

N° d'ordre/FSI/2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département Génie des Procédés

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme Master

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Filière : Génie Civil

THEME

**CARACTÉRISATION ET FORMULATION D'UN BÉTON
ORDINAIRE À BASE DE GRANULATS DE DÉCHET DE
CARREAUX FAÏENCE**

Réalisé Par :

-BOUMEDINE Abed

-BOUDOUMI Abdelbaset

Proposé et suivi par :

- M^{eme} RABEHI BAHIA

Boumerdes 2018 – 2019

Remerciement

Nous tenons en premier lieu à remercier **Allah** le tout puissant qui nous a permis de réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à notre promotrice :

M^{eme} RABHI BAHIA pour son soutien, sa confiance et son aide qu'il a apporté tout au long de ce travail. Nous souhaitons lui transmettre l'expression de notre reconnaissance et notre plus profonde gratitude.

Nos remerciements vont à tous ceux qu'ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier :

- Le chef de département de génie des procédés **Mr AKSSASE**
- Notre enseignant **GHARNOUTI** pour votre passion et aide
- L'ensemble des enseignants de département de génie des matériaux.
- Atout l'équipe du groupe «LNHC» d'OUED SMAR : **Mustapha Hillal, Omar, Hadj Redouan, Salim, Amine.**
- Responsable de laboratoire matériaux **M^{ele} LAIB Nadia**

Enfin à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué pour la réussite de mon travail.

DEDICACE

A celle qui m'a attendu avec patience pour les fruits de sa bonne Éducation,...

A mes deux chères mères «**AICHA** » «**NADIA** » merci pour votre soutien, l'aide, sacrifier, amour.

A celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté Fait toujours les grands Hommes dans la vie A mon Père.

A ceux qu'ont fait preuve de soutiens et qui m'ont donné une Motivation sans prix A mes frères et sœurs, est à ma tante «**Yasmina** »

Tous les étudiants de département génie des matériaux, et plus particulièrement ceux de groupe de **MGC17**

BOUMEDINE ABED

DEDICACE

- **A MES CHERS PARENTS**
- **A TOUTE MA FAMILLE**
- **A MES AMIS**

BOUDOUMI ABDELBASET

TABLE DES MATIERES

Chapitre I Le béton et ses constituants.

I.1.Introduction.....	1
I.2.Définition du béton	1
I.3.Ls constituants du béton	2
I.3.1.Le ciment	2
I.3.1.1.Les différentes catégories de ciment	2
I.3.2. Les granulats.....	5
I.3.2.1.Définition des granulats	5
I.3.2.2.Différents types des granulats	6
I.3.2.3.Conditions requises pour l'utilisation des granulats en construction.....	6
I.3.3.Sable	6
I.3.3.1. Définition de sable.....	6
I.3.3.2.Origine des sables.....	7
I.3.3.3.Propriétés physiques du sable	7
I.3.3.4.Le sable dans le domaine de la construction	7
I.3.3.5.Les différents types de sable	8
On distingue les sables naturels des sables artificiels.....	8
❖ Sables naturels.....	8
❖ Sables artificiels	8
I.3.4.Eau de gâchage.....	8
I.3.4. 1.Rôle de l'eau	9
I.3.4.2. Type de l'eau	9
I.3.4.3. Exigences concernant l'eau de gâchage	9
I.3.5.Les adjuvants	9
I.3.5.1.Classification des adjuvants	10
❖ Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton	10
❖ Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement.....	10
I.3.5.2.Utilisation des adjuvants	10
I.3.5.3.Les super plastifiants	11
I.3.5.4.Mode d'action	13
Conclusion	15

Chapitre II Le recyclage en domaine de construction.

II.1.introduction.....	16
II.2. Définition du déchet.....	16
II.3. Origine de la production de déchets	16
II.4. Constitution chimique du déchet	17
II.5. Classification des déchets.....	17
II.5.1. Déchets ultimes.....	17
II.5.3. Déchets assimilés	18
II.5.4. Déchets organiques	18
II.5.5. Déchets industriels banals (DIB).....	18
II.5.6. Déchets dangereux.....	19
II.5.6.1.Déchets industriels spéciaux (DIS).....	19
II.5.6.2.Déchets ménagers spéciaux (DMS)	19
II.6. Recyclage des déchets.....	19
II.6.1. Définition	19
II.6.2.Procédés du recyclage.....	20
II.6.3. Impact du recyclage dans l'industrie.....	21
II.6.3.1. Source d'approvisionnement alternative.....	21
II.6.3.2. Création d'activités.....	21
II.6.3.3. Mise en conformité avec la loi	21
II.6.3.4. Coût de main-d'œuvre	21
II.6.4. Impacts du recyclage sur l'environnement	22
II.7. Déchets utilisés comme granulats du béton	22
II.7.1. Déchet de faïence.....	22
II.7.2. Déchets de la démolition.....	23
II.7.3. Déchet de Pneus.....	24
II.7.4. Les déchet de brique	24
II.7.5. Déchet de Verre	25
II.7.6. Les déchets de chantier.....	26
II.7.7. Les déchets plastiques.....	27
II.7.8. Déchet de bois.....	28
Conclusion	29

Chapitre III Caractérisation des matériaux et protocoles d'essais

III.1. Introduction	
III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés.....	29
III.2.1. Le ciment	29
III.2.2. Le sable.....	32
III.2.2.1 Masse volumique NF EN 1097-6	32
III.2.2.2. Analyses granulométriques NF P18-560	33
III.2.2.3. Equivalant de sable (SE) NF EN 933-8.....	35
III.2.3. Déchet de faïence concassé en sable	36
III.2.3.1. Analyses granulométriques de Déchet de faïence concassé en sable	37
III.2.4. Graviers	39
III.2.4.1. Gravier naturelle	39
III.3.1. Analyse granulométrique	40
III.2.4.2. Graviers recyclé	42
III.4. L'adjuvant	49
III.5. Eau de gâchage.....	51
III. 6. DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON	52
III.7. Préparation des bétons	56
III.8 Mise en place du béton	57
III.9. Conservation des éprouvettes	58
III.10. PROCEDURE DES ESSAIS	58
III. 11. ESSAIS SUR LE BETON DURCI	60
1. vitesse de propagation du son	60
2-Scléromètre NF EN 933-3	61
2.1. Choix des zones et points d'essai :	61
2. 3 préparations des zones d'essais :	62
2. 4. Modalités des essais.....	62
3-Résistances mécaniques à la compression NF EN 12390-3	63
4. Essai de traction par flexion NF EN 12390-3	64

Chapitre IV Discussion des résultats.

1- Caractéristiques des bétons à l'état frais	67
Masse volumique à l'état frais	67
Essai au cône d'Abrams	69
2- ESSAIS SUR LE BETON DURCI.....	70
1-Masse volumique à l'état durci	71
2-vitesse de propagation du son	72
3-Essais Scléromètre.....	74
4-Résistance à la compression	76
5-Mode de rupteur des éprouvettes.....	78
6-Résistance à la flexion	79
7-Facettes de ruptures de béton.....	81
conclusion	81

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure .I.1. Béton à l'état frais	1
Figure .I.2. Poudre de ciment	2
Figure .I.3. Granulats naturels	5
Figure. I.4. sable naturel	7
Figure .I.5. Influence de super plastifiant sur le béton	11
Figure .I.6. Différents types des super plastifiants	12
Figure .I.7. Mode d'action des super plastifiants	14

Chapitre II

Figure. II.1. Déchets de faïence	24
Figure. II.2. Déchets de démolition	24
Figure .II.3. Déchets de Pneus	25
Figure .II.4. Déchets de Brique	25
Figure .II.5. Déchets de verre	26
Figure .II.6. Déchets de chantier	27
Figure .II.7. Différent type de déchets plastique	28
Figure .II.8. Différent type de déchets de bois	28

Chapitre III

Figure.III.1. Sac de ciment utilisé	29
Figure.III.2. sable naturel utilisé	32
Figure.III.3. Equivalents des sables	36
Figure.III.4. Déchets de faïence concassés en sable	36
Figure. III.5. l'analyse granulométrique Déchets de faïence concassés en sable	38
Figure. III. 6. Analyse granulométrique par tamisage pour le sable naturel (oued souf) est Déchets de faïence concassés en sable	38
Figure .III. 7. Gravier naturel (3/8)-(8/15)	39

Figure. III. 8. gravier recyclé (3/8)-/8/15)	42
Figure .III.9. Différents étapes de traitements déchets de faïence	43
Figure. III. 10. Analyse granulométrique par tamisage pour les Gravier naturel (3/8) est gravier recyclé (3/8)	46
Figure. III. 11. Analyse granulométrique par tamisage pour les graviers naturels (8/15) est gravier recyclé (8/15)	46
Figure. III.12. Analyse granulométrique par tamisage pour les matériaux recyclée (graviers (3/8) (8/15 Déchet de faïence concassé en sable (0.4)	47
Figure. III.13. Analyse granulométrique par tamisage pour les matériaux naturel est recyclée en même courbe	47
Figure. III. 14. Adjuvant medaflow 13	48
Figure. III. 15. Analyse granulométrique par tamisage pour les matériaux naturel (graviers (3/8) (8/15) sable oued souf (0.1)	53
Figure. III.16. malaxeur utilisé	55
Figure. III.17. conservation des éprouvettes dans un bac	56
Figure. III.18. Conservation des éprouvettes dans un bac	57
Figure. III. 19. L'essai d'affaissement au cône d'Abrams	58
Figure. III. 20. Essais de propagation du son	59
Figure. III. 21. Préparations des zones d'essais	61
Figure. III. 22. Essais Scléromètre	62
Figure. III. 23. Machine de compression	63
Figure. III. 24. Machine de l'essai de flexion	63

Chapitre IV

Figure .IV.1. La masse volumique à l'état frais pour toutes les formulations	68
Figure. IV.2. Essais d'étalement pour toutes les formulations	70
Figure. IV.3. Masse volumique a l'état durci pour toutes les formulations	71
Figure. IV.4. Vitesse de propagation de son pour toutes les formulations	73
Figure. IV.5. Vitesse de son dans un milieu poreux	74
Figure. IV.6. Vitesse de son dans un milieu compact	74
Figure .IV.7. Essais sclérométrique pour toutes les formulations	75

Figure. IV.8. La resistance a la compression pour toutes les formulations	76
Figure .IV. 9. mode de rupture pour toutes les formulations de béton	77
Figure .IV.10. La résistance à la flexion pour toutes les formulations de béton	78
Figure .IV. 11. Facettes de ruptures des déférents types des bétons	80

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre III

Tableau. III. 1 . Caractéristiques physiques du ciment 42.5 (GICA CHLEF)	30
Tableau. III. 2. Caractéristique mécanique du ciment 42.5 (GICA CHLEF)	30
Tableau. III.3. Composition minéralogique du ciment 42.5 (GICA CHLEF)	31
Tableau. III.4. Composition chimique du ciment 42.5 (GICA CHLE)	31
Tableau. III.5. caractéristique physique de sable d'oued Souf	33
Tableau III.6. Analyses granulométriques de sable d'oued Souf	34
Tableau. III.7. Equivalents des sables	36
Tableau. III.8. Analyse granulométrique de Déchet de faïence concassé en sabl	37
Tableau. III.9. Valeurs des équivalents Déchet de faïence concassé en sable	37
Tableau. III.10. caractéristique physique de graviers naturels (3/8)	39
Tableau. III. 11. Analyse granulométrique de gravier (3/8)	40
Tableau. III. 12. Caractéristique physique de graviers naturels (8/1)	40
Tableau. III. 13. Analyse granulométrique du gravier naturel (8/15)	41
Tableau. III. 14. Caractéristique physique de gravier recyclé (3/8)	44
Tableau. III. 15. Analyse granulométrique de gravier recyclé (3/8)	44
Tableau. III. 16. Caractéristique physique de gravier recyclé (8/15)	45
Tableau. III. 17. Analyse granulométrique de gravier recyclée (8/1)	45
Tableau III.18. Caractéristiques physiques de medaflow113	50
Tableau. III. 19. Composition pour 1m3 de béton	55

Chapitre VI

Tableau .IV.1. La désignation utilisée pour les différents types de béton	66
Tableau .IV.2. Masse volumique des différents types de béton à l'état frais	67
Tableau .IV.3. Résultats de cône d'abrams des différents types de béton	68
Tableau .IV.4. Masse volumique des différents types de béton a l'état durci	70
Tableau .IV.5. Vitesse de son des différents types de béton	72
Tableau .IV.6. Résultats de scléromètre de différents types de béton	74
Tableau .IV.7. Résultats de la Résistance à la compression des différents types de béton	75
Tableau .IV.8. Résultats de la Résistance à la flexion des différents types de béton	78

RESUME

ملخص

يهدف العمل الحالي إلى المساهمة في تثمين الحصى الصناعي (مخلفات السيراميك) من خلال دمجها في الخرسانة، للحصول على مصدر جديد لتزويد الحصى. من أجل إجراء هذا البحث التجريبي، تم اعتماد معدلات مختلفة (25، 50، 75، 100%) مقارنة بالركام الطبيعي.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى انخفاض في قابلية التشغيل والتي تظل معلمة مسيطر. مع استبدال 100% بحبيبات نفايات السيراميك، تظل المقاومة الميكانيكية في الانضغاط مقبولة وتصل إلى 28 ميجا باسكال توفر إعادة تدوير نفايات السيراميك لتشكيل الخرسانة العادية بديلاً مثيراً للاهتمام للحصى الطبيعي.

Résumé

Le présent travail a pour but de contribuer à la valorisation des graviers artificiels (déchets de faïence) par leurs incorporations dans le béton, pour obtenir une nouvelle source d'approvisionnement en granulats. Afin de bien mener cette investigation expérimentale différents taux de substitution ont été adopté à savoir (25, 50, 75, 25% G-R-S et 100%) par rapport aux granulats naturel.

Les résultats obtenus indiquent une diminution de l'ouvrabilité qui reste un paramètre a contrôlé. Avec 100% de substitution par le granulat de déchet de faïence la résistance mécanique en compression reste acceptable et atteint 28 MPa

Le recyclage de déchet de faïence pour la formulation de béton ordinaire offre une alternative intéressante aux granulats naturels.

Mots clés : valorisation, déchet de faïence, résistance mécanique, porosité.

Abstract

The present work aims to contribute to the valorization of artificial gravel (waste earthenware) by their incorporation in the concrete, to obtain a new source of supply of aggregates. In order to carry out this experimental investigation, different substitution rates were adopted (25, 50, 75, 25% GRS and 100%) compared to natural aggregates.

The results obtained indicate a decrease in workability which remains a controlled parameter. With 100% substitution by the earthenware waste granulate, the mechanical resistance in compression remains acceptable and reaches 28 MPa.

The recycling of earthenware waste for the formulation of ordinary concrete offers an interesting alternative to natural aggregates

Key words: recovery, waste earthenware, mechanical resistance, porosity.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires... etc.

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets.

L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique et économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

Les déchets peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers des travaux publics ou encore en d'autre application dans le domaine de la construction, en particulier, comme granulats pour le béton.

L'objet principal de cette étude de recherche est de contribuer à la valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la fabrication du béton, cela permet donc est :

- D'éliminer les déchets par recyclage d'où protection de l'environnement.
- Aider à résoudre certains problèmes liés au manque de granulats et en particulier à l'utilisation des granulats alluvionnaires.

Le mémoire se se subdivise en 4 chapitres :

- **Chapitre I** Le béton et ses constituants.
- **Chapitre II** Le recyclage en domaine de construction.
- **Chapitre III** Caractérisation des matériaux et protocoles d'essais
- **Chapitre IV** Discussion des résultats.

Enfin, une conclusion générale présente les principaux résultats dégagés lors de cette étude.

Elle ouvre également de nouvelles perspectives en termes d'expérimentation pour utiliser les déchets de faïence dans les formulations de béton.

CHAPITRE I

Le Béton et ses Constituants

I.1.Introduction

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction le plus utilisé au monde. Le béton, malgré son commun usage, demeure un matériau complexe. Matériau également économique et polyvalent, c'est ainsi qu'il continue encore aujourd'hui d'étonner, alors qu'il réussit sans cesse à relever les défis de l'imaginaire, aussi bien que ceux commandés par l'économie et l'environnement. Plus que jamais, le béton répond avec brio aux réalités d'aujourd'hui. Autant le béton est solide et durable, autant il est fragile avant sa mise en place. Deux caractéristiques ont néanmoins limité son utilisation : il est fragile et résiste mal à la traction. [1]

Le présent chapitre s'intéresse à la description du matériau béton et à ses constituants.

I.2.Définition du béton

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (le plus souvent du ciment) qui sert de « colle ». On y ajoute éventuellement des adjuvants et d'autres ingrédients pour modifier ses caractéristiques. On obtient une pâte, à l'homogénéité variable, qui peut, selon le matériau, être moulée en atelier (pierre artificielle), ou coulée sur chantier. Le béton fait alors « prise », c'est-à-dire qu'il se solidifie. [2]



Figure I.1.Béton à l'état frais

I.3. Les constituants du béton

I.3.1. Le ciment

Le ciment est une poudre minérale fine, principal composant du béton, auquel il confère un certain nombre de propriétés, et notamment sa résistance. Il s'agit d'un matériau de construction de haute qualité, économique, utilisé dans les projets de construction du monde entier.

Le ciment est obtenu par broyage et cuisson à 1 450°C, d'un mélange de calcaire et d'argile. Appelé clinker, ce matériau granulaire est pour l'essentiel une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. [3]



Figure I.2. Poudre de ciment

I.3.1.1. Les différentes catégories de ciment

Le groupe fabrique et commercialise différentes catégories de ciment, selon la composition chimique des matières premières, les ajouts éventuels de constituants complémentaires au moment du broyage et la Fiennes du produit. et chaque catégorie de ciment correspond à des applications spécifiques telles que la construction résidentielle, la construction d'ouvrages d'art, les travaux souterrains ou encore la réalisation de bétons soumis à des milieux agressifs. [4]

➤ **CEM I**

Le ciment CEM I également appelé ciment Portland, contient au minimum 95 % de clinker et au maximum 5 % de constituants secondaires.

➤ **CEM II**

Les ciments CEM II (A ou B), contiennent au minimum 65 % de clinker et au maximum 35 % d'autres constituants comme le laitier de haut-fourneau, « la fumée de silice » (limitée à 10 %), la pouzzolane naturelle, les cendres volantes, les calcaires, etc. Les ciments CEM II sont bien adaptés pour les travaux massifs.

➤ **CEM II VERSION A**

Les ciments CEM II A sont composés de 80 à 94 % de clinker, à l'exception du Ciment Portland à la fumée de silice (CEM II A-D) qui en contient entre 90 et 94 %. La quasi-totalité des CEM II A sont composés de 6 à 20 % d'autres constituants, seul le CEM II A-D en compte 6 à 10 %.

➤ **CEM II VERSION B**

Les ciments CEM II B sont composés de 65 à 79 % de clinker. Ils contiennent entre 21 et 35 % d'autres constituants.

➤ **CEM III**

Les CEM III A, B ou C également appelé Ciment de Haut-Fourneau, sont principalement obtenus grâce au mélange de 5 à 64 % de clinker avec 36 à 95 % de laitier de haut-fourneau.

➤ **CEM III VERSION A**

Le CEM III A contient entre 35 et 64 % de clinker et au minimum 36 % de laitier.

➤ **CEM III VERSION B**

Le CEM III B contient entre 20 et 34 % de clinker et au minimum 66 % de laitier.

➤ **CEM III VERSION C**

Le CEM III C contient entre 5 et 19 % de clinker et au minimum 81 % de laitier.

➤ **CEM IV**

Les CEM IV A ou B sont des ciments de type pouzzolanique. Ils sont constitués de 45 à 89 % de clinker et de 11 à 55 % d'autres constituants comme le laitier de haut-fourneau, « la fumée de silice », le schiste calciné, la pouzzolane naturelle, les cendres volantes, les calcaires, etc.

➤ **CEM IV VERSION A**

Le CEM IV A est composé de 65 à 89 % de clinker et de 11 à 35 % d'autres constituants.

➤ **CEM IV VERSION B**

Le CEM IV B est composé de 45 à 64 % de clinker et de 36 à 55 % d'autres constituants.

➤ **CEM V**

Les CEM V A ou B sont des ciments qui contiennent entre 20 et 64 % de clinker, 18 à 50 % de laitier de haut-fourneau et 18 à 50 % de cendres volantes siliceuse et/ou de pouzzolanes. Ces ciments sont bien adaptés aux travaux hydrauliques, souterrains, fondations et injections par exemple.

➤ **CEM V VERSION A**

Le CEM V A est composé de 40 à 64 % de clinker, 18 à 30 % de laitier et 16 à 30 % de cendres volantes siliceuse et/ou de pouzzolanes.

➤ **CEM V VERSION B**

Le CEM V B est composé de 20 à 38 % de clinker, 31 à 50 % de laitier et 31 à 50 % de cendres volantes siliceuse et/ou de pouzzolanes.

I.3.2. Les granulats

I.3.2.1. Définition des granulats

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 6 familles suivantes: [5]

- Fillers;
- Sablons;
- Sables;
- Graves;
- Gravillons;
- Ballast;

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

Les granulats utilisés pour la confection des bétons sont: – les fillers; – les sables; – les gravillons; – les graves. [5]



Figure I.3. Granulats naturels

I.3.2.2. Différents types des granulats

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut être... [6]

➤ **Naturel**

D'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

➤ **Artificiel**

D'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

➤ **Recyclé**

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

I.3.2.3. Conditions requises pour l'utilisation des granulats en construction

L'utilisation d'un granulat comme renfort dans le béton nécessite la vérification d'un Ensemble de conditions, notamment : [7]

- La nature minéralogique ;
- La forme des grains ;
- La dureté ;
- La propreté ;
- La granulométrie ;
- Le pourcentage d'humidité ;
- Le non réactivité chimique vis-à-vis du liant ;

I.3.3. Sable**I.3.3.1. Définition de sable**

Le sable est un matériau granulaire composé de particules (quartz, micas, feldspaths) issues de la dégradation de roches. Il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une

classification à une autre. Ce matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80µm n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm, non compris les fillers. [8]



Figure. I.4.Sable naturel

I.3.3.2.Origine des sables

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques; Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Ils comportent, à des degrés divers une décomposition sur place des différentes roches, suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. [8]

I.3.3.3.Propriétés physiques du sable

Les matériaux granulaires comme le sable, notamment lorsqu'ils sont secs, présentent des propriétés physiques tout à fait particulières. Des propriétés qui se situent à mi-chemin entre celles des fluides et celles des solides. Ainsi, par exemple, le sable épouse-t-il parfaitement la forme du récipient dans lequel on va le verser, tout comme le ferait l'eau. En revanche, il peut s'écouler par avalanches successives si la pente dépasse un angle de 30 degrés. [9]

I.3.3.4.Le sable dans le domaine de la construction

Le sable, dans le domaine de la construction, avant d'être un matériau qu'on prend à la pelle ou à la truelle, fait l'objet de description et de prescriptions normatives. Pour la confection de mortiers, bétons et enduits, le sable est un granulat, qui doit être conforme à la norme NF EN 12620+A1 de juin 2008. Pour cette norme, le sable est une désignation des classes granulaires pour lesquelles D (dimension maximum) est inférieur ou égal à 4 mm. Le sable peut résulter de l'altération naturelle de roches massives ou meubles et/ou de leur concassage ou du traitement des granulats artificiels. [9]

I.3.3.5. Les différents types de sable

On distingue les sables naturels des sables artificiels.

❖ Sables naturels

Les sables naturels peuvent être issus des rivières. Également appelé « sable des rivières » ou « sable alluvionnaire », il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers.

Un autre type de sable naturel est le sable de carrière, extrait des sablonnières et à la forme angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.

Quant au sable de mer, qui provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences.

Enfin, le sable de feuilles est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux. [8]

❖ Sables artificiels

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier granulé ayant subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé. [8]

I.3.4.Eau de gâchage

l'eau est l'un des ingrédients des bétons , on pourrait même dire qu'il est le plus important avec le ciment .En effet , l'eau que l'on introduit dans le béton lors du gâchage accomplit deux fonctions : une fonction physique qui confère au béton les propriétés rhéologique d'un liquide, et une fonction chimique qu'elle contribue au développement de réaction dite :hydratation .pour le gâchage du mélange de béton on utilise de l'eau qui ne doit pas contenir des composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats et les autres ,et aussi évité les particules en suspensions dont la qualité qui pourrait modifier ses qualités originaire. [10]

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher de béton parce qu'elles contiennent dans certains cas un excès d'impuretés qui détériorent les propriétés du béton, notamment les propriétés physique et mécanique (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité de béton) ces impuretés éventuellement contenue dans l'eau de gâchage, soit des composés chimiques qui peuvent être actifs. [10]

I.3.4. 1.Rôle de l'eau

l'eau est certainement le constituant des bétons le plus délicat à aborder .En effet, elle agit d'une façon antinomique sur deux propriétés essentielle qui sont :la consistance et la résistance .l'excès d'eau qui ne sera pas liée à hydratation ,créera au sein du matériau d'espace vide ou partiellement rempli d'eau qui affectera directement les performances .l'eau est indispensable pour obtenir une bonne consistance ,plus le dosage en eau est important plus l'écoulement du béton est facile ,il s'agit donc de trouver un dosage en eau optimal qui permet de satisfaire aux exigences sur les principales propriétés du béton. [10]

I.3.4.2. Type de l'eau

L'origine des eaux de gâchage peut être extrêmement variée .La plus disponible est aussi celle qui sert de référence, c'est l'eau potable distribuée par le réseau de service public, les autres eaux les plus utilisées sont les eaux de pompage en provenance de nappe de cours d'eau ou de réservoir. [11]

I.3.4.3. Exigences concernant l'eau de gâchage

Les exigences concernant l'eau de gâchage ont été fixées dans différentes directives, prénormes et normes, et nous allons en traiter. Mais il est également intéressant et utile d'en savoir un peu plus sur l'influence que les impuretés contenues dans l'eau de gâchage exercent sur la qualité du produit final, c'est-à-dire le béton. Nous en savons en fait beaucoup à ce sujet. [11]

I.3.5. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques de plus en plus courants lors de la fabrication du béton. Ajoutés à faible dose lors de la préparation du béton (les adjuvants représentent moins de 5% de la masse du béton), ces produits améliorent certaines caractéristiques de ce matériau (l'étanchéité ou le temps de prise par exemple). Les différents types d'adjuvants qui existent vous permettront d'obtenir un béton avec les caractéristiques spécifiques que vous souhaitez lui donner. [12]

I.3.5.1. Classification des adjuvants**❖ Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton**

- ✓ Plastifiants / Réducteurs d'eau
- ✓ Super plastifiants/ Haut réducteur d'eau
- ✓ Plastifiant / Réducteurs d'eau / réducteurs d'eau
- ✓ Super plastifiants/ Haut réducteurs d'eau/ Retardateur de prise
- ✓ Super plastifiants/ Haut réducteurs d'eau / Accélérateur prise [13]

❖ Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement

- ✓ Accélérateurs de prise
- ✓ Accélérateurs de durcissement
- ✓ Retardateurs de prise

❖ Autres catégories normalisées d'adjuvants

- 1) Hydrofuges de masse
- 2) Entraîneur d'air
- 3) Rétenteurs d'eau

I.3.5.2. Utilisation des adjuvants

On utilise les adjuvants surtout pour

- Diminuer le coût des constructions en béton.
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens.
- Assurer la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et cure dans des conditions météorologiques défavorables.
- Obvier à certaines urgences durant le bétonnage.

Il ne faut cependant pas oublier qu'aucun adjuvant, en quelque quantité que ce soit, ne saurait remplacer une bonne technique de bétonnage.

L'efficacité d'un adjuvant dépend de facteurs tels que le type, le dosage en liants, la teneur en eau, la forme, la granulométrie et les proportions des granulats, le temps de malaxage, l'affaissement et les températures du béton.

Dans le cas des bétons ordinaires, les adjuvants les plus utilisés sont les super plastifiants. [15]

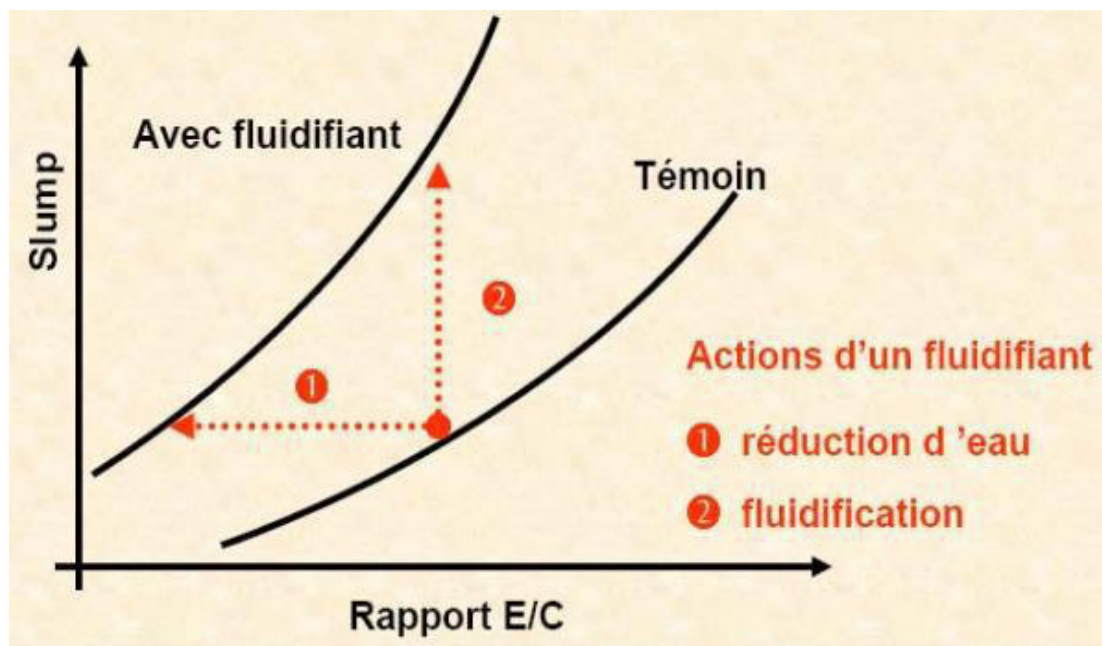


Figure I.5. Influence de super plastifiant sur le béton

I.3.5.3. Les super plastifiants

Selon la norme **NA 744**, un super plastifiant est un adjuvant qui, introduit dans un béton, un mortier ou coulis, a pour fonction principale de provoquer un accroissement important de l'ouvrabilité du mélange.

❖ Différents types des super plastifiants

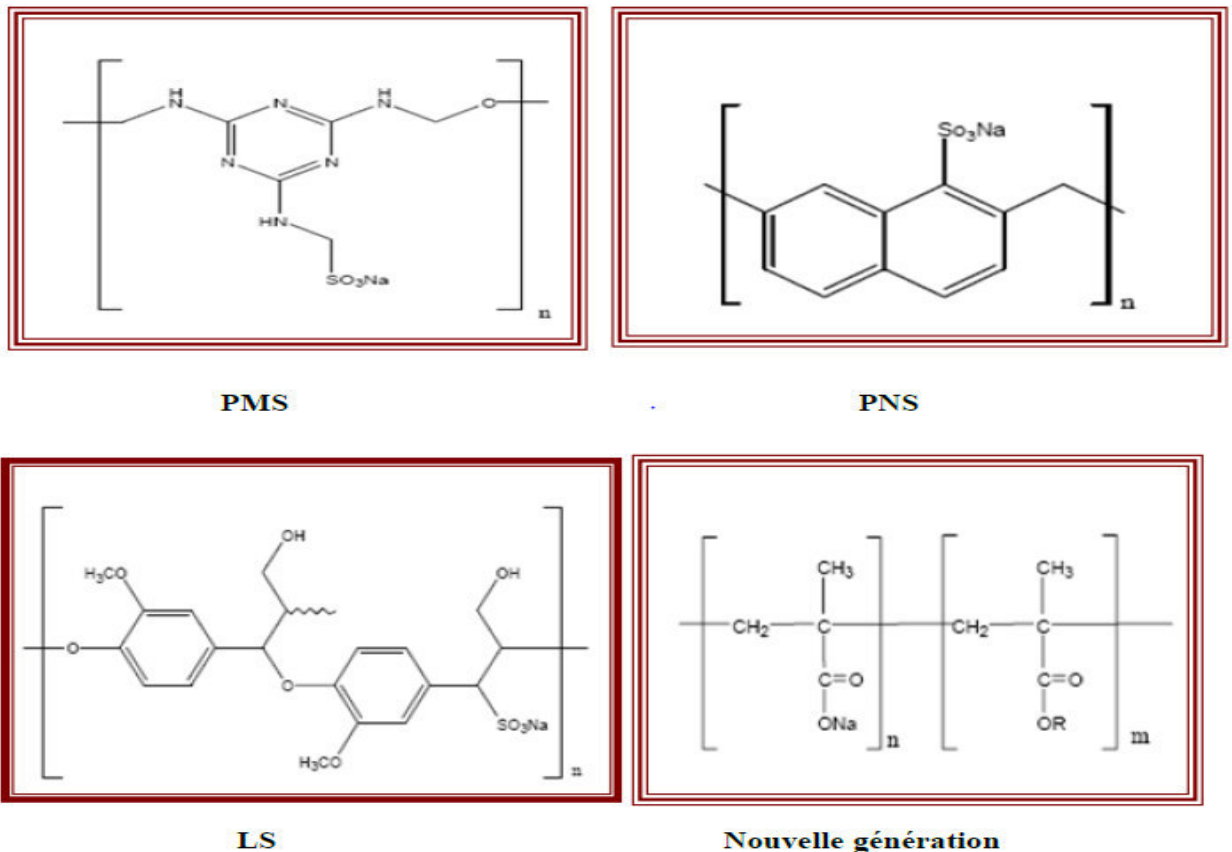


Figure.I.6. Différents types des super plastifiants

➤ Les poly mélamines sulfonées (PMS)

Appartiennent à la catégorie des super plastifiants/réducteurs d'eau. Ils sont efficaces pour des températures inférieures à 85°C à cause d'une stabilité chimique limitée. Ils ne sont pas entraîneurs d'air. Ils ne posent pas de problème de teinte et sont préférés aux PNS pour des résistances aux jeunes âges.

➤ **Les Poly naphthalènes sulfonâtes (PNS)**

Sont d'une efficacité dispersante très liée à la nature du ciment. Ils sont un peu plus retardateurs que les PMS et sont légèrement entraîneur d'air. [16]

➤ **Les lignosulfonates (LS)**

Sont moins efficaces que les PNS et PMS. Ce sont des produits fabriqués à partir de dérivés de l'industrie de la pâte à papier. Ces produits sont bien souvent impurs : ils contiennent des sucres qui sont responsables de l'effet retardateur. [16]

➤ **Les super plastifiants de nouvelle génération**

Sont constitués de polymères à base de poly oxyde d'éthylène. Ce sont les poly carboxylates ou polyacrylates ou encore phosphonates poly oxyde d'éthylène

Les super plastifiants les plus utilisés sont les PMS et les PNS. Ce sont des polymères anioniques avec des groupes sulfonâtes SO_3^- à intervalles réguliers.

I.3.5.4.Mode d'action

L'action d'un super plastifiant passe nécessairement par son adsorption sur les Particules de ciment. En se fixant sur les grains de ciment, modifie la nature des Charges électriques.

Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entourent d'un film d'eau très mince. Ainsi on obtient un grain de fluidité, puisque les grains de ciment sont mieux dispersés. L'eau existante sert alors de fluidifier le béton. Dans certains cas, l'ajout du super plastifiant est directement additionné dans toupie du camion afin d'éviter une perte de fluidité pendant le trajet. Le super plastifiants est ajouté dans le béton puis malaxé pendant 3 minutes dans la toupie à vitesse maximum.

Il ne faut pas aussi négliger le temps de murissement d'un béton. Cette étape est aussi importante que la confection du béton lui-même. Nous verrons plus loin les moyens et les méthodes utilisés pour la protection des bétons frais. [17]

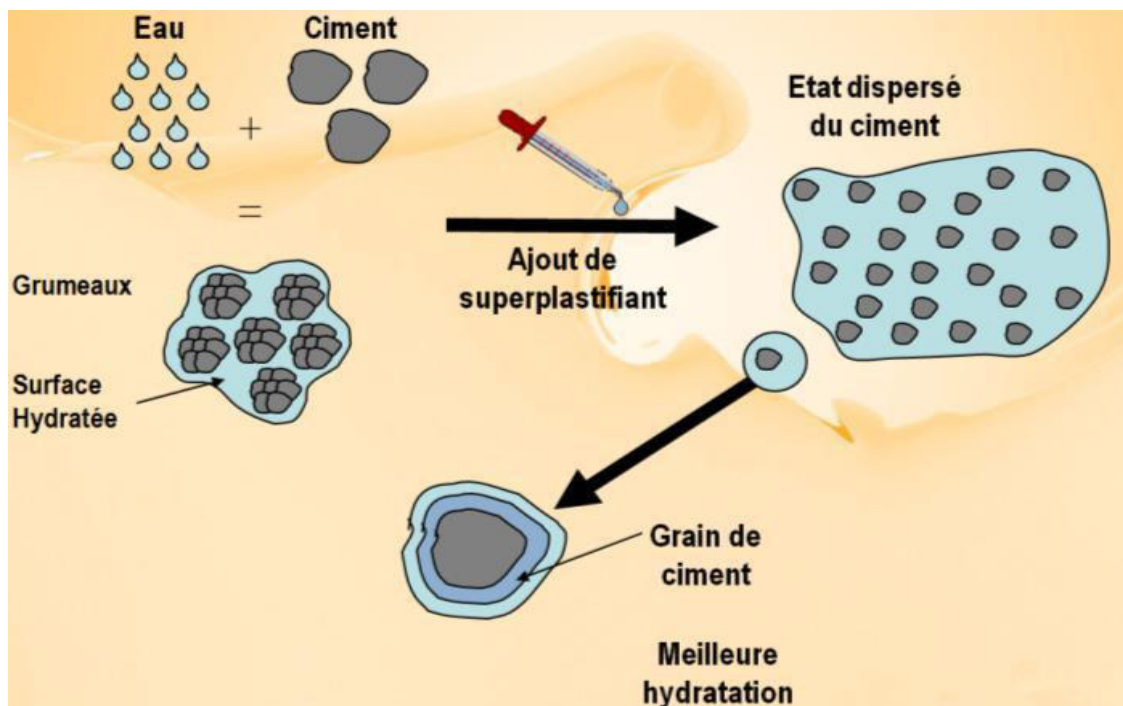


Figure.I.7. mode d'action des super plastifiants

Conclusion

Le béton est un matériau de construction qui trouve une large utilisation, d'où ses constituants doivent être pris avec soin et avoir une qualité qui répond aux exigences de la norme pour assurer de meilleures performances de point de vue résistances mécaniques et durabilité du béton en service.

CHAPITRE II

**Le Recyclage en domaine de
construction.**

II.1.introduction

L'Algérie fait face à de sérieux problème, dégradation de l'environnement et l'épuisement ou la perte de ressources naturelles. Les indicateurs sont au rouge; ils incitent à des actions rapides. La protection de l'environnement en Algérie doit être prise comme partie intégrante du développement lui-même. La poussée écologique impose de tenir le plus grande compte de l'environnement soit en évitant des emprunts de matériaux naturels, soit en éliminant des sous-produits et déchet dont les dépôts souvent disgracieux peuvent conduire à certaines pollutions du milieu naturel.

Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchet dans le domaine de génie civil et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde, ainsi le recyclage et la réutilisation des déchet dans le domaine de génie civil.

II.2. Définition du déchet

Un déchet est défini comme " Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [18]

II.3. Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- ✓ biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- ✓ chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- ✓ technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- ✓ économiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- ✓ écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- ✓ accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets. [19]

II.4. Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux. [20]

II.5. Classification des déchets

II.5.1. Déchets ultimes

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes et en donne la définition suivante : « un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. »

A terme, seuls les déchets qui n'ont pu être ni recyclés, ni incinérés avec récupération d'énergie, pourront être mis en décharges.

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route. [21]

II.5.2. Déchets inertes

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [22]

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants :

- ✓ Les bétons (armés ou non).
- ✓ Les tuiles et céramiques.
- ✓ Les briques, Le verre.
- ✓ Les terres et granulats non pollués et sans mélange,
- ✓ Les enrobés bitumineux sans goudron,
- ✓ Les isolants minéraux (laine de verre, de roche, de laitier, verre expansé). [23]

II.5.3. Déchets assimilés

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).

II.5.4. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- ✓ Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)
- ✓ Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs...ets [24]

II.5.5. Déchets industriels banals (DIB)

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals sont de même nature que les ordures ménagères. Ce sont :

- ✓ Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux (emballages, coffrages, menuiseries, planchers...) ;

- ✓ Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène (canalisations, menuiseries, revêtements de sols, emballages...) ;
- ✓ Les métaux ferreux et non ferreux tels que l'aluminium, le cuivre, l'acier, le zinc (toitures, matériels électriques, canalisations, équipements...) ;
- ✓ Les revêtements muraux et de sol textiles ;
- ✓ Le polystyrène expansé, le polyuréthane ;
- ✓ Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation...
- ✓ Les peintures, vernis, colles, mastics, qui ne comprennent ni solvants organiques, ni substances dangereuses. [25]

II.5.6. Déchets dangereux

II.5.6.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

II.5.6.1. Déchets ménagers spéciaux (DMS)

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [26]

II.6. Recyclage des déchets

II.6.1. Définition

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- ✓ Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- ✓ Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- ✓ Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de pair avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large. [27]

II.6.2.Procédés du recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

- ✓ Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.
- ✓ Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.
- ✓ Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [28]

II.6.3. Impact du recyclage dans l'industrie

II.6.3.1. Source d'approvisionnement alternative

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre après des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction.

Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnement telles que la facilité de négociation des prix d'achat au la sécurité des approvisionnements. [29]

II.6.3.2. Création d'activités

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur.

En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable faite qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières. [29]

II.6.3.3. Mise en conformité avec la loi

Dans le cas des déchets d'équipements électriques et électroniques, c'est l'intervention du législateur qui a rendu leur collecte et leur valorisation obligatoires au sein de l'Union européenne. [29]

II.6.3.4. Coût de main-d'œuvre

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage au quel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondant, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient de bacs spéciaux et le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploi plus de personnes qu'une collecte simple.

La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité(en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré). Les impôts locaux en tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et une taxe sur les emballages. [29]

II.6.4. Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- ✓ L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- ✓ Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- ✓ Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- ✓ L'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- ✓ Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- ✓ Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. [30]

II.7. Déchets utilisés comme granulats du béton

II.7.1. Déchet de faïence

Les faïences peuvent être définies comme des produits céramiques dont la pâte poreuse. Et pas conséquent perméable. Et recouverte d'une composition vitrifiable destinée à remédier à cette perméabilité. [31]

Les déchets de faïence sont des matériaux inertes ou résidus qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries fabrication de matériaux de construction.



Figure II.1.Déchet de faïence

II.7.2. Déchets de la démolition

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf. [32]

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.



Figure II.2.Déchets de démolition

II.7.3. Déchet de Pneus

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité. [33]



Figure II.3. Déchet de Pneus

II.7.4. Les déchets de brique

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel. [34]



Figure II.4. Déchet de Brique

II.7.5. Déchet de Verre

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. Une dilatation élevée est produite lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%.

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m^3 par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C .

Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPA après une période de cure à la vapeur de 28 jours.

Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton.

Les additifs font varier les propriétés physiques et mécaniques du verre. Néanmoins, il garde tout de même des caractéristiques générales : isolant (très faible conductivité thermique et électrique), dur (difficile à percer et à rayer), étanche aux gaz, aux liquides, résistant à la chaleur, facilement stérilisable, inerte chimiquement, transparent. [35]



Figure II.5. Déchet de verre

II.7.6. Les déchets de chantier

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé. [30]



Figure II.6. Déchets de chantier

II.7.7. Les déchets plastiques

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- ✓ Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- ✓ Les déchets de production : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. ils sont homogènes et présentent la particularité

d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).

✓ Les déchets de transformation : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,...). On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. [37]



Figure II.7. Différent type de déchet plastique

II.7.8. Déchet de bois

Le bois manufacturé représente la plus grande partie du bois que nous utilisons et qui se termine toujours en déchet. Il n'est pas réutilisable principalement en raison des produits de protection, de conservation ou d'habillage (peinture et vernis.....) qui sont utilisés pendant toute sa vie. Ses seules réutilisations, de façon marginale, sont les panneaux de particules que l'on obtient aussi avec de la colle et des produits injectés.

Le bois en fin de vie devrait être pour destruction, en centrale spécifique comme le demande certains textes officiels, mais ce n'est qu'un rêve de le croire. Il est très souvent brûlé soit dans vos cheminées soit dans les centrales où les produits nocifs sont éjectés dans l'atmosphère, soit stockés sans réutilisation en décharge (sauvage ...) et cela rarement pour le bien de notre santé. [38]



Figure II.8. Différent type de déchet de bois

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le recyclage et les différents types des matériaux recyclés utilisés dans la construction telles que le céramique, le bois, le verre, le plastique, est les pneus, avec leur caractérisation principale, leur utilisation et classification, leur mode d'utilisation. la classification de tous les types de déchets, leur impact sur l'environnement, l'humanité.

CHAPITRE III

**Caractérisation des matériaux et
protocoles d'essais**

III.1. Introduction

Ce chapitre résume la caractérisation des matériaux utilisés dans notre travail, les différents essais physico-mécaniques réalisés sur les matériaux utilisés pour la fabrication du béton (Graviers, Sables, Ciment, Eau de gâchage, déchet de faïence) et les différents essais réalisés sur béton à l'état frais (essais d'étalement au cône d'Abram) et à l'état durci tel que les propriétés mécaniques (Résistance à la compression et résistance à la flexion, ultra son, scléromètres).

III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

III.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un CEM II/A 42,5. De la cimenterie de (GICA CHLEF) un ciment Portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Le ciment Portland composé CEM II/A 42.5 est constitué de:

- 80 à 94% de clinker Portland.
- 6 à 20% maximum d'ajouts (calcaire pur).
- Constituants secondaires (0 à 5% sulfate de calcium comme régulateur de prise).

Le CEM II/A 42,5 de l'ECDE répond aux exigences de la norme NA 442- 2000



Figure.III.1. Sac de ciment utilisé

Tableau. III. 1 .Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5 (GICA CHLEF)

Caractéristiques	Résultats	Unités
Consistance normale	27	%
Début de prise	135	Min
Fin de prise	225	Min
Masse spécifique	3.12	cm ² /g
Masse volumique	1.03	g/cm ³
Surface spécifique(SSB)	3167.55	Cm ² /g

Tableau. III. 2. Caractéristique mécanique du ciment CEM II/A 42.5 (GICA CHLEF)

Résistance (MPa)	Age (jours)		
	2 jours	7 jours	28 jours
Compression	19.21	35.43	47.92
flexion	4.27	5.91	6.87

Tableau. III.3.Composition minéralogique du ciment CEM II/A 42.5 (GICA CHLEF)

Phase	Eléments	Teneur	Unité
Clinker	C ₃ S	58	%
	C ₂ S	16	%
	C ₃ A	7	%
	C ₄ AF	12	%
	CaOL	1	%
Régulateur de prise	Gypse	6	%
Ajout	Calcaire	17	%

Tableau. III.4. Composition chimique du ciment 42.5 (GICA CHLEF)

Elément chimiques	Teneur %
SiO ₂	15.80
Al ₂ O ₃	4.15
Fe ₂ O ₃	2.31
CaO	61.90
MgO	2.39
K ₂ O	0.69
Na ₂ O	0.06
SO ₃	3.00
Chlorures	0.023
Insoluble	0.72
Paf	9.59

III.2.2. Le sable

❖ Sable naturel

Le sable utilisé dans notre étude si le sable (0/4) de OUED SOUF, en a fait des essais sur ce sable comme des essais physiques et d'analyse granulométrique est L'essai d'équivalent de sable.



Figure.III.2. Sable naturel utilisé

III.2.2.1. Masse volumique NF EN 1097-6

La masse volumique absolue est définie comme étant le quotient de la masse sèche de l'échantillon sur le volume occupé par la matière solide, sans tenir compte du volume des vides.

Quant à la masse volumique apparente, elle est définie comme le rapport de la masse sèche de l'échantillon sur le volume occupé par la matière solide et les vides qu'elle contient.

La masse volumique absolue du grain est mesurée à l'aide d'un pycnomètre à eau.

La masse volumique apparente, l'appareil utilisé est un entonnoir porté par un trépied, muni d'une passoire d'un opercule mobile. Les résultats sont donnés dans le tableau

Tableau. III.5. Caractéristique physique de sable d'oued Souf

Sable étudié	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	L'absorption d'eau (%)
0.4oued souf	2.85	1.56	0.98

III.2.2.2. Analyses granulométriques NF P18-560

L'analyse granulométrique traduit la distribution pondérale des grains par classe granulaire. L'essai consiste à séparer par tamisage, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. On appelle passant (ou tamisât) la partie de matériaux qui passe au travers du tamis et refus celle qui y est retenue. Le refus et le passant sont exprimés en pourcentage de la masse totale sèche M de l'échantillon analysé.

Mode opératoire

- Prélever une quantité de matériau sec (sable naturel, sable recyclé, granulat naturel, granulat recyclé).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08 mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (matériaux secs) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (m_i) + le matériau. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_i du tamis i .
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis 2}$)
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés $R_3, R_4, \dots$

Tableau III.6. Analyses granulométriques de sable d'oued Souf

Tamis ouverture (mm)	Retenu cumulé (gr)	Retenu cumulé(%)	Passant(%)
5	5	1	99
4	9	1	99
2.50	19	2	98
1.25	65	6	94
0.63	282	28	72
0.315	807	81	19
0.16	965	97	4
0.08	993	99	2
FONT DE TAMIS	994	99	1

III.2.2.3. Equivalent de sable (SE) NF EN 933-8

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans ce sable.

L'essai consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavant puis, après un temps de mise au repos donné, à mesurer la hauteur des éléments sédimentés. Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 2 mm

L'équivalent de sable (SE) est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale de matériaux (Floculats et partie sableuse sédimentée).

Mode opératoire

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g)
- Prendre une pesée de 120 g
- Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10cm)

- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur Mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavant au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavant atteigne le 2ème repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.



Figure.III.3. Equivalents de sable

Tableau. III.7. Equivalents des sables

Dimension de sable	Provenance	Equivalent de sable visuel(%)
0.4	Oued Souf	90

III.2.3.1. Analyses granulométriques de Déchet de faïence concassé en sable**Tableau. III.8.** Analyse granulométrique de Déchet de faïence concassé en sable

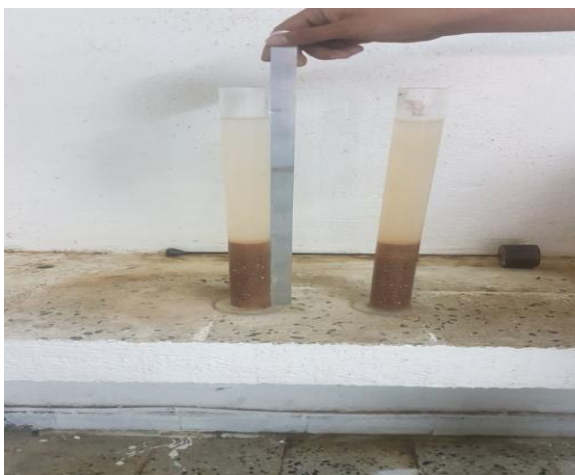
Tamis ouverture (mm)	Retenu cumulé (gr)	Retenu cumulé(%)	Passant(%)
2.50	8	0.83	99
1.25	334	33	67
0.63	556	56	44
0.315	710	71	29
0.16	916	92	8
0.08	963	96	4
Fond de tamis	985	98	2

Le sable utilisé si collecté est du sable résultant de concassage de céramique qui passent le tamis 0.3mm.

**Figure.III.4.** Déchet de faïence concassé en sable

III.2.2.4. Equivalent de Déchet de faïence concassé en sable**Tableau. III.9.** Valeurs des équivalents Déchet de faïence concassé en sable

Dimension de sable	Provenance	Equivalent de sable visuel(%)
0.4	Déchet de faïence	66

**Figure. III.5.** L'analyse granulométrique Déchet de faïence concassé en sable**Remarque**

D'après les résultats l'analyse granulométrique est "Equivalent de sable " du sable provenant du déchet concassé, on peut dire qu'il répond aux exigences de la norme pour qu'il soit utilisé dans les bétons.

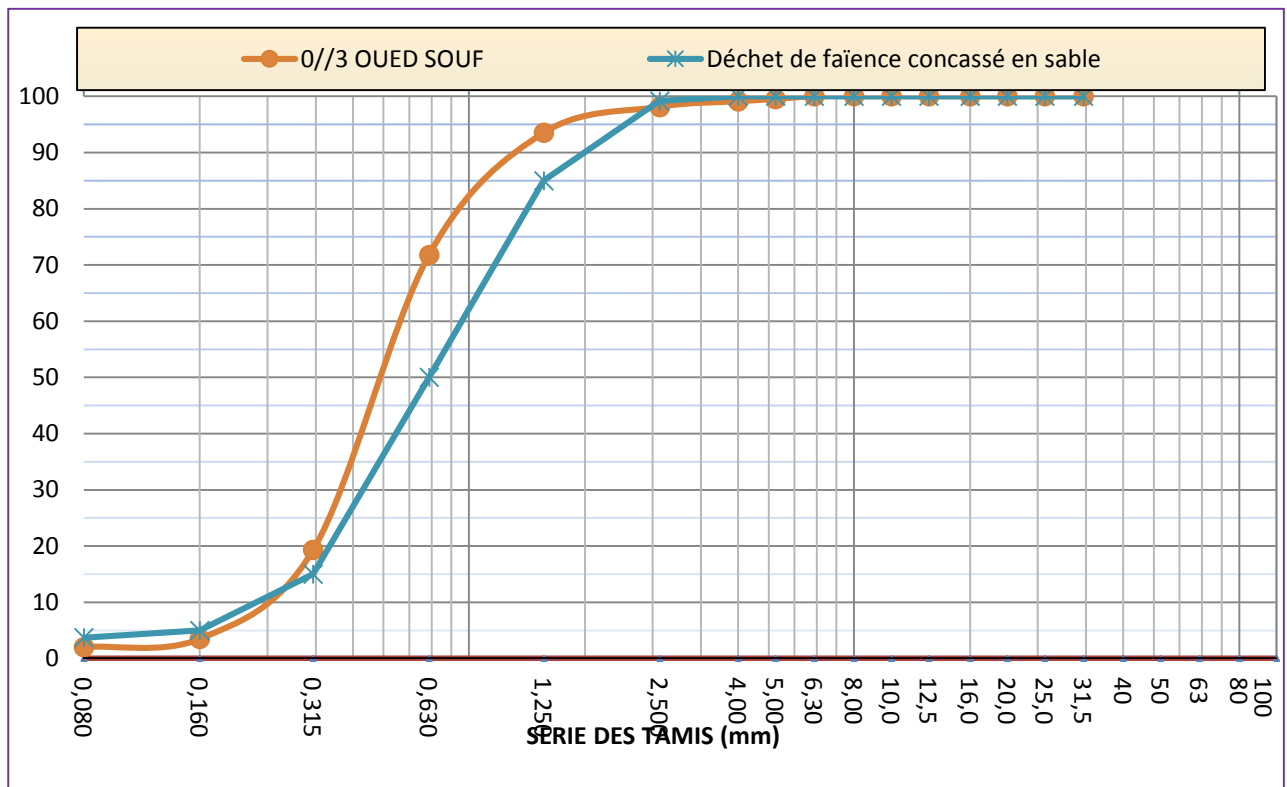


Figure. III. 6. Analyse granulométrique par tamisage pour le sable naturel (oued souf) est Déchet de faïence concassé en sable.

Commentaire : à travers la courbe de tamisage de deux sables on trouve qu'il existe une grande convergence entre le sable naturel et le sable recyclé.

III.2.4. Gravier

Les graviers utilisés sont : le gravier naturel de bouzeguezza (3/8, 8/15) et le gravier de déchet faïence (3/8, 8/15).

III.2.4.1.Gravier naturelle

les graviers naturels utilisés sont des graviers de bonne qualité de carrier de bouzzegza



Figure .III. 7. Gravier naturel (3/8)-(8/15)

Tableau. III.10.Caractéristique physique de graviers naturels (3/8)

Gravier naturel	Masse volumique absolue (g/cm³)	Masse volumique apparente (g/cm³)	Los Angeles (%)	L'absorption d'eau (%)	Micro-dévale(%)
	2.66	1.43	25.04	0.67	26.64

III.3.1. Analyse granulométrique

Tableau. III. 11. Analyse granulométrique de gravier (3/8)

Tamis ouverture (mm)	Retenu cumulé (gr)	Retenu cumulé(%)	Passant(%)
8	13	1	99
6.3	288	14	86
5	1319	66	34
4	1671	83	17
2.50	1918	96	4
1.25	1964	98	2
0.63	1976	99	1

Tableau. III. 12. Caractéristique physique de graviers naturels (8/15)

Matériaux (Gavier)	Masse volumique absolue (g/cm3)	Masse volumique apparente (g/cm3)	Los Angeles (%)	L'absorption d'eau (%)	Micro- dévalé(%)
(8/15)	2.71	1.41	25.04	0.67	26.64

Tableau. III. 13. Analyse granulométrique du gravier naturel (8/15)

Tamis ouverture (mm)	Retenu cumulé (gr)	Retenu cumulé(%)	Passant(%)
16	73	2	98
14	396	13	687
12.5	845	28	72
10	1919	64	36
8	2774	92	8
6.3	964	99	1
5	2989	99	0.37

Remarque :

Les granulats naturels utilisés sont des granulats de bonne qualité, dont les caractéristiques physiques et mécaniques satisfont aux exigences de la norme.

III.2.4.2.Graviers recyclé



Figure. III. 8.Gravier recyclé (3/8)-/8/15)

Remarque : pour obtenir la fraction gravier, nous avons procédé selon plusieurs étapes, y compris la collecte de déchets de céramiques, et le passage en tamis pour sélection.

Déchet de faïence



Concassage



Tamisage



(8/15)



(3/8)



(0/4)

Figure .III.9. Différents étapes de traitements du déchet de faïence

Tableau. III. 14. Caractéristique physique de gravier recyclé (3/8)

Matériaux recyclé	Masse volumique absolue (g/cm³)	Masse volumique apparente (g/cm³)	Los Angeles (%)	L'absorption d'eau (%)	Micro-dévalé (%)
Graviers (3/8) recyclée	2.56	0.88	32	12	40

Tableau. III. 15. Analyse granulométrique de gravier recyclé (3/8)

Tamis ouverture (mm)	Retenu cumulé (gr)	Retenu cumulé (%)	Passant (%)
8	15	1	99
6.3	533	27	73
5	1025	51	49
4	1317	66	34
2.50	1859	93	7
1.25	1973	97	1
0.63	1972	99	1

Tableau. III. 16. Caractéristique physique de gravier recyclé (8/15)

Matériaux recyclé	Masse volumique absolue (g/cm3)	Masse volumique apparente (g/cm3)	Los Angeles (%)	L'absorption d'eau (%)	Micro-dévale(%)
Graviers (8/15) recyclé	2.56	0.96	32	12	40

Tableau. III. 17. Analyse granulométrique de gravier recyclée (8/15)

Tamis ouverture (mm)	Retenu cumulé (gr)	Retenu cumulé(%)	Passant(%)
16	73	2	98
14	396	13	87
12.5	845	28	72
10	1919	64	36
8	2774	92	8
6.3	2964	99	1
5	2989	99	1

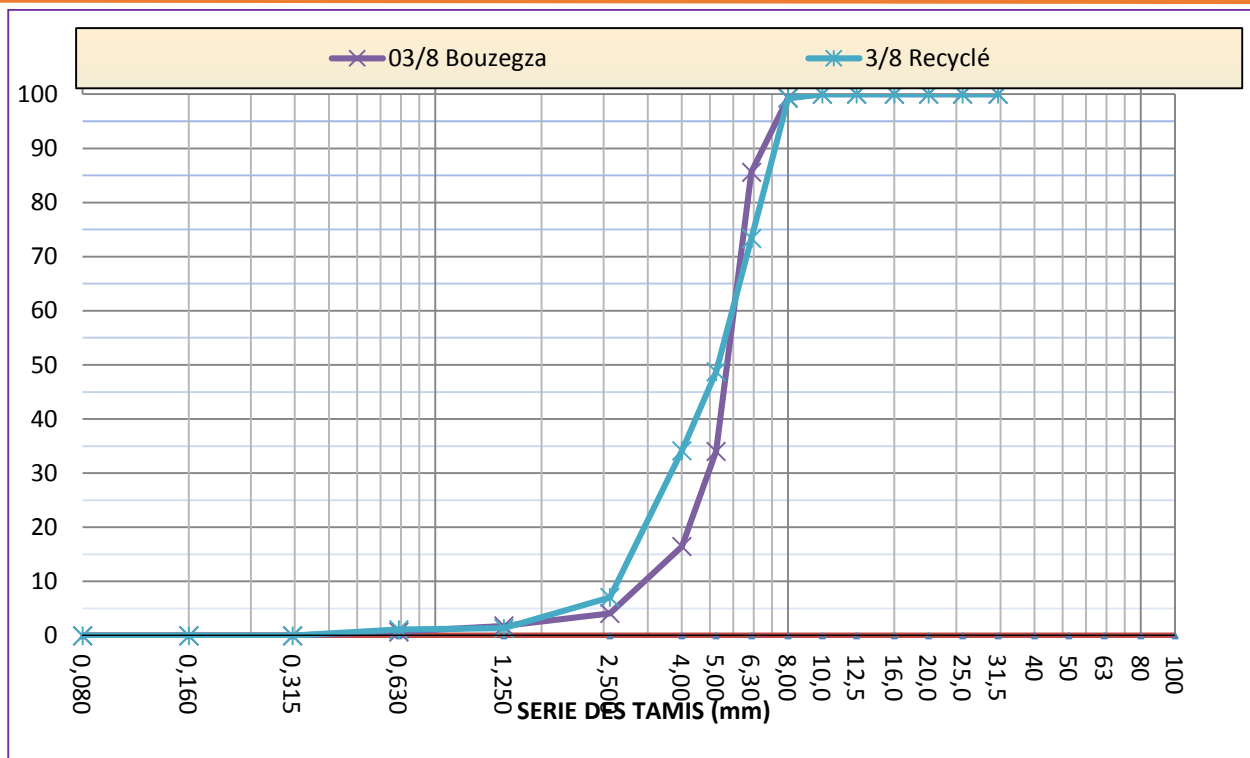


Figure. III. 10. Analyse granulométrique par tamisage pour les Gravier naturel (3/8) et gravier recyclé (3/8)

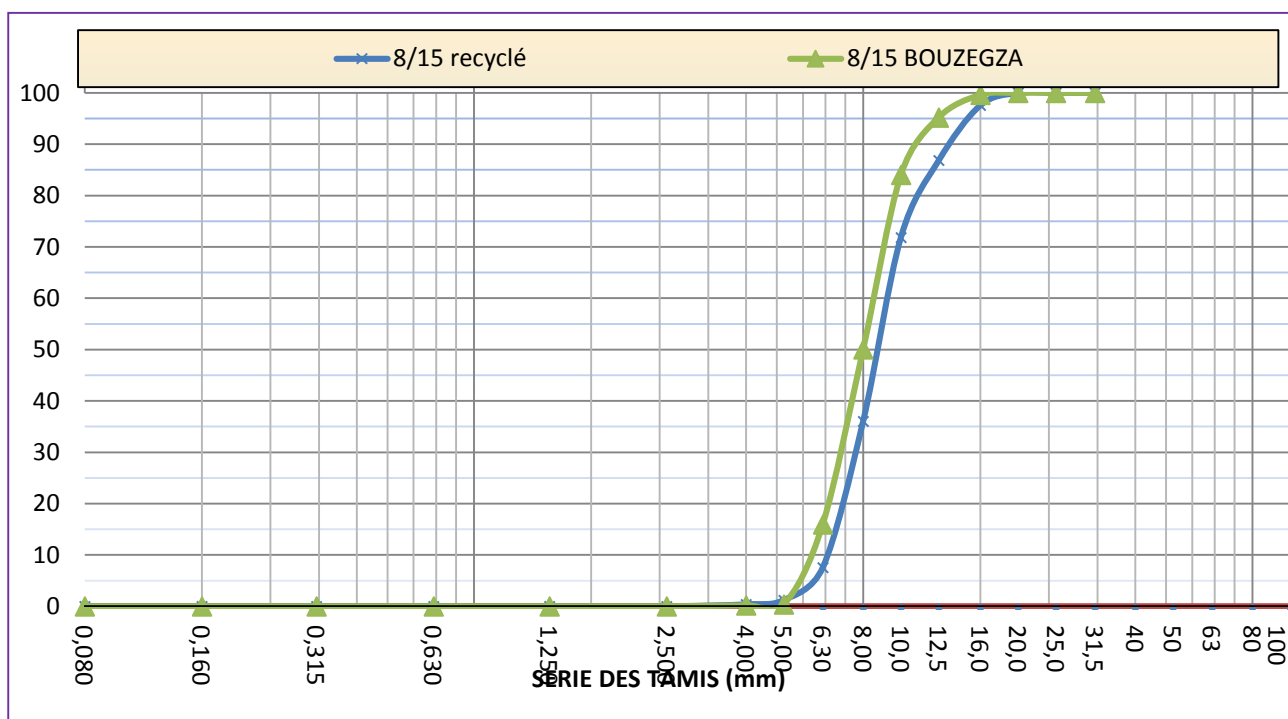


Figure. III. 11. Analyse granulométrique par tamisage pour les graviers naturels (8/15) et gravier recyclé (8/15)

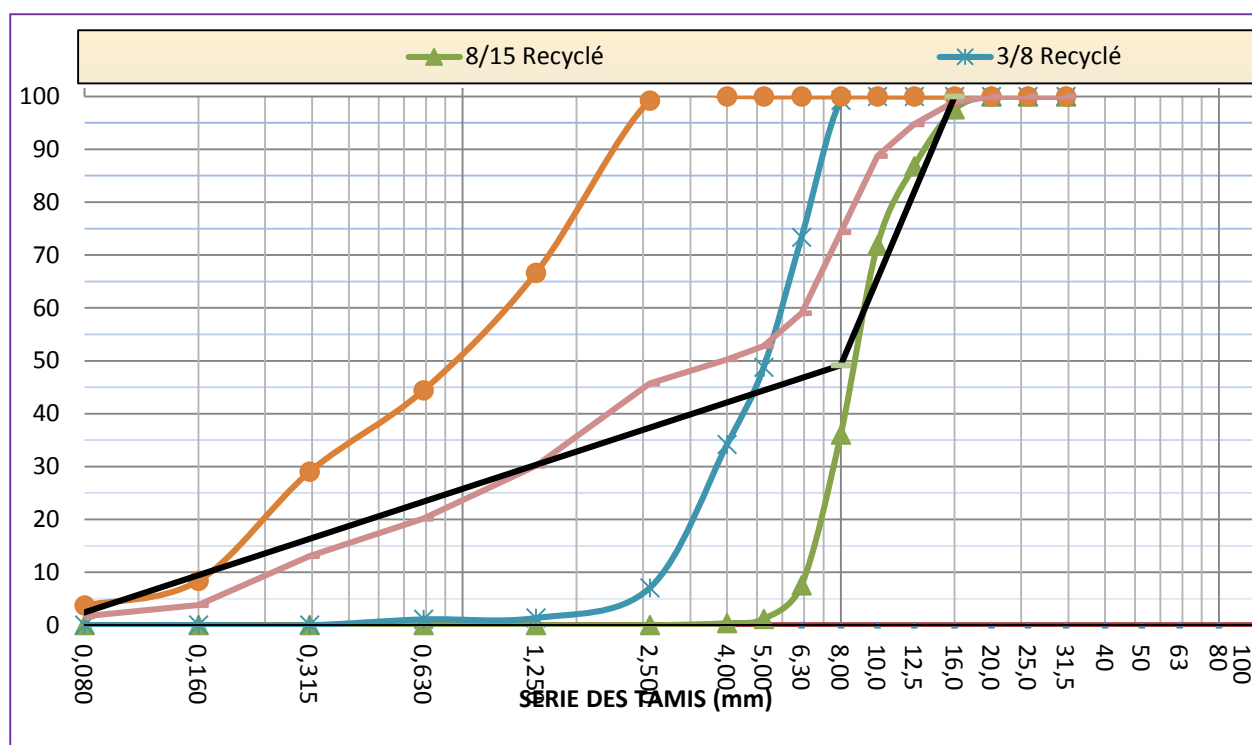


Figure. III.12. Analyse granulométrique par tamisage pour les matériaux recyclés (graviers (3/8) (8/15) Déchet de faïence concassé en sable (0.4))

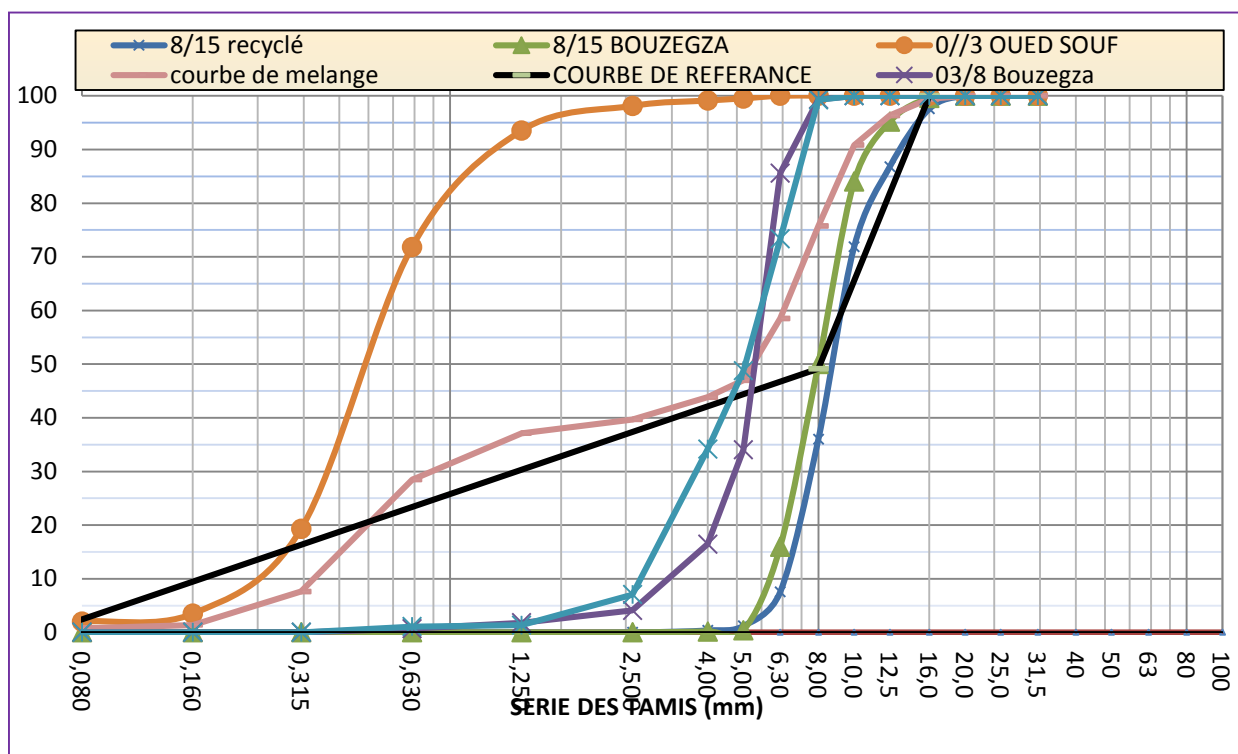


Figure. III.13. Analyse granulométrique par tamisage pour les matériaux naturel et recyclé en même courbe

Interprétation :

A travers les essais préliminaires réalisés sur les deux matériaux naturels et recyclé, on confirme l'hypothèse présentée concernant l'utilisation des déchets de faïence dans les formulations de béton. Il s'agit des propriétés de déchets de faïence, très similaires de point de vue dureté, forme et à taille de la pierre naturelle. En trouvant des résultats acceptables de la valeur de micro d'uvale 26.5% pour le gravier naturel et 40% pour le gravier recyclé même pour l'analyse de Los Angeles, on constate une différence remarquable avec 25% pour le gravier naturel et 32% pour le gravier recyclé. Pour l'absorption d'eau, on trouve un grand décalage de l'ordre de 12% pour les graviers recyclés et 0.63 pour le gravier naturel.

III.4. L'adjuvant

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau dit «**medaflow113** », conforme à la norme **NF EN934-2**, fabriqué par « **granitex** ».

Le **medaflow113** est un super plastifiant/haut réducteur d'eau polyvalente de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Le **medaflow113** permet la fabrication de bétons plastiques à maintien d'ouvrabilités transportés sur de longues distances et pompés.



Figure. III. 14. Adjuvant MEDAFLOW 13

Tableau III.18.Caractéristiques physique de medaflow113

Forme	Liquide
Couleur	Brun clair
PH	4.5 à 6.5
Densité	1.06 ± 0.01
Teneur en chlore	$\leq 0.1 \%$
Extrait sec	28 à 31 %

Propriétés et effets :**Sur béton frais :**

- L'obtention d'un E/C très faible.
- Béton plastiques à fluides.
- d'éviter le ressuage et la ségrégation.
- de faciliter la mise en œuvre du béton.

Sur béton durci :

- D'augmenter la durabilité du béton.
- D'augmenter les résistances mécaniques.
- Diminution de la perméabilité.
- Diminution la retraite.

Dosage :

Le dosage de medaflow 113 varié entre 0.2 à 3 % du poids de ciment, ce dosage dépend de performances recherchées.

Mise en œuvre

Le **medaflow113** est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Domaines d'applications

- Bétons à haute performance.
- Bétons auto plaçant.
- Bétons pompés.
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux

III.5.Eau de gâchage

L'eau utilisée dans nos essais c'est l'eau potable d'Oued Samar, LNHC.

III. 6. DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON

L'élaboration de la composition du béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton donné.

Elle a pour but d'établir les dépenses en matériaux pour un mètre cube de béton frais. La composition d'un béton frais est défini par un rapport des masses entre les

Quantités de ciment, de sable et de pierres concassées avec l'indication du rapport Eau –Ciment(E/C).

Plusieurs méthodes de composition sont proposées par des spécialistes de renom, tels que Bolomey, Abrams, Faury, Dreux et Gorisse, ainsi que des Russes comme Bélaïev et Scramtaïev.

Ces méthodes sont, soit à granularité « continue », qui permet d'obtenir des bétons Plus plastiques et de bonne ouvrabilité, soit par contre à granularité discontinue, qui conduit en général à des résistances en compression un peu supérieures, mais parfois au détriment de L'ouvrabilité (G/S)

En ce qui nous concerne, le mélange optimal nous irons la chercher en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse. Notre choix a été dicté par le fait que la méthode de Dreux – Gorisse est permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié.

❖ **Formulation De béton par la méthode dreux-gorisse :**

$A_{ff}=20\text{cm}$

$F_{C28}=25\text{MPa}$

$F_C=25+15\%$

$F_C=28.75\text{ MPa}$

Formule de bolomey

$F_C=G_{fc} (c/e-0.5)$

F_c = résistance moyenne en compression désirée (a 28jours) en mMPa

F_{ce} = classe vraie du ciment (a 28 jours) en MPa

E =dosage en eau totale sur matériaux sec (en litre pour 1m³)

C = dosage en ciment (en kg/m³)

G =coefficient granulaire

$G=0.5$

Tracer la courbe granulaire de retirance (OAB)

A : Abscisse

$X=D_{\max}/2$; $X=8$

Ordonnée :

$Y_A=50-\sqrt{(D_{\max})+K+KP+KS}$

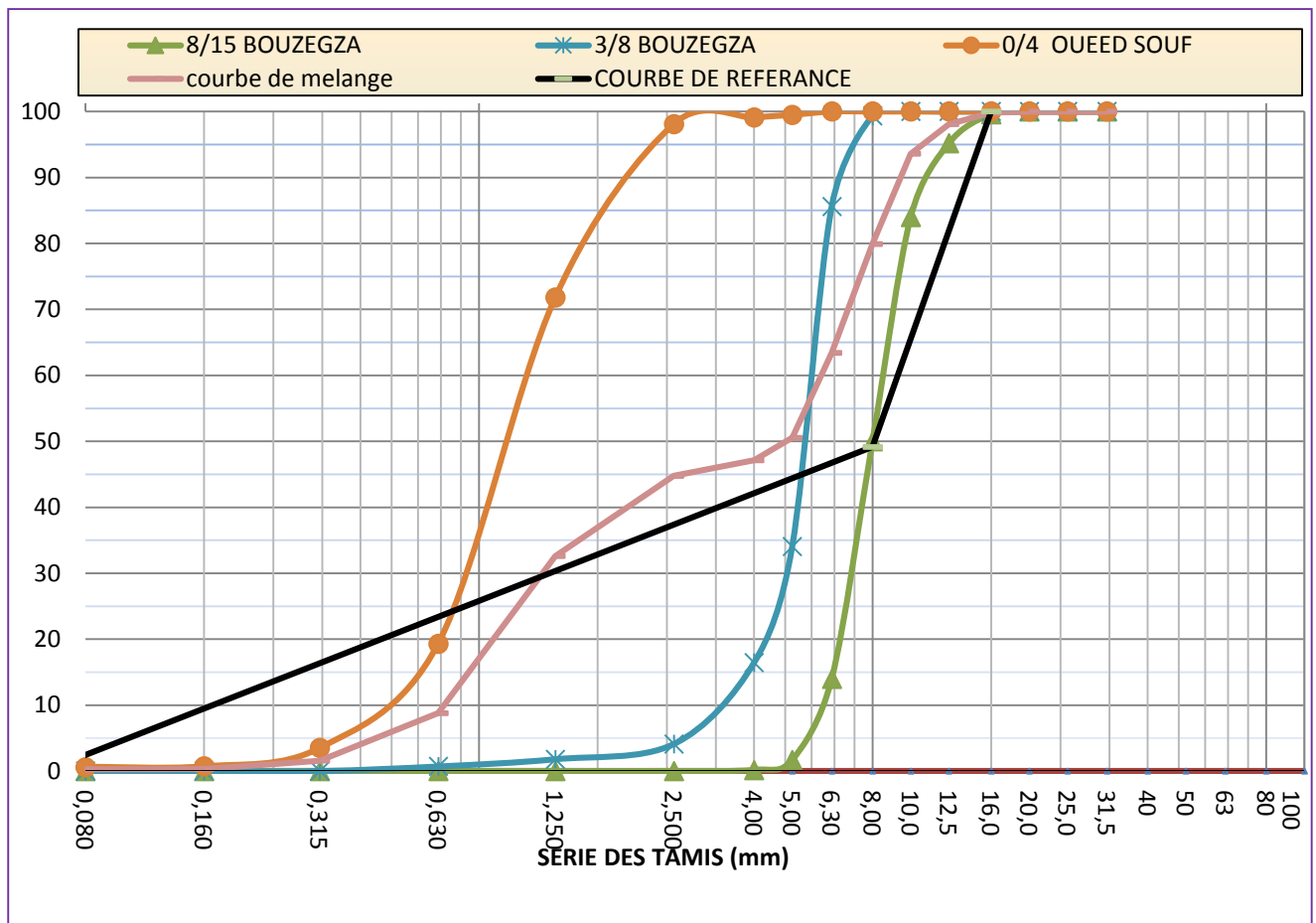


Figure. III. 15. Analyse granulométrique par tamisage pour les matériaux naturel (graviers (3/8) (8/15) sable oued souf (0.1)

Détermination des masses de granulat

$$V_{\text{sable}} = V_{\text{granulat}} \times \text{sable}\%$$



$$M_s = V_{\text{gr}} \times S\% \times \rho_s$$

$$V_{\text{gravillon 3/8}} = V_{\text{granulat}} \times \text{granulat}\%$$



$$M_g = V_{\text{gr}} \times g\% \times \rho_s$$

$$V_{\text{gravillon 8/15}} = V_{\text{granulat}} \times \text{gravillon}\%$$



$$M_g = V_{\text{gr}} \times g \times \rho_s$$

Tableau. III. 19. Composition pour 1m³ de béton

Formulation	Béton témoin	25 %DF- GRAVIER	50 %DF- GRAVIER	75 %DF- GRAVIER	100 %DF- GRAVIER	25 %DF- GRAVIER+SA BL
CIMENT 42.5 (kg)	380	380	380	380	380	380
BOUZEGZA3/8(kg)	274	205.5	137	68.5	/	205.5
BOUZEGZA8/15(kg)	734	550.5	367	228.5	/	550.5
OUED SOUF0/4(kg)	805	805	805	805	805	60.75
DF- GRAVIER3/8(kg)	/	68.5	137	183.5	274	68.5
DF- GRAVIER8/15(kg)	/	183.5	367	550.5	734	183.5
SABLE RECYCLEE0.1 (kg)	/	/	/	/	/	201.25
EAU	167	167	167	167	167	167
ADJUVANT MEDAFLOW 113(%)	1	1	1	1	1	1

III.7. Préparation des bétons

La préparation du béton demande plus d'attention et de précision. Le malaxage de béton est réalisé avec malaxeur à axe vertical et mouvement planétaire de capacité 200 litre ce type de malaxeur est très efficace fournit dans la plupart des cas un béton très homogène.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

1. Vérifier en premier le nombre et l'état des moules nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
2. Préparer tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
3. Préparer les quantités des constituants (ciment, sable, gravier, adjuvant, déchet de faïence, eau).
4. Placer les constituants par ordre : gravier 8/15, gravier 3/8, sable 0/4, sable, les fines et le ciment dans le malaxeur pendant (01) min pour malaxage à sec.
5. Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement l'eau de gâchage
Ajouter progressivement l'adjuvant.



Figure. III.16.Malaxeur utilisé

D'après le malaxage, rempli les éprouvettes en deux /trois couches sans vibration pour le béton et déterminer les caractéristiques rhéologiques des bétons obtenus selon les exigences normalisées (étalement au cône d'Abrams).

III.8 Mise en place du béton

Pour notre étude, nous avons opté pour un nombre d'éprouvette deux forme cubique (15/15) est prismatiques (7-7-28) cm.

Pour la réalisation des éprouvettes, nous avons appliqué les étapes suivantes :

- Préparer une série des moules convenables, avec la quantité du béton
- Placer, les moules sur une table.
- Huiler les moules et vérifier leurs serrages.
- Remplir, les moules par le béton, l'exécuter en trois couches.
- Vibrer le béton jusqu'à remontée de laitance en surface (soit pendant 30 secondes, pour avoir la finition de la face supérieure). Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule.
- Conserver les éprouvettes dans leurs moules jusqu'au démoulage.
- Démouler, les moules après 24 heures de leur confection.
- Marquer les éprouvettes au moment de leur démoulage, numéro des éprouvettes, la date du malaxage et de l'essai pour l'identification de l'essai.



Figure. III.17. Confection des éprouvettes de béton

III.9. Conservation des éprouvettes

Après démoulage (en principe à 24 heures) la conservation s'effectue à l'eau à température ambiante de 21° jusqu'à la date d'essai.



Figure. III.18. Conservation des éprouvettes dans un bac

III.10. PROCEDURE DES ESSAIS

1-MASSES VOLUMIQUES du béton

La masse volumique du béton a été évaluée par la formule suivante.

$$P = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

m₂ : La masse volumique du moule rempli du béton compacte.

m₁ : La masse volumique du moule vide.

V : Le volume du moule cubique (15×15×15) cm³

2- Essai au cône d'Abrams

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton frais peu fluide pour déterminer sa consistance. L'affaissement est aussi connu sous le nom de slump provenant de l'anglais.

Mod opératoire

- la plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante ;
- le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm². Il porte le nom de son inventeur Duff Abrams (en)³ ;
- une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.
- le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque ;
- le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige ;
- le cône est arasé avec une tige ;
- le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler ;
- l'affaissement du béton frais est mesuré.



Figure. III. 19. L'essai d'affaissement au cône d'Abrams

III. 11. ESSAIS SUR LE BETON DURCI

Nous présentons dans cette partie les résultats des essais de vitesse de son, Scléromètre, de la résistance à la compression et de la résistance à traction par flexion. Les pertes de résistance sont calculées par rapport au béton témoin.

1. vitesse de propagation du son NF P 18-418-1989

C'est un essai non destructif, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée. Une émettrice et l'autre réceptrice.

Principe de fonctionnement

Le principe utilisé est celui de la mesure du temps de propagations t des ondes longitudinales dans le béton, émises par un ébranlement. Les deux sondes sont appliquées l'une en face de l'autre contre la surface de béton, et le temps de propagation est lu sur l'affichage digital en micro-secondes. Connaissant la distance d parcourue par les ondes, on en déduit une vitesse V :

$$V = \frac{d}{t} \text{ Où :}$$

V : exprimée le plus souvent en mètres par seconde m/s

Comme une certaine corrélation existe entre la vitesse du son et la résistance, on peut apprécier, avec des étalonnages préalables, la valeur de la résistance du béton.



Figure. III. 20. Essais de propagation du son

2-Scléromètre NF EN 933-3

L'essai au scléromètre est le plus connu pour un contrôle rapide du béton, en fait-il s'agit de tester la dureté superficielle du béton durci .cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

Le scléromètre appliqué sur une surface du béton à ausculter par une pression de la main.

Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton (énergie de déformation permanente), l'autre partie provoque le rebondissement de la masse mobile qui est proportionnel à l'énergie restée disponible. Il est indispensable que la masse du béton soit infinie par rapport à la partie mobile du scléromètre afin d'éviter l'obtention d'une énergie cinétique lors des essais. En cas d'essais sur éprouvettes, il est recommandé de fixer ces dernières entre les plateaux d'une presse.

2.1. Choix des zones et points d'essai :

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm² au moins. Chaque zone est structurée en un grillage de points de mesure ayant pour espacement $d = 30 \times 50$ mm .Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

2. 3. Préparations des zones d'essais :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas des nids de gravier, des écaillages, une texture grossière, une porosité élevée ou des armatures affleurantes.

La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée. En faisant cette opération, la dispersion est moins grande.

Les faibles inégalités résultant des coffrages de bois non raboté peuvent être supprimées par polissage avec la pierre à polir jointe à l'instrument

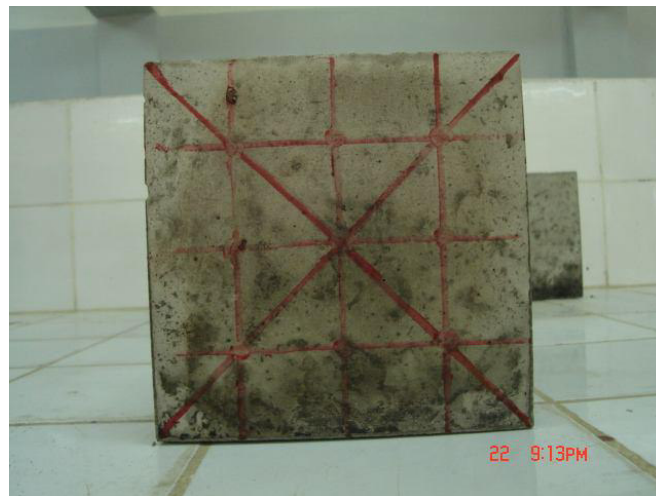


Figure. III. 21. Préparations des zones d'essais

2. 4.Modalités des essais

Eliminer les valeurs aberrantes (trop faible ou trop fortes) ; il existe des règles différentes suivant des organismes qui l'utilisent .Un certain bon sens suffit pour reconnaître la valeur anormale. Selon l'expérience, cette différence est due à l'effet d'un grain de gravier important sous la surface, une barre d'aciers ou un pore dans le béton située aussi sous la surface.



Figure. III. 22. Essais Scléromètre

3-Résistances mécaniques à la compression NF EN 12390-3

L'essai de résistance mécanique à la compression est utilisé pour mesurer la résistance à la rupture par compression axiale des éprouvettes.

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

On retient pour charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et on calcule la résistance (R) par la relation suivante :

$$R = \frac{F}{A}$$

F : est la charge maximale (en KN).

A: est la surface de compression de l'éprouvette exprimée en millimètre carrée.

R: la résistance à la compression exprimée en MPa



Figure. III. 23. Machine de compression

4. Essai de traction par flexion NF EN 12390-3

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élancement 4, reposant sur deux appuis.

- soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).
- soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges).

L'essai de traction par flexion est effectué sur des prismes ($7 \times 7 \times 28$ cm). Le prisme est placé dans une machine d'essai de flexion et soumis à des charges croissantes jusqu'à sa rupture.



Figure. III. 24. Machine de l'essai de flexion

Conclusion

Les essais effectuées sur les matériaux naturel permet de d'optimiser une meilleur formulation de béton. Les résultats préliminaires obtenus indiquent que le déchet de faïences présentes des caractéristiques qui permettent son utilisation et son recyclage dans le béton.

.

CHAPITRE VI

Discussion des résultats

IV.1.Introduction

Ce chapitre consiste à présenter d'une façon globale les résultats obtenus au laboratoire.

A partir de l'application des techniques exposées dans le chapitre précédent. Nous tentons par ces procédures d'évaluer les résistances mécaniques d'un composite préparé à base des déchets de carreaux de faïence.

Remarque : dans tout ce qui va suivre on va opter les désignations suivantes :

Tableau .IV.1. La désignation utilisée pour les différents types de béton

Désignations	
Béton témoin	B T
25% gravier recyclé	G-R 25%
50% gravier recyclé	G-R 50%
75% gravier recyclé	G-R 75%
100% gravier recyclé	G-R 100%
25% gravier recyclé est sable recyclé	G-S-R 25%

IV.2. Résultats et discussion

1- Caractéristiques des bétons à l'état frais

❖ Masse volumique

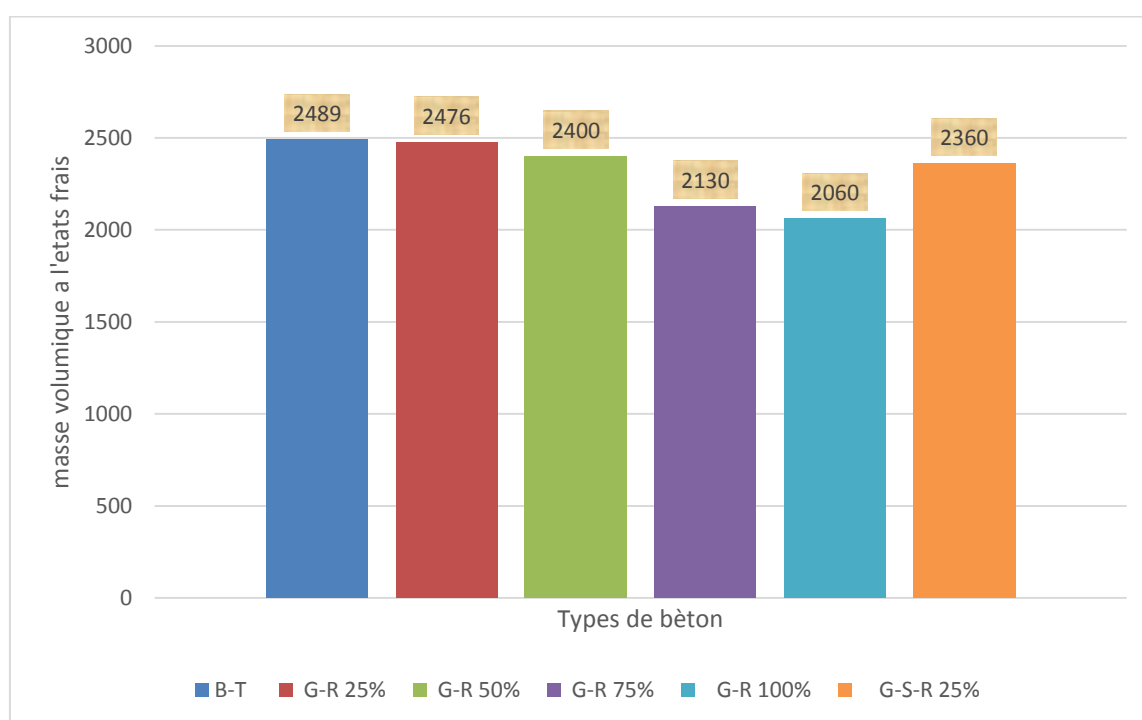
La masse volumique des bétons frais a été déterminée par la formule suivante :

$$M_v = M/V \text{ (M : masse de l'éprouvette (g), V : volume de l'éprouvette (cm}^3\text{))}.$$

Les résultats de La masse volumique à l'état frais sont représentés dans le tableau IV.2 et illustrés par la figure IV.1.

Tableau .IV.2. Masse volumique des différents types de béton à l'état frais

Type de béton	Masse volumique (Kg/m3)
B-T	2489
G-R 25%	2476
G-R 50%	2400
G-R 75%	2130
G-R 100%	2060
G-S-R 25%	2360

**Figure .IV.1.** La masse volumique à l'état frais pour toutes les formulations

Commentaire : on remarque que y'a une légère différence dans la valeur de la masse volumiques a l'état frais par ordre décroissants avec le béton témoin qui a la plus grande valeur après un pourcentage de 25% de substitution on constate une diminution de la masse volumique.

Interprétation :

Les résultats obtenus montrent que la substitution des granulats naturels par les granulats de déchet carreaux faïence diminue la masse volumique de béton. Cela est dû aux propriétés des granulats de déchet des carreaux faïence, ces derniers présentent :

- une forme angulaire qui provoque l'augmentation de la porosité du mélange granulaire
- une faible densité par rapport aux granulats naturels.

❖ Essai au cône d'Abrams

Les résultats de l'essai d'affaissement sont représentés dans le tableau IV.3 et illustrés par la figure IV.2.

Tableau .IV.3. Résultats de cône d'abrams des différents types de béton

Type de béton	Etalement (cm)
B -T	20
G-R 25 %	14
G-R 50 %	10
G-R 75 %	4
G-R 100 %	0
G-S-R 25 %	0

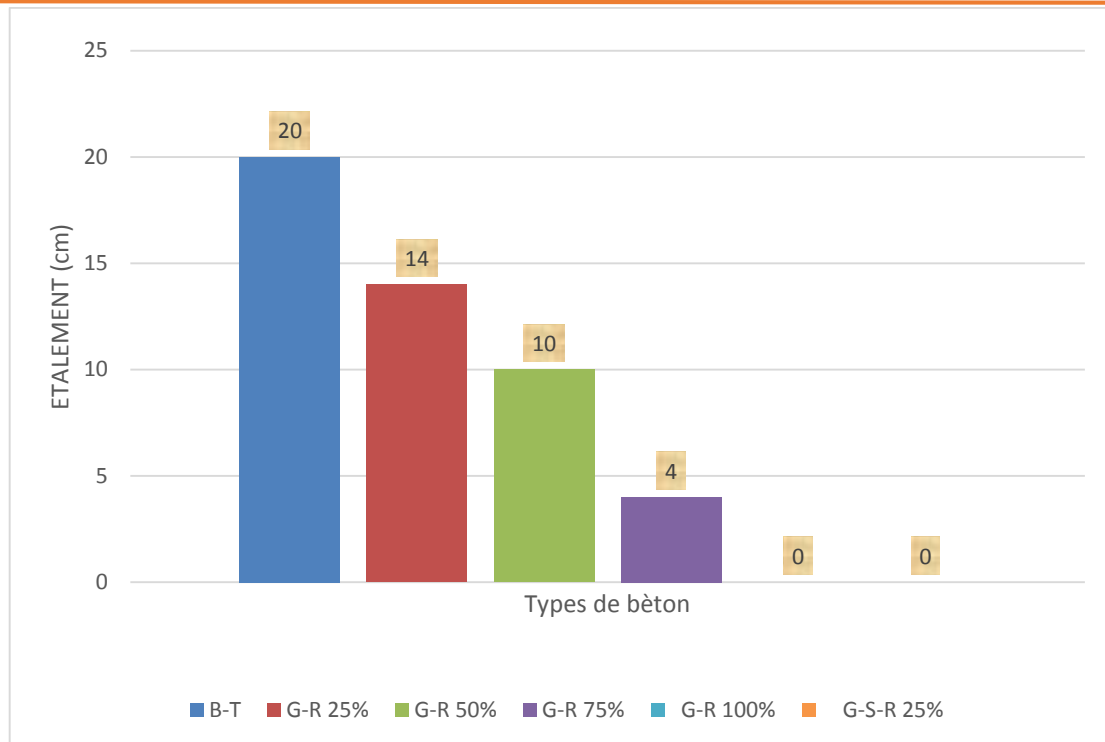


Figure. IV.2.Essais d'étalement pour toutes les formulations

Commentaire : on remarque une différence entre les résultats .du béton témoin qui présente un affaissement de 20 cm après on constate une diminution de ce dernier avec l'augmentation du taux de substitution en déchet jusqu' au zéro.

Interprétation : Les résultats obtenus montrent que l'augmentation du taux des granulats de déchet des carreaux faïence en substituants les granulats naturels fait diminuer l'étalement de béton , en effet les granulats de déchet des carreaux faïence étant plus poreux que les granulats naturels, conduisent le mélange à une forte absorption d'eau augmentant ainsi la viscosité (peu fluide), il résulte une diminution de l'ouvrabilité.

2- ESSAIS SUR LE BETON DURCI

Nous présentons dans cette partie les résultats des essais de vitesse de son, Scléromètre, de la résistance à la compression et de la résistance à la traction par flexion.

1-Masse volumique à l'état durci

Les résultats de La masse volumique à l'état durci sont représentés dans le tableau IV.4 et illustrés par la figure IV.3.

Tableau .IV.4.Masse volumique des différents types de béton a l'état durci

Type de béton	Masse volumique (kg/m ³)
B-T	2390
G-R 25%	2300
G-R 50%	2260
G-R 75%	2072
G-R 100%	2005
G-S-R 25%	2230

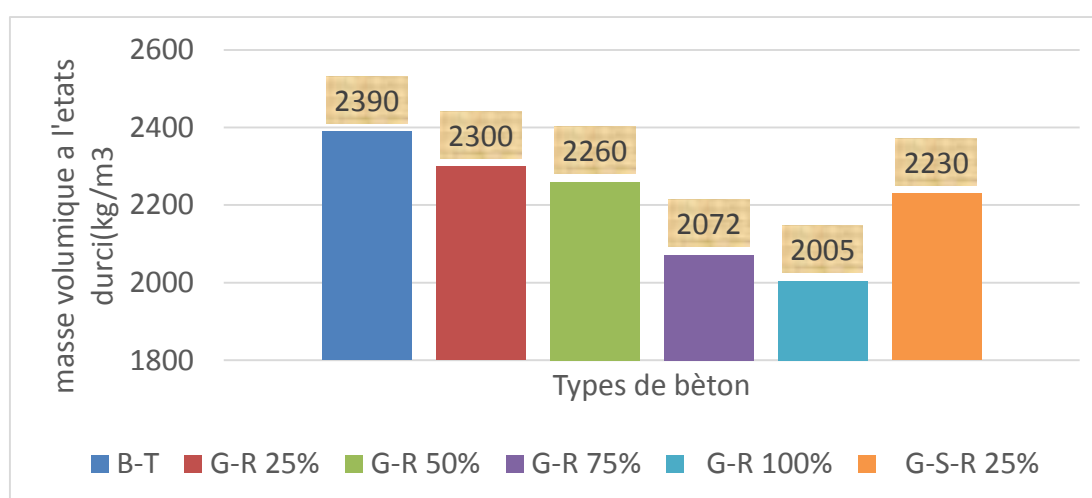


FIGURE. IV.3. Masse volumique à l'état durci pour toutes les formulations

Commentaire

- La tendance vers une valeur maximale de la masse volumique est pour un pourcentage de gravier naturel qui égale à 2390 (kg/m³) après 28jours.
- Un grand écart de résultats entre le béton témoin est les bétons de 75% est 100%.
- La masse volumique diminue avec l'augmentation du pourcentage de gravier recyclé de déchets de faïence.

Interprétation :

La baisse de la masse volumique du béton, est liée à l'augmentation de l'entraînement d'air donc la présence de vides dans la matrice, qui augmente avec la teneur de déchet. Par ailleurs, les variations de densité des constituants du granulat jouent un rôle important pour le poids du béton.

Les résultats obtenus montrent d'une façon pratique que l'utilisation des granulats de déchet influe considérablement sur le poids du béton, mais aussi sur leur structuration.

On constate que l'effet morphologique du granulât joue un rôle très Important sur la masse volumique du béton.

2-Vitesse de propagation du son

Les résultats de La vitesse de propagation du son sont représentés dans le tableau IV.5 et illustrés par la figure IV.4.

Tableau .IV.5.Vitesse de son des différents types de béton

Type de béton	Vitesse de propagation du son (m/s)
B-T	4673
G-R 25 %	4513
G-R 50 %	4493
G-R 75 %	3593
G-R 100 %	3416
G-S-R 25 %	4350

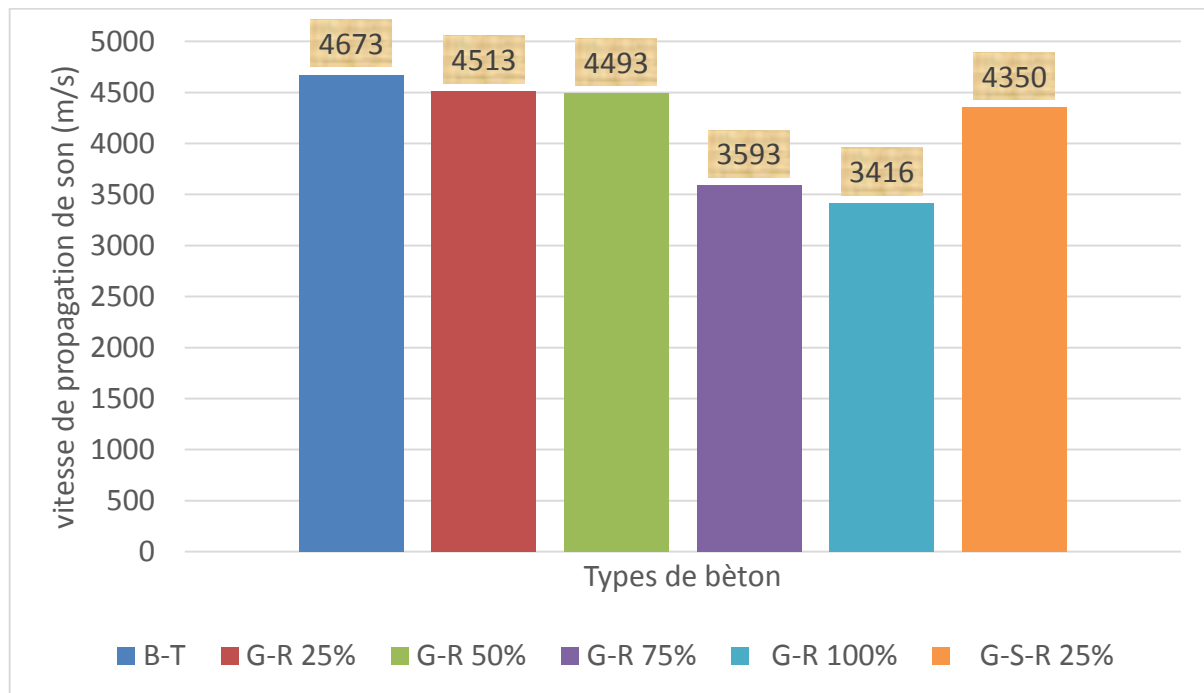


FIGURE. IV.4. Vitesse de propagation de son pour toutes les formulations

Commentaire : en remarque que la substitution des granulats naturels par les granulats de déchet de carreaux faïence, diminue la vitesse de propagation de son du béton.

Interprétation :

Les résultats obtenus montrent que la substitution des granulats naturels par les granulats de déchet de carreaux faïence, diminue la vitesse de propagation de son de béton. Cela est due aux propriétés des granulats de déchet des carreaux faïence, ces derniers présentent une forme angulaire qui provoque l'augmentation de la porosité du mélange granulaire et une structure poreuse par conséquent une diminution de la vitesse de propagation de son.

Tous les bétons présentent une vitesse de propagation de son supérieure à 3000 m/s donc ils sont classés comme des bétons de bonne résistance mécanique.

Les deux figures suivantes expliquent la propagation d'une onde dans un milieu poreux et compact. Dans un milieu compact le temps déroulé pour passer du point A au point B est plus faible, donc la vitesse de propagation est plus élevée, par contre dans un milieu poreux c'est le cas contraire.

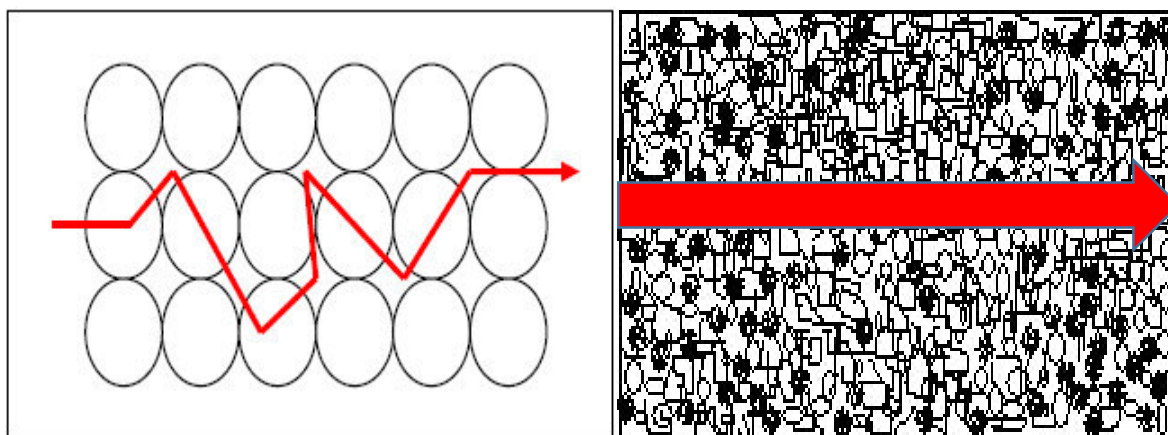


Figure. IV.5. Vitesse de son dans un milieu poreux **figure. IV.6.** Vitesse de son dans un milieu compact

3-Essais Scléromètre

Les résultats de scléromètre sont représentés dans le tableau IV.6 et illustrés par la figure IV.7.

Tableau .IV.6. Résultats de scléromètre de différents types de béton

Type de béton	Résistance calculées
B-T	34
G-R 25 %	33
G-R 50 %	31
G-R 75 %	30
G-R 100 %	29
G-S-R 25 %	28

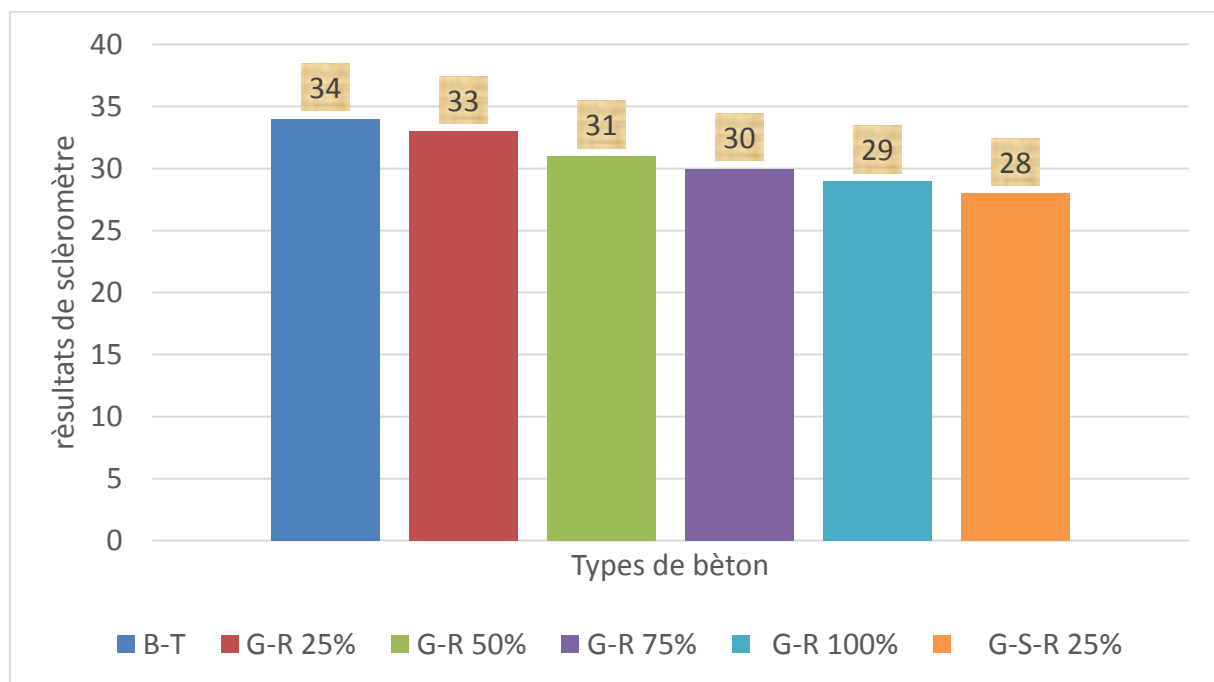


Figure .IV.7.Essais sclérométrique pour les différents les formulations de béton

Remarque : D'après les résultats d'essais sclérométrique obtenus, on peut constater que c'est une fonction décroissante avec l'augmentation de la quantité des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence.

Interprétation :

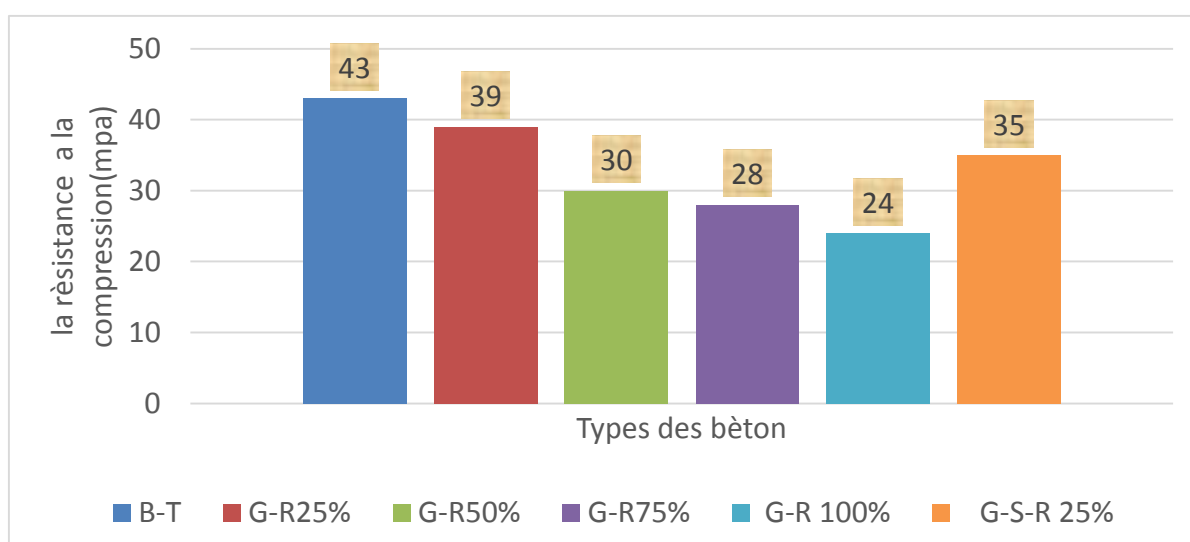
En justifie cette diminution d'indice sclérométrique à travers cette essai par la diminution de la dureté des graviers de déchets de faïence est l'augmentation de la porosité

4-Résistance à la compression

Les résultats de la Résistance à la compression sont représentés dans le tableau IV.7 et illustrés par la figure IV.8.

Tableau .IV.7. Résultats de la Résistance à la compression des différents types de béton

Type de béton	Résistance à la compression en (MPa)
B-T	43
G-R 25 %	39
G-R 50 %	30
G-R 75 %	28
G-R 100 %	24
G-S-R 25 %	35

**Figure. IV.8.** La resistance a la compression pour les défferent formmulation de béton

Commentaires : D'après les résultats des essais mécaniques obtenus, on peut constater que la résistance à la compression à 28 jours est une fonction décroissante avec l'augmentation de la quantité des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence,

5-Mode de rupteur des éprouvettes

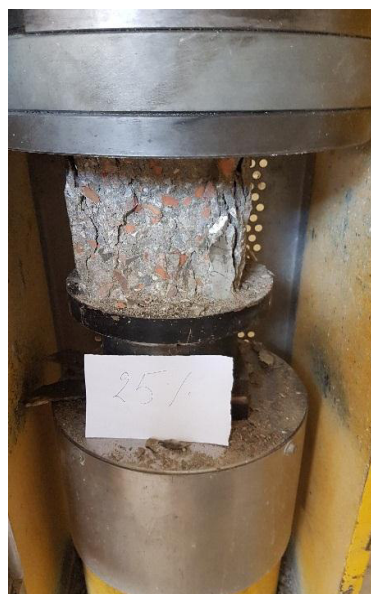
**B-T****G-R 100%****G-R 50%****G-R75%****G-R25%****G-S-R25%**

Figure .IV. 9. Mode de rupture pour toutes les formulations de béton

Remarque : D'après cette figure en constate que le mode de rupture pour les éprouvettes cubiques sont correctes pour toutes les formulations.

6-Résistance à la flexion

Les résultats de La Résistance à la flexion sont représentés dans le tableau IV.8 et illustrés par la figure IV.10

Tableau .IV.8. Résultats de la Résistance à la flexion des différents types de béton

Type de béton	Résistance à la flexion en (MPa)
B-T	6.73
G-R 25%	6.66
G-R 50%	6.20
G-R 75%	3.67
G-R 100%	3.06
G-S-R 25%	5.84

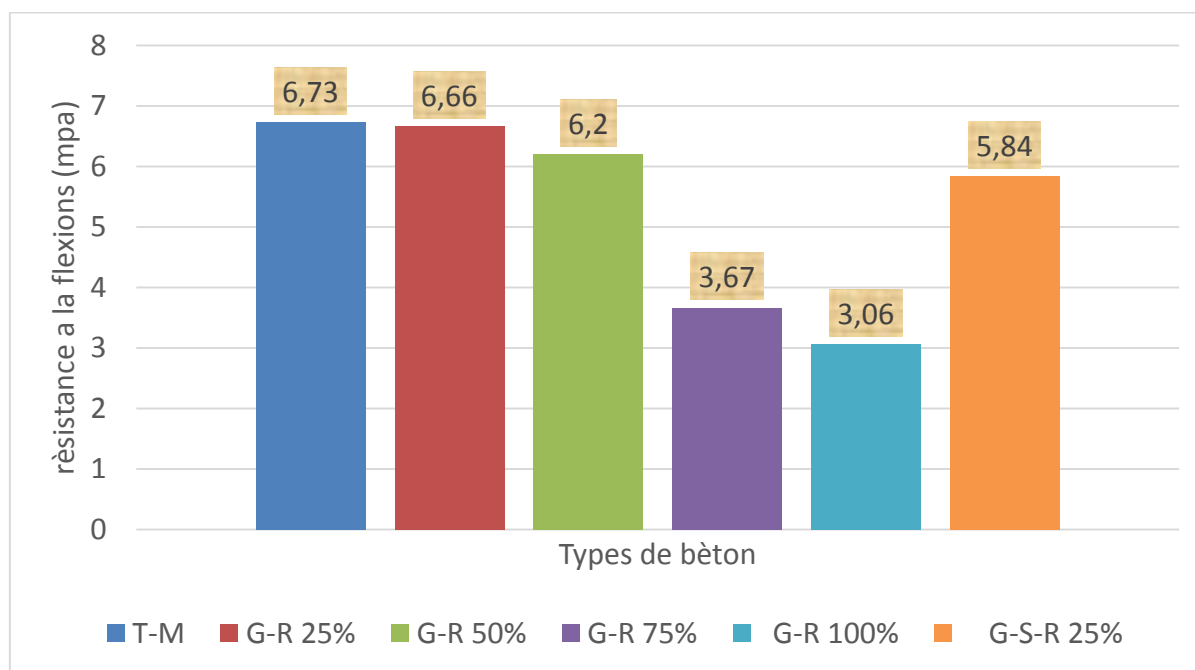


Figure .IV.10. La résistance à la flexion pour toutes les formulations de béton

Remarque : D'après les résultats de la résistance à la flexion obtenus, on peut constater que La résistance à la flexion à 28 jours est une fonction décroissante avec l'augmentation de la quantité des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence.

Interprétations des résultats de la résistance mécanique

La diminution de la résistance à la compression est une fonction décroissante avec l'augmentation de la quantité des granulats recyclés de déchet, cette diminution est proportionnelle aux quantités des granulats recyclés substitut les granulats naturels, il atteint 30% dans le cas de béton contenant 75% de granulats recyclés.

Cette réduction de résistances mécaniques peut être expliquée par :

- La faible dureté et résistance des granulats recyclés par rapport aux granulats naturels.
- La forme angulaires que présentent les granulats recyclés qui provoque une augmentation de taux de vide et par la suite une réduction de la compacité du béton.
- La faible rugosité des granulats recyclés due à la présence d'une couche d'émaillage, cette couche diminue le pouvoir liant et empêche l'adhérence entre les grains.

Tous les mélanges de béton à base des granulats recyclés présentent des résistances plus faibles que les mélanges de béton à base des granulats naturels. Néanmoins les mélanges de béton à base de G-R25% et G-R50% des granulats de déchet. Ont des résistances mécaniques à la compression proches à celle de béton à base des granulats naturels

- Les formulations notée par G-R-S 25% on remarque une augmentation de la résistance à cause de déchets de faïence concasse en sable qui s'insère et rentre dans les vides de béton cela diminue la porosité améliorant ainsi la compacité de béton.

7-Facettes de ruptures de béton

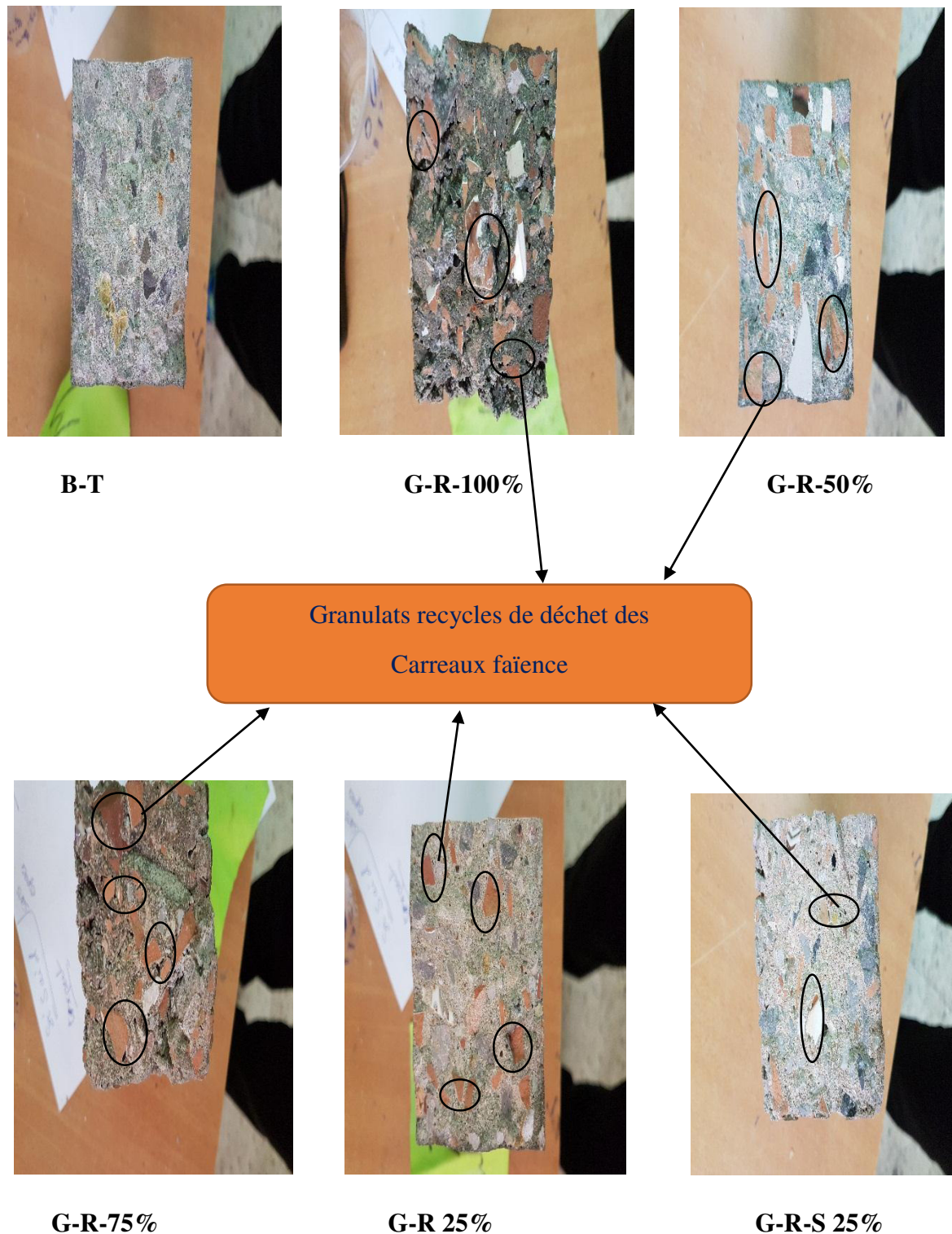


Figure .IV. 11. Facettes de ruptures des différents types des bétons

Remarque : D'après cette figure en remarque que la facettes des ruptures est une facettes correcte pour toutes les formulations.

Conclusion générale

Notre étude a pour objectif la formulation et la caractérisation physico mécanique d'un béton à base des granulats recyclés de déchets des carreaux faïence par substitution des granulats naturels. Plusieurs formulations de béton avec différents dosages en granulats recyclés ont été étudiées à l'état frais pour estimer les propriétés : affaissement, masse volumique a l'état frais et à l'état durci, masse volumique a l'état durci, vitesse de propagation de son et résistances mécaniques.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure:

- L'analyse granulométrique effectuée sur les granulats recyclés de déchets des carreaux faïence montre des courbes granulométriques continues avec une bonne distribution granulométrique et très proche à celle des granulats naturels.
- Le déchet de faïence concasse a donné des résultats satisfaisants pour l'essai micro Duval et Lons Angeles, ce qui nous permet de valoriser le déchet de faïence dans les formulations de béton.
- Le déchet de faïence concassé en sable (0/4) a donné un équivalent de sable correspondant a un sable propre.
- D'une manière générale la masse volumique diminue avec l'incorporation progressive de déchets faïence.
- Le déchet de faïence présente une absorption élevée par rapport au granulats naturels, sa revient à la structure poreuse étant donné que le déchet est une céramique surtout la partie biscuit.
- La méthode dreux-gorisse nous a permis de donner une meilleure composition de béton dont les propriétés à l'état frais et durci sont satisfaisantes.
- L'augmentation du taux des granulats recyclés de déchet fait diminuer l'étalement de béton, il résulte une diminution de l'ouvrabilité.
- la substitution des granulats naturels par les granulats de déchet des carreaux faïence, diminue la vitesse de propagation de son de béton. Tous les bétons à base de des granulats recyclés,

présentent une vitesse de propagation de son supérieure à 3000 m/s donc ils sont classés selon la norme NF P 18-418-1989 comme des bétons de bonne résistance mécanique.

-L'essai scléromètre a donné des résultats proches au témoin concernant l'indice sclérométrique avec la substitution des graviers déchets de faïence y'a une diminution de la dureté de béton et de l'indice sclérométrique ce qui revient à la porosité qui augmente avec l'augmentation du taux de substitution donc on a une diminution de la compacité et de la dureté par conséquence.

- Toutes les formulations de béton à base des granulats recyclés présentent des résistances mécaniques à la compression et à la flexion plus faibles que la formulation de béton à base de granulats naturels. ça revient à la dureté des granulats de déchets qui présentent une dureté et une résistance à l'usure plus faibles que ceux naturelles. La résistance mécanique à la compression pour 100% de granulats de déchet est estimée à 28 Mpa une résistance mécanique acceptable même pour un béton de structure.

Enfin on peut dire que la substitution partielle ou totale des granulats naturels par les granulats recyclés de déchets des carreaux faïence dans un béton offre une nouvelle source d'approvisionnement et permet d'économiser les granulats naturels, surtout avec le problème d'épuisement en ressources naturelles que fait face le marché des granulats.

L'utilisation des déchets recyclés dans la fabrication de bétons offre une bonne solution au problème de la gestion des déchets et la pour préservation de l'environnement.

BIBLIOGRAPH

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **HACHEMI NADIR BOUSSA ADEL** «Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton » Mémoire de fin d'étude du diplôme Master UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES 2017
- [2] **Lionel MURAZ** « Valorisation de scories cristallines dans le béton de ciment » Mémoire de maîtrise UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE canada
- [3] **NF EN 197-1 «La normalisation des ciments»**
- [4] **RACHI LEILA. DENDANI MOHAMED AMINE**«INFLUENCE DES DIFFERENTES GRANULOMETRIES DES AGREGATS SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON ORDINAIRE » Mémoire de fin d'étude du diplôme Master UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES 2017
- [5] **Mr BOUFEDAH BADISSI Ahmed** « influence de la granularité 'classe granulaire4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des béton ordinaires » Mémoire de Magister UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE 20011
- [6] « **Les granulats courants** » « Techniques de l'ingénieur, Date de publication» : 01/12/2004
- [7] **Lionel MURAZ** «Valorisation de scories cristallines dans le béton de ciment » Mémoire de maîtrise Sherbrooke (Québec) Canada Janvier 2015
- [8] **KATTAB.R** «valorisation de sable de dune». Thèse doctorat ENP Alger 2007.
- [9] **HACHEMI NADIR BOUSSA ADEL** «Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton » Mémoire de fin d'étude du diplôme Master UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES 2017
- [10] : **DREUX. G.** «Nouveau guide du béton». Ed, Eyrolles, PARIS, (1998).
- [11] **Nesrine BADIADJ** «ANALYSE DU SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU POTABLE AINSI QUE SA GESTION ET SON EXPLOITATION AU NIVEAU DE LA WILAYA DE BEJAIA » Mémoire de fin d'étude du diplôme MASTER en Hydraulique 2017
- [12] **NF EN 934-2(sept.2002), adjuvant pour béton, mortier et coulis**
- [13] **Belgacem BEZZINA** «ÉTUDE DE NOUVELLE FORMULATION D'ADJUVANT

HYDROFUGE POUR APPLICATIONS DIVERSES » Mémoire de fin d'étude du diplôme
MASTER Université 08 Mai 1945 Guelma 2012

[14] **Touloum N.** Attaché de recherche division matériaux unité physico-chimie cycle de
formation CRERIB2013.

[15] **ABDLHAMID R'MILI** «Etude de formulation et de comportement des bétons
autoplaçant», Thèse de doctorat de l'école Nationale d'ingénieurs de Tunis 2010.

[16] **CHALLAH Kaci et BEKHTAOUI Ouardai** « Caractérisation rhéologique et physique-
mécanique d'un béton autoplaçant renforcé de fibres de polypropylène et de fibres
métalliques». Mémoire de fin d'étude de l'Université de Boumerdes 2008-2009.

[17] **Berkouk Kahina et Ameur Tassadit**, « Etude de l'efficacité des superplastifiant sur les
propriétés rhéologique de BAP». Mémoire de fin d'étude de l'Université de Boumerdes 2006-
2007.

[18] **Khemissi Redouane** «Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets
ménagers et assimilés de la ville d'Oran» thèse de Magister Université d'Oran 2013-2014.

[19] **SAADANI Sabrina** « Comportement des bétons à base de granulats recyclés» thèse de
Magister, Université Mentouri de Constantine.

[20] **SPERANDIO K** « identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des
déchets ménagers mises en oeuvre par les collectivités locales» thèse de doctorat, l'institut
national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

[21] **Mehdi Cheikh Rouhou** «Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le
secteur du bâtiment» thèse de fin de formation 2007.

[22] **Barkat Abderezzak** «valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrage
en béton » thèse de Magister Université Kasdi Merbah Ouargla 2006-2007.

[23] «lexique déchet », 2004.

[24] **BELAÏB AHLEM** «ETUDE DE LA GESTION ET DE LA VALORISATION PAR
COMPOSTAGE DES DECHETS ORGANIQUES GENERES PAR LE RESTAURANT
UNIVERSITAIRE AICHA OUM ELMOUMINE (WILLAYA DE CONSTANTINE)»

[25] **YESSAD Naim OUASSEL Aissa** «Contribution à l'étude des déchets ménagers de

La ville de Béjaia par cartographie numérique» thèse de Magister Université Abderrahmane MIR-Bejaia 2017

[26] **Ademe P-C** «guide de déchet de l'artisanat» 2004

[27] **BOUTERFAS Imene** « Identification et Caractérisation des déchets ménagers solides de la ville de Tlemcen » thèse de master UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID-TLEMCEN 2017

[28] **LAAMECHE Soufiane MIMOUNI Djihad** «Création d'une entreprise de Tri et de Recyclage de Plastique et d'Aluminium à Tlemcen » THEME de master UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID-TLEMCEN 2016

[29] **VAN GRUNDERBEECK, Bastien** « L'impact économique et environnemental de la gestion des déchets dans les systèmes alimentaires alternatifs Bruxellois » Master en Sciences et Gestion de l'Environnement Université Libre de Bruxelles

[30] **Mamadou Diabaté** «Déchets ménagers: impact sur la santé et l'environnement en commune I du district de Bamako: cas de Banconi » THEME de master UNIVERSITE Bamako 2015

[31] **FERGUENE HABIB** «Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants » THEME de MASTER UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES 2016

[32] **MANSEUR Nabil ZIANI Sifax** «Étude et caractérisation des granulats recyclés de Démolition » THEME de MASTER UNIVERSITE ABDELAHMANE MIRA – BEJAIA

[33] **Mamery Serifou** «Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation » THEME de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE FELIX HOUPHOUET BOIGNY ET DE L'UNIVERSITE BORDEAUX 1 2013

[34] **A. BARKAT** « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton », Thèse de Magister, Université de Ouargla, Algérie, 05/11/2006.

[35] **MEDAR MOHAMED AMINE DJADI BOUALEM** «Valorisation des déchets de verre dans la fabrication des granulats légers : Application dans les matériaux isolants » THEME de MASTER UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES 2016

[36] BERREDJEM Layachi «le recyclage des bétons de démolition solution pour le développement durable formulation et comportement physiques et mécaniques des bétons à base de ces recycles » THEME de MASTER UNIVERSITE Mokhtar Badji Université – Annaba 2009

[37] AICHOUCHE Amine et BELKBIRE Hocine « élaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique» DEUA Boumerdes 2011.

[38] Abdessamad Akkaoui «Bétons de granulats de bois : étude expérimentale et théorique des propriétés thermo-hydro-mécaniques par des approches multi-échelles » THÈSE DE DOCTORAT UNIVERSITÉ PARIS-EST 2014