

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° d'ordre :

N° de série :

MEMOIRE DE MAGISTER

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : LE BETON STRUCTUREL ARME ET PRECONTRAIT

THEME

**COMPORTEMENT DES BETONS A BASE DE
GRANULATS RECYCLES**

Présentée par :

Mlle SAADANI Sabrina

Directeur de Mémoire: Professeur HOUARI Hacène. Université Mentouri Constantine

Devant le jury :

Président : Professeur SAMAI Mohamed Laid - Université Mentouri Constantine

Examineurs :

Professeur CHABIL Hocine - Université Mentouri Constantine

Dr. TEKKOUK Abdelhadi - Université Mentouri Constantine

Soutenue publiquement le :

Remerciement

Je témoigne que

c'est par la grâce de Dieu le tout puissant et miséricordieux, d'aide incessante, qu'il m'a porté et d'orientation imminente qu'il m'a accordé pour achever ce travail.

Remerciements

Mes sincères remerciements s'adressent :

A mon encadreur **Professeur Hacène HOUARI** Directeur du laboratoire de recherche LMDC à l'Université Mentouri de Constantine pour son attention, générosité scientifique et compréhension.

Qu'il trouve ici le témoignage de ma haute considération et de mon profond respect.

Au **professeur Mohamed Laid SAMAI** professeur à l'Université Mentouri de Constantine d'avoir accepté de juger ce travail et m'honoré de sa présidence du jury.

Au **professeur Hocine CHABIL** chef de département de génie civil à l'Université Mentouri de Constantine pour son encouragement et d'avoir accepté de juger ce travail.

Au **docteur Abdelhadi TEKKOUK** maître de conférence à l'Université Mentouri de Constantine, de m'avoir guidé et encouragé durant toute notre formation. Qu'il trouve ici le témoignage de ma haute considération et de mon profond respect.

A madame **Houria HEBHOUB** enseignante à l'Université de Skikda de m'avoir guidé et encouragé au cours de mon travail, également pour sa gentillesse.

A tout le personnel de :

Laboratoire des Matériaux (L'université de Skikda)
Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Constantine)
Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Annaba)
Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Skikda)

A tous ceux qui ont contribué dans ma formation de près ou de loin :

Mes enseignants à l'Université et M^r **BENSEBTI**, Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma gratitude.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE 1 : VALORISATION DES DECHETS

1.1. Introduction	4
1.2. Origine de la production de déchets	4
1.3. Constitution chimique du déchet	4
1.4. Différents types de déchets	5
1.4.1. Déchets ultimes	5
1.4.2. Déchets inertes	5
1.4.3. Déchets assimilés	5
1.4.4. Déchets verts	5
1.4.5. Déchets organiques	5
1.4.6. Déchets industriels banals (DIB)	6
1.4.7. Déchets dangereux	6
1.4.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)	6
1.4.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS)	6
1.5. Recyclage des déchets	6
1.5.1. Définition	6
1.5.2. Législation européenne relative aux déchets	7
1.5.3. Technique de recyclage	7
1.5.3.1. Procédés du recyclage	7
1.5.3.2. La chaîne du recyclage	7
a. Collecte de déchets	7
b. Transformation	8
c. Commercialisation et consommation	8
1.5.4. Déchets recyclés	8
1.5.4.1. Eaux usées	8
1.5.4.2. Déchets usuels inertes	9
1.5.4.3. Déchets usuels non inertes	10
1.5.4.4. Déchets industriels dangereux	11

1.5.4.5 Déchets toxiques en quantités dispersées	14
1.5.5. Impact du recyclage dans l'industrie	15
1.5.5.1 Source d'approvisionnement alternative	15
1.5.5.2. Création d'activités	16
1.5.5.3. Mise en conformité avec la loi	16
1.5.5.4. Coût de main-d'œuvre	16
1.5.5.5. Conséquences sur les produits issus du recyclage	16
1.5.6. Impacts du recyclage sur l'environnement	17
1.6. Gestion des déchets	17
1.6.1. Définition	17
1.6.2. Principe de gestion des déchets	18
1.6.3. Technique de gestion des déchets	19
1.6.3.1. Décharge	19
1.6.3.2. Incinération	20
1.6.3.3. Compost et fermentation	22
1.6.3.4. Traitement biologique et mécanique	22
1.6.3.5. Pyrolyse et gazéification	23
1.7. Déchets utilisés comme granulats du béton	23
1.7.1. Laitiers	23
1.7.1.1. Laitier de haut fourneau	23
1.7.1.2. Laitier d'acier	24
1.7.2. Sous-produits provenant des centrales thermiques	24
1.7.2.1. Mâchefer	24
1.7.2.2. Scories de sole	24
1.7.2.3. Cendres volantes	25
1.7.3. Béton récupéré	25
1.7.4. Déchets provenant de l'exploitation de mines et de carrières	26
1.7.5. Déchets divers	26
1.7.5.1. Déchets de mines de charbon	26
1.7.5.2. Verre de récupération	26
1.7.5.3. Pneus usages	27
1.7.5.4. Résidus d'incinérateurs	27
1.7.5.5. Boues rouges	27

1.7.5.6. Argile cuite	28
1.7.5.7. Sciure de bois	28
1.8. Déchets en Algérie	28
1.8.1. Naissance d'une véritable politique environnementale	28
1.8.2. Problématiques des déchets en Algérie	30
1.8.2.1. Déchets Solides et Urbains	30
1.8.2.2. Déchets Industriels	31
a. Amiante	32
b. PCB	32
c. Huiles Usagées	33
d. Pesticides Périmés	33
e. Déchets Mercuriels	33
f. Déchets Cyanures	33
g. Déchets / Boues hydrocarburées	33
1.8.2.3. Déchets Hospitaliers	33
a. Traitement des Déchets de Soins	33
b. Stock de Produits Pharmaceutiques Périmés	35
c. Traitement des Effluents Hospitaliers	35
1.8.3. Valorisation des déchets et sous produits dans le domaine des travaux publics ...	36
1.8.3.1. Pneus usagés et déchets plastiques	36
1.8.3.2. Déchets de la construction/démolition	36
1.9. Conclusion	37

CHAPITRE 2 : GRANULATS POUR BETON

2.1. Introduction	38
2.2. L'origine minéralogique des granulats	38
2.2.1. Les roches massives	38
2.2.1.1. Les roches magmatiques	38
2.2.1.2. Les roches sédimentaires	38
2.2.1.3. Les roches métamorphiques	39
2.2.2. Les roches meubles	39
2.3. La reconnaissance des gisements de granulats	40

2.3.1. Définition des paramètres à étudier	40
2.3.1.1. La morphologie et l'hydrographie	40
2.3.1.2. La découverte du gisement	40
2.3.1.3. Les matériaux exploitables	40
2.3.1.4. Les paramètres hydrogéologiques	40
2.3.2. Les méthodes et moyens d'études	41
2.3.2.1. Etude morphologique et géologique de surface	41
2.3.2.2. La géophysique de la surface	41
2.3.2.3. Sondages mécaniques	41
2.3.2.4. Diagraphies différées	42
2.3.2.5. Identifications et essais	42
2.4. Les principes de fabrication des granulats	43
2.4.1. Généralités	43
2.4.2. Les granulats de carrière	43
2.4.3. Les granulats alluvionnaires	44
2.5. Les caractéristiques des granulats	45
2.5.1. Les caractéristiques géométriques	45
2.5.1.1. Granulométrie	45
2.5.1.2. Classes granulaires	45
2.5.1.3. Module de finesse	45
2.5.1.4. Forme des granulats	46
2.5.1.5. Coefficient d'aplatissement	46
2.5.2. Les caractéristiques physiques	46
2.5.2.1. Masse volumique apparente	46
2.5.2.2. Porosité	47
2.5.2.3. L'absorption d'eau des granulats	47
2.5.3. Les caractéristiques mécaniques	47
2.5.3.1. Résistance à la fragmentation	47
2.5.3.2. Résistance à l'attrition	48
2.5.3.3. Effets du gel-dégel	48
2.5.3.4. Alkali réaction	49
2.5.4. Propriétés thermiques des granulats	49
2.5.5. Impuretés dans les granulats	50

2.5.5.1. Impuretés organiques	50
2.5.5.2. Argiles et matériaux fins	50
2.5.5.3. Contamination par le sel	51
2.6. L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton	51
2.7. Conclusion	54

CHAPITRE 3 : MATERIAUX DE BASE ET METHODOLOGIE D'ESSAIS

3.1. Introduction	55
3.2. Déchet de marbre	55
3.2.1. Définition	55
3.2.2. Le marbre de la carrière de FIL-FILA	56
3.2.2.1. Provenance	56
3.2.2.2. Carrière à blocs	56
a. Le principe de fabrication	56
b. Recyclage des déchets	57
c. Granulats de rebuts de masse et de blocs de marbre	57
3.2.2.3. Carrière dérivée	57
a. Le principe de fabrication	57
b. Recyclage des déchets	57
3.3. Matériaux de base	59
3.3.1. Les granulats	59
3.3.1.1. Echantillonnage et prélèvement	59
3.3.1.2. Analyse granulométrique	59
3.3.1.3. Coefficient d'aplatissement	68
3.3.1.4. Equivalent de Sable	72
3.3.1.5. Essai Los-Angeles	73
3.3.1.6. Essai Micro-Deval	74
3.3.1.7. Analyse chimique	74
3.3.1.8. Coefficient d'absorption d'eau	75
3.3.1.9. Masse volumique apparente	76
3.3.1.10. Masse volumique absolue	77
3.3.2. Le ciment	77

3.3.2.1. Composition	77
3.3.2.2. L'analyse chimique	78
3.3.2.3. Caractéristiques mécaniques	78
3.3.2.4. Autres caractéristiques techniques	78
3.3.3. L'eau de gâchage	78
3.4. Programme expérimental	79
3.5. Modes opératoires des essais	79
3.5.1. Eprouvettes	79
3.5.2. Gâchage et malaxage	79
3.5.3. Essais sur béton frais	80
3.5.3.1. Affaissement au cône d'Abrams	80
3.5.3.2. Mesure de l'air occlus	80
3.5.3.3. Mesure de la densité réelle du béton frais	81
3.5.4. Confection et conservation des éprouvettes	82
3.5.5. Essais sur béton durci	82
3.5.5.1. Essai de compression	82
3.5.5.2. Essai de traction par flexion	83
3.6. Conclusion	84

CHAPITRE 4 : ETUDE DES PERFORMANCES DES BETONS A BASE DE GRANULATS RECYCLES

4.1. Introduction	85
4.2. Méthode de composition du béton	85
4.2.1. La méthode de « Dreux-Gorisse »	85
4.2.2. Composition du béton à base de granulats naturels BGN	85
4.2.2.1. Données de bases	85
4.2.2.2. Tracé des courbes	86
4.2.2.3. Dosage des granulats	87
4.2.3. Composition du béton à base de granulats recyclés BGR	89
4.2.3.1. Données de bases	89
4.2.3.2. Tracé des courbes	89
4.2.3.3. Dosage des granulats	91

4.2.4. Composition des différents mélanges	93
4.2.4.1. Série 1 : Substitution de sable	93
4.2.4.2. Série 2 : Substitution de gravier	94
4.2.4.3. Série 3 : Substitution mixte	95
4.3. Etude du béton frais	96
4.3.1. Mesure de la densité	96
4.3.1.1. Série 1 : Substitution de sable	96
4.3.1.2. Série 2 : Substitution de gravier	97
4.3.1.3. Série 3 : Substitution mixte	98
4.3.2. Mesure de l'air occlus	99
4.3.2.1. Série 1 : Substitution de sable	99
4.3.2.2. Série 2 : Substitution de gravier	100
4.3.2.3. Série 3 : Substitution mixte	101
4.3.3. Mesure de l'ouvrabilité	102
4.3.3.1. Série 1 : Substitution de sable	102
4.3.3.2. Série 2 : Substitution de gravier	103
4.3.3.3. Série 3 : Substitution mixte	104
4.4. Etude du comportement mécanique du béton durci	105
4.4.1. La résistance en compression	105
4.4.1.1. Série 1 : Substitution de sable	105
4.4.1.2. Série 2 : Substitution de gravier	108
4.4.1.3. Série 3 : Substitution mixte	112
4.4.2. La résistance en traction	115
4.4.2.1. Série 1 : Substitution de sable	115
4.4.2.2. Série 2 : Substitution de gravier	118
4.4.2.3. Série 3 : Substitution mixte	121
4.5. Conclusion	125
CONCLUSION GENERALE	128
BIBLIOGRAPHIE	130

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Procédé de recyclage des eaux usées	8
Tableau 1.2 : Procédé de recyclage des déchets usuels inertes.....	9
Tableau 1.3 : Procédé de recyclage des déchets usuels non inertes	10
Tableau 1.4 : Procédé de recyclage des déchets industriels dangereux	11
Tableau 1.5 : Procédé de recyclage des déchets toxiques en quantités dispersées	14
Tableau 2.1 : Coefficient linéaire de dilatation thermique de différents types de roche	50
Tableau 2.2 : Liens existants entre les caractéristiques des granulats et les propriétés des bétons.....	52
Tableau 3.1 : Caractéristiques pétrographiques-minérologiques; physico-mécaniques et Chimiques de marbre de la carrière de FIL-FILA	58
Tableau 3.2 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (classe 0/5)	60
Tableau 3.3 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (classe 5/15)	61
Tableau 3.4 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (classe 15/25)	62
Tableau 3.5 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (poudre)	63
Tableau 3.6 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 0/5)	64
Tableau 3.7 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 0/5 corrigé)	65
Tableau 3.8 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 5/10)	66
Tableau 3.9 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 10/20)	67
Tableau 3.10 : Coefficient d'aplatissement des granulats ordinaires (classe 5/15)	68
Tableau 3.11 : Coefficient d'aplatissement des granulats ordinaires (classe 15/25)	69
Tableau 3.12 : Coefficient d'aplatissement des granulats recyclés (classe 5/10)	70
Tableau 3.13 : Coefficient d'aplatissement des granulats recyclés (classe 10/20)	71
Tableau 3.14 : Equivalent de Sable des granulats ordinaires (classe 0/5)	72
Tableau 3.15 : Equivalent de Sable des granulats recyclés (classe 0/5 corrigé)	72
Tableau 3.16 : Essai Los-Angeles des granulats ordinaires (classe 5/15)	73
Tableau 3.17 : Essai Los-Angeles des granulats recyclés (classe 5/10)	73
Tableau 3.18 : Essai Micro-Deval des granulats ordinaires (classe 5/15)	74
Tableau 3.19 : Essai Micro-Deval des granulats recyclés (classe 5/10)	74
Tableau 3.20 : Analyse chimique des granulats ordinaires (classe 0/5)	75
Tableau 3.21 : Analyse chimique des granulats recyclés (classe 0/5)	75

Tableau 3.22 : Coefficient d'absorption des granulats ordinaires (classe 15/25)	75
Tableau 3.23 : Coefficient d'absorption des granulats recyclés (classe 10/20)	76
Tableau 3.24 : Masse volumique apparente des granulats ordinaires	76
Tableau 3.25 : Masse volumique apparente des granulats recyclés	76
Tableau 3.26 : Masse volumique absolue des granulats ordinaires	77
Tableau 3.27 : Masse volumique absolue des granulats recyclés	77
Tableau 3.28 : Résultats d'analyse chimique de ciment	78
Tableau 3.29 : Résultats d'analyse chimique de l'eau utilisée	78
Tableau 3.30 : Désignation des bétons testés	79
Tableau 4.1 : Pourcentages pondéraux du mélange (granulats ordinaires)	87
Tableau 4.2 : Pourcentages pondéraux du mélange (granulats recyclés)	90
Tableau 4.3 : Composition des mélanges (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)	93
Tableau 4.4 : Composition des mélanges (BGN, BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)	94
Tableau 4.5 : Composition des mélanges (BGN, BSM25, BSM50, BSM75, BGR)	95
Tableau 4.6 : Les densités à l'état frais des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)	96
Tableau 4.7 : Les densités à l'état frais des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)	97
Tableau 4.8 : Les densités à l'état frais des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR)	98
Tableau 4.9 : Les pourcentages de l'air occlus dans les bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)	99
Tableau 4.10 : Les pourcentages de l'air occlus dans les bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)	100
Tableau 4.11 : Les pourcentages de l'air occlus dans les bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR).....	101
Tableau 4.12 : l'ouvrabilité des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)	102
Tableau 4.13 : l'ouvrabilité des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)	103
Tableau 4.14 : l'ouvrabilité des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR)	104
Tableau 4.15 : Résistances à la compression des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100) en MPa	105
Tableau 4.16 : Résistances à la compression des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100) en MPa	108
Tableau 4.17 : Résistances à la compression des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa	112

Tableau 4.18 : Résistances à la traction par flexion des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100) en MPa	115
Tableau 4.19 : Résistances à la traction par flexion des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100) en MPa	119
Tableau 4.20 : Résistances à la traction par flexion des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa	122

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Forme d'un granulat	46
Figure 3.1 : Appareillage de cône d'Abrams	80
Figure 3.2 : Aéromètre	81
Figure 3.3 : Essai de compression	83
Figure 3.4 : Essais de traction par flexion	83
Figure 4.1 : Tracé des courbes granulométriques (granulats ordinaires)	88
Figure 4.2 : Tracé des courbes granulométriques (granulats recyclés)	92
Figure 4.3 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution de sable	96
Figure 4.4 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution de gravier	97
Figure 4.5 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution mixte	98
Figure 4.6 : Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution de sable	99
Figure 4.7 : Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution de gravier	100
Figure 4.8 : Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution mixte	101
Figure 4.9 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de sable.....	102
Figure 4.10 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de gravier	103
Figure 4.11 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution mixte.....	104
Figure 4.12 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 2jours)	106
Figure 4.13 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 14jours)	106
Figure 4.14 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 28jours)	107
Figure 4.15 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 90jours)	108
Figure 4.16 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 2jours)	109
Figure 4.17 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 14jours)	110
Figure 4.18 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 28jours)	110
Figure 4.19 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de	

substitution de gravier (à 90jours)	111
Figure 4.20 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 2jours)	113
Figure 4.21 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 14jours)	113
Figure 4.22 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 28jours)	114
Figure 4.23 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 90jours)	115
Figure 4.24 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 2jours)	116
Figure 4.25 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 14jours)	117
Figure 4.26 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 28jours)	117
Figure 4.27 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 90jours)	118
Figure 4.28 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 2jours)	119
Figure 4.29 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 14jours)	120
Figure 4.30 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 28jours)	120
Figure 4.31 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 90jours)	121
Figure 4.32 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 2jours)	123
Figure 4.33 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 14jours)	123
Figure 4.34 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 28jours)	124
Figure 4.35 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 90jours)	125

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 les déchets de marbre comme granulats pour béton hydraulique.

On a analysé les caractéristiques des granulats recyclés (déchets de marbre) afin de formuler les bétons étudiés.

L'étude consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence à l'état frais et durci, à celles des bétons incorporant des granulats de marbres en substitution d'une fraction volumique du sable, de graviers et les deux ensemble avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75%, 100%).

Ce travail montre l'intérêt majeur que pourrait avoir le développement et la mise à disposition des résultats expérimentaux concernant l'utilisation des déchets de marbres comme granulats recyclés pour bétons hydrauliques.

Mots clés : Granulats, Recyclage, Valorisation, Environnement, Marbre, Caractérisation, Bétons, Essais.

ملخص:

استنفاد الحقول الطبيعية و الصعوبات لفتح وظائف يتطلب البحث عن مصادر جديدة للتموين. التقييم و إعادة استعمال النفايات هي من الآن تعتبر وسيلة للمضي قدما لمعالجة العجز بين الإنتاج و الاستهلاك و حماية البيئة. هذه المذكرة تسعى لتسليط الضوء على إمكانية استخدام نفايات الرخام كحصى للخرسانة المائية. قمنا بتحليل مميزات حصى التعويض وذلك لوصف الخرسانات المدروسة. تشمل الدراسة على مقارنة خاصيات خرسانة المرجع في الحالات اللينة و الصلبة مع الخرسانات التي تم إذماج حصى الرخام فيها وذلك باستبدال جزء من الرمل ثم الحصى ثم الاثنتين معا مع مجموعة من نسب التعويض (25%، 50%)، 75%، 100%) في خرسانة المرجع. يبين هذا العمل الفائدة الرئيسية التي يمكن أن يقدمها تطور نتائج التجارب التي تخص استعمال بقايا مادة الرخام كحصى التعويض المعاد استعمالها في الخرسانات المائية.

كلمات المفتاح:

الحصى، إعادة الاستعمال، التقييم، البيئة، الرخام، الميزة، الخرسانات، التجارب.

Abstract:

The exhaustion of the natural aggregate layers and the difficulties to open new careers force to seek new sources of supply.

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

This memoir seeks to highlight the possibility of using the marble scrap like aggregates for hydraulic concrete.

In order to formulate the studied concretes, the characteristics of the aggregates recycled (marble scrap) were been analysed.

The study consists in comparing the properties of a concrete of reference at the fresh and hardened state, those of the concretes incorporating of the marble aggregates in substitution of a voluminal fraction from sand, gravels and both whole with rates of substitution of (25%, 50%, 75%, 100%).

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

Key words: Aggregates, Recycling, Valorization, Environment, Marble, Characterization, Concretes, Tests.

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale :

Ce mémoire est l'occasion de poursuivre une collaboration débutée au cours des années 2000 entre l'équipe du professeur Houari Hacène du laboratoire LMDC et l'équipe du professeur Belachia / Dr Bensebti / Hebhoub de l'université de skikda.

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

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

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

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

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

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

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

Une démarche associant les étapes suivantes : études, analyses et expériences, se résume comme suite :

Introduction générale

La première étape consiste à présenter les déchets et leur gestion, valoriser les sous produits à travers le monde ainsi de rassembler les informations sur la situation en Algérie; identifier les différents constituants du béton, les facteurs qui ont une influence sur le comportement de ce matériau.

La seconde étape est consacrée à la localisation et caractérisation des déchets de marbre en tant que granulats de substitution (Fines, Sable, Gravillons), et les principales propriétés des matériaux de base.

La dernière étape consiste à présenter un vaste programme expérimental sur la substitution partielle ou totale des granulats ordinaires dans les bétons (formulation, étude à l'état frais et étude à l'état durci).

La formulation des bétons à base de granulats de substitution s'effectuera avec un rapport E/C constant en référence à un témoin à base de granulats ordinaires.

Le mémoire se comporte de quatre chapitres :

Le premier chapitre expose le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics à travers le monde et d'avoir des détails sur la situation en Algérie.

Le deuxième chapitre s'intéresse davantage aux principes de fabrication, aux caractéristiques et à l'exploitation des gisements des granulats, ainsi qu'aux différents paramètres qui influent sur le comportement du béton.

Le troisième chapitre présente les matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale et les caractéristiques des granulats recyclés (déchet de marbre) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons. On a utilisé les déchets de marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, de gravier et les deux ensembles, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75% et 100%).

Le dernier chapitre présente les résultats de recherche d'un plan expérimental, dans l'objectif de générer un ensemble d'informations pour permettre au utilisateur de relier les compositions des bétons avec leurs performances. Dans une première partie, on décrit la méthode « Dreux-Gorisse » adoptée pour la formulation des bétons. Dans la deuxième partie, on présente les résultats des essais à l'état frais des bétons réalisés à savoir : la densité, le pourcentage de l'air occlus et l'affaissement au cône d'Abrams, ainsi que les résultats à l'état durci des bétons à

Introduction générale

savoir la résistance à la compression des éprouvettes cylindriques et la résistance à la traction par flexion des éprouvettes prismatiques testés à des âges de 2, 14, 28 et 90 jours.

La conclusion générale reprend l'ensemble de résultats expérimentaux à la lumière du concept de développement durable.

Les critères à mesurer sont :

- Sur constituants :

Caractérisation des granulats de substitution (déchet de marbre)

- Analyse à l'état frais :

Mesure de la densité réelle.

Mesure de l'air occlus.

Mesure de l'ouvrabilité.

- Analyse à l'état durci :

Essai de compression sur les éprouvettes cylindriques 16x32 cm.

Essai de traction par flexion sur les éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm.

L'ensemble des essais a été réalisé au niveau de :

Laboratoire des Matériaux (L'université de Skikda)

Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Constantine)

Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Annaba)

Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Skikda)

CHAPITRE 1

Valorisation des déchets

1.1. Introduction :

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

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

Mais en Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération.

1.2. 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 que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- économiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- accidentelles : les inévitables dysfonctionnement des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

1.3. Constitution chimique du déchet :

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [29].

1.4. Différents types de déchets :

1.4.1. Déchets ultimes :

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

1.4.2. Déchets inertes :

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

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

Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

1.4.3. Déchets assimilés :

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

1.4.4. Déchets verts :

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

1.4.5. Déchets organiques :

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

Il s'agit de :

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

1.4.6. Déchets industriels banals (DIB) :

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

1.4.7. Déchets dangereux :

1.4.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS) :

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

1.4.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

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

1.5. Recyclage des déchets :

1.5.1. Définition :

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

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

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

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de paire avec une

augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne.

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

1.5.2. Législation européenne relative aux déchets :

En 2007, la production, le stockage, le traitement et le recyclage des déchets est désormais encadrée en Europe par une législation de plus en plus élaborée.

L'incinération des déchets dangereux est l'objet de la Directive n° 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000. Le stockage de déchets industriels spéciaux est définie par la Directive n°1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets et la Décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 ainsi que la Décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux. La qualité de l'air est quant à elle protégée par le Règlement du Parlement européen et du Conseil CE 2037/2000 du 29 juin 2000 sur les substances qui appauvrissent la couche de zone et par la Décision du Conseil du 25 avril 2002 qui est l' Approbation, au nom de la Communauté européenne, du protocole de Kyoto à la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques et l'exécution conjointe des engagements qui en découlent.

1.5.3. Technique de recyclage:

1.5.3.1. Procédés du recyclage :

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

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

1.5.3.2. La chaîne du recyclage :

a. Collecte de déchets :

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques.

Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

b. Transformation :

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

c. Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

1.5.4. Déchets recyclés :

1.5.4.1. Eaux usées :

L'eau est un bien naturel qui est indispensable à la vie et fortement consommé, mais dont les ressources sont limitées. Dans les pays développés, elle est recyclée et une part de l'eau consommée est issue d'eaux usées, assainies et redistribuées. La gestion de ce recyclage nécessite des infrastructures et une exploitation toutes deux lourdes, généralement confiées à des entreprises spécialisées dans le traitement et la distribution d'eau ou au palier de gouvernement local.

Tableau 1.1 : Procédé de recyclage des eaux usées

Produit	Procédé
<u>Eau</u>	Récupérée et transportée par les réseaux d'égout. Traitée dans des stations d'épuration pour être à nouveau consommée.

1.5.4.2. Déchets usuels inertes :

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables. Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peu dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

Tableau 1.2 : Procédé de recyclage des déchets usuels inertes

Produit	Procédé
<u>Acier</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. Fabrication des pièces de moteur, des outils, des boîtes de conserve, etc.
<u>Aluminium</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. Fabrication des canettes, du papier d'emballage, des constituants d'automobile (culasses, jantes, boîtes de vitesses, etc.
<u>Caoutchouc</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Les pneus hors d'usage sont utilisés pour produire des bacs à fleurs, des tréteaux, des panneaux d'insonorisation, des tuiles de revêtement de sol, de l'asphalte caoutchoutée, etc.
<u>Carton</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication d'autres types de papier et de carton.
<u>Gravats</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Broyés sous forme de granulats employés à nouveau dans le secteur de bâtiment ou le secteur industriel.
<u>Papier</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication d'autres types de papier et de carton.
<u>Plastique</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication des sacs, des récipients et des couvercles pour produits non alimentaires, des meubles de jardin, des vêtements, des jouets, du mobilier urbain, des clôtures, des tuyaux, des pièces d'automobile (pare-chocs, batteries, etc.), des bases de panneaux de signalisation routière, des cônes de voirie, etc.
<u>Textile</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication de textile et de pâte à papier.
<u>Verre</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération.

	Refonte des articles en verre pour en faire des neufs
<u>Brique alimentaire</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Les briques broyées, lavées, essorées et séchées, sont transformées en bidon, rembourrage d'oreiller, bouteille, tuyau, rouleau de fibre non tissée, etc.
<u>Equipement électrique et électronique</u>	Les appareils sont récupérés, démantelés, déchiquetés et broyés, au moyen d'une chaîne. Les fragments valorisables sont récupérés sous forme de métaux ferreux, non ferreux, câbles, plastiques, etc.

1.5.4.3. Déchets usuels non inertes :

Les plus connus de ces déchets sont les huiles et les peintures. L'incinération avec valorisation énergétique est un des procédés employés pour les recycler. Elle permet la production d'énergie et la destruction des déchets peu combustibles.

Tableau 1.3 : Procédé de recyclage des déchets usuels non inertes

Produit	Procédé
<u>Déchet liquide à composante minérale.</u> Tels que déchets de revêtement de surface, boues résultantes du travail des métaux, dépollution d'eau.	Traitement physico-chimique minéral : Neutralisation des acides et des bases, transformation des produits toxiques solubles en composés insolubles précipités au sein de la solution, séparation des solides et des liquides par décantation ou par filtre.
<u>Déchets liquides polyphasiques.</u> Tels que résidus de lavage et de dégraissage des cuves et des sols.	Traitement physico-chimique organique en deux étapes : séparation par décantation et séchage par incinération.
<u>Déchet organique.</u> Tels que huile,	Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles.

peinture, vernis, etc.	Avant rejet à l'atmosphère, les gaz restants sont traités au charbon actif par adsorption, et neutralisés
<u>Déchet synthétique.</u> Huile synthétique, produits de nettoyage des automobiles, etc.	Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles.

1.5.4.4. Déchets industriels dangereux :

L'industrie produit une grande quantité de déchets dangereux. Ce sont pour la plupart des produits comprenant des substances chimiques toxiques ou instables. Les déchets toxiques sont dangereux pour la santé et pour l'environnement. La manipulation de déchets instables entraîne des risques d'accidents graves.

Tableau 1.4 : Procédé de recyclage des déchets industriels dangereux

Produit	Procédé
<u>Boue</u> de déchets industriels	Chauffage des déchets dans le but d'en réduire la masse et de valoriser les sous-produits. Il s'agit de techniques de séchage ou de séchage par incinération en utilisant différentes technologies. La vapeur issue du séchage peut être recyclée comme source de chaleur dans le procédé à partir d'une chaudière. En fonction des résidus obtenus par séchage, ceux-ci peuvent être stockés pour une utilisation ultérieure.
<u>Déchet liquide biodégradable</u> Tels que les eaux issues d'un traitement physicochimique, eaux de pollution accidentelle, etc.	Traitement biologique qui consiste à transformer la matière organique en une boue par des moyens physiques. Les micro-organismes dégradent et assimilent certaines substances organiques par sécrétion d'enzymes. La boue biologique est extraite de l'eau par décantation ou flottation. Pour accélérer le processus de dépollution dans les procédés aérobiques, on utilise un apport d'oxygène (de l'air ambiant, ou pur) dans les bassins.
<u>Hydrocarbure liquide.</u>	Séparation de l'eau, des hydrocarbures et des sédiments par des procédés physiques (décantation, débouillage, centrifugation,

<p>Les hydrocarbures liquides sont en particulier des résidus de nettoyage de fond de bac ou des concentras huileux provenant d'opérations physico-chimiques (filtration, décantation).</p>	<p>filtration). Valorisation thermique des hydrocarbures récupérés.</p>
<p><u>Hydrocarbure solide</u> Concerne les hydrocarbures pâteux et ou solides tels que les déchets d'hydrocarbures issus de raffinerie et de dépôts pétroliers ; ou tels que les déchets pétroliers d'activités portuaires : boues de station de déballastage, boues de curage de bassins, déchets de marée noire, etc.</p>	<p>Les déchets d'hydrocarbures sont mélangés à des réactifs neutralisants. Ce processus lent produit une séparation des hydrocarbures sous forme simple (CO₂, H₂O). Combinée avec des réactifs, cette matière sous forme physique homogène devient stable, hydrophobe, oléophile et commode à entreposer. La matière finale servira comme terre de recouvrement, absorbant oléophiles, ou incorporée aux enrobés routiers. Les fûts, conteneurs, emballages légers qui ne sont pas réutilisés en l'état après nettoyage sont compactés et transportés aux aciéries).</p>
<p><u>Métal</u> Concerne les métaux tels que fûts, conteneurs, emballages légers, mâchefers, sels</p>	<p>Les mâchefers, dépollués et ôtés de tout élément métallique sont réutilisés par l'industrie métallurgique. Les sels d'argent sont stockés et transférés dans un réacteur agité, pour précipiter le sulfure d'argent. Après séparation on obtient une boue qui sera calcinée pour la récupération de lingots d'argent.</p>

<p>d'argent de bains photographiques, etc.</p>	
<p><u>PCB</u> Les PCB ou polychlorobiphényles sont des dérivés chimiques chlorés plus connus sous le nom de pyralènes, Les PCT (polychloroterphényle) sont des produits approchants</p>	<p>Incinérés et détruits à très haute température dans des unités spécifiques. Dans certaines unités, le chlore contenu dans le PCB est recyclé par incinération, sous forme d'acide chlorhydrique. Chaque appareil ou équipement est vidé de son contenu liquide, démonté, et traité suivant la nature des parties actives, noyaux, bobines, cuve, etc. Après décontamination, le cuivre et le papier sont séparés et réemployés.</p>
<p><u>Solvant</u> Cétones, hydrocarbures aliphatiques, méthylbenzène, esters, glycols et solvants chlorés (trichloroéthane) issus d'activités industrielles légères (ateliers de réparation automobile) ou lourdes (métallurgie, construction automobile).</p>	<p>La régénération de solvants utilise la distillation simple, puis par distillation fractionnée sur colonne, pour séparer les différents constituants des solvants usés. Après distillation, les solvants sont «séchés». L'eau résiduelle est extraite par fixation sur un support ne réagissant pas chimiquement avec le solvant. valorisation thermique des hydrocarbures récupérés</p>

1.5.4.5. Déchets toxiques en quantités dispersées :

Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques.

Tableau 1.5 : Procédé de recyclage des déchets toxiques en quantités dispersées

Produit	Procédé
<u>Lixiviat</u>	<p>Valorisation du biogaz de décharge afin d'évaporer les lixiviats et d'oxyder thermiquement les vapeurs.</p> <p>L'objectif est de proposer un traitement «zéro rejet liquide» et d'adapter une technologie souple et susceptible de traiter tout type de lixiviats. Etapes de traitement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Combustion du biogaz par torchère • Récupération de l'énergie contenue dans les gaz • Évaporation de l'eau <p>Traitement par oxydation thermique des vapeurs issues de l'évaporation</p>
<u>Pile alcaline et pile saline</u>	<p>1/ Préparation au traitement mécanique. Le procédé utilisé est un procédé hydrométallurgique (attaque chimique/traitement à froid) qui permet une valorisation de 80% des composants de la pile.</p> <p>A la réception des lots, les piles sont triées afin de séparer les piles salines et alcalines traitées sur place. Les autres modèles (piles boutons) sont dirigées vers des installations spécialisées. Les piles sont broyées afin d'obtenir un mélange, puis tamisé pour séparer les poudres de charbon, de zinc, de manganèse, de potassium, de mercure, des autres parties plus denses. Ces dernières sont dirigées vers un séparateur magnétique qui extrait la partie métallique (fer) revendue à l'industrie métallurgique, et vers un séparateur à courant de Foucault qui dissocie, le papier et le plastique, du cuivre et du zinc.</p> <p>2/ Préparation au traitement chimique. La poudre de pile est attaquée à l'acide sulfurique et le magma obtenu est filtré sur filtre presse. On</p>

	<p>obtient deux produits distincts : un résidu carboné composé de graphite et un liquide contenant des sulfates mixtes dissout dans l'eau.</p> <p>Le mercure est extrait de ce liquide sous forme métallique à une pureté de 99%, par un procédé appelé "cémentation", et est envoyé ensuite en affinage. Le liquide purifié est neutralisé puis concentré et évaporé afin d'obtenir des sulfates de zinc et de manganèse en poudre, produits finis directement commercialisables. Le mercure, le zinc et le ferromanganèse sont extraits des piles et réutilisés dans la fabrication de nouveaux produits.</p>
<p><u>Sédiment</u> provenant de marée noire</p> <p>Sédiments provenant de <u>marées noires</u> tels que tout déchet ramassé sur une côte polluée en <u>hydrocarbures</u>.</p>	<p>Les déchets organiques sont lavés avec un solvant adapté, puis rincés.</p> <p>Le sable récupéré servira de sable de recouvrement, ou sera incorporé aux enrobés routiers. Les hydrocarbures extraits contribuent à la valorisation thermique et énergétique.</p>
<p>Sol pollué</p> <p>Tel que les anciennes décharges.</p>	<p>Les techniques de traitement et de reconstitution des sites et sols pollués sont appliquées selon les polluants en présence, par forage, échantillonnage et analyse.</p>
<p>Tube fluorescent</p>	<p>Les tubes en verre et les culots métalliques sont démontés, séparés, stockés dans des conteneurs spécifiques avant la phase de démercurisation. Le verre et les poudres sont récupérés et les parties métalliques sont cédées à des spécialistes du retraitement des métaux.</p>

1.5.5. Impact du recyclage dans l'industrie :

1.5.5.1. Source d'approvisionnement alternative :

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

1.5.5.2. Création d'activités :

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

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

1.5.5.3. Mise en conformité avec la loi :

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

1.5.5.4. Coût de main-d'œuvre :

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

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

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

1.5.5.5. Conséquences sur les produits issus du recyclage :

Pour certains types de produits, la qualité de la matière première est altérée par l'opération de récupération de celle-ci dans les produits recyclés. Par exemple, le recyclage du papier donne des fibres de papier plus courtes et un papier de moins bonne qualité (ce qui ne permet qu'une dizaine de recyclages successifs). Autre exemple, le recyclage de certaines matières plastiques contaminées par des polluants ne permet plus de les utiliser pour en faire des emballages alimentaires. Un des problèmes du recyclage du verre est le dépôt, au fond des fours, des verres de type Pyrex qui ont un point de fusion différent du verre ordinaire. Ces dépôts abîment les fours.

Cependant, pour la plupart des matières premières contenues dans les déchets (métaux, verre, certains plastiques), les qualités sont conservées au travers du processus de recyclage, permettant un recyclage quasi illimité de celles-ci.

Néanmoins, la chimie intervient de plus en plus dans la fabrication de matériaux issus du recyclage. Les produits qui en résultent ont des caractéristiques de durabilité et de résistance qui peuvent même être supérieures à celles de certains matériaux naturels. Ainsi, on voit des maisons bâties avec des dérivés du recyclage du bois, mélangés ou recouverts par des résines polyuréthanes ou autres. Le résultat est surprenant, donnant une résistance aux intempéries et aux U.V. supérieure à celle du bois. Il en va de même pour le papier recyclé, dont la pâte désencrée et mélangée à certains produits chimiques donne un matériau très résistant, utilisé par exemple dans la fabrication de mobilier urbain.

1.5.6. Impacts du recyclage sur l'environnement :

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

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

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

1.6. Gestion des déchets :

1.6.1. Définition :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tout les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité.

1.6.2. Principe de gestion des déchets :

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions.

La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- Réduire
- Réutiliser
- Recycler

Classe les politiques de gestion des déchets selon la préférence qu'on doit leur accorder. La hiérarchie des stratégies a plusieurs fois changé d'aspect ces dix dernières années, mais le concept sous-jacent est demeuré la pierre angulaire de la plupart des stratégies de gestion des déchets : l'objectif est d'utiliser au maximum les matériaux et de générer le minimum de rebuts.

Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « quatrième R » : « Repenser », qui implique que le système actuel a des faiblesses et qu'un système parfaitement efficace exigerait qu'un regard totalement différent soit porté sur les déchets. Certaines solutions "re-pensées" sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile. Afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles, afin de pouvoir utiliser les chutes pour découper les petites pièces du patron. Ainsi, il y a une réduction du résidu global. Ce type de solution n'est bien entendu pas limité à l'industrie textile.

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, les apports de matières premières et la composition des produits. Parfois le principe de « prévention de la pollution » indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source.

Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage. Plusieurs villes aux États-Unis ont mis en place des taxes dont le montant est

fonction des quantités d'ordures déposées (Paye quand tu jettes : *Pay As You Throw* - PAYT) qui se sont révélées efficaces pour réduire le volume des déchets urbains.

L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets. Une autre approche, plus controversée, est de considérer la réduction de l'utilisation de substances toxiques. On s'intéresse ici à réduire l'utilisation de substances toxiques, alors même que la tendance est plutôt à la hausse. Cette approche, dans laquelle c'est le principe de précaution qui est mis en avant, rencontre une vive opposition des industries chimiques. Ils accusent cette démarche de stigmatiser les produits chimiques. Certains états américains, comme le New Jersey et l'Oregon ont mis en place des politiques de réduction des déchets toxiques.

1.6.3. Technique de gestion des déchets :

1.6.3.1. Décharge :

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

Les anciennes carrières ou celles mal gérées peuvent avoir de forts impacts sur l'environnement, comme l'éparpillement des déchets par le vent, l'attraction des vermines et les polluants comme les lixiviats qui peuvent s'infiltrer et polluer les nappes phréatiques et les rivières. Un autre produit des décharges contenant des déchets nocifs et le biogaz, la plupart du temps composé de méthane et de dioxyde de carbone, qui est produit lors de la fermentation des déchets.

Les caractéristiques d'une décharge moderne sont des méthodes de rétention des lixiviats, tels que des couches d'argile ou des bâches plastiques. Les déchets entreposés doivent être compactés et recouverts pour éviter d'attirer les souris et les rats et éviter l'éparpillement. Beaucoup de décharges sont aussi équipées de systèmes d'extraction des gaz installés après le recouvrement pour extraire le gaz produit par la décomposition des déchets. Ce biogaz est souvent brûlé dans une chaudière pour produire de l'électricité. Il est même préférable pour l'environnement de brûler ce gaz que de le laisser s'échapper dans l'atmosphère, ce qui permet de consommer le méthane, un gaz à effet de serre encore plus nocif que le dioxyde de carbone. Une partie de ce biogaz peut aussi être utilisé comme carburant.

Beaucoup d'autorités locales, particulièrement dans les zones urbaines, ont des difficultés pour ouvrir de nouvelles décharges car les riverains s'y opposent. Peu de personnes veulent d'une décharge dans leur voisinage. C'est pourquoi le coût de stockage des déchets solides dans ces régions est plus coûteux, les détritiques devant être transportés plus loin pour être stockés.

Certains s'opposent aux décharges quelque soient les conditions ou le lieu, en expliquant qu'au final le stockage en décharge laissera une planète véritablement polluée avec plus aucune fissure ou espace sauvage. Certains futurologues ont déclaré que les décharges seront les « mines du futur » : comme certaines ressources s'appauvrissent, on pourra justifier qu'il est nécessaire de les extraire des décharges où elles avaient été enfouies considérée alors comme non valorisable.

Cet état de fait et la prise en compte croissante des impacts de la consommation excessive des ressources a permis, dans plusieurs régions, d'accroître les efforts pour minimiser la quantité de déchets mis en décharge. Ces efforts sont la mise en place de taxes ou prélèvements sur les déchets mis en décharge, le recyclage des matériaux, leur transformation en énergie, la conception de produits nécessitant moins de ressources, et une législation imposant aux fabricants la prise en charge des coûts d'emballage et de stockage des déchets. Un sujet connexe est le concept d'écologie industrielle, où les flux de matière entre les industries sont étudiés. Les sous produits d'une industrie peuvent être utiles à une autre, cela permet de réduire les flux de déchets.

1.6.3.2. Incinération :

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification).

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons. Les

controverses concernent généralement les problèmes environnementaux et sanitaires liés aux incinérateurs qui ont fonctionné dans le passé, avant l'application des normes actuelles.

En premier lieu, il s'agit d'un mode d'élimination de déchets qui a un taux de valorisation limité. L'incinération détruit les ressources naturelles contenues dans les déchets et ne permet pas de récupérer 100% du pouvoir calorifique du déchets. L'énergie récupérée, sous la forme de chaleur ou d'électricité, provient du refroidissement des fumées de combustion dans une chaudière, qui permet de récupérer de la chaleur, qui peut être utilisée directement ou à son tour entraîner une turbine pour produire de l'électricité. L'incinération est malgré tout identifiée en France en 2002 comme la deuxième source d'énergie renouvelable pour la production d'électricité (après l'hydraulique) et pour la production de chaleur (après la biomasse).

Deuxièmement, l'incinération des déchets solides des villes produit une certaine quantité de polluants atmosphériques (dioxines et furannes, métaux lourds, gaz acides, poussières), dont les valeurs limites d'émissions sont fixées par la réglementation. Au cours des années 1990, des avancées dans le domaine du contrôle des rejets et de nouveaux règlements gouvernementaux ont permis une réduction massive de la quantité des différents polluants atmosphériques, y compris les dioxines et de furannes. L'Union européenne et l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) ont pris la décision de créer des normes très strictes concernant l'incinération des déchets.

L'incinération produit aussi un grand nombre de résidus solides (mâchefers) qui doivent être éliminés en décharge ou qui font l'objet d'un traitement si une valorisation en technique routière est envisagée. Dans les années 1980, l'entreposage en lieu sûr des mâchefers, qui à cette époque étaient aussi mélangés aux cendres, était un problème environnemental important. Au milieu des années 90, des expériences en France ont été réalisés pour traiter et élaborer des mâchefers (extraction des métaux ferreux et d'aluminium, criblage, broyage, concassage, maturation à l'air libre pour favoriser des réactions de carbonatation et d'oxydation). Les résultats positifs des suivis de plate-formes expérimentales utilisant des mâchefers sous les routes ont permis le développement de cette filière.

1.6.3.3. Compost et fermentation :

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes. Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage.

Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers. Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.

1.6.3.4. Traitement biologique et mécanique :

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques.

La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage. La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable. La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage.

Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre.

Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage.

TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environnemental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.

1.6.3.5. Pyrolyse et gazéification :

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.

La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits. Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs.

La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

1.7. Déchets utilisés comme granulats du béton :

1.7.1. Laitiers :

1.7.1.1. Laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de «laitier expansé».

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant[26]. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

La quantité de laitier expansé produit est bien plus faible que celle de laitier refroidi à l'air. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger ayant une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/ m³.

Les blocs de béton de laitier expansé sont utilisés pour la construction de murs porteurs et de murs non porteurs. Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers.

Le laitier expansé réduit en boulettes a été mis au point au Canada. On prétend que ce procédé de fabrication pollue moins l'air que le procédé normal de fabrication.

1.7.1.2. Laitier d'acier :

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.

1.7.2. Sous-produits provenant des centrales thermiques :

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de «mâchefer». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Ces particules sont appelées «cendres volantes». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon.

1.7.2.1. Mâchefer :

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

1.7.2.2. Scories de sole :

Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton [26].

1.7.2.3. Cendres volantes :

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granules légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

À l'origine, les cendres volantes étaient mélangées avec de l'eau et transformées en boulettes soit dans un tambour ou un cône rotatif, soit par extrusion. L'addition d'une faible quantité d'alcalis permet d'obtenir des boulettes ayant une meilleure résistance aux chocs thermiques et mécaniques. Lorsque le frittage se fait dans des fours à grille mobile, la température atteint environ 1150 à 1200°C et par conséquent, les petites particules de cendres volantes se fusionnent et forment un aggloméré. Cet aggloméré est ensuite brisé en boulettes. Les bétons qui contiennent de tels granules ont une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 40 MN/m² et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m³. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger [26].

1.7.3. Béton récupéré :

Le béton constitue presque 75%, en poids, de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées.

La résistance à la compression et le module d'élasticité du béton renfermant des granules recyclés est inférieure à ceux du béton ne contenant que des granulats ordinaires. Les différences sont encore plus grandes à des rapports eau-ciment inférieurs. Le fait de remplacer les fines du béton recyclé par du sable n'améliore pas pour autant la résistance du béton. Le béton qui contient des fines provenant de béton récupéré doit avoir un rapport eau: ciment plus élevé étant donné qu'il contient une plus grande proportion de particules de ciment hydraté. L'addition de réducteurs d'eau et une teneur en ciment plus élevée augmentent la résistance du béton.

Le retrait au séchage du béton constitué de béton récupéré est supérieur de 10 à 30% à celui du béton de référence. L'importance du retrait est fonction de la superficie totale; dans le cas des granulats recyclés, on s'attend à ce que la superficie soit plus élevée à cause de la présence de pâte de ciment.

La tenue au gel et au dégel du béton contenant des granulats de béton récupéré est semblable à celle d'une éprouvette de béton de référence contenant des granules ordinaires [26].

1.7.4. Déchets provenant de l'exploitation de mines et de carrières :

L'exploitation des mines et des carrières produit de grandes quantités de déchets. Les déchets de minerais ne sont pas encore très utilisés étant donné qu'ils proviennent d'endroits très éloignés des régions peuplées. Ils pourraient cependant être utilisés pour la fabrication de briques, et de blocs de béton autoclavé ou à granules légers. Un des problèmes relatifs à l'usage de ces déchets découle de la diversité de leur composition.

1.7.5. Déchets divers :

1.7.5.1. Déchets de mines de charbon :

Dans les opérations d'extraction du charbon, environ la moitié du matériau est rejetée sous forme de déchets. Ceux-ci servent principalement de matériau de remblai pour les routes et peuvent aussi être utilisés comme granulats pour le béton léger. La température de chauffe de ces déchets susceptible de produire le gonflement ou la dilatation doit être contrôlée pour que les gaz s'échappant de l'argile ou de tout autre matériau soient bien emprisonnés dans les granules ramollies. Tous les déchets ne vont pas nécessairement gonfler. Il est donc important de faire des essais préliminaires pour évaluer la capacité de gonflement des types particuliers de déchets [26].

1.7.5.2. Verre de récupération :

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

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m³ par pelletisation d'un mélange de

verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours [26].

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

1.7.5.3. Pneus usages :

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macrofissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité [7].

1.7.5.4. Résidus d'incinérateurs :

L'incinération des déchets domestiques et industriels entraîne la production de grandes quantités de résidus solides.

Ces résidus comportent toutefois certaines matières délétères, ce qui compromet leur utilisation en tant que composants du béton. Ainsi, l'aluminium entraîne la dilatation par suite de l'évolution de l'hydrogène, les métaux ferreux font tacher le béton et les sels de plomb et de zinc solubles nuisent à la prise du ciment. La présence de verre entraîne aussi la dilatation des granulats alcalins [26].

1.7.5.5. Boues rouges :

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.

La production de granules légers synthétiques à partir de boues rouges peut poser certaines difficultés parce que les boues rouges fondent seulement à des températures élevées et se ramollissent dans une gamme de températures assez restreinte. De plus, les gaz émis pendant le ramollissement ne sont pas toujours suffisants pour produire le gonflement. Dans certains cas,

des granulats légers ont été fabriqués avec des additifs tels les cendres volantes, le laitier de haut fourneau et la pierre ponce.

1.7.5.6. Argile cuite :

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [26].

1.7.5.7. Sciure de bois :

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. Le béton contenant beaucoup de sciure de bois est inflammable. La sciure provenant du chêne rouge, du sapin de Douglas, du peuplier du Canada, de l'érable, du bouleau ou du cèdre rouge donne des bétons à faible résistance alors que la sciure d'épinette ou de pin rouge donne des bétons dont les propriétés sont acceptables [26].

1.8. Déchets en Algérie :

1.8.1. Naissance d'une véritable politique environnementale :

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement. Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 Md, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), prévu jusqu'en 2010.

Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique.

- Sur le plan de la politique environnementale, le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD) fixe les différents programmes environnementaux du pays pour 2001-2010.
- Ces politiques sont appuyées par le Fonds National de l'Environnement et de dépollution (FEDEP) qui intervient notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions et les unités de collecte, de traitement et de

recyclage des déchets, ainsi que par la nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe du pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.

- Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :
 - Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
 - Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
 - Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
 - Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
 - Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
 - Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
 - Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
 - Ratification par l'Algérie du Protocole de Kyoto
 - Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005. Le montant de la taxe est de 24.000DA/tonne de déchets liés aux activités de soin des hôpitaux et cliniques et de 10 500 DA/tonne de déchets industriels dangereux stockés.

- Sur le plan institutionnel, création de plusieurs organismes :
 - Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP)
 - L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.
 - L'Agence Nationale des Déchets.
 - Le Conservatoire National des Formations à l'environnement
 - Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques
 - Le Commissariat National du Littoral.
 - Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres.
 - Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable.

1.8.2. Problématiques des déchets :

1.8.2.1. Déchets Solides et Urbains :

Selon l'Agence Nationale des Déchets en Algérie, la production de déchets ménagers est estimée à 7 M tonnes/ an, chiffre en constante augmentation.

Les estimations chiffrées font état de 0,7kg/hbt/ jour dans les grandes villes, contre 0,5kg/hbt/jour dans les villes plus moyennes.

La solution technique retenue par l'Algérie pour le traitement des déchets ménagers est l'enfouissement. A ce titre, plusieurs centres d'enfouissement techniques (CET) ont été réalisés. Selon le MATET, 65 CET ont déjà été lancés/ sont achevés ou sont en cours d'étude.

C'est la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets qui fixe les bases de la mise en place d'un Programme National de Gestion des Déchets Ménagers (PROGDEM). Le schéma directeur a été défini et des appels d'offres sont lancés ou vont être lancés au niveau de chaque wilaya (48).

Pour la wilaya d'Alger, le schéma directeur est actuellement en cours d'élaboration. La situation à Alger a beaucoup évolué ces dernières années puisque jusqu'en 1997, les ordures ménagères étaient déversées dans une décharge non contrôlée (2500 tonnes/ jour), la décharge de Oued Smar qui s'étend sur 30 hectares.

Depuis 1997, et suite à un début de contamination des nappes phréatiques du aux écoulements de la décharge, le CET de Ouled Fayed a été construit. Il comprend 5 casiers sur 40 hectares. A ce jour, 1 casier (2 selon l'Ademe) est déjà rempli.

A noter que l'ADEME et l'EPIC Net Com, en charge de la gestion des CET d'Alger, vont ouvrir à titre expérimental un nouveau casier.

La décharge de Oued Smar qui existe depuis 1978, devrait être fermée cette année et réhabilitée. En Juillet 2007, a été lancé un second appel d'offres national et international portant «Exécution des travaux de fermeture et de réaménagement de la décharge de Oued Smar (wilaya d'Alger) » (le premier appel d'offre avait été déclaré infructueux, compte tenu du trop faible nombre de soumissionnaires, d'après le MATET.

3 nouveaux CET sur la wilaya d'Alger devraient voir le jour. Plusieurs interlocuteurs rencontrés en Algérie ou en France dénoncent déjà le fait que les CET, à peine construits, sont déjà dépassés et que, très rapidement, les mêmes problématiques se profilent : fuites de lixiviats, contamination des nappes phréatiques, inadéquation des méthodes de traitement à la typologie des déchets.

En plus de la typologie des déchets (70% du contenu d'une poubelle algérienne est d'origine organique), le dimensionnement de Ouled Fayed n'a pas non plus tenu compte des paramètres climatiques : la forte humidité qui règne à Alger (800 mm/ an) renforce le caractère humide des déchets.

Concernant la collecte sélective, un programme test est mené cette année dans 2 communes pilotes :

HYDRA et EL MOURADIA. Cette collecte sélective concernera les emballages/ plastiques, le verre et les déchets encombrants. Là encore, un maillage reste à mettre en place car la collecte de déchets encombrants suppose la création de déchetteries qui n'existent pas encore en Algérie. 2 stations de transfert devraient voir le jour. Le second appel d'offre pour la station de transfert de Baraki est déjà lancé en 2007, celui relatif à la station de transfert de Oued Koreïche est lancé cette année.

Si l'on s'intéresse maintenant à la collecte et à la gestion des déchets ménagers de la wilaya d'Alger, c'est l'EPIC NET COM qui en a la charge. Créé en 1996, NET COM opère sous la tutelle de la Direction de l'Environnement.

A ce jour, l'EPIC est considéré comme une forme transitoire avant d'avoir recours à d'autres formes de gestion. La gestion mixte ou la gestion déléguée ne sont pas écartées par les autorités algériennes.

D'ailleurs, plusieurs solutions sont actuellement testées dans différentes communes. En effet, NET COM gère actuellement 28 sur les 57 communes (contre 15 en 1996) que compte la wilaya. Ce qui représente 2,5 Mhbt pour une superficie totale de 186 km², 2000 tonnes de déchets/ jour et 320 véhicules pour la collecte et le nettoyage urbain.

Les communes de Bordj El Kiffan, Kouba ont été données en concession à un opérateur privé. La commune de Gué de Constantine (120 000 hbt) serait également en passe d'être concédée.

1.8.2.2. Déchets Industriels :

Le cadastre relatif à l'élimination des déchets spéciaux a été réalisé en 2002 et a donné lieu au Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNADGES) qui a permis de caractériser le déchet par typologie et niveau de dangerosité. Ce document est important car il permet de contrôler le suivi de l'évolution de la production des déchets spéciaux.

En effet, les estimations données par le MATET sont alarmantes : les stocks de déchets spéciaux sont estimés à 2.8Mt. La production de déchets spéciaux est estimée à 325 000 tonnes/ an. Ce stockage massif et la production non contrôlée de ces matières dangereuses ne sont évidemment pas anodins en terme de santé publique et d'incidence sur l'environnement.

Compte tenu de la législation en vigueur et conformément au principe du pollueur payeur défini dans le cadre du FEDEP (Fonds National de l'Environnement et de Dépollution), chaque industriel est responsable de ses déchets produits et à ce titre, il est tenu de les traiter. Pourtant le cadre législatif n'est pas encore suffisamment contraignant puisque les industriels préfèrent encore s'acquitter de la taxe de déstockage plutôt que de traiter leurs déchets. D'ici la fin d'année, le MATET envisage de nouvelles mesures coercitives à l'encontre des industriels : une augmentation du montant de la taxe de déstockage et également un crédit d'impôt incitatif pour les entreprises.

Le gisement de déchets spéciaux est essentiellement centré dans les régions Est (1ère région productrice de déchets spéciaux), Centre et Ouest dans les wilayas d'Alger, de Bejaïa, Skikda, Annaba, Tlemcen et Oran.

87% des déchets produits proviennent de ces zones, soient 282 000 tonnes/ an et détiennent à elles seules 95% des déchets détenus en stock.

A ce jour, les plus grosses problématiques concernant les déchets suivants :

a. Amiante :

On estime à plus de 82 000 tonnes de déchets d'amiante stockés. Pendant une trentaine d'année d'exploitation des 4 usines de production d'amiante-ciment en Algérie (Meftah, Bordj Bouariridj, Zahana, Gué de Constantine), des fibres ou des résidus d'amiante se sont déposés sur les équipements, la structure des bâtiments et sur les sols. Une opération pilote pour le « traitement des déchets d'amiante et décontamination du site de l'unité amiante-ciment de Gué de Constantine (Alger) », unité à l'arrêt depuis 1997, a fait l'objet d'un appel d'offres national et international au début du mois de Juillet 2007.

b. PCB :

L'inventaire National des Appareils Electriques et des Déchets contenant des PCB a recensé 6770 appareils électriques.

Une étude de faisabilité sur l'élimination des déchets de PCB a également été réalisée. Une étude technico-économique a mis en évidence des options de gestion des PCB comme la construction d'installations d'incinération, le reconditionnement ou le stockage. A noter que la société COFAL est intervenue de 2004 à 2006 sur le marché du traitement des transformateurs pollués au PCB.

COFAL Algérie a en effet géré la collecte de ces appareils, réalisé la vidange et acheminé les transformateurs vers des sites de traitement en France et en Belgique.

c. Huiles Usagées :

L'inventaire national a recensé plus de 4000 tonnes d'huiles à éliminer. Les huiles usagées ont aussi fait l'objet d'un traitement à l'étranger (800 tonnes d'huile).

La production annuelle d'huile usagée est estimée à 59 000 tonnes.

d. Pesticides Périmés :

Une étude de faisabilité pour l'élimination des pesticides a recensé 1 100 tonnes à l'état solide et 615 000 litres.

e. Déchets Mercuriels :

Le site industriel d'Azzaba stocke 1 million de tonnes de scories de mercure. Encore aujourd'hui, des sociétés privées sont discrètement consultées pour gérer l'élimination de ce type de déchets.

f. Déchets Cyanures :

22 tonnes sont générées annuellement et on estime que 270 tonnes sont stockées au niveau des entreprises.

g. Déchets / Boues hydrocarburées :

Les sociétés pétrolières sont elles aussi tenues désormais de traiter les déchets solides ou les boues constituées autour des puits de pétrole.

1.8.2.3. Déchets Hospitaliers :

Ces déchets hospitaliers comprennent :

- Les Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux (DASRI)
- Les Déchets d'Activités de Soins Assimilables aux Ordures Ménagères (DAOM)
- Les Ordures Ménagères (OM)
- Les Recyclables (cartons notamment, papiers, plastiques...)
- Autres déchets Industriels Dangereux qui comprennent au moins une trentaine de filières.
- Autres déchets Industriels Non Dangereux.
- Les déchets radioactifs.
- Sont aussi gérés par les structures de santé les déchets verts.
- En Algérie, ils classent de plus les Pièces Anatomiques Identifiables d'Origine Humaine dans les déchets.

a. Traitement des Déchets de Soins :

Le MSP RH regrette que les appels d'offres lancés par le MATET, les études et travaux divers sur ces sujets se fassent sans concertation avec eux. Il en est par exemple ainsi pour es achats des incinérateurs.

Le MSP RH a mené de septembre à novembre 2006, une Enquête National DASRI auprès de 90 hôpitaux publics des 48 wilayas afin de connaître les modalités de gestion et d'estimer les gisements DASRI.

75 enquêteurs majoritairement médecins, appuyés par 15 superviseurs, ont été mobilisés pour cette étude portant à la fois sur l'organisation générale de ces structures hospitalières, sur les aspects logistiques et sur les productions par service. Le plus gros problème porte sur l'aspect réglementaire relatif à l'incinération des DASRI.

En effet, le cadre législatif énoncé dans le décret du 14 décembre 2003 qui donne les grandes orientations en matière de DASRI est encore très éloigné de la réalité. Dans certains hôpitaux, les déchets de soins sont encore parfois collectés à mains nues ou directement acheminés vers les décharges et/ou brûlés in situ soit dans des « brûleurs » ou incinérateurs voire à ciel ouvert. D'une manière générale il n'y a pas de maintenance sur ces équipements qui sont donc très souvent en panne. De plus, ces équipements sont mal conduites et sont très polluantes. Tout ceci en plein cœur des agglomérations.

Le décret ne précise pas les modes de traitement en fonction des différents types de déchets. S'il a rendu obligatoire l'incinération des DASRI, il ne précise pas les spécificités des incinérateurs hospitaliers alors que la plupart des structures médicales est équipée de brûleurs datant souvent d'une vingtaine d'années et ne répondant plus aux normes de l'incinération (notamment au niveau des rejets des fumées et des imbrûlés).

Le décret doit d'une part imposer des normes pour l'incinération (le MATET continuant à inciter les hôpitaux à investir dans des incinérateurs).

D'autre part, le MSP RH a fait depuis 2005 des propositions pour faire évoluer le texte en ouvrant la possibilité de traitement alternatif des DASRI et notamment leur « banalisation » soit in situ, soit en plate-forme externe.

Le MSP RH envisage des options de traitement des DASRI selon les positionnements géographiques et selon les quantités produites : soit un traitement in situ soit un traitement externalisé, avec une collecte externe qui serait confiée, dans ce cas, à des entreprises privées.

De plus, l'organisation interne de la filière DAS reste encore entièrement à mettre en œuvre : matériels de tri à la source, matériels de translation et de transport, conteneurs, aménagement de plate-forme (PTF) de regroupement des DAS, aménagement de PTF industrielle de traitement.

Les premiers résultats de l'étude FASEP (qui sont présentés en septembre 2007) font apparaître une production globale annuelle algérienne de DASRI de l'ordre de 10 000 à 12.000 tonnes/an

maximum (toutes structures médicales confondues). Actuellement, le tri sélectif à la source n'est pas pratiqué, faute de moyens matériels et de formation des agents hospitaliers.

D'une manière générale, la mise à niveau de la gestion des déchets hospitaliers nécessitera des budgets considérables que ce soit en investissements et en exploitation et qui sont aujourd'hui largement insuffisants.

Outre l'absence totale de la prise en charge de la problématique DASRI, les interlocuteurs au Ministère de la Santé dénoncent l'insouciance collective qui règne en Algérie sur la problématique des déchets hospitaliers.

Ils dénoncent également le manque de traitement des Pièces Anatomiques Identifiables d'origine Humaine qui sont actuellement rendues aux familles pour enfouissement sans contrôle. Un texte est actuellement en passe d'être signé pour que ces pièces anatomiques soient désormais soumises à un contrôle avant l'inhumation.

Le décret de mai 2007 concernant la réorganisation des structures de soins devrait contribuer in fine à une meilleure prise en charge de la filière DASRI. Ce décret devrait permettre de recenser et de hiérarchiser les structures de soins (hôpitaux, cliniques, polycliniques, centres de soin...) et rationaliser les soins.

En 2007, le MSP RH a recensé 200 hôpitaux et 900 centres de soin ou polycliniques.

b. Stock de Produits Pharmaceutiques Périmés :

Le stock de produits pharmaceutiques périmés est estimé être de 12 à 15.000 tonnes pour une production annuelle estimée quant à elle à 1.500 tonnes/ an. Un inventaire par type de médicament et de molécule a récemment été réalisé par la société EPE 3R Santé, en charge du traitement des déchets médicamenteux.

Aujourd'hui, la démarche de traitement est au point mort, les autorités algériennes étant en phase de réflexion quant à la méthode de destruction à utiliser.

Un appel d'offre a été lancé en Avril 2007 pour traiter 12000 tonnes/ an. C'était le 3ème appel d'offre de ce genre, les précédents ayant été classés sans suite à chaque fois.

c. Traitement des Effluents Hospitaliers :

La plupart des stations de traitement dont étaient équipés les hôpitaux ont arrêté de fonctionner depuis plusieurs années déjà. Elles n'ont d'ailleurs, pour la plupart, jamais fonctionné de manière optimale.

A ce jour, toutes les eaux hospitalières de la bande littorale sont rejetées sans aucun traitement et les hôpitaux n'ont toujours pas l'obligation de pré traiter ou traiter les effluents hospitaliers.

A titre d'exemple, on peut citer l'hôpital Mustapha (1800 lits), l'un des plus importants d'Algérie, spécialisé dans les traitements anti-cancéreux dont les déchets liquides sont directement rejetés sur les plages de Bab-El-Oued, ou dans les nappes phréatiques.

1.8.3. Valorisation des déchets et sous produits dans le domaine des travaux publics:

1.8.3.1. Pneus usagés et déchets plastiques :

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays.

En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie [22].

1.8.3.2. Déchets de la construction/démolition :

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

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

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

Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées [9].

1.9. Conclusion :

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités. Le déchet est par définition «matière» et à ce titre la biophysicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicitées pour le traiter.

Cette matière n'est pas banale. Elle a une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement.

L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de marbre et pour l'utiliser en tant que granulats pour béton, il faut respecter certains critères qui seront exposés au chapitre suivant.

CHAPITRE 2

Granulats pour béton

2.1. Introduction :

Comme les trois quarts du volume d'un béton sont occupés par les granulats, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leurs propriétés, ils affecteront la durabilité et les performances structurales du béton.

Ce chapitre s'intéresse davantage aux principes de fabrication, aux caractéristiques et à l'exploitation des gisements des granulats, ainsi qu'aux différents paramètres qui influent sur le comportement du béton.

2.2. L'origine minéralogique des granulats :

2.2.1. Les roches massives :

Les roches massives susceptibles de fournir des granulats viennent surtout des gisements épais de roches dures. Il s'agit surtout de calcaires de formations géologiques plus anciennes (au plus tôt du tertiaire), ou de roches d'origine magmatiques, sédimentaires et métamorphiques.

2.2.1.1. Les roches magmatiques :

Elles se sont formées lors du refroidissement plus ou moins rapide d'un mélange fondu, appelé magma.

On parle de roches plutoniques, si le refroidissement s'est effectué en profondeur et lentement. On parle de roches volcaniques, si le refroidissement s'est effectué rapidement, près de la surface.

Les roches magmatiques sont composées essentiellement de silice (SiO_2) et de combinaisons de la silice avec d'autres éléments (aluminium, fer, magnésium,...).

Ce sont les silicates. Parmi ces derniers, on rencontrera très fréquemment :

- Les feldspaths, silicates d'aluminium, de sodium, de potassium et de calcium ;
- Les micas, silicates à structure feuilletée ;
- Les silicates « ferromagnésiens » contenant une forte proportion de fer et de magnésium.

2.2.1.2. Les roches sédimentaires :

Elles se forment à la surface de l'écorce terrestre par des processus de géodynamique externe : altération, érosion, transport et sédimentation.

Il existe une très grande variété de roches sédimentaires et il y a trois systèmes de classification :

- d'ordre génétique, distinguant les roches selon leur mode de formation : roches résiduelles et roches détritiques.
- d'ordre chimique, selon la nature des principaux composants : roches carbonatées, roches siliceuse, roches silico-alumineuses (argileuses) et roches salines ou évaporites.
- d'ordre granulométrique, en fonction de la dimension des éléments de la roche : fillers, sablons, sable, graves et gravillons.

2.2.1.3. Les roches métamorphiques :

Les roches métamorphiques résultent de la transformation à l'état solide de roches préexistantes. Ces dernières peuvent être magmatiques, sédimentaires ou déjà métamorphiques. Suivant l'intensité du métamorphisme et la nature de roche d'origine; il existe une grande variété de roches :

- les schistes et micashistes, constitués de quartz et de micas.
- les gneiss, qui ont les mêmes constituants que les granites.
- les ardoises, qui sont d'anciennes pélites (argilites consolidées) ayant acquis mécaniquement une structure feuilletée.
- Les cornéennes, roches dures, formées de quartz, feldspaths, micas, pyroxènes et amphiboles en proportions variables.

2.2.2. Les roches meubles :

Ce sont des dépôts anciens ou actuels résultant d'un processus d'érosion, d'altération et de sédimentation de roches massives. Ces dépôts se présentent sous forme :

- d'alluvions de rivières ou de fleuves déposées dans des basses vallées ou terrasses anciennes qui, peuvent avoir été submergées par la mer (sables et graviers marins)
- de plages et dunes.
- de gisement appartenant à un horizon stratigraphique défini (sables siliceux provenant de rivages anciens)
- de formations autres, telles qu'éboulis, brèches, conglomérats.

Les alluvions peuvent être silico-calcaires, calcaires ou polygéniques (composées d'élément siliceux et silicatés), suivant la nature du bassin à partir duquel s'est constitué le dépôt.

Les éléments dominants sont, en général, ceux qui sont les moins altérables (quartz, silex, grès, calcaires) [4].

2.3. La reconnaissance des gisements de granulats :

2.3.1. Définition des paramètres à étudier :

2.3.1.1. La morphologie et l'hydrographie :

Ces paramètres sont à prendre en compte pour définir le plan d'exploitation et choisir l'emplacement des installations en vue de réduire les manutentions et les dépenses d'énergie et pour limiter les effets sur l'environnement. Une connaissance très précise de la morphologie du gisement permet en outre d'orienter la reconnaissance du sous-sol.

2.3.1.2. La découverte du gisement :

On entend par découverte, la tranche de matériaux à extraire avant d'atteindre les couches exploitables. Longtemps considérée comme stérile, de plus en plus, la découverte est valorisée par sa réutilisation pour la protection de l'environnement ou la remise en état progressif du site. Dans l'étude de gisement, on déterminera donc le volume de la découverte, mais aussi les variations de son épaisseur et de sa nature en vue de définir les conditions optimales de son extraction et de sa réutilisation.

2.3.1.3. Les matériaux exploitables :

Il s'agit de définir le volume total de matériaux exploitable et sa répartition dans l'espace en sous-ensemble permet en compte les caractéristiques du gisement et des matériaux. L'identification précise de chaque unité est très importante car elle conditionne le plan d'extraction, la conception des installations et la qualité des granulats produits. Les principaux paramètres à prendre en compte sont :

- La nature pétrographique des matériaux.
- Le comportement physique et mécanique des granulats.
- L'état de fragmentation du massif rocheux ou la granularité d'un matériau alluvionnaire.
- Les différentes pollutions ou hétérogénéité dans les horizons à exploiter.

2.3.1.4. Les paramètres hydrogéologiques :

Ils ont une importance pour les gisements alluvionnaires conditionnant à la fois le mode d'exploitation et la propreté des matériaux.

Cependant ces paramètres hydrogéologiques doivent être pris en compte pour tous les types de gisements, car même dans le cas de débits d'eau faibles (roches massives), ils conditionnent le choix du réaménagement et le plan d'extraction.

2.3.2. Les méthodes et moyens d'études :

2.3.2.1. Etude morphologique et géologique de surface :

Toute étude de gisement commence par une étude morphologique et géologique englobant le site à exploiter et ses abords.

Les moyens suivants ont pu notamment être employés :

- Exploitation de la documentation géologique et géotechnique existante, cartes géologiques, hydrologiques, pédologiques, archives du code minier.
- Analyse morphologique et géomorphologique par photo-interprétation et de prise de vues spécifiquement réalisées pour mettre en évidence les phénomènes géologiques.
- Levé géologique et structural précis, s'appuyant sur les fronts existants ou les affleurement naturels.
- Echantillonnage des différents matériaux constituant le gisement, prélevés sur front de taille ou affleurement, ou en leur absence, par quelques sondages carottés.
- Identification qualitative des échantillons types par des études pétrographiques précises, des essais permettant d'évaluer la résistance mécanique des différents faciès.
- La topographie de la surface du sol (nivellement très précis servant de base à l'évaluation des volumes).
- Le levé géologique et structural, sachant que toute observation de surface est la moins coûteuse et qu'une bonne compréhension initiale de la structure du gisement permettra la meilleure organisation de la reconnaissance.

2.3.2.2. La géophysique de la surface :

Les paramètres géophysiques discriminant le mieux la nature, l'altération ou la fissuration des terrains sont la résistivité électrique et la vitesse de propagation des ondes sismiques dans le sous-sol. Ces deux paramètres sont complémentaires, la résistivité étant sensible surtout aux variations de la quantité d'eau du sol qui dépend elle-même de sa nature, la vitesse de propagation des ondes sismiques variant en fonction des caractéristiques mécaniques du terrain, de sa compacité et surtout de sa fissuration.

2.3.2.3. Sondages mécaniques :

Les sondages mécaniques apportent des informations géologiques précises mais ponctuelles et coûteuses. Il importe donc de les implanter au mieux, sur la base des études géologiques et géophysiques préalables, mais aussi de choisir la technique la mieux adaptée au gisement et la moins coûteuse pour les objectifs recherchés qui sont à ce niveau :

- La production d'une coupe géologique précise.

- Le prélèvement d'échantillons représentatifs pour l'identification qualitative des matériaux.
- La connaissance du niveau de la nappe.

2.3.2.4. Diagraphies différées :

Les diagraphies consistent à enregistrer dans un sondage, généralement d'une manière continue, en fonction de la profondeur, un plusieurs paramètres qui caractérisent le sol.

Les paramètres les plus fréquemment enregistrés en reconnaissance de gisements sont les suivant :

- La radioactivité naturelle globale ou sélective :
Ce pendant varie en fonction de la nature géologique des terrains.
- Les diagraphies électriques :
Elles mesurent la résistivité des terrains. Ces diagraphies sont surtout intéressantes en site éruptif pour l'étude des variations d'altération et de pollution du massif rocheux.
- Les diagraphies soniques :
Le paramètre mesuré est la vitesse de propagation des ondes longitudinales dans le terrain au voisinage d'un sondage.

2.3.2.5. Identifications et essais :

Avant même d'engager l'investissement d'une étude détaillée de gisement, il convient de s'assurer que les matériaux à exploiter répondent aux critères de qualité exigés. Le problème se pose différemment s'il s'agit d'une extension de carrière ou de l'ouverture d'un nouveau gisement.

- Dans le cas d'une extension de carrière, l'exploitation en cours ou antérieure a généralement permis de situer qualitativement les produits par rapport aux spécifications, en les classent suivant leur nature géologique par référence à la provenance sur le front de taille.
- Dans le cas ou cette connaissance initiale de la qualité de la production en fonction de l'origine sur le gisement n'est pas connue, il est indispensable de l'acquérir. Pour cela, il est nécessaire de :
 - Prélever des échantillons représentatifs des différentes unités géologiques du gisement.
 - Réaliser une identification très complète de ces échantillons types.

-Procéder, si nécessaire et si possible, à un test de concassage sur ces témoins, afin de prévoir les caractéristiques des granulats et permettre la réalisation des essais de comportement mécanique sur des matériaux se rapprochant de la production réelle.

-Evaluer, par des essais, la qualité de ces matériaux témoins pour les situer par rapport aux diverses utilisations possibles.

2.4. Les principes de fabrication des granulats :

2.4.1. Généralités :

Les quatre opérations nécessaires à la production des granulats sont :

- l'extraction de la matière première ;
- le concassage ;
- le criblage ;
- le stockage avant expédition.

Parfois, une opération complète, remplace un de ces quatre traitements, par exemple ;

La cuisson des nodules d'argile de schiste expansé prend place entre le concassage et le criblage et lorsque les nodules sont moulés, le concassage est supprimé.

Le concassage est une opération primordiale dans le cas des granulats de carrière ; intéressant généralement que les classes granulaires.

Il faut donc distinguer les sources pour décrire les particularités de la fabrication, mais on se bornera aux principes généraux car l'équipement nécessaire est extrêmement divers suivant le site, la nature des matériaux, les qualités à produire, les conditions économiques.

2.4.2. Les granulats de carrière :

Ils sont produits à partir de bancs rocheux. Pour le carrier, la connaissance approfondie des bancs de son gisement est évidemment primordial puisque les caractéristiques des granulats produits dépendent de la roche et de la structure des bancs, par exemple, si un banc calcaire dur est très fissuré, étant rempli d'argile, le sable de concassage contiendra beaucoup de fines argileuses.

L'extraction se fait par abattage à l'explosif après que la découverte (terre végétale et roche altérée surplombant le front de taille) ait été éliminée au buteur, l'abattage doit se faire selon les règles de l'art, l'usage de l'explosif étant très réglementé pour des raisons de sécurité et de nuisances à l'égard de la collectivité.

Généralement, après l'abattage, on procède à un précriblage appelé « scalpage ».

Le scalpage a pour but d'éliminer les restes de découverts et de roches altérées présents dans l'abattage préalable au tir de mine.

Le matériau scalpé ou non, est ensuite concassé pour être amené à la dimension d'utilisation.

Le concassage est réalisé en plusieurs étapes, concassage primaire, secondaire et tertiaire, par exemple séparés l'un de l'autre par des criblages.

Le choix des concasseurs affectés à ces opérations est évidemment très lourd de conséquences pour le carrier puisque d'une part les concasseurs représentent un investissement important et, d'autre part, la productivité de l'installation, la qualité, et le prix des granulats en dépendant énormément.

Le type d'appareil et ses dimensions sont choisis en fonction :

De la dureté de la roche à concasser.

De la dimension du plus gros bloc à admettre (au concassage primaire, cette dimension dépend de la matière dont le tir de mine est effectué) ;

Du débit (à même ouverte, un concassage giratoire débite beaucoup plus qu'un concasseur à mâchoires) ;

Du rapport de réduction (4 à 5 pour les concasseurs à mâchoires, 5 à 6 pour les giratoires primaires) ;

Du coût de l'investissement par tonne de matériau produite.

Les paramètres tels que les caractéristiques mécaniques de la roche, le débit d'alimentation et sa régularité, le réglage du concasseur ont une influence sur la forme, l'angularité et le débit du produit de concassage.

Le criblage est l'opération complémentaire du concassage :

On fait circuler le matériau à cribler sur un tamis qui vibre et le matériau est ainsi séparé en passants et refus.

2.4.3. Les granulats alluvionnaires :

L'extraction se fait classiquement par une pelle mécanique en site terrestre et par dragage en site aquatique.

Ce sont essentiellement les conditions économiques de l'installation et du marché qui déterminent le choix du matériel à utiliser.

Contrairement au cas de l'exploitation en carrière, le concassage est une opération auxiliaire puisqu'on concasse les classes granulaires non demandées pour augmenter la production des classes déficitaires, le matériel de concassage est donc choisi en conséquence.

Le criblage est ici, l'opération principale ; il est généralement pratiqué dans un courant d'eau, ce qui combine tamisage et lavage en effet, même en site terrestre, le gisement est

fréquemment sous la nappe phréatique, ainsi à l'inverse des sables de concassage qui contiennent toujours de 5 à 20% de fines (les grains inférieurs à 80µm).

2.5. Les caractéristiques des granulats :

2.5.1. Les caractéristiques géométriques :

2.5.1.1. Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.

Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560).

2.5.1.2. Classes granulaires :

On trie les granulats par dimension au moyen de **tamis** (mailles carrées) et de passoirs (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d, des grains et le deuxième le diamètre maximum D.

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D. Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné 0/D.

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101):

- Les **fines** 0/D avec $D \leq 0,08$ mm,
- Les **sables** 0/D avec $D \leq 6,3$ mm,
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm,
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
- Les **graves** d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm,

2.5.1.3. Module de finesse :

Les **sables** doivent présenter une **granulométrie** telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Si il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le **sable** est trop gros, la plasticité du mélange sera

insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

2.5.1.4. Forme des granulats :

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques:

- La longueur L , distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat,
- L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat,
- La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

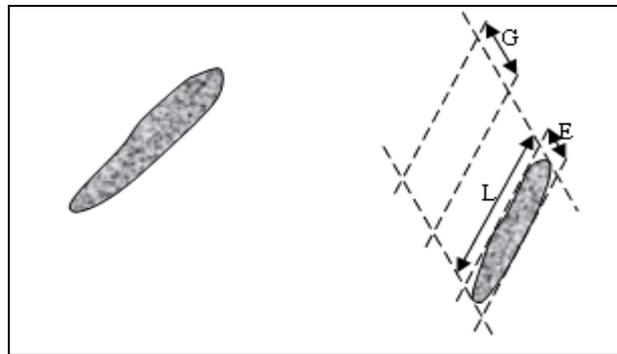


Figure 2.1 : Forme d'un granulat

2.5.1.5. Coefficient d'aplatissement :

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série de tamis à mailles carrées utilisée pour l'étude de la granulométrie. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles.

Le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1,58.

La norme NF P 18-561 définit les modalités de sa mesure.

2.5.2. Les caractéristiques physiques :

2.5.2.1. Masse volumique apparente :

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume.

Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis (normes NF P 18 554 et 18 555).

Elle est comprise entre 1 400 kg/m³ et 1 600 kg/m³ pour les granulats roulés silico-calcaires. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton.

2.5.2.2. Porosité :

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage.

La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers.

La mesure de la porosité se fait selon la norme (NF P 18 554 et 18 555).

2.5.2.3. L'absorption d'eau des granulats :

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé absorption.

L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulats. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulats légers.

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels que agrégats légers expansés d'argile, sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton.

La mesure du coefficient d'absorption d'eau se fait selon la norme (NF P 18 554 et 18 555).

2.5.3. Les caractéristiques mécaniques :

2.5.3.1. Résistance à la fragmentation :

Dans les bétons, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture : La mesure de leur résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA). Il fait l'objet de la norme NF P 18-573. C'est un essai de résistance aux impacts, basé sur la mesure de la dégradation granulométrique des matériaux soumis aux chocs.

Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulats ; et La résistance à la fragmentation est d'autant meilleure que sa valeur est petite.

L'essai de friabilité des sables, adapté à la granulométrie fine de ces derniers, mesure la résistance des sables à la fragmentation. Le coefficient caractéristique (FS) est d'autant plus élevé que le sable est friable.

2.5.3.2. Résistance à l'attrition :

C'est une caractéristique très importante pour les matériaux entrant dans la composition des assises de chaussées, soumises à des déformations périodiques dues au passage des véhicules et induisant un effet d'attrition entre les granulats.

L'essai Micro Deval (norme NF P 18-572) est un essai dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure.

Les granulats résistent d'autant mieux à l'attrition que la valeur du coefficient Micro Deval est faible.

2.5.3.3. Effets du gel-dégel :

Lorsque les conditions en service font que la température d'un béton saturé passe en dessous du point de congélation, l'eau contenue dans les pores capillaires de la pâte durcie gèle progressivement, d'une façon identique à celle des pores d'une roche et donne lieu à une expansion. Le gonflement induit par le gel est un phénomène cumulatif, c'est-à-dire qu'il augmente au fur et à mesure que le béton est soumis à des cycles répétés de gel-dégel.

Le phénomène d'expansion du béton sous l'effet du gel se produit principalement dans la pâte de ciment hydraté. Les vides les plus importants, dus à un serrage ou compactage incomplet du béton sont habituellement remplis d'air et ne contribuent donc pas de manière sensible au gonflement du béton.

Un granulat ne sera pas sensible au gel s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macropores (qui jouent le rôle de bulles d'air). Cependant, un granulat dans le béton peut être considéré comme un volume fermé, car la faible perméabilité de la pâte environnante ne permettra pas à l'eau de se déplacer assez rapidement dans les vides d'air.

Les granulats utilisés habituellement ont une porosité de l'ordre de 0 à 5% et il est préférable d'éviter les granulats qui ont des porosités élevées.

Cependant, l'emploi de tels granulats n'entraîne pas obligatoirement des problèmes de durabilité au gel. En effet, les pores de grande dimension présents dans les bétons aérés et dans le béton sans fines contribuent probablement à la résistance au gel de ces matériaux. De plus, même pour les granulats ordinaires, aucune relation simple entre la porosité des granulats et la résistance au gel-dégel du béton n'a encore été établie.

De façon générale, les granulats de grande dimension sont plus sensibles au gel, de plus l'emploi de granulats de dimension maximale élevée ou une proportion importante d'éléments

plats est à déconseiller puisque des poches d'eau de ressuage peuvent se former sous les granulats.

2.5.3.4. Alkali réaction :

Dans les granulats, certains constituants amorphes et mal cristallisés de la silice (SiO_2) sont sensibles aux alcalis et peuvent en présence d'humidité réagir avec un hydroxyde alcalin provenant du ciment (NaOH , Ca(OH)_2). Il se forme des silicates alcalins hydratés plus volumineux entraînant la désagrégation du béton en présence d'humidité qui se traduit par des fissurations, des gonflements provoquant des déformations éventuelles parfois très importantes de la structure, des écaillages, des exsudations, des cratères superficielles.

Ces désordres qui n'apparaissent pas tous, peuvent dans certains cas entraîner à plus ou moins longue échéance la ruine totale de l'ouvrage.

Trois conditions sont simultanément nécessaires à l'alcali réaction :

- La présence d'un granulats potentiellement réactif.
- Une concentration élevée en éléments alcalins dans la solution interstitielle.
- Une ambiance de conservation du béton présentant une humidité élevée supérieure à 80 %.

Si l'une de ces conditions n'est pas remplie, il n'y a pas de risque d'alcali réaction.

La norme (NF P18 542) définit les critères de qualification des granulats vis-à-vis de l'alcali réaction.

2.5.4. Propriétés thermiques des granulats :

Trois propriétés thermiques des granulats sont importantes en ce qui concerne la performance du béton, il s'agit du coefficient de dilatation thermique, de la chaleur spécifique et de la conductivité.

Cependant, il a été suggéré que, si la différence entre les coefficients de dilatation thermique et de la pâte de ciment hydraté est importante, une variation notable de la température peut occasionner des mouvements différentiels et rompre ainsi l'adhérence entre les granulats et la pâte qui les entoure. Toutefois, les mouvements différentiels étant provoqués également par d'autres contraintes telles celles causées par le retrait de séchage, une différence importante entre les coefficients de dilatation n'entraîne pas automatiquement des désordres lorsque la température varie entre 4 et 60 °C.

Toutefois, lorsque les coefficients diffèrent de plus de $5,5 \times 10^{-6}$ par °C, la durabilité du béton soumis à des cycles de gel-dégel peut être affectée.

Tableau 2.1 : Coefficient linéaire de dilatation thermique de différents types de roche

Type de roche	Coefficient d'expansion thermique (10^{-6} par °C)
Granite	1,8 – 11,9
Diorite, andésite	4,1 – 10,3
Gabbro, basalte, diabase	3,6 – 9,7
Grès	4,3 – 13,9
Dolomite	6,7 – 8,6
Calcaire	0,9 – 12,2
Chert	7,3 – 13,1
Marbre	1,1 – 16,0

Si les températures extrêmes sont prévues, les propriétés thermiques des granulats doivent être connues, par exemple, le quartz subit un changement de structure cristalline à 574 °C et se dilate subitement de 0,85 %. Cette dilatation suffit à provoquer la rupture du béton ; pour cette raison, le quartz n'est jamais utilisé dans la fabrication des bétons qui devront résister à de fortes températures.

2.5.5. Impuretés dans les granulats :

2.5.5.1. Impuretés organiques :

Des granulats naturels peuvent être suffisamment durs et résistants pour être utilisés et cependant ne pas être satisfaisant pour fabriquer du béton s'ils contiennent des impuretés organiques interférant avec les réactions chimiques d'hydratation. Les matières organiques trouvées dans les granulats sont généralement constituées de produits de décomposition de matières végétales et apparaissent sous forme d'humus ou de terre organique.

De tels matériaux semblent être plus courants dans les sables que dans les granulats grossiers, plus facilement lavés.

2.5.5.2. Argiles et matériaux fins :

L'argile peut être présente sous forme d'une pellicule enveloppant les granulats et interférer dans leur liaison avec la pâte de ciment.

Comme une bonne liaison est essentielle pour garantir au béton une résistance et une durabilité satisfaisante, ce film argileux peut causer un réel problème. Le sable joue également un rôle non négligeable s'il renferme de l'argile, celle-ci peut retarder la prise en agissant par

enrobage des grains de ciment. Il se formerait une pellicule mince, véritable barrière de la diffusion des ions, empêchant ainsi la cristallisation régulière et homogène.

Les retards de prise et de durcissement du béton ne sont qu'exceptionnellement dus au liant. Ils proviennent le plus souvent soit d'un abaissement imprévu de la température, soit de matière contenues en très faibles quantités dans l'eau de gâchage ou dans le sable.

Deux grands types de matériaux fins peuvent exister dans les granulats : le silt et la poussière de concassage.

Le silt est un matériau de 2 à 60 μm , réduit à cette taille par des processus météoriques naturels ; il peut ainsi se trouver dans des granulats provenant de dépôts naturels.

Par ailleurs, les poussières de concassage sont des matériaux fins formés durant le processus de réduction de la roche en une pierre concassée, ou plus rarement, de graviers en granulats fins concassés. Lors d'un processus correct de traitement des granulats, cette poussière devrait être ôtée par lavage.

Il existe un essai permettant la détermination du pourcentage des éléments très fins du sable (argile, limon et les matières solubles), c'est l'essai dit l'équivalent de sable ES. Les sables convenables ont un ES supérieur à 65 selon la norme (NF P18 598).

Un test calorimétrique permet également de s'assurer que le sable ne contient pas de matières organiques dangereuses (NF P18 586).

2.5.5.3. Contamination par le sel :

Un sable provenant du bord de mer ou qui a été dragué, soit en mer ou dans un estuaire de rivière, tout comme un sable de désert, contient du sel et doit être traité.

Le procédé le plus simple consiste à laver le sable dans de l'eau douce, mais un soin particulier doit être apporté aux prélèvements effectués au dessus de la limite des hautes eaux dans lesquelles une grande quantité de sel, parfois supérieure à 6 de la masse de sable, peut être trouvée.

En général, le sable provenant des fonds marins, même lavé dans l'eau de mer, ne contient pas de quantités néfastes de sel.

A cause du risque de corrosion des armatures par des chlorures, on précise la quantité maximale d'ions chlore qui peuvent être présents dans un béton.

2.6. L'influence des caractéristiques des granulats sur le béton :

Nous présentons l'influence des caractéristiques des granulats sur le béton dans le tableau: 2.2

Tableau 2.2 : Liens existants entre les caractéristiques des granulats et les propriétés des bétons [23]

Caractéristiques des granulats	L'influence sur le béton
Nature minéralogique	-Un granulat calcaire à faible coefficient de dilatation thermique est favorable pour s'opposer à la fissuration de retrait thermique. -La présence de clivages dans les minéraux (micas, feldspaths,..) accroît les retrait.
Granularité des sables	Il faut vérifier : -Teneur en fines. -Continuité et régularité de la granularité.
Granularité des gravillons	Elle est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer en fonction de critères liés à la mise en œuvre.
Absorption d'eau	C'est la mesure des pores accessible à l'eau : -Une valeur élevée est défavorable pour la durabilité, la carbonatation, la dégradation par le gel et la pénétration des chlorures. -Une absorption d'eau élevée diminue le module d'élasticité et accroît le fluage, par contre une très faible absorption d'eau favorise le ressuage.
Résistance mécanique : Los Angeles $LA \leq 40$	Il est mesuré, pour les gravillons par un essai de fragmentation dont le résultat intervient peu sur les caractéristiques des bétons
Coefficient d'aplatissement des gravillons $A \leq 30\%$	-C'est une mesure de la quantité d'éléments plats et allongés qui permet de juger la forme des grains. -Une mauvaise forme nuit à la maniabilité, ce qui risque d'être compensé par un accroissement du dosage d'eau et favorise la ségrégation.
Homogénéité $\geq 95\%$	-C'est une mesure, peu courante, la teneur en grains légers, de masse volumique inférieure de 400 kg/m^3 , par rapport à celle de l'échantillon d'un granulat. Ces grains légers sont souvent des

	élément altérés, friables quand à l'aspect des parements et à leur durabilité.
Impuretés prohibées $\leq 0,1\%$	-Il s'agit de débris végétaux, charbons, grains légers, déterminés par triage manuel sur tamis. Ces éléments nuisent à la durabilité du béton.
Sensibilité au gel $\leq 50\%$	La sensibilité au gel des bétons est assez peu sensible à la gélivité des granulats.
Alcali-réaction	Les granulats ne doivent pas avoir un effet d'alcali réaction pour les bétons. Il est toujours intéressant de connaître leur teneur en alcali active afin de pouvoir éventuellement établir le bilan des alcalis d'une formulation de béton.
Propriétés des granulats	-Pour les sables, si le résultat de l'essai d'équivalent de sable n'est pas conforme, un essai à la tache de bleu de méthylène est nécessaire. -Pour les gravillons : il est toléré dans les gravillons les passants à 0,5mm au lieu des passants à 0,063mm cela beaucoup plus aisé pour le contrôle de la non nocivité des fines. -La pollution des granulats : accroît la demande en eau, fait chuter les résistances.
Teneur en sulfates $SO_3 \leq 0,15\%$	Les sulfates solubles en faibles proportions peuvent perturber la prise et modifier l'effet des adjuvants.
Matières organiques dans les sables	Leur présence peuvent perturber la prise, faire chuter les résistances surtout au jeune âge.
Teneur en éléments coquillières $\leq 10\%$ pour les gravillons	On les trouve dans les granulats marins, s'ils sont présents en quantité notable, ils nuiront à la maniabilité et causeront un accroissement du dosage en eau.

2.7. Conclusion :

Dans un béton, les granulats apportent la consistance, le volume et la résistance. La nature minérale des granulats est souvent un critère fondamental de leur utilisation, les caractéristiques physiques et mécaniques sont aussi importantes par l'influence nuisibles qu'elles peuvent exercer sur la résistance.

Le choix d'un granulats est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

Nous avons exposé dans ce chapitre les critères que doivent remplir l'utilisation des granulats dans le béton hydraulique. Nous avons utilisé les déchets de marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, de gravier et les deux ensembles, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75% et 100%).

CHAPITRE 3

*Matériaux de base
et méthodologie d'essais*

3.1. 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 recyclés (déchet de marbre) 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 marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, de gravier et les deux ensembles, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75% 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).

Selon la méthode la plus utilisée dans notre pays «Dreux-Gorisse», plusieurs mélanges des bétons au nombre de treize formulations ont été testés.

3.2. Déchet de marbre :

3.2.1. Définition :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou *marbrures* (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte.

Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7.

La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

La production marbrière en France est faible et on constate une régression par rapport à des pays comme l'Italie, le Portugal et la Grande-Bretagne.

Les produits marbrières algérienne sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : Italienne et françaises en particuliers. Les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et la haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.
- Transformation en produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçage avec des pierres ponces.

Le marbre en Algérie est exploité par l'entreprise nationale du marbre «ENAMARBRE» par dix unités de production dans cinq wilayas.

Durant l'année 2007, la production de marbre en blocs, par les filiales de l'Entreprise ENAMARBRE, est de 10 620 m³, en baisse de 33,96% par rapport à la production enregistrée en 2006 qui était de 16 082 m³.

Les dérivés de marbre produits sont de l'ordre de 169 954 tonnes pour l'année 2007, en hausse de 15,09% par rapport à l'année 2006 qui était de 147 674 tonnes.

La production pour l'année 2007 est de :

-Marbre/ Blocs :

Skikda 10 399 m³, Oran 221 m³

-Marbre/ Dérivés :

Chlef 17 222 t, Tlemcen 45 581t, Tizi Ouzou 12 445t, Skikda 82 843t, Oran 11 863t.

3.2.2. Le marbre de la carrière de FIL-FILA :

3.2.2.1. Provenance :

Le marbre est une roche métamorphique compacte provient de l'exploitation de l'entreprise nationale de marbre «ENAMARBRE» de la carrière de Fil-Fila qui se trouve à 25 Km à l'est de la ville de Skikda.

La carrière de Fil-Fila est divisée en deux carrières :

- Carrière à blocs
- Carrière dérivée

3.2.2.2. Carrière à blocs :

a. Le principe de fabrication :

L'exploitation se fait par sciage des masses par fils diamantés qui sont débités pour obtenir des blocs bruts naturels de marbre.

Les blocs bruts sont traités pour avoir une forme régulière (enlèvement de tranche extérieure) et transformer à l'usine en dalle et carreaux.

Le marbre de la carrière à blocs de Fil-Fila est divisé selon leurs caractéristiques en trois types :

-Marbre blanc

-Marbre gris

-Marbre réséda vert

Leurs caractéristiques pétrographiques-minéralogiques ; physico-mécaniques et chimiques sont présentées dans le tableau 3.1.

b. Recyclage des déchets :

Les déchets de carrières à blocs sont les blocs, chutes et moellons ayant différentes formes géométriques, le taux de déchets est de 56% de la production pour l'année 2007 ; le stock jusqu'à la fin 2007 est de l'ordre de 5 823 m³.

Actuellement le recyclage des déchets est limité sur une partie de blocs de marbre de la carrière à blocs, par une entreprise privée.

Le produit de recyclage de déchets est un sous produit de marbre «granulats et poudre». Les déchets de l'usine de transformation sont exploités partiellement en revêtement de sol extérieur pour les chutes de carreaux et en construction de carreaux de granito, en peinture pour la poudre de marbre.

c. Granulats de rebuts de masse et de blocs de marbre :

Obtenu par concassage et broyage des blocs et de chutes de blocs. La répartition granulométrique en mm : 0/5- 5/10- 10/20.

Les granulats utilisés comme matière première pour la fabrication du carrelage et revêtement des surfaces.

Poudre de marbre de dimensions standards en mm : 0/5- 0/0 et de 30 à 02 microns.

3.2.2.3. Carrière dérivée :

a. Le principe de fabrication :

L'exploitation de la carrière dérivée de Fil Fila se fait par abattage à l'exploitation, des moellons de dimension variant de (80-100cm), qui sont concassés, broyés pour obtenir des granulats dont la granulométrie varie de 0-18mm.

Poudre de marbre : obtenue après broyage et pulvérisation du marbre de dimension variant de 30 à 02 microns.

Les dérivés de marbre sont deux types :

- Dérivés de marbre blanc.
- Dérivés de marbre gris (à l'arrêt)

b. Recyclage des déchets :

Le déchet de la carrière dérivée est un tout venant (marbre de différentes classes granulaires), le taux de déchets est de 19% de la production pour l'année 2007 ; le stock jusqu'à la fin 2007 est de l'ordre de 15 740 tonnes.

Le tout venant de la carrière dérivée de Fil-Fila sont destiné à la construction des routes.

Tableau 3.1 : Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques; physico-mécaniques et Chimiques de marbre de la carrière de FIL-FILA

Caractéristiques	Type de marbre		
	Blanc	Gris	Réséda vert
Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques			
Nature pétrographique	Calcaire microcristalin	Calcaire microcristalin	Calcaire microcristalin
Couleur	Blanche	Gris sombre	Gris avec veinules vertes
Aspect	Homogène	Non Homogène	Non Homogène
Texture	Massive	Massive	-
Structure	Microcristalin	Microcristalin	-
Composition minéralogique			
Calcite	100%	96%	94%
Quartz	-	3%	3%
Oxyde de fer	-	0,1%	-
Caractéristiques physico-mécaniques			
Masse volumique en g/cm ³	2,736	2,746	2,752
Compacité en %	98,03	99,70	98,70
Porosité en %	1,96	0,30	1,30
Coefficient d'absorption d'eau en %	0,39	0,11	0,16
Coefficient de saturation en %	0,87	0,50	0,77
Résistance à la compression à l'état sec en kg/cm ²	961	1378	949
Résistance à la compression après refroidissement en kg/cm ²	966	1026	1047
Résistance à l'usure en g/cm ²	1,82	0,719	0,996
Résistance au choc en kg/cm ²	40	56	83,50
Caractéristiques chimiques			
Caco ₃	99,05	97,73	97,22

Mgo	1,03	0,99	3,05
Cao	54,86	54	51,05
Fe ₂ O ₃	0,04	0,22	0,04
Al ₂ O ₃	0,08	0,56	0,08
SiO ₂	0,15	0,9	0,15
P.C	44,26	43,65	44,26

3.3. Matériaux de base :

3.3.1. Les granulats :

3.3.1.1. Echantillonnage et prélèvement :

Les essais que nous avons réalisés au laboratoire, ont porté sur des échantillons obtenus par des prélèvements sur les tas puisque il s'agit de granulats qui sont mis en stock. Lorsqu'un matériau granulaire est mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que le haut est plus riche en éléments de faibles diamètres.

On prélève donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin.

3.3.1.2. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un échantillon. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis, emboîtés les un sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

Nous allons présenter les résultats des analyses granulométriques effectuées sur les granulats utilisés :

-Granulats ordinaires concassés de la carrière de AIN SMARA et sable roulé de CHATT.

-Granulats recyclés de déchet de marbre de la carrière à blocs de FIL-FILA.

Nous avons pu obtenir des classes délivrées sous les appellations suivantes :

Granulats ordinaires : Sable0/5, Gravier 5/15, Gravier 15/25.

Granulats recyclés : Poudre, Sable0/5, Gravier 5/10, Gravier 10/20.

Les tableaux : 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 présentent les résultats de l'analyse granulométrique obtenus.

Désignation : granulats ordinaires

Classe 0/5

Tableau 3.2 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (classe 0/5)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Diamètre tamis (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
1000	25	45			
	20	44			
	16	43			
	12,5	42			
	10	41			
	8	40			
	5	38	0	0	100
	2,5	35	19,00	1,90	98,10
	1,25	32	50,00	5,00	95,00
	0,63	29	179	17,90	82,10
	0,315	26	712	71,20	28,80
	0,16	23	993	99,30	0,7
0,08	20	993	99,30	0,7	

Module de finesse **MF=1,95**

Classe 5/15

Tableau 3.3 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (classe 5/15)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
3000	25	45			
	20	44			
	16	43	0	0	100
	12,5	42	1157	38,56	61,44
	10	41	2163	72,10	27,90
	8	40	2790	93,00	7,00
	5	38	2976	99,20	0,80
	2,5	35			
	1,25	32			
	0,63	29			
	0,315	26			
	0,16	23			
	0,08	20			

Classe 15/25

Tableau 3.4 : Analyse granulométrique des granulats ordinaires (classe 15/25)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
5000	25	45	0	0	100
	20	44	1157	23,14	76,86
	16	43	4040	80,8	19,2
	12,5	42	4939	98,78	1,22
	10	41	4995	99,9	0,1
	8	40			
	5	38			
	2,5	35			
	1,25	32			
	0,63	29			
	0,315	26			
	0,16	23			
	0,08	20			

Désignation : granulats recyclés.

Poudre de marbre

Tableau 3.5 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (poudre)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
500	25	45			
	20	44			
	16	43			
	12,5	42			
	10	41			
	8	40			
	5	38	0	0	100
	2,5	35	8,00	1,60	98,40
	1,25	32	75	15	85
	0,63	29	132	26,40	73,60
	0,315	26	166	33,20	66,80
	0,16	23	443	88,60	11,40
0,08	20	446	89,20	10,80	

Module de finesse **MF=1,64**

Classe 0/5

Tableau 3.6 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 0/5)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
1000	25	45			
	20	44			
	16	43			
	12,5	42			
	10	41			
	8	40			
	5	38	0	0	100
	2,5	35	768	76,80	23,20
	1,25	32	968	96,80	3,20
	0,63	29	975	97,50	2,50
	0,315	26	977	97,70	2,30
	0,16	23	986	98,60	1,40
	0,08	20	987	98,70	1,30

Module de finesse **MF=4,67**

Correction du module de finesse du sable :

Selon la règle d'Abrams on trouve :

- Sable : MF = 4,67
- Poudre : MF = 1,64

On cherche : MF = 3,20

Proportion du Sable : $((3,2-1,64) / (4,67-1,64)) = 51,48 = 51,50 \%$

Proportion de la Poudre : $((4,67-3,20) / (4,67-1,64)) = 48,51 = 48,5 \%$

Classe 0/5 corrigé

Tableau 3.7 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 0/5 corrigé)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
1000	25	45			
	20	44			
	16	43			
	12,5	42			
	10	41			
	8	40			
	5	38	0	0	100
	2,5	35	389	38,9	61,1
	1,25	32	541	54,1	45,9
	0,63	29	614	61,4	38,6
	0,315	26	645	64,5	35,5
	0,16	23	934	93,4	6,5
	0,08	20	944	94,4	5,6

Module de finesse **MF=3,12**

Classe 5/10

Tableau 3.8 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 5/10)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
3000	25	45			
	20	44			
	16	43			
	12,5	42			
	10	41	0	0	100
	8	40	1512	50,4	49,6
	5	38	2712	90,4	9,6
	2,5	35	2980	99,33	0,67
	1,25	32			
	0,63	29			
	0,315	26			
	0,16	23			
	0,08	20			

Classe 10/20

Tableau 3.9 : Analyse granulométrique des granulats recyclés (classe 10/20)

Poids utilisé pour l'essai (g)	Ouverture (mm)	Module tamis	Poids du refus cumulé	Pourcentage refus cumulé	Complément A 100 des refus cumulés
5000	25	45			
	20	44	0	0	100
	16	43	1739	34,78	65,22
	12,5	42	3884	77,68	22,32
	10	41	4884	97,68	2,32
	8	40	5000	100	0
	5	38			
	2,5	35			
	1,25	32			
	0,63	29			
	0,315	26			
	0,16	23			
	0,08	20			

3.3.1.3. Coefficient d'aplatissement :

Les coefficients d'aplatissements de granulats ordinaires et de granulats recyclés sont représentés dans les tableaux suivants : 3.10, 3.11, 3.12, 3.13

Désignation : granulats ordinaires

Classe 5/15

Tableau 3.10 : Coefficient d'aplatissement des granulats ordinaires (classe 5/15)

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLE		
Classes Granulaires d/D	Mg (g)	Ecartement des Grilles (mm)	Passant Me (g)	(Mex100) /Mg
31,5 - 40		20		
25 - 31,5		16		
20 - 25		12,5		
16 - 20		10		
12,5 - 16	1157	8	113	
10 - 12,5	1006	6,3	134	
8 - 10	627	5	76	
6,3 - 8	186	4	26	
5 - 6,3		3,15		
4 - 5		2,5		
M = \sumMg = 2976		\sumMe = 349		
A = \sum(Mex100)/M = 11,73% \approx 12%				

Classe 15/25

Tableau 3.11 : Coefficient d'aplatissement des granulats ordinaires (classe 15/25)

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLE		
Classes Granulaires d/D	Mg (g)	Ecartement des Grilles (mm)	Passant Me (g)	(Mex100) /Mg
31,5 - 40		20		
25 - 31,5		16		
20 - 25	1157	12,5	142	
16 - 20	2883	10	436	
12,5 - 16	899	8	138	
10 - 12,5	56	6,3	4	
8 - 10	0	5	0	
6,3 - 8		4		
5 - 6,3		3,15		
4 - 5		2,5		
M = \sumMg = 4995		\sumMe = 720		
A = \sum(Mex100)/M = 14,41% \approx 14%				

Désignation : granulats recyclés

Classe 5/10

Tableau 3.12 : Coefficient d'aplatissement des granulats recyclés (classe 5/10)

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLE		
Classes Granulaires d/D	Mg (g)	Ecartement des Grilles (mm)	Passant Me (g)	(Mex100) /Mg
31,5 - 40		20		
25 - 31,5		16		
20 - 25		12,5		
16 - 20		10		
12,5 - 16		8		
10 - 12,5	0	6,3		
8 - 10	1512	5		
6,3 - 8	909	4	313	
5 - 6,3	291	3,15	265	
4 - 5		2,5	75	
$M = \sum Mg = 2712$		$\sum Me = 653$		
$A = \sum(Mex100)/M = 24,07\% \approx 24\%$				

Classe 10/20

Tableau 3.13 : Coefficient d'aplatissement des granulats recyclés (classe 10/20)

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLE		
Classes Granulaires d/D	Mg (g)	Ecartement des Grilles (mm)	Passant Me (g)	(Mex100) /Mg
31,5 - 40		20		
25 - 31,5		16		
20 - 25	0	12,5		
16 - 20	1739	10	71	
12,5 - 16	2145	8	241	
10 - 12,5	1000	6,3	141	
8 - 10	116	5		
6,3 - 8		4		
5 - 6,3		3,15		
4 - 5		2,5		
M = \sumMg = 4884		\sumMe = 453		
A = \sum(Mex100)/M = 9,27% \approx 9%				

3.3.1.4. Equivalent de Sable :

L'équivalent de sable des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentés dans les tableaux 3.14 et 3.15

Désignation : granulats ordinaires

Classes 0/5

Tableau 3.14 : Equivalent de Sable des granulats ordinaires (classe 0/5)

Hauteur Total H₁	Hauteur du Sable visible H₂	ES (%) = (H₂x100)/H₁	ES %
10,2	8,1	79,41	
10,3	8,6	83,50	81
10,3	8,2	79,61	

Désignation : granulats recyclés

Classe 0/5 corrigé

Tableau 3.15 : Equivalent de Sable des granulats recyclés (classe 0/5 corrigé)

Hauteur Total H₁	Hauteur du Sable visible H₂	ES (%) = (H₂x100)/H₁	ES %
10,5	7,5	71,43	
10,2	8	78,43	75
10,2	7,6	74,50	

3.3.1.5. Essai Los-Angeles :

Le coefficient Los-Angeles des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentés dans les tableaux 3.16 et 3.17

Désignation : granulats ordinaires

Classe 5/15

Tableau 3.16 : Essai Los-Angeles des granulats ordinaires (classe 5/15)

Masse de l'échantillon M (g)	Masse sèche après Essai et Tamisage M' (g)	Coefficient Los-Angeles LA = $100(M-M')/M$
5000	3692,6	26,14= 26%

Désignation : granulats recyclés

Classe 5/10

Tableau 3.17 : Essai Los-Angeles des granulats recyclés (classe 5/10)

Masse de l'échantillon M (g)	Masse sèche après Essai et Tamisage M' (g)	Coefficient Los-Angeles LA = $100(M-M')/M$
5000	3059,40	38,81 = 39%

3.3.1.6. Essai Micro-Deval :

Le coefficient Micro-Deval des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentés dans les tableaux 3.18 et 3.19

Désignation : granulats ordinaires

Classe 5/15

Tableau 3.18 : Essai Micro-Deval des granulats ordinaires (classe 5/15)

Masse de l'échantillon M (g)	Masse sèche après Essai et Tamisage M' (g)	Micro-Deval MDE = 100(M-M')/M
500	392,5	21,5 = 22%

Désignation : granulats recyclés

Classe 5/10

Tableau 3.19 : Essai Micro-Deval des granulats recyclés (classe 5/10)

Masse de l'échantillon M (g)	Masse sèche après Essai et Tamisage M' (g)	Micro-Deval MDE = 100(M-M')/M
500	376,0	24,8 = 25%

3.3.1.7. Analyse chimique :

L'analyse chimique des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentées dans les tableaux 3.20 et 3.21

Désignation : granulats ordinaires

Classe 0/5

Tableau 3.20 : Analyse chimique des granulats ordinaires (classe 0/5)

V_B < 1%	CaCO₃	Cl	Sulfate
0,33	25,56	0,12	<0,3%

Désignation : granulats recyclés

Classe 0/5 corrigé

Tableau 3.21 : Analyse chimique des granulats recyclés (classe 0/5)

V_B < 1%	CaCO₃	Cl	Sulfate
0,33	99,25	0,12	<0,3%

3.3.1.8. Coefficient d'absorption d'eau:

Le coefficient d'absorption d'eau de granulats ordinaires et de granulats recyclés est représenté dans les tableaux 3.22 et 3.23

Désignation : granulats ordinaires

Classe 15/25

Tableau 3.22 : Coefficient d'absorption des granulats ordinaires (classe 15/25)

Masse Sèche (g)	Masse Humide (g)	Coefficient d'absorption
300	302,4	0,8% < 5%

Désignation : granulats recyclés

Classe 10/20

Tableau 3.23 : Coefficient d'absorption des granulats recyclés (classe 10/20)

Masse Sèche (g)	Masse Humide (g)	Coefficient d'absorption
300	301	0,33% < 5%

3.3.1.9. Masse volumique apparente:

Les masses volumiques apparentes des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentées dans les tableaux 3.24 et 3.25

Désignation : granulats ordinaires

Tableau 3.24 : Masse volumique apparente des granulats ordinaires

Echantillon	Masse volumique apparente (g/cm³)			MV_{APP} (g/cm³)
	1	2	3	
Sable 0/5	1,723	1,725	1,723	1,724
Gravier 5/15	1,588	1,595	1,543	1,575
Gravier 15/25	1,555	1,557	1,543	1,552

Désignation : granulats recyclés

Tableau 3.25 : Masse volumique apparente des granulats recyclés

Echantillon	Masse volumique apparente (g/cm³)			MV_{APP} (g/cm³)
	1	2	3	
Sable 0/5 corrigé	1,490	1,481	1,477	1,482
Gravier 5/10	1,573	1,577	1,585	1,578
Gravier 10/20	1,673	1,693	1,652	1,673

3.3.1.10. Masse volumique absolue:

Les masses volumiques absolues des granulats ordinaires et des granulats recyclés sont représentées dans les tableaux 3.26 et 3.27

Désignation : granulats ordinaires

Tableau 3.26 : Masse volumique absolue des granulats ordinaires

Echantillon	Masse volumique absolue (g/cm ³)			MV _{Abs} (g/cm ³)
	1	2	3	
Sable 0/5	2,614	2,580	2,580	2,591
Gravier 5/15	2,666	2,666	2,666	2,666
Gravier 15/25	2,666	2,666	2,666	2,666

Désignation : granulats recyclés

Tableau 3.27 : Masse volumique absolue des granulats recyclés

Echantillon	Masse volumique absolue (g/cm ³)			MV _{Abs} (g/cm ³)
	1	2	3	
Sable 0/5 corrigé	2,666	2,631	2,649	2,648
Gravier 5/10	2,666	2,666	2,666	2,666
Gravier 10/20	2,666	2,666	2,666	2,666

3.3.2. Le ciment :

3.3.2.1. Composition :

Le ciment que nous avons utilisé pour la confection des bétons est un ciment Portland composé CPJ-CEM II /A 42,5 ; fabriqué par la société des ciments de HADJAR-SOUD (ANNABA)

Les différentes caractéristiques du ciment utilisé sont définies par des fiches techniques au niveau des laboratoires de la société, qui sont représentées ci-dessous :

Le ciment Portland composé CEM II /A 42,5 résulte de la mouture de :

- De 75 à 85 % de CLINKER PORTLAND
- De 10 à 20 % d'ajout (LAITIER et TUF)
- De 5 % de GYPSE.

3.3.2.2. L'analyse chimique :

Tableau 3.28 : Résultats d'analyse chimique de ciment

Elément	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	SO ₃	PAF	CaO	SSB
Résultats	61,32	4,94	3,11	21,93	0,66	0,27	0,60	0,002	2,40	2,20	1,50	36,26
En %												

3.3.2.3. Caractéristiques mécaniques :

- Résistances en compression :
 - Limite inférieure statistique à 2 jours $\geq 12,5$ MPa
 - Limite inférieure statistique à 28 jours $\geq 42,5$ MPa
 - Limite supérieure statistique à 28 jours $\geq 62,5$ MPa
 - Limite inférieure garantie à 2 jours ≥ 10 MPa
 - Limite inférieure garantie à 28 jours ≥ 40 MPa

3.3.2.4. Autres caractéristiques techniques :

- Temps de début de prise (mini) > 60 minutes
- Retrait < 800 micron mètre / mètre
- Stabilité (maxi) < 10 mm
- Sulfates (SO₃) < 4 %
- Chlorures < 0,10 %
- Oxyde de magnésium (MgO) < 5

3.3.3. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle du robinet. Les résultats de l'analyse chimique de l'eau utilisée répondent aux prescriptions de la norme «NF P 18 303», ceux-ci sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.29 : Résultats d'analyse chimique de l'eau utilisée

Cl	PH	T°c	Sal	TDS	Cond	Odeur	Saveur	Goût
mg/l				mg/l	µs/cm			
0.1	7.3	28.5	0.2	297	541	BONNE	BONNE	BONNE

3.4. Programme expérimental :

Les différents bétons que nous avons réalisés dans notre étude sont représentés dans le tableau 3.30

Tableau 3.30 : Désignation des bétons testés

BGN	Béton de granulats naturels
BSS25	Béton avec 25% sable recyclé et 75% sable naturel
BSS50	Béton avec 50% sable recyclé et 50% sable naturel
BSS75	Béton avec 75% sable recyclé et 25% sable naturel
BSS100	Béton avec 100% sable recyclé
BSG25	Béton avec 25% graviers recyclés et 75% graviers naturels
BSG50	Béton avec 50% graviers recyclés et 50% graviers naturels
BSG75	Béton avec 75% graviers recyclés et 25% graviers naturels
BSG100	Béton avec 100% graviers recyclés
BSM25	Béton avec 25% granulats recyclés et 75% granulats naturels
BSM50	Béton avec 50% granulats recyclés et 50% granulats naturels
BSM75	Béton avec 75% granulats recyclés et 25% granulats naturels
BGR	Béton de granulats recyclés

3.5. Modes opératoires des essais :

3.5.1. Eprouvettes :

Dans les essais réalisés pour l'étude des bétons, deux types d'éprouvettes ont été utilisés :

- Eprouvettes de forme cylindrique de dimensions 16x32 cm, dont la hauteur est égale à deux fois le diamètre pour les essais de compression, selon la norme «NF P 18 406»
- Eprouvettes de forme prismatique de dimension 7x7x28 cm selon la norme «NF P 18 407» Pour les essais de traction par flexion.

3.5.2. Gâchage et malaxage :

Le malaxage a été réalisé dans une bétonnière de type B132, qui assure le mélange des constituants par simple rotation de la cuve suivant un axe horizontal, la vitesse de rotation est fonction du diamètre de la cuve; il est de l'ordre de 24 tours par minute.

Des palettes solidaires de la cuve assurent l'entraînement des matériaux et ce mouvement de brassage assure le mélange des constituants.

La capacité de la cuve est de 134 litres et le volume de malaxage est de 100 litres. La vidange de la cuve se fait par inversion du sens de rotation. Le temps de malaxage est de 03 minutes dont 01 minutes de malaxage à sec des graviers et de ciment, 02 minutes de malaxage humide, après ajout d'eau et de sable.

La vibration est réalisée sur une table vibrante (vibration extérieure).

3.5.3. Essais sur béton frais:

3.5.3.1. Affaissement au cône d'Abrams :

Cet essai est effectué conformément aux prescriptions de la norme «**NF P18 451**». C'est l'essai de mesure de consistance le plus employé et le plus connu universellement. Le moule utilisé pour réaliser cet essai est un cône tronqué de 30cm de hauteur.

Placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches d'égal volume. Chacune des couches est compactée avec 25 coups d'une tige métallique normalisée de 1,6 cm de diamètre, dont l'extrémité est arrondie. Une fois le cône rempli, le dessus de la surface doit être arasé en se servant de la tige et en effectuant des mouvements de va et vient. Durant ces opérations, le cône doit demeurer fixe sur la base lisse; des écrous de serrage, situés à la base du cône, permettent de le maintenir immobile.

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse, la différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est appelée l'affaissement.

La valeur de l'affaissement est exprimée en cm.



Figure 3.1 : Appareillage de cône d'Abrams

3.5.3.2. Mesure de l'air occlus :

Le seul élément compressible dans un béton frais est l'air «**NF P18 353**».

Il existe trois méthodes pour mesurer la teneur en air totale du béton frais:

La méthode gravimétrique, volumétrique et préssiométrique. Nous avons utilisé dans nos essais la méthode préssiométrique. Son principe est fondé sur la relation entre le volume d'air et la pression appliquée donnée par la loi de Mariotte. Cet essai a été réalisé avec un aéromètre qui indique directement la teneur en air (%).

La procédure consiste essentiellement à observer la diminution de volume d'un échantillon de béton compacté lorsqu'il est soumis à une pression connue.

Cette méthode est la plus fiable et la plus précise pour déterminer la teneur en air d'un béton



Figure 3.2 : Aéromètre

3.5.3.3. Mesure de la densité réelle du béton frais:

La densité réelle du béton frais est mesurée par la pesée d'un récipient de 8 litres (le récipient de l'aéromètre à béton) rempli de béton selon un moule de remplissage analogue à celui utilisé pour le remplissage des éprouvettes cylindriques.

La densité est calculée par la formule suivante :

$$\rho = (P - P_0) / V$$

Avec : **P** est la masse du récipient plein de béton (arasé à l'aide d'une règle)

P₀ est la masse du récipient vide

ρ est la densité du béton frais et **V** le volume du récipient (8 litres)

3.5.4. Confection et conservation des éprouvettes :

Pour la confection de toutes nos éprouvettes, nous avons adopté la procédure suivante :

Avant le remplissage des moules, on applique un lubrifiant sur les parois pour éviter toute cohésion de la pâte, le remplissage des éprouvettes se fait en deux couches vibrée pendant 7 secondes pour les éprouvettes cylindriques et 4 secondes pour les éprouvettes prismatiques.

La vibration a été effectuée sur une table vibrante.

La norme «NF P18 404» (Bétons, Essais d'études, de conservation et de contrôle, confection et conservation des éprouvettes) fixe les conditions de conservation des éprouvettes destinées à être essayées à la compression : d'abord pendant vingt-quatre heures dans un local maintenu à $20 \pm 2^\circ\text{C}$, puis dans l'eau à la même température ou en chambre humide, d'humidité relative supérieure ou égale à 95 %. Toutes ces indications sont importantes et doivent être suivies à la lettre. Toutes les extrémités des éprouvettes cylindriques sont surfacées avant l'essai selon le procédé normalisé «NF P18 416», afin d'obtenir des surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices des éprouvettes.

3.5.5. Essais sur béton durci :

3.5.5.1. Essai de compression :

L'essai consiste à rompre entre les plateaux d'une presse hydraulique (MATEST CE 06) de 1500 KN de capacité, à vitesse constante des éprouvettes cylindriques de dimensions 16x 32 cm. Celles-ci doivent être bien centrées entre les plateaux afin d'éviter l'apparition des moments dus à l'excentricité de la charge de compression.

La presse nous donne des charges de ruptures, ces charges sont converties en résistance à la compression σ_c qui est calculée par la formule de la résistance des matériaux suivante :

$$\sigma_c = P_r / S$$

Avec :

P_r : l'effort enregistré au moment de la rupture de l'éprouvette

S : la section de l'éprouvette.

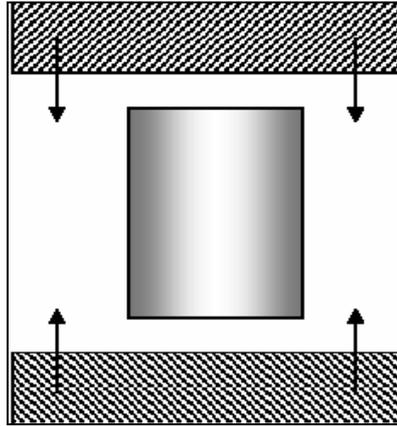


Figure 3.3 : Essai de compression

3.5.5.2. Essai de traction par flexion :

Cet essai permet de reproduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent dans les ouvrages : la flexion.

Le dispositif utilisé est un dispositif de flexion 3 points.

La résistance à la traction est obtenue en appliquant la formule de la résistance des matériaux :

$$\sigma_{t, fl} = 6M_v / a^3$$

Avec :

$$M_v = P_a / 2$$

M_v : le moment de la rupture enregistré.

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

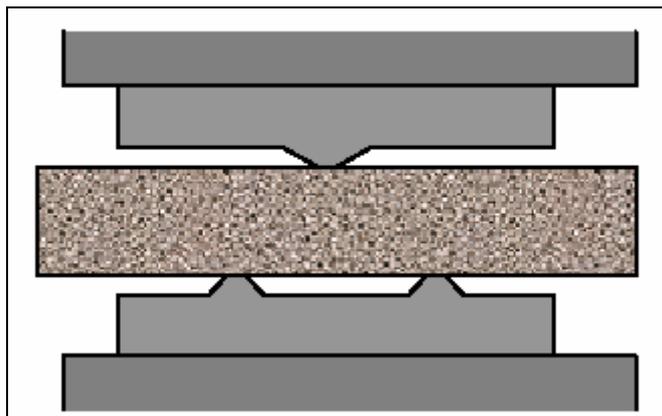


Figure 3.4 : Essai de traction par flexion

3.6. 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 de déchets de marbre 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.

L'essai «Micro-Deval» a donné de bons résultats pour les deux types de granulats (ordinaires et recyclés).

L'essai «Los-Angeles» nous renseigne sur la dureté des roches, pour les granulats ordinaires, la roche est assez dure par rapport aux granulats recyclés qui est mi dure.

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 4

Etude des performances des bétons à base de granulats recyclés

4.1. Introduction :

On présente dans ce chapitre les résultats de recherche d'un plan expérimental, dont l'objectif de générer un ensemble d'informations pour permettre au utilisateur de relier les compositions des bétons avec leurs performances.

Dans une première partie, on décrit la méthode « Dreux-Gorisse » adoptée pour la formulation des bétons. Dans la deuxième partie, on présente les résultats des essais à l'état frais des bétons réalisés à savoir : la densité, le pourcentage de l'air occlus et l'affaissement au cône d'Abrams, ainsi que les résultats à l'état durci des bétons à savoir la résistance à la compression des éprouvettes cylindriques et la résistance à la traction par flexion des éprouvettes prismatiques testées à des âges de 2, 14, 28 et 90 jours.

4.2. Méthode de composition du béton :

4.2.1. La méthode de « Dreux-Gorisse » :

La méthode que nous avons choisie pour la composition des bétons hydrauliques dite « Dreux-Gorisse » est une méthode assez simple à utiliser. C'est une méthode qui a été non seulement élaborée suite à une synthèse d'une multitude de composition, mais elle a fait l'objet aussi de plusieurs applications dans le monde.

A partir des données de base essentielles. La méthode «Dreux- Gorisse» permet d'aboutir approximativement, mais rapidement aux compositions qui ressortent en moyenne de l'examen statistique des bétons les plus couramment utilisés actuellement dans nos chantiers.

D'autant plus c'est la méthode la plus utilisée actuellement en Algérie.

4.2.2. Composition du béton à base de granulats naturels BGN :

4.2.2.1. Données de bases :

- Dimension maximale des granulats $D = 25\text{mm}$
- Granulats (graviers concassés et sable roulé) de trois classes :
 - Sable 0/5
 - Gravier 5/15
 - Gravier 15/25
- Le rapport $(E/C) = 0,5$ avec $C = 350\text{kg/m}^3$
→ $E = 1751$
- Caractéristiques du sable :
 - Equivalent de sable $ES=81\%$
 - Module de finesse $MF=1,95$

- Evaluation de l'ouvrabilité :
 - Plasticité : béton plastique
 - Serrage : vibration courante
 - Affaissement A en cm : 6 à 9
 - Nombre de chocs : 15 à 25
- Valeur du terme correcteur (K) :
 - Vibration : normale
 - Forme de granulats : roulés
 - Dosage en ciment : 350 kg/m^3
 - $K = 0$
- Coefficient de compacité :
 - Consistance : plastique
 - Serrage : vibration normale
 - $D = 25$
 - Coefficient de compacité : $\gamma = 0,825$
 - Sable roulé et gravier concassé → correction : $-0,01$
 - $\gamma = 0,815$

4.2.2.2. Tracé des courbes :

- Courbe granulométrique :

Sur un graphique granulométrique type AFNOR, on trace les courbes granulométriques de chaque classe.

On porte les divers pourcentages des tamis en ordonnée et en abscisse les dimensions des tamis.

- Courbe de référence :
 - Point n°01 B : $X = D = 25$
 - $Y = 100\%$
 - Point n°02 A : $X = (45+38)/2 = 41,5$
 - $Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s$
 - Sable roulé
 - Vibration normale
 - $C = 350 \text{ kg/m}^3$
 - $K = 0$

$$K_s = 6M_f - 15 \text{ et } M_f = 1,95$$

$$\rightarrow K_s = -3,3$$

$$Y = 50 - \sqrt{25 - 3,3}$$

$$Y = 41,70$$

-Point n°03 O: X = 0,08

$$Y = 0,00$$

• Courbe de mélange :

Avec les pourcentages pondéraux, on compose la courbe de mélange.

Tableau 4.1 : Pourcentages pondéraux du mélange (granulats ordinaires)

Tamis (mm)	25	20	16	12,5	10	8	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Mélange (%)	100	90,74	67,68	50,08	40,57	34,89	33,22	32,37	31,35	27,09	9,50	0,23	0,23

• Pourcentage pondéral :

Le tracé correspondant OAB donne à la rencontre avec les lignes de partages les pourcentages des trois granulats en volume absolu.

•0/5 → 33%

•5/15 → 27%

•15/25 → 40%

4.2.2.3. Dosage des granulats :

-Ciment : 350kg/m^3 ; densité : 3,1

-Le volume absolu des grains de ciment : $350/3,1 = 113\text{l}$

-Le volume absolu de l'ensemble des granulats : $815-113 = 702\text{l}$

-Les volumes absolus de chacun des granulats :

•0/5 → $0,33 \times 702 = 231,66\text{l}$

•5/15 → $0,27 \times 702 = 189,54\text{l}$

•15/25 → $0,40 \times 702 = 280,80\text{l}$

-Les masses spécifiques de chacun des granulats :

•0/5 → $231,66 \times 2,591 = 600,23\text{kg}$

•5/15 → $189,54 \times 2,666 = 505,31\text{kg}$

•15/25 → $280,80 \times 2,66 = 748,61\text{kg}$

La figure 4.1 présente le tracé des courbes granulométriques de granulats ordinaires.

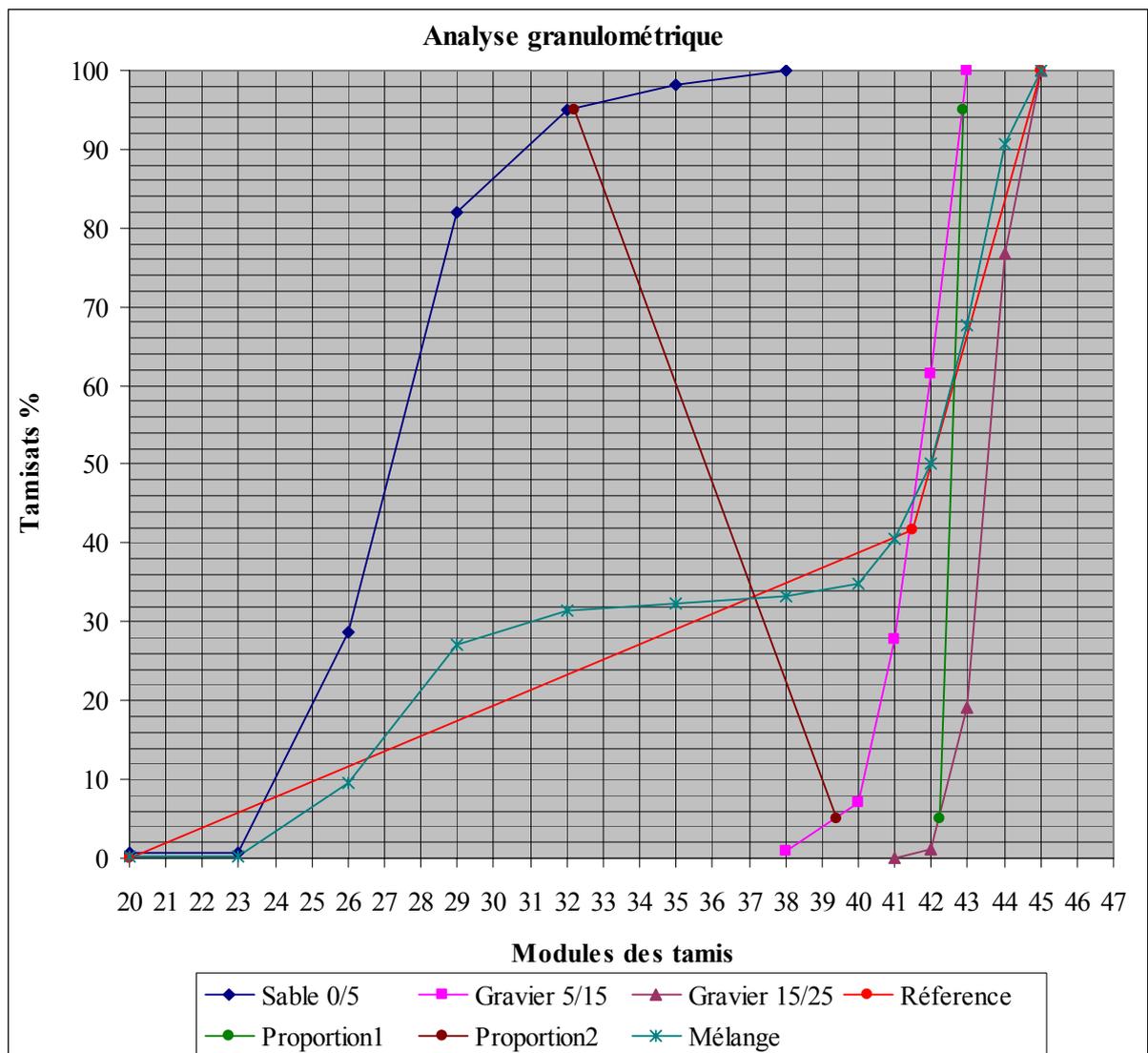


Figure 4.1 : Tracé des courbes granulométriques (granulats ordinaires)

• Commentaire sur le graphique :

- Les courbes granulométriques sont courantes.

-Le tracé de la courbe de référence s'éloigne peu de la courbe de mélange.

4.2.3. Composition du béton à base de granulats recyclés BGR :

4.2.3.1. Données de bases :

- Dimension maximale des granulats $D = 20\text{mm}$
- Granulats concassés de trois classes :
 - Sable 0/5 corrigé
 - Gravier 5/10
 - Gravier 10/20
- Le rapport $(E/C) = 0,5$ avec $C = 350\text{kg/m}^3$
→ $E = 1751$
- Caractéristiques du sable :
 - Equivalent de sable $ES=75\%$
 - Module de finesse $MF=3,12$
- Evaluation de l'ouvrabilité :
 - Plasticité : béton plastique
 - Serrage : vibration courante
 - Affaissement A en cm : 6 à 9
 - Nombre de chocs : 15 à 25
- Valeur du terme correcteur (K) :
 - Vibration : normale
 - Forme de granulats : concassé
 - Dosage en ciment : 350 kg/m^3
→ $K = +2$
- Coefficient de compacité :
 - Consistance : plastique
 - Serrage : vibration normale
 - $D = 20$
Coefficient de compacité : $\gamma = 0,825$
 - Sable et gravier concassé → correction : $-0,03$
→ $\gamma = 0,795$

4.2.3.2. Tracé des courbes :

- Courbe granulométrique :

Sur un graphique granulométrique type AFNOR, on trace les courbes granulométriques de chaque classe.

Chapitre 4 : Etude des performances des bétons à base de granulats recyclés

On porte les divers pourcentages des tamisas en ordonnée et en abscisse les dimensions des tamis.

• Courbe de référence :

-Point n°01 B : $X = D = 20$

$$Y = 100\%$$

-Point n°02 A : $X = D/2 = 10$

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s$$

• Sable concassé

• Vibration normale

• $C = 350 \text{ kg/m}^3$

→ $K = +2$

$$K_s = 6M_f - 15 \text{ et } M_f = 3,12$$

→ $K_s = 3,72$

$$Y = 50 - \sqrt{20} + 2 + 3,72$$

$$Y = 51,24$$

-Point n°03 O : $X = 0,08$

$$Y = 0,00$$

• Courbe de mélange :

Avec les pourcentages pondéraux, on compose la courbe de mélange.

Tableau 4.2 : Pourcentages pondéraux du mélange (granulats recyclés)

Tamis (mm)	25	20	16	12,5	10	8	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Mélange (%)	100	100	83,31	62,71	53,11	46,66	42,42	25,36	19,00	15,98	14,69	2,73	2,32

• Pourcentage pondéral :

Le tracé correspondant OAB donne à la rencontre avec les lignes de partages les pourcentages des trois granulats en volume absolu.

• 0/5 → 41,4%

• 5/10 → 10,6%

• 10/20 → 48%

4.2.3.3. Dosage des granulats :

-Ciment : 350kg/m^3 ; densité : 3,1

-Le volume absolu des grains de ciment : $350/3,1 = 113\text{l}$

-Le volume absolu de l'ensemble des granulats : $795-113 = 682\text{l}$

-Les volumes absolus de chacun des granulats :

•0/5 → $0,414 \times 682 = 282,348$

•5/10 → $0,106 \times 682 = 72,292$

•10/20 → $0,48 \times 682 = 327,36$

-Les masses spécifiques de chacun des granulats :

•0/5 → $282,348 \times 2,66 = 751,05\text{kg}$

•5/10 → $72,292 \times 2,66 = 192,30\text{kg}$

•10/20 → $327,36 \times 2,66 = 870,78\text{kg}$

•Sable 0/5 → 51,5%: $0,515 \times 751,05 = 386,79\text{kg}$

•Poudre → 48,5%: $0,485 \times 751,05 = 364,26\text{kg}$

La figure 4.2 présente le tracé des courbes granulométriques de granulats recyclés.

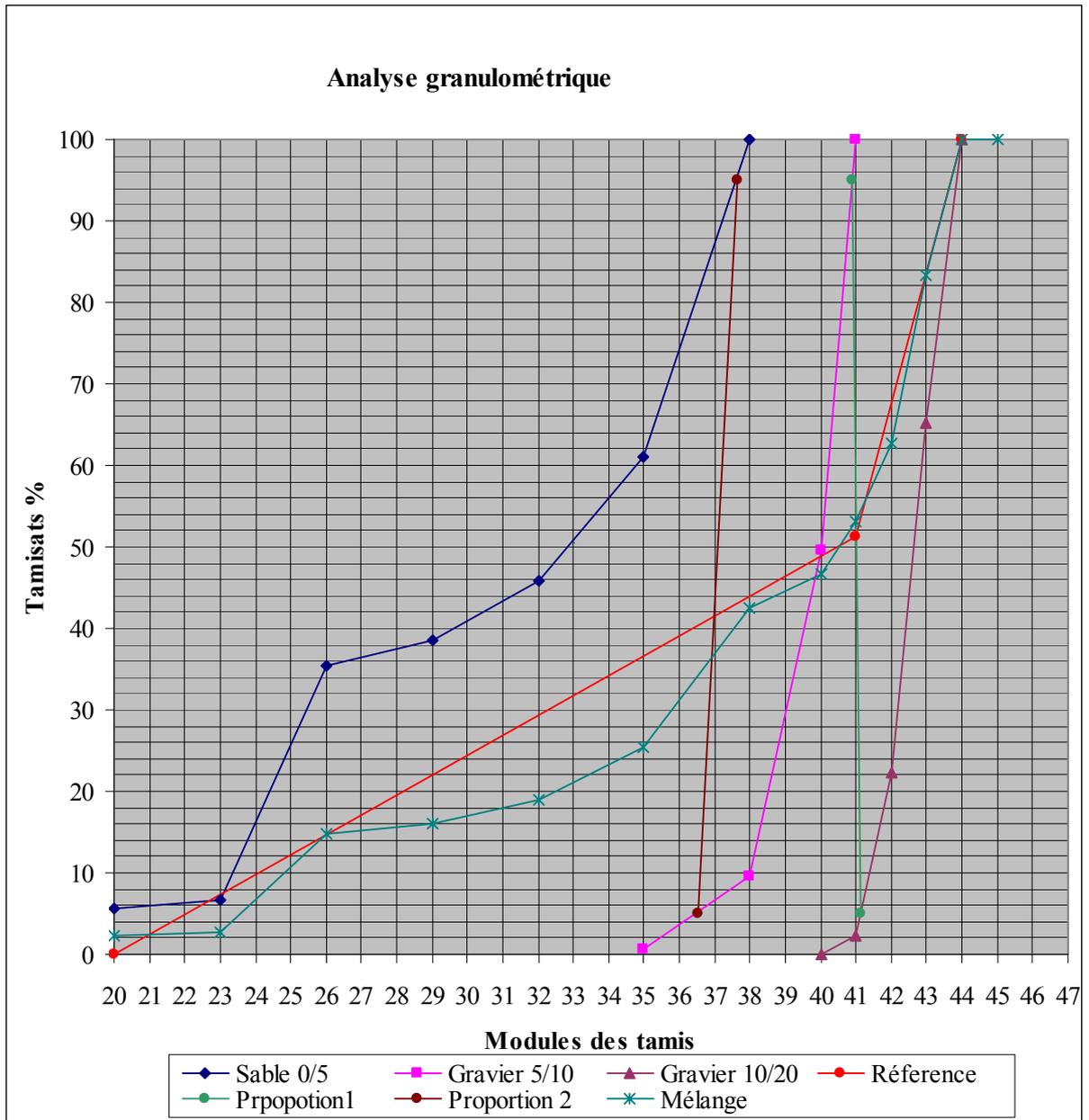


Figure 4.2 : Tracé des courbes granulométriques (granulats recyclés)

• Commentaire sur le graphique :

-La courbe granulaire du sable présente une mauvaise régularité.

-Le tracé de la courbe de référence s'éloigne de la courbe granulaire réelle (du mélange)

4.2.4. Composition des différents mélanges :

4.2.4.1. Série 1 : Substitution de sable

Dans la première série, on a utilisé les déchets de marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75%, 100%).

La composition des différents mélanges des bétons testés est représentée dans le tableau 4.3

Tableau 4.3 : Composition des mélanges (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)

Désignation	Matériaux				E/C	
	Ciment (kg/m ³)	Graviers (kg/m ³)		Sable (kg/m ³)		Sable recyclé (kg/m ³)
		5/15	15/25			
BGN	350	505,31	748,61	600,23	0	0,5
BSS25	350	505,31	748,6	450,17	150,06	0,5
BSS50	350	505,31	748,6	300,115	300,115	0,5
BSS75	350	505,31	748,6	150,06	450,17	0,5
BSS100	350	505,31	748,6	0	600,23	0,5
Nombre d'éprouvettes	60 éprouvettes de (16x32cm) 60 éprouvettes de (7x7x28cm)					

4.2.4.2. Série 2 : Substitution de gravier

Dans la deuxième série, on a utilisé les déchets de marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique de gravier, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75%, 100%).

La composition des différents mélanges des bétons testés est représentée dans le tableau 4.4

Tableau 4.4 : Composition des mélanges (BGN, BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)

Désignation	Matériaux						E/C
	Ciment (kg/m ³)	Sable (kg/m ³)	Graviers (kg/m ³)		Graviers recyclés (kg/m ³)		
			5/15	15/25	5/10	10 /20	
BGN	350	600,23	505,31	748,61	0	0	
BSG25	350	600,23	378,98	561,45	126,33	187,15	0,5
BSG50	350	600,23	252,65	374,305	252,65	374,305	0,5
BSG75	350	600,23	126,33	187,15	378,98	561,45	0,5
BSG100	350	600,23	0	0	505,31	748,61	0,5
Nombre d'éprouvettes	60 éprouvettes de (16x32cm)						
	60 éprouvettes de (7x7x28cm)						

4.2.4.3. Série 3 : Substitution mixte

Dans cette série, on a utilisé les déchets de marbre comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique de sable et gravier ensemble, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75%) et le béton BGR a été formulé par la méthode de «Dreux-Gorisse».

La composition des différents mélanges du béton testé est représentée dans le tableau 4.5

Tableau 4.5 : Composition des mélanges (BGN, BSM25, BSM50, BSM75, BGR)

Désignation	Matériaux							E/C
	Ciment (kg/m ³)	Granulats ordinaires (kg/m ³)			Granulats recyclés (kg/m ³)			
		0/5	5/15	15/25	0/5	5/10	10 /20	
BGN	350	600,23	505,31	748,61	0	0	0	0,5
BSM25	350	450,17	378,98	561,45	150,06	126,33	187,15	0,5
BSM50	350	300,115	252 ,65	374,305	300,115	252,65	374,305	0,5
BSM75	350	150,06	126,33	187,15	450,17	378,98	561,45	0,5
BGR	350	0	0	0	751,05	192,30	870,78	0,5
Nombre d'éprouvettes	60 éprouvettes de (16x32cm) 60 éprouvettes de (7x7x28cm)							

4.3. Etude du béton frais :

4.3.1. Mesure de la densité :

4.3.1.1. Série 1 : Substitution de sable

Dans le tableau 4.6, on présente les résultats des mesures de la densité pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100.

Tableau 4.6 : Les densités à l'état frais des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)

Désignation du béton	Densité (g/cm ³)
BGN	2,477
BSS25	2,488
BSS50	2,447
BSS75	2,461
BSS100	2,464

Le tableau 4.6 montre une augmentation accentuée de la densité au niveau du béton BSS25.

- La variation de la densité en fonction du taux de substitution de sable pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, est représentée sur la figure 4.3

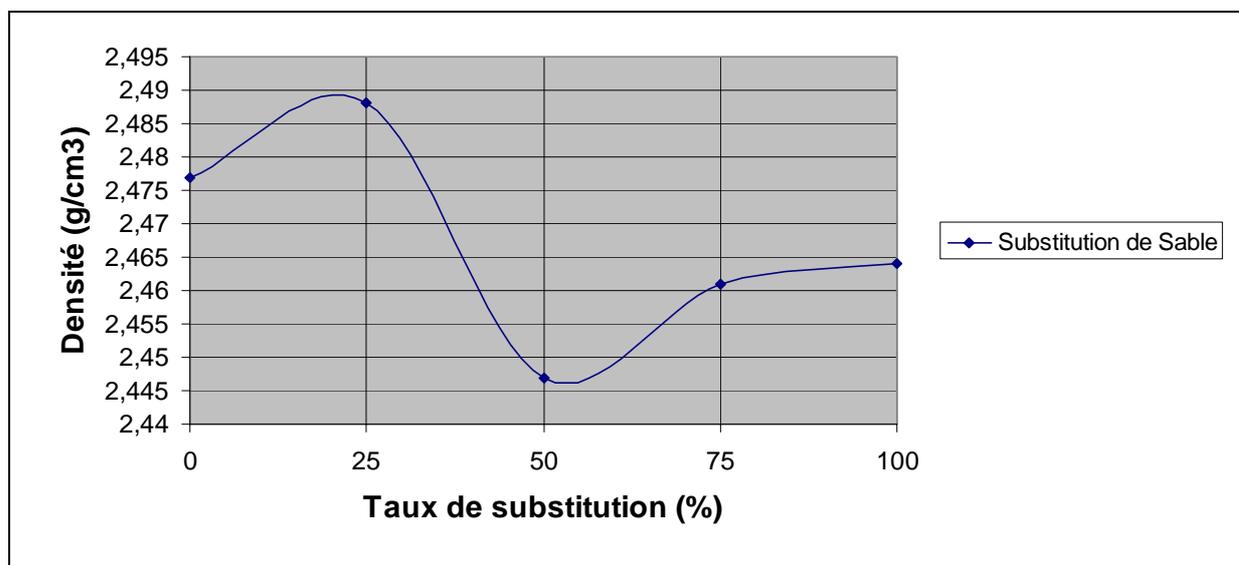


Figure 4.3 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution de sable

Pour chaque pas de 25 de substitution, la variation de gain varie d'un pas à un autre :
Un gain de 11, 41, 14 et 3.

4.3.1.2. Série 2 : Substitution de gravier

Dans le tableau 4.7, on présente les résultats des mesures de la densité pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100.

Tableau 4.7 : Les densités à l'état frais des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)

Désignation du béton	Densité (g/cm ³)
BGN	2,477
BSG25	2,421
BSG50	2,422
BSG75	2,405
BSG100	2,428

Le tableau 4.7 montre une diminution de la densité dans tous les mélanges des bétons et les valeurs sont inférieures à celles de la substitution de sable.

- La variation de la densité en fonction du taux de substitution de gravier pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, est représentée sur la figure 4.4

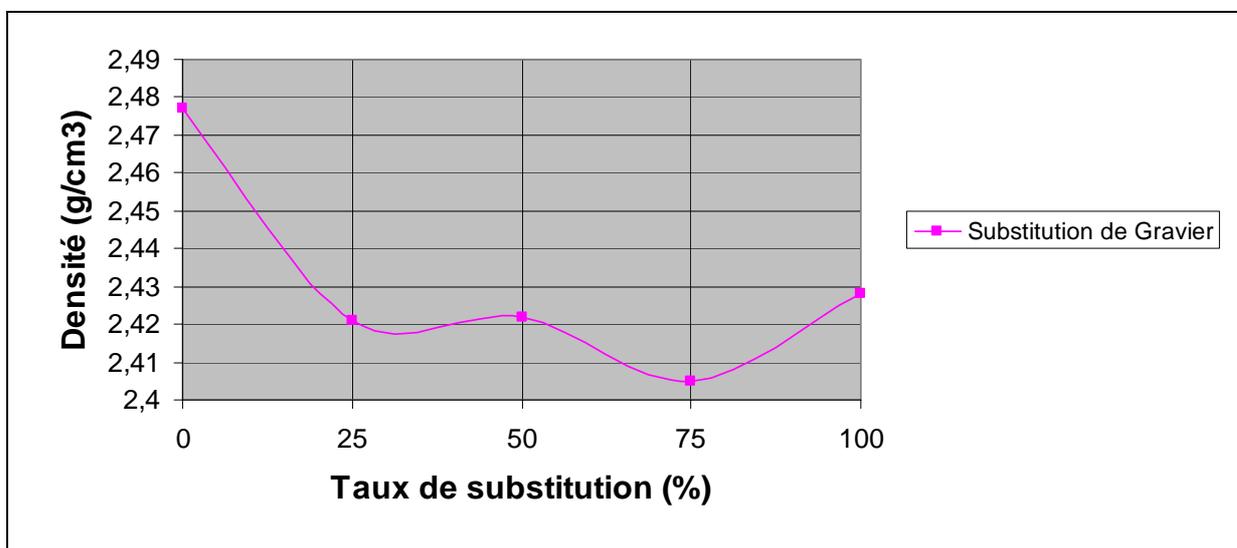


Figure 4.4 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution de gravier

Les résultats pour les mélanges des bétons BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100 indiquent que la densité tend à diminuer de façon variable avec l'augmentation du taux de substitution de gravier et l'évolution est complètement différente de la substitution de sable ainsi que les valeurs sont plus faibles.

4.3.1.3. Série 3 : Substitution mixte

Dans le tableau 4.8, on présente les résultats des mesures de la densité pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR.

Tableau 4.8 : Les densités à l'état frais des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR)

Désignation du béton	Densité (g/cm ³)
BGN	2,477
BSM25	2,454
BSM50	2,475
BSM75	2,470
BGR	2,455

Les valeurs de la densité pour la substitution mixte restent inférieures à celles de la substitution de sable.

- La variation de la densité en fonction du taux de substitution en granulats recyclés pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR, est représentée sur la figure 4.5

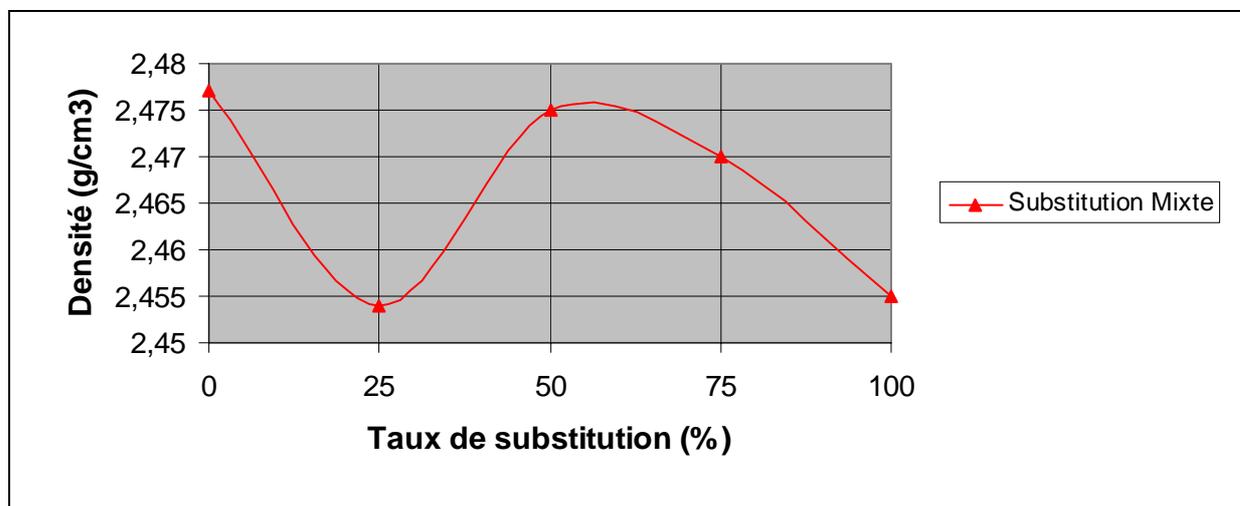


Figure 4.5 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution mixte

La densité décroît entre les mélanges des bétons BGN et BSM25 puis augmente jusqu'à BSM50 pour décroître à nouveau de manière importante entre les mélanges des bétons BSM50 et BGR. On remarque que les valeurs de densité dans la substitution mixte sont inversement variées par rapport à celles de la substitution de sable et ne reflète pas une superposition.

4.3.2. Mesure de l'air occlus :

4.3.2.1. Série 1 : Substitution de sable

Les résultats des pourcentages en air occlus en fonction du taux de substitution pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, sont représentés dans le tableau 4.9

Tableau 4.9 : Les pourcentages de l'air occlus dans les bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)

Désignation du béton	Air occlus (%)
BGR	3
BSS25	1,9
BSS50	1,7
BSS75	1,8
BSS100	3,4

Le tableau 4.9 montre une diminution de l'air occlus entre les substitutions de sable 25 et 75, la valeur la plus forte est obtenue au niveau de béton BSS100 mais reste acceptable.

- La variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution de sable pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, est représentée sur la figure 4.6

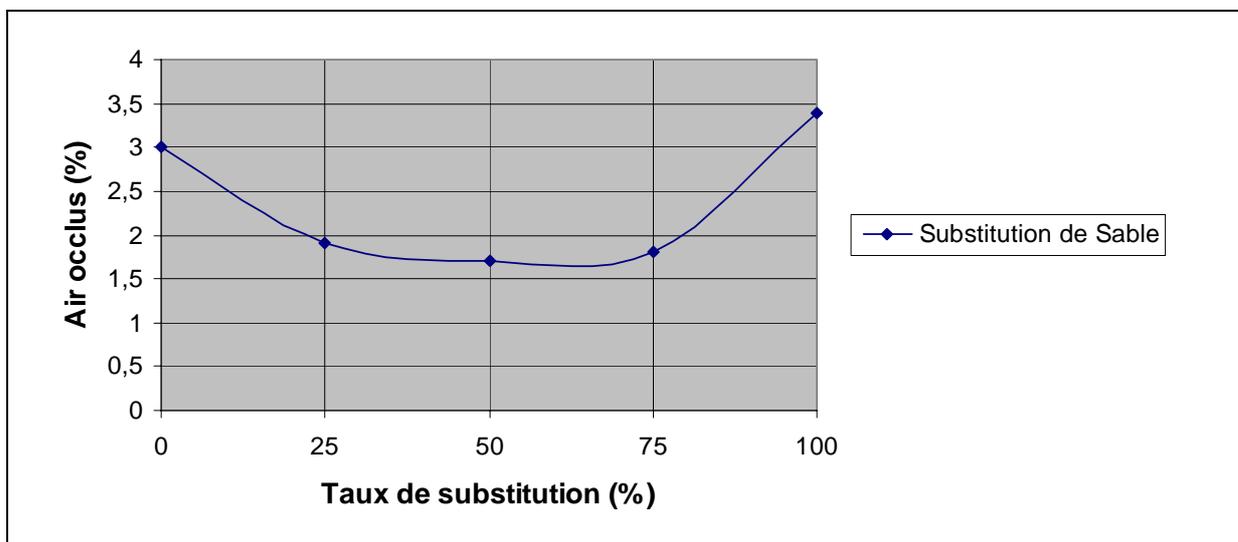


Figure 4.6 : Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution de sable

La figure 4.6 montre une diminution importante de 1,1% de l'air occlus entre BGN et BSS25 puis une stagnation avec une variation modérée entre BSS25 et BSS75 tandis qu'une augmentation plus importante jusqu'à BSS100 atteignant la valeur 3,4% de l'air occlus.

L'introduction du sable recyclé diminue la teneur en air occlus.

La correction et l'évolution de module de finesse ont influencé sur la teneur en air occlus.

4.3.2.2. Série 2 : Substitution de gravier

Les résultats des pourcentages en air occlus en fonction du taux de substitution de gravier pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, sont représentés dans le tableau 4.10

Tableau 4.10 : Les pourcentages de l'air occlus dans les bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)

Désignation du béton	Air occlus (%)
BGN	3
BSG25	2,2
BSG50	1,97
BSG75	2,9
BSG100	2,2

On remarque une valeur de l'air occlus plus faible au niveau de béton BSG50

- La variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution de gravier pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, est représentée sur la figure 4.7

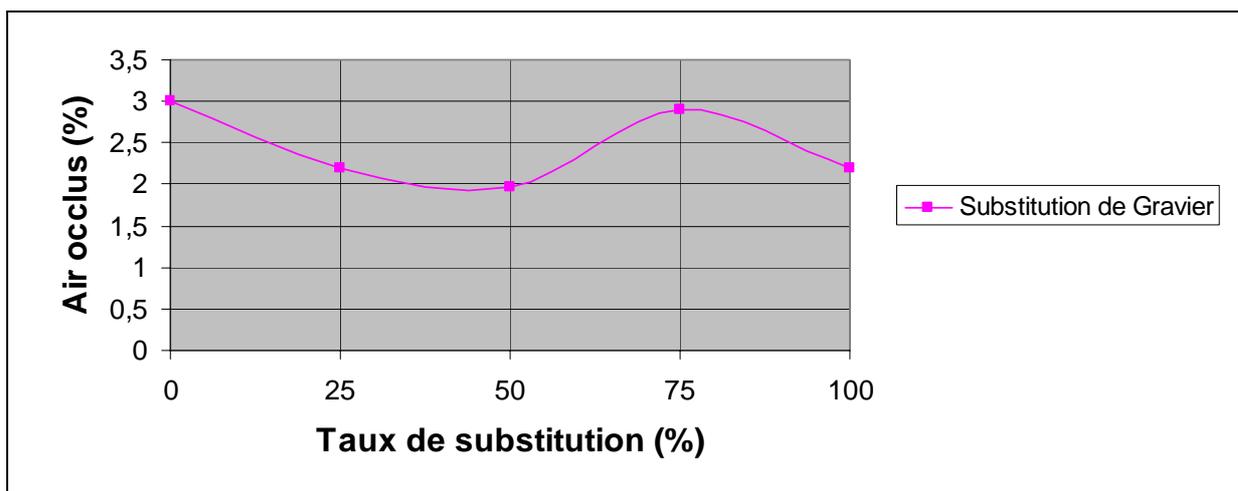


Figure 4.7 : Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution de gravier

L'air occlus décroît de 3% jusqu'à 1,97% entre les bétons BGN et BSG25 puis il reprend sa progression jusqu'à BSG75 de 2,9% pour diminuer de nouveau jusqu'à BSG100 à 2,2% de l'air occlus et toutes les valeurs sont inférieures à celles de béton à base de granulats

ordinaires. Ceci peut être à cause de la forme des granulats, une texture plus rugueuse entraînera une force d'adhésion plus grande entre les granulats et la pâte de ciment.

4.3.2.3. Série 3 : Substitution mixte

Les résultats des pourcentages en air occlus en fonction du taux de substitution pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR, sont représentés dans le tableau 4.11

Tableau 4.11 : Les pourcentages de l'air occlus dans les bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR)

Désignation du béton	Air occlus (%)
BGN	3
BSM25	1,7
BSM50	1,9
BSM75	1,7
BGR	2,75

La variation de l'air occlus est identique à celle de la substitution de sable.

- La variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution en granulats recyclés pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR, est représentée sur la figure 4.8

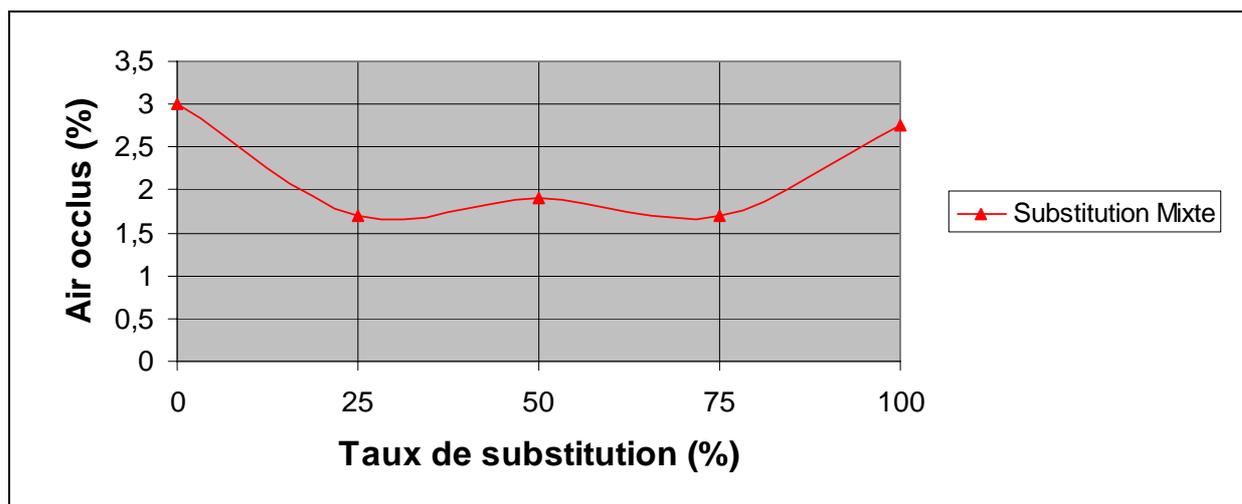


Figure 4.8 : Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution mixte.

L'air occlus décroît de manière importante de 3% à 1,7% puis se stabilise entre les bétons BSM25 et BSM75 avec une variation plus au moins modérée et à partir de BSM75 la valeur de l'air occlus augmente jusqu'à 2,75% à BGR.

On remarque que les valeurs de l'air occlus dans la Substitution mixte suivent dans leur progression celles de la substitution du sable ce qui indique que le sable a un effet prépondérant que celui de gravier.

4.3.3. Mesure de l'ouvrabilité :

4.3.3.1. Série 1 : Substitution de sable

Les résultats de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de sable pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, sont représentés dans le tableau 4.12

Tableau 4.12 : l'ouvrabilité des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100)

Désignation du béton	l'affaissement au cône d'Abrams (cm)
BGN	5,7
BSS25	2,6
BSS50	2,4
BSS75	1,4
BSS100	0,4

Le tableau 4.12 montre que le sable recyclé absorbe plus d'eau.

- La variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de sable pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, est représentée sur la figure 4.

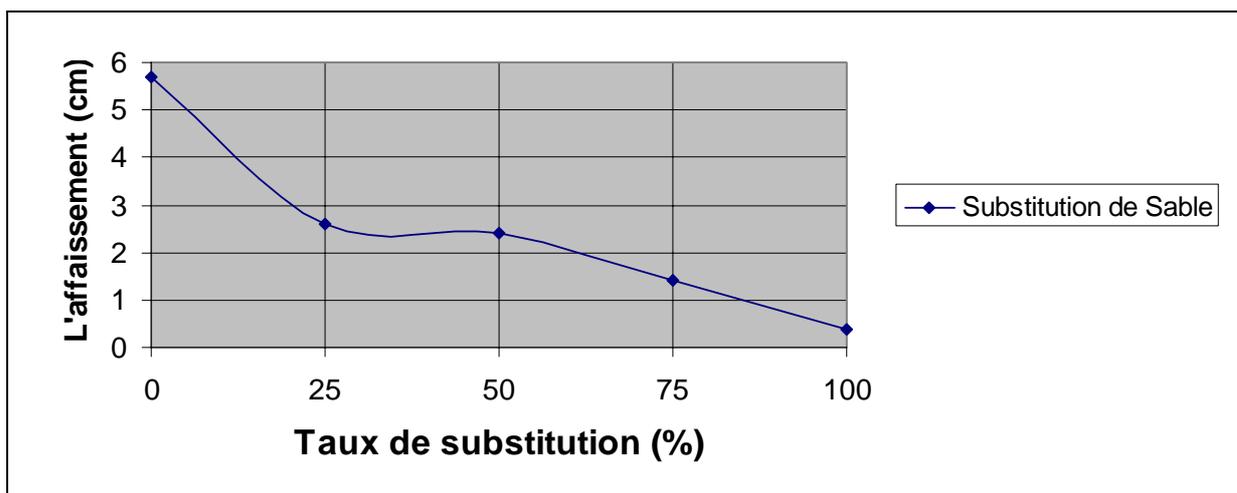


Figure 4.9 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution sable

Entre BGN et BSS25 l'ouvrabilité marque une forte diminution (55%) puis une légère diminution jusqu'à BSS50 d'où elle continue à diminuer de façon constante jusqu'à BSS100.

4.3.3.2. Série 2 : Substitution de gravier

Les résultats de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, sont représentés dans le tableau 4.13

Tableau 4.13 : l'ouvrabilité des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100)

Désignation du béton	l'affaissement au cône d'Abrams (cm)
BGN	5,7
BSG25	4,3
BSG50	3,8
BSG75	2,0
BSG100	4,5

Le tableau 4.13 montre que le béton BSG75 est plus ferme.

- La variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de gravier pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, est représentée sur la figure 4.10

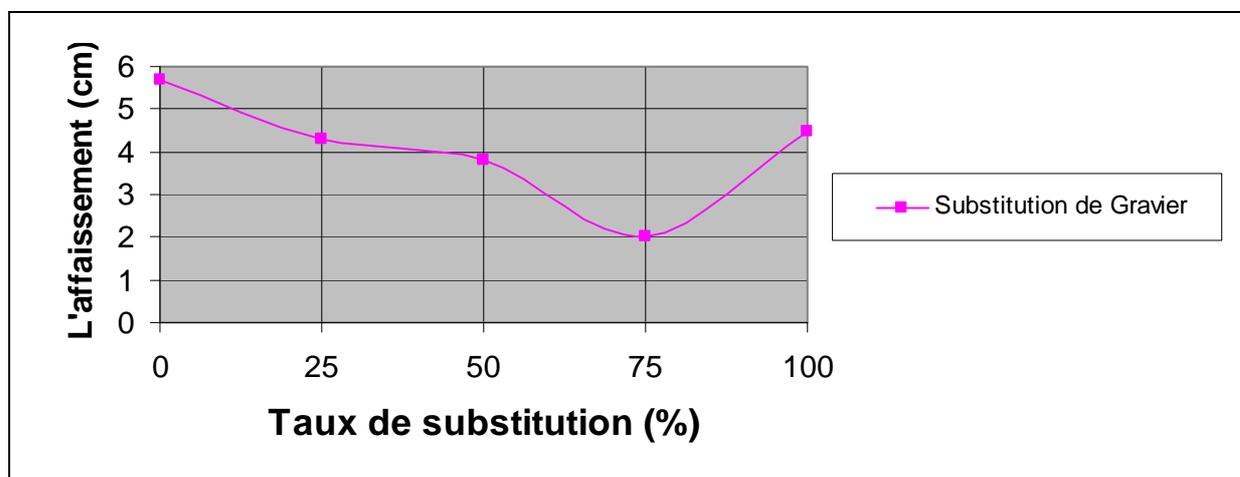


Figure 4.10 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution de gravier

On observe une légère diminution de l'ouvrabilité (33%) jusqu'à BSG50 puis la diminution est accentuée (53%) jusqu'à BSG75 mais à partir de ce niveau l'ouvrabilité varie inversement pour marquer une augmentation de 4,5cm à BSG100 (55%).

4.3.3.3. Série 3 : Substitution mixte

Les résultats de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution en granulats recyclés pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR, sont représentés dans le tableau 4.14

Tableau 4.14 : l'ouvrabilité des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR)

Désignation du béton	l'affaissement au cône d'Abrams (cm)
BGN	5,7
BSM25	4,6
BSM50	2,3
BSM75	1,9
BGR	0,6

Le tableau 4.14 montre que l'affaissement est une fonction décroissant du taux de substitution en granulats recyclés.

- La variation de l'ouvrabilité en fonction des taux de substitution en granulats recyclés pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR, est représentée sur la figure 4.11

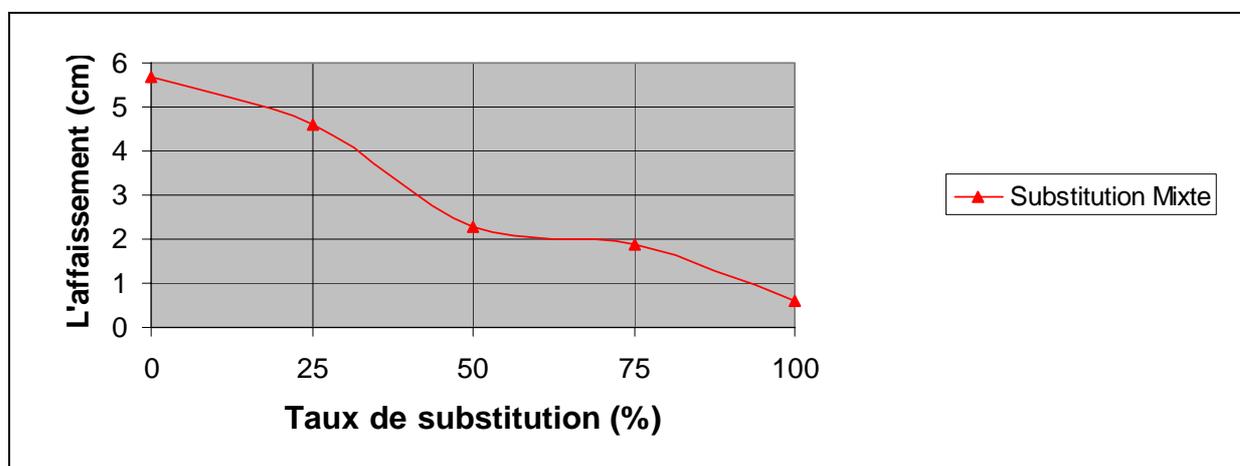


Figure 4.11 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution mixte

L'ouvrabilité décroît avec le taux de substitution de façon variable de 5,7cm à BGN jusqu'à atteindre 0,6cm à BGR.

L'évolution de l'ouvrabilité de la substitution mixte est plus marquée par l'influence de la substitution partielle du sable.

4.4. Etude du comportement mécanique du béton durci :

4.4.1. La résistance en compression :

4.4.1.1. Série 1 : Substitution de sable

Dans le tableau 4.15, les valeurs représentées de la résistance en compression est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100.

Tableau 4.15 : Résistances en compression des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100) en MPa

Béton \ Résistance	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa) 28 jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	14,4	24,3	28,0	28,1
BSS25	10,7	32,6	32,7	32,7
BSS50	13,6	31,0	34,6	34,8
BSS75	13,2	28,7	32,4	34,8
BSS100	15,6	19,0	21,4	27,2

On note que la résistance en compression augmente de façon proportionnelle avec le temps, bien que le taux de variation n'est pas similaire pour les différents mélanges de béton.

En ce qui concerne les bétons BSS25, BSS50 et BSS75 l'augmentation de la résistance est accentuée entre 2 jours et 14 jours (67%, 56% et 55% respectivement) par rapport à celle de BGN (41%) puis elle se stabilise avec variation modérée de 32,7 MPa à 34,8 MPa entre 28 jours et 90 jours, tandis que la résistance en compression de BSS100 présente une variation discrètement augmentée entre 2 jours et 14 jours puis elle s'accroît entre 28 jours et 90 jours.

- La variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, est représentée sur les figures : 4.12; 4.13; 4.14; 4.15

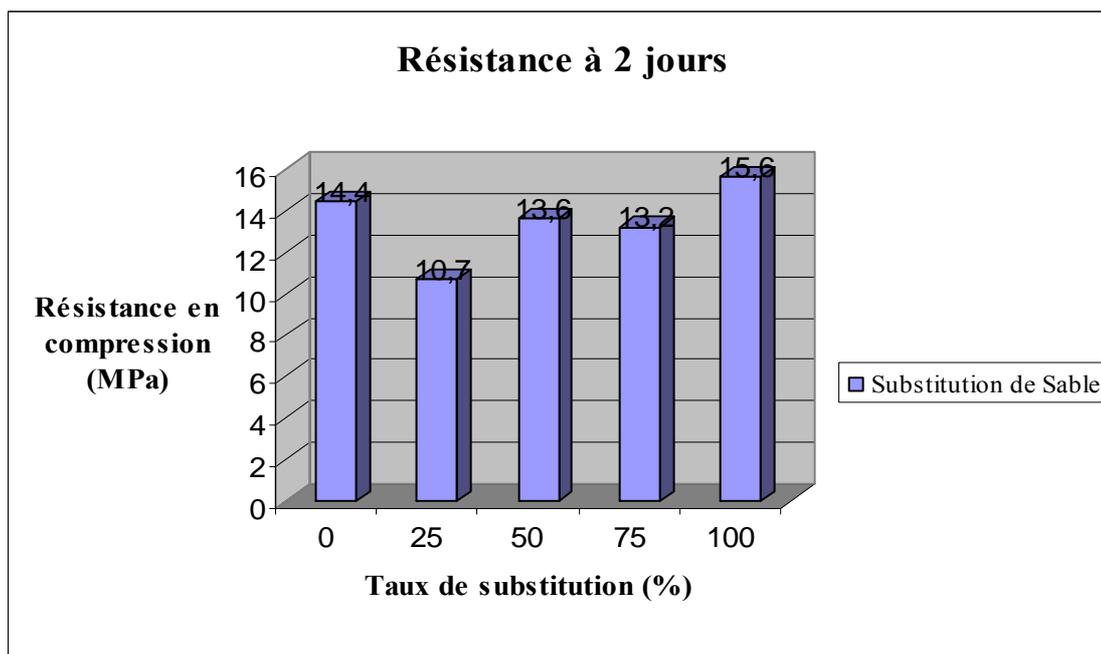


Figure 4.12 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 2 jours)

On constate que les résistances initiales des bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100 (à 2 jours) atteignent (49%, 67%, 61%, 59%, 27% respectivement) par rapport aux résistances finales (moyen terme) à 28 jours.

Les mélanges à base de granulats de substitution totale donnent les plus fortes résistances par rapport aux mélanges à base de granulats de substitution partielle.

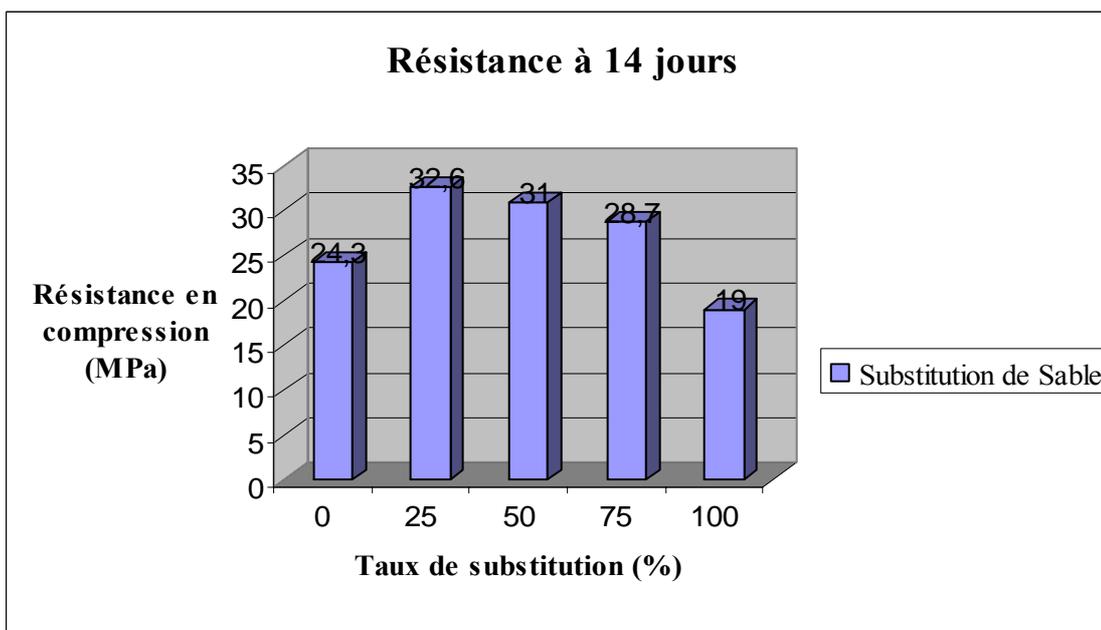


Figure 4.13 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 14 jours)

Les résistances des mélanges à base de substitution partielle ont triplées leurs valeurs à 14 jours, pour se stabiliser à moyen et long terme (28 jours et 90 jours).

À jeune âge le sable recyclé joue le rôle d'un retardeur de durcissement.

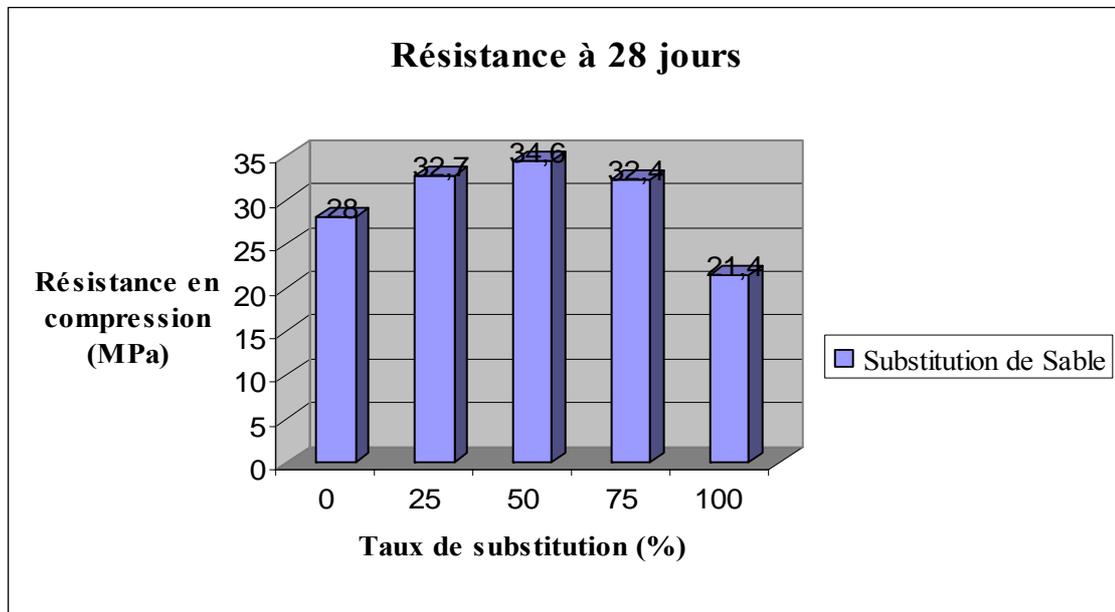


Figure 4.14 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 28 jours)

L'effet inverse se produit pour les résistances finales, des mélanges à base de substitution partielle, où l'on obtient les résistances les plus élevées quelque soit le taux de substitution, ce qui confirme le rôle et la fonction d'un retardeur de durcissement joué par l'addition de granulats de marbre.

La valeur maximale de la résistance à 28 jours est de 34,6 MPa obtenue dans le béton BSS50.

La valeur minimale de la résistance à 28 jours est de 21,4 MPa obtenue dans le béton BSS100.

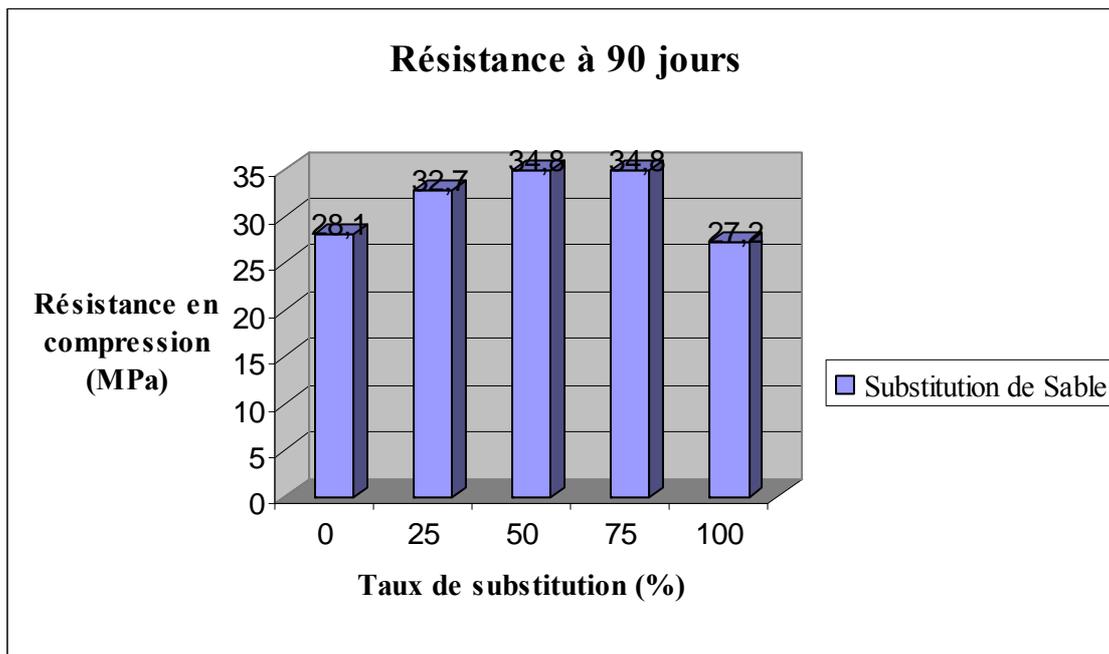


Figure 4.15 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable (à 90jours)

Entre 28 jours et 90jours, les résistances obtenues n'enregistrent pas d'augmentation sensibles pour tous les mélanges contenant des granulats ordinaires, à l'inverse de la composition à base de granulats recyclés d'où un gain de 5,8 MPa, ce qui montre que l'hydratation du ciment est perturbée par l'introduction des additions de marbre même en substitution du sable.

4.4.1.2. Série 2 : Substitution de gravier

Dans le tableau 4.16, les valeurs représentées de la résistance en compression est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100.

Tableau 4.16 : Résistances à la compression des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100) en MPa

Béton \ Résistance	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa) 28 jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	14,4	24,3	28,0	28,1
BSG25	16,1	27,0	34,0	34,0
BSG50	13,7	21,8	32,8	33,9
BSG75	15,2	31,8	34,9	34,9
BSG100	13,6	28,3	29,5	29,7

La résistance en compression augmente de façon proportionnelle avec le temps, bien que le taux de variation n'est pas similaire pour les différents mélanges de béton.

On remarque que les valeurs à 28 jours de la résistance en compression sont légèrement supérieures à celles de la substitution de sable.

Le taux de variation est quasi similaire pour tous les mélanges de béton avec 50% d'augmentation de la résistance en compression entre 2 jours et 14 jours.

- La variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier pour les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, est représentée sur les figures : 4.16; 4.17; 4.18; 4.19

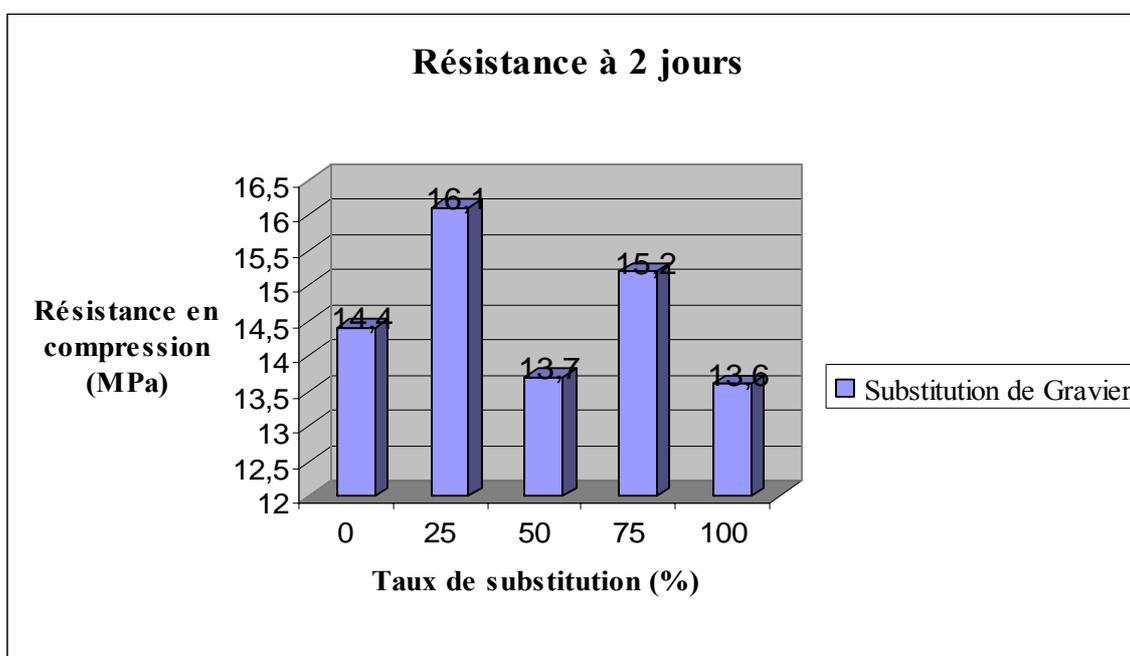


Figure 4.16 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 2 jours)

L'évolution des résistances à très jeune âge est fonction de la nature de chaque composition, en forme de dents de scie, les valeurs d'un mélange à un autre sont très distinctes.

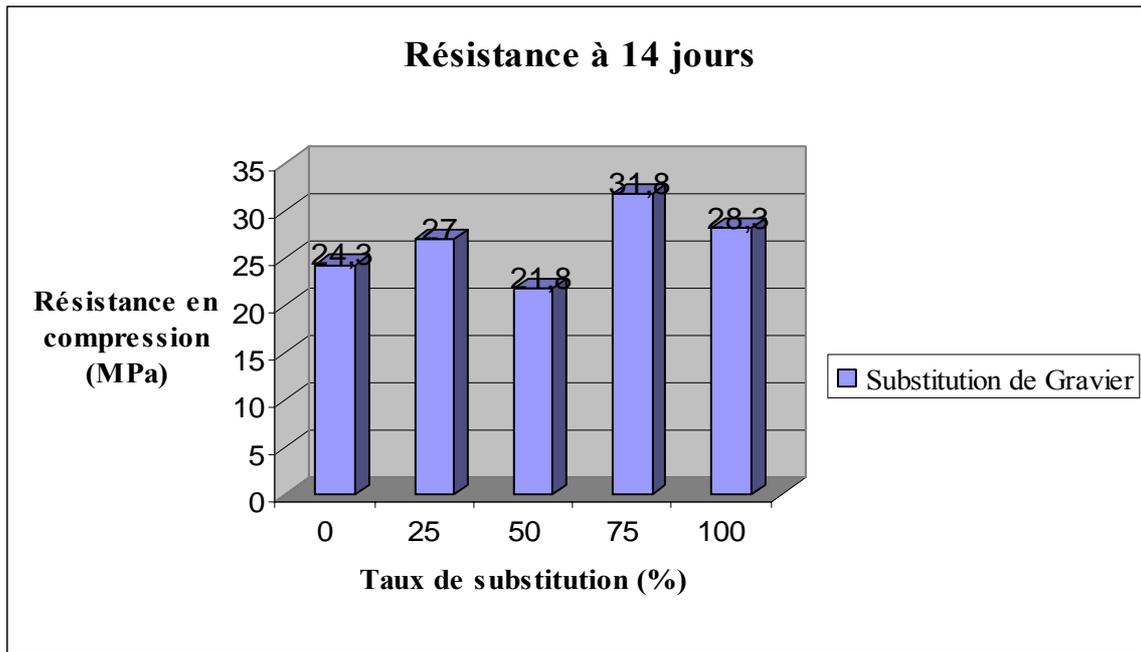


Figure 4.17 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 14jours)

A 14 jours, les valeurs des résistances des différents mélanges sont très rapprochées. La meilleure performance est obtenue à 75% de substitution de gravier.

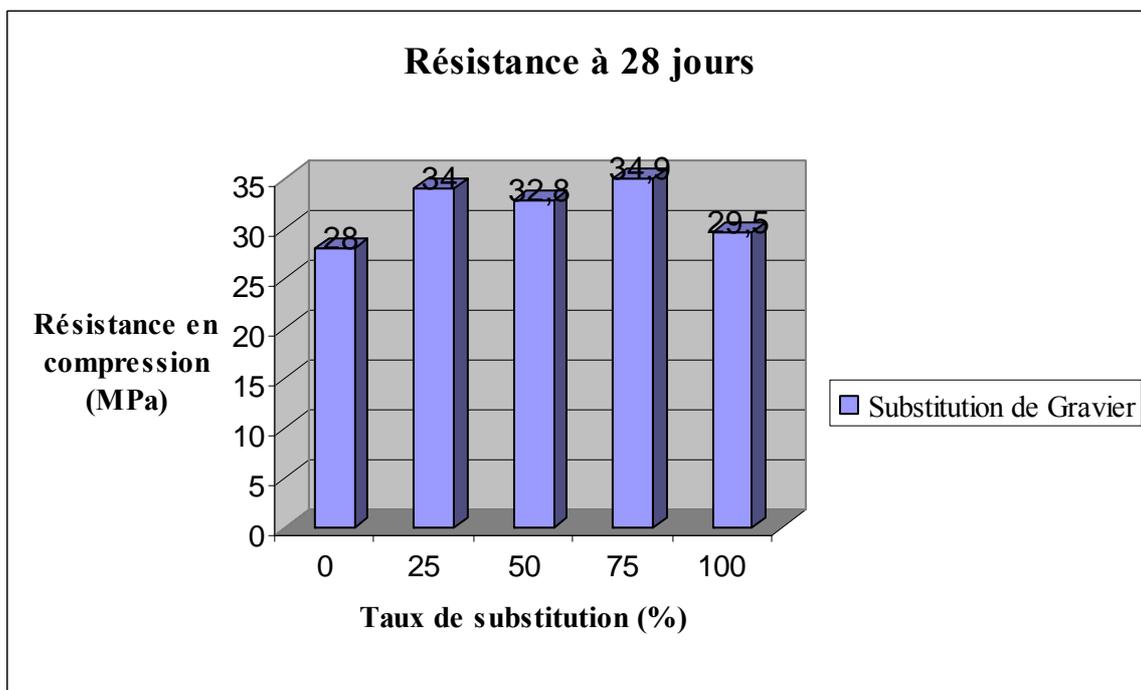


Figure 4.18 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 28jours)

La résistance à la compression des bétons à 28 jours est augmentée en fonction du taux de substitution de graviers recyclés.

La valeur maximale de la résistance en compression à 28 jours est obtenue dans le béton BSG75 et égale à 34,9 MPa.

La valeur minimale de la résistance en compression à 28 jours est obtenue dans le béton BGN et égale à 28,0 MPa.

Ceci peut être expliqué que la résistance du béton est influencée par la texture et la forme des granulats, donc la force d'adhésion entre les gravier recyclé et la pâte de ciment est plus importante que celle de gravier naturel.

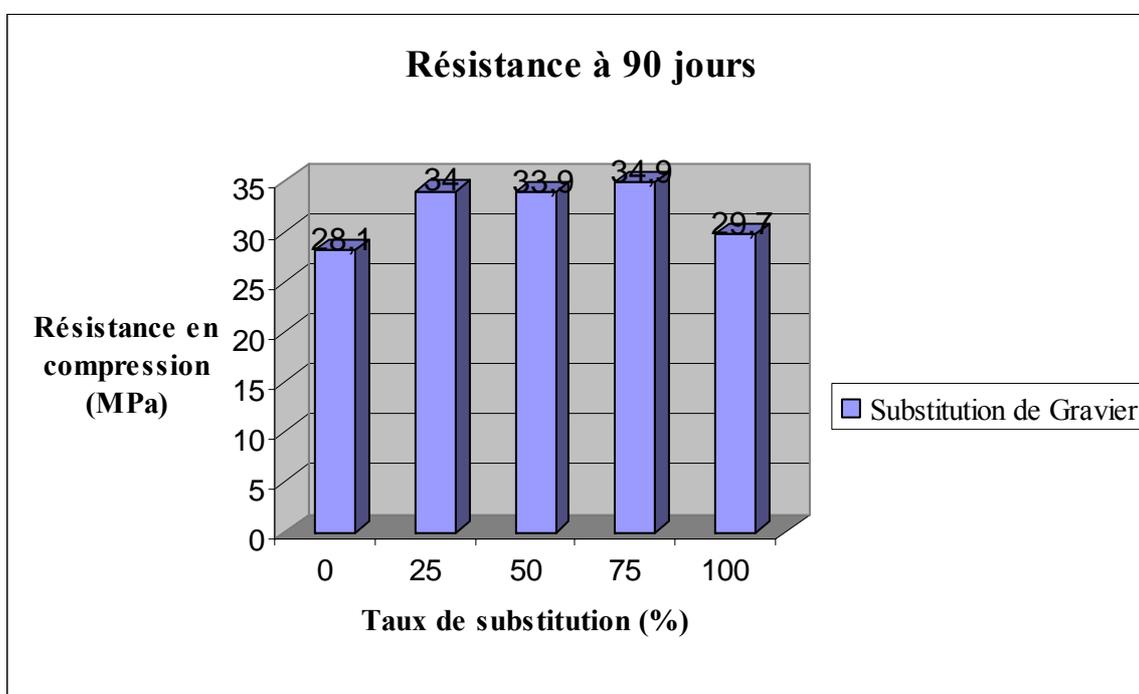


Figure 4.19 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de gravier (à 90jours)

A moyen et long terme, les résistances des mélanges à base de granulats recyclés sont supérieures au mélange à base de granulats naturels, ce qui confirme que la granularité des gravillons recyclés offre une meilleure cohésion avec la matrice à base de sable ordinaire (moins déformable que pour les mélanges à base de granulats naturels).

4.4.1.3. Série 3 : Substitution mixte

Dans le tableau 4.17, les valeurs représentées de la résistance en compression est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR.

Tableau 4.17 : Résistances à la compression des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa

Résistance Béton	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa) 28 jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	14,4	24,3	28,0	28,1
BR25	12,6	33,8	35,1	35,6
BR50	18,0	28,1	32,7	32,8
BR75	11,8	23,3	32,6	32,6
BGR	13,4	21,1	28,2	30,8

La résistance en compression augmente de façon proportionnelle avec le temps, bien que le taux de variation n'est pas similaire pour les différents mélanges de béton.

La substitution mixte n'obéit pas à la loi des mélanges, les deux substitutions partielles ne sont pas cumulatives. On remarque que l'interaction des différents effets s'accroît en fonction de l'âge de chargement et de la sollicitation.

Les mélanges des bétons BSM50, BSM75 et BGR présentent des augmentations moins importantes que celle de béton BSM25 entre 2 jours et 14 jours et à partir de 14 jours la résistance de tous les mélanges des bétons augmente légèrement.

- La variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution en granulats recyclés pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR, est représentée sur les figures : 4.20; 4.21; 4.22; 4.23

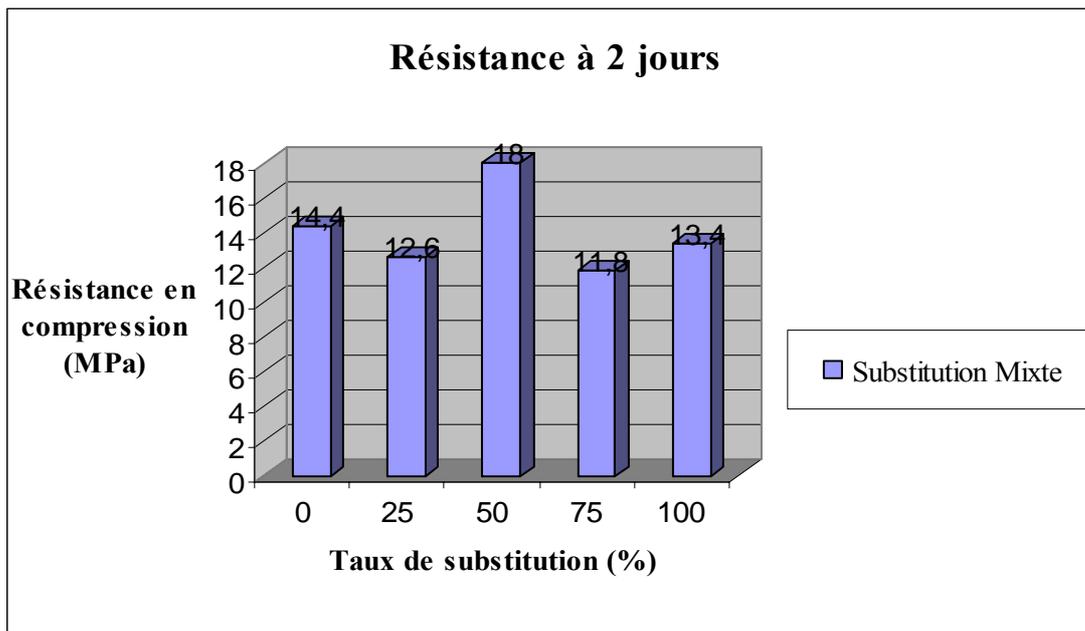


Figure 4.20 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 2 jours)

Le rôle retardeur de durcissement est uniquement constaté pour 25% de substitution, pour les résistances initiales.

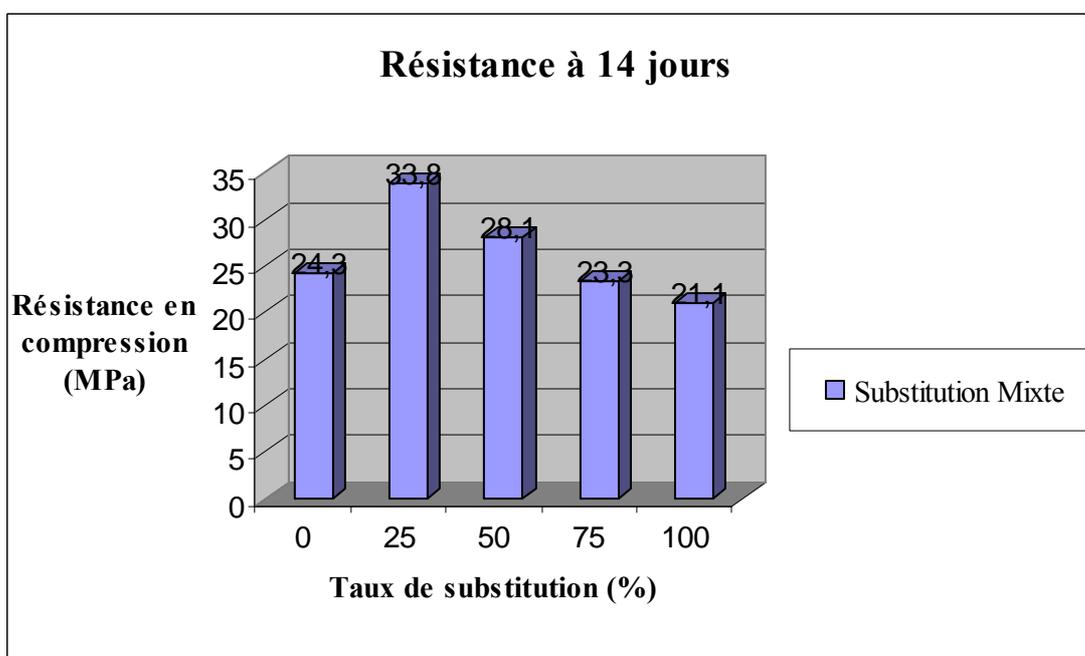


Figure 4.21 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 14 jours)

La résistance à 14 jours du BSM25 se voit augmenter pour atteindre la valeur la plus élevée à moyen terme, l'hydratation s'effectue lentement.

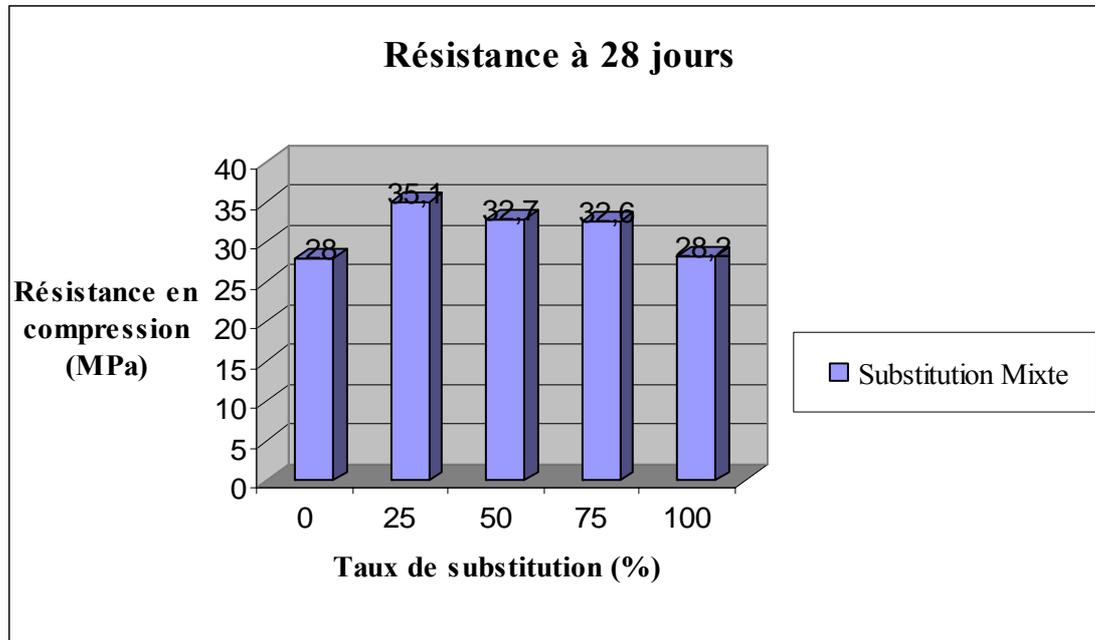


Figure 4.22 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 28 jours)

La valeur maximale de la résistance en compression à 28 jours est de 35,1 MPa obtenue dans le béton BSM25.

La valeur minimale de la résistance en compression à 28 jours est de 28,0 MPa obtenue dans le béton sans granulats recyclés BGN.

Ceci peut être expliqué que la résistance du béton est influencée par la forme des granulats, donc la force d'adhésion entre les granulats recyclés et la pâte de ciment est plus importante que celles de granulats naturels.

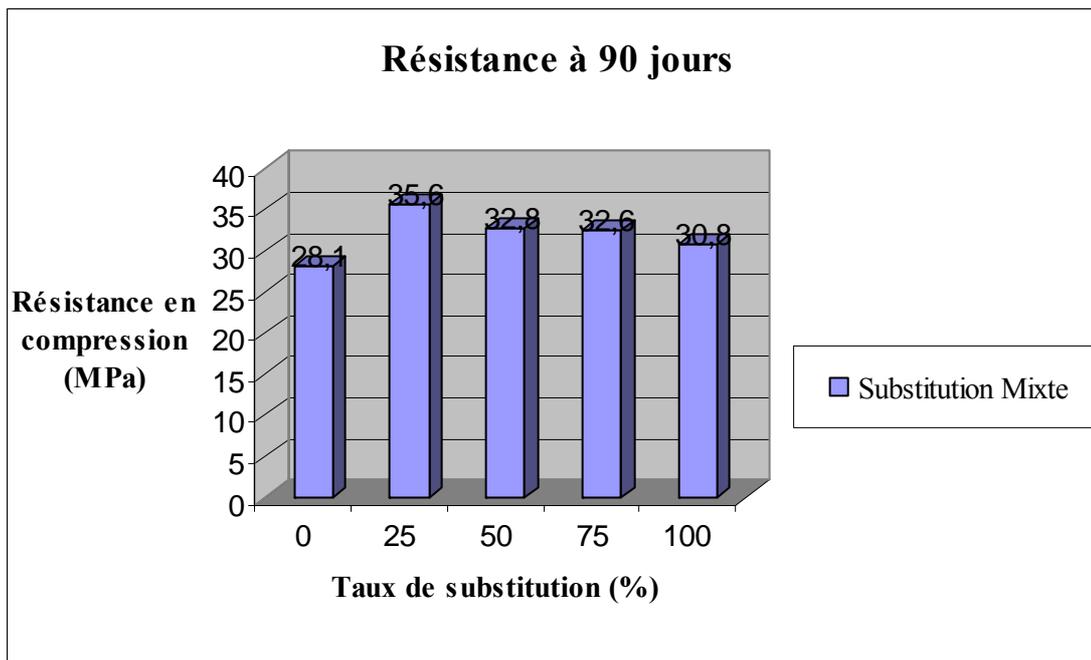


Figure 4.23 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution mixte (à 90 jours)

A long terme, les résistances des mélanges à base de granulats recyclés sont supérieures au mélange à base de granulats naturels, ce qui confirme que la granularité des granulats recyclés offre une meilleure cohésion avec la matrice à base de granulats naturels.

4.4.2. La résistance en traction par flexion :

4.4.2.1. Série 1 : Substitution de sable

Dans le tableau 4.18, les valeurs représentées de la résistance en traction est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100.

Tableau 4.18 : Résistances à la traction par flexion des bétons (BGN, BSS25, BSS50, BSS75, BSS100) en MPa

Résistance Béton	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa) 28 jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	1,31	2,67	3,11	3,45
BSS25	0,95	3,62	3,8	4,25
BSS50	1,25	3,37	4,07	4,60
BSS75	1,21	3,05	3,60	4,10
BSS100	0,75	2,11	2,37	2,63

La résistance en traction augmente de façon proportionnelle avec le temps, bien que le taux de variation n'est pas similaire pour les différents mélanges de béton.

En ce qui concerne les bétons BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100 l'augmentation de la résistance est accentuée entre 2 jours et 14 jours (74%, 63%, 60% et 64% respectivement) par rapport à celle de BGN (50%) puis la résistance en traction croît légèrement entre 14 jours et 28 jours pour tous les mélanges de béton, tandis que la résistance en traction de BSS100 présente une variation discrètement augmentée entre 14 jours et 90 jours.

- La variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution de sable pour les bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100, est représentée sur les figures: 4.24; 4.25; 4.26; 4.27

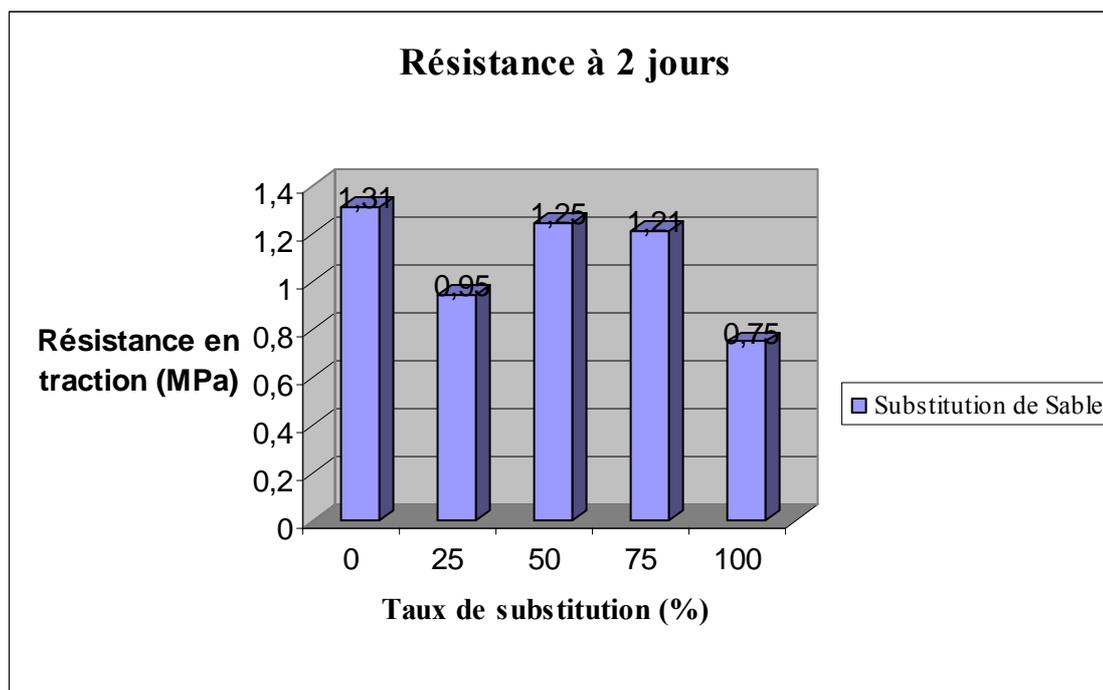


Figure 4.24 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 2 jours)

On remarque que les résistances initiales des bétons BGN, BSS25, BSS50, BSS75 et BSS100 (à 2 jours) atteignent (58%, 75%, 69%, 66%, 68% respectivement) par rapport aux résistances finales (moyen terme) à 28 jours.

Les mélanges à base de granulats de substitution totale donnent les plus faibles résistances par rapport aux mélanges à base de granulats de substitution partielle.

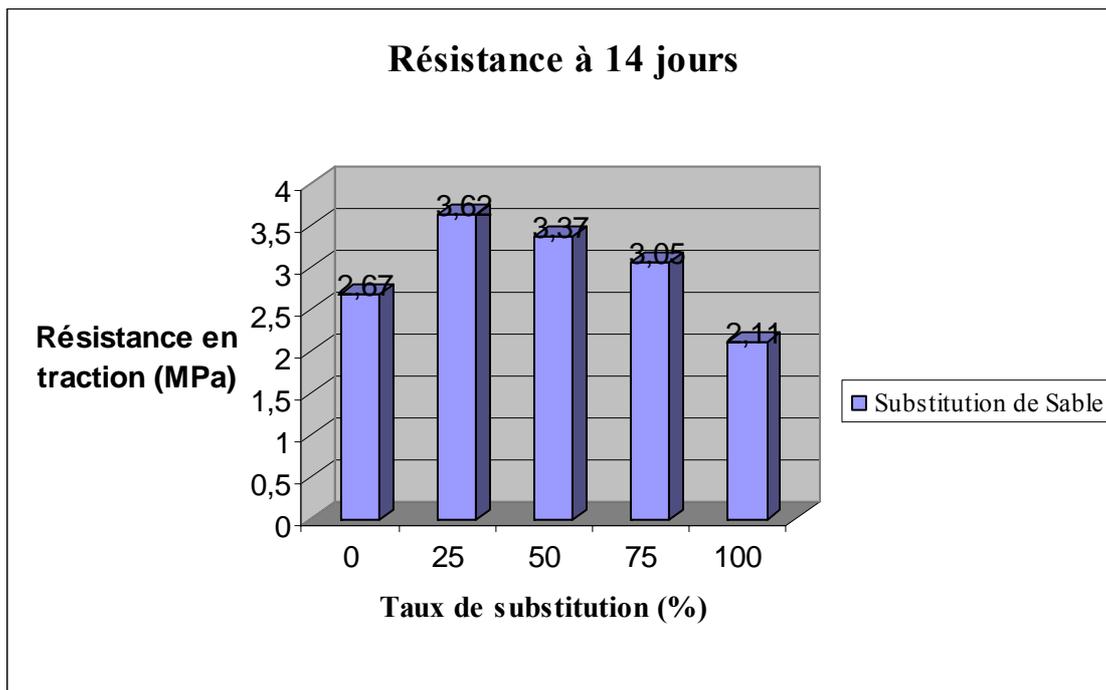


Figure 4.25 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 14jours)

Les résistances des mélanges à base de substitution partielle ont triplées leurs valeurs à 14jours, pour se stabiliser à moyen et long terme (28jours et 90jours).

À jeune âge le sable recyclé joue le rôle d'un retardeur de durcissement.

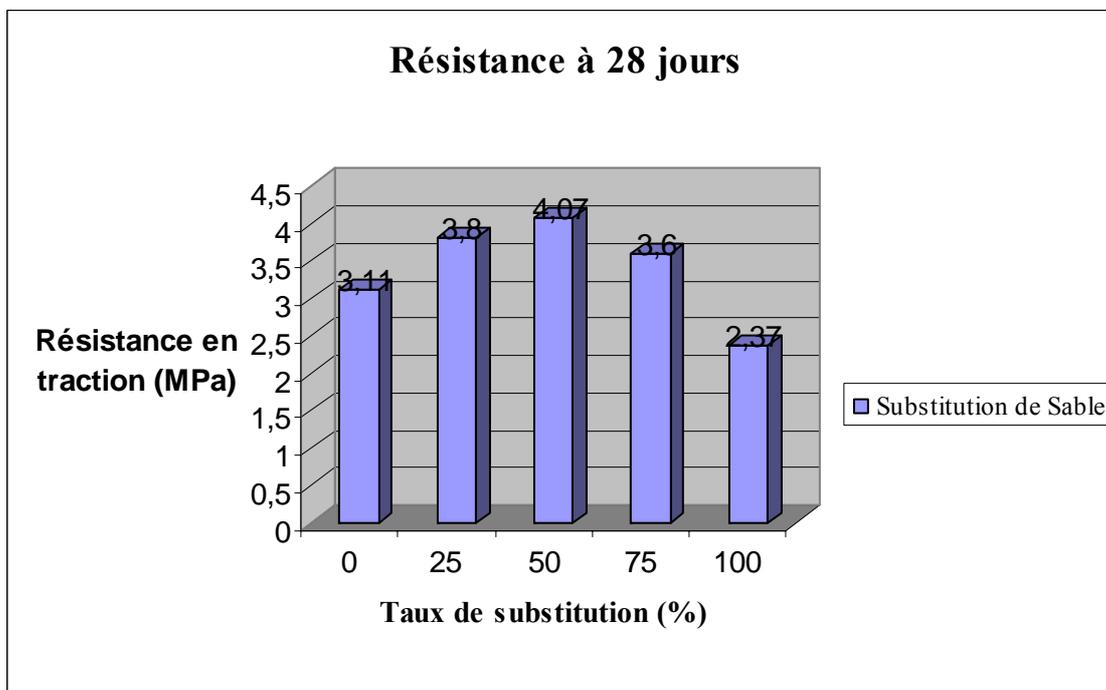


Figure 4.26 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 28jours)

Les mélanges à base de substitution partielle, où l'on obtient les résistances les plus élevées quelque soit le taux de substitution, ce qui confirme le rôle et la fonction d'un retardeur de durcissement joué par l'addition de granulats de marbre.

La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est de 4,07 MPa obtenue dans le béton BSS50.

La valeur minimale de la résistance en traction à 28 jours est de 2,37 MPa obtenue dans le béton BSS100.

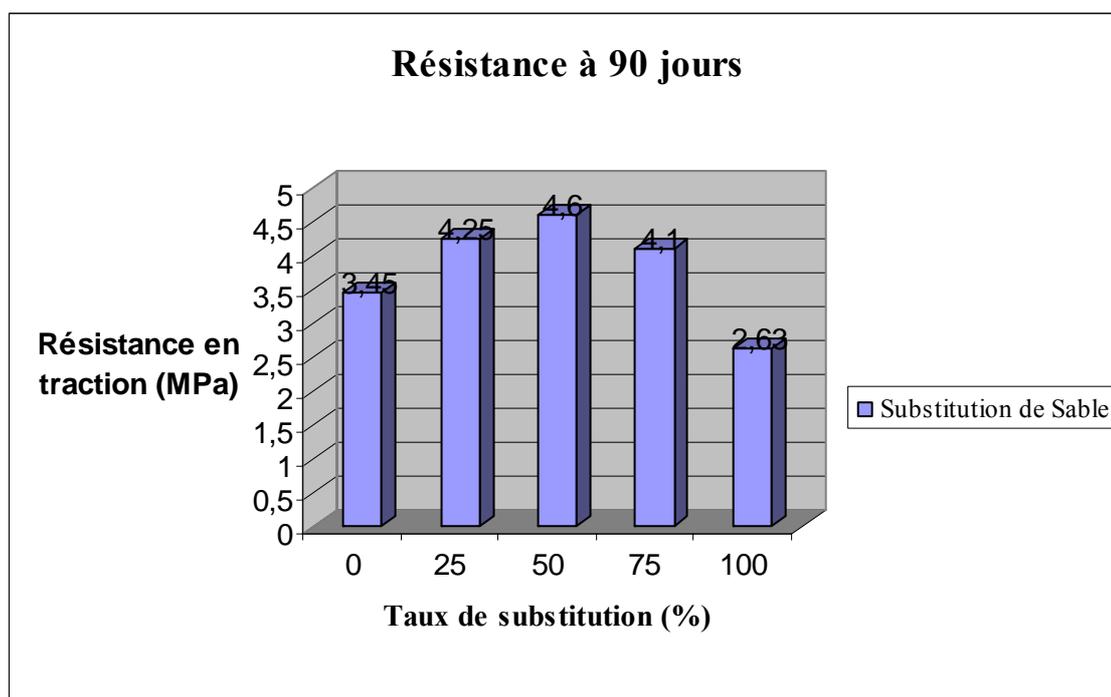


Figure 4.27 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de sable (à 90 jours)

Entre 28 jours et 90 jours, les résistances obtenues n'enregistrent pas d'augmentation sensible pour tous les mélanges contenant des granulats ordinaires et des granulats recyclés

4.4.2.2. Série 2 : Substitution de gravier

Dans le tableau 4.19, les valeurs représentées de la résistance en traction est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100.

Tableau 4.19 : Résistances à la traction par flexion des bétons (BSG25, BSG50, BSG75, BSG100) en MPa

Béton \ Résistance	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa) 28 jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	1,31	2,67	3,11	3,45
BSG25	1,39	2,84	4,25	4,80
BSG50	1,14	2,32	4,10	4,63
BSG75	1,32	3,31	3,66	4,09
BSG100	1,13	3,04	3,27	3,57

La résistance en traction augmente de façon proportionnelle avec le temps, et le taux de variation est quasi similaire pour tous les mélanges des bétons avec plus de 50% d'augmentation entre 2 jours et 14 jours. La résistance croît légèrement entre 14 jours et 28 jours avec une variation remarquable pour les mélanges BSG25 et BSG50, et à partir de 28 jours la résistance en traction augmente légèrement pour tous les mélanges.

- La variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution de gravier les bétons BGN, BSG25, BSG50, BSG75 et BSG100, est représentée sur les figures : 4.28; 4.29; 4.30; 4.31

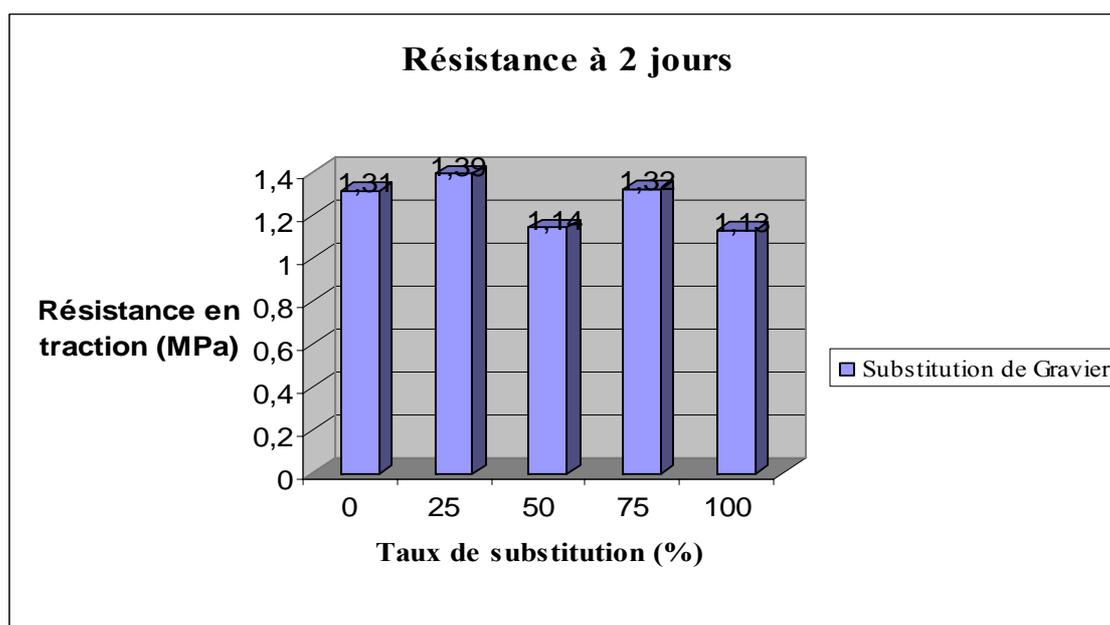


Figure 4.28 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 2 jours)

L'évolution des résistances à très jeune âge est fonction de la nature de chaque composition, les valeurs d'un mélange à un autre sont très distinctes.

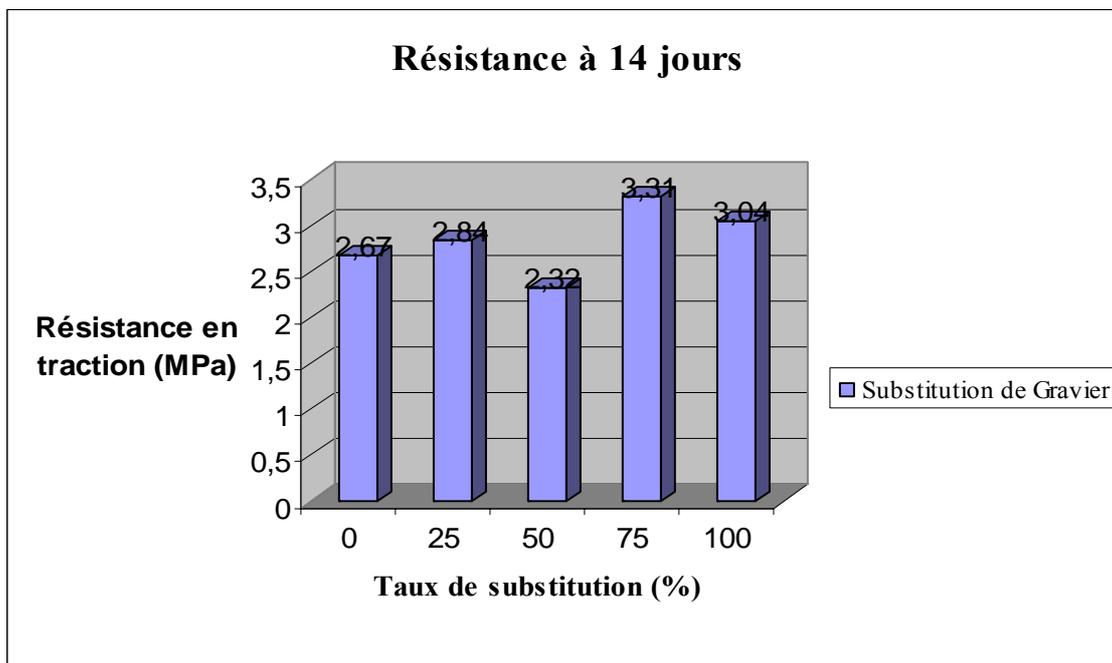


Figure 4.29 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 14jours)

La variation de la résistance en traction à 14 jours n'est pas stable dans le même sens de progression, la meilleure performance est obtenue à 75% de substitution de gravier.

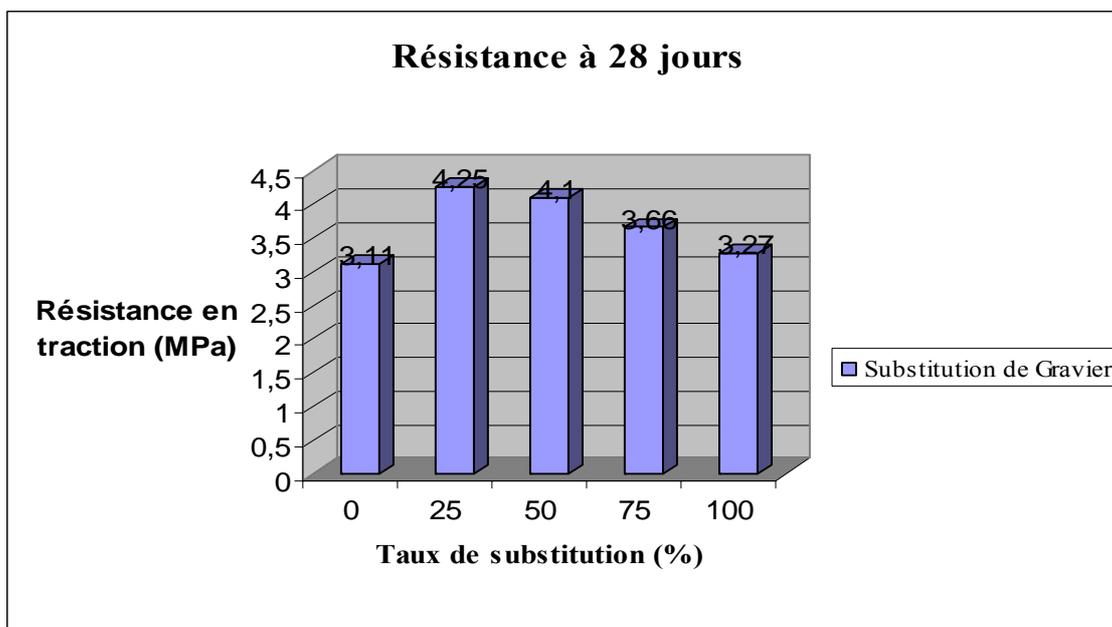


Figure 4.30 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 28jours)

La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est obtenue dans le béton BSG25 et égale à 4,25 MPa.

La valeur minimale de la résistance en traction à 28 jours est obtenue dans le béton BGN et égale à 3,11 MPa.

La valeur maximale de la résistance en traction est obtenue par le béton à base de gravier recyclé, donc le gravier recyclé entraîne une force d'adhésion plus grande avec la matrice de ciment.

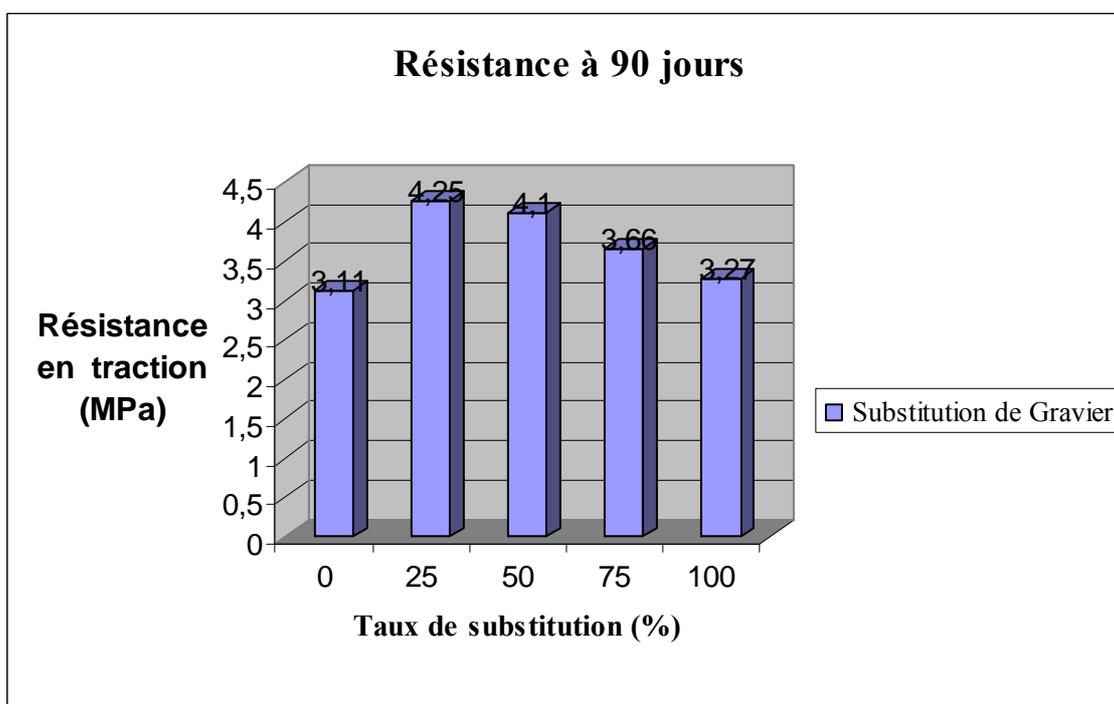


Figure 4.31 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution de gravier (à 90jours)

A moyen et long terme, les résistances des mélanges à base de granulats recyclés sont supérieures au mélange à base de granulats naturels, ce qui confirme que la granularité des gravillons recyclés offre une meilleure cohésion avec la matrice à base de sable ordinaire.

4.4.2.3. Série 3 : Substitution mixte

Dans le tableau 4.20, les valeurs représentées de la résistance en traction est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BGR.

Tableau 4.20 : Résistances à la traction par flexion des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR)
en MPa

Béton \ Résistance	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa) 28 jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	1,31	2,67	3,11	3,45
BSM25	1,07	3,45	3,54	3,82
BSM50	1,49	2,93	3,76	3,95
BSM75	1,03	2,45	3,62	3,69
BGR	1,15	2,15	3,24	3,56

La substitution mixte n'obéit pas à la loi des mélanges, les deux substitutions partielles ne sont pas cumulatives. On remarque que l'interaction des différents effets s'accroît en fonction de l'âge de chargement et de la sollicitation.

La résistance en traction augmente de façon proportionnelle avec le temps, en ce qui concerne le béton BSM25 l'augmentation est accentuée entre 2 jours et 14 jours (69%).

La résistance croît légèrement entre 14 jours et 28 jours avec une variation remarquable pour les mélanges BSM75 et BGR.

- La variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution en granulats recyclés pour les bétons BGN, BSM25, BSM50, BSM75 et BSM100, est représentée sur les figures : 4.32; 4.33; 4.34; 4.35

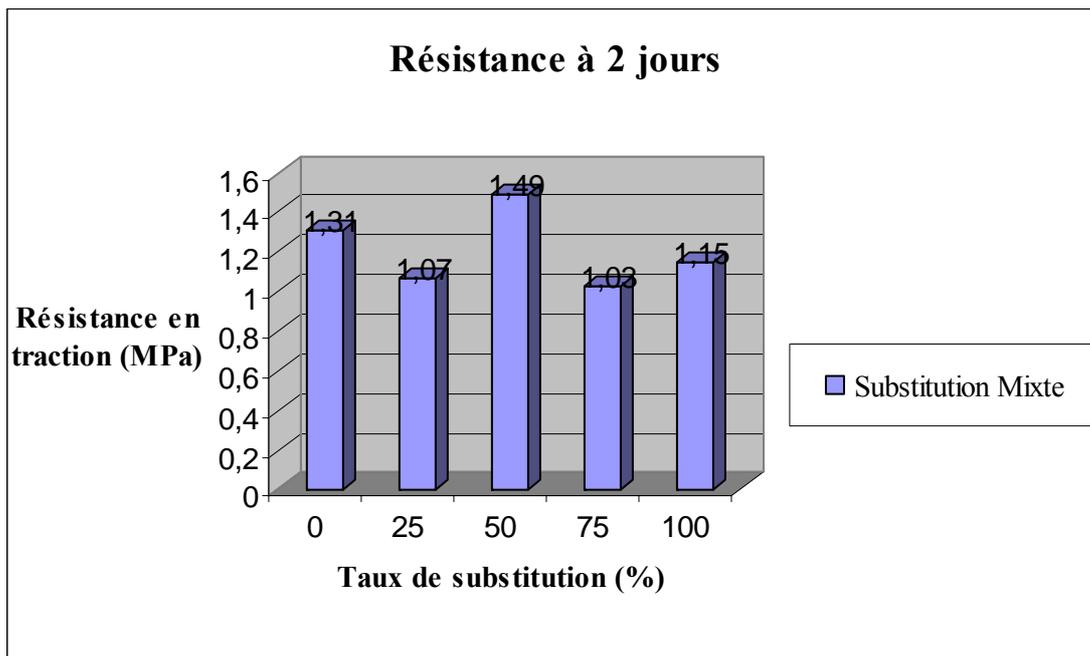


Figure 4.32 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 2 jours)

Le rôle retardeur de durcissement est uniquement constaté pour 25% de substitution, pour les résistances initiales.

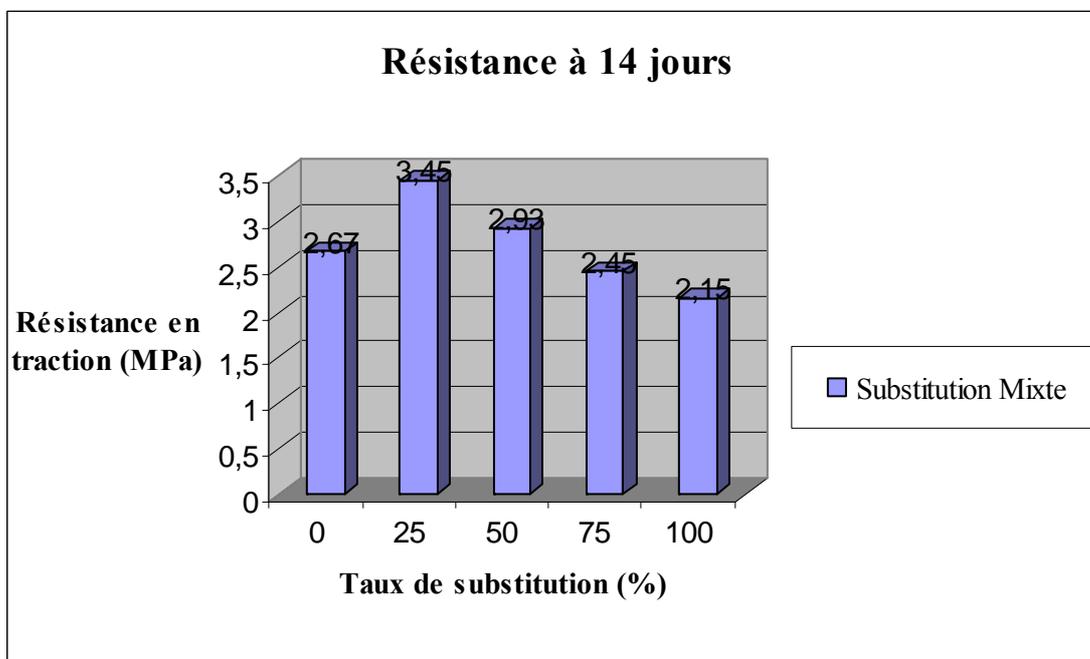


Figure 4.33 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 14 jours)

La résistance à 14 jours du BSM25 se voit augmenter pour atteindre la valeur la plus élevée à moyen terme, l'hydratation s'effectue lentement.

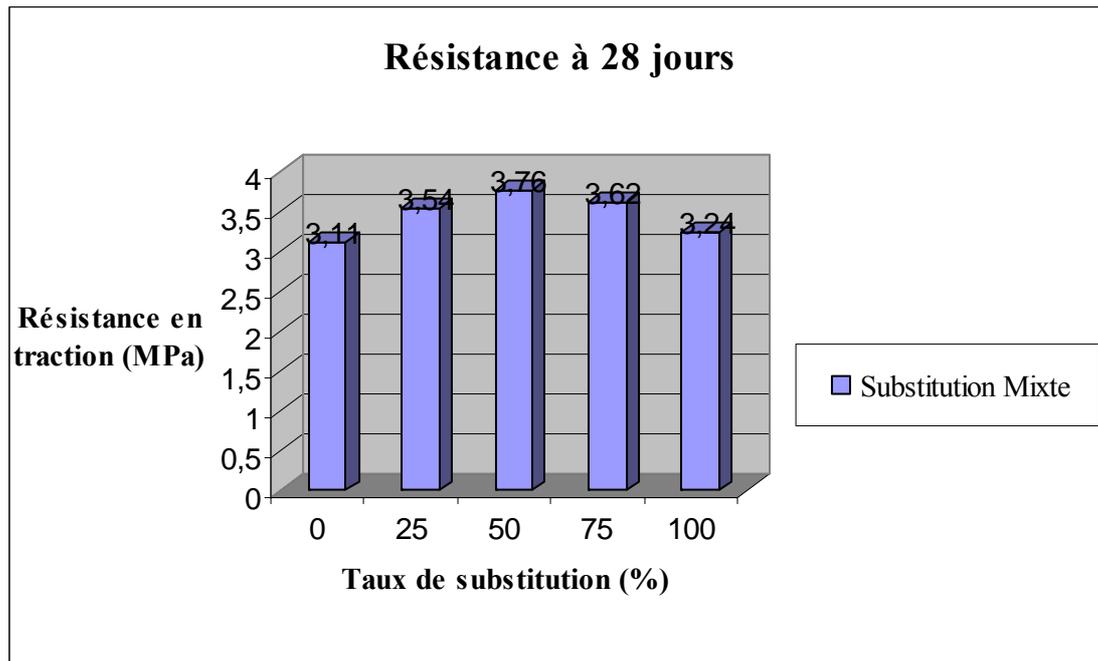


Figure 4.34 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 28jours)

La variation, en fonction du taux de substitution mixte des résistances en traction passe par un optimum à un mélange de béton BSM50.

La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est de 3,76 MPa obtenue dans le béton BSM50.

La valeur minimale de la résistance en traction à 28 jours est de 3,11 MPa obtenue dans le béton sans granulats recyclés BGN.

Cela peut être expliqué que la résistance en traction du béton est influencée par la texture des granulats, donc la force d'adhésion entre les granulats recyclés et la pâte de ciment est plus importante à celles de granulats naturels.

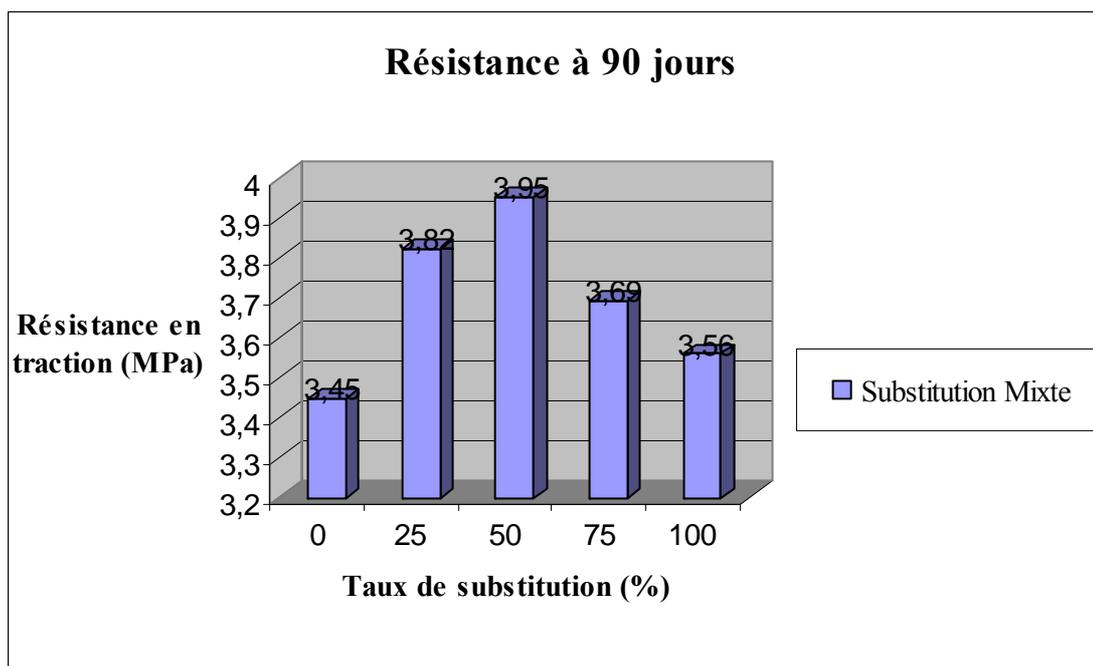


Figure 4.35 : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de substitution mixte (à 90jours)

A long terme, les résistances des mélanges à base de granulats recyclés sont supérieures au mélange à base de granulats naturels, ce qui confirme que la granularité des granulats recyclés offre une meilleure cohésion avec la matrice à base de granulats naturels.

4.5. Conclusion :

L'étude expérimentale de la variété des bétons présentée dans ce chapitre a été faite sur treize compositions différentes de béton, dont on a utilisé les déchets de marbre comme granulats pour béton en substitution d'une fraction volumique du sable, de gravier et les deux ensembles, avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75% et 100%).

On a utilisé la méthode « Dreux-Gorisse » pour la formulation de béton à base de granulats naturels et granulats recyclés.

L'influence du taux de substitution sur le comportement du béton à l'état frais et durci a été étudiée.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- La densité :
- Substitution de sable :

La valeur maximale de la densité est de 2,488 obtenue dans le béton BSS25.

La valeur minimale de la densité est de 2,447 obtenue dans le béton BSS50.

•Substitution de gravier :

La valeur maximale de la densité est de 2,477 obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de la densité est de 2,405 obtenue dans le béton BSG75.

•Substitution mixte :

La valeur maximale de la densité est de 2,477 obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de la densité est de 2,454 obtenue dans le béton BSM25

● L'air occlus :

•Substitution de sable :

La valeur maximale de l'air occlus est de 3,4% obtenue dans le béton BSS100.

La valeur minimale de l'air occlus est de 1,7% obtenue dans le béton BSS50.

•Substitution de gravier :

La valeur maximale de l'air occlus est de 3% obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de l'air occlus est de 1,97% obtenue dans le béton BSG50.

•Substitution mixte :

La valeur maximale de l'air occlus est de 3% obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de l'air occlus est de 1,7% obtenue dans les bétons BSM25 et BSM75

● L'ouvrabilité :

•Substitution de sable :

La valeur maximale de l'ouvrabilité est de 5,7cm obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de l'ouvrabilité est de 0,4cm obtenue dans le béton BSS100.

•Substitution de gravier :

La valeur maximale de l'ouvrabilité est de 5,7cm obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de l'ouvrabilité est de 2,0cm obtenue dans le béton BSG75.

•Substitution mixte :

La valeur maximale de l'ouvrabilité est de 5,7cm obtenue dans le béton BGN.

La valeur minimale de l'ouvrabilité est de 0,6cm obtenue dans les bétons BGR.

● La résistance en compression à 28 jours :

•Substitution de sable :

La valeur maximale de la résistance à 28 jours est de 34,6 MPa obtenue dans le béton BSS50.

La valeur minimale de la résistance à 28 jours est de 21,4 MPa obtenue dans le béton BSS100.

•Substitution de gravier :

La valeur maximale de la résistance en compression à 28 jours est obtenue dans le béton BSG75 et égale à 34,9 MPa.

La valeur minimale de la résistance en compression à 28 jours est obtenue dans le béton BGN et égale à 28,0 MPa.

•Substitution mixte :

La valeur maximale de la résistance en compression à 28 jours est de 35,1 MPa obtenue dans le béton BSM25.

La valeur minimale de la résistance en compression à 28 jours est de 28,0 MPa obtenue dans le béton sans granulats recyclés BGN.

● La résistance en traction à 28 jours :

•Substitution de sable :

La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est de 4,07 MPa obtenue dans le béton BSS50.

La valeur minimale de la résistance en traction à 28 jours est de 2,37 MPa obtenue dans le béton BSS100.

•Substitution de gravier :

La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est obtenue dans le béton BSG25 et égale à 4,25 MPa.

La valeur minimale de la résistance en traction à 28 jours est obtenue dans le béton BGN et égale à 3,11 MPa.

•Substitution mixte :

La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est de 3,76 MPa obtenue dans le béton BSM50.

La valeur minimale de la résistance en traction à 28 jours est de 3,11 MPa obtenue dans le béton sans granulats recyclés BGN.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale :

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

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale du développement durable, de l'amélioration et de maîtrise des propriétés des matériaux cimentaires. Par l'importance économique de ces matériaux à base de granulats recyclés et par l'aspect fondamental qu'implique leur étude, les recherches se situent à la conserve des intérêts industriels et scientifiques.

Ainsi, notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des bétons, on retrouve les caractéristiques des granulats.

Les bétons ont été confectionnés avec un rapport E/C constant et égal à 0,5. La caractérisation des bétons à base de granulats de substitution a porté sur les propriétés à l'état frais telles que la masse volumique (densité), la teneur en air occlus et l'ouvrabilité et à l'état durci.

A l'état durci, la principale a été la résistance mécanique à différentes échéances (entre 2 jours et 3 mois).

Les granulats de substitution ont été caractérisés par leur finesse, leur masse volumique, leur nature minéralogique.

Concernant les résistances, il se dégage de l'étude que le dosage et la classe des granulats recyclés sont, à courts termes, des paramètres de premier ordre.

Les résistances en compression sont nettement favorisées par la classe de granulats recyclés quelque soit le dosage.

Les mélanges à base de granulats substitués partiellement donnent les meilleures performances à l'état frais et durci du béton que ceux substituer totalement ou de référence.

Conclusion générale

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des sous produits et devrait aider, à terme, à la mise en place des règles de formulation de bétons à base de granulats de substitution.

A la fin, cette recherche a ouvert la porte à des recherches nouvelles qui doivent s'intéresser à la valorisation des sous produits dans la confection des bétons hydrauliques.

Ce travail ouvre différentes perspectives :

- Etude de la microstructure.
- Influence d'autres paramètres de composition et d'environnement.
- Etude de quelques aspects de durabilité mécaniques et propriétés de ce type du béton.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **ACKER P** : Techniques de l'ingénieur, traité construction, 1980.
- [2] **ALEXANDER M-G and DAVIES D-E** : The influence of aggregates on the compressive strength and elastic modulus of concrete, The Civil Engineer in South Africa, 1992.
- [3] **BARON J et LESAGE R** : la composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier, rapport de recherche des LPC N° 64 décembre 1976.
- [4] **BARON J et OLIVIER J-P** : la durabilité des bétons, presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1995.
- [5] **BARON J et SAUTEREY R** : le béton hydraulique connaissance et pratique, édition pont et chaussée 1995.
- [6] **BERDOUBI S** : étude et analyse des méthodes d'extraction des blocs de marbre condition carrière de FIL-FILA, mémoire de fin d'études, université de Annaba, 1998.
- [7] **BONNET S, TURATSINZE A et GRANJU J-L** : effets de l'incorporation de granulats en caoutchouc, issus du broyage de pneus usagés sur la résistance à la fissuration d'un mortier de ciment, Annales du bâtiment et des travaux publics, décembre 2004-N° 6.
- [8] **BOUNY V-B** : caractérisation des pâtes de ciment et des bétons : méthodes, analyses interprétations, édition pont et chaussée, juin 1994.
- [9] **BOURMATTE N** : granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, université de Constantine, 2004.
- [10] **DEBIEB F et KENAI S** : les performances du béton recyclés à base de gros et fins granulats de brique concassée, PROCEEDING du 1^{er} colloque national de génie civil, matériaux de construction, université de Mostaganem, novembre 2000.
- [11] **DREUX G** : nouveau guide du béton, paris éditions Eyrolles, 1979.
- [12] **DREUX G et GORISSE F** : composition des bétons, méthode Dreux-Gorisse, bilan des cinq années d'application en cotes d'ivoire, annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics, N° 441, paris, mai 1983.
- [13] **DUPAING R, LANCHON R et SAINT ARROMAN J-C** : granulats, sols, ciments et bétons, éditions Casteilla, 1995.
- [14] **GORISSE F** : essais et contrôle des bétons, paris mai 1983.
- [15] **KOMAR A** : matériaux et éléments de construction, Moscou, éditions 1978

Conclusion générale

- [16] **LACHON R** : granulats, bétons, sols, cour de laboratoire 2 édition DEFORGES, paris 1977.
- [17] **LESAGE R** : étude expérimentale de la mise en place du béton frais, rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées N° 37, paris, juin 1974.
- [18] **LIMBACHIYA M and ROBERTS J**: sustainable waste management and recycling: used / post-consumer tyres, Proceeding of the International Conference organised by the Concrete and Masonry Research Group and held at Kingston University - London on 14-15, September 2004.
- [19] **LIMBACHIYA M and ROBERTS J**: sustainable waste management and recycling: construction demolition waste, Proceeding of the International Conference organised by the Concrete and Masonry Research Group and held at Kingston University - London on 14-15, September 2004.
- [20] **LIMBACHIYA M and ROBERTS J**: sustainable waste management and recycling: glass waste, Proceeding of the International Conference organised by the Concrete and Masonry Research Group and held at Kingston University - London on 14-15, September 2004.
- [21] **MAILLOT R** : mémento technique des granulats, les presses de l'école des mines, Paris, 2001.
- [22] **Ministère des Travaux Publics** : valorisation des pneus usagés et les déchets plastiques dans le domaine des travaux publics, journée scientifique, novembre 2005.
- [23] **NEVILLE A. M** : propriétés des bétons, éditions Eyrolles, paris 1983.
- [24] **PIMIANTA P et DELMOTTE P** : blocs de construction en granulats recyclés, CSTB MAGASINE N° 109 novembre 1997.
- [25] **PIMENTA P et REMOND** : béton de déchets, prévenir les risques, CSTB magazine N° 109 novembre 1997.
- [26] **RAMACHANDRAN V-S** : utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.
- [27] **RAY M** : la composition des bétons, bulletin LCPC N° 84 annales TTBTB N° 58 octobre 1952.
- [28] **SALMIA A** : contribution à l'étude du comportement de la grave laitier dans les routes, mémoire de magister, université de Annaba, 2002.

Conclusion générale

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

[30] **VENUAT M** : la pratique des ciments et des bétons éditions du Moniteur des travaux publics et du bâtiment, 1976.