3	62.7	0.59

II.3.1.7. Essai Los Angeles [NF EN 1097- 2]:

Les résultats obtenus sont inscrit dans le tableau ci-dessous :

TableauII.9 :Résultats d'essai de Los Angeles du gravier concassé (8/16).

Fraction granulaire	L _A (%)
(8/16)	20.12

Les valeurs de la résistance à la fragmentation montrent que le gravier testé est dure et reconnue apte pour la confection du béton.

Tableau II.10 : Résultats d'essai de Los Angeles du gravier recyclé (3/8), (8/16).

Fraction granulaire	L _A (%)
(8/16)	35.28

Les valeurs de la résistance à la fragmentation montrent que le gravier testé est assez dur et reconnu apte pour la confection du béton.

II.3.1.8. Degré d'absorption d'eau [NA EN 1097-6]

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est exprimée en (%) et définit par la formule :

$$A (\%) = [(M_H - M_S)/M_S].100$$

M_H : La masse du matériau saturé d'eau en (g).

M_S : La masse du matériau sec en (g).

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.11 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16) concassé.

Fraction	M _H (g)	M _S (g)	A (%)
(3/8)	1000	970	3.09
(8/16)	1000	974	2.66

Tableau II.12: Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16) recyclé.

Fraction	M _H (g)	M _S (g)	A (%)
(3/8)	1000	910	9.85
(8/16)	1000	933	7.18

II.3.2. Caractéristique du sable :

Le sable utilisé dans nos travaux est un sable de Boussaâda. Ce sable est prélevé dans une zone située au sud de M'sila (OUED MAITHER) d'où les caractéristiques sont citées ci-après :

II.3.2.1. Analyse granulométrique [NF EN 933-1]

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable de BOUSAADA est inscrite dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.13 : Analyse granulométrique du sable de BOUSAADA.

Diamètre des tamis (mm)	Refus élémentaire (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisé cumulés (%)
5	0.4	0.4	0.03	99.97
2,50	85.1	85.5	5.7	94.30
1,25	120.1	205.7	13.71	86.29
0,63	137.2	342.9	22.8	77.14
0,315	570.8	913.7	60.91	39.09
0,16	540.4	1454.1	96.84	3.06
0,08	40.3	1494.4	99.63	0.37
Fond	5.6	1500	100	0.00

II.3.2.2. Modules de finesse [NF EN 12620] :

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme de refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis.

$$MF = \Sigma R_i / 100$$

$$MF = \frac{1}{100} \sum (\text{refus cumulés en \% des tamis} \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\})$$

$$MF = 0.03 + 5.7 + 13.71 + 22.8 + 60.91 + 96.84 / 100 = 1.98 \quad MF = 1.98$$

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à :

MF = 1.98, MF < 2 (C'est un sable fin).

II.3.2.3. Equivalent de sable : [NF EN 933-8]

En a répété l'essai 03 fois, les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tableau II.14 : Résultats d'essais d'équivalent de sable du sable de dune testé.

Hauteur (cm)	h_1	h_2	$E_{SV}(\%)$	$E_{SVmoy}(\%)$	h'_2	$E_{SP}(\%)$	$E_{SPmoy}(\%)$
Echantillon (1)	10.9	9	82.57	82.37	8.3	76.15	75.98
Echantillon (2)	11	9	81.82		8.3	75.45	
Echantillon (3)	11	9.1	82.72		8.4	76.36	

Le sable testé donne les résultats suivants :

$E_{SV} = 82.37 (\%)$
 $E_{SP} = 75.98 (\%)$

Le sable est considéré argileux et nécessite un lavage avant son utilisation.

II.3.2.4. Caractéristiques physiques du sable :

Il est nécessaire de déterminer tous les caractéristiques physiques pour le sable de dune .

a) Masse volumique apparent [EN 1097-6]

a.1) Masse volumique à l'état lâche :

a.2) Masse volumique à l'état compacte :

C'est la masse du matériau par unité de volume après remplissage du récipient et le compacter par tassement à 25 secousses manuelles, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M_2 la masse de l'ensemble (sable +récipient) M_1 la masse de le récipient.

La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = (M_2 - M_1) / V_r$$

M_1 : Masse du récipient vide

M_2 : Masse du récipient plus le sable

V_r : Volume du récipient ($V_r = 1L$).

b) La porosité:

La porosité d'un matériau est le rapport du volume des vides au volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides .

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = [1 - (\gamma/\rho_s)] \times 100\%$$

b.1) à l'état lâche : $P_L = [1 - (\gamma_L/\rho_s)] \times 100\%$

b.2) à l'état compact : $P_c = [1 - (\gamma_c/\rho_s)] \times 100\%$

c) La compacité:

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

$$C = 1 - P$$

c.1) à l'état lâche : $C_L = 1 - P_L$

c.2) à l'état compacte : $C_c = 1 - P_c$

d) L'indice des vides :

Le rapport de volume de vide sur le volume de solide :

$$e = p / (1 - p)$$

d.1) à l'état lâche : $e_L = P_L / (1 - P_L)$

d.2) à l'état compacte : $e_c = P_c / (1 - P_c)$

On note ici que les résultats présentés dans le tableau (II.19) ci-dessous sont calculés comme moyennes des essais effectués en laboratoire après avoir fait l'échantillonnage.

Les résultats qui regroupés dans le tableau suivant : sont tirés d'après une étude de caractérisation du sable.

Tableau II.15 : Caractéristiques physiques du sable de dune (OUED MAITHER).

Propriété	Valeurs
Masse volumique apparente	1.485
Masse volumique absolue	2.6
Masse volumique à l'état lâche	1.485
Masse volumique à l'état compact	1.63
Compacité à l'état lâche	57.12
Porosité à l'état lâche	42.88
Indice des vides à l'état lâche	0.75
Compacité à l'état compact	62.7
Porosité à l'état compact	37.3
Indice des vides à l'état compact	0.75
Degré d'absorption	1.45

II.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé :

II.3.3.1. Présentation du ciment (MATINE) : [NF EN 197-1]

C'est un ciment CEM II/B 42.5 N, provient de la cimenterie Lafarge de HAMMAM DALAA, Wilaya de M'SILA. Il est gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme [NA EN 197-1].

II.3.3.2. Domaines d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets de construction qui nécessitent de hautes résistances mécaniques mais qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment. [MATINE, 2013]

Les principales applications de ce ciment sont :

-) Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) ;
-) Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport, etc.) ;
-) Secteur hydraulique (barrages, château d'eau, stations d'épuration, etc.) ;
-) Secteur industriel.

II.3.3.3. Analyses et caractérisation :

Tous les résultats mentionnés ci-après sont tirés à partir de la fiche technique du ciment MATINE obtenu du fournisseur [MATINE, 2013].

Tableau II.16 : Analyse chimique du ciment MATINE.

Composantes	Valeur (%)	Norme
Teneur en sulfates SO_3	2.00 à 2.70	NA 5042
Teneur en oxyde de magnésium MgO	1.00 à 2.20	
Teneur en chlorures	0.01 à 0.05	
Teneur en équivalent en alcalis	0.3 à 0.75	
Perte au feu	7.50 à 12.00	
Résidus insolubles	0.7 à 2.00	

Tableau II.17: Composition minéralogique du clinker.

Composantes	Valeur (%)
Silicates tricalciques C3S	58 à 64
Silicates bicalciques C2S	12 à 18
Aluminates tricalciques C3A	6.00 à 8.00
Aluminoferri-tétracalciques C4AF	10.00 à 12.00

Tableau II.18 : Propriétés physiques du ciment utilisé.

Propriété	Valeur
Consistance normale	25 à 28.50 (%)
Surface spécifique Blaine	4150 à 5250 (cm ² /g)
Retrait à 28 jours	<1000 (µm/m)
Expansion	0.3 à 2.5 (mm)
Masse volumique apparente	1.005 (kg/dm ³)
Masse volumique spécifique	3.02 (kg/dm ³)

Tableau II.19 : Temps de prise à 20°C.

Temps de prise	Temps (min)	Norme
Début de prise	140 à 195	NA 230
Fin de prise	195 à 290	

Tableau II.20: Résistance mécanique à la compression.

Age de l'éprouvette	Résistance à la compression (MPa)	Norme
02 jours	≥ 10.0	NA 234
28 jours	≥ 42.5	

II.3.4. L'eau de gâchage :[NA EN 1008]

Nous avons utilisés pour le gâchage de notre béton l'eau de robinet disponible au niveau de notre université.

II.3.5. Adjuvant :

On a utilisé dans notre projet de recherche pour cette étude un adjuvant **MEDAFLUID SP 40** :est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à la base de polcarboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité le **MEDAFLUID 40** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.

MEDAFLUID 40 ne présente pas d'effet retardateur.

✓ **Caractéristiques**

-) Forme liquide
-) Couleur brai clair
-) Densité.....5-6
-) Ph.....1.065±0.015
-) Teneur en chlore≤1g/l
-) Extrait sec.....30±1.5%

II.3.6. Fumée de silice [NF EN 13263-1]

Il s'agit d'un sous-produit de la fabrication du silicium métal et de ses alliages, la fumée desilice obéit à la norme **[NF EN 13263-1]**. Elle se caractérise par un diamètre des particules Sphériques ultra fines (entre 0,01µm) et par une teneur en silice amorphe de plus de 90%. L'emploi de la fumée de silice doit se faire conjointement avec un fluidifiant du type Superplastifiant afin de remédier à l'agglomération causée par sa finesse. Une bonne dispersion, Permet aux particules de la fumée de silice de se placer entre les interstices des grains de ciment, Diminuant ainsi la quantité d'eau nécessaire au mélange. L'utilisation de la fumée de silice Conduit à des bétons extrêmement compacts à caractéristiques mécaniques élevées et une Résistance nettement renforcée vis-à-vis des milieux agressifs.

Tableau II.21: Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
SiO ₂	85 – 95	Masse volumique	2.2	g/cm ³
CaO	0.8 – 1.2	absolue		
MgO	1 – 2	Densité	250	Kg/cm ³
Fe ₂ O ₃	0.05 – 1	Surface spécifique	15000	m ² /Kg
Al ₂ O ₃	1 – 3	de Blaine		/
Pert de feu	0.5 – 1	Taille des particules	<1	µm

II. 4. Formulation du béton

Pour l'étude expérimental de la formulation du béton, on a utilisé la méthode de Dreux_Gorisse .

II.4.1. Méthodes de Dreux_Gorisse :

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

- Une méthode assez simple et facile à utiliser.
- C'est une méthode appliquée au niveau des laboratoires de l'est algérien comme ceux DuC.T.C.Est, le L.T.P.Est et autres laboratoires privés

II .4.2. Volume des mélanges d'essais

Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$[(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395$$

Formulation de Béton à base d'agrégats concassé

$$E=209.311$$

$$C=336.11 \text{ kg/m}^3$$

$$S=579.55 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{3/8}=128.24 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{8/16}=1095.38 \text{ kg/m}^3$$

Formulation de Béton à base d'agrégats recyclé

$$E=211.671$$

$$C=4601 \text{ kg/m}^3$$

$$S=495.05 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{3/8}=118.19 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{8/16}=1004.85 \text{ kg/m}^3$$

II.5. les essais destructifs et non destructifs**II.5.1. Les méthodes d'essai destructif sur le béton :****II.5.1.1. Essai de compression :**

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme [NF EN 12390-3], sur des éprouvettes cubiques de dimensions (10 x 10 x 10 cm³) respectivement (Figure II.7), mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression f obtenus à 714, 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des f_{cj} cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kN en

compression. L'expression des résultats sera donnée par la relation $R_c = F/S$ (en MPa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette [38].



Figure II.4. Presse hydraulique capacité 3000 KN.

II.5.1.2. Essais de traction par flexion :

Effectuer sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7 x 7 x 28 cm³) (**Figure II.8**) mûries à l'eau, conformément à la norme [NF EN 12390-5]. La résistance à la traction f obtenue à 28 jours. L'appareil utilisé est une presse hydraulique **ft28** de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement. L'expression des résultats pour exprimer la contrainte sera donnée par la relation $f_t = 1.8F/(axa)$ en MPa [38].



Figure II.5 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.

II.5.2. Les méthodes d'essais non-destructifs sur le béton :

II.5.2.1 Essai au scléromètre :

C'est la méthode de dureté superficielle consiste essentiellement à une auscultation du béton par une manière standard (**Figure II.4**), en utilisant une masse donnée activée par une certaine énergie puis mesurer ensuite le rebondissement [39].

✓ **Principe** [NF EN 12504-2] :

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse Comme la (**Figure II.10**).



Figure II.9 : L'appareil de scléromètre

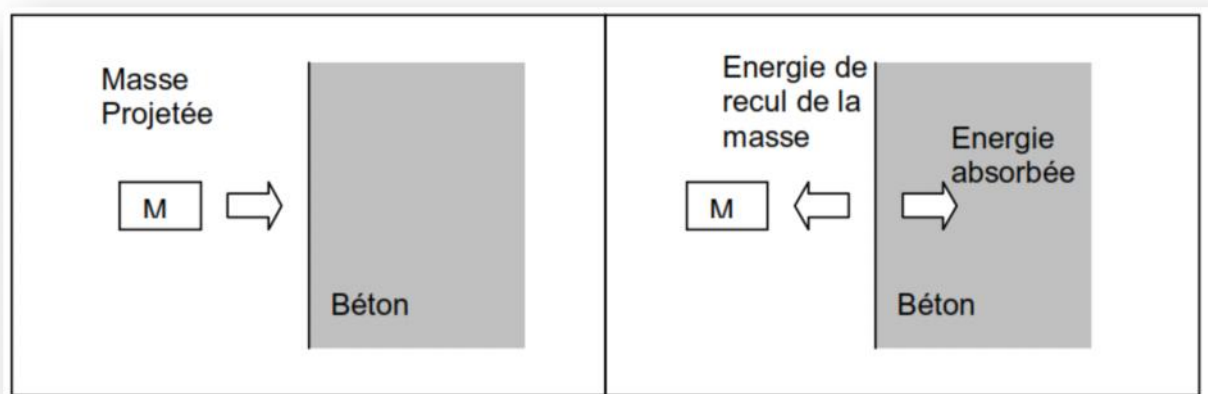


Figure II.10 : Principe du Scléromètre.

II.5.2.3 Essai d'auscultation dynamique :

Connu depuis longtemps cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton (**Figure II.10**) [39].



Figure II.10 : Appareil d'auscultation sonore

✓ **Principe [NF EN 12504-4] :**

La méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, à parcourir une distance connue.

II.5.3 Méthodes combinées :

La méthode combinée permet une appréciation de la résistance de béton in situ en relation avec l'indice sclérométrique et la vitesse de son. Indépendamment du type d'essai utilisé, les données proportionnées et fiables de corrélation avec des données standard de la résistance à la compression en **28j**. Cette solution est particulièrement avantageuse lorsque des variations des Propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires. Par exemple, lorsqu'une augmentation du taux d'humidité augmente la vitesse de son, mais diminue l'indice de rebondissement enregistré [39].

II.6. Conclusion :

Chapitre II donne un récapitulatif sur les différents matériaux utilisés et les résultats obtenus des essais de leurs caractérisation au niveau du laboratoire de génie civil ou à partir des fiches techniques délivrées par le fournisseur.

Ce chapitre contient une synthèse bibliographique sur les essais destructif et non destructif Qui sont appliqués sur le béton à l'état durci. La sécurité des constructions a été depuis toujours l'un des premiers soucis. Le mauvais comportement de nos constructions lors d'une tragédie est souvent expliqué par la mauvaise qualité des bétons utilisés. Pour cette raison, le suivi et le contrôle de la qualité du béton dans les différentes phases de la mise en œuvre demeurent strictement nécessaires.

Chapitre III:

Résultats et discussion

Chapitre III / Résultats et Discussion

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais physiques et mécaniques réalisés sur un béton ordinaire et recyclé additionné par un ajout et un adjuvant (fumée de silice et superplastifiant), pour voir l'influence des matériaux qu'indiqué précédemment sur les propriétés du béton ordinaire et recyclé à l'état frais et à l'état durci.

III.2. Les formulations des bétons étudiés :

-) **BO** : Béton Ordinaire.
-) **BOA** : Béton Ordinaire adjuvant (1.5%).
-) **BOF** : Béton Ordinaire fumée de silice (5%).
-) **BOAF** : Béton Ordinaire adjuvant (1.5%) fumée de silice(5%).
-) **BR** : Béton recyclée.
-) **BRA** : Béton recyclée Ordinaire adjuvant (1.5%).
-) **BRF** : Béton recyclée fumée de silice(5%).
-) **BRAF** : Béton recyclée adjuvant (1.5%) fumée de silice (5%).

III.3. Présentation des résultats :

Dans cette partie, nous allons discuter les résultats obtenus d'après les essais exécutés afin de caractériser les bétons ordinaires et bétons recyclés à base d'un adjuvant **MEDAFLOWSP 45** et d'une addition de fume de silice(**BR**) confectionnés, en deux états essentiels : « frais et durci » à partir des mélanges obtenus par la méthode de DREUX GORISSE[40].

Tableau III.1 : Résultats des essais des propriétés physico-mécaniques des mélanges étudiés de la Classe 30 à base d'agrégats concassés

Type de béton	ρ frais(K g/m ³)	Age (jours)	ρ durci(K g/m ³)	Moy	compression		Scléromètre		Ultrason			
					(cube) MPa	Moy	Indice (Is)	Moy	T (μ s)	Moy	V (Km/s)	Moy
BTO	2.538	7	2.415	2.371	27.48	29.42	21.5	21.05	24.1	24.15	4.15	4.13
	2.564		2.282		31.65		21		24.4		4.09	
	2.521		2.417		29.15		20.66		23.95		4.17	
	2.541	14	2412	2.375	32	32.33	29.5	29.5	23	23	4.34	4.34
			2394		31.8		29		23		4.34	
			2.321		33.2		30		23		4.34	
		28	2.416	2.436	35.69	38.85	32	31.99	22.6	22.76	4.42	4.39
			2.456		41.86		32.33		22.8		4.38	
			2.436		39.02		31.66		22.85		4.37	
BOA	2.447	7	2.396	2.389	31.09	32.63	30.5	31.5	23.5	23.4	4.28	4.27
	2.479		2.382		34.7		32		23.75		4.21	
	2.419		2.391		32.1		32		23.1		4.32	
	2.44	14	2.441	2.434	39.8	37.87	35.33	34.1	23	22.85	4.34	4.37
			2.424		36.61		33.66		22.95		4.35	
			2.437		37.21		33.33		22.6		4.42	
		28	2.458	2.447	40.51	39.01	36	35.77	23.2	23.05	4.22	4.32
			2.44		37.5		36.33		23.2		4.31	
			2.444		39.02		35		22.75		4.37	
BOAF	2.603	7	2.460	2.451	34.19	36.29	31.33	30.61	23.4	23.05	4.27	4.33
	2.589		2.451		38.29		30		22.55		4.43	
	2.421		2.444		36.4		30.5		23.2		4.31	
	2.53	14	2.481	2.461	36.63	37.31	33	33.33	22.5	22.25	4.44	4.49
			2.453		38.1		34		22		4.54	
			2.451		37.2		33		22.25		4.49	
		28	2.461	2.474	39.5	40.09	35.33	35.91	22.25	22.28	4.49	4.46
			2.479		40.67		36		22.6		4.42	
			2.482		40.12		36.4		22		4.47	
	2.521	7	2.409	2.412	30.2	29.95	28	27.83	23.2	23.56	4.25	4.25
	2.509		2.421		29.52		27		23.5		4.33	
	2.533		2.406		30.14		28.5		24		4.18	
	2.521	14	2.428	2.386	34.21	35.06	31.5	32.16	22.5	22.81	4.21	4.24
			2.432		35.6		33		23.2		4.12	
			2.3		35.37		32		22.75		4.39	
		28	2.449	2.445	39.18	39.45	37	36.5	22.2	22.23	4.25	4.32
			2.444		39.15		37.5		22.5		4.41	
			2.443		40.02		35		22		4.32	

Tableau III.1 : Résultats des essais des propriétés physico-mécaniques des mélanges étudiés de la Classe 30 à base d'agrégats recycler.

Type de béton	ρ frais (Kg/m ³)	Age (jours)	ρ durci (Kg/m ³)	Moy	compression		Scléromètre		Ultrason			
					(cube) MPa	Moy	Indice (Is)	Moy	T (μ s)	Moy	V Km/s	Moy
BRT	2.389	7	2.285	2.299	27.93	26.75	26	25	25.65	25.88	3.89	3.86
	2.43		2.319		26.01		24		26		3.84	
	2.441		2.293		26.3		25		26		3.84	
	2.42	14	2.325	2.338	28.21	29.76	28	28.66	24.4	24.01	4.09	4.16
			2.348		30.75		29		23.85		4.19	
			2.341		30.31		29		23.8		4.2	
		28	2.308	2.345	32.9	32.23	30	30.22	23.8	23.5	4.2	4.23
			2.373		30.78		30.66		23.3		4.29	
			2.355		33.02		30		23.4		4.21	
BRA	2.38	7	2.331	2.349	23.01	23.64	26	26.66	24	24	4.16	4.16
	2.436		2.369		24		27		24		4.16	
	2.389		2.347		23.9		27		24		4.16	
	2.402	14	2.342	2.359	32.73	30.64	29.5	29	24.15	24.1	4.13	4.15
			2.377		30.17		29.5		24.2		4.14	
			2.358		29.01		28		23.95		4.17	
		28	2.348	2.387	38.39	37.08	30.33	30.33	22.9	22.76	4.36	4.39
			2.411		36.84		29.66		22.75		4.39	
			2.402		36.02		31		22.65		4.14	
BRAf	2.329	7	2.25	2.274	28.8	27.17	28	27.33	28	28	3.57	3.57
	2.325		2.297		24.5		27		28		3.57	
	2.283		2.275		25.2		27		28		3.57	
	2.312	14	2.251	2.281	24.5	26.06	28.33	28.55	26.7	26.9	3.74	3.86
			2.31		26.48		29.66		25.6		3.9	
			2.283		27.2		27.66		25.4		3.93	
		28	2.255	2.271	31.55	32.15	31.33	31.33	24.45	24.48	4.09	4.08
			2.29		32.66		30.66		24.9		4.01	
			2.268		32.25		32		24.1		4.14	
BRF	2.274	7	2.32	2.221	24.9	25.77	24.33	24.61	27	25.77	3.68	3.69
	2.39		2.22		25.3		24.5		24.3		3.54	
	2.432		2.125		27.12		25		25.5		3.86	
	2.3652	14	2.365	2.282	34.13	32.64	28.33	26.78	25.4	32.65	3.95	4.07
			2.235		33.39		25.5		23.2		4.12	
			2.246		30.42		26.5		24.13		4.15	
		28	2.355	2.325	36.54	36.23	31.5	31.39	22.6	36.23	4.24	4.26
			2.312		37.2		32		23.1		4.32	
			2.309		34.95		30.66		22.17		4.21	

III.3.1. Résultats des essais à l'état frais:

) Le rapport E/C:

Le tableau III.1 présente les résultats de rapport E/C sur les différents types des **BO/BR** avec la fumée de silice et le superplastifiant.

Tableau III.3 : Le rapport E/C du béton ordinaire et recyclé.

Type de béton	BO	BOA	BOF	BOAF	BR	BRA	BRF	BRFA
E/C	0.56	0.4	0.5	0.46	0.61	0.48	0.52	0.48

Commentaire :

On note d'après les résultats obtenus dans le tableau précédant, que le béton recyclé (**BR**) indiquée la plus grande valeur de rapport E/C par rapport le béton ordinaire par une augmentation de **8.2%**. Et le même principe pour les autres types de bétons utilisés.

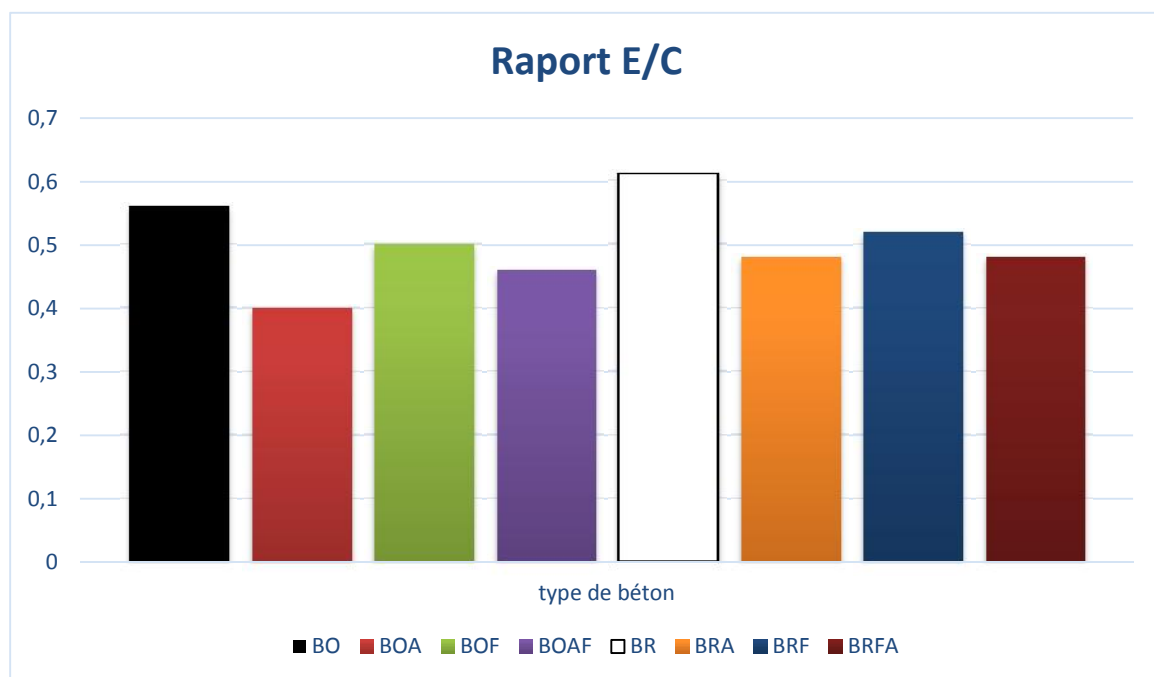


Figure III.1 : La variation du rapport (E/C) pour les différents types du béton (recyclé, ordinaire)

L'introduction de fumée de silice et le superplastifiant entraîne une réduction de rapport E/C au béton de référence **BO/ BR** d'environ **17.8 %** et **21.31%** respectivement, dans une formulation qui contenant **5%** de **FS** et **1.5 %** de **SP**.

) La masse volumique apparente:

(Figure III.2) présente les résultats de La masse volumique sur les différents type des **BO/BR** avec la fume de silice et le superplastifiant.

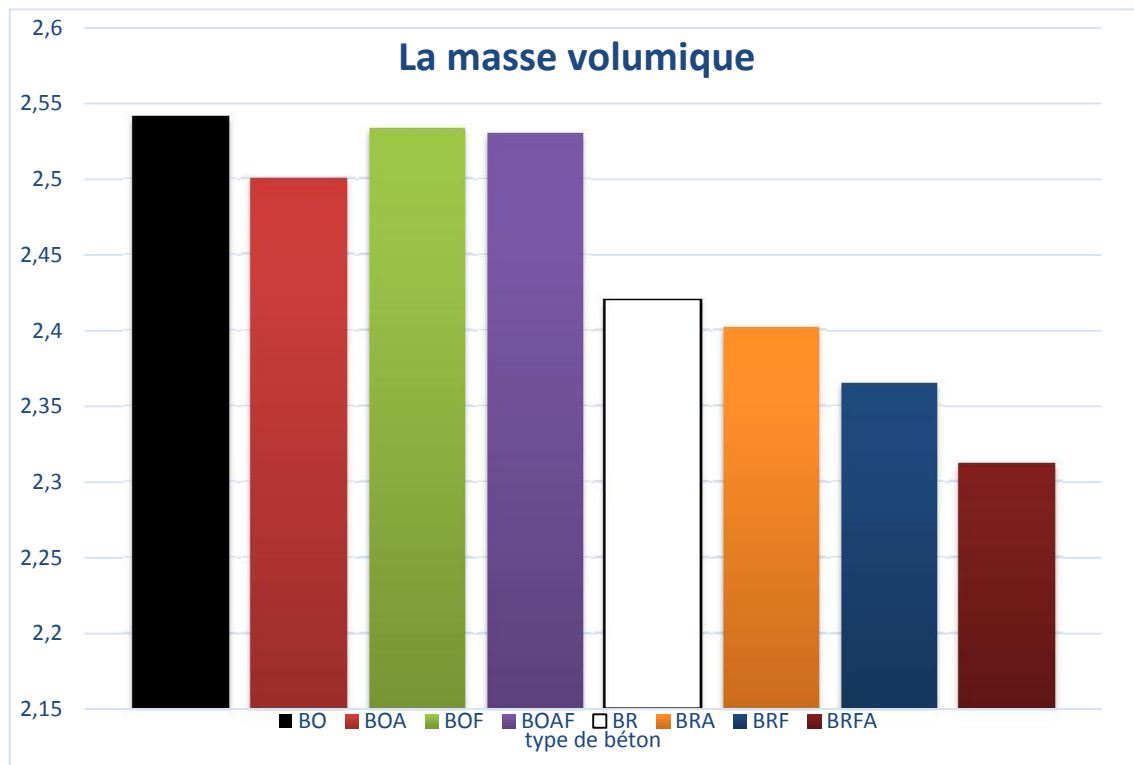


Figure III.2: La variation de la masse volumique apparente pour les différents types des bétons (recyclé, concassé).

On observe dans la (Fig.III.2) que la masse volumique de (**BO**)est supérieure à celle des (**BR**), d'une façon légère de l'ordre de **4.8%**,les autres types des bétons aussi signalés une réduction de la masse volumique d'environ **8.6%** lorsque ont ajouté un certain pourcentage du fumée de silice 5% avec un dosage de 1.5% de **MEDAFLOW SP45**, et même remarque pour les autres types des bétons utilisés.

On peut dire qu'il y a une proportionnalité entre la masse volumique et le pourcentage d'ajout, cette proportionnalité peut être expliquée par l'effet de l'arrangement des micros grains qui s'infiltrent dans les micros vides en augmentant la fermeté du béton donc on peut prouver que l'effet granulaire, conditionné par une finesse de mouture élevée par rapport à celle du ciment explique ce phénomène et bien sûr par l'intermédiaire du superplastifiant qui assure une meilleure mobilité [41].

III.3.2. Résultats des essais directs à l'état durci:

III.3.2.1 : La masse volumique apparente :

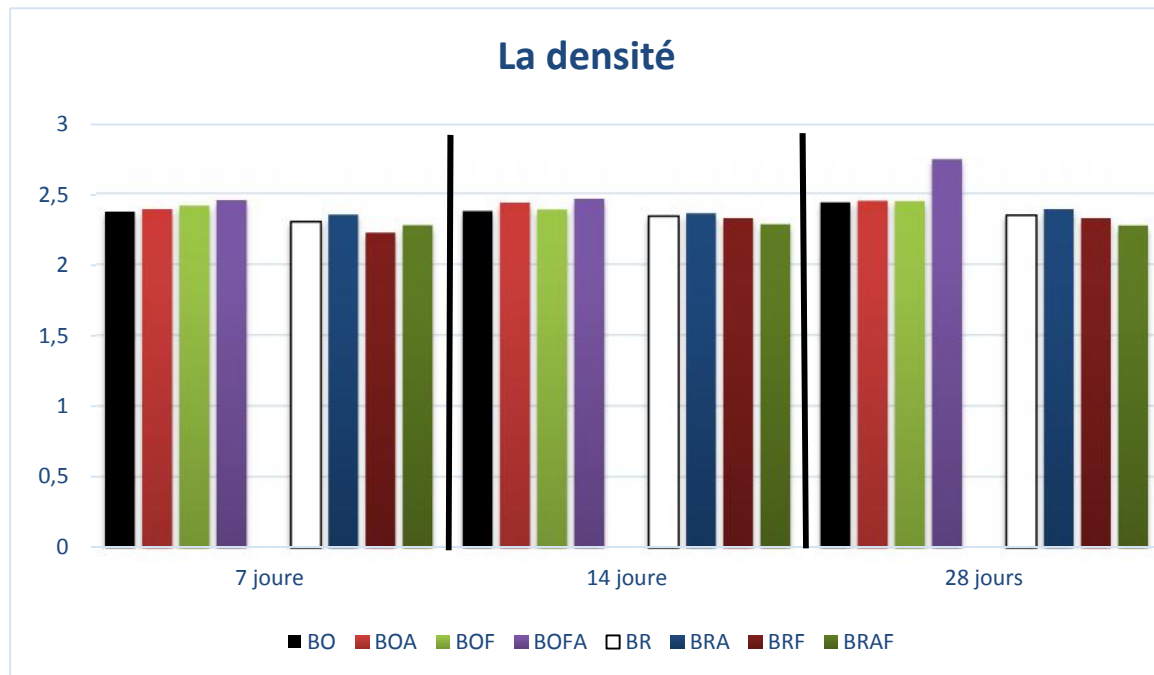


Figure III.3: La masse volumique apparente pour les différents types des bétons étudiés à (7, 14 et 28) jours.

Selon les figures (III.3), qui représentent le développement de la masse volumique à l'état durci des différents types des bétons étudiés (recyclés, concassé) avec un dosage de l'ajout et l'adjuvant constant en fonction de l'âge du béton (7, 14 et 28j), on note que la masse volumique des bétons qui donnée les remarques suivants :

-) Pour les bétons recyclés (**BR**) est toujours inférieure en comparaison avec les bétons ordinaire (**BO**) dans le (7, 14 et 28j) d'environ **3.03%, 1.6%** et **3.7%** respectivement, se traduit par l'effet de l'introduction des granulats recyclés qui considérés comme un système composé de deux phases distinctes La teneur en mortier résiduel attaché au granulat d'origine.
-) Pour les bétons ordinaires (**BOAF**) ajouté par (**5%**) de la fumée de silice et (**1.5%**) de **MEDAFLOW SP 45** supérieur par rapport les bétons recyclés (**BRAF**) enregistrés les pourcentages suivants **7.22%, 7.31%** et **17.11%** dans le (7, 14 et 28j) respectivement. Cette augmentation traduit par l'effet granulaire du fumée de silice qui remplir les vides et le superplastifiant (**MEDAFLOW SP45**) qui réduire la quantité de l'eau.
-) Pour les bétons recyclés à base de fumée de silice et superplastifiant (**BRAF**) la masse volumique reste constant d'environ (**2.281**) dans (7, 14 et 28j).

III.3.2.2. Taux d'absorption d'eau (A):

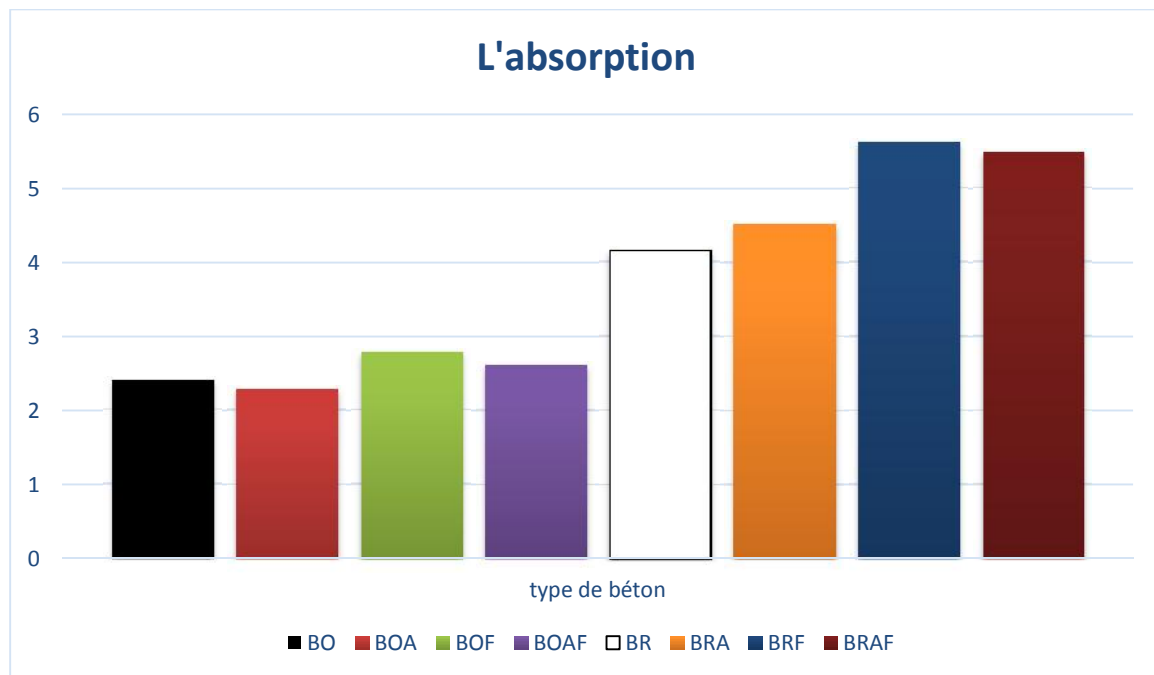


Figure III.4 : Absorption d'eau des bétons étudiés (recyclés (BR) et ordinaire (BO)).

On observe dans la (Fig. III.4) que le taux d'absorption de l'étude **BR** est supérieur à celle des **BO** l'ordre de **42%**, cette augmentation traduit par l'effet de la pâte ancien du mortier qui reste sur la surface des granulats de démolition des éprouvettes.

Le béton **BRF** indique un taux d'absorption maximal de **5.62 %** avec (**5% FS**) par rapport le béton (**BRAF**) parce que plus l'effet de l'introduction des granulats recyclés donc la nature de ce type, en plus les caractéristiques de fumée de silice qui demande une quantité d'eau plus élevée. Aussi à titre de comparaison, le béton (**BOAF**) avec un dosage fixé (**5% FS et 1.5% SP**) enregistre une réduction de l'absorption d'environ **52.4%** par rapport (**BRAF**) avec les granulats recyclés pour le même dosage, cette réduction remarquable est due à l'effet du superplastifiant qui est spécialement liée à la réduction de la quantité d'eau de gâchage. La même remarque pour les autres types de bétons adjuvés.

III.3.2.3. Résistance à la compression (Rc):

D'après les résultats inscrits dans la figure (Figure III.5) en bas on trouve une réduction de la résistance à la compression de l'ordre de **9.1%, 7.9%** et **17.04%** entre les deux types de béton (**BO/BR**) respectivement dans les jours (**7, 14 et 28 jours**), à cause de l'effet de remplacement de

la quantité des granulats concassé par granulats recyclé avec un taux de **100%** qui affaiblie l'adhérence entre la pâte et les granulats avec une dureté inférieure affaiblie le comportement mécanique.

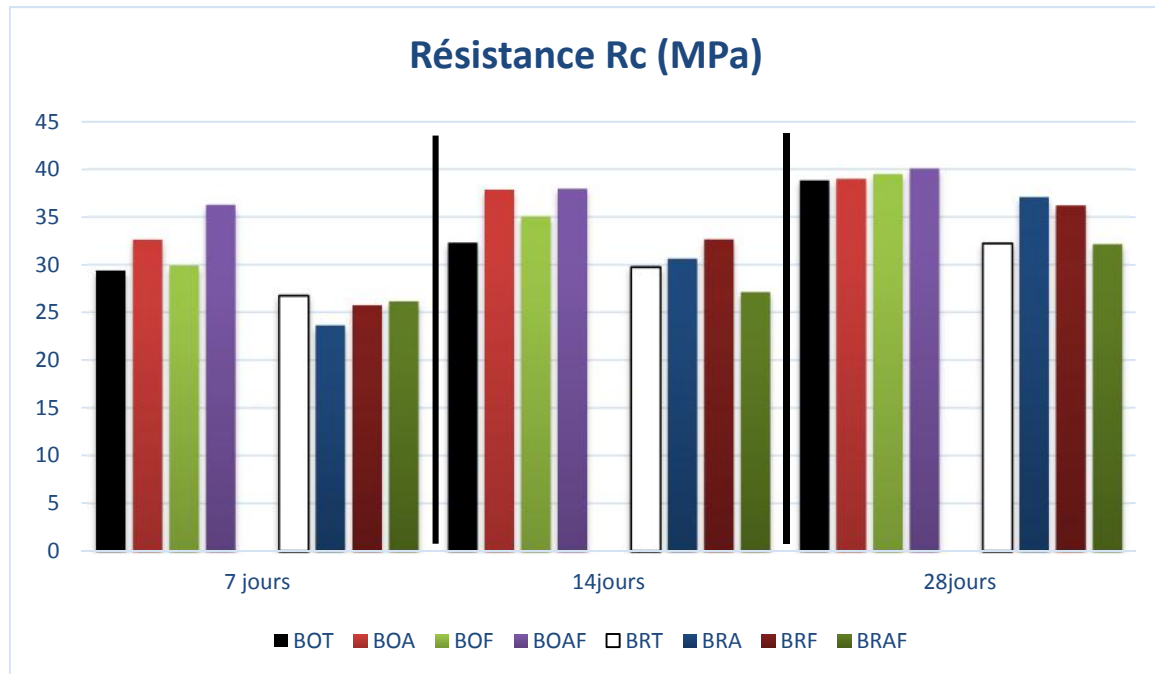


Figure III.5: Evolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge des différents bétons.

Et même remarque lorsque on ajout la fumée de silice et (**MEDAFLOW SP 45**) soit au même temps ou de la façon séparé, on observe aussi une valeur inferieur par rapport l'ordinaire de même ajout d'ordre **27.8%, 28.7%** et **20.9%** respectivement dans les jours (**7, 14 et 28j**) entre le (**BOAF/BRAF**). Mais dans le cas (**BR et BRA/BRF**) à titre de comparaison c'est l'inverse lorsque ont ajouté la fumée de silice et **MEDAFLOW SP 45** de façon séparé c'est mieux, par rapport l'utilisation au même temps. Il y a une augmentation d'environ **2.9%, 8.9%** et **13.1%, 11%** respectivement dans les jours (**14, 28j**), à cause de l'effet granulaire de **FS** qui réduire la porosité et l'effet de **MEDAFLOW SP 45** qui réduire la quantité d'eau.

Aussi la même remarque dans le cas de **BO** avec **FS (5%)** et **SP 45 (1.5%)** qui a été ajouté similairement augmenté la **Rc** de façon brusquement par rapport le **BR** d'ordre **26.3%, 21.6%** et **20.8%** respectivement, dans le (**7, 14 et 28j**) qui traduise sur l'effet significative de la fumée de silice et superplastifiant. Des études antérieures sont en accord avec les résultats trouvés dans la présente étude [41].

III.3.2.4. Résistance à la traction par flexion (Rt):

Tableau III.4 :Résistance à la traction par flexion des différents types de bétons à 28 jours.

Types de béton	BO	BOA	BOF	BOAF	BR	BRA	BRF	BRAF
Age (j)	28 jours							
Rt (MPa)	6.7	7.86	7.9	7.00	5.3	6.73	7.36	7.00

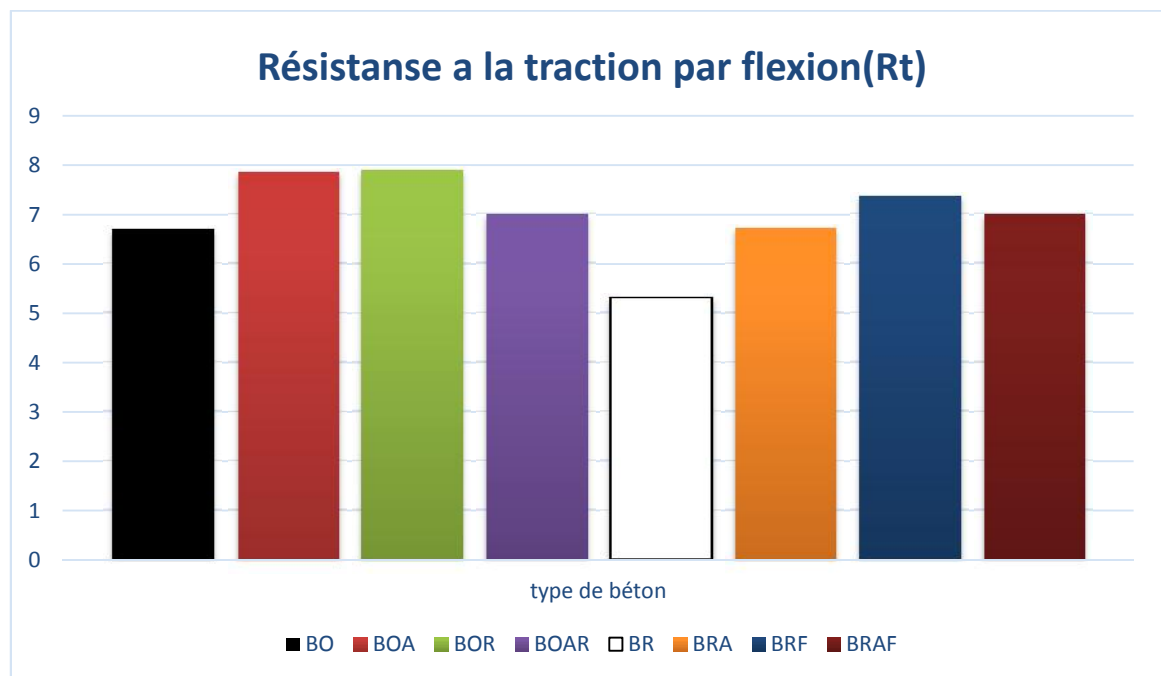


Figure III.6 :Evolutions de la résistance à la traction par flexion des bétons étudiés

D'après les résultats obtenus dans le (Tableau III.2) et (Figure III.5) ci-dessus on trouve une réduction de résistance à la traction par flexion de l'ordre de **20.9 %** dans la formulation contenant **100%** de granulats recyclés, par rapport à un béton ordinaire sans ajouts.

Dans le béton contient un dosage fixé de fumée de slice (**5%**) soit avec des granulats concassés ou recyclés augmentent la résistance à la flexion d'environ **15.2%** et **27.9%** respectivement par rapport **BO/BR** se traduit par l'amélioration de la compacité dans la micro structure de béton.

Et même remarque pour l'introduction de **MEDAFLOW SP 45** à dosage fixé d'environ (**1.5%**) par rapport **BO/BR** amélioré le comportement mécanique à traction par la flexion

d'environ **14.8%** et **21.3%** à partir de l'augmenter de la viscosité, l'ouvrabilité à l'état frais et la réduction de l'eau. A la fin ont remarqué que il n'a pas une modification ou amélioration de résistance dans le cas de **BOAF/BRAF** qui se traduise par une absence de l'interaction entre la fumée de silice et **MEDAFLOW SP 45**.

III.3.3. Résultats des essais non destructifs à l'état durci :

III.3.3.1. Ultrason:

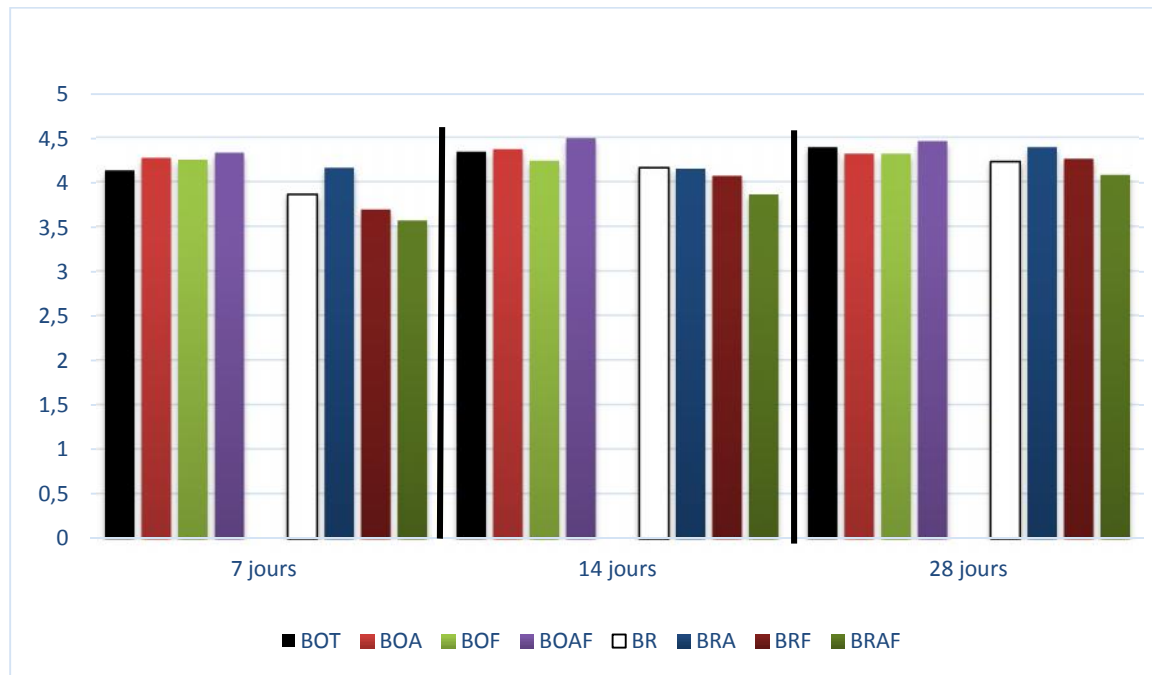


Figure III.7: Ultrason pour les différents types des bétons étudiés à (7,14 et 28) jours.

-) Selon la **figure III.7**, on remarque une vitesse de propagation entre **3.5 km/s** et **4.5 km/s**. ce qui implique un béton de bonne qualité d'après la norme et les intervalles de vitesse. Cependant, on peut dire que les conditions de déroulement de l'essai peuvent affecter les résultats obtenus de la vitesse ultrason et parfois même être contradictoire aux valeurs obtenues de résistance à l'écrasement. Toujours, en fonction du dosage **FS(5%)** et **SP (1.5%)** il y a une amélioration selon l'âge **7, 14** et **28** jours des bétons adjuvés par rapport au **BO** et **BR**. d'environ **4.6%**, **3.3%** et **2%** respectivement.
-) Pour la figure d'ultrason à **28** jours :

La **BOAF** enregistre la valeur maximale de **4.46 km/s** par rapport aux autres types de béton qui traduisent l'effet de **FS** et **SP**, remplissage des vides et augmentation de la compacité aussi à l'échelle microscopique grâce à la finesse élevée et la caractéristique de **SP** comme réducteur d'eau.

III.3.3.2. Scléromètre

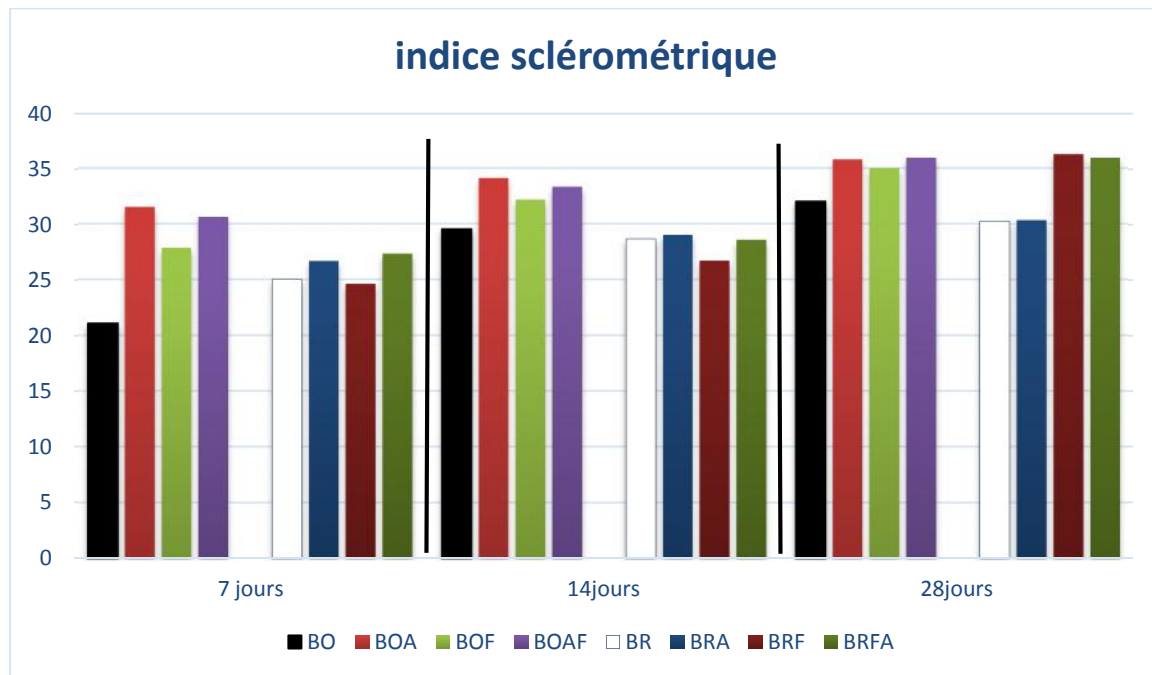


Figure III.8: Indice sclérométrique (Is) pour les différents types des bétons étudiés à (7,14 et 28) jours.

Commentaire

Toujours à titre de comparaison, la (Figure III.8) représente l'histogramme des valeurs de l'indice sclérométrique des différents bétons tel que ordinaires et recyclés (sans et avec une addition (FS) et adjuvant SP) en fonction de l'âge. Cet histogramme montre que le béton **BRF** de fumée de silice enregistre la plus grande valeur par une amélioration de **16.8%** par rapport de **BR** témoin à **28 jours**. L'utilisation d'un mélange combiné de **FS** et **MEDAFLOW SP 45** enregistre une amélioration de **15.8%** presque un pourcentage identique pour le **BR** et **BRF** donc se traduit par l'absence de rôle du superplastifiant, par contre dans le cas du **BOA** il y a une amélioration d'environ **12 %** par rapport béton ordinaire.

D'après les résultats obtenus, on peut dire qu'on a des valeurs approximatives de la résistance caractéristique par l'essai de rebondissement de l'indice sclérométrique (Is) qui reflète uniquement la dureté de surface du béton testé à **28j**. La différence est d'une façon légère dans le cas de béton ordinaire et appréciable dans le cas de béton recyclé. Ceci est dû à l'effet de la structure interne et la nature d'agrégats de ce béton recyclé qui peut influencer la lecture ou le choix des points de mesure.

III.4. Conclusion

D'après tous les résultats obtenus dans ce chapitre, et l'étude de l'effet de l'introduction de fumée de silice (5%), l'adjuvant **MEDAFLOW SP45 (1.5%)** avec un dosage fixé dans les deux cas à l'état frais et durci. On observe, a une amélioration des propriétés physiques et mécaniques lorsque on utilise ces additives dans le béton ordinaire ou recyclés.

Conclusion générale

L'utilisation des agrégats récupérés d'ancien béton peuvent provoquer la chute de résistance d'un béton recyclé en comparaison avec un béton normal. Donc à titre d'amélioration de performances à base des agrégats recyclés (rhéologiques, résistance), on opte pour l'ajout de certaines additives la fumée de silice) et adjuvant (superplastifiant) au béton (ordinaire et recyclés).

Les résultats obtenus des tests sur des éprouvettes en **(BO/ BR)** recyclés formulés en utilisant **(FS/SP)** après discussion ont permis les conclusions suivantes d'être tirées :

Les additions minérales combinées avec les adjuvants jouent un rôle important dans l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et des propriétés mécaniques des (BO/BR)

On note d'après les résultats obtenus que le béton recyclé **(BR)** indiquée la plus grande valeur de rapport E/C par rapport au béton ordinaire par une augmentation de **8.2%**. Et le même principe pour les autres types de bétons utilisés.

-) La masse volumique de **(BO)** est supérieure à celle des **(BR)**, d'une façon légère de l'ordre de **4.8%**, les autres types des bétons aussi signalés une réduction de la masse volumique d'environ **8.6%** lorsque ont ajouté un pourcentage de fumée de silice **5%** avec un dosage de **1.5%** de **MEDAFLOW SP45**, et même remarque pour les autres types des bétons utilisés. Pour
-) Les bétons ordinaires **(BOAF)** à base de **(5%)** de la fumée de silice et **(1.5%)** de **MEDAFLOW SP 45** indiquent une densité supérieure par rapport les bétons recyclés **(BRAAF)** de **17.11%** à **28 jours d'âge**. Cette augmentation traduit par l'effet granulaire du fumée de silice qui remplit les vides et le superplastifiant (**MEDAFLOW SP45**) qui agit pour réduire la quantité de l'eau.
-) L'absorption des **BR** dans la présente étude est supérieure à celle des **BO** l'ordre de **42%**, cette augmentation s'explique par l'effet de la pâte d'ancien mortier qui reste sur la surface des granulats de démolition des éprouvettes
-) L'ajout de fumée de silice augmente l'absorption de l'eau est ce pour tous les mélanges étudiés.

Enfin, On peut conclure que l'utilisation des additions de la fumée de silice, et associé à des superplastifiants demeure avantageuse afin de

Produire des BO et BR ayant des performances rhéologiques, mécaniques et en terme de durabilité meilleures.

-) Une réduction de la résistance à la compression de l'ordre **17.04%** entre les deux type de béton (**BO/BR**) respectivement à **28 jours d'âge**. Ceci, à cause de l'effet de remplacement de la quantité des granulats concassé par granulats recyclé avec un taux **100%** qui affaiblie l'adhérence entre la pâte et les granulats donc affaiblie le comportement mécanique.
-) On remarque dans le cas de **BO** et avec **FS (5%)** incorporant le **SP 45 (1.5%)** similairement augmenté la **Rc** de façon remarquable par rapport au **BR** de l'ordre de **20.8%** à **28 jours** qui traduise l'effet de silice et superplastifiant.
-) La même constatation pour la résistance à la traction par flexion **Rt**.
-) Les essais indirects (Scléromètre et ultra son) s'avèrent un moyen important pour l'évaluation de la réponse mécanique des bétons testés dans notre étude et confirment les valeurs obtenus par l'essai direct d'écrasement.
-) Enfin, On peut conclure que l'utilisation des additions de la fumée de silice, associé à des super plastifiants demeure avantageuse afin de produire des bétons ordinaires et bétons recyclés ayant des performances rhéologiques, mécaniques et en terme de durabilité meilleures.

Références bibliographiques

- [1] **CYRILE GUERANDEL** : «Etude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de lixiviation», thèse de doctorat, 2009 à L'Université Paul Verlaine-METZ ,2009.
- [2] **G.Maucuit- Lecomte, CIMBETON** : fiches techniques Tome 2 :«Les bétons, composition, fabrication et mise en œuvre »,2005.
- [3] **Technologie du Béton**, Edition 1994, Groupement Belge du Béton.
- [4] **DREUX.GET FESTA.J** :«Nouveaux guide de béton et de ces constituants».Ed.eyrolles1998.
- [5] **MESSOUDENE.B** : cours «durabilité du bétons». 2013 à L'Université EL Bachir Ibrahim.
- [6] **V.MICHEL** «la pratique des ciments et des bétons» Editions Moniteur, paris 1976, pp : 3-154.
- [7] **Y.BILLARD** «Etudes expérimentales de béton : Etude de perméabilité» DEA.INSa, Lyon, France 1997.
- [8] **R.BARON, GAGNE ET J.P.OLIVIER** «viser la durabilité » Le béton bases et donnée pour leur formulation, Edition Eeyrolles, N : 2434875 Dépôt légal janvier 1997 paris, 2eme tirage, N : d'éditeur : 5820, page : 309.
- [9] **J.MARGATE** «perméabilité, perméable» Article janvier 1999 pp : 1-25.
- [10] **Jean Michel TORRENTI** : «Du béton frais au béton durci », sino dato, Eléments de comportement par Directeur scientifique de L'Ecole française du Béton (EFB).
- [11] **Fathifazl ,G.,Abbas, A., Razaqpur,A.G.,Isgor,O.B., Fournier ,B.et Foo, S.**New mixture proportioning method for concrete made with coase recycled concrete aggregate. Journal of materials in civil Engineering, 2009;21(10):601-611.
- [12] **M.Etxeberria, E.Vazquez, A.Mari, M. Barra.** Influence of amout of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, cement an concrete Research, 2007;37:375-742.
- [13] **Tam V.W.Y.,Gao X.F. and Tam C.M.**,Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from TWO-stage mixing approach, cement concrete Research, 2005;35(6):1195-1203.

- [14] **AIT MOHAMED AMER Adem**, «Valorisation des matériaux de démolition dans la construction», mémoire Ben Bouali-Chlef, février 2017.
- [15] **Ch en H-J, Y en T**, Chen K-H(2003) Use of building rubbles as recycled aggregates. *Cement and concrete Research*, 33 (1) :125-132.
- [16] **DeJuan MS, Gutiérrez PA**, Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 2009; 23(2): 872-877.
- [17] **Ait Mohamed Amer Adem**, «Valorisation des matériaux de démolition dans la construction», mémoire doctorat, Université Hassiba Ben Bouali –Chlef, février, 2017.
- [18] **Katz A.**, «Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, *Cement and concrete research*», 33 (5), pp.703-711, 2003.
- [19] **Evan gelista L., De Brito J:** «Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and concrete composites*» 2010, 32, 9-14.
- [20] **Rasheeduzzafar .khan A.** «Recycled concrete –a source of new aggregate. *Cement, concrete and aggregates*»(ASTM), 6, No1, pp.17-27, 1984.
- [21] **Gomez –soberan J.M.V.** «Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study, *cement and concrete research* », 32(8), pp.1301-1311, 2002.
- [22] **Gentsil sagoe KK, Broun T, Taylor AH** «Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate» *cem concr Res* 2001; 31; 707-12.
- [23] **Ajdukiewicz A , kliszczewicz Alina** «Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/I-WC. *Cement concrete composites*» 2002; 24:269-79.
- [24] **Rao A.**, «Experimental Investigation on use of recycled Aggregates in Mortar and concrete ». Thesis submitted to the department of civil Engineering, Indian Institute of technology Kanpur; 2005.
- [25] **Que baud M.**, «caractérisation des granulats recyclés –Etude de la composition et du comportement de béton incluant ces granulats». Thèse de doctorat, université d'Artois, France, décembre 1996.
- [26] **Oikonamou N.D.** «Recycled concrete aggregates. *Cement and concrete composites*» 27(2), pp.315-318, 2005.
- [27] **Levg Salomon M, Paulo Helene** «Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development». *Cem Concr RES* 2004; 34(11): 175-80.

[28] **Otsuki N. Miyazats S, Yodsudjai W.** «Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride, penetration and carbon natation of concretes». ASCEJ Msrze civil Eng 2003.

[29] **Khalaf FM,Devenny Alans.** «Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concreted: review». ASCE J Mater civil Eng 2004:331-40.

[30] **Boudchicha Abdelaziz.** «utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécanique des bétons», Thèse doctorat , université Mentouri à Constantine, Décembre 2007.

[31] **Merniz Mohamed,** «étude de l'influence de la nature et les dimensions des fibre sur les propretés rhéologique et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP) », mémoire master, université Mohamed Boudiaf à M'sila, 2015.

[32] **ZAROUB Hamid,** «Valorisation du verre dans l'élaboration de béton durable (Approche expérimentale)», mémoire MAGISTER université M'HAMED BOUGARA a BOUMERDES, 2012.

[33] **Ahmed Sofiane BENOSMAN,** «Comportement mécanique et durabilité des matériaux composites Mortier – polymère (PET)», mémoire de magister, UNIVERSITE D'ORAN ES –SENIA,2006 ,p10.

[34] **Membre de la FSHBZ** «Adjuvants pour béton et environnement», 04.2007/F/2000/coray.com.

[35] **Cractéristiques technique de la fumée de silice condensil...**,[www.condensil.com /fre –FR/caractéristiques- technique](http://www.condensil.com/fre-FR/caractéristiques-technique).

[36] **Hermann kuri,** «les ajouts : les fumée de silice », Bulletin du ciment, vol 63, 1995.

[37] **Patricia Bredy tuffe.** «Solution de béton», 1^{er} édition, parais, 2011.

[38] **Mezghiche Bouzidi,** «norme, matériaux, mélanges et essais utilisées», cours de 3^{ème} année licence, université Mohamed khider, Biskra, 2013.

[39] **Mezghiche Bouzidi,** «essais non destructifs du béton», cours de 3^{ème} année licence, université de Mohamed khider, Biskra, 2013.

[40] **BEN AMRAN TOUFIK AMINE,** « Caractérisation aux moyens des essais non destructifs (NDT) et essai direct (ED) d'un béton recyclé adjuvanté a base des matériaux», mémoire de MASTER Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2015.

[41] **Berra manel ,** «Caractérisation au moyens des essais destructifs et NDT d'un BAP à base des granulats recyclés et fumée de silice», Mémoire Master Académique Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2017.