

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

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

**Université Kasdi Merbah Ouargla**



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de génie civil et hydraulique**

C:.....  
R:.....

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de**

**Master, Filière: génie civil**

**Spécialité : étude et contrôle des bâtiments et routes**

**Thème**

**Etude des propriétés mécaniques  
D'un béton a base des déchets d'un béton et du verre recyclés**

**Présenté par :**

- ❖ Harkat khaoula.
- ❖ Djabouebbi sana.

**Soumis au jury composé de :**

<b>Mokhtari A.S.</b>	<b>Maître de conférences (B)</b>	<b>U. de Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>Bouaka W.</b>	<b>Doctorante</b>	<b>U. de Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>Akchiche Hamida.</b>	<b>Maître assistante (A)</b>	<b>U. de Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

***Année Universitaire: 2019 / 2020***





## ***REMERCIEMENT***

Nous rendons grâce à Dieu de nous avoir aidés à mener jusqu'à la fin nos études et notre présent projet.

Nous tenons à exprimer vivement notre sincère reconnaissance à toutes les personnes qui ont collaboré avec nous à la réalisation de ce travail.

Spécialement notre encadreur **Mme AKCHICHE HAMIDA** pour ses conseils et encouragements. et enseignants de laboratoire **LTPS**.

Nos sincères remerciements vont aussi à tout ceux qui nous n'avons pas cités et qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail également tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

**Merci à vous tous**



# *Dédicaces*



*À ma chère mère*

*Ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui éclaire mon chemin.*

*À mon cher père*

*En signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.*

*À mes chers frères*

*À ma chère sœur*

*À mon encadreur Mme Akchiche hamida*

*À tous mes amis*

*En témoignage de l'amitié sincère et du soutien inébranlable que vous m'avez apporté.*

*Je dédie ce travail.*

**DJABOUREBBI SANA**



# *Dédicace*



*Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Avec joie, fierté et respect, Je dédie ce mémoire :*

*À ma plus chère mère qui m'a soutenu et encouragé durant toute ma vie.*

*À mon père*

*À ma chère sœur et à mes frères*

*À toute ma promotion d'ECBR 2019/2020*

*À tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.*

*Enfin, nos remerciements vont également à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

**HARKAT KHAOULA**



## RESUME

---

L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.

Ce mémoire cherche à mettre en évidence la possibilité d'utiliser les déchets de démolition comme granulats et la poudre de verre comme sable pour béton hydraulique. L'étude consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence à l'état frais et durci, à celles des bétons incorporant des granulats de béton recyclés en substitution d'une fraction volumique de graviers avec des taux de substitution de (30%,50%, 70%).

Ce travail montre l'intérêt majeur que pourrait avoir le développement et la mise à disposition des bétons et verre recyclés.

### **Mots clés:**

Béton, recyclage, valorisation, déchets de démolition, verre, granulat, environnement.

## ملخص

---

إن نضوب و استنفاد الحقول الطبيعية و الصعوبات لفتح محاجر جديدة يتطلب البحث عن مصادر جديدة للإمداد. إعادة تدوير النفايات و استغلالها يعتبر وسيلة للمضي قدما لمعالجة العجز بين الإنتاج و الاستهلاك و حماية البيئة. هذه المذكرة تسعى لتسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات الهدم كحصى و الزجاج كرمل في الخلطات الخرسانية الجديدة. الدراسة تهدف إلى المقارنة بين الخرسانة المرجعية في الحالة اللينة و الصلبة و خرسانة أخرى تم فيها استبدال الحصى بنسب مختلفة من الحصى المعاد تدويره ( 30 %، 50 % ، 70 %) يبين هذا العمل الفائدة التي يمكن أن تقدمها نتائج التجارب التي تخص استعمال نفايات الهدم و الزجاج المعاد تدويرها في الخرسانة الجديدة.

### الكلمات المفتاحية :

خرسانة، إعادة تدوير، تثمين، نفايات الهدم، الزجاج، الركام، البيئة.

## ABSTRACT

---

The depletion of natural fields and the difficulties in opening quarries require the search for new sources of supply.

The recycling and the valorization of waste are today regarded as a solution with a future in order to answer the deficit between production and consumption and to protect the environment.

This note seeks to highlight the possibility of using demolition waste as gravel and glass as sand in the new concrete mixes.

The study aims to compare the reference concrete in soft and soled with another concrete that we replaced the natural gravel with a different ratios of recycled gravel (30 %, 50%, 70%).

The work shows the main interest which could have the development and the provision of the experimental results concerning the use of the recycled concrete like aggregates for new concretes.

**Key words:**

Concrete, Recycling, Valorization, Demolition Waste, glass, Aggregates, Environment.



## **SOMMAIRE**

RESUME.....	i
ملخص.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TEBLAUX.....	v
INTRODUCTION GENERALE.....	1

### **CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

I.INTRODUCTION .....	3
II.BETON HYDRAULIQUE.....	3
II.1 Définition:.....	3
II.2 Domaine d'application du béton:.....	3
II.3 les Avantages et les inconvénients du béton :.....	3
✓ Les avantages :.....	3
✓ Les inconvénients :.....	4
II.4 Constituants des bétons .....	4
II.4.2 Le ciment .....	4
III.4.2 L'eau de gâchage.....	4
II.4.3 les granulats.....	4
III. Valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de génie civil :.....	8
III.1 Recyclage des déchets .....	8
a) Impacts du recyclage sur l'environnement .....	8
b) Procédés du recyclage.....	8
III.2 valorisation des déchets de démolition :.....	9
• Les avantages économiques et environnementaux.....	9
• Statistiques : .....	9

• Valorisation des déchets de démolition dans les bétons.....	10
III.3 Valorisation des déchets de verre .....	11
• Définition du verre.....	12
• Production annuelle mondiale du verre : .....	12
• Valorisation des déchets de verre dans les bétons : .....	13
Conclusion.....	15

## **CHAPITRE II: CARACERISATION DES MATERIAUX UTILISES**

I.Introduction.....	16
II.Les matériaux utilisés .....	16
III.Essais sur les matériaux : .....	16
III.1 Analyse Granulométrique.....	16
• Principe de l'essai.....	16
• Résultat .....	17
III.2 Masse volumique.....	20
III.3 Le Coefficient d'Absorption d'Eau .....	22
• Principe.....	22
• Résultats.....	23
• Commentaire : .....	23
III.4 Mesure de la propreté des granulats .....	23
III.5 Essai au bleu de méthylène.....	26
• Principe.....	26
• Résultats.....	26
III.6 Essai de dureté des graviers (coefficient los Angeles LA).....	26
• Principe.....	26
• Résultats.....	27
III.7 Essai de Micro Deval.....	28
• Principe.....	28

• Résultat .....	28
IV. Ciment.....	29
VI. Formulation du béton .....	29
1. Données de base .....	29
2. Dosages Des Bétons :.....	30
3. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux : .....	30
4. Confection Des Éprouvettes.....	31
VII. Présentation des essais expérimentaux .....	32
VII.1 Essai Sur Béton Frais .....	32
VII.1.1 Affaissement au cône d'Abrams .....	32
VII.2 Essais Sur Béton Durci .....	34
VII.2.1 Essai de retrait.....	34
VII.2.2 Essai de compression .....	35
VII.2.3 Essai flexion .....	36
VIII. Conclusion.....	37

### **CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES**

I. Introduction.....	38
II. Résultats et interprétations.....	38
a) Essai d'affaissement.....	38
b) Essai de retrait:.....	39
c) Résistance à la compression.....	39
d) Résistance à la flexion.....	41
CONCLUSION GENERALE.....	42

BIBLIOGRAPHIE.

ANNEXE.

## **LISTE DES FIGURES**

### **CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.**

Figure I-1: courbe granulométrique de béton concassé BC 5/20 .....	10
Figure I-2: Développement de résistance des bétons à base des granulats de démolition. ....	11
Figure I-3: Résultats des tests de résistance à la compression du béton réalisé avec de la poudre de verre en remplacement du ciment (23). .....	14
Figure I-4: Schéma récapitulatif illustrant les deux réactions : alcali-silice et pouzzolanique.	15

### **CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES.**

Figure II- 1: opération de tamisage manuelle.....	17
Figure II- 2: courbe granulométrique des graviers utilisés.....	18
Figure II- 3: courbe granulométrique de sable .....	19
Figure II- 4: mesure de masse volumique apparente.....	20
Figure II- 5: mesure de masse volumique absolue.....	21
Figure II- 6: essai d'absorption d'eau des différents matériaux.....	22
Figure II- 7: essai de propreté des graviers utilisés.....	24
Figure II- 8: essai équivalent de sable.....	25
Figure II- 9: essai de bleu de méthylène.....	26
Figure II- 10: essai Los Angeles.....	27
Figure II- 11: Courbes granulométriques des différents composants.....	30
Figure II- 12: Bétonnière utilisée.....	31
Figure II- 13: confection des éprouvettes.....	32
Figure II- 14: l'essai de mesure de consistance du béton frais.....	33
Figure II- 15: essai de retrait de béton.....	35
Figure II- 16: essai de compression.....	36
Figure II- 17: La position correcte des éprouvettes prismatique dans le dispositif de la flexion sur 4 points.....	36
Figure II- 18: essai de flexion.....	37

### **CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES.**

Figure III- 1: Essai de compression.....	40
Figure III- 2 : Résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons.....	40
Figure III- 3: Résistance à la flexion en fonction de l'âge des bétons.....	41

## **LISTE DES TEBLAUX**

### **CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.**

Tableau I-1: resultas des essais. ....	13
Tableau I-2:Composition chimique du ciment et différents verre colorés (14) (20).....	13

### **CHAPITRE II: CARACERISATION DES MATERIAUX UTILISES.**

Tableau II- 1:analyse granulométrique du gravier naturel 8/15. ....	17
Tableau II- 2:analyse granulométrique du gravier recycle8/15.....	18
Tableau II- 3: analyse granulométrique du sable 0/5. ....	19
Tableau II- 4: résultats de masses volumiques apparentes des matériaux utilisent. ....	21
Tableau II- 5: résultats de masses volumiques absolues des matériaux utilisent.....	22
Tableau II- 6: Le Coefficient d’Absorption d’Eau. ....	23
Tableau II- 7: résultat d’essai de propreté des graviers.....	24
Tableau II- 8: Résultat de l’essai de l’équivalent du sable.....	25
Tableau II- 9: résultat d’essai de bleu de méthylène. ....	26
Tableau II- 10:résultat d’essai Los Angeles du gravier naturel 8/15. ....	27
Tableau II- 11: résultat d’essai Los Angeles du gravier recycles.....	27
Tableau II- 12:résultat d’essai Micro Deval du gravier naturel 8/15. ....	28
Tableau II- 13: résultat d’essai Micro Deval du gravier recycles. ....	28
Tableau II- 14:Données de base. ....	29
Tableau II- 15:Dosages Des Bétons. ....	31

### **CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES.**

Tableau III- 1: résultats de masses volumiques apparentes des bétons.....	38
Tableau III- 2: valeurs d’affaissement pour les 02 formulations du béton.....	38
Tableau III- 3: résultats de retrait pour les 2 formulations de béton. ....	39
Tableau III- 4: valeurs de Résistance à la compression pour les 2 types du béton. ....	40
Tableau III- 5: valeurs de résistance à la flexion pour les 2 formulations du béton. ....	41



**INTRODUCTION**

**GANARALE**

## INTRODUCTION GENERALE

---

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous produits industriels notamment dans le domaine de génie civil.

Le béton de ciment Portland va toujours être le matériau de construction le plus couramment utilisé dans l'avenir. Tout comme dans le cas des autres industries, le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton.

Les dépôts de sable naturel, de gravier et de pierres, surtout ceux qui sont situés près des grands centres urbains, risquent de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitation très élevés en raison du coût du transport et des restrictions relatives à la protection de l'environnement.

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 qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

L'objet principal de cette étude de recherche est de contribuer à la réutilisation des déchets de démolition et de verre dans la fabrication du béton hydraulique et cela permet donc :

- 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.

Ce mémoire est décomposé en trois chapitres, le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les bétons et leurs composants on se basant sur les différents types de granulats ainsi la valorisation des déchets de démolition et de verre dans le domaine G C.



## **INTRODUCTION GENERALE**

---

Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des matériaux employé pour la confection des mélanges, ainsi que les différents essais réalisés.

Le dernier chapitre de ce mémoire est consacré pour la présentation et la discussion des résultats des essais réalisés.

CHAPITRE I:  
RECHERCHE  
BIBLIOGRAPHIQUE

## I. 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.

## II. BETON HYDRAULIQUE

### II.1 Définition:

Le béton est constitué par de matériaux granulaires (sables, graviers) enrobés par un liant hydraulique comme par exemple le ciment (on obtient dans ce cas un béton de ciment) ou le bitume (on obtient béton bitumineux). Nous traitons ici uniquement des bétons de ciment portland. Donc Le matériau béton se fabrique à partir d'éléments chimiquement actifs (ciments, additifs, adjuvants, eau) et d'éléments mécaniques (sables, gravillons, air).

Le béton est un matériau plastique dans l'état frais lors de la présence de l'eau dans sa matrice, donc le béton est un matériau modulable lors de sa mise en œuvre, après durcissement le béton devient un bloc massif, donc les propriétés de résistance dépendent, en grande partie, de sa composition de départ (1).

### II.2 Domaine d'application du béton:

Le béton se trouve généralement armé ou non, précontraint, désigné en abrégé par les lettres **NA** (non armé), **BA** (béton armé) ou **BP** (béton précontraint). Le béton comme matériau de construction est actuellement utilisé dans divers domaines d'application et avec divers procédés tels que : les bâtiments, travaux publics, les ponts, les tunnels, les routes rigide, les réservoirs.... (2).

### II.3 les Avantages et les inconvénients du béton :

#### ✓ Les avantages :

- résistance, durabilité, longévité et résilience sans égal.
- un matériau de construction qui ne brûle pas, ne rouille pas ou ne pourrit pas.
- sûreté et sécurité.
- Versatilité : il peut être moulé sous toutes formes, couleurs et motifs imaginables.
- faibles coûts d'entretien.
- excellente isolation aux vibrations et aux sons.

---

### ✓ Les inconvénients :

- Faible résistance à la traction.
- Faible isolation thermique.
- Coffrages nécessaires pour sa mise en œuvre.
- Sa destruction entraîne un cout élevé (en cas de démolition) (3).

## II.4 Constituants des bétons:

### II.4.2 Le ciment :

Le ciment est le principal liant hydraulique qui compose tout béton ou mortier. Cette poudre minérale, fine, presque volatile est un matériau incontournable, fruit de l'imagination humaine utilisé dans toutes les constructions à base de béton ou de mortier.

Les différents dosages font l'objet de calculs savants avec pour but d'améliorer et d'adapter la résistance du ciment aux multiples applications de constructions.

Le type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées (résistance mécanique, résistance aux agents agressifs) et de la nature des autre composants (3).

### III.4.2 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, votre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées.

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

### II.4.3 les granulats :

#### • Définition :

Le granulats est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre **0** et **125 mm**) se situe dans une des 7 familles (sables, graves, ballast, ...) Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

La norme **XP P 18-545** précise, dans l'article **10**: Granulats pour bétons hydrauliques et mortiers, les spécifications sur les granulats destinés à constituer des bétons (5).

---

- **Caractéristiques des granulats :**

Les granulats doivent répondre à des exigences et des critères de qualité et de régularité qui dépendent, d'une part, de la nature de la roche (résistance aux chocs et à l'usure, caractéristiques physico-chimiques,...) et, d'autre part, de caractéristiques physiques liées au processus d'élaboration des granulats (dimensions, formes, propreté,...).

Les granulats sont donc spécifiés par deux types de caractéristiques : Caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, telles que, par exemple :

- La masse volumique réelle,
- L'absorption d'eau et la porosité.
- La sensibilité au gel.
- La résistance à la fragmentation et au polissage (5).

Caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats telles que, en particulier :

- La granularité.
- La forme (aplatissement).
- La propreté des sables (5).

- **Différents types de granulats :**

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut-être :

**A. Granulats naturels :**

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives. Les roches meubles (matériaux alluvionnaires) sont exploitées le long des fleuves et des rivières. Les roches massives calcaires constituent les bassins sédimentaires et les chaînes récentes; les roches massives éruptives constituent les massifs anciens.

- **Origine minéralogique :** Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que le quartz et quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.
- **Granulats roulés et granulats de carrières :** Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

**a) Les granulats de roche meuble :**

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension.

**b) Les granulats de roche massive :**

Sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées (5).

**B. Granulats artificiels :**

Des granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques

- **Sous-produits industriels, concassés ou non :**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

- **Granulats à hautes caractéristiques :**

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires (5).

**C. Granulats recyclés :**

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux.

➤ **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) (6).

➤ **Les déchets de démolition :**

Les déchets de démolition sont une sous catégorie des déchets du bâtiment qui regroupent tous les matériaux de déconstruction ou de réhabilitation. Comme le béton constitue presque

75 % en poids de tous les matériaux de construction, il s'en suit donc que les fortes proportions des rebuts de démolition soient du béton (6).

#### **D. Granulats et composants légers :**

##### **➤ Les granulats légers :**

Usuels sont l'argile expansée, le schiste expansé ou le laitier expansé, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique.

##### **➤ Les composants légers :**

Sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale. Le polystyrène expansé et le liège, d'origine non minérale, le bois, ainsi que la vermiculite sont également utilisés pour réaliser des bétons très légers en isolation ou pour des chapes. Ils sont donc particulièrement adaptés pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers (blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles ou rechargements sur planchers peu résistants).

##### **• Production des granulats (5):**

La production des granulats à partir de roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes :

- ✓ **Le décapage :** Consiste à enlever les terres situées au-dessus de la zone à exploiter.
- ✓ **L'extraction :** S'effectue dans des carrières. Les techniques mises en œuvre dépendent du type de gisement :
  - gisement de granulats alluvionnaires exploité en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague).
  - gisement compact de roches massives qui nécessite l'emploi d'explosif, l'abattage et la fragmentation des blocs.
- ✓ **Le traitement :** Fait suite à l'extraction des matériaux, qui sont concassés et broyés (au moyen d'appareils travaillant par chocs ou écrasement) afin de réduire leur taille, criblés (au moyen de cribles vibrants) pour obtenir des granulats de tailles différentes, puis lavés (afin d'éliminer les éléments de pollution et les fines) ou dépoussiérés et enfin stockés. Les opérations de traitement permettent d'obtenir des granulats répondant à des spécifications précises quant à leurs caractéristiques géométriques et physiques pour des usages particuliers.
- ✓ **La remise en état du site :** A lieu après exploitation.

### III. Valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de génie civil :

La valorisation est définie comme L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances (7).

#### III.1 Recyclage des déchets :

Le recyclage permet de réduire les volumes de déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles en réutilisant des matières premières déjà extraites. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dits des trois **R** :

- **Réduire.**
- **Réutiliser.**
- **Recycler.**

#### a) 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.
- 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 feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5W d'électricité en plus de 15 g de bois (8).

#### b) 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.



---

### III.2 valorisation des déchets de 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.

Les études et les recherches pour le recyclage et la valorisation des déchets de construction pour leur utilisation une autre fois, d'où certain pays ont introduit ces nouvelles techniques pour la nouvelle construction comme les USA, le Japon, Hollande, L'Allemagne (9).

- **Les avantages économiques et environnementaux (10) :**

- Réduire l'effet de serre par la réduction des dégagements du CO<sub>2</sub> produit par les cimenteries.
- Préserver la matière première par l'utilisation des déchets du béton.
- Réduire le volume des quantités transportées par le recyclage sur les lieux de stockage des restes de démolition.
- Le recyclage d'une tonne de ciment engendre une économie de **5156.5 Litre** d'eau.

- **Statistiques :**

- À l'échelle européenne, 196 millions de tonnes de granulats de béton recyclé (GBR) ont été produites en 2015 (la plupart à partir des DCD). Environ 40 % de la production totale de granulats naturels ont été consacrés soit au béton prêt à l'emploi, soit à la préfabrication, pour un marché qui représente de l'ordre d'un milliard de tonnes (11).
- L'Allemagne est considérée comme le pionnier dans le recyclage des bétons, car les quantités des déchets de construction ou de démolitions avoisinent **50 millions de tonnes**, d'où **2 millions de tonnes** de béton recyclés dans les nouvelles constructions en plus de **7 millions de tonnes** des armatures, et des quantités importantes de sable (11).
- Au Japon, les déchets de construction atteignent **35 millions de tonnes** de béton chaque année, avec le recyclage de **95 %** de béton pour son utilisation pour la base des routes secondaires (de qualité inférieure) (12).

- En Algérie, vu l'absence de statistiques concernant les quantités de déchets des constructions d'une part et le non application des techniques de récupération et des études dans ce sens (12).

Vu l'importance de ce créneau pour la création d'emplois la réduction du cout des constructions il est primordial d'appliquer les techniques à l'instar des pays comme l'Allemagne et le Japon.

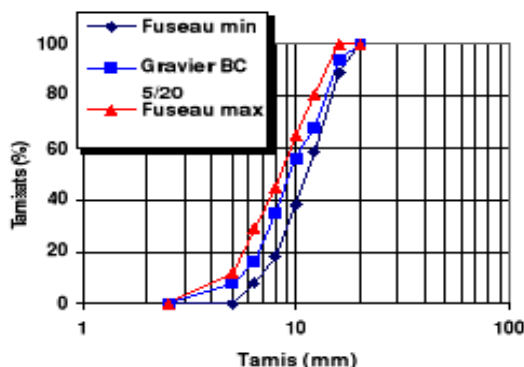
- **Valorisation des déchets de démolition dans les bétons :**

La possibilité de valorisation des déchets de démolition dans le béton sous forme de granulats a été l'objet de nombreuses recherches expérimentales. Ces recherches ont avaiet pour finalité que l'incorporation des déchets de démolition dans les bétons effectuent leurs propriétés aussi bien à l'état frais que à l'état durci.

- L'étude européenne réalisée en 2006 par l'Union Européenne des Producteurs de Granulats sur le recyclage de granulats (du bâtiment et des travaux publics) évalue, en moyenne, l'utilisation de granulats recyclés à 6% des quantités totales de granulats employés. L'estimation pour la France étant de 3,3% (11).
- Le retour d'expérience de l'Allemagne et de l'Autriche en matière de gestion des déchets de démolition montre qu'une réglementation basée sur des règles claires définissant l'adéquation entre la qualité des matériaux et les conditions de valorisation ainsi que des mesures incitatives permettent d'atteindre des taux de valorisation importants (en Allemagne, 86% des granulats de construction/démolition sont recyclés) (11).
- Grâce aux études menées par Hachana abd (13), il a atteint des résultats satisfaisants, qui sont la possibilité d'utiliser 30% de béton concassé dans le béton neuf.

Les caractéristiques des granulats concassent et les résultats des différents essais sur les bétons sont :

- **Analyse granulométrique :**



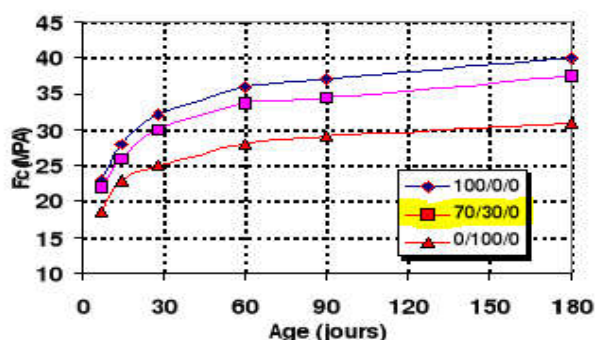
**Figure I-1:** courbe granulométrique de béton concassé BC 5/20

– **Déférents résultats des essais de caractérisation:**

Désignation	GN	GBC	GBR	SN
Mvapp (kg/m <sup>3</sup> )	1600	1244	1021	1611
Mvabs (kg/m <sup>3</sup> )	2650	2500	2143	2600
Abs %	1.3	6	8.5	12
Impureté %	2.29	3.10	0.82	
Los Angeles (%)	23.5	31.62	50.64	
ESV%				70.24
ES%				67.76
Compacité (%)	60	50	48	61.96
Porosité (%)	40	50	52	38.04

**Tableau I-1:** résultats des essais.

– **Développement de résistance à la compression :**



**Figure I-2:** Développement de résistance des bétons à base des granulats de démolition.

### III.3 Valorisation des déchets de verre :

Les déchets de verre constituent des problèmes environnementaux graves, en raison de l'augmentation continue des produits d'emballage jetables, ainsi que l'extension de l'industrie du verre. Ces déchets entraînent des dégradations de lourdes conséquences sur l'environnement.

En Algérie, les déchets de verre se sont accrus et ils ont un impact de plus en plus négatif sur l'environnement. Ils peuvent être collectés de manière rentable dans des couleurs mélangées.

D'autre part, des problèmes économiques et environnementaux sont générés par les industries du ciment en raison des besoins en grande quantités pour répondre aux fortes demandes des projets de construction, des émissions élevées de gaz à effet de serre, de l'utilisation intensive de l'énergie et de l'utilisation extrême des ressources naturelles (14).

---

- **Définition du verre :**

Il n'existe pas une, mais plusieurs définitions du verre. Ainsi, on peut le définir différemment suivant que l'on considère :

- Les objets que l'on peut fabriquer à partir de cette matière (aspect fonctionnel) : par analogie avec le verre utilisé pour boire ou le verre à vitre. Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant. Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.
- Que ce matériau à une structure particulière (aspect structural) le verre est un solide non cristallin (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnement des atomes et existence d'une maille cristalline). C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux.
- Que c'est un état particulier de la matière (aspect opérationnel) : le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu (15).

- **Production annuelle mondiale du verre :**

- Statistiquement, Les quantités exactes des déchets de verre dans le monde, ne sont connues d'une façon claire et précise à cause d'un manque d'informations de différents pays, comme le Moyen-Orient par exemple. Selon l'estimation des déchets solides des Nations Unies, en 2004, il y avait 200 millions de tonnes de déchets solides dont 7% des déchets de verre, soit 14 millions de tonnes de déchets de verre (14) (16).
- Une énorme quantité de ressources naturelles est utilisée par les industries du verre comme matières premières. On a estimé que chaque 1 kg de verre en feuille consommait 1,73 kg de matières premières et 0,15 m<sup>3</sup> d'eau (14) (17). En outre, il a été constaté que la production de chaque tonne de verre container consommé 1,2 tonne des matières premières coûteuses (18).
- En plus, l'industrie du verre est considérée comme l'une des industries les plus intensives en énergie, en raison de la nécessité d'une température élevée jusqu'à 1600 ° C pour faire fondre les matières premières. On a estimé que chaque 1 kg de feuille de verre produisait 16,9 MJ de déchets de chaleur (14) (17). Tandis que la production de chaque tonne de verre européen consommait 7,8 GJ d'énergie.
- La production totale mondiale de verre a été d'environ 89,4 millions de tonnes en 2007. Les pays de l'UE ont produit environ 38,3 millions de tonnes dans la même année, ce qui représente environ 30% de la production mondiale totale, a fait de l'UE le plus grand producteur de verre en 2007 (19).

- **Valorisation des déchets de verre dans les bétons :**

Le verre est un matériau à plusieurs vies et peut être recyclé plusieurs fois. Cependant, il est nécessaire que le verre provenant de la collecte sélective soit préalablement séparé en fonction de la couleur pour être transformé en calcin pour de nouveau être utilisé dans la fabrication d'emballages en verre.

La plupart du temps, le verre récolté est un produit mixte et sa réutilisation peut devenir difficile. Dans ce cas-ci, il est employé pour d'autres applications (abrasif routier, laine de verre, filtrations municipales...) ou stocké en décharge.

Des travaux ont montré que l'utilisation du verre dans les bétons semble être une piste prometteuse.

### 1) Recyclage des déchets de verre comme ciment :

Un broyage du verre à une plus grande finesse laisse envisager une utilisation de ce matériau en tant que liant. Dans ce cas, la silice du verre réagit avec la chaux produite par la réaction du ciment, créant ainsi des composants dotés de propriétés liantes : c'est la réaction pouzzolanique.

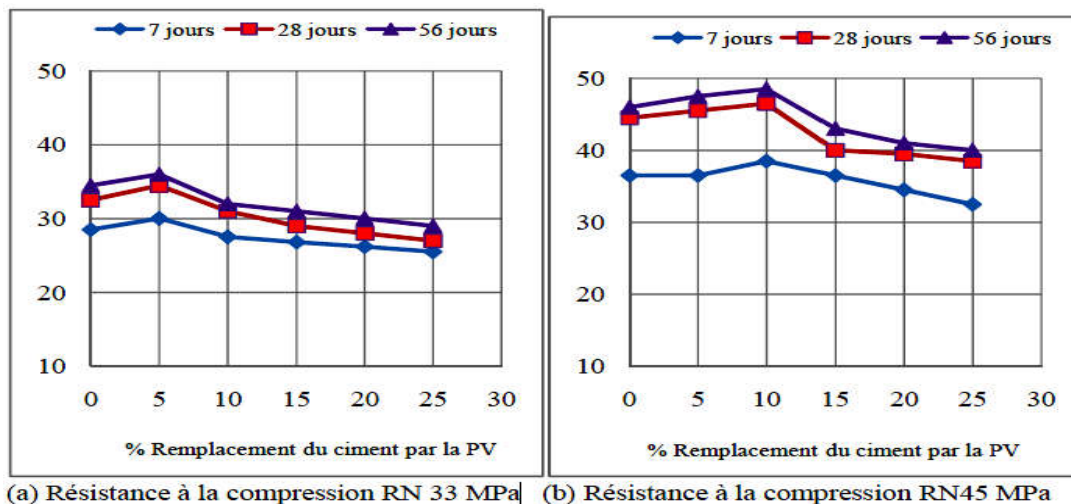
Élément Chimique	Ciment (%)	Verre clair (%)	Verre gris (%)	Verre verts (%)	Verre concassé (%)	Poudre de verre (%)	Sable (%)
SiO <sub>2</sub>	20.2	72.42	72.21	72.38	72.61	72.20	78.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.7	1.44	1.37	1.49	1.38	1.54	2.55
CaO	61.9	11.50	11.57	11.26	11.70	11.42	7.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.0	0.07	0.26	0.29	0.48	0.48	2.47
MgO	2.6	0.32	0.46	0.54	0.56	0.79	0.4
Na <sub>2</sub> O	0.19	13.64	13.75	13.52	13.12	12.85	0.42
K <sub>2</sub> O	0.82	0.35	0.20	0.27	0.38	0.43	0.64
SO <sub>3</sub>	3.9	0.21	0.10	0.07	0.09	0.09	
TiO <sub>2</sub>	—	0.035	0.041	0.04	—	—	0.15
Perte au feu	1.9	—	—	—	0.22	0.36	7.6

**Tableau I-2:** Composition chimique du ciment et différents verre colorés (14) (20).

- La composition chimique des différentes couleurs et des déchets de verre broyé montre que le verre contient une grande quantité de silicium et de calcium sous une structure amorphe; Le verre a la capacité d'être un matériau pouzzolanique ou même un matériau cimentaire.
- En ce qui concerne les propriétés de béton durci, il existe des variations dans l'effet de la poudre de verre dans la résistance à la compression du béton. Kumarappan et Khatib (21),

(22) ont conclu que l'on observe une amélioration de la résistance à la compression du béton jusqu'à 10,0% de substitution du ciment par la poudre de verre.

- Dans l'investigation réalisée par Ali A Aliabdo et al (23), il a été montré que le remplacement partiel du ciment par la PV améliore la résistance à la compression et la traction des deux bétons étudiés RN 33 et RN 45 comme illustrés sur le figure I.4.



**Figure I-3:** Résultats des tests de résistance à la compression du béton réalisé avec de la poudre de verre en remplacement du ciment (23).

## 2) Recyclage des déchets de verre comme granulats :

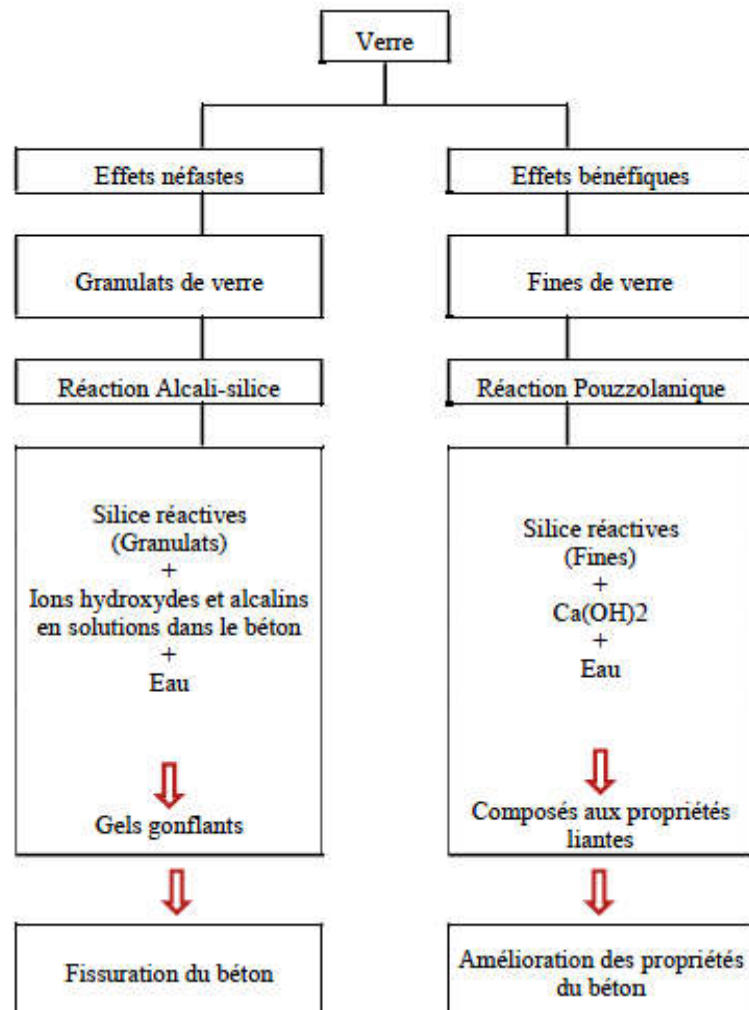
Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, différentes études ont été réalisées pour l'utilisation de déchets de verre broyés comme agrégats dans la production de béton (24) (25)

- Takata et al (26) ont étudié l'effet de la granulométrie du verre sur les propriétés du ciment produit. Un déchet de verre des bouteilles avec des granulométries de (4,75-0,15 mm) a été utilisé avec différent pourcentage comme remplacement partiel de l'agrégat naturel (0-100%).

Les résultats ont montré que l'expansion due à la réaction alcali-silice a augmenté avec l'augmentation de la taille des particules de l'agrégat de déchets de verre. De plus, l'expansion a augmenté au fur et à mesure que le pourcentage de déchets de verre a augmenté. Le pourcentage optimal de déchet de verre et la taille de l'agrégat qui ne présentait aucun effet nocif de la réaction alcali-silice étaient respectivement de 20% et de moins de 1,18 mm. Ces résultats concordent avec les résultats d'Idir et al (27)

- Idir et al (27) ont constaté qu'une taille de particule inférieure à (0,9-1 mm) ne présentait aucune expansion avec un 20% de remplacement partiel de l'agrégat de déchets de verre. Avec des tailles de particules plus faibles (diamètre moyen égal à 150  $\mu$ m), un

pourcentage plus élevé d'agrégats de déchet de verre peut être utilisé en toute sécurité, jusqu'à 40%.



**Figure I-4:** Schéma récapitulatif illustrant les deux réactions : alcali-silice et pouzzolanique.

### Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre la problématique des déchets de construction et verre. Le recyclage des déchets dans les nouvelles constructions est une technologie d'avant-garde qu'il y a lieu d'encourager surtout pour les volets de l'environnement et d'économie.

Dans la réalité les déchets de constructions et verre constituent une grande perte, cependant elle peut être bénéfique, car le domaine de génie civil ouvre des perspectives d'utilisation des déchets pour les routes et son introduction comme matériau de construction qui fera l'objet de notre étude.

**CHAPITRE II:  
CARACTERISATION  
DES MATERIAUX  
UTILISES**



### **I. Introduction :**

L'emploi judicieux des matériaux de construction exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées (28).

Les points précédents doivent être donc clarifiés avant de présenter les résultats obtenus.

Pour cela, ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos bétons, à l'état frais et durci.

Ajoutons enfin que la caractérisation physique et mécanique des matériaux est réalisée dans le Laboratoire des travaux publics du sud-Ouargla, tandis que les essais mécaniques sur bétons sont effectués dans le Laboratoire pédagogique de l'université Kasdi Merbah–Ouargla.

### **II. Les matériaux utilisés :**

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région d'Ouargla. Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Sable roulé (0/5) de la région d'Ouargla.
- ✓ Un gravier naturel (8/15) de carrière Ben Brahim.
- ✓ Un gravier recyclé (8/15) (concassage des déchets de démolition).
- ✓ Un ciment CPJ42.5 : de cimenterie AIN TOUTA.
- ✓ Eau de gâchage.

### **III. Essais sur les matériaux :**

#### **III.1 Analyse Granulométrique [NF P 18-540]:**

La connaissance de la courbe granulaire des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de *tamis* un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

---



**Figure II- 1:**opération de tamisage manuelle.

- **Résultat :**

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenus des différents granulats sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

**Gravier naturel 8/15**

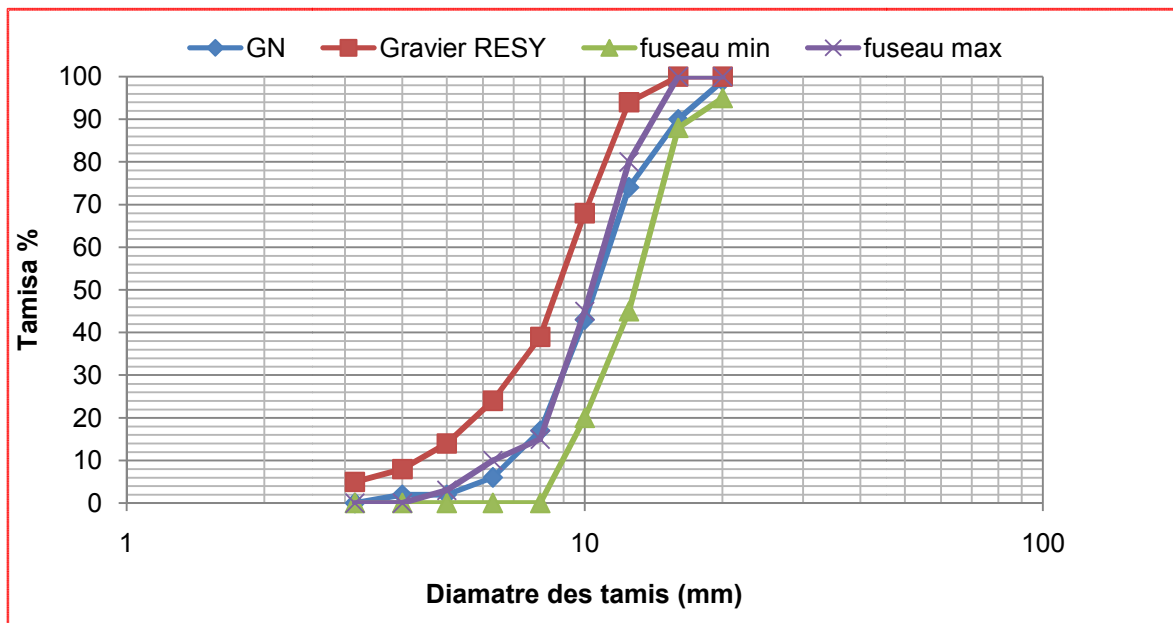
tamis	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant
20	34	0.85	99.15
16	388.8	9.72	90.28
12.5	1059.88	26.497	73.503
10	2272.8	56.82	43.18
8	3333.12	83.328	16.672
6.3	3767.12	94.193	5.807
5	3907.6	97.69	2.31
4	3928.64	98.216	1.784
3.15	3991.44	99.786	0.214

**Tableau II- 1:**analyse granulométrique du gravier naturel 8/15.

**Gravier recyclé 8/15 :**

tamis	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant
20	0	0	100
16	4.1	0.102	99.897
12.5	250.6	6.265	93.735
10	1298	32.45	67.55
8	2425.1	60.627	39.372
6.3	3021.2	75.53	24.47
5	3421.7	85.542	14.457
4	3662	91.55	8.45
3.15	3782.7	94.567	5.432
2.5	3883.9	97.09	2.902

**Tableau II- 2:**analyse granulométrique du gravier recycle8/15.



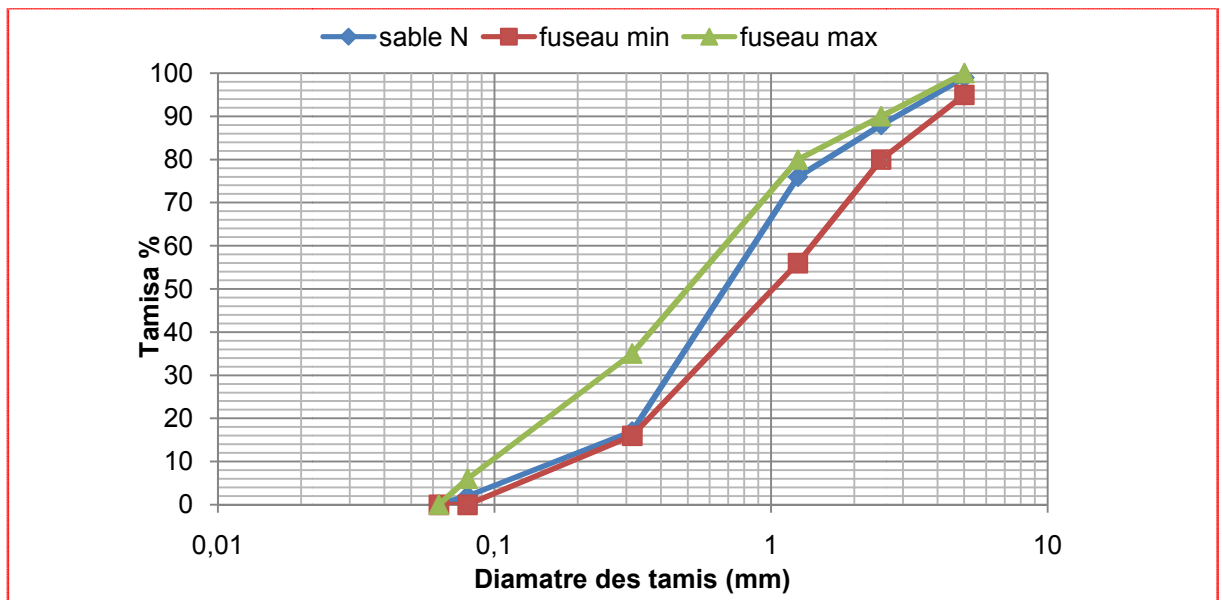
**Figure II- 2:**courbe granulométrique des graviers utilisent.

**REMARQUE :**

**Le gravier recyclé est en dehors des fuseaux car nous voulions le prendre dans son état normal, c'est-à-dire sans correction**

**Sable 0/5 :**

tamis	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant
5	10.3	1.03	98.97
2.5	110.88	11.088	88.912
1.25	235.7	23.57	76.43
0.63	403.7	40.37	59.63
0.315	828.7	82.87	17.13
0.160	938.5	93.85	6.15
0.08	975.82	97.582	2.418

**Tableau II- 3:** analyse granulométrique du sable 0/5.**Figure II- 3:** courbe granulométrique de sable➤ **Norme Française [NF P 18-540]**

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

➤ **Lorsque MF est comprise entre :**

- **1.8 Et 2.2 :** le sable est à majorité de grains fins,
- **2.2 Et 2.8 :** on est en présence d'un sable préférentiel.
- **2.8 Et 3.3 :** le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Dans notre cas :

$$M_f = \frac{1.03+11.088+23.57+40.37+82.87+93.85}{100} = 2.52$$

$M_f = 2,52$  donc c'est un sable préférentiel (sable moyen).

### III.2 Masse volumique :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent, il faut aussi distinguer de même :

#### ❖ Masse volumique apparente [la norme NF P 18-554]

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

#### • Principe :

Remplir un récipient d'un volume connu, et en déterminer la masse.

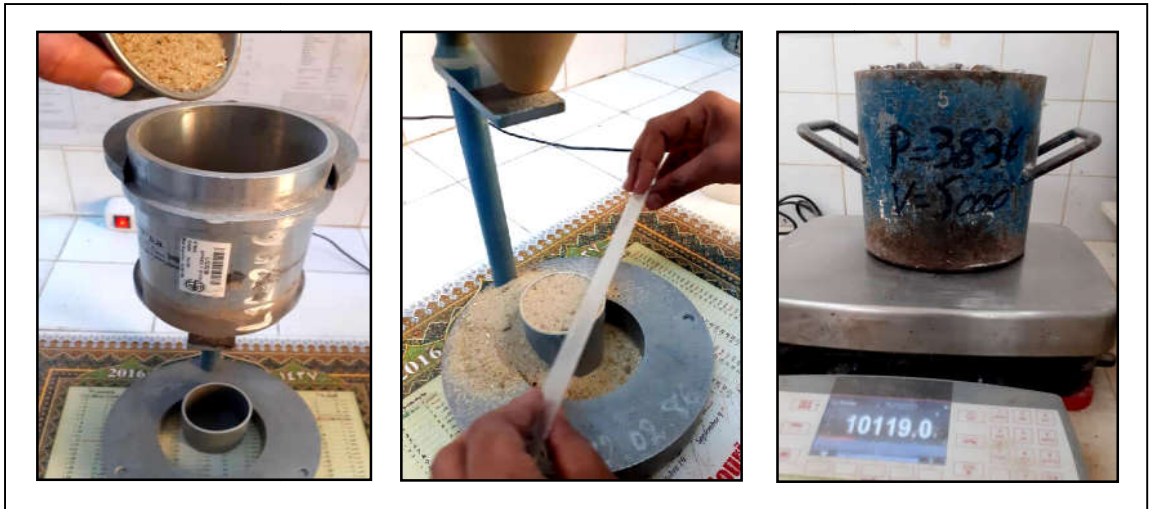


Figure II- 4: mesure de masse volumique apparente.

Donc la masse volumique apparent est égale :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} = \frac{M_t - M_{MOULE}}{V}$$

Avec :

$\rho_{app}$ : masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>).

M : masse de l'échantillon de granulats (g).

V : volume du récipient utilisé pour la masse (cm<sup>3</sup>).

- **Résultats :**

Les matériaux	Sable0/5	Gravier naturel 8/15	Gravier recycle 8/15
Masses volumiques apparentes (g/cm <sup>3</sup> )	1.64	1.38	1.25

**Tableau II- 4:** résultats de masses volumiques apparentes des matériaux utilisés.

- ❖ **Masse volumique absolue [la norme NF P 18-555]**

La masse volumique absolue : est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. C'est aussi la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

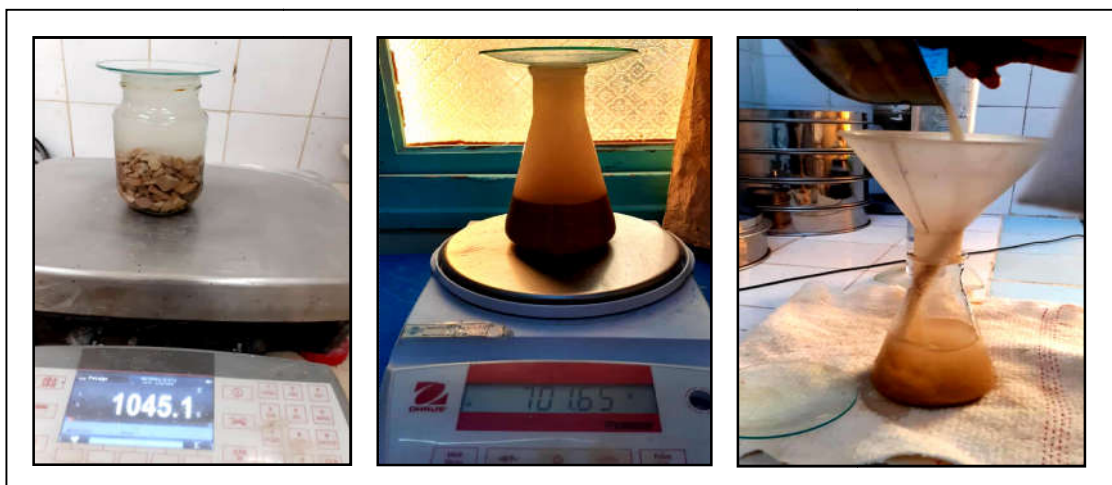
- **Principe de l'essai :**

A l'aide d'une éprouvette graduée on peut facilement déterminer cette valeur :

- On remplit l'éprouvette de liquide inerte vis-à-vis de l'échantillon étudié jusqu'au niveau V1.
- On rajoute une masse M de l'échantillon à étudier.
- On lit le niveau actuel du liquide, soit V2.

La masse volumique absolue est déterminée par la formule:

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_1 - V_2}$$



**Figure II- 5:** mesure de masse volumique absolue.



- **Résultats :**

Les matériaux	Sable0/5	Gravier naturel 8/15	Gravier recycle 8/15
Masses volumiques absolues (g/cm <sup>3</sup> )	2.62	2.59	2.44

**Tableau II- 5:** résultats de masses volumiques absolues des matériaux utilisés.

- **Commentaire :**

- La masse volumique absolue pour les granulats est  $> 2 \text{ g/cm}^3$ , selon la norme [NF P 18-301] ce sont des granulats courants utilisés pour les bétons hydrauliques courants (4).
- Le gravier naturel a une masse volumique supérieure que le gravier recyclé, donc ce dernier est peut être avantageux par rapport le naturel au point de vu du poids de béton

### III.3 Le Coefficient d'Absorption d'Eau [la norme NF P 18-554] :

Le coefficient d'absorption d'eau **Ab** représente la capacité d'absorption d'eau d'un granulat. Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.

- **Principe :**

On détermine un coefficient d'absorption qui est le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant **24 heures à 20° C**.

Le coefficient d'absorption d'eau **Ab** est défini par la relation :

$$Ab = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$



**Figure II- 6:** essai d'absorption d'eau des différents matériaux.

- **Résultats :**

Les matériaux	Sable 0/5	Gravier N 8/15	Gravier R 8/15
Masse sèche du refus au tamis 4 mm : M1	360.78 g	806.3 g	704.5 g
Masse d'échantillon imbibé dans l'eau : M2	362.83 g	823.9 g	745.9 g
Coefficient d'absorption Ab	0.56%	0.12 %	0.15 %

**Tableau II- 6:** Le Coefficient d'Absorption d'Eau.

- **Commentaire :**

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555 la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à **5%**, c'est –à- dire **Ab<5%**.

Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée.

### III.4 Mesure de la propreté des granulats :

- ❖ **Cas du gravier [la norme NF P18-591] :**

L'essai de propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments de taille inférieurs à 5mm.

- **Principe de l'essai :**

Le principe général consiste à faire débarrasser le gravier de cette classe fine uniquement par un lavage répété.

Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins)  $\leq$  5%.

La propreté est déterminée par la formule :

$$P(\%) = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100$$





Figure II- 7:essai de propreté des graviers utilisent.

• **Résultat :**

	Gravier N	Gravier R
Poids humide échantillon P1 (g)	2000	2000
Poids sec échantillon P2 (g)	1967	1926
Propreté (%)	1.65	3.7

Tableau II- 7: résultat d'essai de propreté des graviers.

• **Commentaire :**

Pour les 02 gravillons  $P < 5\%$  → nous concluons que nos gravillons sont propres.

❖ **Cas du sable :( Equivalent de sable [NF P 18-598])**

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats.

• **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à :

- Remplir une éprouvette graduée jusqu'au 1er trait.

Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 min.

- Boucher l'éprouvette, et la faire agiter 90 fois aller et retours dans le sens horizontal puis replacée verticalement.
- Laver le sable avec une solution lavant, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 min.
- Mesurer la hauteur du sable propre (H2) et la hauteur du sable propre + éléments fins (H1).

- La mesure de H2 n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus précise : ES.
- Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer H2

L'équivalent de sable est défini par :  $ES = \frac{H2}{H1} \times 100$

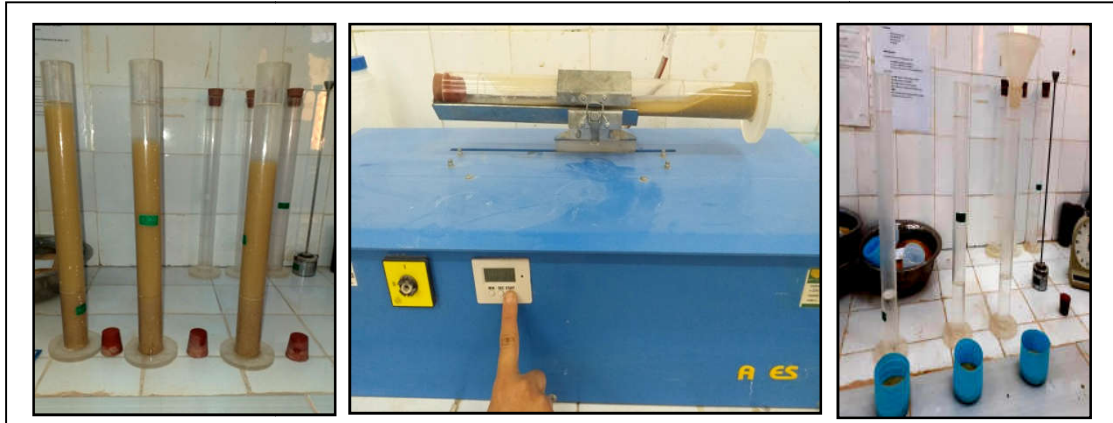


Figure II- 8: essai équivalent de sable.

• **Résultats :**

Echantillon	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3
Masse d'Echantillon	120	120	120
Hauteur total (sable + flocculat) H1 (cm)	14.8	11.9	11.5
Hauteur de sable sédiment (visuelle) H2 (cm)	9.2	8.8	8.8
Hauteur de sable sédiment (piston) H2 (cm)	8.5	8	8.2
Equivalent de sable visuelle ESV	62.16	73.94	76.52
Equivalent de sable ES	57.74	67.22	71.3
ESV moyen (%)	70.87		
ES moyen (%)	65.42		

Tableau II- 8: Résultat de l'essai de l'équivalent du sable.

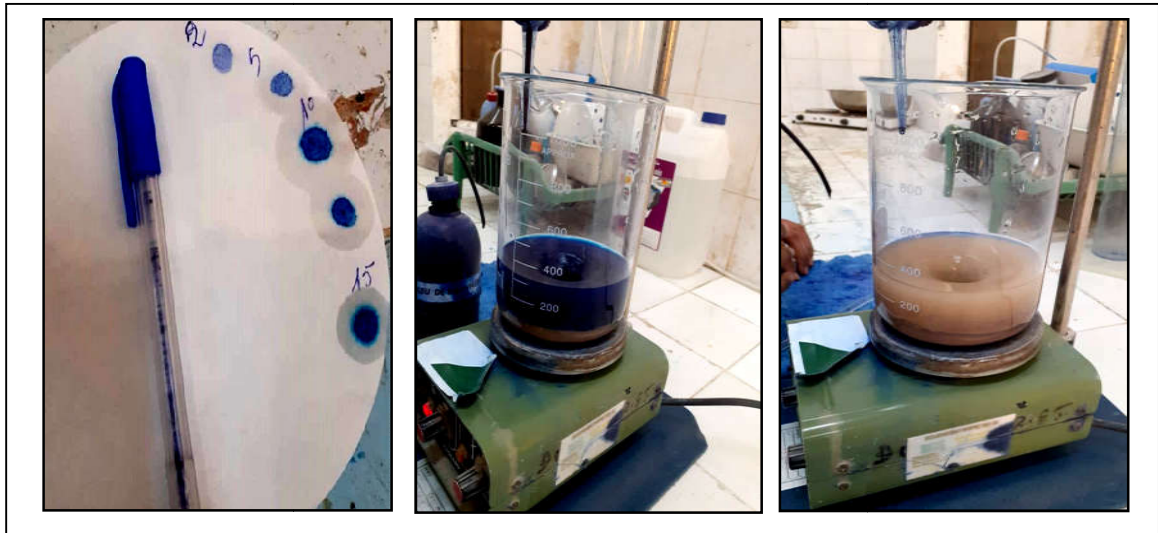
• **Commentaire :**

D'après les résultats issus des essais pratiques (équivalent de sable) et selon la norme **NFP18-589**, ce sable est on déduit qu'on est dans le cas d'un sable l'égerment argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait.

**III.5 Essai au bleu de méthylène [NF P 94-068] :**

• **Principe :**

L'essai consiste à déterminer la quantité de particules argileuses présentes dans l'échantillon. Pour cela on utilise du bleu de méthylène, substance adsorbée de préférence par les argiles.



**Figure II- 9:** essai de bleu de méthylène.

• **Résultats :**

Poids de l'échantillon P	Volume de bleu injecté dans la prise d'essai : V	Valeur au bleu de la prise d'essai : C	L'expression de résultat $Vb = \frac{v}{p} \times c \times 10$
100 g	15 cm <sup>3</sup>	0.96	1.4 ml

**Tableau II- 9:** résultat d'essai de bleu de méthylène.

**III.6 Essai de dureté des graviers (coefficient los Angeles LA) [la norme NF P 18-573] (29):**

• **Principe :**

La détermination de la résistance à la fragmentation des graviers effectuée par mesure de la quantité des éléments inférieurs à 1.6 mm produit en soumettant les granulats aux chocs de boules normalisés dans la machine Los Angeles (30).

La résistance combinée à la fragmentation par choc et à l'usure par frottement réciproque s'exprime par la quantité  $LA = 100 \times \frac{(M-m)}{M}$ .



Figure II- 10: essai Los Angeles.

• **Résultats :**

✚ **Gravier naturel 8/15 :**

Class granulaire	Tamis intermédiaire	Proportions (%)		Poids de tamis 1.6 mm M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	La =100× $\left(\frac{M-m}{M}\right)$
		Fraction 1	Fraction 2			
		14/12.5	12.5/10			
10/14	12.5	2000	3000	5000	3546	29.08

Tableau II- 10: résultat d’essai Los Angeles du gravier naturel 8/15.

✚ **Gravier recycles :**

Class granulaire	Tamis intermédiaire	Proportions (%)		Poids de tamis 1.6 mm M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	La =100× $\left(\frac{M-m}{M}\right)$
		Fraction 1	Fraction 2			
		14/12.5	12.5/10			
10/14	12.5	1500	3500	5000	3182.7	36.34

Tableau II- 11: résultat d’essai Los Angeles du gravier recycles.

• **Commentaire :**

Les deux granulats présentent un  $LA \leq 40 \%$ , donc les granulats utilisés dans notre étude sont des granulats courant convient bien pour la confection des bétons ordinaires de bon comportement mécanique.

**III.7 Essai de Micro Deval [NF P 18.572] :**

L'essai permet de déterminer la résistance à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

- **Principe :**

La détermination de la résistance à l'usure effectuée par une mesure de la quantité des éléments inférieurs à 1.6 mm produit en soumettant les granulats aux frottements réciproques dans un cylindres en rotation dans des conditions bien définies, l'échantillon soumis à l'essai en présence de l'eau mais l'essai peut également être effectuée à sec.

Le coefficient Micro-Deval est par définition égal au rapport :

$$MDE = 100 \times \frac{(M - m)}{M}$$

- **Résultat :**

- **Gravier naturel 8/15 :**

Class granulaire	Tamis intermédiaire	Proportions (%)		Poids de tamis 1.6 mm M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	MDE =100× $\left(\frac{M-m}{M}\right)$
		Fraction 1 14/12.5	Fraction 2 12.5/10			
		10/14	12.5			

**Tableau II- 12:** résultat d'essai Micro Deval du gravier naturel 8/15.

- **Gravier recycles :**

Class granulaire	Tamis intermédiaire	Proportions (%)		Poids de tamis 1.6 mm M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	MDE =100× $\left(\frac{M-m}{M}\right)$
		Fraction 1 14/12.5	Fraction 2 12.5/10			
		10/14	12.5			

**Tableau II- 13:** résultat d'essai Micro Deval du gravier recycles.

#### IV. Ciment

Le ciment utilisé pour la confection des bétons est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42,5, fabriqué par la société des ciments de AIN TOUTA (Batna).

#### V. Eau

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier. Un excès d'eau diminue les résistances et la durabilité du béton. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NF P 18-303 (31).

L'eau utilisée pour le gâchage de béton est l'eau du robinet de laboratoire d'université.

#### VI. Formulation du béton

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré (32).

Plusieurs méthodes de formulation ont été élaborées par : **ABRAMS, BOLOMEY,**

**CAQUOT, FAURY...**etc.

Dans notre cas, nous avons choisi la méthode ((**DREUX-GORISSE**)) parce qu'elle est une Méthode assez simple et facile à utiliser.

##### 1. Données de base :

Données de base	Valeur / description
Béton normal de classe	C45/55.
Consistance béton	plastique.
Affaissement	5 à 9 cm
Classe vraie du ciment	$\sigma'c$ 42,5 MPa
Forme des granulats	Granulats concassés.
Qualité des granulats	Bonne (courante).
vibration	Normale
Dosage en ciment	C = 400kg/m <sup>3</sup>
Dimension maximale de granulat	D <sub>max</sub> =20mm
Le rapport C/E	C/E=0.5
La résistance visée à 28 jours	25MPa

**Tableau II- 14:**Données de base.

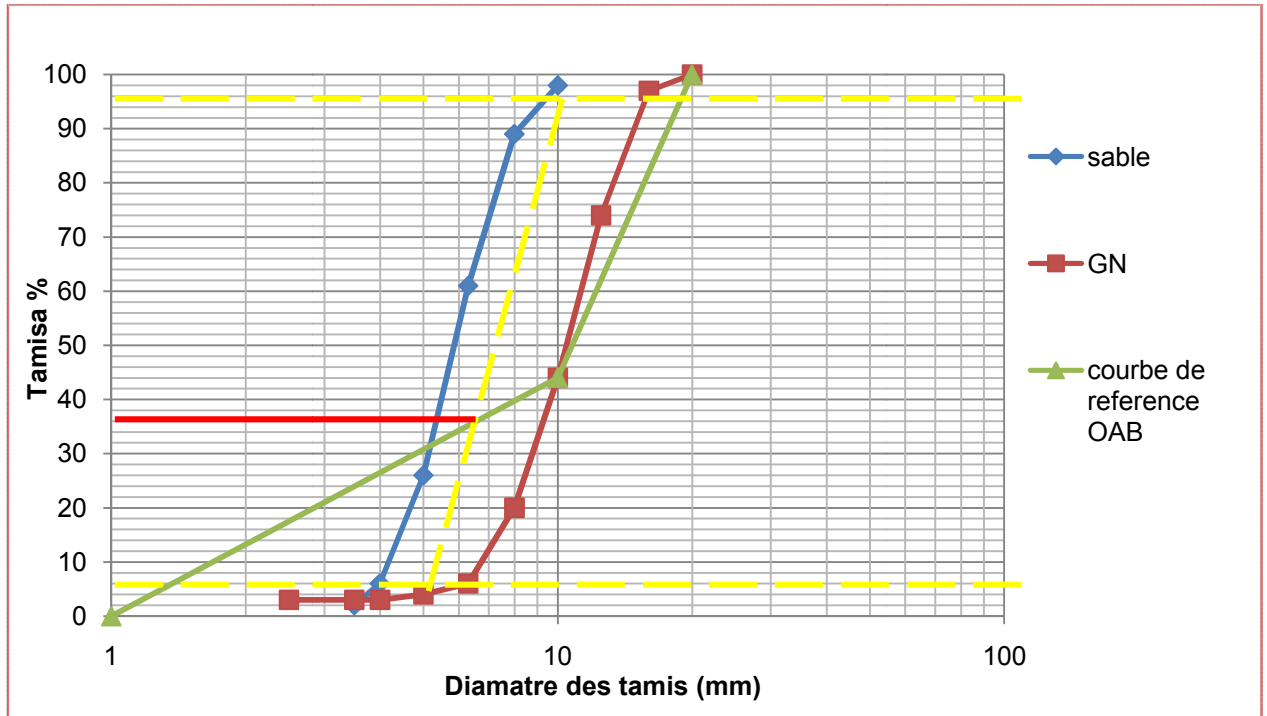


## 2. Dosages Des Bétons :

Le besoin de notre étude est préparé deux (02) bétons :

- **Béton témoin (BT)**: est un mélange ordinaire formulé à partir de deux classes granulaires: sable (0/5) et gravier (8/15).
- **Béton modifié (BM 50/50)**: est un mélange formulé à partir de trois classes granulaires: sable (0/5), gravier naturel (8/15) et gravier recycle (8/15) [50% GN+50%GR].

## 3. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :



**Figure II- 11:** Courbes granulométriques des différents composants.

On trace les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5% de la courbe du granulat qui vient juste après et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec la droite de partage.

Les pourcentages en volumes absolus de granulats sont déduits à partir du graphe FIG II.11

- Sable (0/5) =36%.
- Gravier naturel (8/15) = 64%.

	Formulation pour 1 éprouvette de (7×7×28) cm (kg/m3)			
	BT	BM (50/50) (GN% /GR%)	BM (30/70)	BM (70/30)
<b>Ciment</b>	0.84	0.84	0.84	0.84
<b>Sable</b>	1.38	1.38	1.38	1.38
<b>Gravier naturel (8/15)</b>	2.428	1.216	0.683	1.492
<b>Gravier recycle (8/15)</b>	00	1.14	1.504	0.602
<b>Eau</b>	214	214	214	214

**Tableau II- 15:**Dosages Des Bétons.

#### 4. Confection Des Éprouvettes :

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé des moules prismatiques (7×7×28) cm, pour la confection des éprouvettes. Le malaxage est exécuté à l'aide d'une bétonnière, les étapes de malaxage sont :

- Introduction de tous les granulats dans le malaxeur (sable, gravier naturel et gravier recycle) et faire le malaxage pendant 3 min afin d'assurer une bonne dispersion des G.C. parmi les éléments traditionnels du béton.
- Introduction du ciment et faire le malaxage pendant 1min.
- Introduction du l'eau et faire le malaxage pendant 2min.



**Figure II- 12:** Bétonnière utilisée.



- Après le malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage.
- Le remplissage des moules est exécuté en deux couches, chaque couche est piquée par 25 coups. Le but de piquage est le remplissage parfait du moule.
- A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 et NF P 18-423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.
- Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai.



Figure II- 13: confection des éprouvettes.

## VII. Présentation des essais expérimentaux

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton témoin et béton modifié par gravier recyclé et comparer ceux-ci aux propriétés de béton ordinaire.

### VII.1 Essai Sur Béton Frais :

#### VII.1.1 **Affaissement au cône d'Abrams [NF EN 12350-2] :**

##### ❖ **Principe de l'essai :**

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. Ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

**❖ Appareillage :**

Moule pour former l'éprouvette : en acier galvanisé pour résister aux attaques de la pâte de ciment, d'une épaisseur de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités.

Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

- Diamètre de la base:  $(200 \pm 2)$  mm.
- Diamètre du haut:  $(100 \pm 2)$  mm.
- Hauteur:  $(300 \pm 2)$  mm.

Le moule doit être muni, à sa partie supérieure, de deux poignées et, à sa partie inférieure, de pattes de fixation ou d'appui, afin de l'immobiliser.

- Tige de piquage: de section circulaire, rectiligne, en acier, de  $(16 \pm 1)$  mm de diamètre, et de  $(600 \pm 5)$  mm de longueur, dont les extrémités sont arrondies.
- Entonnoir.
- Règle graduée de 0 mm à 300 mm.
- Surface ou plateau de base.



**Figure II- 14:** l'essai de mesure de consistance du béton frais.

## VII.2 Essais Sur Béton Durci :

### VII.2.1 Essai de retrait [NF P18-427]:

#### ❖ Définition :

Le retrait du béton est une contraction dimensionnelle du béton due à des phénomènes chimiques et physiques. Il est indépendant de tout chargement du matériau.

Ce phénomène se produit dès la mise en œuvre du béton, pendant sa prise et son durcissement et se développe au cours du temps.

#### ❖ Causes de retrait (33):

- 1. Excès d'eau :** Un béton trop riche en eau devient poreux et perd de sa résistance. C'est pourquoi le premier facteur à risque du retrait de béton est constitué par l'excès d'eau dans le béton frais.
- 2. Insuffisance de l'eau :** Un temps chaud et sec favorise ce phénomène. Si l'eau utilisée en trop grande quantité nuit à la durabilité du béton, elle est nécessaire pour enclencher la prise du mélange liant-granulats et donner au béton sa plasticité et donc sa maniabilité. Mais au-delà de 25°C, cette eau de gâchage peut facilement s'évaporer, ce qui fait perdre au béton sa résistance.
- 3. Taux de ciment et composition du béton :** Un élément de béton fortement dosé en ciment présente un risque élevé de retrait. Sont ainsi principalement concernés les bétons autoplaçants, ou BAP, qui ont la caractéristique de se mettre en place sans aucune vibration, grâce à leur propre poids et sous l'effet de leurs caractéristiques d'écoulement. L'inconvénient reste leur fluidité. Il est dès lors important de densifier le ferrailage pour limiter le retrait du béton et la fissuration des ouvrages.
- 4. Présence d'adjuvants dans le béton :** Selon la norme NF EN 934-2, un adjuvant est un produit qui, incorporé à faible dose aux bétons, coulis ou mortiers (moins de 5% de la masse du ciment) lors du malaxage a pour conséquence de transformer certaines de leurs propriétés, soit lorsqu'ils sont frais, soit lorsqu'ils sont durcis. Les adjuvants réducteurs permettent de limiter le phénomène de retrait du béton, et donc de pallier les fissurations.



Figure II- 15: essai de retrait de béton.

### VII.2.2 Essai de compression [NF EN 18-455] :

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

Les éprouvettes confectionnées sont des éprouvettes cubiques (7×7×28) cm, donc sont ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau inférieur étant fixe, l'autre est mobile de mesure (7×7) cm.

L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante. Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical est enregistrée, et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse, qui signifie l'achèvement de l'essai de compression. À ce moment la force et la contrainte ont subi par l'éprouvette sont affichés sur l'écran de la presse.

La presse utilisée est une machine de type **CONTROLS** ayant une capacité maximale de 3000KN.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai.



Figure II- 16: essai de compression.

### VII.2.3 Essai flexion [NF P 18-407] :

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques de  $(7 \times 7 \times 28)$  cm de dimensions. Pour cela un dispositif spécial emboîte les éprouvettes prismatiques pour assurer que le chargement appliqué par la presse est devenu des charges concentrées.

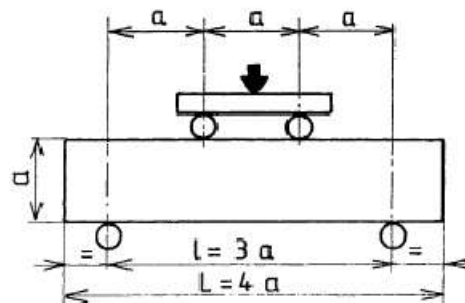


Figure II- 17: La position correcte des éprouvettes prismatique dans le dispositif de la flexion par 4 points.



**Figure II- 18:** essai de flexion.

### **VIII. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés ainsi que leurs propriétés physiques.

- Les essais de caractérisation de la phase inerte : sable + gravier laissent apparaître que les granulats utilisés dans notre travail se sont des granulats courants utilisés pour les bétons hydrauliques.
- Les essais de caractérisation à l'état frais des différentes compositions du béton ainsi que des essais de caractérisation à l'état durci : physique, mécanique (essai de compression et de flexion).

Les résultats expérimentaux de ce programme d'essai sont présentés dans le chapitre suivant.

**CHAPITRE III :**  
**RESULTATS**  
**EXPERIMENTAUX**  
**ET ANALYSES**



## I. Introduction

Ce travail est consacré à l'étude expérimentale des indicateurs généraux du comportement d'un béton ordinaire et des bétons confectionnés à base de granulat recyclé en variant le pourcentage de gravier concassé (30%, 50% et 70%).

## II. Résultats et interprétations

### a) Masse volumique apparente de béton :

Il faut noter que la masse volumique du béton n'est pas une grandeur stable. Celle-ci varie en fonction de sa masse (ou poids), qui peut elle-même varier considérablement. Ainsi, la formulation du béton (donc son dosage en sable, ciment, eau...) impacte énormément sur sa masse volumique :

- Masse volumique des granulats : environ 1 500 kg / m<sup>3</sup> (dépendamment de leur nature),
- Masse volumique du sable : environ 1 600 kg / m<sup>3</sup>,
- Masse volumique du ciment : environ 1 100 kg / m<sup>3</sup> (1 m<sup>3</sup> de ciment en poudre est environ égal à 1 800 kg).

Dans notre cas :

Type de béton	Béton témoin	Béton modifié(50/50)
Masse volumique apparent (g/cm <sup>3</sup> )	2.38	2.45

**Tableau III- 1:** résultats de masses volumiques apparentes des bétons.

### b) Essai d'affaissement :

Le tableau III.1 présente les valeurs de l'affaissement en fonction du taux d'incorporation du gravier recyclé pour les différentes compositions.

	Béton témoin	Béton modifié (50/50)
Rapport C/E	0.5	0.5
Affaissement (cm)	6.5	8

**Tableau III- 2:** valeurs d'affaissement pour les 02 formulations du béton.



**Commentaire :**

- L'affaissement est entre l'intervalle [5-9] cm donc le béton est normal d'utilisation courante.
- Nous constatons que pour le même rapport C/E, l'affaissement de béton modifié (50/50) dépasse celui du béton témoin, cela confirme l'effet positif de granulats recyclés sur l'ouvrabilité des bétons ordinaires.

**c) Essai de retrait:**

Les essais de retrait sont effectués sur des éprouvettes (7x7x28) cm suivant la norme [NF P 18-427], les résultats de la variation de retrait sont illustrés sur le tableau III.2.

	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3	moyen
$\Delta L$ (BT) (mm)	2.225	2.363	2.147	2.718
$\Delta L$ (BM 50/50)(mm)	1.11	3.566	0.279	1.178

**Tableau III- 3:** résultats de retrait pour les 2 formulations de béton.

$$\text{Déformation } \varepsilon = \Delta L/L = \begin{cases} \varepsilon(\text{BT}) = 9.7 \times 10^{-3} \\ \varepsilon(\text{BM}) = 4.21 \times 10^{-3} \end{cases}$$

**Commentaire :**

D'après les résultats obtenus on remarque une diminution de retrait du béton modifié (50/50) par rapport au béton témoin ; cette diminution est de l'ordre de 57%.

**d) Résistance à la compression :**

L'évolution de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7,14, 28 jours et 6 mois de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :



Figure III- 1: Essai de compression

	Resistance (MPA)			
	7 jours	14 jours	28 jours	6 mois
<b>BT</b>	28	32.5	40.2	44.5
<b>BM (50%/50)</b>	30	31.2	41	44.5

Tableau III- 4: valeurs de Résistance à la compression pour les 2 types du béton.

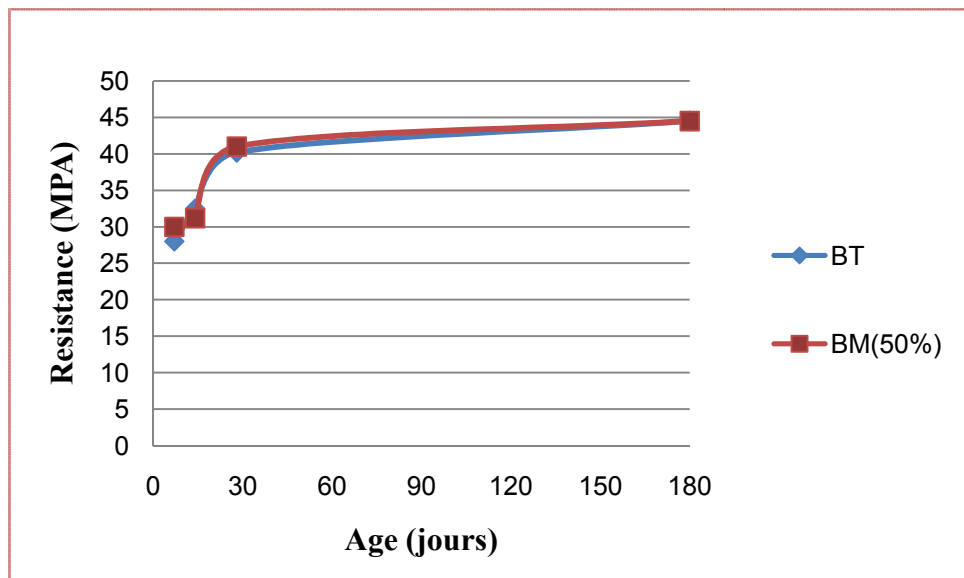


Figure III- 2 : Résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons.

**Commentaire :**

À travers les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, nous remarquons une grande convergence de la résistance à la compression entre le béton témoin et le béton modifié à des moments différents, car à une période de 180 jours, nous avons enregistré la même résistance à la compression, qui a été estimée à **44.5MPA**, et cela indique seulement l'efficacité de la capacité du gravier recyclé utilisé dans le béton modifié de pourcentage 50%, qui a donné la même résistance obtenue par le béton témoin contenant 100 % de gravier naturel.

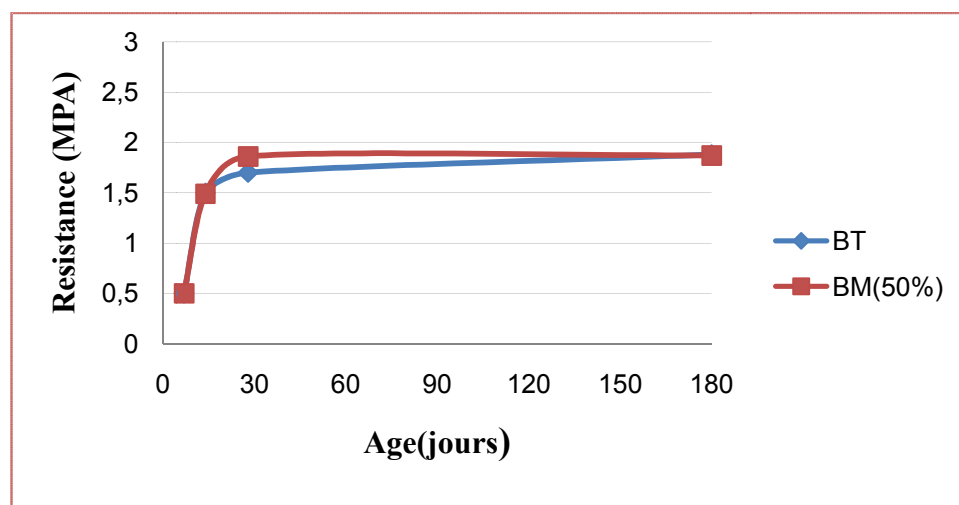
**e) Résistance à la flexion :**

Après des séries d'essais d'écrasement (flexion sur 4 points) sur les éprouvettes pour chaque type de béton, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

	Resistance (MPA)			
	7 jours	14 jours	28 jours	6 mois
<b>BT</b>	0.5	1.5	1.7	1.88
<b>BM (50%/50)</b>	0.5	1.49	1.86	1.87

**Tableau III- 5:** valeurs de résistance à la flexion pour les 2 formulations du béton.

Les résultats obtenus sont convertis sous forme d'une courbe de variation de la contrainte à la flexion en fonction du temps.



**Figure III- 3:** Résistance à la flexion en fonction de l'âge des bétons.

**Commentaire :**

Nous constatons que pour des différents moments il y a presque la même résistance à la flexion entre le béton témoin et le béton modifié.

Donc nous ne concluons que la présence de gravier recyclé de pourcentage de 50% a le même effet de 100% gravier naturel dans le béton.

**CONCLUSION**

**GENERALE**

---

## CONCLUSION GENERALE

---

Les mortiers et bétons confectionnés avec des granulats recyclés ont fait l'objet de nombreuses études. Toutefois aucune règle générale n'a encore été dégagée pour quantifier l'influence de telle substitution, vis-à-vis des propriétés et notamment de sa résistance mécanique.

Dans ce mémoire on a étudié la possibilité de valoriser les déchets de béton et du verre dans le béton neuf. Dans ce but, on a étudié l'effet de la substitution des granulats naturels par des granulats recycle issus du concassage de béton sur les performances du béton à l'état frais et a L'état durci.

D'après les résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La substitution du gravier naturel par des granulats recycles issus du concassage du béton augmente l'ouvrabilité du béton.
- L'incorporation de granulats recycle améliore la résistance à la compression et à la traction par flexion.
- Le taux de substitution en gravier recycle de 50% a donné propriétés satisfaisantes à l'état frais qu'a l'état durci.
- L'incorporation de granulats recycle diminué le phénomène de retrait de béton.

### **Perspectives :**

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets de béton et de verre. Donc il sera nécessaire de compléter ce travail par :

- l'étude des caractéristiques mécaniques par d'autre pourcentage de béton concasse dans le nouveau béton comme gravier.
- La valorisation de déchets de verre et déchets de béton dans les différents types de béton.

Nous espérons que ce travail apportera une contribution au développement et à l'exploitation des bétons à base des graviers recyclés.

# BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE :

1. **LAROUCI, B.** CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE BETON DES FIBRES METALLIQUES. *Mémoire de Master II.* 2017.
2. **RACHI.L, DENDANI.M.** Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire. *Mémoire de master.* 2016.
3. **DREUX, G et FESTA, J.** *Nouveau guide de béton et de ses constituants» 8ème édition.* Eyrolles : paris, 1998.
4. **BECHIR, O.** ETUDE DE LA DURABILITE D'UN BETON A BASE DU GRANULAT RECYCLE. *Mémoire de Master.* 2019.
5. **Béton, CIM and du Béton, Ecole Française.** Les constituants des betons et des mortiers. s.l. : Paris, France, 2005.
6. **LERM, Le.** Déchets de chantiers de bâtiment. *enquête CEBTP/DEMAIN pour FFB et ADEME.* 1999.
7. **R, LANGUEDOC.** "Guide pratique des déchets" (site Internet google,fr), 2001,. [En ligne]
8. Recyclage " Encyclo-ecolo,com " l'encyclopédie écologique, 2014,.
9. **BOURMATTE, Nadjoua et HOUARI, Hacène.** granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques. . Thèse de doctora. جامعة الإخوة منتوري قسنطينة. s.n., 2004.
10. COMMENT RECYCLER LE BETON DANS LE BETON. s.l. : IREX, Novembre 2018.
11. **INSAVALOR, E. VERNUS - POLDEN /.** DECHETS DE DEMOLITION ET DECONSTRUCTION :GISEMENTS, CARACTERISATIONS, FILIERES DE. juin 2011. ETUDE N° 09-0139/1A.
12. **هدى طابي.** قطاع التحويل متأخر والاسترجاع يقود الدفعة: النفايات .. ثروة اقتصادية رهينة القوانين و السوق السوداء. قسنطينة : جريدة النصر، 13 افريل 2019.
13. **Abdelkrim, Hachana.** etude des betons à base des agrégats de déchets de démolition. *magister.* université mohamed khider- biskra : s.n., 2008.
14. **JANI, Yahya et HOGLAND, William.** Waste glass in the production of cement and concrete,environmental chemical engineering,vol. 2,no 3, p. 1767-1775.,2014.
15. **Fayçal, ABDELKIBIRE Messaod et BEN OUELHA.** valorisation des déchets de verre comme sable dans la confection des bétons..2005. UNIVERSIT2 MOUHAMED BOUDAIF-M'SILA : Mémoire de fin d'études, 2005.



16. **LEE, Gerry, POON, Chi Sun, WONG, Yuk Lung, et al.** Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks. *Construction and building materials*. 2013. Vol. vol 38. p 638-643.
17. **Saito, Masaya and Shukuya, Masanori.** Energy and material use in the production of insulating glass windows. [éd.] Elsevier. 1996. Vol. 58, 4-6, pp. 247--252.
18. **Ruth, Matthias and Dell'Anno, Paolo.** An industrial ecology of the US glass industry. [éd.] Elsevier. 1997. Vol. 23, 3, pp. 109--124.
19. **Schmitz, Andreas and Kami ski, Jacek and Scalet, Bianca Maria and Soria, Antonio.** Energy consumption and CO2 emissions of the European glass industry. [éd.] Elsevier. 2011. Vol. 39, 1, pp. 142--155.
20. **ZHANG, Tongsheng, GAO, Peng, GAO, Pinhai, et al.** Effectiveness of novel and traditional methods to incorporate industrial wastes in cementitious materials—An overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, vol. 74, p. 134-143.
21. **KUMARAPPAN, N.** Partial replacement cement in concrete using waste glass. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2013, vol. 2, p. 2278-0181.
22. **KHATIB, J. M., NEGIM, E. M., SOHL, H. S., et al.** Glass powder utilisation in concrete production. *European Journal of Applied Sciences*, 2012, vol. 4, no 4, p. 173-176.
23. **ALIABDO, Ali A., ABD ELMOATY, M., et ABOSHAMA, Ahmed Y.** Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*, 2016, vol. 124, p. 866-877.
24. **PIKE, Robert G. et HUBBARD, Donald.** . Physicochemical studies of the destructive alkali-aggregate reaction in concrete. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 1957, vol. 59, no 2, p. 127-132.
25. **JOHNSTON, C. D.** Waste glass as coarse aggregate for concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, 1974, vol. 2, no 5, p. 344-350.
26. **TAKATA, R., SATO, S., NONAKA, T., et al.** Investigation on alkali-silica reaction utilizing waste glass in concrete and suppression effect by natural zeolite. In : 29th Conference on Our World in Concrete and Structures. 2004. p. 26.
27. **IDIR, Rachida, CYR, Martin, et TAGNIT-HAMOU, Arezki.** Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars. *Construction and Building Materials*, 2010, vol. 24, no 7, p. 1309-1312.
28. **NÉCIRA, BRAHIM.** développement des bétons autoplaçants à hautes performances:influence de la composition. *thèse de doctorat*. Université Mohamed Khider – Biskra, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA : s.n., 2018.
29. **Norme Française XP P 18-573.** « Granulats - Essai Los-Angeles, AFNOR, (1990).

30. **DRISSI, Mounsif. Comportement des bétons: expérimentation et modélisation des paramètres technologiques influant les propriétés physico-chimiques, mécaniques et rhéologiques des bétons frais et durcis. 2018. Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BI.**
31. **18-303, NF P.** eau de gachage.
32. **RAMACHANDRAN, V. S.** utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton. CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, 1981.
33. **DE LARRARD, François.** Construire en béton: l'essentiel sur les matériaux. Presses des Ponts, 2002..
34. **P18-560, la norme.** Granulats - Analyse granulométrique par tamisage Septembre. 1990.
35. **DALI, J. S. et TANDE, S. N.** Performance of concrete containing mineral admixtures subjected to high temperature. In : 37th Conference on Our World in Concrete and Structures, Singapore, August. 2012.
36. **VANDHIYAN, R., RAMKUMAR, K., et RAMYA, R.** Experimental study on replacement of cement by glass powder. Int. J. Eng. Res. Technol, 2013, vol. 2, no 5, p. 234-238.

ANNEXE



