

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique*



*Université de Ghardaïa*

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département D'hydraulique et de Génie Civil

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Domaine : *Sciences et Technologies***

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : *Structures***

**Par : LAKHDARI Zinelabidine**  
**KHEDAIACHE Soufiane**

**Thème**

**Influence du remplacement partiel des granulats recyclés  
sur les propriétés du béton.**

**Membres de jury :**

<b>Mr LAROUI Abdelbasset</b>	<b>MAA</b>	<b>Université de Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr SAITI ISSAM</b>	<b>MAA</b>	<b>Université de Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr AZIEZ Mohammed Nadjib</b>	<b>MAB</b>	<b>Université de Ghardaïa</b>	<b>Encadrant</b>

**Année universitaire 2020/2021**

# REMERCIEMENT

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu DIEU miséricordieux qui nous a donné la force et la patience pour achever ce travail. Nous voudrions saisir cette occasion pour remercier chaleureusement notre superviseur **Mr AZIEZ M, N** enseignant à l'Université de Ghardaïa, pour son dévouement, ses conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire.*

*Nos grands remerciements à Mr AMIEUR HADJ NACEUR et Mr BOUZID BACHIR et vont à l'ensemble du personnel du laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (**LTPS SUD**) pour leur aide et leur disponibilité.*

*À nos fidèles et sincères collègues qui nous ont accompagnés tout au long des études universitaires.*

*Nous remercions également les membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

# DÉDICACES

**A mon père et ma mère.**

**A toute ma famille.**

**A mes amis.**

**Aux vrais savants, modestes au Dieu**

## RESUME

La chaussée en asphalte recyclé est le matériau de chaussée récupéré et retraité contenant de l'asphalte et des agrégats. Il y a un manque général de données concernant les propriétés mécaniques des agrégats recyclés dans d'autres applications possibles telles que le béton de ciment Portland.

Dans la présente étude, certaines propriétés mécaniques du béton de ciment Portland contenant d'agrégats recyclés sous forme de granulats grossiers ont été étudiées en laboratoire. Cinq mélanges de béton avec des proportions de mélange très différentes ont été fabriqués en utilisant des graviers recyclés comme granulats grossiers 0, 25, 50, 75, 100%.

Les propriétés testées comprennent les propriétés physiques de l'agrégat recyclé, les résistances à la compression du béton. Ces propriétés ont été comparées à celles de bétons similaires fabriqués avec des granulats de gravier naturels. Les résultats des tests suggèrent que la résistance du béton fabriqué à partir de RAP dépend de la force d'adhésion des revêtements « matrice d'asphalte-mortier » (liant d'asphalte-matrice de remplissage) sur les granulats et peut ne pas produire de béton avec une résistance à la compression supérieure à 25 MPa. Cependant, pour le béton de résistance moyenne et faible, le matériau s'est avéré se comparer favorablement aux granulats de gravier naturels.

### **Mots-clés :**

Asphalte recyclé; ciment Portland; Béton; Résistance à la compression;

# ABSTRACT

Recycled asphalt pavement is the recovered and reprocessed pavement material containing asphalt and aggregate. There is a general lack of data regarding the mechanical properties of recycled aggregates in other possible applications such as Portland cement concrete.

In this study, some mechanical properties of Portland cement concrete containing aggregate recycled as coarse aggregate were investigated in the laboratory. Five concrete mixes of very different proportions were manufactured using recycled gravel as coarse aggregate 0, 25, 50, 75, 100%.

The properties tested include the physical properties of the recycled aggregate, the compressive strengths of the concrete. These properties were compared with those of similar concretes made with natural gravel aggregates. Test results suggest that the strength of concrete made from RAP is dependent on the bond strength of “asphalt-mortar matrix” (asphalt binder-filler matrix) coatings to aggregates and may not produce of concrete with a compressive strength greater than 25 MPa. However, for medium and low strength concrete, the material was found to compare favorably with natural gravel aggregates.

## **Keywords**

Recycled asphalt; Portland cement; Concrete; Compressive strength;

## ملخص

رصيف الأسفلت المعاد تدويره هو مادة الرصف المستعادة والمعاد تصنيعها المحتوية على الأسفلت والركام. هناك نقص عام في البيانات المتعلقة بالخصائص الميكانيكية للركام المعاد تدويره في التطبيقات الأخرى الممكنة مثل الخرسانة الأسمنتية البورتلاندي.

في هذه الدراسة تم فحص بعض الخواص الميكانيكية لخرسانة الأسمنت البورتلاندي المحتوية على الركام المعاد تدويره كركام خشن في المختبر. تم تصنيع خمس خلطات خرسانية مختلفة ونسب الخلط باستخدام الحصى المعاد تدويره كركام خشن 0 25 50 75 100 بالمنة .

تشمل الخصائص التي تم اختبارها الخصائص الفيزيائية للركام المعاد تدويره ، وقوة الانضغاط للخرسانة. تمت مقارنة هذه الخصائص مع تلك الخاصة بالخرسانة المماثلة المصنوعة من الحصى الطبيعي. تشير نتائج الاختبار إلى أن قوة الخرسانة المصنوعة من الركام الاسفلت تعتمد على قوة الترابط لطلاع "مصفوفة حشو الأسفلت" (مصفوفة حشو الأسفلت) للركام وقد لا تنتج الخرسانة بقوة ضغط أكبر من 25 ميغا باسكال. ومع ذلك ، بالنسبة للخرسانة ذات القوة المتوسطة والمنخفضة ، فقد وجد أن المادة تُقارن بشكل إيجابي مع ركام الحصى الطبيعي.

كلمات مفتاحية :

إعادة تكرير او تدوير الأسفلت إسمنت بورتلاند الخرسانة. مقاومة الضغط ؛

# TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS.</b>	<b>I</b>
<b>DEDICACES</b>	<b>II</b>
<b>RESUME</b>	<b>III</b>
<b>ملخص</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
CONTEXTE	5
REFERENCES	6
<b>CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	<b>7</b>
I.1. Introduction :	7
I.2. Le béton :	8
I.2.1. Classe de béton :	8
I.2.2. Composition du béton :	9
I.2.3. Constituants du béton :	9
I.2.3.1. Le ciment :	9
I.2.3.2.Types de ciment :	10
a) Ciment portland artificiel (CEM I) :	10
b) Ciment portland composé (CEM II) :	10
c) Ciment de Haut Fourneau CEM III:	11
d) Ciment pouzzolaniques CEM IV:	11
e) Ciment composé CEM V:	12
I.2.3.2. Sable:	12
I-2-2-Gravier:	13
I-2-4-Eau de gâchage:	16
I.3. Granulats recyclés :	16
I.4. Critère de choix des granulats :	17
I.5. Déchets de démolition de construction :	19
I.6. Classification des déchets	19
I.6.1. Les déchets inertes (DI)	19
I.6.2. Les déchets industriels banals (DIB)	19
I.6.3. Les déchets industriels spéciaux (DIS) ou déchets dangereux (DD)	20
I.6.4. Les déchets d'emballages	20
I.6.5. Déchets de démolition des constructions	20
I.7. Le recyclage des déchets :	21

I.8. Bétons de recyclage :	22
I.9. Avantage d'utilisation agrégats de fraisât:	23
I.10. Développement en mélanges bitumineux :	25
I.11. Conclusion :	28
I.12. Référence :	29
<b>CHAPITRE II : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES</b>	<b>31</b>
II.1. Introduction :	31
II.2. Matériaux utilisés :	31
II.2.1. Ciment :	31
II.2.2. Sable :	32
II.2.2.1. Analyse granulométrique [NF EN 933-1]	32
II.2.3. Gravier :	34
II.2.3.1. Analyse granulométrique : [NF EN 933-1] :	34
II.2.3.2. Masse volumique absolue : [NF EN 1097-7]	35
II.2.3.3. L'absorption d'eau [NF EN 1097-6] :	35
II.2.3.4. Propreté superficielle : [NF P 18-591]	35
II.2.3.5. Aplatissement [NF EN 12350-2] :	35
II.2.3.6. Los Angeles [NF EN 1097-2] :	36
II.2.3.7. Micro-Deval [NF EN 1097-1] :	36
II.2.4. Gravier recyclé :	37
II.2.5. L'eau de gâchage :	38
II.3. Formulation des bétons ordinaire :	38
II.4. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	44
II.4.1. Confection des éprouvettes :	44
II.4.2. Mesure de la maniabilité :	45
II.4.3. Essai de compression :	47
II.4.4. Absorption capillaire :	49
II.5. Conclusion :	50
<b>CHAPITRE 3 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS</b>	<b>52</b>
III.1. INTRODUCTION :	52
III.2. L'Affaissement au cône d'Abrams: [NF P 18 -451]	52
III.3. RESISTANCE A LA COMPRESSION :	53
III.4. PROPRIETES PHYSIQUES :	54
IV.5. Vitesse ultrasonique	55
IV.6. CONCLUSION	56
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>57</b>
<b>ANNEXE A</b>	<b>58</b>

# LISTE DES FIGURES

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	
Figure 1- Protection de l'environnement. .....	<b>1</b>
Figure 2 – ouvrage d’art	<b>2</b>
Figure 3 - déchet de construction	<b>2</b>
Figure 4- Déchet de plastique	<b>3</b>
Figure 5- déchets ménagers frittés sous forme d'agrégat grossier.	<b>3</b>
Figure 6 - Asphalte agrégat.	<b>4</b>
<b>CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
Figure I.1- le béton	<b>8</b>
Figure I.2. Sac de ciment CEM I	<b>10</b>
Figure I.3- Sac de ciment CEM II	<b>10</b>
Figure I.4- Sac de ciment CEM III	<b>11</b>
Figure I.5- Sac de ciment CEM IV	<b>11</b>
Figure I.6- Sable d’oued – Sable concassé.	<b>12</b>
Figure I.7- Gravier	<b>13</b>
Figure I.8– Courbe granulométrique.	<b>14</b>
Figure I.9- Granulats naturelle.	<b>15</b>
Figure I.10- Adéquation granulats /Béton .	<b>17</b>
Figure I.11- Aptitude à l’emploi selon la roche d’origine.	<b>18</b>
Figure I.12- l’emploi du Béton	<b>18</b>
<b>Figure I.13 - Compositions des déchets du bâtiment</b>	<b>20</b>
Figure I.14- le recyclage des déchets d'activités économiques	<b>21</b>
Figure I.15- fraisât.	<b>23</b>
<b>CHAPITRE II : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES</b>	
Figure II.1 - Sac de ciment CEM I / A 42,5.	<b>31</b>
Figure II.2 – Sable de oued M’ZI	<b>32</b>
Figure II.3 : Courbe granulométrique du sable.	<b>33</b>
Figure II.4 : Courbe granulométrique des deux graviers	<b>34</b>
Figure II.5 – Analyse granulométrique.	<b>37</b>
Figure II.6. Gravier recyclé.	<b>38</b>
Figure II.7 : Abaque permettant la détermination de C	<b>40</b>
Figure II.8. Les courbes de references.	<b>42</b>
Figure II.9. Confection des éprouvettes du béton	<b>44</b>
Figure II.10 – la cure des éprouvettes	<b>45</b>

---

Figure II.11-l'essai d'affaissement au cône d'Abrams	46
Figure II.12 - Rectifieuse	47
Figure II.13- Surfaçage d'une éprouvette	47
Figure II.14- Les échantillons apes surfaçage	48
Figure II.15. Résistance à la compression	48
Figure II.16 - Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire.	49
<b>CHAPITRE III: RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS</b>	
Figure III.1- Résistance à la compression à 30 jours.	53
Figure III.2 - Absorption capillaire à 90 minutes	54
Figure III.3- Vitesse ultrasonique	55

---

## LISTE DES TABLEAUX

<b>CHAPITRE II : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES</b>	<b>31</b>
Tableau II.1- Caractéristiques physiques du sable utilisé.	<b>33</b>
Tableau II.2- Résultats de la masse volumique de gravier.	<b>37</b>
Tableau II.3 – Coefficient granulaire $G'$ en fonction de la qualité de la taille maximale des granulats $D_{max}$	<b>39</b>
Tableau II.4 correction sur le dosage de pate en fonction de $D_{max}$ :	<b>40</b>
Tableau II.5- les valeurs $K$ , fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.	<b>41</b>
Tableau II.6: le dosage en ciment les valeurs de l'ordonnée $Y$ .	<b>42</b>
Tableau II.7 – Formulation de beton	<b>43</b>
<b>CHAPITRE III: RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS</b>	<b>52</b>
Tableau III.1. Evolution de l'affaissement des bétons étudiés.	<b>52</b>

# Introduction Général

## Problématique :

La protection de l'environnement est un élément fondamental, qui est directement liée à la survie de l'être humain, la faune et la flore. Paramètres comme l'environnement, la protection de la nature, le développement durable jouent un rôle important dans la satisfaction des exigences modernes pour les travaux de construction.



Figure 1- Protection de l'environnement.

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés aujourd'hui. Le béton est constitué d'au moins 75% en volume de matériaux d'agrégats qui peuvent être disponibles localement, mais dans certains endroits, il peut être économique de remplacer ces granulats naturels par des matériaux moins chers et disponibles.



Figure 2 – ouvrage d’art.

Plusieurs études approfondies ont traité du sujet des approvisionnements et des besoins en granulats et de l'utilisation possible de déchets comme granulats pour le béton. Des tentatives ont donc été faites pour remplacer les granulats naturels du béton conventionnel par des matériaux disponibles localement tels que les ordures ménagères frittées [1], la coque de palmiste [2], le laitier de haut fourneau [3] et le béton le plus largement recyclé (Figures 1-5) [4- 10].



Figure 3 - déchet de construction



Figure 4- Déchet de plastique

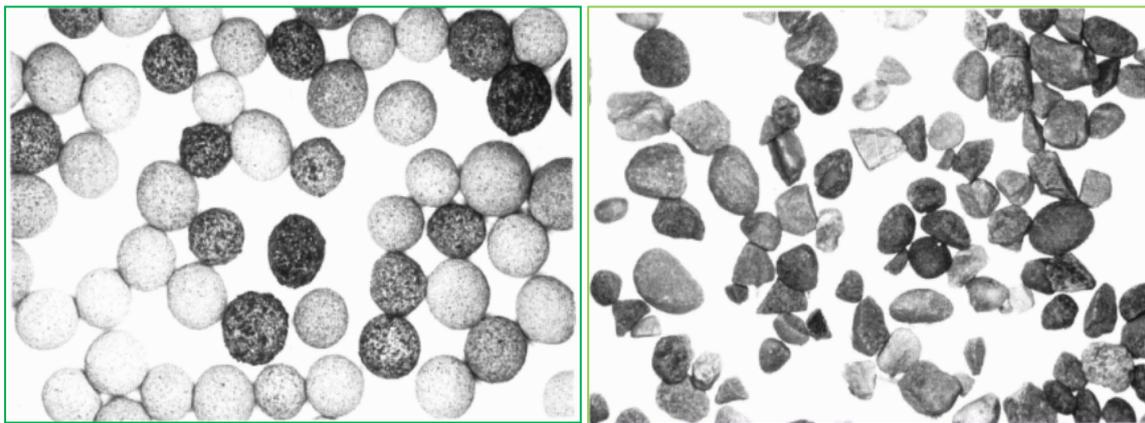


Figure 5- déchets ménagers frittés sous forme d'agrégat grossier.

Néanmoins, la pénurie critique d'agrégats naturels pour la production de béton se développe encore dans de nombreuses régions et le besoin de meilleures méthodes d'élimination des déchets solides et probablement de conservation de l'énergie ont contribué à l'intérêt accru pour cette technologie.

Dans la plupart des pays du tiers monde où en voie de développement technologique, certaines régions, en particulier les grandes zones urbaines, ont déjà

du mal à obtenir des approvisionnements globaux adéquats à un coût raisonnable. Dans le même temps, des quantités croissantes de matériaux de revêtement bitumineux démolis provenant des projets de reconstruction de routes sont générées comme déchets à proximité de ces zones. Ces matériaux de revêtement bitumineux usagés sont généralement repoussés comme matériau de base pendant le processus de reconstruction ou utilisés comme matériau de remblai, ce qui ne représente pas l'utilisation la plus appropriée pour le revêtement d'asphalte recyclé sous forme d'agrégat. L'un des moyens possibles d'améliorer l'utilisation abondante d'asphalte agrégat serait d'incorporer le matériau dans du ciment Portland. Cependant, peu a été fait [11, 12] pour explorer le potentiel de l'incorporation de béton.



Figure 6 - Asphalte agrégat.

**Objectifs de l'étude :**

Ce travail est une discussion des résultats des tests effectués pour évaluer la performance d'asphalte agrégat en tant que granulats grossiers dans le béton. La performance dans le béton d'asphalte agrégat a été comparée à celle du granulats de gravier naturel concassé.

**Contexte :**

La première présente revue générale sur le béton est constituante du béton et propriétés principales du béton avec un ensemble de généralités sur les granulats utilisés dans le béton: un rappel sur les différents types de granulats, un aperçu général sur les méthodes et les moyens nécessaires à l'élaboration des granulats recyclés et enfin l'ensemble des caractéristiques des granulats.

Le deuxième chapitre Matériaux, matériels et essais : donne une idée sur les essais utilisés pour la caractérisation physiques, chimiques et mécaniques des matériaux, ainsi que sur les matériels utilisés pour ces essais.

Le troisième chapitre Résultats et discussion : Présente les résultats expérimentaux obtenus et les interprétations faites.

Une conclusion générale : on va présenter les principales conclusions tirées à partir des résultats obtenus lors de cette étude ainsi que les futurs travaux suggérés en forme de perspectives.

## REFERENCES :

- [1] Wainwright P.J., Boni S.K., *Some properties of concrete containing sintered domestic refuse as a coarse aggregate*, Magazine of Concrete Research, 1983, 35(123), p. 75-85.
- [2] Okafor F.O., *Palm Kernel Shell as a Lightweight Aggregate for Concrete*, Cement and Concrete Research, 1988, 18(6), p. 901-910.
- [3] Mayfield B., Leuli N., *Properties of Palletized Blast Furnace Slag Concrete*, Concrete Research, 1990, 42(15), p. 29-36.
- [4] Ravindrarajah R., Loo Y.H., Tam C.T., *Recycled Concrete as Fine and Coarse Aggregate in Concrete*, Concrete Research, 1987, 39(141), p. 214-220.
- [5] Ryu J.S., *An Experimental Study on the Effect of Recycled Aggregate on Concrete Properties*, Magazine of Concrete Research, 2002, 54(1), p. 7-12.
- [6] Evangelista L., de Brito J., *Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates*, Cement and Concrete Composites, 2007, 29(5), p. 397-401.
- [7] Tam V.W.Y.; Wang K., Tam C.M., *Ways to Facilitate the use of Recycled Aggregate Concrete*, Proceedings of the ICE – Waste and Resource Management, 2007, 160(3), p. 125-129.
- [8] Kou S.C., Poon C.S., *Mechanical Properties of 5-years-old Concrete prepared with Recycled Aggregate Obtained from Three Different Sources*, Magazine of Concrete Research, 2008, 60(1), p. 57-64.
- [9] Ann K.Y.; Moon H.Y.; Kim Y.B., Ryou J., *Durability of Recycled Aggregate Concrete using Pozzolanic Materials*, Waste Management, 2008, 28(6), p. 993-999.
- [10] Kou S.C., Poon C. S., *Properties of Self-compacting Concrete Prepared with Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregate*, Cement and Concrete Composites, 2009, 31(9), p. 622-627.
- [11] Li G., Zhao Y., Pang S.S., Huang W., *Experimental Study of Cement-asphalt Emulsion Composite*, Cement and Concrete Research, 1998, 28(5), p. 635-641.
- [12] Huang B., Shu X., Li G., *Laboratory investigation of Portland Cement Concrete Containing Recycled Asphalt Pavements*, Cement and Concrete Research, 2005, 35(10), p. 2008-2013.

## CHAPITRE I :

## ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### I.1. Introduction :

L'épuisement de sources naturelles disponibles des granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent le recyclage des déchets de chantier. Les granulats issus de recyclage des produits de démolition s'inscrivent dans le cadre des matériaux locaux de substitution, ils sont utilisés actuellement dans la plupart des pays Européens dans le domaine routier, et leur valorisation dans le béton hydraulique est freinée par le fait qu'ils sont considérés comme granulats hors normes. Leur hétérogénéité et leur fort pouvoir d'absorption d'eau menant à des difficultés de control des propriétés du béton frais et par conséquent, influençant la résistance et on les suspecte ainsi d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons.

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

## I.2. Le béton :

On sait que le béton est le matériau obtenu en solidarissant par une pate de ciment, un squelette granulaire composé d'sable et gravier. Comme le liant a des propriétés hydrauliques, ce béton est aussi appelé béton hydrauliques.



Figure I.1- le béton.

### I.2.1. Classe de béton :

La grande diversité des bétons a conduit à définir et préciser des critères de bases pour leur classification et leur désignation. Les critères fondamentaux adoptés sont au nombre de cinq :

- La résistance à la compression
- La consistance :
- La dimension des granulats
- Le dosage minimal de ciment en Kg par m<sup>3</sup> de béton.
- La désignation du ciment d'après les indications normalisées (par exemple CPJ 42.5)

## **I.2.2. Composition du béton :**

L'étude d'une composition de béton consiste toujours à rechercher conjointement deux qualités essentielles qui sont : la résistance et l'ouvrabilité.

Ces deux qualités sont étroitement liées, l'une à l'autre quant aux facteurs dont elles dépendent, mais elles varient en sens inverse. On recommande un dosage minimal de (300 kg/m<sup>3</sup>) et un rapport (E/C) maximal de 0.65.

La recommandation CEB-FIR ainsi que le règlement BAEL.83. N'inscrivent pas, des dosages pour les différentes caractéristiques qui doivent être respectés. Le dosage des différents constituants du béton dépend du type de matériau recherché, détermine par ses utilisations. En effet, ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques dépendent de sa composition et de facteurs extérieurs.

## **I.2.3. Constituants du béton :**

### **I.2.3.1. Le ciment :**

Le ciment usuels sont aussi appelés liant hydraulique, car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pate liante, qui a une consistance de départ plus au moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450 °C), et le broyage d'un mélange minéral (calcaire+ argile) en général.

Les quatre principaux constituants du ciment sont :

Le silicate tricalcique :

Le silicate bi calcique :

L'aluminate tricalcique :

L'alumina-ferrite tétra calcique :

### I.2.3.2.Types de ciment :

L'industrie de ciment est tenue par des exigences qu'elle doit respectées, certaines sont montrées comme suivant :

#### a) Ciment portland artificiel (CEM I) :

C'est le produit résultant de la mouture de clinker, obtenu par la cuisson dans des conditions de durée et de températures suffisantes d'un mélange soigneusement homogénéise et dosé, dans les principaux constituant sont : la silice, l'alumine, l'oxyde de fer et la chaux.



Figure I.2. Sac de ciment CEM I

#### b) Ciment portland composé (CEM II) :

Le ciment portland composé contient au moins 65 % de clinker, 5 % de constituant secondaires, et des ajouts avec 30 % on a, par convention : (clinker) + (autres constituants) + (constituants secondaires) =100 le ciment est le résultat du broyage d'un certain nombre de constituants qui peuvent se répartir en différentes.



Figure I.3- Sac de ciment CEM II

**c) Ciment de Haut Fourneau CEM III:**

Un mélange de clinker avec laitier granulé d'HF teneur minimale 36% .



Figure I.4- Sac de ciment CEM III.

**d) Ciment pouzzolaniques CEM IV:**

Constitué d'un mélange de clinker, de pouzzolane et de cendre doit en plus satisfaire à l'essai de pouzzolanité» .



Figure I.5- Sac de ciment CEM IV.

**e) Ciment composé CEM V:**

Constitué d'un mélange de clinker, de laitier granulé et d'autres constituants secondaires.

**I.2.3.2. Sable:**

Le sable est une masse meuble de matières minérales inorganisées, finement granuleuses (0.08 à 5mm), habituellement composées de quartz (silice), et d'une petite proportion de mica, de feldspath, de magnétite et autre minéraux durs. C'est le résultat de l'érosion, dégradation et abrasion, des roches par des processus chimiques et mécaniques. Quand les grains viennent de se former, ils sont habituellement anguleux et très pointus. Par la suite sous l'action du vent et de l'eau, ils s'usent, s'arrondissent et deviennent de plus en plus petits. Le sable est un élément très important dans la constitution des bétons et c'est généralement par la médiocre qualité du sable que périssent les bétons.



Figure I.6- Sable d'oued – Sable concassé.

**a) Classification de sable:**

**a.1) Suivant leurs grosseurs: en trois types:**

- Sable fin → 0.08 à 0.315 mm.
- Sable moyen → 0.315 à 2.00 mm.
- Sable gros → 2.00 à 5.00 mm.

**a.2) Suivant leur provenance:**

- Sable de rivière : absence de grains fins.
- Sable dunes : uniformité et prédominance de grains fins.
- Sable de plaines ou d'alluvions : absence de gros grains.
- Sable résidus de concassage : prédominance de gros grains et présence de farines ou fines ou fillers.
- Sable de mer.

**I-2-2-Gravier:**

**I-2-2-1-Définition:**

On appelle gravier l'accumulation des grains de 5 à 70 mm provenant de la distraction naturelle des roches. Tandis que la pierre concasser par broyage des roches massives, de gravier pierre artificielle, en morceaux dont les dimensions varient de 5 à 70 mm.



Figure I.7- Gravier

**I-2-2-2-Granularité de gravier:**

La granularité conditionne la porosité de mélange, si tous les grains, ont des même grosseurs, ont aurais une porosité maximale, donc pour avoir un mélange de volume des vides minimum il faut une composition granulométrique des grains de différentes dimensions doit se situer dans les limites appelées (fuseaux de spécifications).

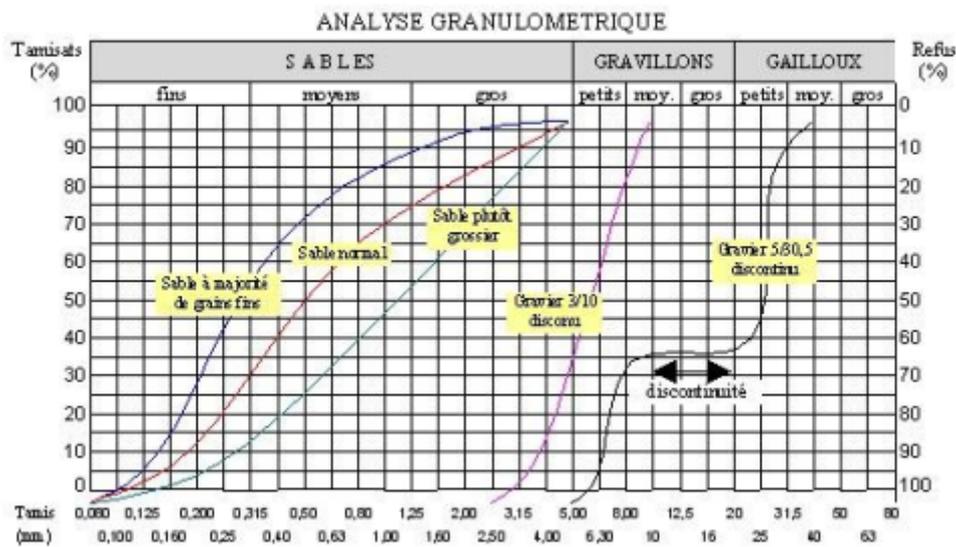


Figure I.8– Courbe granulométrique.

**I-2-2-3-Nature de gravier :**

Le gravier provient de roches naturelles ou artificielles, constituées de minéraux chaque roche à sa propre composition chimique minéralogique. Sa résistance, son adhérence avec les ciments.



Figure I.9- Granulats naturelle.

L'adhérence entre le gravier et la pâte de ciment influe sur la résistance de béton, l'état de la surface lisse. Les grains de gravier concassé (naturel et artificiel) ont des surface rugueuses, donc ces derniers s'adhèrent mieux que le gravier naturel au ciment durci dans le béton, en revanche le mélange du béton à base de gravier concassé naturels et artificiels et moins fluide en raison de l'angularité de ces derniers.

#### **I-2-2-5-Absorption d'eau:**

Les graviers en générale est plus au moins poreux, les graviers absorbent de l'eau de pluie est devient humide, il faut donc prendre en compte cette humidité lors de la détermination de la composition de béton. Si non on a une quantité d'eau de gâchage supplémentaire qui entraînent une diminution de la résistance du béton.

#### **I.2.2.2.6. 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 [01]:

- La nature minéralogique
- La forme des grains
- La dureté
- La propreté
- La granulométrie.
- Le pourcentage d'humidité

#### **I-2-4-Eau de gâchage:**

L'eau de gâchage et la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton. Cette eau a un grand rôle; elle est soumise à certaines exigences est à même fait l'objet d'une norme (NF18-303).

On conçoit donc, en premier lieu, que les impuretés nocives interdites pour les granulats ne doivent pas être apportées par l'eau de gâchage.

#### **I.3. Granulats recyclés :**

Ces granulats sont produits suite au recyclage des gravats, des matériaux de démolition de constructions et de revêtements de chaussées (bétons, briques, asphaltes). Les concassés qui résultent de ce traitement, ont différentes applications en construction routière, bétons maigres et sables stabilisés [02]. Les débris des usines de fabrication des matériaux comme les briqueteries « brique concassée » [03]. Qui seront utilisés comme sable de brique dans la matrice cimentaire (béton ou mortier) [04].

#### I.4. Critère de choix des granulats :

Pour faire un choix judicieux des granulats, l'utilisateur doit prendre en compte principalement trois grands critères [05] :

Critère 1: Adéquation granulats /Béton (Figure I.10).

Critère 2: Aptitude à l'emploi selon la roche d'origine Figure I.11.

Critère 3: Selon l'emploi du Béton Figure I.12.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Influence sur le béton</b>
<b>Nature minéralogique</b>	<i>La plupart des granulats conviennent pour le béton ; Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux..</i>
<b>Présence de matières organiques</b>	<i>Influence défavorable sur la prise et le durcissement ; Chutes des résistances.</i>
<b>Teneur élevée en sulfates, sulfures, chlorures</b>	<i>Réaction avec le ciment, fissuration, corrosion des armatures.</i>
<b>Propreté des granulats</b>	<i>Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats/pâte.</i>
<b>Forme des grains</b>	<i>Peu important généralement ; certains sables concassés peuvent parfois être défavorables à la mise en œuvre du béton et à sa compacité finale.</i>
<b>Granulométrie</b>	<i>Importante pour la composition du béton.</i>

Figure I.10- Adéquation granulats /Béton .

<i>Roche d'origine</i>	<i>Dilatation Mico/m/°C)</i>	<i>Propriétés</i>	<i>Possibilité d'emploi pour le béton</i>
<b>Eruptives</b>			
<i>Granités</i>	8 à 12	<i>Dures et compactes bonnes résistances au gel</i>	<i>Oui pour la plupart</i>
<i>Diorites</i>			
<i>Porphyres</i>			
<i>Basaltes</i>			
<b>Métamorphiques</b>			
<i>Quartzites</i>	10	<i>Dures et compactes inattaquables chimiquement</i>	<i>Granulats de qualité utilisés pour les parements</i>
<i>Marbres</i>	10 à 12		
<i>Schistes</i>			
<i>Gneiss</i>			
<b>Sédimentaires</b>			
<i>Calcaires</i>	6 à 8	<i>Bonne adhérence au mortier</i>	<i>oui</i>
<i>Dolomies</i>			<i>Essais préalables</i>

Figure I.11- Aptitude à l'emploi selon la roche d'origine.

<i>Emploi</i>	<i>Densité</i>	<i>Granulats</i>
<i>Bétons classiques pour le chantier ou la préfabrication</i>	2,2 à 2,4	<i>Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico- calcaires.</i>
<i>Bétons apparents architectoniques</i>		<i>Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico- calcaires + porphyres, basaltes, granités, diorites.</i>
<i>Bétons légers</i>	<i>De structure</i> 1,5 à 1,8	<i>Argile ou schiste expansé, laitier expansé.</i>
	<i>Semi isolants</i> <i>Semi porteurs</i> 1 à 1,5	<i>Argile expansée, pouzzolane, ponce.</i>
	<i>Isolants</i> 0,3 à 0,8	<i>Vermiculite, liège, bois, polystère expansé, verre expansé.</i>
<i>Bétons lourds</i>	3 à 5	<i>Corindon, barytine, magnétite</i>
<i>Bétons réfractaires</i>	2,2 à 2,5	<i>Corindon, déchets de produits réfractaires, briques silico-alumineux, laitiers, granulats spéciaux.</i>
<i>Bétons ou chapes pour dallages industrielles</i>	2,4 à 3	<i>Corindon, carborundum, granulats métalliques.</i>

Figure I.12- l'emploi du Béton

### **I.5. Déchets de démolition de construction :**

Le recyclage devient une opération très importante avec un intérêt économique en premier ordre, à cause de la grande dynamique que les domaines de génie civil et travaux publics connaissent de nos jours.

### **I.6. Classification des déchets**

Les granulats recyclés proviennent des déchets de démolition de bâtiments ou de routes. Ces déchets de chantier sont constitués de résidus des procédés de production et de transformation (déchets chimiques, emballages, bois traités ou non traités...etc.).

Ces déchets de démolition font partie des déchets industriels dans la classification usuelle (à distinguer des déchets urbains et des déchets agroalimentaires) [6]. Il est nécessaire de distinguer les différentes catégories des déchets industriels. Quatre grandes catégories permettent de classer ces déchets industriels.

#### **I.6.1. Les déchets inertes (DI)**

Un déchet inerte comme un déchet ne pouvant subir aucune modification physique, chimique ou biologique. Les déchets inertes ne se décomposent pas ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ces déchets n'entraînent pas de pollution de l'environnement et ne peuvent nuire à la santé humaine (béton, briques, pierre, tuiles, céramiques, .... Etc.)

#### **I.6.2. Les déchets industriels banals (DIB)**

Un déchet est dit banal s'il est traité par les mêmes procédures que celles employées pour les déchets ménagers. Ces déchets ne sont ni inertes, ni toxiques. Cette appellation est en cours de modification Déchets Non Dangereux (DND) par exemple les plastiques, métaux, verre, bois non traités [6].

### I.6.3. Les déchets industriels spéciaux (DIS) ou déchets dangereux (DD)

Ce type de déchet est traité par des procédés qui diffèrent de ceux employés pour les ordures ménagères. Ils contiennent des substances dangereuses pour l'homme et pour l'environnement. Leur stockage et leur traitement sont soumis à des règles strictes par exemple l'amiante, solvants, peintures, huiles, colles, goudron, bois traités ou emballages souillés [6].

### I.6.4. Les déchets d'emballages

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons....etc. [6].

### I.6.5. Déchets de démolition des constructions

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets [7], cités cidessous : Béton (40 %), Brique (30 %), Plastique (5 %), Bois (10 %), Métaux (5 %), Autres éléments (10 %).

Le traitement de ces déchets permet d'extraire les éléments non appopriés (comme les métaux) dans la fabrication de granulats recyclés pour usage routier. On distingue trois types de matériaux issus du recyclage :

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

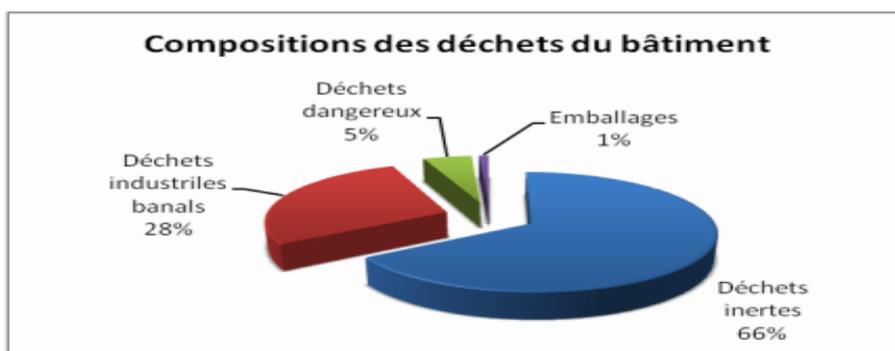


Figure I.13 - Compositions des déchets du bâtiment [7]

## I.7. Le recyclage des déchets :

Chaque année les activités du Bâtiment et des Travaux Publics produisent plus de 100 millions de tonnes de matériaux de démolition et de déblais, qui dans le cas général sont des déchets inertes. Leur réutilisation dans un contexte d'économie de la ressource naturelle a vite été considérée comme une priorité pour les acteurs des Travaux Publics : maîtrises d'ouvrage, maîtrises d'œuvre, entreprises de BTP, carrières....etc.

L'utilisation de tels matériaux dits recyclés offre plusieurs avantages :

- Économie des ressources naturelles de granulats.
- Réduction des volumes de stockage des déchets inertes.
- Économie de transports.



Figure I.14- le recyclage des déchets d'activités économiques

### **I.8. Bétons de recyclage :**

Au cours des deux dernières décennies, le taux de génération de débris de construction et de démolition en Algérie a connu une augmentation très appréciable suite aux déchets générés par les entreprises de bâtiments et travaux publics ainsi qu'au vieillissement des constructions et en grande partie à certains facteurs accidentels comme les séismes (Boumerdes en 2003, Béjaia en 2012, Ain Témouchent 2005, et d'autres tremblements de terre de moindre intensité) qui ont engendré une quantité non négligeable de déchets; atteignant des millions de tonnes de matériaux en débris (bâtiments démolis, ouvrages d'art sinistrés), mais la quantification de ces déchets reste inconnue.

Les matériaux de démolition sont rarement recyclés en Algérie comme agrégats pour être utilisés dans la confection des bétons de ciment ou bétons de routes et ce malgré le déficit entre l'offre et la demande en granulats qui dépassera le pourcentage de 20 % de la production actuelle du pays. Il sera utile de signaler que la demande de ces matériaux est croissante pour le secteur des constructions et des travaux publics qui connaissent des projets de taille comme l'autoroute Est-Ouest ainsi que les projets d'habitat avec 2 millions de logements en cours de réalisation. Face à ce besoin et vu le manque de moyens de production de quantités suffisantes notamment d'agrégats conventionnels. Les chercheurs et spécialistes du domaine attirent l'attention des pouvoirs publics pour une meilleure valorisation de ces déchets afin de trouver une alternative par le recyclage des débris de démolition des constructions pour satisfaire les besoins du secteur et répondre à la demande par un produit récupéré de granulats recyclés afin d'être utilisés dans la formulation des bétons courants, les travaux d'infrastructure de base et aménagement urbain

### I.9. Avantage d'utilisation agrégats de fraisât:



Figure I.15- fraisât.

L'utilisation du RAP à la place des agrégats conventionnels pour la préparation des mélanges de béton présente de nombreux avantages tels que :

a) Diminution du pourcentage de demande de granulats naturels, le RAP peut être utilisé pour remplaçant à la fois les fractions des agrégats conventionnels, c'est-à-dire les agrégats grossiers et fins. Des études montrent que 50 % des granulats conventionnels pourraient être remplacés par du RAP sans trop affecter les propriétés du béton.

b) Réduction du pourcentage d'émission de gaz à effet de serre: L'extraction et l'extraction de granulats naturels ont été estimées produire environ 1 % du total des gaz à effet de serre. Ainsi, le remplacement partiel de ces agrégats par du RAP pourrait par la suite diminuer le pourcentage d'émission de gaz à effet de serre.

c) Production de béton durable: La durabilité signifie utiliser les matériaux naturels sans affecter la demande de production future et donc, l'utilisation de RAP à la place de les agrégats naturels entraînent la conservation des agrégats pour les demandes futures.

Économies sur les coûts de transport le plus grand avantage de l'utilisation du RAP est qu'il facilite l'utilisation sur place, c'est-à-dire une réduction considérable des coûts liés au transport, en particulier si le site est situé loin du marché/de l'usine de carrière.

e) Économie de terres précieuses: concernés : d'une part, la réduction de la charge des agences d'immersion de rechercher des terres supplémentaires pour l'immersion de RAP, en particulier dans les pays surpeuplés ; et la préservation de la ferme agricole en bordure de route pour la culture puisque le RAP est principalement stocké à côté de la source et pourrait nuire à la pureté organique de celle-ci.

F) Construction économique: Étant donné que l'utilisation de RAP réduit la demande de granulats conventionnels et aussi, le coût de transport est réduit dans une plus grande mesure, le coût total du projet de production de 1 m<sup>3</sup> de béton pourrait être réduit d'environ 45 %.

g) Autres avantages : Il a été rapporté que l'inclusion de RAP pour les chaussées en béton améliore certaines des propriétés telles qu'une maniabilité améliorée une ténacité accrue et l'amélioration de la résistance au gel et au dégel etc. De même, l'utilisation de PA en stock améliorerait l'esthétique des autoroutes du fait de la réduction des tas de PA conservés en bordure de route. La réduction du nombre de camions transportant des granulats naturels augmenterait certainement (dans une certaine mesure) la régularité des véhicules en mouvement sur les autoroutes.

**Malgré les avantages mentionnés ci-dessus du RAP pour les mélanges de béton, son utilisation est très limitée pour les raisons suivantes :**

- a) Absence de dispositions et de directives codales.
- b) Manque de sensibilisation.
- c) Hésitation des entrepreneurs sur la qualité finale et la durabilité des mélanges de béton.

Hésitation des clients par manque d'études et de recommandations.

Manque d'études de recherche, bien qu'au cours des 2 à 3 dernières années, il y ait eu une énorme augmentation du nombre d'études sur les mélanges de béton inclus dans le PAR, etc.

La présente étude est un effort pour rassembler les observations et les résultats de diverses études relatives à la caractérisation des granulats de RAP et de son effet sur les propriétés de fraîcheur, mécaniques et de durabilité des mélanges de béton de ciment. Il est prévu que le résumé efficace des études aiderait les chercheurs et les universitaires à progresser davantage dans le domaine du RAP pour les mélanges de béton durables et aiderait également les agences à définir les lignes directrices sur l'utilisation du RAP pour les mélanges de béton de ciment.

#### **I.10. Développement en mélanges bitumineux :**

Les dégradations de la chaussée telles que l'orniérage, l'effilochage, la fissuration thermique, la fissuration longitudinale et la rugosité sont généralement associées aux chaussées souples [08] en raison desquelles les sections de chaussée ne atteignent sa durée de vie nominale et la remise en état devient donc nécessaire [09]. Les granulats récupérés peuvent encore avoir une valeur élevée malgré l'achèvement de la durée de vie de la chaussée,

Ces agrégats récupérés sont généralement connus sous le nom d'agrégats Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) [10]. La réutilisation du RAP dans les mélanges bitumineux réduit les besoins en gravier et en liant bitumineux [11]. Des économies d'environ 50 à 70 % sur les coûts ont été signalées pour les mélanges RAP par rapport aux

mélanges conventionnels [12, 13]. Cependant, il existe peu d'obstacles à la réalisation de l'objectif de durabilité complète en utilisant le RAP en remplacement des agrégats conventionnels. Le revêtement d'asphalte autour du RAP a été reconnu comme le principal obstacle à son utilisation complète. L'asphalte est un mélange d'hydrocarbures et lorsqu'il est exposé à l'environnement ouvert, les volatiles ont tendance à s'oxyder, rendant la même nature plus rigide et cassante [14]. Un phénomène similaire a été rapporté pour les agrégats RAP. Il a été rapporté que le film d'asphalte autour du RAP était de nature très rigide en raison de l'exposition au trafic et à l'environnement pendant sa durée de vie [15]. De plus, la durée de stockage conduit également au vieillissement du liant qui à son tour rend le film d'asphalte fragile par nature [16]. La viscosité élevée du film d'asphalte vieilli en raison d'une oxydation importante pendant la durée de vie réduit l'affinité de celui-ci pour le liant vierge [17]. Ceci, à son tour, réduit les performances de durabilité des nouveaux mélanges bitumineux [18]. Cependant, une amélioration significative de la résistance à l'orniérage des mélanges a été observée [19]. En raison des performances inférieures des mélanges bitumineux inclus dans le RAP, plusieurs agences routières ont recommandé l'inclusion d'agrégats RAP en tant que pierre noire, c'est-à-dire ne réduirait que la demande globale [20]. De plus, les proportions maximales spécifiées pour le RAP à l'état tel que reçu n'étaient que de 15 %, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de liant supplémentaire [21]. Cependant, au cours des dernières décennies, plusieurs techniques ont vu le jour qui apportent diverses solutions pour augmenter la proportion de RAP pour les enrobés bitumineux. L'une des méthodes les plus suivies a été fournie par les directives MS-2 de l'Asphalt Institute [22]. Il précise que les granulats de RAP peuvent être utilisés à l'état de réception si leur proportion est inférieure à 15 %, alors qu'il recommande d'utiliser un liant plus tendre pour les mélanges contenant du RAP entre 16 % et 25 %. D'un autre côté, si la proportion souhaitée de RAP est supérieure à 25 %, le degré de rajeunissement doit être calculé sur la base des tableaux de mélange. Plusieurs chercheurs ont observé que le film d'asphalte vieilli autour du RAP pouvait être rajeuni en utilisant certains adjuvants

tels que l'huile paraffinique, l'huile organique, l'huile naphthalène, les huiles végétales usagées et les graisses, etc. [16]. Au cours de la dernière décennie, plusieurs nouvelles techniques ont été proposées qui se sont avérées augmenter considérablement l'adéquation du RAP pour les mélanges bitumineux. L'asphalte chaud, l'asphalte froid et l'asphalte mousse, etc. sont quelques-unes des nouvelles technologies qui sont utilisées dans le monde entier à la place de la technologie d'asphalte chaud pour la réutilisation de proportions plus élevées de RAP dans les couches liées des chaussées flexibles [23, 24, 25]. Bien que quelques chercheurs aient recommandé l'utilisation de RAP jusqu'à 50 % dans de telles technologies [25], quelques-uns ont démontré que les mélanges contenant du RAP dans des proportions plus élevées (plus de 50 %) se sont également avérés offrir des performances comparables à celles des enrobés bitumineux à chaud [73]. Cependant, dans les pays en développement et sous-développés, la technologie de mélange à chaud est toujours la technique la plus prioritaire et, par conséquent, le niveau d'incorporation de RAP est très inférieur. Même l'utilisation du RAP pour les couches inférieures des chaussées telles que les couches de fondation et de fondation n'est pas réalisée à plus grande échelle en raison du manque de directives et de spécifications.

### **I.11. Conclusion :**

À la fin de ce chapitre, on peut conclure que les composants du béton ont des types qui peuvent modifier positivement ou négativement les propriétés du béton.

Les granulats sont nécessaires pour la fabrication des bétons ; du point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est plus cher ; du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle et ils sont plus résistants que la pâte de ciment. Il faut par conséquent, augmenter au maximum la quantité de granulats, en respectant toutefois les deux conditions suivantes :

- Les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité ;
- La quantité de la pâte liante doit être suffisante pour lier tous les grains et remplir les vides.

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage.

## I.12. Référence :

- [01] L. Baali « Cours 2ème MDC Licence » 2015.
- [02] « Les granulats courants » Techniques de l'ingénieur, Date de publication : 01/12/2004
- [03] A. BARKAT « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton », Thèse de Magister, Université de Ouargla, Algérie, 05/11/2006.
- [04] S. W. Parr, T. R. Ernest «A Study of Sand-Lime Brick/ Une étude de briques silicocalcaires », Bulletin N°. 18 , Illinois 1912.
- [05] Cherait Yacine, Nafa Zahredinne « Les Granulats »- Eléments de matériaux de construction et essais, Office des publications universitaires, Imprimerie régionale de Constantine, 2007, ISBN9961-9548-7-4, pp : 1-56
- [06]. Grondin Aurélie, (2011), « valorisation des granulats recyclés de béton : Etude des caractéristiques physiques et mécaniques des Bétons de granulats recyclés de béton » Mémoire Projet de fin d'étude, 2011 à Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg : INSA Strasbourg.
- [07] Oikonomou N.D, (2005), «Recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Composites» 27 (2), pp. 315-318, 2005
- [08] Yinfei Du, Jiaqi Chen, Zheng Han, Weizheng Liu A review on solutions for improving rutting resistance of asphalt pavement and test methods. Constr. Build. Mater., 168 (2018), pp. 893-905.
- [09] Taher Baghaee Moghaddam, Hassan Baaj The use of rejuvenating agents in production of recycled hot mix asphalt: A systematic review. Constr. Build. Mater., 114 (2016), pp. 805-816
- [10] Angela Farina, Maria Chiara Zanetti, Ezio Santagata, Gian Andrea Blengini Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement Resour. Conserv. Recycl., 117 (2017), pp. 204-212
- [11]Lillian Gungat, Nur Izzi Md. Yusoff, Meor Othman Hamzah Effects of RH-WMA additive on rheological properties of high amount reclaimed asphalt binders Constr. Build. Mater., 114 (2016), pp. 665-672.
- [12] Dharamveer Singh, Shashibhushan Girimath Investigation of rheological properties and Superpave PG of PMB mixed with reclaimed asphalt pavement binders Constr. Build. Mater., 126 (2016), pp. 834-842.
- [13]M. Zaumanis, R.B. Mallick, R. Frank 100% Hot Mix Asphalt Recycling: Challenges and Benefits Transp. Res. Procedia, 14 (2016), pp. 3493-3502

- [14] Fan Yin, Edith Arámbula-Mercado, Amy Epps Martin, David Newcomb, Nam Tran Long-term ageing of asphalt mixtures *Road Materials and Pavement Design*, 18 (sup1) (2017), pp. 2-27.
- [15] Xiaokong Yu, Martins Zaumanis, Salomé dos Santos, Lily D. Poulikakos Rheological, microscopic, and chemical characterization of the rejuvenating effect on asphalt binders *Fuel*, 135 (2014), pp. 162-171.
- [16] Rodolfo Rascon De Lira, Douglas D. Cortes, Cesar Pasten Reclaimed asphalt binder aging and its implications in the management of RAP stockpiles *Constr. Build. Mater.*, 101 (2015), pp. 611-616.
- [17] Yongjie Ding, Baoshan Huang, Xiang Shu Characterizing blending efficiency of plant produced asphalt paving mixtures containing high RAP *Constr. Build. Mater.*, 126 (2016), pp. 172-178
- [18] J.S. Daniel, J.L. Pochily, D.M. Boisvert Can more reclaimed asphalt pavement be added? Study of extracted binder properties from plant-produced mixtures with up to 25% reclaimed asphalt pavement *Transp. Res. Rec.*, 2180 (2010), pp. 19-29
- [19] Robert Karlsson, Ulf Isacson Material-Related Aspects of Asphalt Recycling—State-of-the-Art *J. Mater. Civ. Eng.*, 18 (1) (2006), pp. 81-92
- [20] Hugo M.R.D. Silva, Joel R.M. Oliveira, Carlos M.G. Jesus Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving? *Resour. Conserv. Recycl.*, 60 (2012), pp. 38-48
- [21] Jinhai Yan, Haoran Zhu, Zhixiang Zhang, Lei Gao, Stephane Charmot The theoretical analysis of the RAP aged asphalt influence on the performance of asphalt emulsion cold recycled mixes *Constr. Build. Mater.*, 71 (2014), pp. 444-450
- [22] A. Institute, “Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot-Mix Types,” *Man. Ser.*, vol. 2, 1988.
- [23] Ayman W. Ali, Yusuf A. Mehta, Aaron Nolan, Caitlin Purdy, Thomas Bennert Investigation of the impacts of aging and RAP percentages on effectiveness of asphalt binder rejuvenators *Constr. Build. Mater.*, 110 (2016), pp. 211-217
- [24] Munir D. Nazzal, Walaa Mogawer, Alexander Austerman, Lana Abu Qtaish, Savas Kaya Multi-scale evaluation of the effect of rejuvenators on the performance of high RAP content mixtures *Constr. Build. Mater.*, 101 (2015), pp. 50-56
- [25] Liliana P.F. Abreu, Joel R.M. Oliveira, Hugo M.R.D. Silva, Daniela Palha, Paulo V. Fonseca Suitability of different foamed bitumens for warm mix asphalts with increasing recycling rates *Constr. Build. Mater.*, 142 (2017), pp. 342-353.

## CHAPITRE 2 : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

### II.1. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux de notre étude et les techniques expérimentales utilisées. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des bétons. Ensuite, nous décrivons la méthode de formulation et nous présentons les différents essais réalisés au cours notre étude.

### II.2. Matériaux utilisés :

Les caractéristiques physico-chimiques des matériaux premières utilisées pour la confection des bétons sont présentées ci-après.

#### II.2.1. Ciment :

Le ciment employé dans cette étude est un CEM I/A 42.5 N qui provient de la cimenterie de LAFARGE (**Mokaouem**), il répond à la norme Algérienne NA 442 (NA 442, 2013) et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en  $C_3A < 3\%$ . (cf. [fiche technique Annexe A](#)).



Figure II.1 - Sac de ciment CEM I / A 42,5.

### II.2.2. Sable :

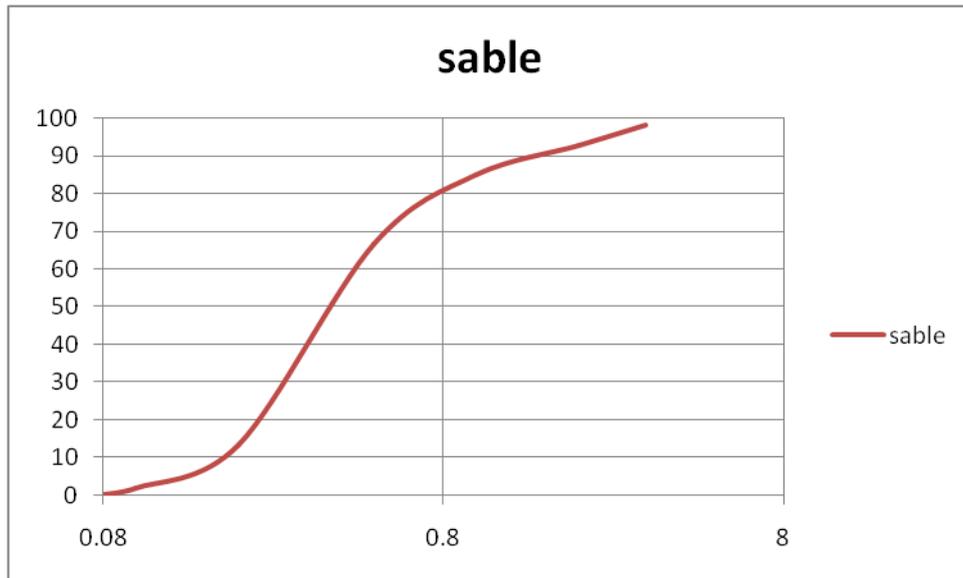
La majorité des ouvrages de la région Sud (Ghardaïa, Laghouat et Ouargla) utilisent du sable alluvionnaire (sable siliceux naturel) qui est extrait de la rivière M'zi (rivière traversant la ville de Laghouat). Ce sable contient une grande quantité de silice  $\text{SiO}_2$  (Quartz).



Figure II.2 – Sable de oued M'ZI.

#### II.2.2.1. Analyse granulométrique [NF EN 933-1]

L'analyse granulométrique du sable alluvionnaire a été effectuée selon la norme **NF P18-560** (cf. Figure II.3). D'après cette analyse, on constate que la granulométrie est étalée. La quantité des fines ( $< 0,080$  mm) dans ce sable est de 1,5%. L'analyse granulométrique de ce sable est présentée dans la (Figures II.3), il se situe dans le fuseau recommandé pour les sables de construction.



**Figure II.3 :** Courbe granulométrique du sable.

Le tableau II.1 présente également ses caractéristiques physiques.

**Tableau II.1.** Caractéristiques physiques du sable utilisé.

Caractéristique	Normes utilisés	SA
Densité absolue (g/cm <sup>3</sup> )	NF EN 1097-7	2.64
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	NF EN 1097-6	1.52
Module de finesse	NF P 18-540	2.4
Equivalent de sable (%)	NF EN 933-8	78
Coefficient d'absorption (%)	NF P 18-555	0.72

### II.2.3. Gravier :

Le gravier utilisé de classes, 3/8 ,8/15, a été ramené du la station de concassage à Berriane nord de la ville Ghardaia La qualité de gravier utilisé est de nature calcaire.

#### II.2.3.1. Analyse granulométrique : [NF EN 933-1] :

Analyse granulométrique correspondant à un gravier : Faire l'analyse granulométrique du gravier en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du sable. Mais différentes séries des tamis.

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés dans les figures suivant:

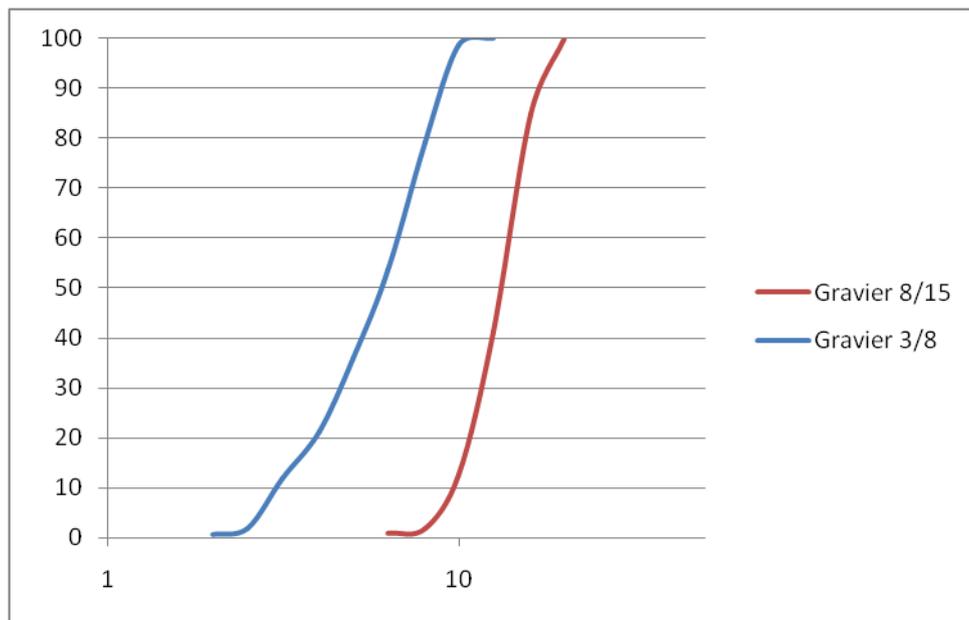


Figure II.4 : Courbe granulométrique des deux graviers

Le tableau II.2 présente également ses caractéristiques physiques des deux graviers.

**II.2.3.2. Masse volumique absolue : [NF EN 1097-7]**

La masse volumique apparente est comprise entre 1300 kg/m<sup>3</sup> et 1600 kg/m<sup>3</sup> et la masse volumique absolue est nettement plus élevée et est comprise entre 2500 kg/m<sup>3</sup> et 2700 kg/m<sup>3</sup>.

**II.2.3.3. L'absorption d'eau [NF EN 1097-6] :**

Pour déterminer le coefficient d'absorption de un matériau à partir de différentes pesées suivant. On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \cdot 100$$

**II.2.3.4. Propreté superficielle : [NF P 18-591]**

Pour savoir la propreté des granulats on utilise l'essai de propreté superficielle suivant, qui consiste à mesurer le pourcentage d'éléments fins subsistant après lavage.

$$P(\%) = \left[ \frac{(P1 - P2)}{P2 \times 100} \right]$$

**P1** : poids humide échantillon (g).

**P2** : poids sec échantillon (g).

**II.2.3.5. Aplatissement [NF EN 12350-2] :**

La détermination du coefficient d'aplatissement d'un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises entre 4 et 40 mm, Le présent coefficient s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle suivant.

Le coefficient d'aplatissement des graviers réponde aux spécifications de la norme spécifiait que la valeur du coefficient d'aplatissement doit être  $A \leq 35 \%$

$$A = \left( \frac{\Sigma Me}{\Sigma Mg} \right) \cdot 100$$

**Mg** : masse échantillon de granulats (g).

**Me** : masse échantillon des grilles (g)

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau :

#### II.2.3.6. Los Angeles [NF EN 1097-2] :

C'est un essai qui estime la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottement réciproques. Cette résistance est mesurée par le coefficient Los Angeles LA, rapport de la masse des fragments passant au tamis de 1,6 mm mesuré en fin d'essai à la masse de l'échantillon, cette essai a été réalisé par l'appareil de los Angeles.

$$LA (\%) = \left( \frac{\text{passant au tamis de 1,6mm}}{\text{la masse de l'échantillon}} \right)$$

#### II.2.3.7. Micro-Deval [NF EN 1097-1] :

L'essai Micro-Deval a pour but la détermination la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat. La norme NF EN 1097-1 permet de déterminer le coefficient de micro-Deval. Les résultats des essais sont résumés dans le tableau III.2.

Tableau II.2. Résultats de la masse volumique de gravier.

		3/8	8/15
Masses volumiques absolues		2.64	2.55
L'absorption d'eau	NF-P 18-555	6	4
Propreté superficielle	NF-P 18-591	2.75	0.88
Aplatissement :	NF-P 18-561	25.22	21.28
Los Angeles	NF EN 1097-2	44.8	43.25
Micro-Deval	NF EN 1097-2	15.82	29.29

#### II.2.4. Gravier recyclé :

Le matériau de revêtement d'asphalte recyclé a été offert par LTPS. La taille maximale des agrégats recyclés utilisé était également de 15 mm, a été substitué dans le mélange de béton à la place des granulats naturels entiers à des pourcentages en poids de 25%, 50%, 75%, 100%. On signal que le gravier a été bien nettoyer dans l'eau. Il n'y avait aucun adjuvant utilisé dans ces mélanges.

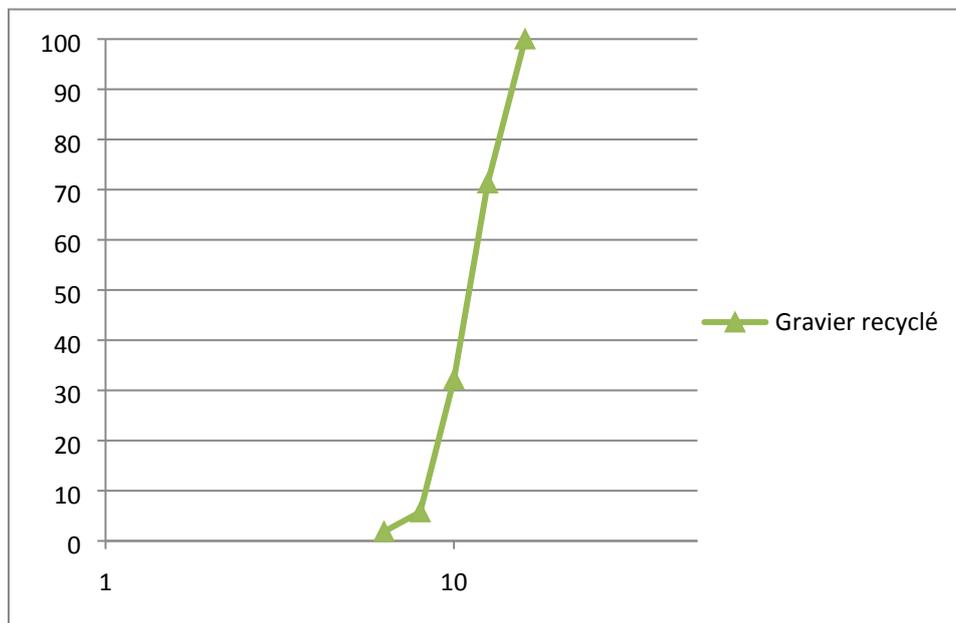


Figure II.5 – Analyse granulométrique.



Figure II.6. Gravier recyclé.

#### II.2.5. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet du laboratoire des travaux publics du sud (LTPS) de la région Ghardaïa conforme à la norme [NA 1966].

#### II.3. Formulation des bétons ordinaire :

La formulation d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents constituants du béton permettant d'assurer à la fois une ouvrabilité et une résistance mécanique convenables. La méthode de formulation utilisée est celle de **Dreux Gorisse**. C'est une méthode simple et pratique basée sur les courbes granulométriques des granulats.

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

Détermination du rapport C/E

Détermination de C et E

Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Détermination de la compacité du béton.

Détermination des masses de granulats.

### II.3.1. Détermination du rapport C/E :

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma_{28} = G \sigma_c \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

$\sigma_{28}$  = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa

$\sigma_c$  = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C= Dosage en ciment en kg par m<sup>3</sup> de béton.

E : Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m<sup>3</sup> de béton.

G' : Coefficient granulaire (Tab.4) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau II. 3 – Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité de la taille maximale des granulats D<sub>max</sub>

Qualité des granulats	Dimension D <sub>max</sub> des granulats		
	Fins D <sub>max</sub> < 12,5 mm	Moyens 20 < D <sub>max</sub> < 31,5	Gros D <sub>max</sub> > 50 mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

### II.3.2. Détermination de C

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure 1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

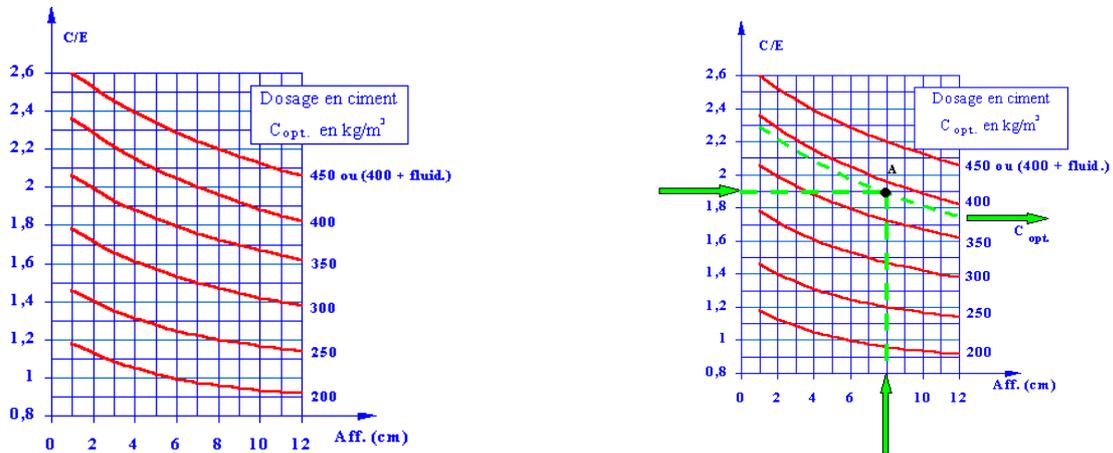


Figure II.7 : Abaque permettant la détermination de C

$$F_{c28} = 30 \text{ MPa}$$

$$F_{cm} = 1.15F_{c28} = 34.5 \text{ MPa}$$

$$\frac{C}{E} = \frac{F_{cm}}{G_{\sigma}} + 0.5 = \frac{34.5}{0.45 + 55} = 1.9$$

$$\frac{C}{E} = 1.9 \quad A = 8 \text{ cm} \quad C = 385 \text{ Kg/m}^3$$

$$E = \frac{C}{1.9} = \frac{385}{1.9} = 202.63 \quad E = 202.63 \quad C = 385$$

Tableau II.4- correction sur le dosage de pate en fonction de  $D_{max}$  :

Dimension maximale des granulats ( $D_{max}$ en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de pâte (en %)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

$$C = 385 + 4\% \frac{385}{100} = 400 \text{ Kg/m}^3$$

$$C = 202.63 + 4\% \frac{202.63}{100} = 210.7368 \text{ Kg/m}^3$$

### II.3.3. Le dosage des granulats

Les courbes granulométriques des granulats sont présentées sur la figure (II-5) .On procède à la représentation linéaire de la courbe granulaire de référence OAB (Figure II.5.) qui selon Dreux – Gorisse, le point de brisure A de la courbe de référence est à l'abscisse  $D/2=15/2=7.5$  (module 40) son ordonnée est donnée par :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s \quad (\text{II.9}) \quad ; \quad K_s = 6.MF - 15 \quad (\text{II.10})$$

Où K est un coefficient de correction fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats. Les valeurs de K est données dans le Tableau (II.5).

Tableau II.5- les valeurs K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats (du sable en continuation)	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	-2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	6

Pour un dosage en ciment de 400 kg ; un granulat concassé et une vibration normale on opte pour valeur de  $K=0$ .

D'où l'ordonnée correspondant au dosage en ciment de 400 kg :

$$Y=50 - 2.73+ 0-2.29= 44.98 \%$$

$$MF=(0+4.93+10.04+35.04+84.55+94.93)/100= 2.29$$

$$K_s =6.(2.29) - 15=-1.26$$

Pour l'autre dosage en ciment les valeurs de l'ordonnée Y sont données dans le Tableau (II.6):

Tableau II.6- le dosage en ciment les valeurs de l'ordonnée Y.

Dosage en ciment (kg/m <sup>3</sup> )	L'abscisse de point A (mm)	K	K <sub>s</sub>	Y (%)
400	8	0	-1.26	44.98

La ligne de partage entre les deux granulats s'obtient en joignant le point 95% de la courbe du sable au point 5% de la courbe du gravier 3/8 et la deuxième ligne de partage entre les deux graviers 3/8 et 8/15 ( 95%, 5%). Les deux points de rencontre des deux lignes de partage avec la courbe de référence OAB donne le partage des pourcentages de sable et de gravier 3/8 et 8/15, soit:

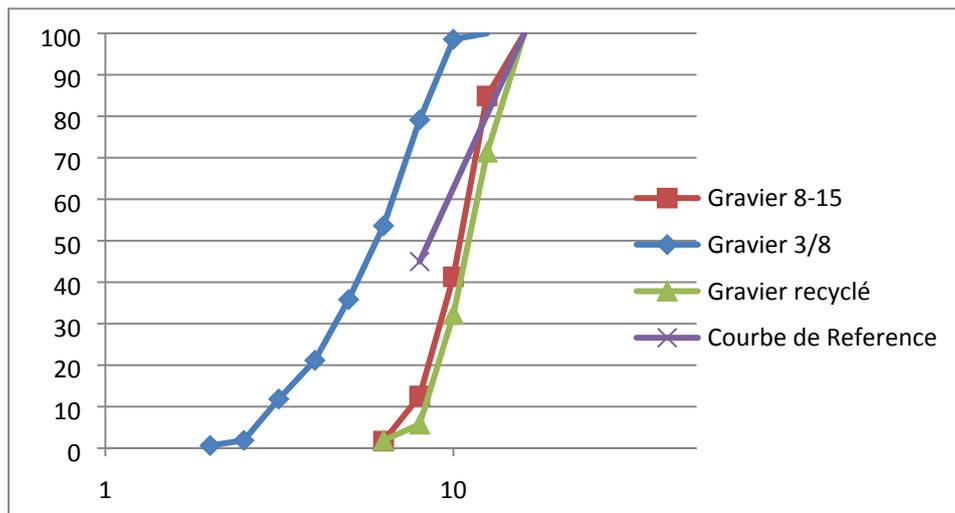


Figure II.8. Les courbes de références.

**Optimisation des volumes**

Volume de Gravier 8-15 = 50%

Volume de Gravier 3-8 = 15%

Volume de Sable 0-3 = 35%

$$\rho_c = \frac{M}{V_c} = \frac{400}{3.1} = 130$$

$$V_g + V_c = 830$$

$$V_g = 830 - V_c$$

$$V_g = 830 - 130 = 700$$

$$V_{G(8-15)} = 50\% \cdot 700 = 350 \text{ Kg/m}$$

$$V_{G(3-8)} = 15\% \cdot 700 = 105 \text{ Kg/m}$$

$$V_{S(0-3)} = 35\% \cdot 700 = 245 \text{ Kg/m}$$

La formulation de chaque mélange de de béton se trouve dans le tableau suivant :

Tableau II.7 – Formulation de béton.

	<b>RAP (%)</b>	<b>Gravier 8/15 Kg</b>	<b>Gravier 3/8 Kg</b>	<b>Gravier RAP Kg</b>	<b>Sable 0-3 Kg</b>	<b>Ciment Kg</b>	<b>Eau Kg</b>
Formulation 1	<b>0%</b>	17	5	0	12	7.2	3.6
Formulation 2	<b>25%</b>	12.75	5	4.25	12	7.2	3.6
Formulation 3	<b>50%</b>	8.5	5	8.5	12	7.2	3.6
Formulation 4	<b>75%</b>	4.25	5	12.75	12	7.2	3.6
Formulation 5	<b>100%</b>	0	5	17	12	7.2	3.6

## II.4. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

### II.4.1. Confection des éprouvettes :

Les moules d'éprouvettes pour les essais de compression, sont des corps d'éprouvette de forme cylindrique de dimensions ( $\Phi=8 \text{ cm}$ ,  $h=16 \text{ cm}$ ). Le remplissage des moules se fait avec délicatesse particulièrement pour les éprouvettes de compression. Les moules remplis sont par la suite vibrés par un vibreur ou sur une table vibrante pour évacuer les bulles d'air et éviter les cavités dans le béton frais (augmente la compacité du béton).

Les moules d'éprouvettes pour les autres essais, sont des corps d'éprouvette de forme cylindrique de dimensions ( $\Phi=8 \text{ cm}$ ,  $h=8 \text{ cm}$ ).



Figure II.9. Confection des éprouvettes du béton

Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées. Ils sont ensuite soumis, avant l'écrasement à une cure humide dans l'eau ou dans une chambre humide jusqu'à l'âge de l'essai.



Figure II.10 – la cure des éprouvettes.

#### **II.4.2. Mesure de la maniabilité :**

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas les 40mm. Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

L'équipement utilisé couramment est appelé cône d'Abrams, L'appareille comme le montre la figure 1 se compose de 4 éléments.

Un moule tronconique sans fond de 30cm de haut, de 20cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10cm de diamètre en sa partie inférieure ;

-Une plaque d'appui.

-Une tige de piquage.

-Un portique de mesure

Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin de sa confection en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage. Araser le moule, démouler immédiatement en soulevant le moule. Après mesurer l'affaissement à partir du point le plus bas du béton.

L'affaissement est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage, le résultat obtenu (en centimètre) permet de classer les bétons.



Figure II.11-l'essai d'affaissement au cône d'Abrams

### II.4.3. Essai de compression :

Avant d'entamer l'essai, les éprouvettes préparées subissent une opération de rectification (lissage) à l'aide d'une rectifieuse.



Figure II.12 : rectifieuse



Figure II.13– surfaçage d'une éprouvette.



Figure II.14- Les échantillons apes surfaçage..

Le résultat que l'on recherche à obtenir avec cet essai est la détermination de la résistance à la compression (le rapport entre la force appliquée/la section de l'éprouvette).

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.



Figure II.15. Résistance à la compression.

#### II.4.4. Absorption capillaire :

Les mesures de capillarité sont réalisées selon les prescriptions de la norme AFPC-AFREM sur éprouvettes de dimensions 36x40 mm. Les échantillons sont d'abord séchés à l'étuve à la température de 55 °C jusqu'à la stabilisation de la masse, puis laissés à l'air libre et pesés à l'aide d'une balance de précision 0.01 g, afin de déterminer leur poids à l'état sec  $M_0$ . Les échantillons sont ensuite placés sur un lit de gravier dans des récipients en plastique peu profonds, contenant de l'eau. La profondeur d'immersion des surfaces d'échantillon pendant le test d'absorption est de 2 à 3 mm. Après chaque échéance de submersion, les échantillons sont prélevés de l'eau, essuyés et séchés superficiellement à l'aide d'un papier absorbant pour enlever l'excès d'eau présente sur la surface puis pesés ( $M_t$ ). Les mesures de masse et pénétration d'eau sont prises à des intervalles : 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, min et 24 heures. Le coefficient d'absorption capillaire est défini par la relation suivante :

$$C = \frac{M_t - M_0}{A}$$

C : Coefficient d'absorption capillaire (kg/m<sup>2</sup>),

$M_t$  : Masse de l'éprouvette à l'instant t (kg),

$M_0$  : Masse initiale de l'éprouvette (kg),

A : Section immergée de l'éprouvette (m<sup>2</sup>),

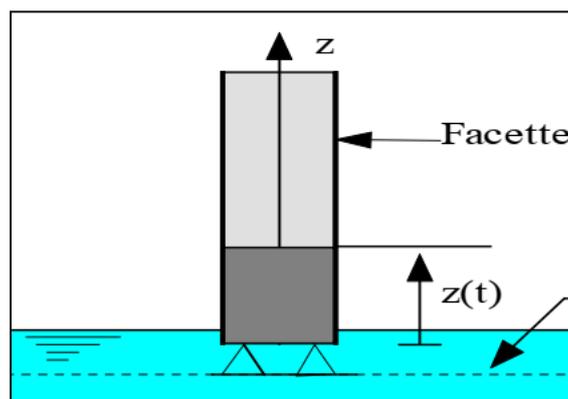


Figure II.16 - Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire.

### **II.5. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les matériaux et les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude. Par ailleurs, nous avons détaillé les différentes méthodes de préparation appliquées sur la formulation.

Nous avons également montré les protocoles d'essais utilisés dans cette recherche pour la détermination des propriétés physiques (masse volumique, absorption d'eau), mécaniques (résistance à la compression) de composites cimentaires substitué avec différents pourcentage gravier recyclé.

# CHAPITRE 3 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS

## III.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, Nous présenterons les résultats des différents essais réalisés sur les mortiers renforcés par des fibres butte et traité. L'objet du présent chapitre est de mettre en évidence les caractéristiques mécaniques et les propriétés physiques de mortier formulé. Ces propriétés sont aujourd'hui des critères incontournables pour valider la valorisation d'un sous-produit ou dans le domaine des matériaux de construction.

## III.2. L'Affaissement au cône d'Abrams: [NF P 18 -451]

Sur le béton frais nous avons déterminé l'affaissement de chaque type de béton L'affaissement l'aide du cône d'Abrams.

Les valeurs d'affaissement mesurées des bétons sont présentées dans la figure suivante :

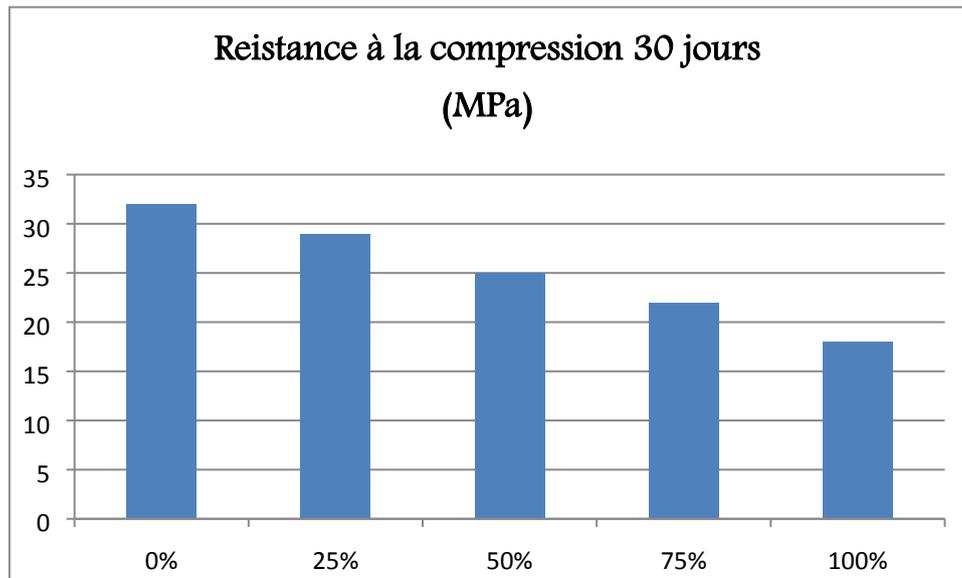
Tableau III.1. Evolution de l'affaissement des bétons étudiés.

	Affaissement cm
Formulation 1	7.5
Formulation 2	7.5
Formulation 3	8
Formulation 4	8
Formulation 5	9

D'après les résultats obtenus on peut conclure que le béton de formulation 1 à base de gravier naturelle 100% l'affaissement la plus bas (7.5 cm).

La maniabilité augmente avec la présence de pourcentage de gravier recyclé.

### III.3. RESISTANCE A LA COMPRESSION :



Figures III.1- Résistance à la compression à 30 jours.

D'après les résultats du développement de la résistance à la compression jusqu'à l'âge de 30 jours présentés sur les figures III.1 pour tous les mélanges, il est évident que les bétons fabriqués à partir de l'agrégat naturel ont une résistance supérieure à ceux de l'agrégat recyclé à tous les âges.

Cette tendance peut être expliquée en faisant valoir que la résistance de ces bétons est principalement régie par la résistance de l'agrégat recyclé qui à son tour dépend dans une large mesure de la force d'adhérence du mortier bitumineux (matrice liant bitumineux-sable-remplissage) attaché aux particules d'agrégat. L'échec de la compression est probablement provoqué par la faible liaison apparente entre le d'asphalte et l'agrégat.

## III.4. PROPRIETES PHYSIQUES :

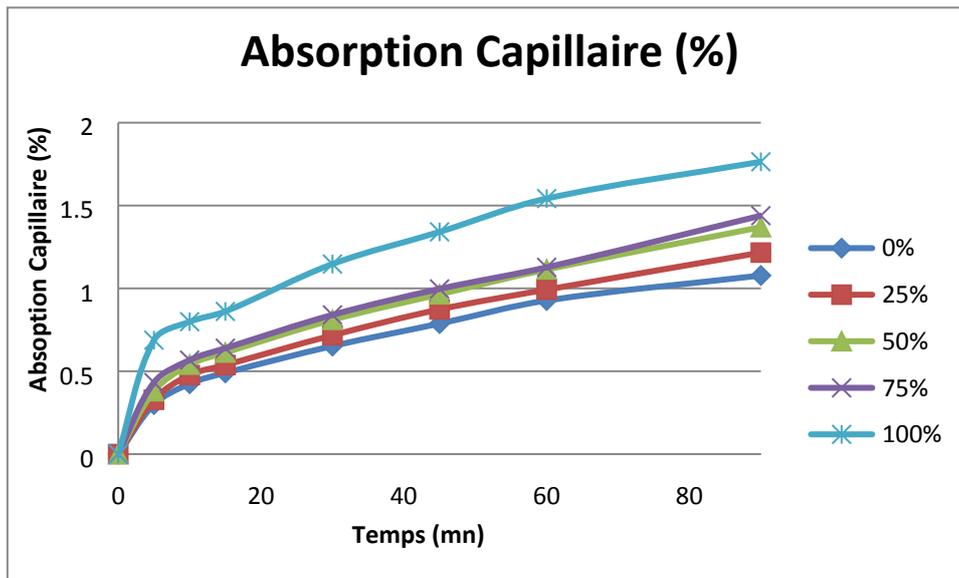


Figure III.2 - Absorption capillaire à 90 minutes.

Nous avons réalisé des tests de remontée capillaire des bétons après la cure de 30 jours dans la chambre.

Les résultats obtenus après 1 h et 30 min de test d'absorption capillaire, sont présentés sous forme de courbes sur la figure III.2. On peut voir que la quantité d'eau absorbée par toutes les compositions testées augmente progressivement dans le temps.

La quantité d'eau absorbée dans le cas des bétons mélangé avec 100% d'agrégat recyclé est plus importante que dans l'autre type des bétons.

De plus, comme avec les granulats naturels, la porosité est plus faible, la quantité d'eau absorbée diminue avec l'augmentation d'agrégat naturel.

Il est à noter que le coefficient d'absorption capillaire donne une idée de la porosité capillaire des bétons: lorsque la porosité capillaire augmente, le coefficient d'absorption augmente.

III.5. Vitesse ultrasonique :

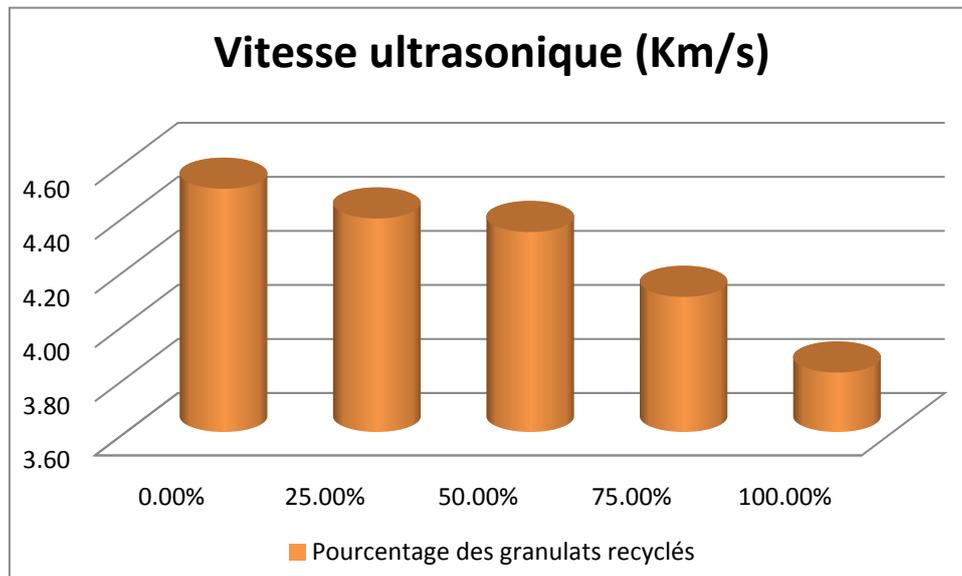


Figure III.3- Vitesse ultrasonique.

Les résultats d'une série de tests de vitesse d'impulsion ultrasonores, pour les échantillons conservés 30 jours dans la chambre humide.

Le bon résultat a été enregistré aux bétons avec 100% graviers naturels. Ceci confirme les résultats trouvés dans les sections relatives à la perte de masse et de résistance à la compression.

### III.6. CONCLUSION :

Issu de l'étude en laboratoire réalisée pour évaluer les performances des agrégats recyclés de la chaussée comme granulat grossier dans le béton, les principales conclusions suivantes peuvent être tirées :

1. La résistance à la compression du béton produit avec du RAP comme granulat grossier s'est avérée inférieure à celles fabriquées à partir de granulat naturel.
2. La résistance à la compression maximale du béton pouvant être produit en utilisant du RAP comme granulat grossier est d'environ 20 MPa.
- 3 Sur la base de cette enquête, il est évident que le recyclage des déchets d'asphalte pour les granulats de béton est faisable et peut devenir un processus viable et routinier pour la génération de granulats pour le béton de résistance moyenne et faible.

### CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La réutilisation des agrégats d'asphalte récupérés des anciennes chaussées est une nécessité. La possibilité de les utiliser dans des projets de construction en béton offrira de nombreux avantages en termes de durabilité et de coût. De l'étude expérimentale qui a été réalisée sur le remplacement des granulats naturels par des granulats RAP, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- 

Il est possible de fabriquer du béton de ciment Portland à l'aide d'agrégats RAP, en utilisant un équipement typique qui est généralement utilisé pour le béton normal.

- 

Bien qu'il y ait une réduction systématique de la maniabilité lorsque des agrégats RAP ont été utilisés, le béton RAP est resté maniable dans tous les mélanges testés.

- 

La porosité des mélanges contenant du RAP augmente proportionnellement à l'augmentation de la teneur en RAP. Ceci est encore plus prononcé pour le RAP fin par rapport au RAP entier, donc l'augmentation est également proportionnelle à la surface des granulats.

- 

La diminution de la résistance à la compression et du module d'élasticité est relative à la surface des agrégats utilisés pour le remplacement.

L'inclusion d'agrégats RAP entraîne une augmentation systématique de la déformation maximale à la rupture enregistrée à partir des essais de compression uniaxiale.

# ANNEXE A



50kg

**Mokaouem Plus**  
مقاوم بلس

ALGÉRIE



## Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

*Mokaouem* est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

*Mokaouem*  
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

*Mokaouem* NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1 est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en CSA < 3%.

### AVANTAGES PRODUIT

- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

 A member of  
LafargeHolcim

### APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



### FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1	17	15	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude dérivée par un laboratoire\*

### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

#### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures (NA5042) (%)	0,01 à 0,05

#### • Temps de prise à 20°

(NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

#### • Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3,0%

#### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42,5

#### • Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270J/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

### CONSIGNES DE SÉCURITÉ

- 1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.
- 2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.

A member of  
LafargeHolcim



Conditionnement: /

#### LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 14ème étage, tour Geneva,  
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.  
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
ds.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tél: 021 98 55 55

**LAFARGE**  
لوفارج

