

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعريريج »

Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou  
Arreridj Faculté des Sciences et de la Technologie

كلية العلوم والتكنولوجيا

Département Génie Civil

قسم الهندسة المدنية



## Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLOME DE : Master

Filière : Génie Civil

Option : matières

Préparé par :

ABBAD Fouzia

HEREM Sihem

**THÈME : Influence des ajouts cimentaires sur le  
comportement des bétons à base des agrégats recyclés**

Soutenu le : 23/06/2013

Devant le jury :

Président: Mr. ATTIA. A

Rapporteur: Mr. BENAICHI. E

Examineur: Mr. LOUMACHI. L

Examineur : Dr. MESSAOUDENE. I

Année universitaire : 2012-2013

## Table des matières

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumés

Abstract

ملخص

Introduction générale..... 1

### Chapitre I : Revue de documentation

I- 1 Introduction..... 3

I-2 Origine de la production de déchets 3

I-3 Les déchets de chantier ..... 3

I-3 -1 Les types de déchets de chantier..... 4

I-3 -1 -1 Les déchets inertes..... 4

Les traitements des déchets inertes..... 4

I-3 -1 -2 Les déchets non dangereux non inertes..... 5

Les traitements des déchets non dangereux non inertes..... 5

I-3 -1 -3 Les déchets organiques..... 5

Les traitements des déchets organiques..... 5

I-3 -1 -4 Les déchets spéciaux..... 6

I-4 Aperçu sur le recyclage des matériaux de démolition à l'étranger..... 6

Au Canada ..... 7

Aux États-Unis..... 7

En France ..... 8

En Allemagne ..... 9

Au Royaume-Uni ..... 9

Aux Pays-Bas ..... 9

En Australie .....	10
Au Japon .....	10
En Algérie .....	10
I-5 Procèdes de récupération et de recyclage des matériaux secs .....	11
I-6 Bétons et granulats recyclés.....	13
I-7 Concassage et tri sélectif .....	14
I-7 -1 Déconstruction sélective et tri.....	14
I-7 -2 Elaboration des granulats recyclés .....	15
I-7 -3 Élimination des polluants .....	15
I-8 Impact environnementaux .....	17
I-8 -1 Impact des matériaux de construction et démolition sur l'environnement naturel humain .....	17
I-8 -1 -1 Notion de cycle de vie et d'énergie grise .....	17
I-8 -1 -2 Matériaux et constructions « respectueuses » de l'environnement	20
I-8 -1 -3 Impact sur la santé et l'environnement .....	21
I-8 -1 -3 -1 cas particulier de l'amiante.....	21
I-8 -1 -3 -2 cas particulier des goudrons .....	21
I-8 -1 -3 -3 Cas particulier des bois traités .....	22
I-9 Les ajouts cimentaires.....	22
I-9 -1 Les ajouts inertes.....	22
I-9 -2 Les ajouts actifs.....	23
I-9 -2 -1 Les pouzzolanes .....	23
I-9 -2 -2 Le laitier de haut fourneau.....	25
I-9 -2 -3 Les Fumées de silice.....	26
I-9 -2 -4 Les fillers calcaires.....	27
I-10 Caractéristique essentielles sur les granulats.....	29
I-11 Caractéristiques générales des granulats recyclés.....	30
I-12 Caractéristiques générales des granulats de béton de ciment .....	30
I-13 Caractéristiques générales des granulats bitumineux .....	31
I-14 Propriétés physico mécaniques des granulats recyclés.....	31
I-14 -1 Granulométrie .....	31
I-14 -2 Densité et absorption .....	32
I-14 -3 Masse volumique et teneur en eau .....	33

I -14 -4 Abrasion Los Angeles .....	34
I -14 -5 Conclusion relative aux propriétés physico mécaniques .....	34
I -15 Propriétés des bétons à base d'agrégats recyclés .....	36
I -15 -1 Influence des granulats de béton de ciment recyclé dans la fabrication des bétons de ciment .....	36
I -16 Essai de la résistance à la compression .....	38
I -17 Conclusion .....	40

## **Chapitre II: Matériaux étudiés et méthodes expérimentales**

II -1 Introduction.....	41
II -2 Matériaux utilisés .....	41
II -2- 1 Le ciment.....	41
II -2 -2 Les granulats (naturel et recyclés) .....	42
II-2 -2 -1 Le sable .....	42
II -2 -2 -2 le gravier.....	42
II -2 -3 Granulométrie et formes de grains .....	45
II-2 -4 Masses volumiques .....	46
II -2 -5 Absorption d'eau.....	46
II -3 Propreté des granulats.....	47
II -3 -1 Equivalent du sable (propreté) .....	47
II -3 -2 Compacité et porosité des granulats .....	48
II -3 -4 Eau de gâchage .....	48
II -3 -5 Ajouts minéraux .....	49
II -3 -5 -1 Le Laitier .....	49
II -3 -5 -2 Le filler calcaire.....	50
II -3 -5 -3 Fumée de silice .....	51
II -3 -5 -4 Pouzzolane .....	51
II -4 Mélanges.....	52
II -5 Etude des bétons .....	52
II -5 -1 Confection et cure des éprouvettes .....	52
II -5 -2 Malaxage du béton .....	53
II -5 -2 -1 Malaxage à la main .....	54
II -5 -2 -2 Malaxeurs à béton .....	54
II -6 Programme des essais .....	54
II -6 -1 Mesure de la consistance.....	54

II -6 -2 Essai de la résistance à la compression.....	55
II -6 -3 Essai de traction par flexion .....	55
II -6 -4 Essai sclérométrique .....	56
II -6 -5 Essai d'auscultation sonique .....	56
II -6 -6 La résistance à la traction des bétons.....	56
II -6 -7 Mesure du retrait.....	57
II -7 Conclusion.....	58

### **Chapitre III: Analyse et discussion des résultats**

III -1 Introduction.....	59
III -2 Propriétés du béton à l'état frais .....	59
III -2- 1 Consistance des bétons .....	59
III -3 Propriétés du béton à l'état durci.....	63
III -3 -1 Résistance à la compression .....	63
III -3 -2 Résistance à la flexion.....	68
III -3 -3 Résistance à la traction par fendage.....	70
III -3 -4 Coefficient de ramollissement .....	72
III -3 -5 la résistance à la température.....	73
III -3 -6 Essai de retrait.....	74
III -3 -6 Absorption d'eau par immersion.....	76
III- 4 Conclusion .....	80
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>81</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>84</b>

### **Annexes**

Méthode de B.Scramtaiv.....	91
A/- Données de base.....	91
B/- Méthode de calcul.....	91

## **REMERCIEMENT :**

*Il n'est jamais facile de faire des remerciements, toujours peur d'oublier quelques noms ou des proches alors que nous vous prions de vouloir nous excuser si les lignes qui vont suivre vous paraissent incomplètes. Les gens qui nous entourent savent bien à quel point on les remercie.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude en vers DIEU de nous avoir guidé dans la réalisation de ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier notre promoteur Mr. BENAICHI pour le suivi, les conseils et les encouragements qu'il nous à attribués.*

*Tous les enseignants de Génie Civil :*

*Mr. BELAGRAA, Mr. MESSAOUDENNE, Mr. LOGZIT , Mr. BOUKELOUA, Mr. ATIA, Mr. MOHAMADI, Mr. MEKKI, Mr. MADDAH, Mr. NAOUI, Mr. SEDDIKI.*

*Nous adressons nos remerciements à ces les responsables du  
Labo de G-C:*

*ZUBIR, FARID, HAYAT, FATIHA.*

*Nous voudrions remercier l'ensemble de notre jury de thèse, qui a bien voulu examiner ce travail.*

*Nous remercions aussi toute la*

*famille : HEREM et ABBAD.*

*DEDICATION :*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ✚ Ma mère et mon père.*
- ✚ Mes sœurs et mon frère surtout Abdelmalek.*
- ✚ Tous les petits : Aya, Mohamed, Abdeljalil, Ali, Aïman,*
- ✚ aïcha, zolikhha, Amina, zino, selsabil .*
- ✚ Toute ma famille.*
- ✚ Tous mes amis : Ilhem, Nassima, Souhila, Asma, Aïcha,*
- ✚ Reguia, Nadjib, Antar, Nabil, Khaled, Zohir, M'Hamdi*
- ✚ Randa, M'hamdi Dalil, Ismahen*
- ✚ Et mon cher binôme : « ABBAD FOUZIA ».*
- ✚ Toute: personne ayant participé de près ou de loin à la*
- ✚ réalisation de ce travail.*

*HEREM SIHEM*



**DEDICATION :**

*Je dédie ce modeste travail à :*

- + Ma mère et mon père.*
- + Mes sœurs et mon frère surtout Brahim.*
- + Tous les petits : Hadil, Bechra, Hiba.*
- + Toute ma famille.*
- + Tous mes amis : Ilhem, Nassima, Souhila, ASMA, AICHA, Rokaia, Nadjib, Antar, Nabil, Khaled, Zohir, Ismahen.*
- + Et mon cher binôme : «HEREM SIHEM».*
- + Toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**ABBAD FOUZIA**



## Liste des figures

<b>Chapitre I : Revue bibliographique.</b>	<b>Page</b>
Figure I-1 Procédure de préparation des granulats recyclés.....	6
Figure I-2 Le recyclage de granulats en gras.....	13
Figure I-3 Contrôle de la qualité dans le cycle des matériaux de construction.	14
Figure I-4 Synoptique obtenu sous agrégats conduisant au choix des matériels à utiliser.....	17
Figure I-5 Traitements mécaniques et thermiques des déchets de démolition.....	17
Figure I-6 Les principes de l'analyse du cycle de vie.....	18
Figure I-7 Bilan environnement d'un hall industriel.....	20
Figure I-8 Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats de béton de démolition pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup> .....	38
<b>Chapitre II : Matériaux et les Méthodes.</b>	<b>Page</b>
Figure II-1 Courbe granulométrique du sable naturel (SN).....	43
Figure II-2 Courbe granulométrique du sable recyclé (SDB).....	43
Figure II-3 Courbe granulométrique du sable recyclé (SDBR).....	44
Figure II-4 Courbe granulométrique des graviers.....	44
<b>Chapitre III Analyse et discussion des résultats</b>	<b>Page</b>
Figure.III -1 Evolution du rapport E/C des bétons en fonction du taux de substitution avec un dosage 350kg/m <sup>3</sup> .....	61
Figure.III -2 Evolution du rapport E/C des bétons à base des agrégats naturels pour différents ajouts minéraux pour un dosage de 350kg/m <sup>3</sup> .....	62
Figure.III -3 Evolution du rapport E/C des bétons de sable de béton concassé pour différents ajouts minéraux pour un dosage de 350kg/m <sup>3</sup> .....	62
Figure.III -4 Evolution du rapport E/C des bétons de sable de brique concassé pour différents ajouts minéraux pour un dosage de 350kg/m <sup>3</sup> .....	63
Figure III- 5 Résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substituant pour un dosage de 350kg/m <sup>3</sup> .....	65
Figure III- 6 Résistance à la compression du béton à base d'agrégats naturels avec différents ajouts minéraux.....	65
Figure III- 7 Résistance à la compression du béton à base de sable de béton concassé avec différents ajouts minéraux.....	66

Figure III- 8 Résistance à la compression du béton à base de sable de brique concassé avec différents ajouts minéraux.....	<b>66</b>
Figure III -9 Combinaison des effets pouzzolaniques et d'optimisation de l'empilement granulaire.....	<b>68</b>
Figure. III -10 Évolution de la résistance à la flexion des bétons testés en fonction de taux de substitution des sables recyclés.....	<b>69</b>
Figure III-11 Distribution des contraintes lors de l'essai Brésilien.....	<b>70</b>
Figure. III -12 Évolution de la résistance à la traction par fendage des bétons testés en fonction de taux de substitution des sables recyclés.....	<b>71</b>
Figure III-13 Effet de la température sur la résistance des bétons recyclés.....	<b>74</b>
Figure III-14 Evolution de retrait des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats (SN, SDB, SDBR) pour des dosages de ciment respectifs 350 kg/m <sup>3</sup> .en conservation des éprouvettes est fauté à l'air.....	<b>75</b>
Figure III-15 Evolution de retrait des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats (SN, SDB, SDBR) pour des dosages de ciment respectifs 350 kg/m <sup>3</sup> .en conservation des éprouvettes est fauté à l'eau.....	<b>75</b>
Figure.III -16 la masse volumique et l'absorption d'eau des bétons en fonction du taux de substitution pour un dosage en ciment de 350 kg/m <sup>3</sup> .....	<b>78</b>
Figure.III -17 la masse volumique et l'absorption d'eau des bétons à base d'agrégats naturels et ajouts minéraux pour un dosage en ciment de 350 kg/m <sup>3</sup> .....	<b>78</b>
Figure.III -18 Masse volumique et l'absorption d'eau des bétons à base de sable de béton concassé avec ajouts minéraux pour un dosage de 350 kg/m <sup>3</sup> .....	<b>79</b>
Figure.III -20 Masse volumique et l'absorption d'eau des bétons à base de sable de brique concassé avec ajouts minéraux pour un dosage de 350 kg/m <sup>3</sup> .....	<b>79</b>

### **Annexes**

	<b>Page</b>
Figure 1: Les déchets à l'étranger.....	<b>93</b>

## Listes de photos

<b>Chapitre I : Revue bibliographique.</b>	<b>Page</b>
Photo I-1 Eliminations des matériaux légers par d'air jet.....	16
Photo I-2 Dé ferrailage magnétique par « Overband ».....	16
Photo I-3 Type Pouzzolane naturelle.....	24
Photo I-4 Aspect d'une matrice contenant des fumées de silice.....	27
Photo I-5 Observation au MEB du calcaire.MEB JEOL 6400. Microanalyses EDS Oxford Inca.....	28
<b>Chapitre II : Matériaux et les Méthodes.</b>	<b>Page</b>
Photo II-1 Sable recyclé (SDB) 0/5 produit par le concassage de béton.....	45
Photo II-2 Sable recyclé (SDB) 0/5 produit par le concassage de béton.....	45
Photo II-3 Equivalent du sable.....	47
Photos II-4 Laitier forme de poudre.....	50
Photo II-5 Filler calcaire forme de poudre.....	50
Photo II-6 Fumé de silice forme de poudre.....	51
Photo II-7 pouzzolane forme de poudre.....	52
Photo II-8 le cône d'abrams .....	54
Photo II-9 Eprouvette cylindrique (10 x 20) cm <sup>3</sup> .....	55
Photo II-10 Appareil de traction par flexion.....	55
Photo II-11: Essai de fendage.....	56
Photo II-12 Eprouvette pour l'essai de retrait.....	57
Photo II-13 Déformètre, éprouvette étalon.....	57
<b>Chapitre III Analyse et discussion des résultats</b>	<b>Page</b>
Photo III-1: L'essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	59
Photo III-2 Eprouvette prismatique (10x10x50) cm <sup>3</sup> .....	69

Photo III-3 La résistance à la traction des bétons..... 71

Photo III-4 Exemple de rupture ..... 73

**Annexes** **Page**

Photo 1 Mesure temps de début de prise 86

Photo 2 Mortier à l'état frais 86

Photo 3 Bac de conservation 86

Photo 4 Appareil de la compression 86

Photo 5 Malaxeur 86

Photo 6 éprouvette (16X32) et (10X20) cm<sup>3</sup> 86

## Liste des tableaux

<b>Chapitre I : Revue bibliographique.</b>		<b>page</b>
Tableau I-1- Pourcentages de débris générés selon le type de matière, lors de travaux C &D.....		<b>8</b>
Tableau I-2- Stratégies de recyclage des débris de construction et de démolition.....		<b>12</b>
Tableau I-3- Energie grise de matériaux de construction.....		<b>19</b>
Tableau I-4 -Consommation d'énergie pour la fabrication du béton.....		<b>19</b>
Tableau I-5 Analyse chimique de la pouzzolane.....		<b>23</b>
Tableau I-6 -Composition chimique du laitier de haut fourneau .....		<b>25</b>
Tableau I-7 -Composition chimique de la Fumées de silice.....		<b>26</b>
Tableau I-8- Dresse un récapitulatif de l'influence de la fumée de silice sur les propriétés des matériaux cimentaires.....		<b>27</b>
Tableau I-9- Composition Chimique du Calcaire.....		<b>28</b>
Tableau I-10- Influence du laitier sur les propriétés des matériaux cimentaires.....		<b>28</b>
Tableau I-11- Caractéristique essentielles sur les granulats.....		<b>29</b>
Tableau I-12- Propriétés des granulats de béton de ciment.....		<b>36</b>
<b>Chapitre II : Matériaux et les Méthodes</b>		<b>Page</b>
Tableau II-1- Caractéristiques des ciments.....		<b>41</b>
Tableau II-2 -Composition chimique des ciments.....		<b>42</b>
Tableau II-3 -Composition minéralogique des ciments.....		<b>42</b>
Tableau II-4 -Masses volumiques des granulats étudiés.....		<b>46</b>
Tableau II-5 -Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés.....		<b>46</b>
Tableau II-6 - pourcentages d'impureté dans les granulats fins.....		<b>47</b>
Tableau II-7 - Compacité et porosité des granulats fins.....		<b>48</b>
Tableau II-8 Analyses physico-chimiques de l'eau de gâchage.....		<b>49</b>
Tableau II-9-Composition chimique du laitier.....		<b>49</b>
Tableau II-10 -Module de basicité (Mb) et le module d'activité (Ma).....		<b>49</b>
Tableau II-11-Composition chimique d'un filler calcaire.[ laboratoire de la cimenterie d' AIN-TOUTA.....		<b>50</b>
Tableau II-12 Caractéristiques physiques de la fumée de silice.....		<b>51</b>
Tableau II-13 Caractéristiques physiques de la pouzzolane.....		<b>51</b>
Tableau II-14 Composition des mélanges de béton pour Aff = 5-7cm avec un dosage		

de ciment C=350 kg/m <sup>3</sup> .....	<b>53</b>
---	-----------

### **Chapitre III : analyse et discussion des résultats**

### **Page**

Tableau III -1: Quantité d'eau réellement utilisée pour un affaissement constant avec un dosage 350 kg/m <sup>3</sup> .....	<b>60</b>
Tableau III -2 Consistance des bétons à base des agrégats naturels pour un dosage 350kg/m <sup>3</sup> .....	<b>60</b>
Tableau III -3 Consistance des bétons à base des agrégats recyclés pour un dosage 350kg/m <sup>3</sup> .....	<b>61</b>
Tableau.III -4 Résistance à la compression du béton à base d'agrégat naturel avec différents ajouts minéraux.....	<b>64</b>
Tableau III -5 Résistance à la compression du béton à base d'agrégats recyclés avec différents ajouts minéraux.....	<b>64</b>
Tableau III -6 La résistance à la flexion des bétons testés.....	<b>69</b>
Tableau III -7 La résistance à la traction des bétons testés.....	<b>71</b>
Tableau III -8 Résultat de Coefficient de ramollissement.....	<b>72</b>
Tableau III -9 Effet des températures sur les bétons à base des agrégats recyclés.....	<b>73</b>
Tableau .III -10 Densités et absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons testés du béton à la base des agrégats naturels.....	<b>77</b>
Tableau .III -11 Densités et absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons testés à la base des agrégats recyclé.....	<b>77</b>

### **Annexes**

Tableau : la dépense en eau en fonction du D <sub>max</sub> du gravier et l'ouvrabilité requise...	<b>92</b>
--	-----------

## Résumé

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 granulat recyclé (déchets de béton et de brique) pour béton hydraulique.

On a analysé les caractéristiques des granulats recyclés (déchets de béton et de brique) afin de formuler les bétons étudiés. L'étude consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence avec des bétons à base des agrégats recyclés (50/50/0 et 50/0/50) à l'état frais et durci et l'influence des ajouts minéraux actifs (P, L et FS) et inerte C (10 et 20%).

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions que l'utilisation des ajouts (pouzzolane, fillers calcaires, fumées de silice et laitier) est améliorée les caractéristiques physico-mécaniques et plus particulièrement rhéologiques des bétons à base d'agrégat naturel et recyclé.

**Mots clés:** Granulats recyclage, Rhéologie, caractéristiques physico-mécaniques, consistance, ajouts minéraux actifs, démolition.

## Abstract

The recycling and the valorization of wastes are now considered as a future solution in order to meet the deficit between production and consumption and a protection for the environment. This dissertation searches to highlight the possibility of using the recycled aggregates (waste concrete and brick) for hydraulic concrete.

We analyzed the characteristics of recycled aggregates (waste concrete and brick) to formulate the studied concretes. The study involves comparing the properties of a reference concrete with concretes made of recycled aggregates (50/50/0 and 50/0/50) at fresh and hardened states and the influence of active (P,L and FS ) and inert (10 and 20%) mineral additions.

The experimental results obtained in this study allow us to draw conclusions that the use of additives (pozzolana, limestone filler, silica fume and slag) improves the physical and mechanical properties, particularly rheological properties of either concretes based on natural aggregate or concretes made of recycled aggregates.

**Keywords:** Recycled aggregates, Rheology, Physical and Mechanical Characteristics, Consistency, Active Mineral Additions, Demolition.

## ملخص:

استنفاد الحقول الطبيعية والصعوبات فتح متحجرات جديدة تفرض علينا البحث عن مصادر جديدة للتموين إعادة استعمال النفايات وتقييمها هو الآن تعتبر بمثابة حل المستقبلي لسد العجز بين الإنتاج والاستهلاك، وحماية البيئة. يسعى هذه الأطروحة لتسليط الضوء علي إمكانية استخدام الحصى المرسكلة (النفايات الخرسانة و الأجر الأحمر) لصنع للخرسانة الهيدروليكية.

قمنا بتحليل خواص الحصى المرسكلة من أجل لصياغة الخرسانات المدروسة. تعتمد هذه الدراسة على مقارنة خواص الخرسانة المرجعية مع الخرسانة المصنوعة من الحصى المرسكلة (0/50/50) و(50/0/50) في الحالات الطازجة و المتصلبة، و كذلك تأثير الإضافات المعدنية النشطة (FS ، P ,L) و الخاملة (10 و 20 %) النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة تسمح لنا القول بأن استعمال الإضافات المعدنية (بوزولانية والحجر الجيري ، غبار السيليكا والخبث) وتحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والريولوجية لخرسانة سواء المصنوعة من الحصى المرسكلة (رمل) أو حتى الطبيعي.

**كلمات المفتاحية:** الحصى المرسكلة، الريولوجيا، والخصائص الفيزيائية والميكانيكية، والتماسك، والإضافات المعدنية بالموقع، والهدم.

# *INTRODUCTION GENERALE*

## Introduction générale

Une demande accrue de granulats naturels s'est accentuée ces dernières années pour approvisionner les secteurs du bâtiment et des travaux publics. Les stocks disponibles de ces granulats ne satisfont plus cette demande et le recours à de nouvelles carrières est parfois difficile à réaliser en raison d'une réglementation rigoureuse (préservation des paysages, interdiction d'extraction de granulats alluvionnaires,...). Par ailleurs, les matériaux de démolition ou de chantier provenant de la déconstruction du vieux bâti sont en quantité croissante et ne sont éliminés que par l'utilisation en remblai ou mis en décharges sauvages causant un impact sur l'environnement. Ce dernier, constitue un paramètre du développement durable et sa préservation passe obligatoirement par le recyclage des gravats.

La majorité des applications de granulats recyclés issus de produit de démolition trouvent essentiellement des débouchés dans le domaine routier, mais une meilleure connaissance du comportement des bétons incluant de tels granulats peut contribuer au développement de cette application. Cependant, les travaux menés sur les matériaux de démolition en tant que granulats substitués ne sont pas assez concluants. Ils sont considérés comme « granulats hors normes ». On les suspecte d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons. Celle-ci se trouve compromise à cause d'une forte absorption d'eau par ces granulats recyclés. Ceci est lié à une forte porosité en raison de la présence du vieux mortier collé aux granulats de démolition et surtout si leur granularité est fine. D'autres part, la qualification et la valorisation des matériaux de démolition dépendent des matières polluantes (plâtre, bois, plastique, papier, ...) et leur acceptabilité est fixée par rapport à leur niveau contaminant, et ceci ne peut être amélioré que par procédure de traitement avant l'élaboration des granulats recyclés.

La qualification d'un béton de granulats recyclés est garantie par ses performances mécaniques où les caractéristiques mécaniques des granulats revêtent une grande importance. Une résistance inadéquate des granulats limite leur utilisation et celle-ci ne peut être déterminée que par des essais indirects en utilisant des essais d'impact (essai Lons Angeles)

Les granulats recyclés, avant d'être utilisés, subissent différentes opérations : démolition, concassage, manutention et leur conjugaison dégrade leur dureté. Les différentes forces d'impacts des granulats entre eux d'une part, entre granulats et le marteau de démolition ou la mâchoire de concasseur d'autre part fragilisent les granulats. L'ancien

mortier collé aux granulats constitue le maillon faible et donne une nuisance supplémentaire en produisant plus de fines dans le squelette granulaire.

En Algérie, l'application des granulats recyclés dans la production du béton n'a pas encore franchi le seuil des laboratoires et les expériences menées sont beaucoup plus à caractère formatif et non sous l'impulsion d'ordre environnementale ou économique. Par ailleurs, une utilisation abusive d'une ressource non renouvelable de granulats naturels est constatée même pour la production d'éléments de démolition peuvent constituer une alternative.

### **L'objectif de cette étude expérimentale**

Notre mémoire a pour objectif en premier de valoriser les granulats issus des bétons de démolition pour la fabrication d'un béton hydraulique. Des tests de caractérisations physiques et mécaniques sur les granulats recyclés (sable) comme granulats de substitution, ont été effectués pour la mise en conformité avec la normalisation.

Plusieurs variantes de combinaisons entre type de granulats (naturels\_ recyclés). L'influence de ces granulats recyclée sur les propriétés du béton frais et durci à été aussi étudiée. Et l'influence des ajouts minéraux actifs sur le comportement rhéologique de béton à base de sable fin démolitions.

### **Plan de travail**

Le document comporte trois parties, après une introduction générale qui définit la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés, le premier chapitre comporte une revue de la documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les agrégats recyclés leur utilisation à travers quelque pays et évidemment, leur influence dans la fabrication de béton, ainsi que sur les caractéristiques d'agrégats recyclés sur les propriétés du béton frais et durci à base de ces agrégats et l'influence des ajouts minéraux actifs sur le comportement rhéologique de béton. Les matériaux utilisés et les essais réalisés sont présentés dans le deuxième chapitre.

Le troisième chapitre présente l'analyse et l'interprétation de l'étude expérimentale, suivant les conclusions générales de l'étude ainsi que les recommandations pour des futures travaux.

# *CHAPITRE I*

## *REVUE DE LA ROCUMENTATION*

## I Revue de documentation

### I- 1 Introduction

La réutilisation des déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne [1,2]. Depuis cette date, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays pour développer l'utilisation des déchets de démolition comme constituants de nouveau béton. Ces déchets peuvent être de béton démolé (déchets des éprouvettes écrasé dans laboratoire, déchets du bâtiment, des plates formes des aéroports en béton, chaussées des routes en béton etc.) , déchets de brique du bâtiment, ou déchets des éléments de trottoir. Les granulats fabriqués par ces déchets sont dits: «**Granulats Recyclés** » et le béton fabriqué à base de ces granulats est dits: « **Béton Recyclé**», cependant, les granulats recyclés fabriqués par les déchets de démolition des constructions dont plusieurs déchets autre que le béton tels que : le plâtre, la brique, le bois, le plastique, les métaux, les papiers etc. Après la séparation et le tamisage on peut les utiliser comme substitue des gros granulats naturels dans le béton [3].

### I -2 Origine de la production de déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- **Biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- **Chimiques** : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès qu'on veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- **Technologiques** : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- **Economiques** : les produits en une durée de vie limitée ;
- **Ecologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- **Accidentelles** : les inévitables dysfonctionnement des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets [4].

### I -3 Les dechets de chantier :

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 [5].

### **I -3 -1 Les types de déchets de chantier**

On y trouve aussi bien du béton armé, du ciment-mortier, de la céramique, de la terre cuite, de l'amiante, du plâtre, du bois, du verre, des métaux, des cartons, des plastiques... ainsi que des déchets liquides (huiles, fluides caloporteurs), des piles et accumulateurs, des tubes fluorescents...

Les tailles sont également très disparates.

Les déchets de chantier sont classés, selon leur dangerosité vis-à-vis la santé et l'environnement, en trois catégories :

- les déchets inertes ;
- les déchets non dangereux et non inertes appelés aussi industriels banals (DIB), assimilables aux déchets ménagers ;
- les déchets dangereux, appelés aussi déchets industriels spéciaux (DIS) ;

Auxquels s'ajoutent les déchets d'emballages, tels que des palettes, des cartons, des films plastiques, des fûts [5].

#### **I -3 -1 -1 Les déchets inertes :**

Les déchets inertes sont donc essentiellement des déchets minéraux ou assimilables au substrat naturel non pollués [6].

#### **Les traitements des déchets inertes :**

Les déchets inertes peuvent être :

- ❖ Réemployés sur le site ;
- ❖ Utilisés en remblais de chantier ou de carrière ;
- ❖ Recyclés en granulats ;
- ❖ Collectés par un centre de tri et de recyclage de déchets de chantier ;

Les déconstructions et les tris sélectifs de matériaux ne permettent pas toujours d'obtenir des déchets entièrement inertes. Aux Pays-Bas, où la valorisation est prioritaire, les décharges d'inertes sont très strictes et n'acceptent pas de déchets de démolition, même triés [06].

### **I-3 -1 -2 Les déchets non dangereux non inertes:**

Les déchets non dangereux non inertes par exemple :

Emballages, bois, plastiques, métaux, quincaillerie, serrurerie, accessoires pour peinture et matériels souillés secs, isolants, produits mélangés issus de chantiers de réhabilitation, etc. [7].

### **Les traitements des déchets non dangereux non inertes:**

Les DIB peuvent être :

- ❖ Réutilisés sur un autre chantier ;
- ❖ Collectés par un centre de tri et de recyclage de déchets de chantier ;
- ❖ Recyclés ;
- ❖ Brûlés dans une usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) et déchets assimilés [6].

### **I-3 -1 -3 Les déchets organiques :**

Ces déchets sont composés de matière organique qui sont issus d'organismes vivants végétaux ou animaux. [8].

### **Les traitements des déchets organiques (déchets dangereux):**

Les déchets dangereux peuvent être :

- ❖ Brûlés dans une usine d'incinération pour déchets dangereux, sauf ceux contenant de l'amiante,

Certains déchets dangereux peuvent être recyclés après avoir été décontaminés, notamment les mélanges de déchets de construction ou de démolition ou encore des déchets provenant d'équipements électriques et électroniques, déchets contenant du mercure.

La gestion du traitement des déchets dangereux est hautement contrôlée. Un bordereau de suivi réglementaire atteste du bon passage de chaque lot aux différentes étapes: production, transport, regroupement, élimination finale. La responsabilité du producteur n'est dérogée que lorsqu'il a reçu l'attestation de prise en charge par tous les maillons de la filière.

Les entreprises du bâtiment ont tout intérêt, sur les chantiers, à ne pas mélanger les déchets dangereux, les DIB et les inertes, car la catégorie de déchets la plus toxique ou polluante détermine la catégorie du mélange, et par conséquent exige le traitement le plus onéreux. [6].

### I-3 -1 -4 Les déchets spéciaux :

Ces déchets contiennent des éléments nocifs en quantités variables impliquant des précautions particulières d'élimination. Ce sont les solvants, les produits phytosanitaires,...; certains déchets spéciaux doivent être stabilisés avant stockage. Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon à respecter certains seuils pour différents paramètres (pH, siccité, fraction soluble...) [8].

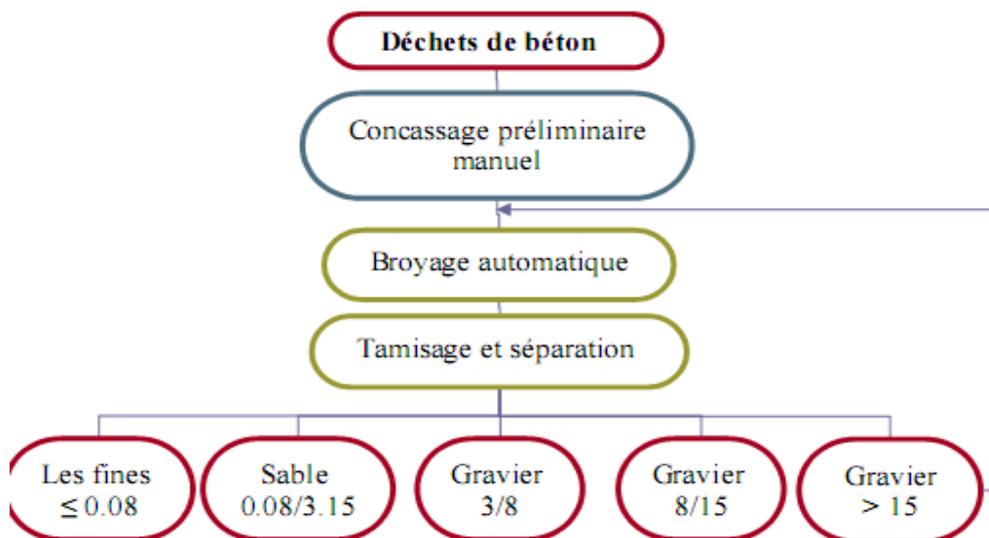


Figure II-1: Procédure de préparation des granulats recyclés [3].

### I -4 Aperçu sur le recyclage des matériaux de démolition à l'étranger

L'idée de recyclage des matériaux de démolition était envisagée depuis la seconde guerre mondiale ou les gravats provenant des bâtiments détruits par les bombardements étaient réemployés en Grande Bretagne et en Allemagne pour la reconstruction de différents ouvrages, les granulats obtenus par ce recyclage comportaient une forte proportion de brique compte tenu de la nature des constructions à cette époque.

Les travaux de recherche qui ont fait l'objet de plusieurs conférences internationales dans l'utilisation de béton démolé et déchets de maçonnerie comme agrégats dans le béton, connaissent actuellement une large application sur le terrain dans divers pays du monde [9].

### **Au Canada**

Une estimation réalisée à partir de statistiques publiées par Environnement Canada. Quantifiait le volume total de débris de C&D générés au Canada à près de 12,5 millions de tonnes en 2005[10] (0,39 tonne per capita [10]). Selon cette estimation, 36,2 % de la matière était attribuable aux bétons et gravats et 34,6 % à l'asphalte [11]. Le taux de récupération global était estimé à 42,2 %.

L'asphalte présentait le plus haut pourcentage de recyclage avec 72,5 %, suivi des bétons et gravats avec 42 %. Les statistiques sur la production canadienne de débris de construction, de rénovation et de démolition varient selon la source des données. Les chiffres publiés par Statistique Canada pour l'année 2002 sont bien en dessous des estimations d'Environnement Canada: 3,3 et 3,4 millions de tonnes sont comptabilisées respectivement pour 2000 et 2002. Le Québec était responsable de 18,4 % de ce volume, comparativement à 34,4 % pour l'Ontario.

Le Québec se démarque des autres provinces, par la disponibilité de données actualisées sur la production de ce type de débris. Au Québec en 2008, 4,6 millions de tonnes de matière ont été générées dans le secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD) (0,59 tonne per capita). De ce volume, 3,2 millions de tonnes ont été récupérées, sur un potentiel de 4,3 millions de tonnes [12]. En appliquant la proportion des chiffres de Statistique Canada aux données québécoises, on obtiendrait, pour 2008, un total de 25 millions de tonnes de C&D générées à l'échelle canadienne, incluant 8,6 millions de tonnes pour l'Ontario.

### **Aux États-Unis**

La quantité de débris globale produite annuellement, incluant ceux provenant des infrastructures comme les routes et les ponts, est estimée entre 325 et 350 millions de tonnes. Le béton pourrait représenter environ 60 % de ce tonnage [13].

Les débris de C&D provenant de bâtiments seulement totalisaient 170 millions de tonnes en 2003, selon l'EPA. Leur répartition est la suivante :

- ❖ 9 % des nouvelles constructions;
- ❖ 42 % de la rénovation; et
- ❖ 49 % de la démolition [13].

La composition, en poids, des débris provenant de la construction et de la démolition de bâtiments est estimée comme suit [14]:

**Tableau I-1: Pourcentages de débris générés selon le type de matière, lors de travaux de C&D**

Matière	Pourcentage
Bois	27 %
Bétons, briques et asphalte	23 %
Gypse	14 %
Revêtements de toitures	12 %
Métaux	9 %
Matériaux divers	15 %
Total	100 %

Le taux de récupération des débris comptabilisé par l'EPA était de 48 % en 2003. Ce pourcentage varie selon les États. Les volumes de débris de C&D récupérés les plus importants, l'ont été dans les États de New York (6,3 millions tonnes/an), du Massachusetts (3,1 millions tonnes/an), de la Floride (2,3 millions tonnes/an) et de Washington (2,3 millions tonnes/an).

### **En France**

Plus de 32 millions de tonnes de débris de chantiers de bâtiments et 100 millions de tonnes de débris de travaux publics sont produites chaque année en France [15] (2,06 millions de tonnes per capita). Ce volume atteindrait 309 millions de tonnes, lorsqu'on y comptabilise la récupération de sols. Le taux de recyclage des bétons atteindrait 63 % [16].

## **En Allemagne**

En 2003, 223,4 millions de tonnes de débris de C&D ont été générées (2,7 tonnes per capita), comparativement à 240,8 millions de tonnes en 2002. Le volume produit en 2002 se répartit comme suit :

- ❖ 70 % lors de travaux d'excavation;
- ❖ 24 % lors de travaux de démolition de bâtiments;
- ❖ 8 % lors de la démolition de routes;
- ❖ 2 % sur des sites de construction.

Le pourcentage de récupération, de réutilisation et de recyclage est estimé à 85,6 % en 2002 et 86,2 % en 2003[17].

Les données sur la proportion des bétons et briques sont imprécises. Comptabilisés dans deux grandes régions, pour les débris provenant de la démolition de bâtiments seulement, ces derniers occupaient 75,7 % dans un cas et 59,1 % dans l'autre, pour une moyenne de 67,4 %.

## **Au Royaume-Uni**

Au total, 89,6 millions de tonnes de débris de C&D ont été comptabilisées au Royaume-Uni en 2005 (1,48 tonne per capita). De ce volume, 51 % ont été recyclés et 16,7 % ont été utilisés pour la régénération de sites ou pour des projets d'infrastructures. Le 31,3 % restant a été enfoui comme déchet [9].

## **Aux Pays-Bas**

Les débris de C&D générés annuellement aux Pays-Bas sont de 25 millions de tonnes (1,5 tonne per capita [9]). Le taux de récupération est le plus élevé de l'Union européenne, atteignant 95 %.

Le recyclage des bétons est présent dans ce pays depuis plusieurs années, favorisé par un manque de disponibilité d'agrégats naturels et d'espace pour les enfouir.

### **En Australie**

Les débris de C&D y représentent 42,4 % de l'ensemble des déchets solides du pays. Ainsi, 13,7 millions de tonnes sont générées (0,64 tonne per capita). De ce volume, 7,8 millions de tonnes sont récupérées, représentant un taux de 57 %. Les bétons occupent 81,8 % du volume des débris de C&D et comptent un taux de récupération de 54 % [9].

### **Au Japon**

Au Japon, 77 millions de tonnes de débris de C&D étaient générées en 2005 (0,6 tonnes.per capita). Le taux de récupération était de 80 %. Le béton compte pour 42 % de ce volume et l'asphalte %. Le taux de recyclage de ces deux matières est de 98 % [9].

Les chiffres sur les quantités de matières et les taux de récupération sont des indices révélateurs de la volonté des pays à gérer cette matière. On doit toutefois tenir compte, lors de l'analyse des données, des particularités géographiques, des méthodes de construction et des principaux matériaux utilisés[09].

### **En Algérie**

Au cours des 10 dernières années, le taux de génération de débris de construction et de démolition en Algérie a connu une augmentation très remarquable suite au déchets générées par les entreprises de bâtiments et travaux publics ainsi qu'au vieillissement des constructions et en grande partie au séisme de 2003 qui avait frappé les wilayas d'Alger, Boumerdes , Tizi-ouzou , Bejaia et autres en produisant des millions de tonnes de matériaux secs (briques et béton en particulier) qui résultent de la démolition des bâtiments et des ouvrages d'art sinistrés , les quantités restent inconnues .

Les matériaux de démolition sont rarement recyclés en Algérie en matière d'agrégats pour béton de ciment ou béton bitumineux, malgré le déficit entre l'offre et la demande en granulats qui dépassera les 20% de la production.

Il faut noter que l'Algérie prévoit deux grands projets qui sont en cours le premier concernant la réalisation d'un million de logements et le second vise l'exécution de l'autoroute "est – ouest ".

Devant le manque et l'incapacité d'assurer les quantités énormes des matériaux de construction notamment les agrégats, les spécialistes dans le secteur des matériaux de construction et les bureaux d'études d'architecture et de génie civil prévoient que le recyclage des matériaux secs provenant des déchets de démolition (en particulier le béton et les briques de démolition) est vraiment indispensable surtout pour le second projet.

### **I -5 Procédés de récupération et de recyclage des matériaux secs**

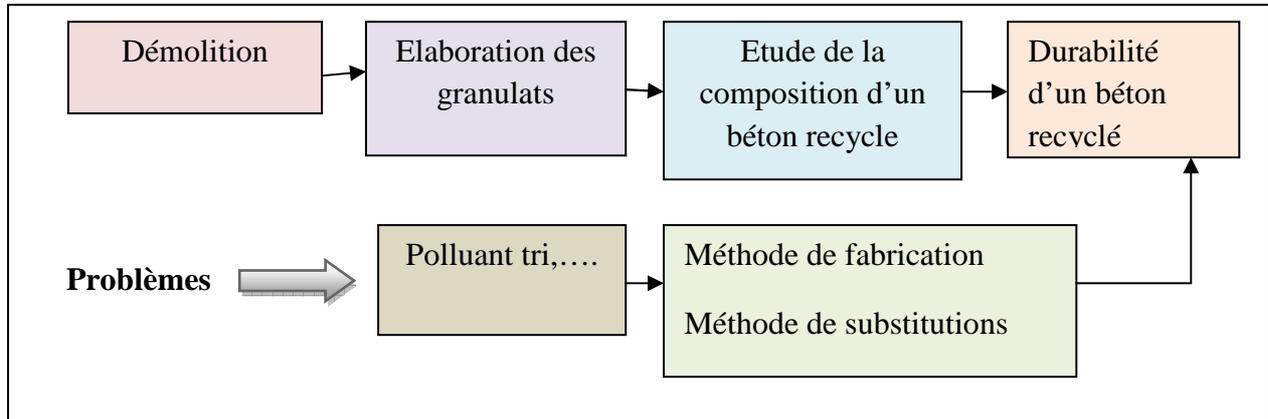
Il existe essentiellement deux façons de procéder en ce qui a trait à la récupération des matériaux secs. Soit que l'on **procède par séparation à la source**, c'est-à-dire à même le chantier, ou bien on dispose de tous les matériaux secs résiduels dans un ou plusieurs conteneurs qui, une fois remplis, seront récupérés par la compagnie de location et amenés dans **un centre de tri**. Le tableau ci-dessous présente les avantages et inconvénients de chacune des deux méthodes [18].

**Tableau I- 2: stratégies de recyclage des débris de construction et de démolition [18]**

	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Séparation à la Source</i>	<p>-Permet de récupérer le matériel dans sa forme originale, et ainsi de minimiser une possible contamination pouvant mener à une qualité moindre du produit</p> <p>-Offre la possibilité de réutiliser le matériel près du lieu de génération sur un site de construction par exemple.</p> <p>- Permet au promoteur et à l'entrepreneur de réduire leurs coûts lorsque le marché pour les matières existe. Tout en réduisant les coûts d'enfouissement, la compagnie projette une bonne image.</p> <p>-Permet une séparation facile des matériaux alors que lorsqu'ils sont mélangés, cette séparation peut devenir plus ardue (ex. bois traité et bois non traité)</p>	<p>- Plus d'un conteneur est requis sur le site. Le manque d'espace peut nuire à la séparation adéquate des matériaux.</p> <p>- La participation des ouvriers et des sous-contractants est essentielle pour une séparation adéquate des matériaux.</p> <p>- Les opérations de recyclage doivent demander une certaine coordination afin de bien remplir les conteneurs en fonction de rythme des travaux.</p> <p>-Il peut parfois ne pas y avoir de marché en place pour le recyclage de certaines matières.</p>
<i>Centre de tri de matériaux pêle-mêle en vrac</i>	<p>- un seul conteneur peut être requis lors de la construction.</p> <p>-Aucune coordination des travaux n'est nécessaire .les matériaux mélangés peuvent toujours être expédiés au centre de tri ou ils seront recyclés.</p> <p>-Les grandes quantités des matériaux récupérés permettent le développement de certains marchés qui autrement seraient limités en raison des coûts de transport.</p> <p>- les centres de tri et de recyclage concurrencer avec les coûts d'enfouissement principalement dans les régions où les frais d'enfouissement sont élevés et les marchés pour les matériaux résiduels sont bien développés</p>	<p>-Les cas de contamination des matériaux sont beaucoup plus nombreux, du fait qu'ils sont en contact avec d'autres matériaux.</p> <p>- L'équipement et la main d'œuvre requis sont beaucoup plus importants.</p> <p>- Certaines exigences sont semblables à celles qui s'appliquent aux lieux d'enfouissement mesure de lixiviat, restriction quant au niveau de poussière.</p> <p>- certains matériaux peuvent être plus difficiles à trier une fois, mélangés avec d'autres.</p>

## I-6 Bétons et granulats recyclés

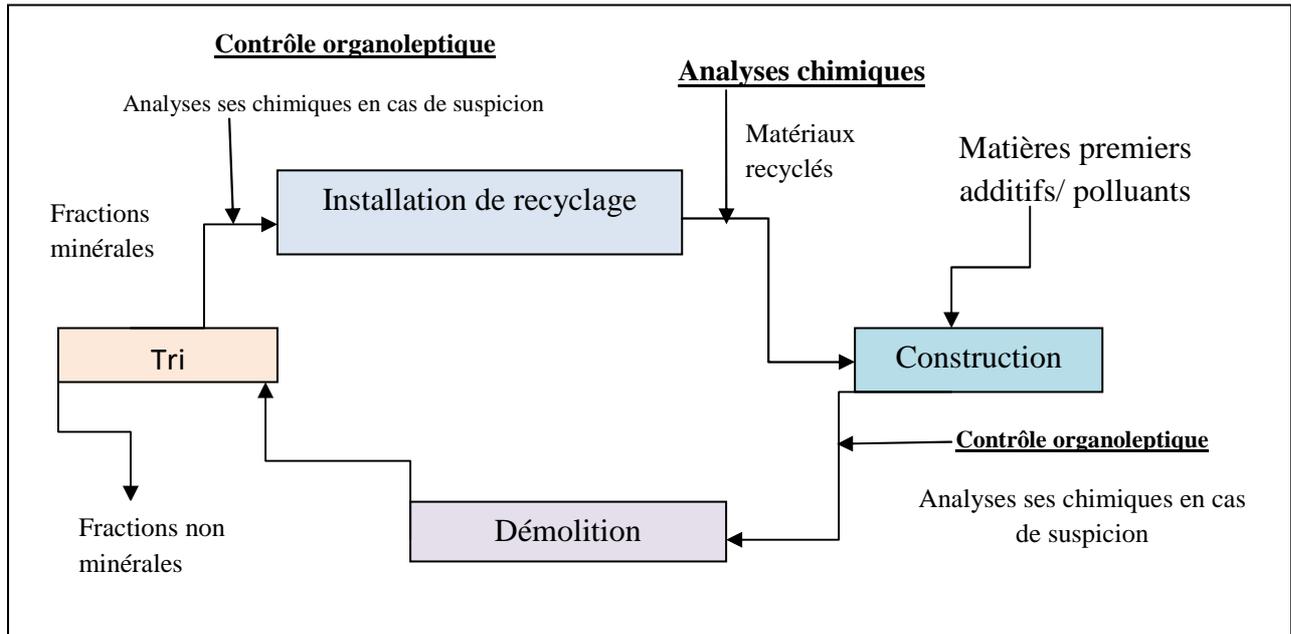
Le recyclage de granulats issus de bétons de démolition passe par différentes étapes, à savoir la démolition des structures, l'élaboration des granulats à partir des blocs de béton, la composition du béton à base des granulats recyclés et enfin l'étude de la durabilité de ces bétons, voir schéma (I- 2) [19].



*Figure I- 2: Le recyclage de granulats en gras [19].*

Pour le recyclage des déchets valorisables, la séparation des matériaux pollués des matériaux propres s'avère être la première étape dans la procédure de recyclage, voir figure I - 3. Ce la peut se faire comme suit: démolition sélective, séparation manuelle, par tamisage ou par écrasement, tamisage pour les polluants des tailles fines, par masse. La séparation volumique des matériaux indésirables se fait en prenant en compte l'aspect économique.

Elle s'effectue de façon magnétique pour les armatures ou autres pièces métalliques, manuelle, par différence de masse volumique, pour les matériaux légers et pour les matériaux lourds (vibration, mouillage ou autres). La séparation pourrait se faire en partie pendant la démolition.



**Figure I- 3 : Contrôle de la qualité dans le cycle des matériaux de construction [20].**

## I-7 Concassage et tri sélectif

Les méthodes de production des granulats recyclés doivent distinguer la phase de déconstruction et la phase d'élaboration. L'une et l'autre font appel à des procédés devant être adaptés d'une part à l'ouvrage « ressource » et d'autre part au matériau récupéré. Le choix de ces procédés conditionne les propriétés du matériau et les performances du produit fabriqué ultérieurement [21].

### I-7 -1 Déconstruction sélective et tri

De nombreuses études ont permis de démontrer la faisabilité technique et économique de la déconstruction sélective.

Les déchets inertes représentent théoriquement 94% des déchets de l'activité déconstruction mais en réalité, ce taux n'est que de 60% car certains déchets non inertes ne peuvent être séparés des autres : restes de plâtre sur les bétons, présence d'éléments de second œuvre comme le bois et les plastiques qui n'ont pu être retirés des murs . Or à ce jour, si la valorisation du béton pur atteint un taux de 77,7%, le taux de recyclage des déchets inertes en mélange atteint tout juste les 12%. Cette situation devrait être améliorée car les plans de gestion des déchets du BTP recommandent de faire réaliser un diagnostic déchets de l'ouvrage à démolir [21].

De plus la Directive européenne 2008/98/CE impose d'atteindre l'objectif de 70% en poids pour le réemploi des déchets non dangereux de construction et de démolition (...) d'ici 2020. C'est aussi par la conception des nouveaux ouvrages en prenant en compte leur future déconstruction et par le tri que l'on pourra améliorer le taux de recyclage [21].

Bien que réel, le surcoût induit par la déconstruction sélective (accroissement de la durée de la déconstruction, multiplication des opérations et augmentation de la main-d'œuvre), n'est plus, dans beaucoup de cas, un obstacle car aujourd'hui toute déconstruction doit être précédée d'un audit avec inventaire systématique et complet des matériaux et identification des filières locales de recyclage. L'existence de ces filières locales justifie une déconstruction fine et un tri poussé [21].

### **I -7 -2 Elaboration des granulats recyclés**

L'élaboration des granulats recyclés est réalisée dans des installations fixes ou mobiles qui comprennent les mêmes grandes phases d'élaboration que les installations pour les granulats naturels (concassage, criblage et éventuellement lavage). Un prétraitement spécifique doit cependant être exécuté. Il consiste à réaliser le cisailage des ferrailles et la réduction des plus gros éléments.

Le concasseur à percussion présente une meilleure réduction de la granulométrie (avec moins d'éléments fins) et facilite la séparation des armatures du béton mais l'usure du matériel est importante et la granulométrie d'entrée limitée. Il permet également d'obtenir une meilleure cubicité du matériau sortant [21].

### **I -7 -3 Élimination des polluants**

En ce qui concerne les appareillages spécifiques à l'amélioration des granulats recyclés, on trouve tous les appareillages ou méthodes permettant d'éliminer les impuretés. Ces impuretés sont principalement du métal (élimination manuelle ou par séparateur magnétique), du bois (élimination par flottation), du plâtre (tri manuel), du carton ou papier, du plastique (élimination par jet d'air).

L'élimination des contaminants légers peut se faire par flottation du type « Aquamator ».



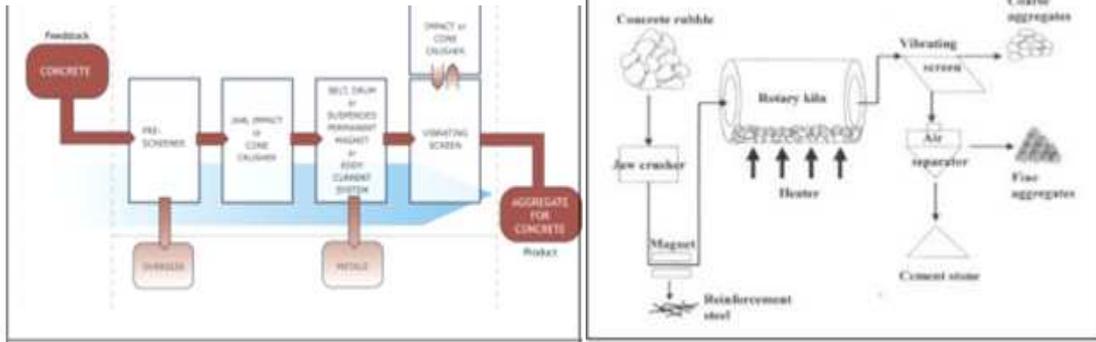
*Photo I-1: éliminations des matériaux légers par d'air jet*



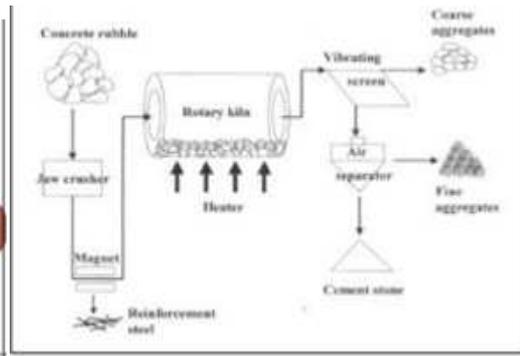
*Photo I-2: Déferrailage magnétique par « Overband »*

Pour l'élaboration des granulats recyclés, il décrit, en fonction des entrants et de l'usage souhaité pour les granulats recyclés, les matériels nécessaires pour les élaborer.

La plus grande difficulté actuelle concerne la séparation des grains de leur gangue de mortier. Des méthodes plus innovantes sont en cours de développement dans différents pays. En Allemagne, une méthode a été développée pour séparer le mortier des granulats à l'aide d'impulsions sonores générées par des décharges électriques en milieu aqueux. Une méthode thermique est également testée. Des travaux similaires, menés par, ont porté sur le traitement thermique de granulats siliceux. Ils montrent qu'un traitement à une température supérieure à 600C° permet d'abaisser la teneur en pâte de ciment de 55% à 5%. Propose des lavages, applicables à des granulats de type siliceux dans des milieux acides dilués: HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Enfin, il est proposé également de s'affranchir des « désordres » dus à la présence du mortier (absorption) en réalisant une imprégnation du granulats recyclé par un polymère (alcool de polyvinyle) pendant 24 heures. Il faut toutefois souligner que ces méthodes n'ont pas été appliquées à l'échelle industrielle [21].



*Figure I-4: synoptique obtenu sous agrégain conduisant au choix des matériels à utiliser*



*Figure I-5: traitements mécaniques et thermiques des déchets de démolition*

## I-8 Impact environnementaux

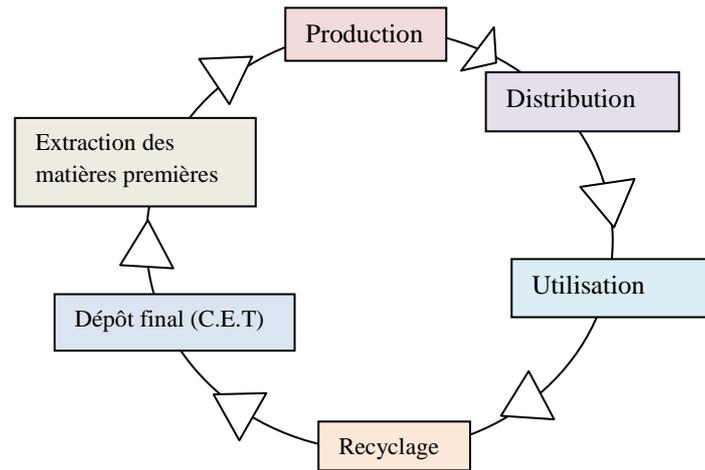
Il est important de connaître l'impact environnemental des déchets du BTP afin d'améliorer leur stockage et de déterminer les filières de valorisation les plus adaptées et les plus respectueuses de l'environnement [22].

### I-8-1 Impact des matériaux de construction et démolition sur l'environnement naturel humain :

#### I-8-1-1 Notion de cycle de vie et d'énergie grise :

Une analyse du cycle de vie des matériaux intègre les différentes de la vie d'un produit. Elle vise à comptabiliser les entrants (matières premières, énergie,...etc.) et les sortants (déchets liquides, solides, gazeux) de sorte à pouvoir, à chaque étape de vie d'un matériau ou d'une construction, établir un bilan et son impact sur l'environnement.

Les chantiers de construction génèrent des nuisances, mais sont aussi capables d'absorber des déchets, à travers le recyclage (aspect positif). L'air, l'eau, le sol, le bruit et les vibrations sont les principaux vecteurs des pollutions [23].



**Figure I-6 : Les principes de l'analyse du cycle de vie [23].**

Le recyclage n'est donc pas l'étape unique du cycle de vie des matériaux de construction : l'énergie dépensée pour l'extraction, la transformation, le transport ou encore la mise en œuvre constituent des postes importants dans l'évaluation de l'impact que peut avoir le choix d'un matériau sur son environnement.

La notion d'énergie grise, c'est-à-dire l'énergie, calculée en  $\text{kwh/m}^3$  ou associée à un matériau, permet de prendre en compte les aspects suivants :

- Machines d'extraction
- Carburant pour le transport
- Consommation d'électricité pour la transformation
- Pétrole utilisé pour la production.

**Tableau I- 3 : énergie grise de matériaux de construction [23]**

Matériau	Energie grise (kwh/m <sup>3</sup> )
Brique perforée	700
Brique silico-calcaire	350
Enduit synthétique	3300
Enduit au ciment	1100
Profilés en acier	57000
Bois d'œuvre	180
Panneaux d'agglomérés (liés avec résine formaldéhyde)	2000
Panneaux de fibres de bois (tendre)	1400
Polystyrène expansé (isolant)	450
Isolant à base de cellulose de bois	50

Une étude intéressante a été réalisée relativement à béton armé [23] : les postes les plus significatifs du point de vue de la consommation d'énergie pour un cycle complet de « 1 m<sup>3</sup> de béton normal lourd armé coulé in situ en Belgique » représente sur le tableau I-4

**Tableau I- 4: consommation d'énergie pour la fabrication du béton [23]**

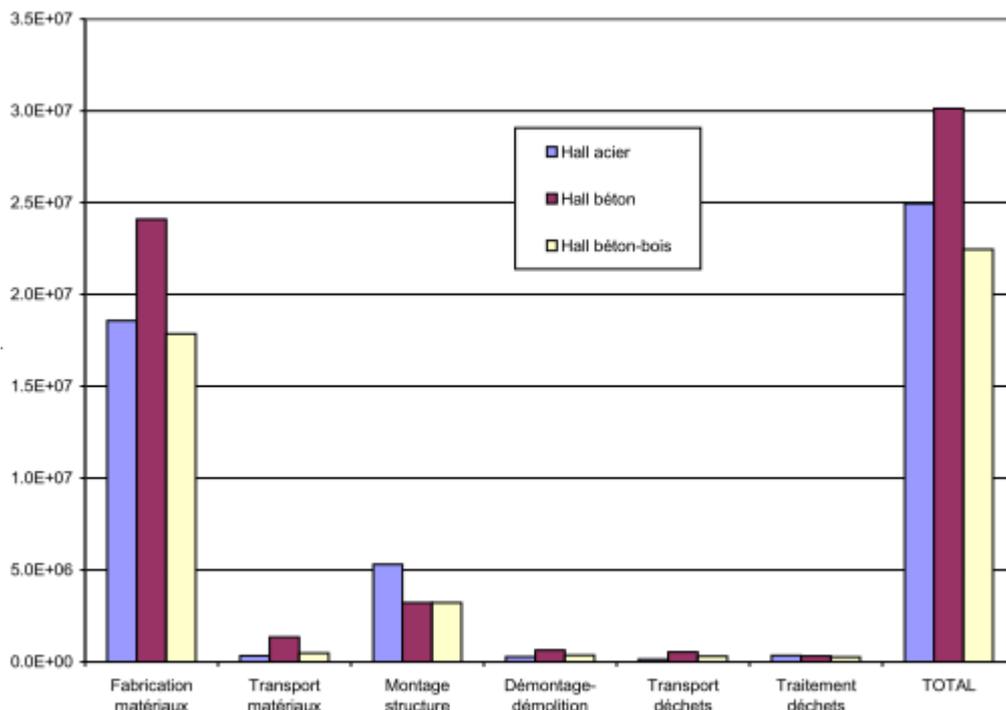
Matériau/ opération	Energie (GJ)
Ciment	1.58
Sable et granulats	0.27
Armatures	2.25
Coffrage	0.43
Transport et mise en œuvre	0.34
Démolition et traitement des déchets	0.27
Total	5.14

**I -8 -1 -2 Matériaux et constructions « respectueuses » de l’environnement :**

Il est fort difficile de définir des règles précises de choix des matériaux plus respectueux de l’environnement que d’autre : il existe bien entendu des labels de qualité comme le F.S.C. (Forest Stewardship Council) qui est relatif à un mode d’exploitation du bois d’œuvre respectueux de la forêt et qui participe par la même au problème globale de conservation des forêts .Il résultat d’une collaboration avec les différents maillons de la filière du bois.

Mais bien souvent, ces différents labels présentent le désavantage de ne concerner qu’une phase spécifique du cycle de vie du produit.

Il est important donc d’envisager non seulement le cycle de vie complet du produit, mais aussi celui de la construction ou du bâtiment dont il va faire partie, dans la mesure ou il va interagir, être lié voire être mélangé avec d’autres matériaux. Une analyse de cycle de vie sur la construction elle-même est donc requise : quelques travaux expérimentaux ont été réalisés à sujet [37]. Ils ne sont tout à fait complets car il est très difficile de rassembler de façon exhaustive les informations nécessaire .Un exemple donné ci-après concerne la comparaison entre trois méthodes de fabrication d’un hall industriel(i) colonnes et poutres en acier, (ii) colonnes et poutres en béton et (iii) colonnes en béton et poutre en bois lamellé-collé.



**Figure I-7 : Bilan environnement d’un hall industriel [24]**

### **I – 8 -1 -3 Impact sur la santé et l’environnement :**

L’activité de construction et de démolition génère des déchets sous formes gazeuse, liquide et solide .Une liste exhaustive de ces déchets: ils concernent tous les corps de métier sans exception. Ces déchets, dangereux ou non, constituent une menace potentielle pour l’environnement naturel dans la mesure où ils peuvent contaminer les sols, les nappes phréatiques où les rivières et polluer l’air par des rejets dans l’atmosphère [23].

#### **I – 8 -1 -3 -1 cas particulier de l’amiante :**

L’amiante se rencontre à l’occasion des travaux de démolition, entretien ou rénovation, son emploi dans des construction nouvelles est en effet interdit. L’amiante se retrouve au niveau des systèmes d’isolation thermique, sous forme libre ou floquée, ou dans les éléments en asbeste-ciment, auquel cas elle est enveloppée dans une gangue de ciment. Les fines particules d’amiante qui se retrouvent dans l’air et sont inhalées par les habitants ou les travailleurs peuvent provoquer des lésions irréversibles au niveau des poumons.

Il convient donc de prendre des précautions particulières pour l’enlèvement et le traitement de ces produits qui sont classés comme déchets dangereux.

#### **I – 8 -1 -3 -2 cas particulier des goudrons :**

Les goudrons ont été utilisés pendant des décennies en mélange avec du bitume dans les revêtements routiers. Les goudrons de houille, au contraire du bitume, contiennent des quantités importantes de substances toxiques, principalement des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des phénols. Les effets génotoxiques des HAP présents dans les goudrons ont été largement étudiés. Les premières observations de toxicité, ont été rapportées par Pott **Pepin (2001) [25]** en 1775 à propos de cancers de la peau des ramoneurs de cheminées. Le pouvoir cancérigène des produits de pyrolyse (goudrons, suies) a été reconnu, suite au développement de l’utilisation du charbon.

Six HAP sont classés par le Centre International de Recherche sur le Cancer [26] comme des cancérigènes probables pour l’homme.

De plus, le devenir des HAP dans l’environnement set influence par leur :

- Volatilisation et leur transformation en dérivés dans l’atmosphère

- Transport, tributaire des facteurs de ségrégation tels que des mobilités différentes liées aux solubilités variables de ces composés, et des caractéristiques intrinsèques du sol.
- Absorption sur des particules de matière organique ou par des plantes.
- Bioaccumulation.
- Dégradation microbiologique.

Ces matériaux sont proscrits mais peuvent encore se retrouver dans d'anciennes infrastructures routières.

### **I – 8 -1 -3 -3 Cas particulier des bois traités :**

Les produits de préservation du bois contiennent habituellement trois éléments fondamentaux [27] : matières actives, solvant et agent de fixation. Les matières actives sont des pesticides qui doivent posséder une action fongicide et/ou insecticide vis-à-vis des agents d'altération concernés, on retrouve des substances minérales ou métalliques (Cu, F, Bo, As) et des substances de synthèse telles que les dérivés d'étain, les azotes, les pyrétoides, les ammoniums quaternaires et les carbamates. Certains produits sont interdits pour des raisons de toxicité mais encore présents dans les bâtiments. Les solvants visent à transporter les matières actives à l'intérieur du bois et à les y déposer : ce sont soit l'eau, soit des dérivés pétroliers. Les agents de fixation travaillent par réaction chimique, notamment avec les sels métalliques, ou par collage avec des résines.

Le recyclage de tels déchets pose un réel problème dans la mesure où ils peuvent contenir des substances dangereuses et toxiques pour la santé humaine et l'environnement, hormis le stockage éventuel, la combustion ou la thermolyse restent la seule solution envisageable actuellement

### **I -9 Les ajouts cimentaires**

#### **I – 9 -1 Les ajouts inertes :**

Sont des produits qui n'ont aucune influence sur le processus de fabrication d'hydratation et de durcissement du ciment, ces ajouts finement broyés sont ajoutés au clinker avant le broyage [28]

## I – 9 -2 Les ajouts actifs :

On appelle ajouts minéraux actifs les substances naturelles ou artificielles finement broyées et ajoutées au clinker avant ou après le broyage, améliorent la résistance du ciment et son pouvoir hydraulique [28].

### I – 9 -2 -1 Les pouzzolanes

Une pouzzolane qui dans cet ouvrage est classée comme étant l'un des constituants du ciment, bien qu'en fait sous une forme latente seulement, est un matériau d'origine naturelle ou artificielle contenant de la silice sous forme réactive. Une définition plus explicite est donnée par la norme ASTM 618-94 qui décrit une pouzzolane comme un matériau siliceux ou silico- alumineux qui, intrinsèquement, possède peu ou pas de valeur hydraulique, mais qui, finement broyée en présence d'humidité a des composés possédant des propriétés hydrauliques. Autrement dit, une pouzzolane est un matériau capable de fixer la chaux à la température ambiante et de former des composés ayant des propriétés hydraulique, c'est-à-dire pouvant faire prise et durcir par hydratation. Il est indispensable que la pouzzolane soit sous forme finement broyée, car seul cet état permet à la silice de se combiner avec l'hydroxyde de calcium (produit par l'hydratation du ciment portland) en présence d'eau pour former des silicates de calcium stables ayant des propriétés hydrauliques. La silice doit être amorphe, c'est -à -dire vitreuse, étant donné que la silice cristallisée a une très faible réactivité. La teneur en verre peut être déterminée par spectroscopie de diffraction des rayons X ou par dissolution dans l'acide chlorhydrique et l'hydroxyde de potassium [29].

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes:

Nous avons utilisé une pouzzolane naturelle d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamedi situé au sud de Beni-Saf (Algérie) [30].

**Tableau I-5: Analyse chimique de la pouzzolane. [30]**

Elément	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Perte au feu
Teneur%	45.90	17.10	10.60	10.20	3.40	1.50	1.80	4.05	4.20



*Photo I-3 : Type Pouzzolane naturelle [28].*

### Avantages

- ❖ Améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration.
- ❖ Améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables.
  - Accroissement de la résistance finale.
  - Légère diminution du retrait et du fluage.
  - Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.
  - Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.
  - Protection des armatures contre la corrosion.
  - Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton avec deux conséquences bénéfiques.
  - Une réduction notable du risque d'apparition d'efflorescences de chaux sur les faces Exposées du béton.
  - Une très nette amélioration de la résistance du béton aux eaux douces [28].

### I – 9 -2 -2 Le laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un liant hydraulique fabriqué à partir du laitier de fonte et composé essentiellement de silicates et d'aluminosilicates de calcium qui se sont développés dans des conditions de fusion du minerai de fer dans un haut fourneau.

L'hydratation initiale du laitier est très lente car elle doit être activée par les ions hydroxydes présents dans la solution des pores. Elle ne se produit donc pas si la solution interstitielle n'a pas atteint une certaine valeur de pH. Les laitiers de haut-fourneau ne produisent pas de portlandite lors de l'hydratation et ils ont un certain potentiel pouzzolanique (dix fois plus faible que celui de la fumée de silice). Le mûrissement humide prolongé est particulièrement important en raison de la faible vitesse initiale d'hydratation [31].

Le laitier en fusion, à une température d'environ 1500°C, est refroidi rapidement en le trempant dans l'eau pour former un matériau granuleux ressemblant à u sable vitreux.

C'est un résidu de l'industrie sidérurgique. Il présente des caractéristiques hydrauliques latentes. Le laitier broyé s'hydrate en présence de l'eau et d'un activateur, le NaOH ou Ca(OH)<sub>2</sub> [32]. Le Tableau I -6 indique une composition chimique typique pour un Laitier de Haut Fourneau (LHF).

**Tableau I-6: Composition chimique du LHF [33]**

Les composantes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	SO <sub>3</sub>
Teneur (%)	40,80	5,2	0,53	43,01	6,4	3,02	0,8

### I – 9 -2 -3 Les Fumées de silice

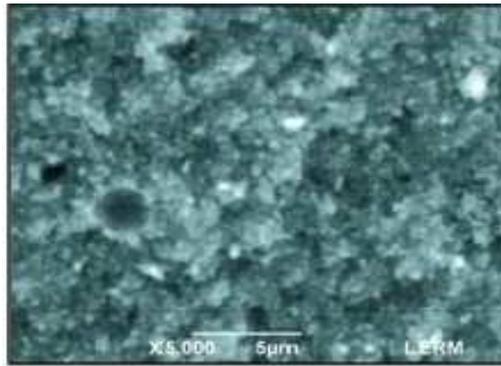
La fumée de silice est aussi appelée microsilice ou fumée de silice condensée, mais le terme « fumée de silice » est le plus généralement utilisé. C'est un sous-produit des usines de fabrication d'alliages de silicium et de ferrosilicium obtenu dans un four à arc à partir de quartz de grande pureté et de charbon. Le SiO entraîne par les gaz depuis la zone de combustion des fours s'oxyde et se condense sous forme de particules de silice amorphe (SiO<sub>2</sub>) sphériques extrêmement fines ; d'où le nom de fumée de silice. La silice, sous forme de verre (amorphe), est très réactive et la petitesse des particules accélère la réaction avec l'hydroxyde de calcium produit lors de l'hydratation du ciment portland. Les très petites particules de fumée de silice peuvent combler l'espace entre les grains de ciment, ce qui améliore le remplissage des vides. Lorsque le four comprend un système de récupération de chaleur efficace, la majeure partie de carbone est brûlée si bien que la fumée de silice est pratiquement sans carbone et de couleur claire. Toutefois, les fours n'ayant pas de système complet de récupération de chaleur laissent échapper un peu de carbone dans la fumée, qui présente par conséquent une couleur foncée [29].

Les fumées de silice (FS) sont un sous-produit industriel provenant de la fabrication du silicium métallique ou de divers alliages de ferrosilicium. Les fumées de silice sont produites lors de la réduction du quartz très pur par du charbon dans un four à arc électrique. Les fumées de silice sont recueillies par filtration des gaz qui s'échappent lors de la combustion. Elle s'élève sous forme de vapeur oxydée émise par les fournaies chauffées à 2000°C. Une fois refroidie, elle se condense pour être captée dans des poches de tissu [33]. Ensuite, elles seront traitées pour enlever les impuretés et pour contrôler la taille des particules. Le Tableau I -7 représente la composition chimique typique de la fumée de silice.

**Tableau I-7: Composition chimique de la FS [34]**

	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MgO%	SO <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O%	Si%	PAF%
FS	89	0.3	0.9	0.50	1.5	0.3	0.6	1.7	3.2	2.77

Conformément à la norme NF P18-502, la fumée de silice présente une densité de 2.1 une masse volumique apparente de 2240Kg/m<sup>3</sup>, une surface spécifique de 600Kg /m<sup>3</sup> et une surface spécifique BET de 18.2 cm<sup>2</sup> [34].



*Photo I-4: Aspect d'une matrice contenant des fumées de silice (photo MEB)*

**Tableau I- 8: dresse un récapitulatif de l'influence de la fumée de silice sur les propriétés des matériaux cimentaires [35].**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Accroissement des résistances mécaniques</li> <li>▼ Affinement de la structure poreuse</li> <li>▼ Diminution des coefficients de diffusion</li> <li>▼ Diminution du pH et des concentrations en alcalins de la solution interstitielle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Allongement du temps de malaxage afin d'assurer une dispersion homogène de la fumée de silice</li> <li>▼ Accroissement de la demande en eau</li> <li>▼ Accroissement du retrait endogène</li> </ul>

#### **I – 9 -2 -4 Les fillers calcaires**

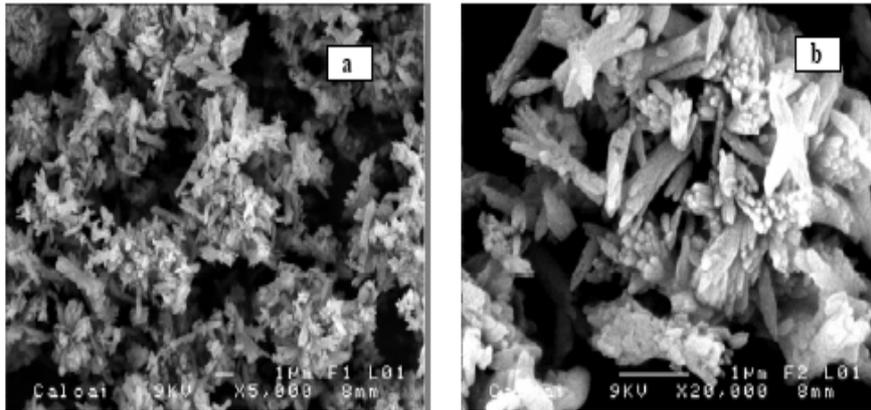
L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. Les additions calcaires dans les matrices cimentaires ont déjà fait l'objet de plusieurs études, essentiellement en France et aux Etats-Unis d'Amérique. Ils sont soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et peuvent alors contenir des résidus argileux et des matières organiques, soit obtenus par broyage du matériau cru. Leur composition chimique est celle du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) mais ils peuvent contenir aussi du magnésium (sous forme  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), s'il réagit de calcaires dolomitique.

Les calcaires peuvent avoir des origines géologiques différentes, métamorphique (il s'agit de marbres) ou sédimentaire. Ils peuvent aussi exister sous plusieurs formes polymorphiques (calcite, aragonite, vaterite) [36].

**Tableau I-9: Composition Chimique du Calcaire [32]**

	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MgO%	SO <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	RI%	PAF%
FS	0,85	0,93	0,56	53,08	0,23	0,60	0,08	0,52	42,55

Les particules de calcaire se présentent sous forme de rosaces, constituées de plusieurs plaquettes enchevêtrées (Fig. I-13) (a x 5 000) et (b x 20 000).



**Photo I-5: Observation au MEB du calcaire. MEB JEOL 6400. Microanalyses EDS Oxford Inca.**

Les caractéristiques granulométriques sont mesurées à la granulométrie laser CILAS 180. Le calcaire utilisé a une Surface Spécifique Blaine de 16 000 cm<sup>2</sup>/g. Le point essentiel qui émerge des résultats granulométriques se résume par une grande finesse, les dimensions de ses particules ne dépassent guère les 6 µm.

**Tableau I-10: Influence du laitier sur les propriétés des matériaux cimentaires [35]**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Affinement de la structure poreuse</li> <li>▼ Réduction de la chaleur l'hydratation</li> <li>▼ Diminution de la perméabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Retard de prise</li> <li>▼ Augmentation du retrait endogène</li> </ul>

## I -10 Caractéristique essentielles sur les granulats

Tableau I -11: Caractéristique essentielles sur les granulats [37]

Caractéristique essentielles sur les granulats	
Fourme dimension des drains et des masses volumiques réelles	Classes granulaires Granularité Forme des gravillons Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau
Propreté	Teneur en éléments coquillers des gravillons fines
Résistance au fragment à l'écrasement	Résistance à la fragmentation des gravillons
Résistance au polissage, à l'abrasion et à l'usure	Résistance à l'usure des gravillons Résistance au polissage Résistance à l'abrasion
Composition teneur	Chlorures Sulfates solubles dans l'acide soufre total Constituants réduisant le temps de prise et la résistance du béton
Stabilité volumique	Stabilité volumique Retrait au séchage
Absorption d'eau	Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau
Durabilité face	Sensibilité des gravillons au gel-dégel au gel / dégel
Durabilité face à la réaction alcali-silice	Réaction alcali-silice

## **I -11 Caractéristiques générales des granulats recyclés**

Les matériaux recyclés qui sont maintenant concassés et qui se retrouvent sous forme de granulats ont des propriétés mécaniques et chimiques particulières. Pour être utilisés dans la structure de la chaussée, ou dans des ouvrages en béton, les granulats devront répondre à une série d'exigences relatives à ces usages. Il faut donc procéder à des essais pour mieux connaître les caractéristiques de ces granulats.

## **I -12 Caractéristiques générales des granulats de béton de ciment**

En général, les matériaux de béton de ciment sont générés par la démolition de pavages, de bâtiments, de structures routières, etc. De plus, dans les régions métropolitaines, on peut ajouter comme sources les trottoirs, les éléments de voirie et les stationnements. Ces bétons de ciment sont fabriqués avec des granulats de bonne qualité qui représentent entre 60 et 75 % du volume total du béton, ont une granulométrie relativement bien étalée et qui sont liés par une pâte de ciment.

Les différences de qualité des granulats recyclés proviennent donc surtout de la qualité des granulats qui composent le béton, de la grosseur de ces granulats, de la résistance en compression du béton original et de son uniformité. Par exemple, les bétons préfabriqués contenant généralement de plus petits granulats, ont une meilleure résistance en compression et les variations de résistance et des autres propriétés sont plus faibles que les bétons coulés sur place. Le béton recyclé peut aussi montrer des signes de faiblesse dus aux réactions alcali-granulats. De plus, dans plusieurs régions où l'utilisation des sels déglaçants est pratique courante, les granulats recyclés produits par ces bétons peuvent contenir des niveaux élevés de chlorures. Malgré ces variations, les essais indiquent que les granulats de béton de ciment concassés ont des propriétés qui ressemblent à celles des matériaux granulaires naturels et qu'ils réagiront de façon similaire lors de leur mise en œuvre.

Le volume occupé par la pâte de ciment adhérent aux granulats naturels est de 25 à 35 % pour les particules comprises entre 16 et 32 mm, autour de 40 % pour les particules de 8 à 16 mm et d'environ 60 % pour les particules de 4 à 8 mm et ces pourcentages ne varient pas beaucoup en fonction du rapport eau/ciment du béton original (**RILEM, 1988**) [38]. De plus, environ 45 à 65 % de la pâte de ciment est compris dans la fraction 0/300 $\mu$ m.

Finalement, si on compare les granulats naturels, normalement utilisés dans les bétons conventionnels, et les granulats de béton de ciment recyclé, on peut conclure que les granulats de béton recyclé sont :

- ❖ moins denses;
- ❖ moins propres;
- ❖ plus exigeants en eau (plus absorbants);
- ❖ plus poreux et hétérogènes.

### **I -13 Caractéristiques générales des granulats bitumineux**

Les propriétés des granulats bitumineux dépendent largement des propriétés des constituants du vieux pavage (granulats et bitume). Étant donné que les granulats bitumineux peuvent provenir de différentes sources, la qualité de ceux-ci peut varier énormément.

La quantité de bitume à l'intérieur des enrobés bitumineux est généralement de 3 à 7 % en masse, mais selon des études réalisées aux États- Unis (**Turner-Fairbank 1999**) [39], les granulats bitumineux obtenus à partir de la majorité des couches de roulement ont en moyenne de 4,5 à 6 % de bitume (en masse). Les propriétés mécaniques des granulats bitumineux et d'un mélange granulaire non lié contenant de tels granulats évoluent avec le temps et varient de façon significative en fonction du contenu en enrobé bitumineux. De plus, comme les granulats bitumineux sont composés de plus de 90 % de granulats naturels, leurs propriétés dépendront grandement de celles des granulats naturels qui les composent

### **I -14 Propriétés physico mécaniques des granulats recyclés**

#### **I -14 -1 Granulométrie**

Tel que mentionné dans la description des caractéristiques de fabrication, **Quebaud (1996)** [40] affirme que la granulométrie des granulats recyclés dépend du système de concassage utilisé ainsi que de la qualité des matériaux de démolition employés pour l'élaboration des granulats. De plus, l'usure des mâchoires du concasseur peut être la cause de fluctuations importantes dans le pourcentage des particules supérieures à 80 mm. Selon des études menées en Belgique au cours des années 90 (**Gorle et Saeys, 1991**) [41], lorsque l'on procède au décohéssionnement du revêtement, le caractère discontinu plus prononcé de certaines granulométries est dû à la présence de quantités importantes de sable de la couche

Sous-jacente déblayée en même temps que le revêtement de béton. On devra donc apporter des corrections granulométriques avant d'utiliser le matériau car souvent il est trop

gros ou parfois, le pourcentage de particules passant au tamis 80  $\mu\text{m}$  excède les limites permises ou encore la répartition granulométrique sort du fuseau de spécification.

La résistance en compression du béton original aura aussi un effet sur la granulométrie de notre granulat de béton de ciment recyclé. **Richardson et Jordan (1994) [42]** ont remarqué qu'un béton de 32 MPa a produit une plus grande quantité de particules fines que celui de 80 MPa de résistance. Selon eux, c'était prévisible car la pâte de ciment du béton de 32 MPa est brisée plus facilement que celle du béton de 80 MPa. Ils ont aussi remarqué que le béton qui avait une résistance de 80 MPa a produit des particules plus anguleuses. Ce constat confirme les études antérieures menées par **Ravindrarajah et Tam (1985) [43]** qui ont démontré que le pourcentage de particules passant le tamis 5 mm est augmenté lorsque la résistance du béton diminue. Finalement, on a remarqué que la fraction grossière comprend généralement plus de fragments de béton, alors que la fraction fine contient généralement plus de pâte de ciment

Pour terminer, selon **le RILEM (1988) [38]**, il est évident que l'on peut amener à l'intérieur du fuseau granulométrique la granulométrie de notre matériau recyclé en faisant des ajustements mineurs aux ouvertures des concasseurs, C'est aussi ce qu'ont affirmé certains chercheurs belges (**Gorle et Saeys, 1991) [41]** qui ont dit que la production de granulats recyclés, en matière de granulométrie, nécessite un soin particulier mais est tout à fait réalisable. La quantité de grains très fins peut être limitée soit par un contrôle strict lors du déblai des débris de béton, soit par un pré criblage à l'entrée au concasseur. Cette quantité de particules inférieures à 5 mm aura notamment une influence sur l'absorption du granulat recyclé.

#### **I-14 -2 Densité et absorption**

La densité des granulats recyclés contenant majoritairement des morceaux de béton est légèrement inférieure à celle des matériaux traditionnels, ce qui était prévisible puisqu'il s'agit de fragments de béton dans lesquels la pâte de ciment contient un pourcentage élevé de vide occlus (souvent autour de 10 %). Même remarque concernant les granulats bitumineux : la faible densité relative du bitume (1,04) comparé à un granulat naturel (2,65) et la porosité des granulats bitumineux fait également diminuer la densité du mélange. Les valeurs trouvées par **Gorle et Saeys (1991) [41]** sont en moyenne de l'ordre de 2,16 à 2,25.

Pour ce qui est des granulats de béton de ciment recyclé, l'absorption en eau est la différence la plus marquante en ce qui concerne les propriétés physiques de ces granulats par

rapport aux granulats naturels. Ceci est dû à l'absorption d'eau par la pâte de ciment très poreuse et aux impuretés contenues dans les granulats recyclés. **Quebaud (1996) [40]** affirme qu'il existe une corrélation entre le pourcentage de pâte de ciment et le coefficient d'absorption d'eau des sables recyclés, ce qui démontre bien le caractère poreux de cette pâte de ciment. De plus, la différence d'absorption selon la grosseur du granulat nous indique que la pâte de ciment est plus importante dans la fraction fine. Un même béton de ciment donnait une absorption de plus ou moins 7 % pour des granulats recyclés de 5 à 25 mm et une absorption de 11 % pour les particules inférieures à 5 mm, donc l'absorption est plus importante dans la fraction fine.

### **I-14 -3 Masse volumique et teneur en eau**

La masse volumique des granulats recyclés est légèrement inférieure à la masse volumique des granulats originaux utilisés lors de la fabrication du béton de ciment ou de l'enrobé bitumineux, et ce, à cause de la masse volumique relativement faible de la pâte de ciment ou du bitume accolé aux granulats naturels.

De plus, **Bergeron et Martineau (1995) [44]** ont remarqué que la masse volumique des mélanges contenant des enrobés bitumineux diminue avec l'augmentation du contenu en enrobés bitumineux. Les recherches du **Turner-Fairbank Highway Research Center [39] (1999)** ont aussi démontré que la masse volumique des granulats bitumineux va dépendre en majeure partie de la densité du granulat utilisé dans l'enrobé bitumineux et de la teneur en eau de la pile de réserve. Elle sera en moyenne de 1940 à 2300 kg /m<sup>3</sup>, ce qui est légèrement inférieur aux granulats naturels.

Tout comme l'absorption, la teneur en eau des granulats recyclés est plus élevée que celle des granulats naturels ; elle augmentera avec l'augmentation de la teneur en granulats bitumineux et avec la quantité de particules fines dans le mélange (**Bergeron et Martineau 1995 [44] , Hanks et Magni 1990) [45]**).

Les informations sur la teneur en eau des piles de réserve sont très évasives, mais les indications laissent croire que la teneur en eau des granulats bitumineux augmentera avec le temps d'entreposage. Des granulats bitumineux concassés et exposés aux intempéries peuvent en effet emmagasiner une quantité importante d'eau avec le temps, des teneurs en eau de plus de 5 % ayant été mesurées sur des granulats bitumineux entreposés à l'extérieur (**Turner-Fairbank, 1999) [39]**).

#### **I -14 -4 Abrasion Los Angeles**

Il existe certaines contradictions quant l'influence de la résistance initiale du béton utilisé pour fabriquer des granulats recyclés et la résistance à l'abrasion Los Angeles. Les pertes mesurées par le **RILEM (1988) [38]** étaient comprises entre 22,4 % pour un granulats grossier (16 à 32 mm) provenant d'un béton à haute résistance et 41,4 % pour les granulats plus fins (4 à 8 mm) provenant d'un béton à faible résistance. Par contre, en moyenne, les pertes au Los Angeles variaient entre 25 et 35 % pour les granulats grossiers de 15 bétons avec des résistances très variables et concassés différemment.

D'autres études menées par **Richardson et Jordan (1994) [42]** réalisées sur des bétons de résistance de 32 et de 80 MPa ont montré des pertes respectives de 26 et 27 % au Los Angeles. Une différence de 1% est beaucoup plus faible que prévu considérant la grande différence de résistance des bétons. Le granulats original, un basalte, avait quant à lui des pertes de 17 %, ce qui indique que la pâte de ciment collée sur le granulats naturel cause une augmentation significative de la perte de l'abrasion Los Angeles. Ces chercheurs ont aussi fait plusieurs essais sur des bétons de ciment de résistance inconnue et les pertes moyennes se situent autour de 29 %, sans qu'il n'y ait d'écart majeur entre les différents résultats.

Si on considère des pertes moyennes de 29 % pour des granulats recyclés fabriqués avec des bétons de résistance inconnue, on peut dire que la différence entre ces résultats est faible. On peut donc s'attendre à ce que ces granulats passent sans problème les exigences demandées pour un usage en fondation de chaussée.

#### **I -14 -5 Conclusion relative aux propriétés physico mécaniques**

Les granulats de béton de ciment, qui sont des matériaux entièrement concassés, ont des formes très angulaires. A cause de la présence de mortier sur les granulats, les granulats de béton de ciment ont une surface plus rugueuse, une densité plus faible et une absorption plus grande que des granulats naturels de grosseur comparable. Au fur et à mesure que la grosseur des particules de béton de ciment diminue, la densité diminue et l'absorption augmente de façon proportionnelle, à cause de la plus grande proportion de mortier qui adhère ou qui constitue les particules fines. La forte absorption est particulièrement remarquable dans la fraction fine du matériau (< 5 mm) et particulièrement dans les matériaux constitués de béton avec air entraîné La fraction inférieure à 80µm est normalement minimale dans les granulats de béton de ciment

Les gros granulats de béton de ciment ( $> 5$  mm) ont de bonnes propriétés mécaniques incluant une bonne résistance à l'abrasion, à la dégradation aux sulfates. Les pertes à l'essai Los Angeles sont légèrement plus élevées que celles mesurées sur des granulats conventionnels de haute qualité alors que la dégradation aux sulfates de magnésium est comparable aux granulats conventionnels.

De leur côté, les granulats bitumineux ont des propriétés mécaniques qui dépendent largement des propriétés des matériaux qui les constituent, c'est à dire des granulats et du bitume, mais aussi du type d'enrobe recyclé, des méthodes utilisées pour les recycler et du degré de transformation nécessaire pour les préparer pour l'application à laquelle ils sont destinés (**Turner-Fairbank, 1999**) [39].

La granulométrie des fraisats ou des particules d'enrobé concassé peut varier en fonction du type d'équipement utilisé pour produire le granulat bitumineux du type de granulat naturel utilisé dans l'enrobé et aussi du fait qu'on a mélangé ou non une partie de la fondation avec l'enrobé bitumineux lors de la pulvérisation. De plus, pendant le processus de pulvérisation ou de concassage, presque tout l'enrobé bitumineux est concassé à moins de 38 mm, avec quelques particules atteignant 51 ou 63 mm. En général, la plupart des stocks de granulats bitumineux ont une granulométrie assez bien étalée, comparable à celle d'un granulat naturel avec peut être une fraction fine ( $< 5$  mm) légèrement plus importante

**Tableau I-12 : Propriétés des granulats de béton de ciment**  
(Turner-Fairbank ,1999). [39]

<b>Propriétés du granulat fabriqué à partir de béton de ciment</b>	<b>Valeur</b>
<b>Densité</b>	
-Gros granulats (>5mm)	<b>2.2 – 2.5</b>
-Granulats fins (<5mm)	<b>2.0 - 2.3</b>
<b>Absorption (%)</b>	
-Gros granulats (>5mm)	<b>2 – 6</b>
-Granulats fins (<5mm)	<b>4 – 8</b>
<b>Perte à l'abrasion :</b> « Los Angeles » (%)	
-Gros granulats (>5mm)	<b>20 – 45</b>
<b>Désagrégation aux sulfates de magnésium</b> (%) :	
-Gros granulats (>5mm)	<b>≤ 4</b>
-Granulats fins (<5mm)	<b>≤ 9</b>

## **I -15 Propriétés des bétons à base d'agrégats recyclés**

### **I -15 -1 Influence des granulats de béton de ciment recyclé dans la fabrication des bétons de ciment**

Les bétons de ciment recyclés sont peu utilisés dans les bétons de ciment. Ce type de granulat est pourtant un produit de démolition très répandu. De plus, les nouveaux bétons comportant ces matériaux recyclés sont encore peu étudiés. Pour faire un béton avec de bonnes résistances mécaniques et une bonne durabilité. Il est essentiel de respecter quelques règles de fabrication, comme d'utiliser un bon granulat, une quantité d'air suffisante pour résister aux cycles de gel/dégel, un rapport E/C adéquat.

Comme vu précédemment, l'utilisation de bons granulats est essentielle dans la confection d'un bon béton. Ce sont eux qui vont régir une bonne partie de la résistance mécanique. Dans notre cas, mentionnons qu'il faut utiliser les meilleurs granulats recyclés possibles pour ne pas affaiblir le nouveau béton.

Une étude effectuée par **Quebaud [1996] [40]**, à l'université d'Artois, démontre que les mélanges fabriqués avec ce type de granulat aboutissent à des bétons plus exigeants en eau et un peu moins résistants mécaniquement que les bétons classiques.

Un béton doit posséder de bonnes résistances mécaniques, une qualité importante pour les bétons. D'après une étude menée par **Bérubé et al. [1998] [46]**, les bétons fabriqués avec des granulats de béton recyclé obtiennent de bonnes résistances mécaniques. Ces nouveaux bétons peuvent atteindre des résistances à la compression équivalente à celle d'un béton normal, soit des résultats de 30 à 40 MPa. Bien sûr, plus la quantité d'air entraîné et le rapport E/C augmentent dans un mélange, plus la résistance mécanique va baisser.

L'autre facteur pouvant influencer la performance d'un béton est sa quantité d'air entraîné dans le mélange. Cette quantité est très importante au niveau de la durabilité du béton face au gel. Il faut donc en entraîner suffisamment dans le mélange, soit de 5 à 8 % selon son utilisation. D'après **Bérubé et al. [1998][46]**, il est plus difficile d'entraîner de l'air dans un mélange comportant des granulats de béton recyclé. Il faudra alors utiliser des mesures pour remédier à ce problème, comme par exemple utiliser un agent entraîneur d'air en quantité appréciable pour que le béton résiste mieux au climat du gel/dégel.

De plus, d'après ces mêmes auteurs, les prismes de béton conçus avec du béton recyclé et sans air entraîné réagissent assez mal aux cycles de gel/dégel, soit l'essai d'expansion ASTM C666. Les prismes ont tendance à prendre de l'expansion et à se fissurer facilement. Notons que l'utilisation dans le mélange, d'un béton recyclé avec air entraîné mène à de meilleurs résultats. Ces prismes ainsi construits se fissurent moins et prennent beaucoup moins d'expansion.

Pour conclure, d'après **Quebaud [1996] [40]**, les bétons conçus avec des granulats de béton de ciment recyclé présentent des caractéristiques bien particulières si on les compare aux bétons classiques. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

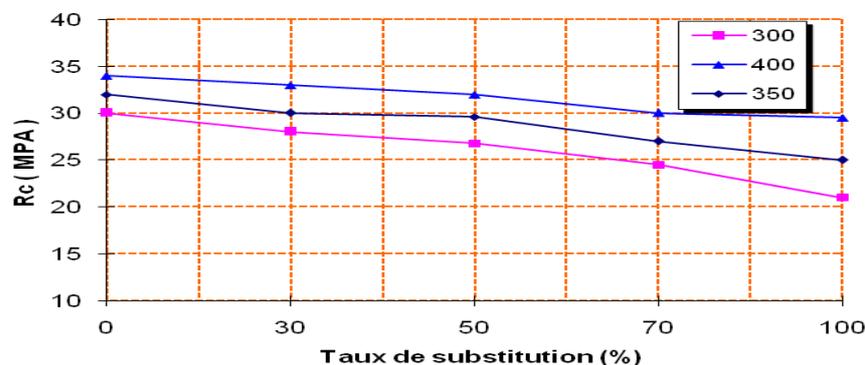
- Des résistances à la compression et à la traction inférieures d'environ 10 à 30 %;
- Des modules élastiques inférieurs d'environ 15 à 40 %;
- Une moins bonne adhérence entre la pâte de ciment et le granulat.
- Des retraits plus élevés de l'ordre de 50 à 100 %.

## I-16 Essai de la résistance à la compression :

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles que la durabilité et la perméabilité puissent en effet être plus importantes. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus la résistance du béton est presque universellement utilisée lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Hachana [47] a trouvé comme présente les figures I-14

- ✓ Pour les bétons à base des agrégats issus du concassage de béton de démolition, avec un taux de substitution plus de 30% une chute de résistance excède :
  - ❖ 11% pour un dosage de ciment de 300 kg /m<sup>3</sup>,
  - ❖ 8% pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>
  - ❖ 6% pour un dosage de 400 kg /m<sup>3</sup>
- ✓ Pour les bétons à base des agrégats de concassé de brique dont le taux de substitution dépassant 30% une chute de résistance de plus de :
  - 21% pour un dosage de ciment de 300 kg /m<sup>3</sup>,
  - 14% pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>
  - 12% pour un dosage de 400 kg /m<sup>3</sup>



*Figure I-8: Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats de béton de démolition pour des dosages de ciment respectifs 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup>.*

**Benaichi [48] à trouvé**

Les bétons recyclés présentent des résistances à la compression plus faibles que les bétons ordinaires: une chute de 8 à 27% pour les bétons de sable de béton concassé et de 14 à 33% pour les bétons de brique concassé.

**Oubibet et Slama et Benaichi [49] ont trouvé :**

- ✓ Pour les bétons à base des sables issus du concassage de béton de démolition, avec un taux de substitution plus de 25% une chute de résistance excède :
  - ❖ 10 % pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>
  - ❖ 9 % pour un dosage de 400 kg/m<sup>3</sup>
  
- ✓ Pour les bétons à base des sables de concassé de brique dont le taux de substitution dépassant 25% une chute de résistance de plus de :
  - ❖ 17% pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>
  - ❖ 11% pour un dosage de 400 kg/m<sup>3</sup>

## I-17 Conclusion

L'étude bibliographique menée a un double intérêt :

Elle met en évidence la différence entre les bétons ordinaires et ceux qui vont faire l'étude de notre part (béton à base d'agrégat recyclé).

Dans cette revue bibliographique, notre objectif était de définir les différentes propriétés du constituant du béton (ciment, ajout, agrégat recyclé), d'où on peut tirer les conclusions suivantes :

Concernant les ajouts minéraux, La présence des ajouts minéraux en milieu cimentaire contribue à la modification de la cinétique d'hydratation, en offrant leur surface pour la germination des hydrates, et causant ainsi la modification de la microstructure des pâtes de ciment hydraté.

L'effet d'ajouts minéraux, dans les mélanges de ciments (bétons), est généralement fonction de leur pourcentage et de leur finesse.

Concernant les agrégats recyclés, nous avons donc mené à une étude qui porte sur la caractérisation des matériaux issus de la démolition vis-à-vis de leurs propriétés physico-mécaniques. En suite l'influence de ces matériaux sur les propriétés mécaniques ainsi que la durabilité des nouveaux bétons. Sur cet aspect également, les résultats obtenus par plusieurs chercheurs sur les bétons à base d'agrégats de démolition apparaissent prometteurs, mais des essais approfondis sur le béton vont s'imposer pour tester un comportement qui est primordial en matière d'utilisation comme béton de structure.

*CHAPITRE II*  
*MATERIAUX ETUDIÉS*  
*ET METHODES*  
*EXPERIMENTALES*

## II Matériaux étudiés et méthodes expérimentales

### II -1 Introduction

L'objet de ce chapitre est la présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale.

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats fins recyclés (sable) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons. En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de béton et brique concassée (fin) comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, avec des taux de substitution de (50% et 100%) et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires (témoin).

### II -2 Matériaux utilisés

#### II -2- 1 Le ciment

Tous les bétons et mortiers ont été fabriqués avec un ciment provenant de la cimenterie de Hammam Dalaa (M'sil) à savoir le CPA-CEM I 42.5 ES dont les caractéristiques sont données au Tableau II.1

**Tableau II -1: Caractéristiques des ciments**

<b>Nomination</b>	<b>CPA-CEM I 42.5 ES</b>
<b>Caractéristiques</b>	
<b>Masse Volumique Apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0.895
<b>Masse volumique Absolue (g/cm<sup>3</sup>)</b>	3.10
<b>Surface spécifique (BLAINE) (cm<sup>2</sup>/g)</b>	4370
<b>Temps de début de prise (heures)</b>	3h : 30
<b>Temps de fin de prise (heures)</b>	5h
<b>La résistance à la compression à 28 jours (MPA)</b>	44.60

Les compositions chimiques et minéralogiques de ces ciments sont présentées aux tableaux II.2 et II.3

**Tableau II- 2: Composition chimique des ciments**

Composition chimique (%) CPA-CEM I 42.5 ES												
Type de ciment	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Chaux Libre	Perte au feu	Résidu insoluble
CPA	22.17	4.53	5.04	64.55	1.02	1.34	0.00	0.42	0.21	1.09	0.94	0.80

**Tableau II-3: Composition minéralogique des ciments.**

Composition minéralogique (%)				
Type de ciment	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
CPA-CEM I 42.5 ES	51.20	21.16	3.10	12.42

## II -2 -2 Les granulats (naturel et recyclés)

Pour le besoin de l'étude, on a jugé important d'utiliser deux sources de matériaux de démolition (béton de ciment concassés) et (déchet de brique concassés) ;

### II-2 -2 -1 Le sable

- ❖ Sable naturel (SN) 0/5 provenant de Oued-Lioua (Biskra).
- ❖ Sable recyclé (SDB) 0/5 produit par le concassage de béton de ciment d'un vieille immeuble situés à BB Arréridj.
- ❖ Sable recyclé (SDBR) 0/5 produit par le concassage de la brique cuit de la briqueterie des BB Arréridj.

Le concassage des deux types de sables recyclés était assuré après tirage des impuretés par un marteau.

### II -2 -2 -2 le gravier

Nous avons utilisé des pierres concassées de la région de BB Arreridj, la figure III.4 Présentent les résultats de l'analyse granulométrique

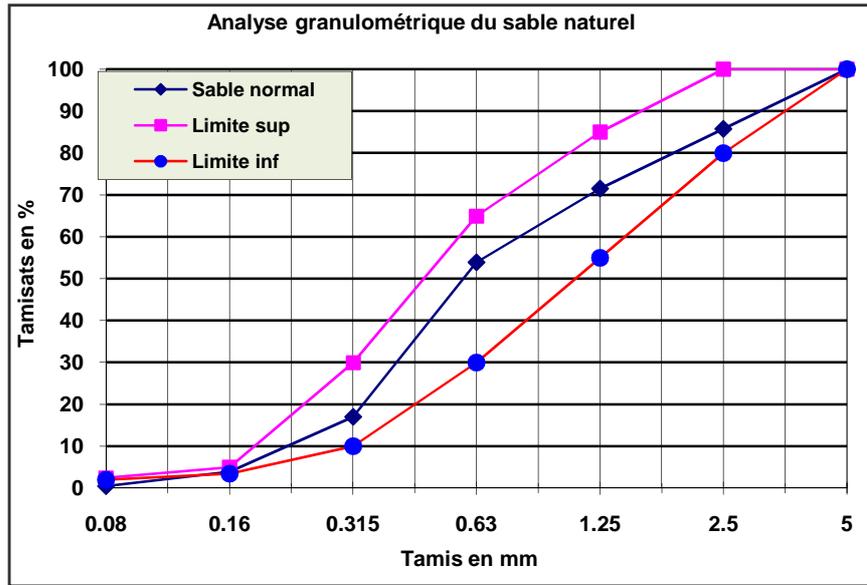


Figure II-1: Courbe granulométrique du sable naturel (SN)

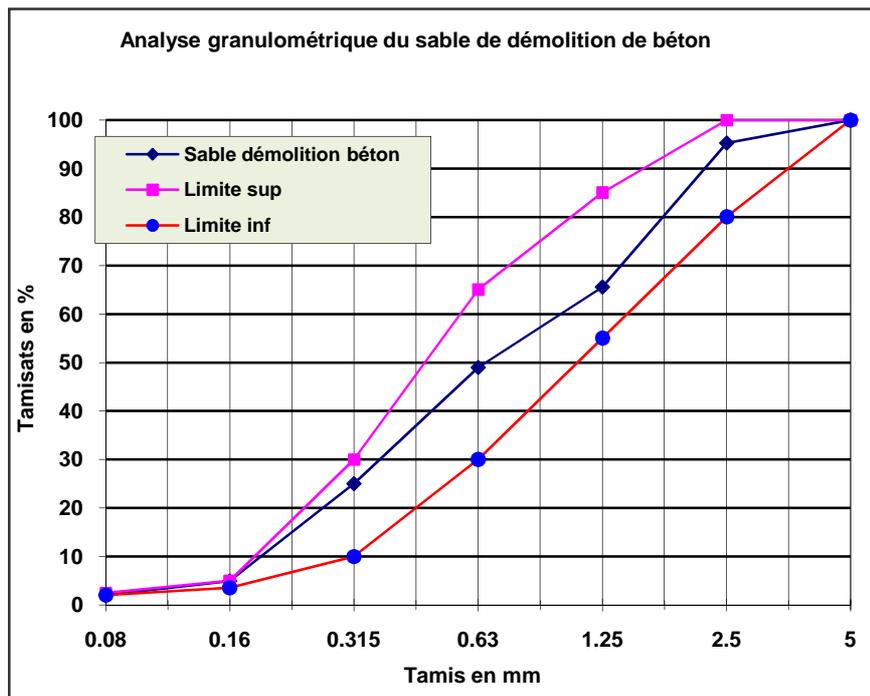


Figure II-2 : Courbe granulométrique du sable recyclé (SDB)

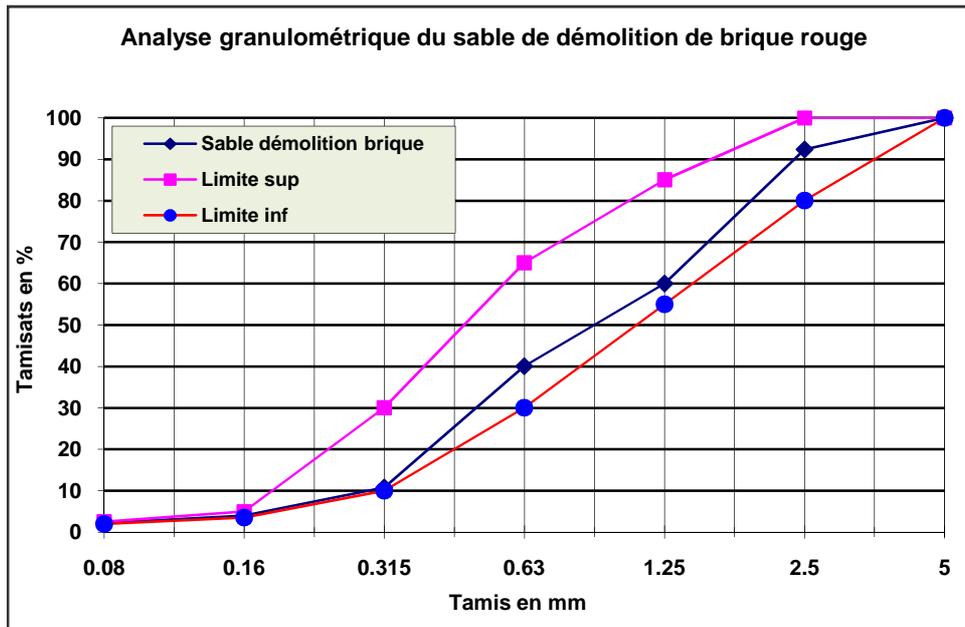


Figure III-3: Courbe granulométrique du sable recyclé (SDBR)

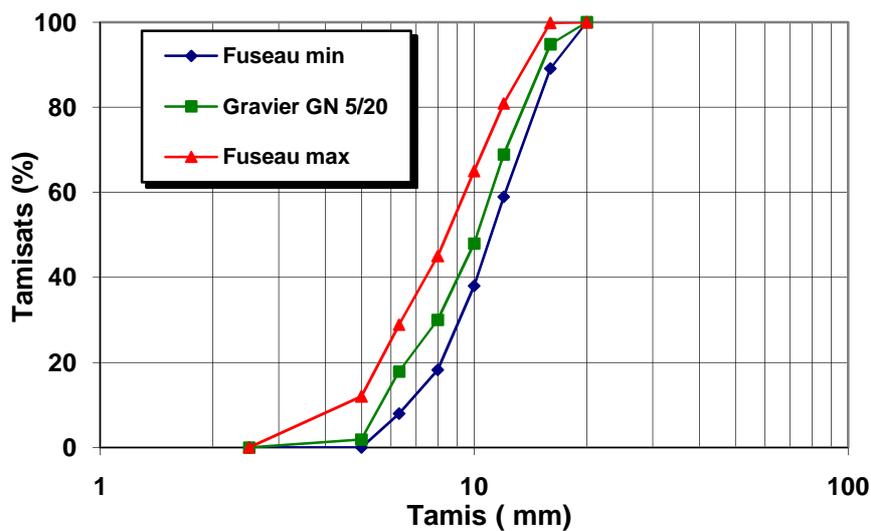


Figure II-4: Courbe granulométrique des graviers

### **II -2 -3 Granulométrie et formes de grains :**

L'étude granulométrique à été réalisée conformément à la norme NF EN 933-1 [Normes AFNOR], qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimensions inférieure ou égales à 80mm, ou le gravier et le sable passant à travers une série de maille décroissante dont on pèse le refus pour chaque tamis. Les courbes granulométriques des graviers et sables utilisée sont présentés dans les figures II.1, II.2, II.3. Nous remarquons d'après ces courbes granulométriques que les différents sables utilisés sont acceptables pour la confection du béton hydraulique.

Le module de finesse est de 2.60, 3.48, 2.75 respectivement pour les sables naturel (SN), le sable recyclé (SDB) et le sable recyclés (SDBR).



*Photo II- 1: Sable recyclé (SDB) 0/5 produit par le concassage de béton.*



*Photo II-2: Sable recyclé (SDBR) 0/5 produits par le concassage des déchets de briques*

**II-2 -4 Masses volumiques :**

Les masses volumiques apparentes et spécifiques des différents granulats étudiés naturels ou recyclés sont mesurées d'après la norme **NF P 18-554 et 555** [Normes AFNOR], les résultats sont résumés dans le tableau II-4

**Tableau II-4 : Masses volumiques des granulats étudiés**

	<b>GN</b>	<b>SN</b>	<b>SDB</b>	<b>SDBR</b>
<b>Masse volumique apparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1360	1670	1310	1220
<b>Masse volumique absolue (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2600	2400	2300	2200

On remarque que la masse volumique des granulats recyclés est plus faible que celle des granulats naturels, ce qui est confirmé par les résultats trouvés par d'autres chercheurs [50, 51] ou en moyenne une chute de 10% de la masse volumique des granulats de béton concassés et de 18% pour les granulats de brique concassés par rapport aux granulats originaux a été observée. Cette diminution est principalement due à la masse d'ancien mortier de faible densité recouvrant les particules des granulats de béton concassé, tandis que la chute de masse volumique des granulats de brique est très remarquable et ses granulats peuvent être classés comme granulats légers.

**II -2 -5 Absorption d'eau**

On détermine un coefficient d'absorption qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22° C à la masse sèche de l'échantillon conformément à la norme **NF P 18-555** [Normes AFNOR].

Les résultats de cet essai sur les granulats étudiés sont portés au tableau II-5.

**Tableau II-5: Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés**

	<b>GN</b>	<b>SN</b>	<b>SDB</b>	<b>SDBR</b>
<b>Abs %</b>	0.6	4.65	15.38	17.5

Nous remarquons que les sables recyclés absorbent beaucoup plus que les sables naturels. Cela du à la présence d'ancien mortier dans les granulats de béton concassé. Par contre, il semble que pour les granulats de brique cala du à la porosité élevée de ces derniers.

## II -3 Propreté des granulats

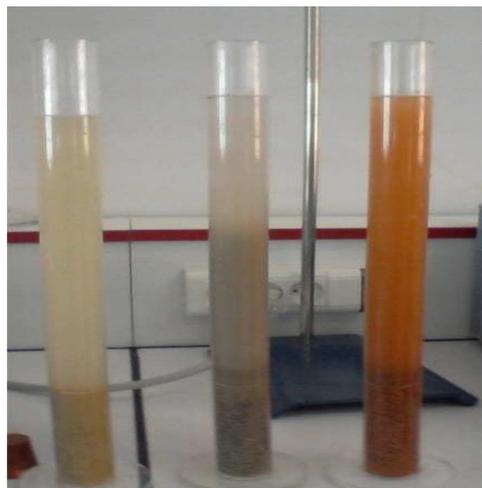
### II -3 -1 Equivalent du sable (propreté)

Le but de cet essai est de mettre en évidence la propreté du sable. L'essai a été fait conformément à la norme **NF P 18-598** [Normes AFNOR] et les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau II -6

**Tableau II -6: Pourcentages d'impureté dans les granulats fin**

	SN	SDB	SDBR	Critère de la norme
Equivalent de sable (ESP)	73.6	74.45	88.70	$\geq 70$ (65 et 60 pour les sable concassé ou broyé)

On remarque une augmentation de l'équivalent de sable des bétons recyclés de 10 à 15% respectivement pour les sables (SDB) et (SDBR) par rapport à celui du sable naturel, ceci confirme les résultats d'autres chercheurs ou l'augmentation était de 10% pour recyclés de béton démolis et de 18 à 20 pour les sables recyclés de la brique concassé. [50, 52].



*Photo II-3: Equivalent du sable*

### II -3 -2 Compacité et porosité des granulats

La compacité est définie par le rapport du volume de matière pleine au volume total. Alors que la porosité (P) est par définition le complément à l'unité de la compacité.

«  $P = 1 - C$  ». L'essai est réalisé selon la norme **NFP18-554** [Normes AFNOR]

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II-7.

**Tableau II-7: Compacité et porosité des granulats fins**

	<b>SN</b>	<b>SDB</b>	<b>SDBR</b>
<b>Compacité (%)= MVA/MS</b>	<b>69.58</b>	<b>56.96</b>	<b>53.43</b>
<b>Porosité (%) : <math>P=1-C</math></b>	<b>30.42</b>	<b>43.44</b>	<b>46.96</b>

**MVA : Masse volumique apparente.**

**MS : Masse volumique spécifique.**

La diminution de compacité par rapport au sable naturel est de l'ordre de 18%, pour le sable de béton concassé (SDB) et de 34% pour le sable de la de la brique concassé (SDBR)

La compacité du sable pour béton hydraulique selon **Dreux [53]** doit être entre 60 et 70%.

Les résultats ci-dessous montrent que les sables recyclés (SDB et SDBR) sont assez peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel ce qui peut engendrer une ségrégation du béton.

### II -3 -3 Eau de gâchage

L'eau utilisée lors de la fabrication des mélanges de béton est celle provenant du robinet exempt d'impuretés. Il s'agit d'une eau potable. Sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées, quoique le béton obtenu à une température assez constante d'un mélange à l'autre, de 18 à 20°.

### Analyses physico-chimiques

Le tableau suivant rassemble les résultats obtenus concernant les analyses physico-chimiques

**Tableau II-8 Analyses physico-chimiques de l'eau de gâchage**

Paramètres physiques	Méthodes utilisées		Normes
PH	pH mètre	6,6	6,5-8,5
Conductivité $\mu\text{s/cm}$		1250	2800
Turbidité NTU	Turbidimètre	1.44	
Température °C		20	20 – 30
Chlore total mg/L	Photo-Flex	244.95	0,05-0,5
Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) mg/l	Photo-Flex	< 0, 15	Concentration max = 0,1
Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) mg/l	Photo-Flex	< 1.8	Concentration max =50
phosphates mg/l	Photo-Flex	< 0,5	0,5-25,00
Magnésium mg/l	Photo-Flex	35	5-215
Sulfate mg/l	Photo-Flex	151	25-250
Dureté TH °F	Photo-Flex	6.56	15-50

### II -3 -4 Ajouts minéraux

#### II -3 -4 -1 Le Laitier

Dans notre étude on a utilisé le laitier granulé de haut fourneau de complexe sidérurgique d'El-Hadjar, Les analyses chimiques sont effectuées au niveau de laboratoire de la cimenterie de AIN-TOUTA.

#### Analyse du laitier

**Tableau II -9: Composition chimique du laitier.**

Les composants	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	S
(%)	40,80	5,2	0,53	43,01	6,4	3,02	0,8

La qualité du laitier est appréciée par deux modules

**Tableau II -10: Module de basicité (Mb) et le module d'activité (Ma)**

Module	Formule	Valeur	Remarque
Mb	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$	1,074	Mb>1 donc le laitier est basique
Ma	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	0,127	—

**Propriétés physiques de laitier**

- Masse volumique apparente =  $1080 \text{ kg/m}^3$ .
- Masse volumique absolue =  $2733 \text{ kg/m}^3$ .
- Surface spécifique =  $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

*Photos II-4: laitier forme de poudre***II -3 -4 -2 Le filler calcaire**

Les fillers proviennent de la carrière géante d'El Khroub, près de Constantine. Ils sont de nature calcaire. La composition chimique est représentée au-dessous.

**Tableau II-11: Composition chimique d'un filler calcaire.[ laboratoire de la cimenterie d'AIN-TOUTA**

<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>NaCl</b>	<b>PF</b>
0.58	0.02	0.06	55.80	0.06	0.08	0.56	43.53

**Propriétés physiques de filler calcaire**

- Masse volumique apparente =  $1530 \text{ kg/m}^3$ .
- Masse volumique absolue =  $2720 \text{ kg/m}^3$ .
- Surface spécifique =  $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

*Photos II-5: filler calcaire forme de poudre*

### II -3 -4 -3 Fumée de silice

Elle est à base de microsilice provenant de la société «GRANITEX» sous forme de poudre grise. Cette Fumée de silice est désignée par le nom «MEDAPLAST HP». Ses caractéristiques physiques sont présentées au tableau II-12

**Tableau II-12: Caractéristiques physiques de la fumée de silice**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.5
Densité absolue (g/cm <sup>3</sup> )	1.87
Finesse (cm <sup>2</sup> /g)	20470



*Photos II-6: Fumé de silice forme de poudre*

### II -3 -4 -4 Pouzzolane

La pouzzolane provient de la région de Beni Saf à l'ouest de l'Algérie.

**Tableau II-13: Caractéristiques physiques de la pouzzolane.**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.92
Densité absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.48
Finesse (cm <sup>2</sup> /g)	3800



*Photos II-7: pouzzolane forme de poudre*

## **II -4 Mélanges**

Dans le cadre de cette étude le mélange :

Consiste à l'étude des bétons qui dans lequel on a utilisé deux types de sable recyclés :

SDB: sable de démolition de béton concassé

SDBR: sable de démolition de brique concassée

SN: sable naturel comme témoin.

Qui sont utilisées pour l'étude des bétons le taux de substitution en sable recyclés (béton de démolition), (déchet de brique concassé) : 50%. Le dosage en ciment :  $350 \text{ kg/m}^3$  pour le ciment CRS 42.5.

## **II -5 Etude des bétons**

Consiste à l'étude des bétons avec deux types de sables recyclés et un sable naturel comme témoin avec les mêmes taux de substitution et le dosage en ciment est  $350 \text{ kg/m}^3$  avec ciments CRS 42.5.

### **II -5 -1 Confection et cure des éprouvettes**

Des moules cylindres ( $10 \times 20 \text{ cm}^3$ ) ont été utilisés pour les essais de compression, des prismes ( $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$ ) pour les essais de flexion et des cylindres ( $16 \times 32 \text{ cm}^3$ ) pour les essais de traction par fendages. La confection des éprouvettes est réalisée conformément à la modalité des normes **NF P 18-404 et 405**.

La conservation des éprouvettes a été à l'air mais couverts par du polyane afin d'éviter l'évaporation de l'eau de gâchage. Après démoulage des éprouvettes à 24 h, la conservation se fait dans l'eau ( 20C° ).

Les mélanges de béton ont été réalisés avec un cône d'abrams de 50 à 70 mm qui définit la classe de béton plastique indiquée par la (Norme **NF P 18 415**). Tout en contrôlant la plasticité du béton. La quantité de ciment utilisée pour tous les mélanges est de 350 kg/ m<sup>3</sup>.

Le tableau II-14 présentent la formulation complète des différentes mélanges de béton pour des dosages de ciment respectifs de 350 kg /m<sup>3</sup> et pour un affaissement constante compris entre 5 et 7cm.

Notons que le calcul de la composition du béton a été fait par la méthode des « volumes absolus » élaborée par le professeur **B.Scramtaïv**.

**Tableau II -14: composition des mélanges de béton pour Aff=5-7cm avec un dosage de ciment C=350 kg/m<sup>3</sup>**

Proportion SN/SDB/SDBR	Les quantités des matériaux utilisées pour 1 m <sup>3</sup> de béton			
	Ciment kg/m <sup>3</sup>	Eau l/m <sup>3</sup>	Pierres concassés kg/m <sup>3</sup>	Sable kg/m <sup>3</sup>
100/0/0	350	195	1200	657
50/50/0		235		657
50/0/50		250		657

## II -5 -2 Malaxage du béton

Il est essentiel que les constituants de base (C;S;G et E) soient mélangés correctement afin de produire un béton frais dont la surface de tous les granulats sera enrobée de pate de ciment et qui sera alors homogène à grande échelle et possédera par conséquent des propriétés uniformes.

Le malaxage est effectué dans des malaxeurs ou à la main. Dans notre cas on a utilisé deux types de malaxage :

### **II -5 -2 -1 Malaxage à la main**

Une surface dure, propre et non absorbante. Le ciment est ensuite déposé sur les granulats et les matériaux secs sont mélangés en les retournant d'un bout à l'autre de la surface et en les recoupant avec la pelle jusqu'à ce que le mélange semble uniforme. Il faut retourner le mélange au moins trois fois. L'eau est ensuite ajoutée progressivement afin qu'elle ne s'écoule pas vers l'extérieur en entraînant le ciment hors de l'air de gâchage. Le mélange est retourné au moins trois fois jusqu'à ce qu'il ait une consistance et une couleur uniformes. Durant le malaxage à la main, il est impératif qu'aucune impureté provenant du sol ou de tout autre matériau ne soit mélangé au béton.

### **II -5 -2 -2 Malaxeurs à béton**

Les malaxeurs à béton doivent, non seulement assurer un malaxage uniforme des constituants du béton, mais ils doivent également décharger le béton sans modifier cette homogénéité.

## **II -6 Programme des essais**

### **II -6 -1 Mesure de la consistance (Norme NF P 18 415)**

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche ;
- Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm.



*Photo II-8: le cône d'Abrams*

### II -6 -2 Essai de la résistance à la compression :

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme **NF P 18-406**. La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cylindrique de  $(10 \times 20) \text{ cm}^3$  pour chaque mélange, soit à 28 jour et 90 jour de cure



*Photo II-9: Eprouvettes cylindrique  $(10 \times 20) \text{ cm}^3$*

### II -6 -3 Essai de traction par flexion

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion conformément à la norme **NF P 18-407**. L'essai s'effectue sur une machine de flexion sollicitant l'écrasement d'éprouvettes prismatiques  $(10 \times 10 \times 50) \text{ cm}^3$  à une flexion directe .



*Photo II-10: Appareil de traction par flexion*

#### II -6 -4 Essai sclérométrique

Le but de l'essai est de permettre l'obtention rapide de la résistance du béton en fonction de l'indice de rebondissement mesuré au moyen d'un scléromètre appliqué sur la surface du béton. L'essai a été réalisé conformément à la norme **NF P 18 – 417** sur des éprouvettes ayant l'âge de 28 jours et cela juste avant l'essai de compression par écrasement à la presse.

#### II -6 -5 Essai d'auscultation sonore : ( NF P 18-418 )

L'essai consiste à émettre une onde dans une éprouvette de béton et de mesurer le temps et la vitesse de cette onde en parcourant une distance connue, on peut par la suite déduire graphiquement la résistance à la compression du béton.

#### II -6 -6 La résistance à la traction des bétons

L'essai de fendage est exécuté selon la norme **NF P 18-408**. L'éprouvette cylindrique est comprimée le long de deux génératrices diamétralement opposées comme la Photo II-11. Pour éviter une rupture locale en compression au niveau des génératrices de chargement et répartir la charge appliquée, deux bandes minces en contreplaqué neuf d'une largeur de 10 mm, d'une épaisseur de 4 mm et d'une longueur supérieure à la longueur de la ligne de contact avec l'éprouvette, sont placées entre les plateaux de chargement et l'éprouvette. Un des avantages de l'essai de fendage est que le même type d'éprouvette est utilisé à la fois pour les essais de compression et de traction.



*Photo II-11: Essai de fendage*

**II -6 -7 Mesure du retrait [NF P15-433]**

Les mesure de retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques confinent à la norme **NF P 15-433**. Les éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24h, places dans un rétractomètre (photo) mon d'un comparateur qui permet le mesure du retrait à tout moment.

La conservation des éprouvettes est fauté à l'air libre, et à l'eau des la libration à une température de 25 à 30C°et en humidité relative entre 60 à 70°.

On compare, à différents temps  $t$ , la variation de longueur d'une éprouvette 8 x 8 x 28 cm<sup>3</sup>, par rapport à sa longueur à un temps  $t_0$  pris pour origine.



*Photo II-12: éprouvette pour l'essai de retrait*

Un déformètre tel que celui montré sur la Fig III-13 Équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0,001 mm. Une éprouvette de référence de 280 mm de Longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre



*Photo II-13: Déformètre, éprouvette étalon*

## **II -7 Conclusion :**

Le travail présenté dans ce chapitre traite séparément les caractéristiques des matériaux de bases utilisés dans l'étude expérimentale.

Nous avons pu remarquer après l'analyse granulométrique que le sable à base de granulats recyclés est un peu trop grossier.

L'essai «équivalent de sable» a prouvé que le sable à base de granulats ordinaires et granulats recyclés sont propres.

Vu les résultats obtenus, les deux genres de granulats ordinaires et recyclés satisfaisaient aux conditions requises pour être utilisés dans la confection des bétons hydrauliques.

*CHAPITRE III*

*ANALYSE ET*

*DISCUSSION DES RESULTATS*

## III Analyse et discussion des résultats

### III -1 Introduction

Nous allons exposer dans ce chapitre les différents résultats expérimentaux des essais effectués sur les bétons à base d'agrégat naturel ou recyclé à l'état frais et durcis, suivis par des discussions et des interprétations basées sur la littérature.

-La première partie concerne les essais effectués sur la consistance des bétons à base d'agrégat naturel et recyclé avec différents types d'ajouts (pouzzolane, fillers calcaires, fumées de silice et laitier) à l'état frais.

-La deuxième partie concerne les essais effectués sur nos échantillons à l'état durcis concernant la résistance à la compression, résistance à la flexion, résistance à la traction, résistance à la température et coefficient de ramollissement et retrait (l'air et eau);

### III -2 Propriétés du béton à l'état frais

#### III -2- 1 Consistance des bétons

Pour déterminer les valeurs de la consistance on a utilisé le cône d'Abrams pour les échantillons des bétons qui marque un affaissement (5-7) cm, autrement dit concernant les bétons plastique et peu plastique. Les résultats sont représentés sur le tableau (III.1).



*Photo III-1: L'essai d'affaissement au cône d'Abrams*

**Tableau III -1: Quantité d'eau réellement utilisée pour un affaissement constant avec un dosage 350 kg/m<sup>3</sup>.**

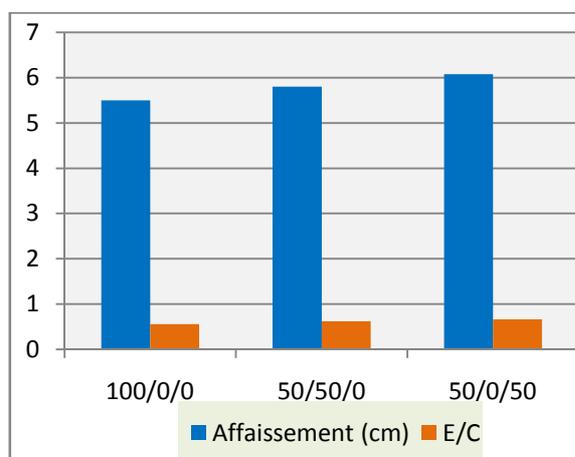
Type de béton	E/C	Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> )	Affaissement mesuré (cm)	Affaissement choisi (cm)	Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l)
100/0/0	0.56	210.00	5.50	5-7	0.00
50/50/0	0.62	216.00	5.80		6.00
50/0/50	0.66	230.00	6.08		20.00

**Tableau III -2: Consistance des bétons à base des agrégats naturels pour un dosage 350kg/m<sup>3</sup>.**

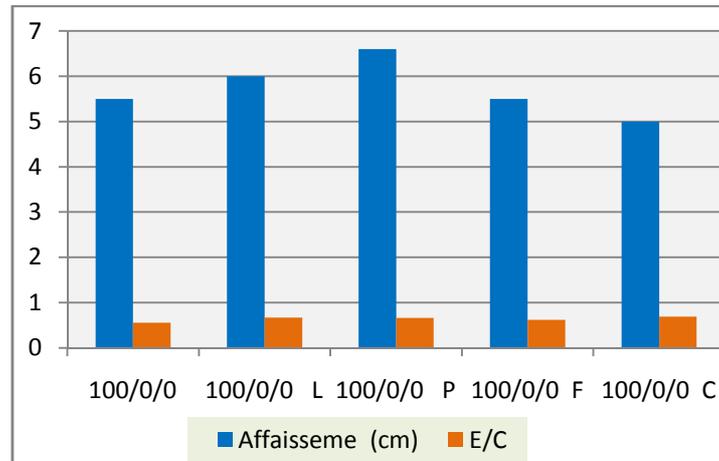
Type de béton	E/C	Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> )	Affaissement mesuré (cm)	Affaissement choisi (cm)	Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l)
100/0/0	0.56	210.00	5.50	5-7	0.00
100/0/0 L	0.67	220.00	6.00		10.00
100/0/0 P	0.66	234.00	6.60		24.00
100/0/0 F	0.62	240.00	5.50		30.00
100/0/0 C	0.69	230.00	5.00		20.00

**Tableau III -3: Consistance des bétons à base des agrégats recyclés pour un dosage 350kg/m<sup>3</sup>**

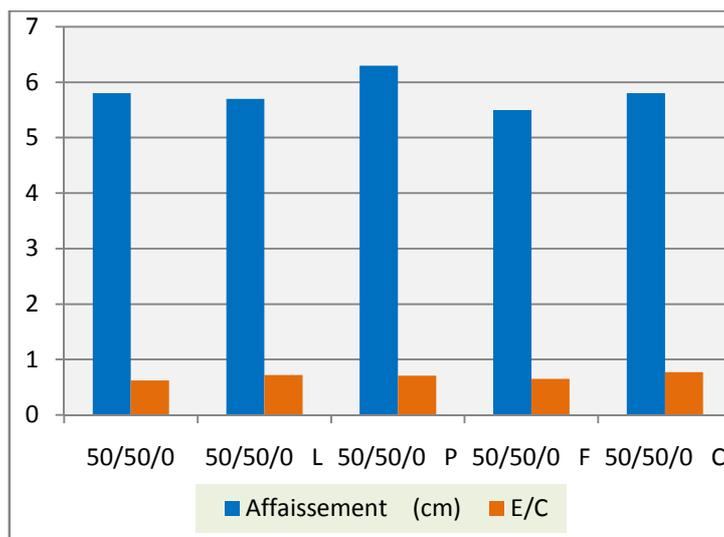
Type de béton	E/C	Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> )	Affaissement mesuré (cm)	Affaissement choisi (cm)	Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l)
100/0/0	0.56	210.00	5.50	5-7	0.00
50/50/0	0.62	216.00	5.80		6.00
50/0/50	0.66	230.00	6.08		20.00
<b>1<sup>ère</sup> série</b>					
50/50/0 L	0.67	227.60	5.70	5-7	17.60
50/50/0 P	0.71	247.40	6.30		37.40
50/50/0 F	0.77	268.22	5.50		58.22
50/50/0 C	0.72	251.30	5.80		41.30
<b>2<sup>ème</sup> série</b>					
50/0/50 L	0.68	236.98	5.20	5-7	26.98
50/0/50 P	0.74	260.42	6.00		50.42
50/0/50 F	0.78	273.44	6.60		63.44
50/0/50 C	0.74	259.10	6.20		51.10



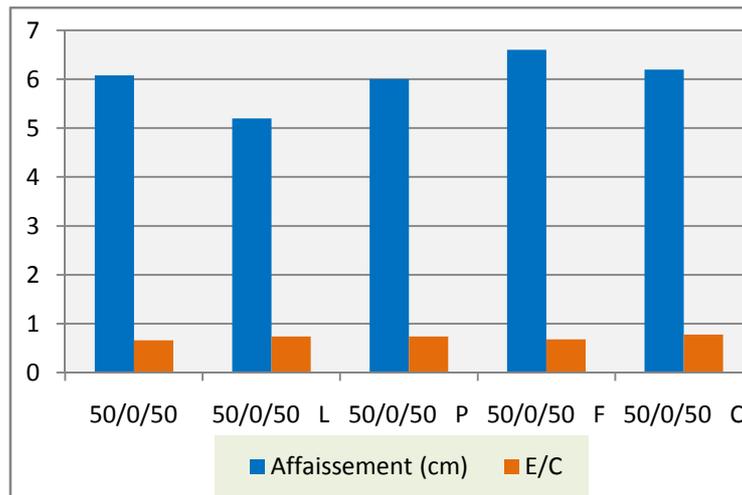
**Figure.III -1: Evolution du rapport E/C et l'affaissement des bétons en fonction du taux de substitution avec un dosage 350kg/m<sup>3</sup>**



**Figure.III -2: Evolution du rapport E/C et l'affaissement des bétons à base des agrégats naturels pour différents ajouts minéraux pour un dosage de  $350\text{kg/m}^3$**



**Figure.III -3: Evolution du rapport E/C et l'affaissement des bétons de sable de béton concassé pour différents ajouts minéraux pour un dosage de  $350\text{kg/m}^3$**



**Figure.III -4: Evolution du rapport E/C et l'affaissement des bétons de sable de brique concassé pour différents ajouts minéraux pour un dosage de 350kg/m<sup>3</sup>**

D'après les tableaux (III-1, III-2 et III-3) et les figures (III-1, III-2, III-3 et III-4), on remarque que : L'affaissement

- ❖ Les affaissements mesurés par le cône d'Abrams des bétons frais avec agrégat naturel sont inférieurs aux ceux des bétons avec agrégat recyclé et agrégat de démolition de brique et cela pour les dosages des ciments 350 Kg /m<sup>3</sup>.
- ❖ E/C augment avec les taux de substitution des agrégats recyclés.
- ❖ Les bétons à base de sable démolition de brique et béton concassé absorbent beaucoup d'eau (10% pour le sable de démolition de brique concassé et 3% pour le sable de démolition à 50% recyclés).
- ❖ Les consistances des bétons recyclés avec ajouts minéraux actifs et inertes.

### III -3 Propriétés du béton à l'état durci

#### III -3 -1 Résistance à la compression

Les mesures de résistance à la compression à différentes échéances (28 et 90 jours) été faites sur des éprouvettes cylindrique de (10X20) cm<sup>3</sup>. Après le remplissage des moules par des bétons frais ils sont compactés mécaniquement à l'aide d'une table vibrante. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de 20°C.

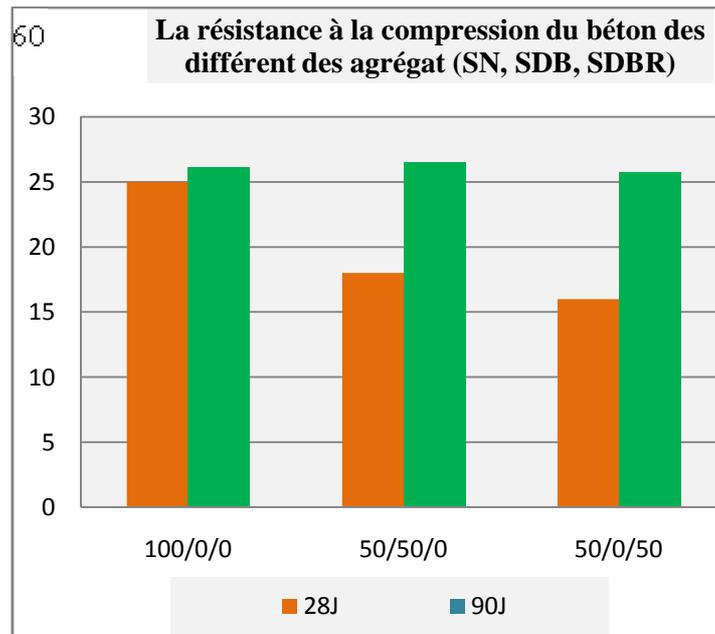
Le tableau III-4 et III-5 Regroupe les résultats de la résistance à la compression à 28 et 90 jours des différents effets des ajouts minéraux sur les agrégats naturels et bétons à base des sables de démolitions.

**Tableau.III -4: Résistance à la compression du béton à base d'agrégat naturel avec différents ajouts minéraux**

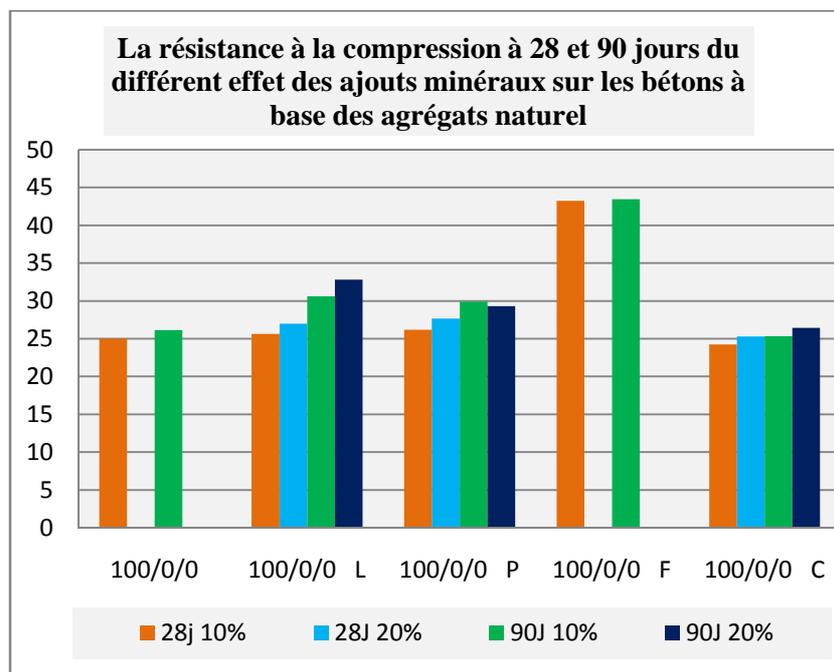
Type de béton	Résistance à la compression en MPa			
	28j		90j	
	10%	20%	10%	20%
<b>100/0/0</b>	<b>25</b>		<b>26.15</b>	
<b>100/0/0 L</b>	<b>25.63</b>	<b>26.97</b>	<b>30.60</b>	<b>32.81</b>
<b>100/0/0 P</b>	<b>26.17</b>	<b>27.64</b>	<b>29.89</b>	<b>29.30</b>
<b>100/0/0 F</b>	<b>43.24</b>	<b>-</b>	<b>43.47</b>	<b>-</b>
<b>100/0/0 C</b>	<b>25.22</b>	<b>25.30</b>	<b>25.32</b>	<b>26.43</b>

**Tableau III -5: Résistance à la compression du béton à base d'agrégats recyclés avec différents ajouts minéraux**

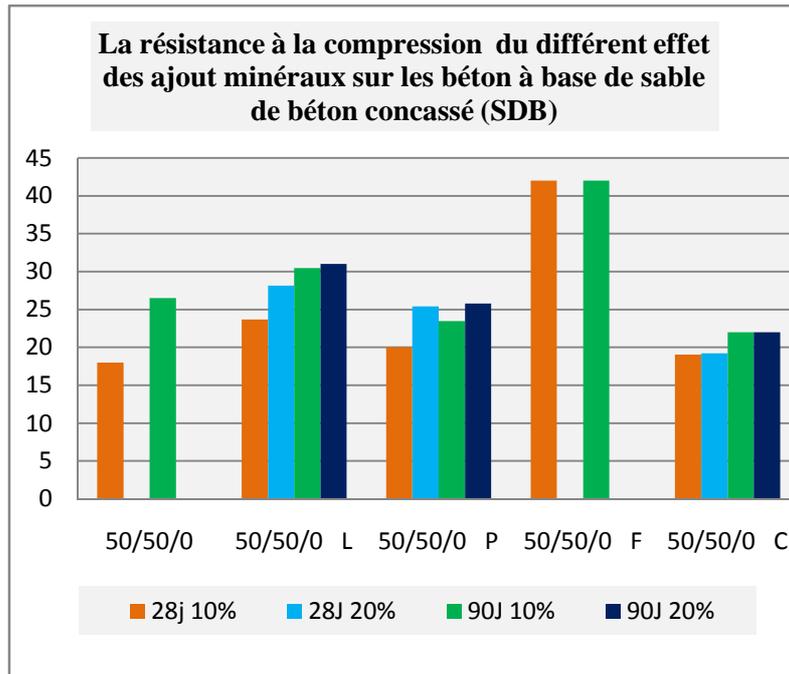
Type de béton	Résistance à la compression en MPa			
	28j		90j	
	10%	20%	10%	20%
<b>100/0/0</b>	<b>25.00</b>		<b>26.15</b>	
<b>50/50/0</b>	<b>18.00</b>		<b>26.49</b>	
<b>50/0/50</b>	<b>16.00</b>		<b>25.75</b>	
<b>1<sup>ère</sup> série</b>				
<b>50/50/0 L</b>	<b>23.69</b>	<b>28.13</b>	<b>30.45</b>	<b>31.00</b>
<b>50/50/0 P</b>	<b>20.00</b>	<b>25.42</b>	<b>23.45</b>	<b>25.80</b>
<b>50/50/0 F</b>	<b>42.00</b>	<b>-</b>	<b>42.00</b>	<b>-</b>
<b>50/50/0 C</b>	<b>19.03</b>	<b>19.23</b>	<b>22.00</b>	<b>22.00</b>
<b>2<sup>ème</sup> série</b>				
<b>50/0/50/ L</b>	<b>18.63</b>	<b>25.10</b>	<b>33.62</b>	<b>39.44</b>
<b>50/0/50/ P</b>	<b>29.04</b>	<b>27.76</b>	<b>35.98</b>	<b>39,10</b>
<b>50/0/50/ F</b>	<b>43.32</b>	<b>-</b>	<b>44.00</b>	<b>-</b>
<b>50/0/50/ C</b>	<b>17.18</b>	<b>17.50</b>	<b>28.06</b>	<b>23,31</b>



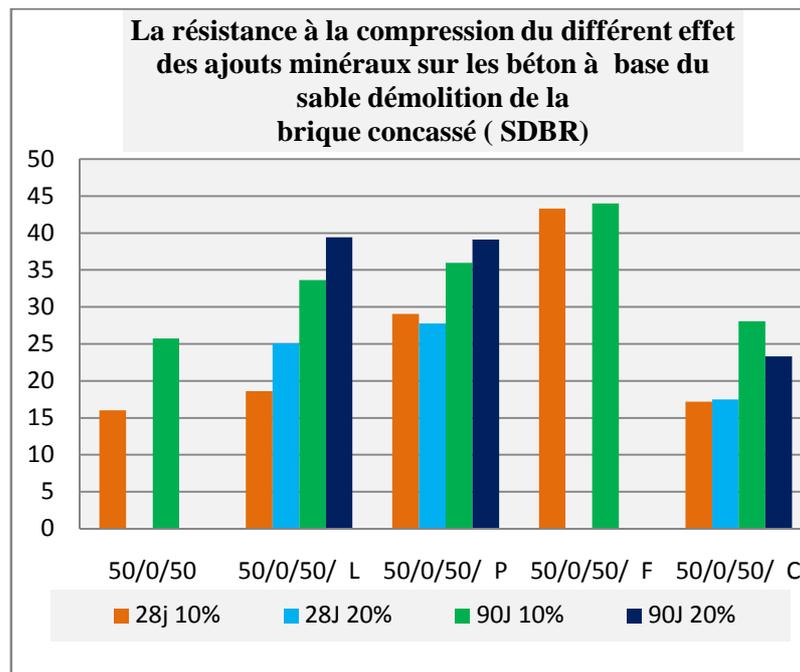
*Figure III- 5: Résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substituant pour un dosage de 350kg/m<sup>3</sup>*



*Figure III- 6: Résistance à la compression du béton à base d'agrégats naturels avec différents ajouts minéraux.*



*Figure III- 7: Résistance à la compression du béton à base de sable de béton concassé avec différents ajouts minéraux*



*Figure III- 8: Résistance à la compression du béton à base de sable de brique concassé avec différents ajouts minéraux*

D'après les tableaux (III-4 et III-5) les figures (III-5, III-6, III-7 et III-8)

❖ **Pour les bétons à base des agrégats naturels :**

- A 28 jours avec 10% d'ajout (L, Pet C) une légère augmentation des résistances à la compression 4% qu'est comparable avec le béton des contrôle et la même remarque avec 90 jours.
- Pour un 10% FS, on constate que la présence de la fumée de silice dans les bétons à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de ces derniers, une augmentation importante 95% qui dépasse le béton contrôle. Cette action particulière est due au fait que les grains de la fumée de silice ont un diamètre environ 100 fois plus petit que celui des plus petits grains de ciment, et que cette finesse des grains diminue le ressuage.

❖ **Pour les bétons à base de sable de démolition de béton concassé (SDB)**

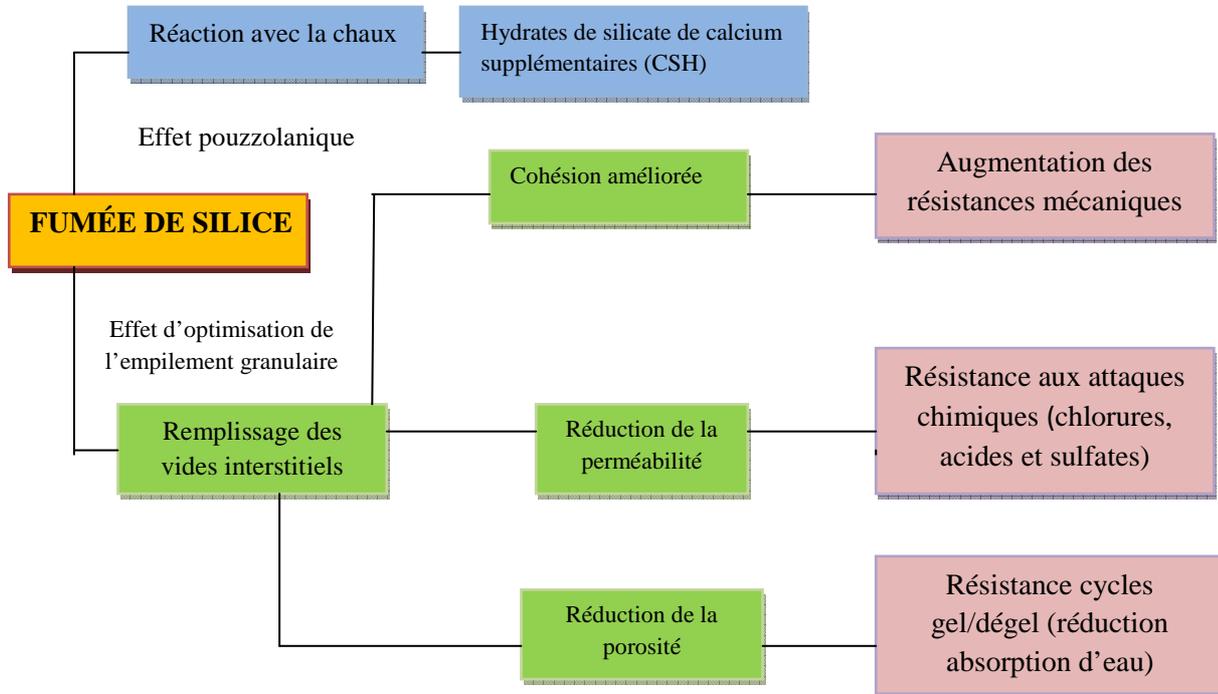
- A 28 jours avec 10% (L et P) une augmentation (11% et 31%) des résistances à la compression par rapport au béton témoins mais, atteints des valeurs important à 90 jours supérieure à la résistance du béton ordinaire et ça grâce a ses propriétés actives.
- Pour un 10% FS en remarque une augmentation importante 97% qui dépasse le béton témoin et reste constante jusqu'à 90 jours.

❖ **Pour les bétons à base de sable de démolition de brique concassé (SDBR):**

- A 28 jours avec 10% L une légère augmentation des résistances à la compression 16% qu'est comparable avec le béton des contrôle mais, atteints des valeurs important à 90 jours 95%, supérieure à la résistance du béton témoin et ça grâce a ses propriétés actives.
  - A 28 jours avec 10% P une augmentation des résistances à la compression 74% qu'est comparable avec le béton des contrôle mais, atteints des valeurs important à 90 jours 92%, supérieure à la résistance du béton témoin et cela due a ses propriétés actives.
  - Pour un 10% FS en remarque une augmentation importante 98% qui dépasse le béton ordinaire.
- ❖ La résistance à la compression est augmente un peu à long terme (28 et 90 jours) avec l'ajout calcaire par rapport témoin.

La fumée de silice est étant la plus efficace pour l'augmentation de la résistance mécanique et de la durabilité des bétons ; elle est généralement utilisée à des dosages compris entre 8 et 10 %.

Il est parfois avancé que la Fumée de Silice a tendance à foncer la teinte des bétons. Une étude paramétrée a donc été réalisée afin d'analyser l'incidence des Fumées de Silice - et en particulier leur teneur en carbone - sur l'homogénéité de la teinte des bétons.



**Figure III -9: Combinaison des effets pouzzolaniques et d'optimisation de l'empilement granulaire de la fumée de silice**

### III -3 -2 Résistance à la flexion

Dans cet essai un prisme de béton non armé de  $(10 \times 10 \times 50) \text{ cm}^3$ , est soumis à un effort de flexion jusqu'à la rupture d'une charge en deux points symétriques. Les points d'application de la charge étant placés aux tiers de la portée.

La contrainte maximale de traction atteinte sur la fibre inférieure du prisme correspondant à la résistance à la flexion est donnée par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1.8F}{a^2} (\text{MPa})$$

F: la charge de rupture.

a: cote de la section carrée de l'éprouvette.

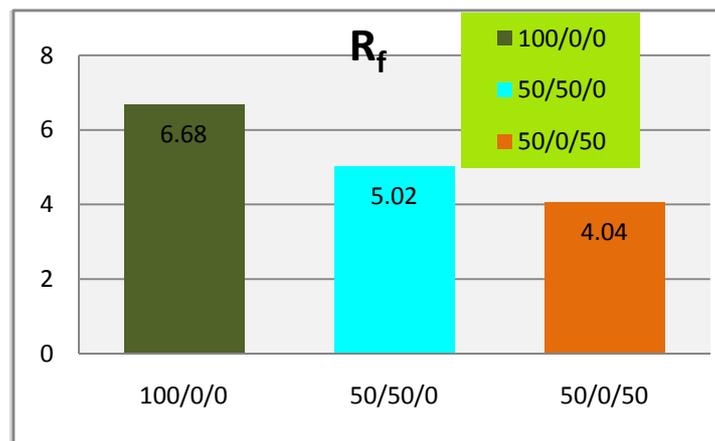
Dans le cadre de cette étude, cet essai a été effectué sur les meilleures compositions des bétons à base d'agrégats recyclés qui font l'objet de cette étude, dosées à  $350 \text{ kg/m}^3$  après 28 jours de cure dans l'eau à  $20^\circ\text{C}$ , les résultats sont portés sur le tableau III -6

**Tableau III -6: La résistance à la flexion des bétons testés.**

Type de béton (SN/SDB/SDBR) %	Résistance à la flexion ( $R_f$ ) MPa
100/0/0	6.68
50/50/0	5.02
50/0/50	4.04



*Photo III-2 : Eprouvettes prismatiques ( $10 \times 10 \times 50$ )  $\text{cm}^3$*



*Figure. III -10: Évolution de la résistance à la flexion des bétons testés en fonction de taux de substitution des sables recyclés.*

D'après le tableau III -6 et la figure III -10, nous remarquons que les résistances à la flexion des bétons recyclés sont inférieures à celle du béton ordinaire, la chute de résistances est :

- ❖ 5 % pour le béton à base de sable SDB et de 4 % pour le béton à base de sable SDBR à 50% recyclés.

Cette réduction de résistance peut se justifier par la présence de l'ancien mortier collé à la surface des granulats issus du concassage du béton de démolition causant une faible adhérence, tandis que pour les bétons de SDBR la fragilité des granulats facilite la propagation de la rupture et rend faible la résistance à la flexion.

### III -3 -3 La résistance en traction par fendage (l'essai Brésilien)

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cette essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre (16X32) par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera:

$$f_{ij} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ;

D et L = diamètre et longueur du cylindre.

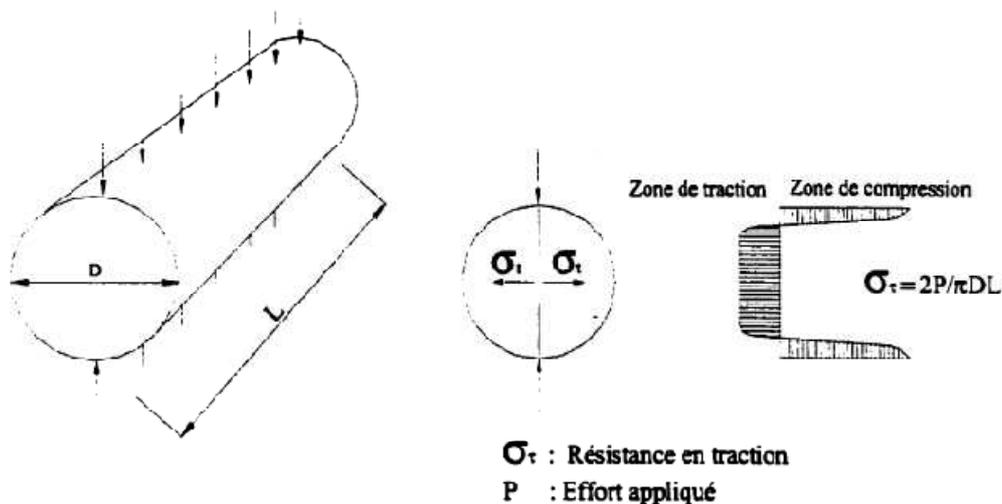


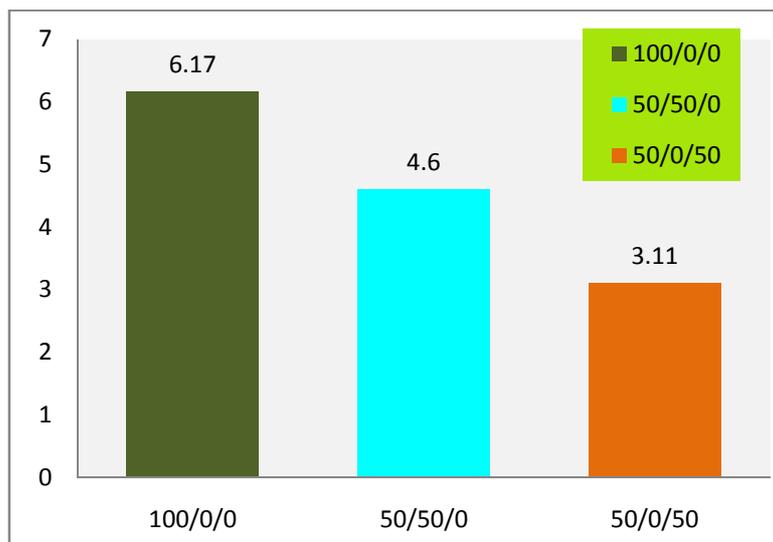
Figure III-11 : Distribution des contraintes lors de l'essai Brésilien

**Tableau III -7: La résistance à la traction des bétons testés.**

Type de béton (SN/SDB/SDBR) %	Résistance à la traction ( $R_T$ ) MPa
100/0/0	6.17
50/50/0	4.6
50/0/50	3.11



*Photo III-3: La résistance à la traction des bétons*



*Figure. III -12: Évolution de la résistance à la traction par fendage des bétons testés en fonction de taux de substitution des sables recyclés.*

D'après le tableau III -7 et la figure III -12, en remarque que :

La chute de résistance à la traction est de l'ordre de 19 % pour le béton à base de sable de démolition de béton et de 27% pour le béton à base de brique concassé.

La résistance à la traction décroît avec l'augmentation du pourcentage de substitution en sable recyclé d'une manière analogue à celle observée pour la résistance à la compression.

Les bétons contenant des sables issus du concassage de brique possèdent des résistances à la traction plus faibles que ceux contenant les sables provenant du concassage de béton de démolition.

#### II -3 -4 Coefficient de ramollissement

C'est le rapport de la résistance à la compression d'un matériau saturé d'eau  $R_{sat}$  à la résistance à la compression du matériau sec  $R_{sec}$ .

$$K = R_{sat} / R_{sec}$$

Ce coefficient caractérise la résistance à l'eau du matériau béton. Ce dernier est considéré résistant à l'eau si  $K_{ram} \geq 0.8$  surtout dans les régions où l'humidité est un facteur constant (  $K_{ram} = 0$  pour l'argile,  $K_{ram} = 1$  pour les métaux et les verres).

Les résistances  $R_{sat}$  et  $R_{sec}$  sont mesurée sur éprouvette 10×10×10cm à 28 jour d'âge.

**Tableau III -8: Résultat de Coefficient de ramollissement**

	Béton à la base des SN	Béton à la base des SDB	Béton à la base des SDBR
<b><math>K_{ram}</math></b>	1.80	1.48	1.45



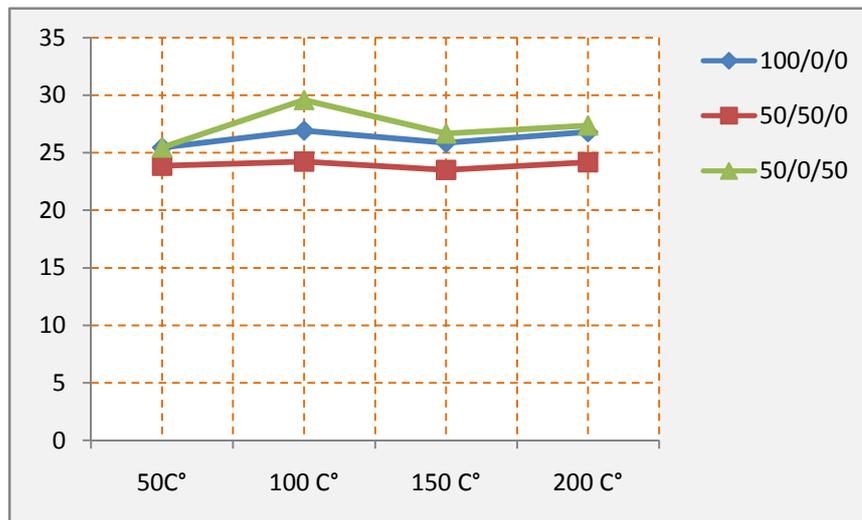
*Photo III-4:Exemple de rupture*

### III- 3 -5 la résistance à la température :

Les éprouvettes des bétons des dimensions (10×10×10) cm<sup>3</sup> sont soumises à la compression simple, les trois types des échantillons sont chauffées à différentes températures, 50, 100,150 et 200 C° par palier de 50C° tous les 20min à une vitesse de chauffage de C°/min, l'écrasement intervient après leur refroidissement à l'air libre à l'âge de 28 jours. Les résultats sont représentés sur le tableau (III.9).

**Tableau III -9: Effet des températures sur les bétons à base des agrégats recyclés**

Type de béton	la résistance à la compression (MPa)			
<b>100/0/0</b>	<b>25.00</b>			
<b>50/50/0</b>	<b>18.00</b>			
<b>50/0/50</b>	<b>16.00</b>			
<b>Températures</b>				
	<b>50 C°</b>	<b>100 C°</b>	<b>150 C°</b>	<b>200 C°</b>
<b>100/0/0</b>	<b>25.45</b>	<b>26.91</b>	<b>25.87</b>	<b>26.79</b>
<b>50/50/0</b>	<b>23.88</b>	<b>24.23</b>	<b>23.51</b>	<b>24.18</b>
<b>50/0/50</b>	<b>25.44</b>	<b>29.58</b>	<b>26.67</b>	<b>27.36</b>



*Figure III-13: Effet de la température sur la résistance des bétons recyclés.*

D'après le tableau III -9 et la figure III -13, en remarque que :

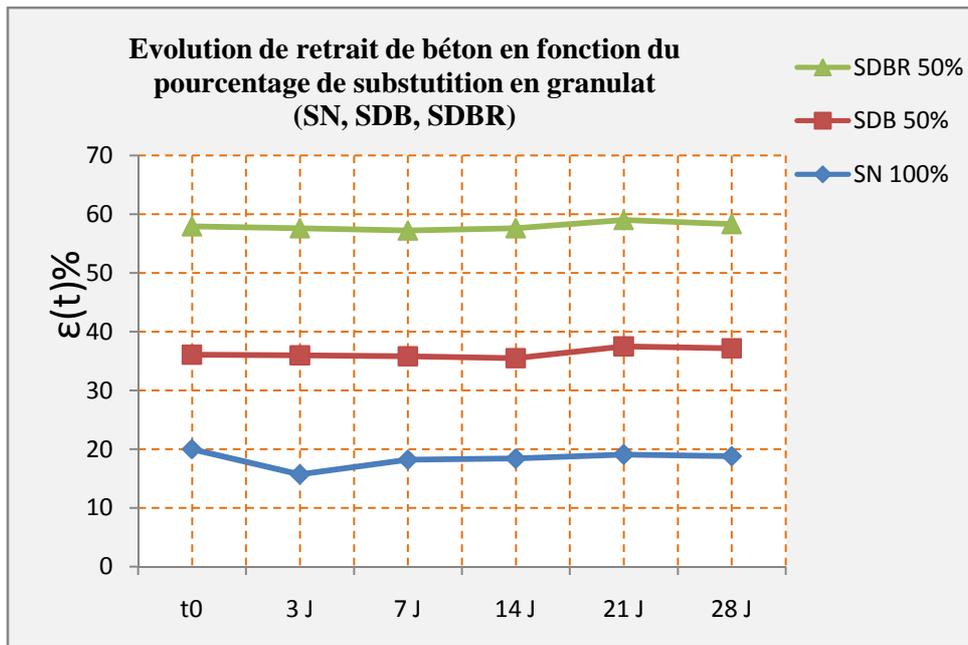
- Les résistances de compression des bétons à base de sable de démolition de brique augmente avec l'augmentation des températures de 50°C à 100°C et diminuer lorsque la température atteint 150°C et reste presque constante jusqu'à 150°C, cette augmentation de la résistance serait le fruit de l'effet des produits d'hydratations additionnels. Ce gain de résistance a été observé par **Kodur, 2000 [54]**.
- De même que pour les bétons à base de sable de démolition de béton concassé et suivent les mêmes évolutions que les bétons ordinaires.
- Le béton à base de sable de démolition de brique concassée (SDBR) résiste mieux aux températures élève que les bétons à base de sable de démolition de béton concassée et atteint des résistances qui dépasse le béton témoins.

### III- 3 -6 Essai de retrait

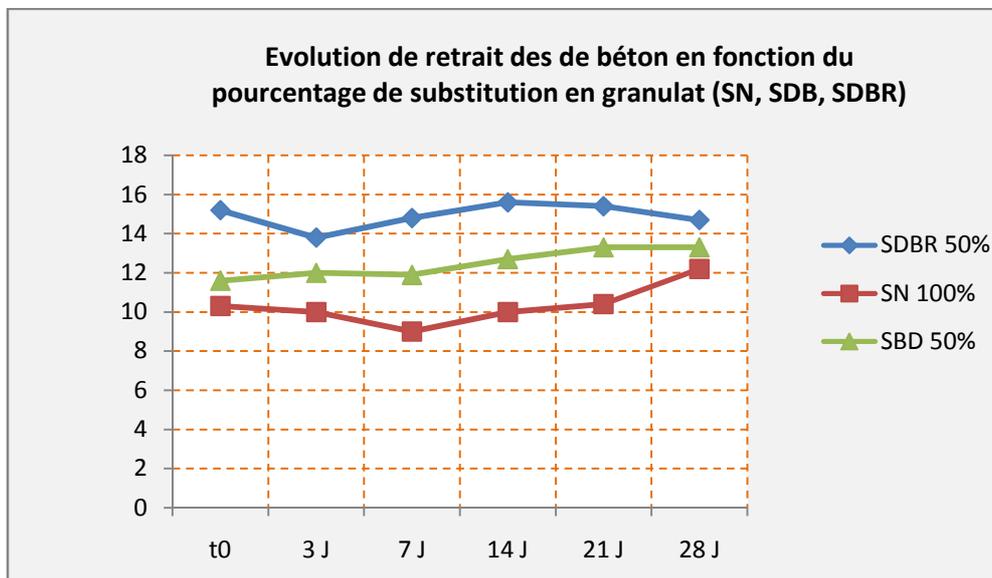
En l'absence de tout charge, le béton se déforme instantanément les déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation qui ce traduit par un rétrécissement des éléments de béton.

Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton.

Les granulats recyclés absorbent une quantité importante d'eau de gâchage provoquant aussi des retraits importantes lors du durcissement ; d'on l'entrât de l'étude de retrait.



**Figure III-14: Evolution de retrait des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats (SN, SDB, SDBR) pour des dosages de ciment respectifs  $350 \text{ kg/m}^3$ .en conservation des éprouvettes est fauté à l'air.**



**Figure III-15: Evolution de retrait des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats (SN, SDB, SDBR) pour des dosages de ciment respectifs  $350 \text{ kg/m}^3$ .en conservation des éprouvettes est fauté à l'eau**

D'après les figures III-14 et III-15 on remarque qu'en générale que le retrait en aire libre et l'eau des bétons recyclés nettement plus importants que ceux du béton Témoin

- Pour le béton de granulats fin recyclé, le retrait est plus grand d'environ 30% des jeunes âges (28j).
- Pour le béton recyclé à base de brique concassé, l'évolution est différente.
- Pour le béton au granulats fin recyclé (50/0/50) le retrait au jeune âge est présence six fois plus que celui un béton Témoin

Les résultats similaires ont été traversés par **Goquillat [51]** on un résultat de retrait par rapport à celui d'agrégats naturels l'environ 85% ou plus pour les bétons de brique, de béton démolition de mélange des deux n'est observée.

### III -3 -7 Absorption d'eau par immersion

Le volume poreux du béton peut se mesurer par absorption d'eau, le procédé consiste à sécher une éprouvette de béton à masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de masse exprimée en pourcentage de la masse sèche. L'absorption d'eau en masse (%) est :

$$A = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} 100\%$$

Les valeurs du coefficient d'absorption en fonction du type de béton sont illustrées par le tableau III-10 et III-11 figure III -10, III-11. Les résultats de cet essai sont présentés dans les figures III-16, III-17, III-18 et III-19. En comparaison avec le béton témoin, il est nettement visible que les bétons à base de sables recyclés sont plus poreux et absorbent plus d'eau.

Le pourcentage d'absorption d'eau après 48 heures d'immersion est de l'ordre de 4 % pour le béton témoin, et accroît pour les bétons à base de sables recyclés en fonction du taux de substitution arrivant à 6 % pour béton comportant 50% de sable (SDB), 16 % pour béton comportant 50% de sable (SDBR).

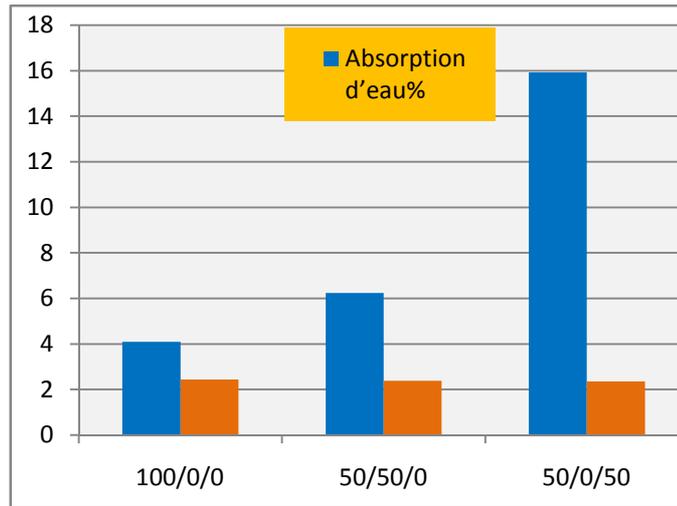
Les bétons avec les ajouts minéraux on observe d'un le béton avec ajout pouzzolane et calcaire absorbe beaucoup d'eau.

**Tableau .III -10: Densités et absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons testés du béton à la base des agrégats naturels**

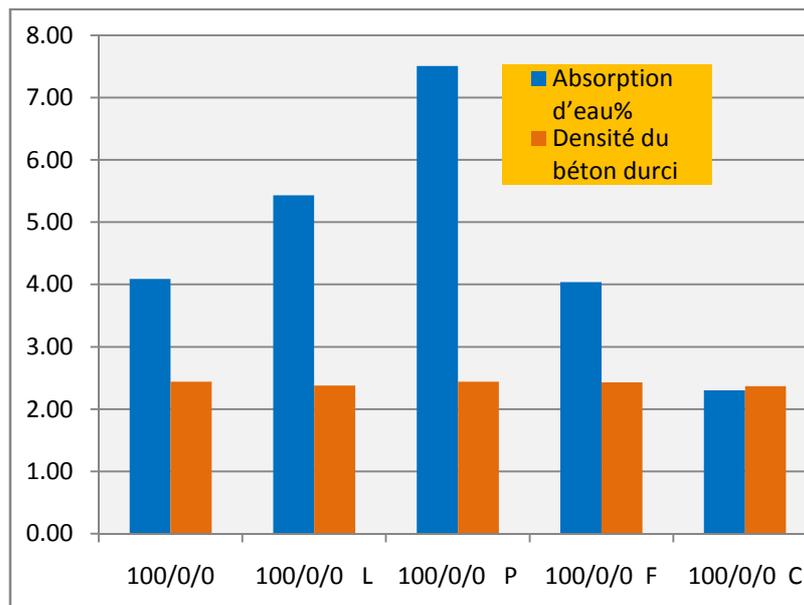
Type de béton SN/SDB/SDBR%	Absorption d'eau%	Densité du béton durci Kg/m <sup>3</sup>
100/0/0	4.09	2.44
100/0/0 L	5.43	2.38
100/0/0 P	7.51	2.44
100/0/0 F	4.04	2.43
100/0/0 C	2.30	2.37

**Tableau .III -11: Densités et absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons testés à la base des agrégats recyclé.**

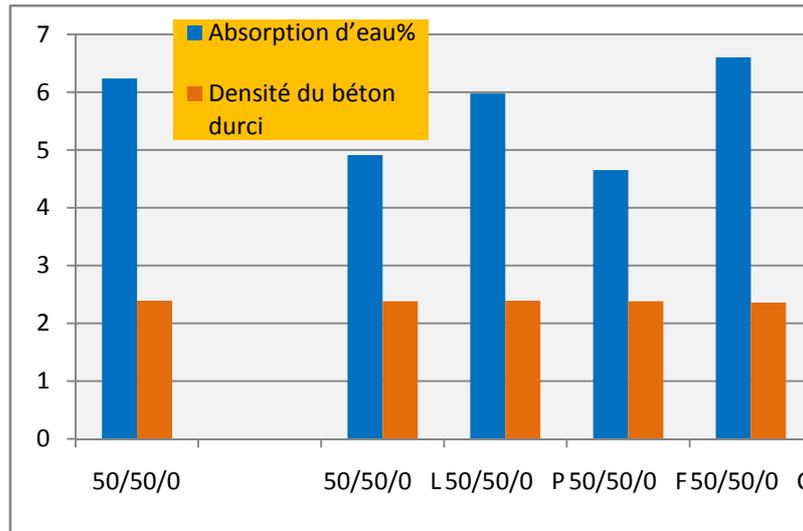
Type de béton SN/SDB/SDBR%	Absorption d'eau%	Densité du béton durci Kg/m <sup>3</sup>
100/0/0	4.09	2.44
50/50/0	6.24	2.39
50/0/50	15.93	2.35
<b>1<sup>ère</sup> série</b>		
50/50/0 L	4.91	2.38
50/50/0 P	5.98	2.39
50/50/0 F	4.65	2.38
50/50/0 C	6.60	2.36
<b>2<sup>ème</sup> série</b>		
50/0/50 L	4.35	2.37
50/0/50 P	6.11	2.37
50/0/50 F	4.93	2.33
50/0/50 C	6.94	2.32



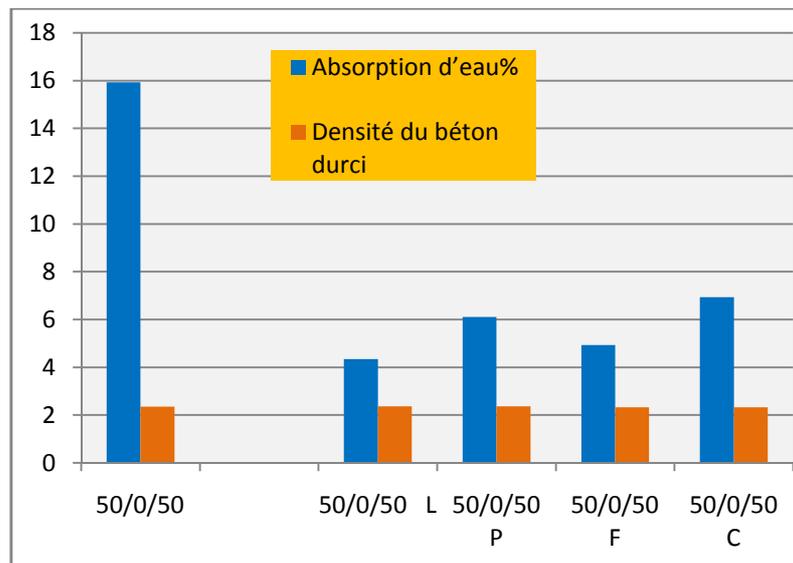
*Figure.III -16: la masse volumique et l'absorption d'eau des bétons en fonction du taux de substitution pour un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>*



*Figure.III -17: la masse volumique et l'absorption d'eau des bétons à base d'agrégats naturels et ajouts minéraux pour un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>*



*Figure.III -18: Masse volumique et l'absorption d'eau des bétons à base de sable de béton concassé avec ajouts minéraux pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>*



*Figure.III -19: Masse volumique et l'absorption d'eau des bétons à base de sable de brique concassé avec ajouts minéraux pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>*

### III- 4 Conclusion

Ce travail a porté essentiellement sur l'étude de la possibilité de récupération des résidus de béton ainsi que de brique démolis et leur utilisation dans le béton comme agrégats. L'étude présente une démarche expérimentale suivie lors de la substitution des granulats ordinaires par les granulats recyclés (sable) provenant de la démolition (produits par le concassage du béton et brique de maçonnerie en particulier). La base de cette démarche est de déterminer les performances de chaque composition qui permet de comprendre le comportement des sables recyclés dans le béton.

Les influences sur l'ouvrabilité, la densité, l'absorption, la résistance à la compression, à la flexion, traction et résistance à la température et coefficient de ramollissement et retrait (l'air et eau); sont les paramètres retenus dans cette étude. Finalement on constate que les meilleures performances reviennent aux bétons avec un taux de substitution des sables recyclés de 50%. Les autres bétons avec un taux supérieur présentent eux aussi des qualités de maniabilité et de résistances acceptables en présence des facteurs qui améliorent les propriétés du béton avec les ajouts pouzzolane, fillers calcaires, fumées de silice et laitier Cela nous a conduits à conclure que les sables issus du concassage de béton et de brique de démolition sont aptes à être utilisés dans la confection des bétons ordinaires, ( $R_{c28} \geq 25$  MPa), quant à leurs aspects économiques une étude technico-économique est nécessaire.

*CONCLUSIONS ET  
RECOMMANDATIONS*

## Généralités

Ce travail a porté essentiellement sur l'étude de la possibilité de récupération des déchets de brique et de béton de démolition comme agrégats fin de substitution dans la fabrication du béton de structure,

Une étude expérimentale a été faite de façon à confirmer certain travaux de recherche avancée dans le domaine et d'améliorer sa maîtrise par l'apport de l'effet d'un certain nombre de facteurs tous indispensables pour sa qualification et son évaluation.

Pour cela l'étude a porté sur deux types de bétons recyclés (bétons à base de sable de béton concassée, bétons à base de brique concassée) balayant ainsi les propriétés physiques et mécaniques des bétons ordinaires à base de sables naturels à savoir l'aspect rhéologique, la résistance à la compression, à la traction, le retrait, résistance à la température, coefficient de ramollissement et flexion.

A partir des essais réalisés dans cette étude expérimentale, nous pouvons conclure quant à l'intérêt (technique et économique) de l'utilisation des bétons de recyclage.

## Conclusions générales

D'après la recherche bibliographique, le matériel de production d'agrégats recyclés n'est pas très différents de celui de la production d'agrégats naturels. Le concasseur produit une bonne distribution de forme de grain d'agrégats recyclés comparables avec celle des agrégats naturels.

- ❖ A cause de l'existence d'une quantité non négligeable de mortier inerte d'ancien béton dans les agrégats recyclés (10 à 25 %), la masse volumique d'agrégats de béton concassé est environ 18% plus faible et l'absorption d'eau est beaucoup plus grande que ceux des granulats recyclés. Elle est de l'ordre de 16 % pour le SDB et de 17 % pour le SDBR.
- ❖ La confection, la mise en œuvre et l'aspect du béton recyclé (surtout ceux d'agrégats de béton concassé) sont très comparables à ceux du béton ordinaire à base de sable naturel. Le phénomène de ségrégation est beaucoup plus important pour les bétons de brique et augmente avec le pourcentage de substitution en sables recyclés.
- ❖ Le rapport E / C des différents mélanges de :

- bétons est élevé allant de 0.5 à 0.7 et qui varie dans le même sens que le taux de substitution en sables recyclés.
- ❖ la résistance à la flexion des bétons recyclés chute au cours du temps et en fonction du pourcentage de substitution en sable recyclé.
- ❖ Le béton recyclé absorbe beaucoup d'eau par rapport au béton ordinaire. Le pourcentage d'absorption d'eau par immersion est de 5% pour le béton de sable de béton démolé et de 15 % pour le béton de brique concassé par rapport à 4% de celui du béton de sables naturels.
- ❖ L'effet des ajouts minéraux actifs et inertes (pouzzolane, fillers calcaires, fumées de silice et laitier) sur les caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques.
- ❖ Le retard de la réactivité pouzzolanique de l'ajout pouzzolane et retarde le durcissement du béton à base d'agrégat naturel et recyclé. La plus grande partie de l'évolution de la résistance mécanique (l'effet pouzzolanique associé) se produit à partir de l'âge de 28 jours cette résistance mécanique sera comparable à celle d'un béton témoin et atteindra la meilleure résistance à l'âge de 90 jours .
- ❖ Les mêmes effets d'ajout laitier
- ❖ Les bétons à un taux de substitution de 10% et 20% de l'ajout calcaire présentent l'effet le plus important sur les bétons à base d'agrégat naturel et recyclés est limitée principalement à une accélération du processus d'hydratation aux jeunes âges, et conduit à une augmentation de la résistance mécanique à la compression pendant puis diminue à 28 jours et sera plus faible à 90 jours par rapport au béton témoin.
- ❖ Nous pouvons donc déduire que l'action d'ajout calcaire D'après les résultats obtenus, l'évolution de la résistance en fonction du temps des bétons à base d'agrégats recyclés (agrégats issus de béton concassé) se comporte d'une manière analogue que celle du béton conventionnel, cela nous permet de conclure que le développement du phénomène d'hydratation du ciment dans les bétons recyclés se déroule normalement et suit une augmentation avec l'âge.
- ❖ Dans les bétons, elle intervient selon deux mécanismes :
  - par un effet granulaire lié à la forme et à l'extrême finesse de la poudre,
  - par une réaction pouzzolanique due à la haute teneur en silice amorphe.
- ❖ l'effet d'ajout Fumée de Silice est étant la plus efficace pour l'augmentation de la résistance mécanique et de la durabilité des bétons ; elle est généralement utilisée à

des dosages compris entre 8 et 10 %, le plus important sur les résistances à la compression à 28 jours en raison d'effets physico-chimiques significatifs

## **Recommandations**

- ❖ L'étude expérimentale réalisée dans le cadre de cette étude s'est contentée de l'utilisation de matériaux non pollués, fabriqués sans conditions contrôlées dans le laboratoire, et il est souhaitable que soient réalisés des essais sur des matériaux issus des chantiers de démolition (séisme, crues, vieillissement,....ect ,).
- ❖ Une étude de la durabilité des bétons recyclés dans un environnement sévère tel que l'exposition aux agents agressifs et climat chaud.
- ❖ Une recherche plus approfondie de l'influence du pré mouillage des granulats recyclés vis-à-vis des propriétés du béton recyclé frais et durci.
- ❖ Une étude du comportement d'éléments structuraux en béton armé à base de granulats recyclés sous chargement statique et dynamique.
- ❖ Dans les conditions ordinaires le taux de substitution des sables naturels par des sables recyclés de béton ou de brique concassé ne doit pas dépasser 30%, autrement on doit augmenter la teneur en ciment de l'ordre de 10à 30 %.
- ❖ L'incorporation d'un superplastifiant dans les mélanges de béton conçus avec les sables recyclés est indispensable afin d'assurer une bonne maniabilité ainsi que d'améliorer les propriétés mécaniques.
- ❖ L'utilisation de la fumée de silice est vraiment nécessaire et ceci pour réduire la perméabilité et l'absorption d'eau des bétons fabriqués à base des agrégats de démolition.

*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

---

## Références bibliographiques

- [1] **Rao A., Jha K.N. Misra S. 2007**, « Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete», Resource conservation and Recycling, pp 71-81.
- [2] **Khalaf FM, DeVenny AlanS. 2004** « Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: review»ASCE J Mater Civil Eng 331–40.
- [3] **Benhoua. M, Nezerghi. B ,2009** « caractéristiques physiques et chimiques des granulats recyclés et granulats naturels » SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria).
- [4] **Adani Sabrina. M .sd** « Comportement des bétons à base de granulats recyclés » Thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine.
- [5] **Grondin. A ,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, Universitaire Technologique Robert Schuman.
- [6] **Cheikh Rouhou. M, 2007** « Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment » Mémoire de fin d'études en École nationale supérieure d'architecture Lyon.
- [7] **Djelal. H et Nouvel. V, 2008** « Gestion des déchets de démolition et environnement»; Ecole des Métiers de l'Environnement, Rue Robert Schuman, Campus de Ker Lann, 35170 BRUZ.
- [8] **Belferrag. A, 2006** «Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes » Mémoire de fin d'études, Université KASDI Merbah de Ouargla,
- [9] **Genest .G, 2010** « recyclage des débris de construction et de démolition (béton, brique et asphalte) » façons de faire à l'extérieur du Québec dossier client no 40916 rapport technique nort-40916.
- [10] **l'ISQ, 2005** « La matière concernée inclut les débris provenant de constructions résidentielles et non résidentielles, ainsi que de routes et de ponts ».
- [11] **Let's Climb Another Molehill, 2005**. The Recycling Council of Ontario (RCO).
- [12] **Recyc-Québec, 2008** « Bilan 2008 de la gestion des matières résiduelles au Québec ».

- [13] **Johnson, J.** (2009, March 30). EPA estimates C&D debris up 25%. Waste Recycling News. Accessed December 16, 2009. Available at [http://wastenews.texterity.com/wastenews/20090330//Print\\_su#pg1](http://wastenews.texterity.com/wastenews/20090330//Print_su#pg1)
- [14] Environmental Protection Agency. (2009a, March) Estimating 2003 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts. (EPA530-R-09-002). Accessed December 16, 2009. Available at: <http://www.epa.gov/waste/conserves/rrr/imr/cdm/pubs/cd-meas.pdf>
- [15] The State of Garbage in America. Biocycle. December 2008.
- [16] Gestion des déchets du B.T.P. en Basse-Normandie ,2008.
- [17] European Aggregates Association (UEPG) (2007), basé sur des estimations faites par la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) et l'Ademe.
- [18] **Boisvert. J, 1999** «Guide D'information Sur Le Recyclage Des Matériaux Secs »
- [19] **Hussain. H, Levacher. D, 2003** « Recyclage de béton de démolition dans la fabrication des nouveaux bétons », Université de Limoges, I.U.T Limousin de Génie Civil, Avenue de Jacques Derche, 19300 Egletons Université de Caen, Centre de Géomorphologie, UMR 6143 CNRS, Groupe de recherche en génie civil, 24, rue des Tilleuls, 14000 CAEN.
- [20] **Delwar. M, Fahmy. M, Taha. T, 1997** « Use of reclaimed asphalt pavement as an aggregate in portland cement concrete », *ACI Materials journal*, Title no. **94-M29**, pp. 251-256.
- [21] **IREX, 2011**« Pn Recybeton Recyclage Complet Des Bétons »
- [22] **Djelal. H et Nouvel. V, 2008** « Gestion des déchets de démolition et environnement» Ecole des Métiers de l'Environnement, Rue Robert Schuman, Campus de Ker Lann, 35170 BRUZ.
- [23] **Courard. L, 2006** « Le cycle de vie des matières les matériaux de construction et de démolition »état de l'environnement wallon études –expertises.
- [24] **Rademaker. Ch, 1996** « Application de la notion d'analyse de Cycle de Vie aux éléments de construction industriels (acier, béton, bois) » Travail de fin d'étude. Faculté des sciences Appliquées, Université de liège.
- [25] **Pepin. G et all 2001** « Caractérisation des déchets, le goudron dans les déchets du réseau routier » *INERIS*, paris, France, 85p.

[26] **IARC, 1978** « Monographie sur l'évaluation des risque cancérigènes pour l'homme des produits chimiques » Composés aromatiques polycycliques, 4<sup>ème</sup> partie : les bitumes, goudrons dérivés, les huiles de schistes et suies.

[27] **Legrand. Ch, 2006** « Ouelles solution pour le recyclage des déchets, du bâtiment » Des questions et des eéponses dossiers du C.S.T.C. Cahier n° 3, 3<sup>ème</sup> trimestre 2008, 14 p.

[28] **Amor. M, sd** « Contribution a l'étude rhéologique d'un béton a hautes performances (BHP) local » Mémoire De Magistère, Université 20 Aout Skikda.

[29] **NEVILLE ADAM M. (2000)** « *Propriétés des bétons* », Centre de Recherche Interuniversitaire (CRIB), Edition Eyrolles, 806 pages.

[30] **Chabi .S, Mezghiche .B, Guettala .H, 2004** « Étude de l'influence des additions minérales actives sur le comportement mécanique des ciments et mortiers » **N°05**, Département de Génie Civil, Université de Biskra, pp. 03-08.

[31] **Chaid .R, Jauberthie. R et Boukhaled .A ,2010** « Effet de l'ajout calcaire sur la Durabilité des bétons» **Vol. 11**, Laboratoire des Matériaux Minéraux et Composites, Université de Boumerdès, Algérie·Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, INSA - Rennes, FranceLaboratoire Bâti dans l'Environnement, USTHB, **No. 1**.

[32] **Hélène Tremblay .M, 2009** « Écaillage des bétons contenant des ajouts cimentaires Influence de méthodes de mûrissement utilisées en chantier sur le comportement à l'écaillage en laboratoire » Mémoire de fin d'études en Université Laval Québec.

[33] **Salhi. K, Mezghiche, B, 2009** « étude de durabilité de mortier et béton contenant de ciment avec ajouts de laitier granule et sable de dune » Étudiant Doctorat Département Génie civil, Université de Biskra, Algérie.

[34] **Cheiku-Zouaoui. M ,2008** « Contribution a l'étude de la cinétique d'hydratation au jeune âge des bétons a hautes résistances » Thèse de Doctorat, Université Mentouri Constantine.

[35] **Bach. T, 2010** « Evolution physico-chimique des liants bas pH hydratés Influence de la température et mécanisme de rétention des alcalins » Thèse de Doctorat, Université Bourgogne Discipline.

- [36] **Amouri. C, 2009** « Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité) » Thèse de Doctorat, Université Mentouri Constantine.
- [37] **Lozach. D, 2005** «Les constituants des bétons et des mortiers » collection technique cimébéton française, Tome1.
- [38] **Rilem (1988)** demolition and reuse of concret. Report of technical committee 73-DRC.T.C.Hansen, E&FN SPON, 3
- [39] turner-fairbank highway research center. Federal highway administration. USA (1999) [www.tfhr.gov](http://www.tfhr.gov);
- [40] **Quebaud, M. (1996)** "Caractérisation des granulats recyclés, étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats". Thèse de doctorat, Département de génie civil, Université d'Artois, Artois, France. 250 p.
- [41] **Gorle .D et Saeys. L ,1991** « les granulats de béton concassé comme matériau pour fondations routière non liée. » Centre de recherches routières, Bruxelles. 92 p.
- [42] **Richardson, B. J.E ; Gordan, D.O. 1994** Use of recycled concrete as road pavement material within Australia Proceedings 17<sup>th</sup> ARR B conference part 3.
- [43] **Ravindrarah, Rs. Tam , Tc. 1985** properties of concrete made with crushed contentant as coarse aggregate. Magazine of concrete Research, 37,(110).
- [44] **Bergeron.G ; Martineau. B, 1995** réutilisation des résidus de béton bitumineux, étude du comporteùent mécanique et hydraulique de matéraux granulaaire contenant des granulats bitumineux ( g,b) 30 ° Congrès AQTR , Hull, Tome1 ,173.
- [45] **Hanks ,AJ ; Magni ,E.R (1990)** The Use of Recovered bituminous and concrete materials in granular and earth.report MI -137. Ministry of transportation of Ontario.87 p.
- [46] **Berube .MA .Angers . M .Frenete .J ;Pellerin .F ;Marquis. B ,1998** Frost- Resistance of concrete incorporating aggregates made of recycled concrete. Compilation of international symposium on sustainable development of the cement and concrete industry. CANMET/ACI. Ottawa, Canada, October 21- 23-1998, pp.163-177.

- [47] **Hachana. A. (2008)** “ Etudes des bétons a base des agrégats des démolition” mémoire de magister en génie civil Université de Biskra.
- [48] **Benaichi. E (2009)** " Etude des bétons à bases des sables de démolitions et ajouts minéraux actifs " mémoire de magister en génie civil Université de Biskra
- [49] **Loubibat. B, Slama. S, 2012** "Caractérisations des bétons à base des sables de démolition (recyclés) mémoire de master en génie civil Université de BBA.
- [50] **Hansen, T. C. (1986)** “ Recycling aggregates and recycling aggregate concrete ”, second state-of- the –art report developments 1945-1985. Materials and structures, **vol19**, n° 111, pp. 201-246.
- [51] **Goquillai. G, 1984** « Recyclage des manteaux de démolition dans la confection des bétons » Amals de L’ITBTP, n° 420, France octobre, pp.63-71
- [52] **Marlet. Jd et Pimienta. P;** “Mechanical and physical-chemical properties of concrete aggregates. RILEM, Proceeding 23. Third international RILEM symposium on demolished and reuse of concrete and masonry, Odens, Danemark 24-27 October, pp 343-354.
- [53] **Dreux G; Festa J** « Nouveau guide du béton et de ses constituant » , Huitième édition, Edition Eyrolles.(1998).
- [54] **Kodur V.K.R** , "Spalling inhigt strenth concret exposed to fire-concerns, causes critical parameters and cures ". Actes du conger de l’ASCE sur les structures, philadelphie (PA), 2000.

# *ANNEXES*



*Photo 1: mesure le Temps de début de prise*



*Photo 2: mortier à l'état frai*



*Photo 3: bac de conservation*



*Photo 4: appareil de la compression*



*Photo 5: malaxeur*



*Photo 6 éprouvette (16X32) et (10X20) cm<sup>3</sup>*

## Méthode de B.Scramtaiv

### A/- Données de base

- ✧ D<sub>max</sub> (diamètre des granulats).
- ✧ Résistance à la compression après 28 jours.
- ✧ Ouvrabilité (AC).
- ✧ Caractéristiques techniques des matières premières.

### B/- Méthode de calcul

#### \* Détermination du dosage en eau

$E = F$  (AC, D<sub>max</sub>, Nature des granulats)

#### \* Calcul du rapport C/E

Pour un béton courant :  $C/E \leq 2.5$ , pour béton plastique et fluide.

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A \cdot R_c} + 0,5$$

Pour un béton de qualité :  $C/E > 2.5$ , pour béton fermé et très fermé.

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A_1 \cdot R_c} - 0,5$$

R<sub>b</sub> : La résistance à la compression à 28 jours de durcissement normal.

R<sub>c</sub> : L'activité du ciment.

(A, A<sub>1</sub>) : coefficients de qualité des matériaux utilisés (granulats et ciment)

- Bonne qualité : A= 0,65, A<sub>1</sub>=0,43
- Qualité moyenne : A= 0,60, A<sub>1</sub>=0,40
- Mauvaise qualité : A= 0,55, A<sub>1</sub>=0,37

Tableau : la dépense en eau en fonction du  $D_{\max}$  du gravier et l'ouvrabilité requise

La quantité d'eau ( $l/m^3$ ) en fonction du $D_{\max}$ du gravier (mm)				Caractérisation (cm)
70	40	20	10	Affaissement au cône(cm)
145	155	170	185	1-2
160	165	180	195	3-4
165	170	185	200	5-6
170	175	190	205	7-8
175	185	200	215	9-10

\* Calcul du dosage en ciment  $C = C/E \times E$

\* Calcul du dosage en agrégats (pierres concassées)  $G = 35G_1 + 65G_2$

$$G = \frac{1000}{V_v \cdot \frac{\alpha}{\gamma_{app}^G} + \frac{1}{\rho_{abs}^G}}$$

$G_1 : (7/15)$

$G_2 : (15/25)$

$V_v$  : porosité des pierres concassées.  $V_v = 1 - \frac{\gamma_{app}}{\rho_{abs}}$

Coefficient d'écartement de grains des pierres concassées  $\alpha = 1.2$  à  $1.4$

\* Calcul du dosage en sable

$$S = \left[ 1000 - \left( \frac{G}{\rho_{abs}^G} + \frac{C}{\rho_{abs}^C} + E \right) \right] \cdot \rho_{abs}^S$$

# MEDAFLOW 30

Superplastifiant - haut réducteur d'eau

## FICHE TECHNIQUE

### DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

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

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

### CARACTERISTIQUES

<input type="checkbox"/> Forme .....	Liquide
<input type="checkbox"/> Couleur .....	Jaunâtre
<input type="checkbox"/> pH .....	6 - 6,5
<input type="checkbox"/> Densité .....	1,07 ± 0,01
<input type="checkbox"/> Teneur en chlore .....	< 1g/L

### PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

#### Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très faible
- l'amélioration considérable de la fluidité
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton

#### Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait et le risque de fissuration

### DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto-plaçants
- Bétons auto-compactants
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux

### DOSAGE

Plage de dosage recommandée :  
0,5 à 2,0 % du poids de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

### MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

### CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10 l, fûts de 56 et de 225 litres.

Délai de conservation : 12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

*Les renseignements donnés dans cette fiche sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



## GRANITEX NOUVEAUX PRODUITS

Zone Industrielle - B.P. 85 - 16270 Oued-Smar - Alger

Tél. 021.51.66.81 & 021.51.65.55

Fax 021.51.64.22 / 021.51.65.23

e-mail : info@granitex.dz

site web : www.granitex.dz

# MEDAPLAST HP

Adjuvant à base de microsilice

## FICHE TECHNIQUE

### DESCRIPTION

Le MEDAPLAST HP est un adjuvant en poudre pour confection de bétons à hautes performances (BHP). Il permet :

- d'obtenir des bétons durables à résistances mécaniques élevées
- d'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques et atmosphériques

### CARACTERISTIQUES

- Forme .....Poudre
- Couleur .....Grise
- Densité apparente ..... 0,5

### PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST HP permet :

**Sur béton frais :**

- d'améliorer la cohésion
- d'éviter le ressuage et la ségrégation

**Sur béton durci :**

- d'augmenter les résistances mécaniques
- d'obtenir des bétons possédant une excellente imperméabilité
- d'augmenter la résistance à l'érosion et à l'abrasion
- d'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques
- d'augmenter la durabilité du béton

L'ajout d'un superplastifiant est recommandé (MEDAFLUID SF, SFA ou SFR) afin d'améliorer la fluidité du béton et de diminuer le rapport E/C. Le béton obtenu, une fois appliqué, ne présente aucun ressuage.

### DOMAINES D'APPLICATION

- Béton à hautes performances
- Autoroutes, pistes d'aéroport
- Ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques
- Bétons très sollicités
- Bétons soumis aux impacts et aux chocs
- Bétons soumis à des milieux agressifs
- Sols industriels
- Silos

### DOSAGE

Le dosage du MEDAPLAST HP varie de 5 à 10% du poids du ciment. Ce dosage dépend des performances recherchées.

### MODE D'EMPLOI

Le MEDAPLAST HP est mélangé à sec avec les composants du béton, avant l'ajout de l'eau de gâchage, pendant 1 minute au moins. Après ajout de l'eau de gâchage mélanger encore pendant 2 minutes au minimum.

Dans le cas du camion malaxeur, le MEDAPLAST HP est introduit dans la toupie avec une partie de l'eau de gâchage. On mélange pendant 2 minutes avant d'ajouter les granulats, le ciment et le reste de l'eau (avec, s'il y a lieu, du MEDAFLUID). Malaxer ensuite jusqu'à homogénéisation du béton.

Il est nécessaire de procéder à un curage de plusieurs jours du béton obtenu (toile de jute + arrosage ou MEDACURE) surtout par temps chaud ou en présence de courants d'air.

### CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le MEDAPLAST HP est conditionné sacs de 25 kg.

Délai de conservation : 12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur.

*Les renseignements donnés dans cette fiche sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



## GRANITEX NOUVEAUX PRODUITS

Zone Industrielle - B.P. 85 - 16270 Oued-Smar - Alger

Tél. 021.51.66.81 & 021.51.65.55

Fax 021.51.64.22 / 021.51.65.23

e-mail : info@granitex.dz

site web : www.granitex.dz

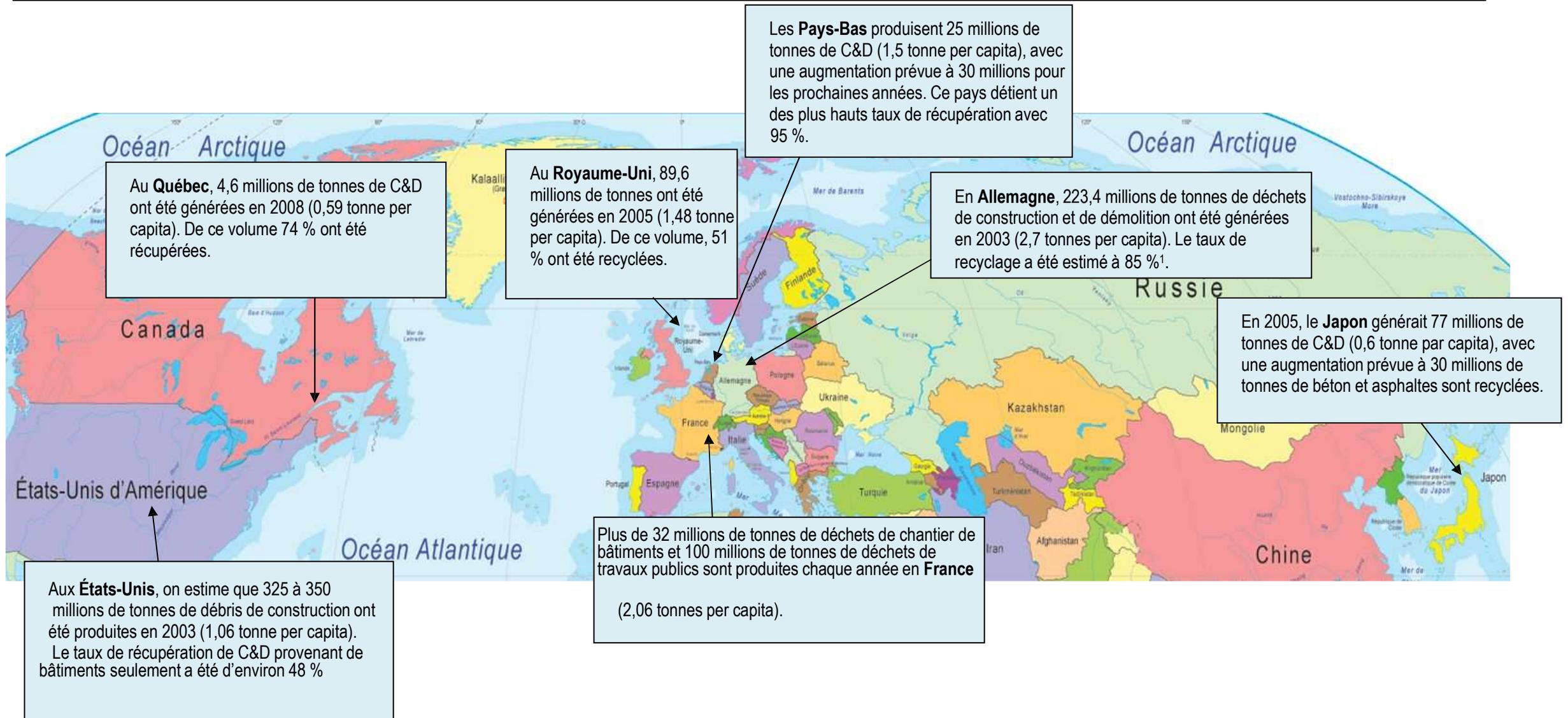


Figure 1: Les déchets à l'étranger

