



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme du **Master** en Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème

**Contribution à l'évaluation des caractéristiques
mécaniques et microstructurales du béton à
base de granulats naturels et démolis**

Dirigé par :
Dr DJEDID TAREK

Présenté par :
KHELEF NABIL
GHARBI DJAAFAR
ROUIHA FARES

Année universitaire : 2020 /2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions d'abord nos bon DIEU le tout puissant de nos avoir donné la volonté, le courage et la patience pour réaliser ce travail

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Notre remerciements vont à :

Mon Directeur de thèse, Docteur Tarek DJEDID ,pour avoir accepté ce travail et nos avoir dirigé, guidé, conseillé et encouragé, ainsi que sa bonne volonté, sa patience et ses précieux conseils, qu'il nos a prodigués tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier vivement, M. Guettaï Meriem, pour ses encouragements.

Nous voudrions également adresser nos plus sincères remerciements à Messieurs, Mani Mohamed, Farik Ali, Kaab Med Zouhir, Ilyes Soulimane, d'avoirs sacrifiés de leur temps, pour nous donner tous les renseignements nécessaires en cours d' années universitaire 2020 /2021 nous avons beaucoup appris de votre part, Merci beaucoup.

Nous remerciements s'adressent aussi le professeur khechana salim et Membres de Laboratoires pour leur aide que ce soit à l'université Echahid Hamma Lakhdar aux Laboratoires privées: Nizolab

Résumé

Les matériaux de constructions, et en particulier les granulats recyclés sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement. , notre recherche a pour objet l'évaluation des bétons ordinaires à base de granulats 100% recyclé en substitution volumique de sable, avec des taux de substitution de **(0%, 25%, 50% et 75%, 100%)** pour confectionner les bétons **BR0%, BR 25%, BR 50%, BR 75%, BR100%** .

La formulation du béton basée sur l'analyse de propriétés mécaniques en fonction des paramètres du mélange permet d'optimiser les bétons aux propriétés désirées. ce travail consiste à réaliser une évaluation de différents pourcentages de remplacement de sable recyclés sur les propriétés du béton en comparaison avec celles du béton formulé avec des granulats naturels (béton témoin) .

Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer des bétons à base des granulats de démolition malgré la défaillance mécanique de ces granulats. La résistance à la compression de ces bétons est acceptable et comparable à celle du béton témoin.

Abstract

Construction materials, and in particular recycled aggregates, are now considered a solution of the future in order to meet the deficit between production and consumption and to protect the environment. , our research aims to evaluate ordinary concretes based on 100% recycled aggregates by volume substitution of sand, with substitution rates of (0%, 25%, 50% and 75%, 100%) to make the concrete BR0%, BR 25%, BR 50%, BR 75%, BR100%.

The formulation of the concrete based on the analysis of mechanical properties according to the parameters of the mixture makes it possible to optimize the concretes with the desired properties. this work consists in carrying out an evaluation of different percentages of replacement of recycled sand on the properties of concrete in comparison with those of concrete formulated with natural aggregates (control concrete).

The results of this study showed that it is possible to manufacture concrete from demolition aggregates despite the mechanical failure of these aggregates. The compressive strength of these concretes is acceptable and comparable to that of control concrete.

تعتبر مواد البناء ولا سيما الركام المعاد تدويره لأن حلاً للمستقبل من أجل سد العجز بين الإنتاج والاستهلاك وحماية البيئة. ، يهدف بحثنا إلى تقييم الخرسانة العادية بناءً على الركام المعاد تدويره بنسبة 100٪ عن طريق الاستبدال الحجمي بالرمل ، بمعدلات إحلال (0 25 50 75 100)

إن صياغة الخرسانة بناءً على تحليل الخواص الميكانيكية وفقاً لمعايير الخليط تجعل من الممكن تحسين الخرسانة بالخصائص المرغوبة. يتمثل هذا العمل في إجراء تقييم للنسب المختلفة لاستبدال الرمل المعاد تدويره على خصائص الخرسانة مقارنة بتلك الخاصة بالخرسانة المصنعة من الطبيعي (المرجعية)

أظهرت نتائج هذه الدراسة إمكانية تصنيع الخرسانة من الركام بالرغم من العطل الميكانيكي لهذه . لهذه

Table des matières

Table des matières

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
Abstract.....	II
.....	III
Table des matières	IV
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des abréviations	X
Introduction générale	XI

Chapitre 1 : Revue de littérature

I.1. Introduction	4
I.2. Conditions économiques de rentabilité.....	4
I.3. Etudes antérieures sur les granulats recyclés de béton de démolition.....	5
I.3.1. Historique et expérience étrangères.....	6
I.3.2. travaux des recherches étrangères sur agrégats recyclés et béton.....	9
I.3.3. Quelques travaux des recherches en l'Algérie sur agrégats recyclés et béton	11
I.4. Impact des matériaux de construction et démolition sur l'environnement naturel humain	12
I.4.1. Notion de cycle de vie et d'énergie grise.....	13
I.4.2. Matériaux et constructions « respectueuses » de l'environnement.....	14
I.4.3. Impact sur la santé et l'environnement	14
I.4.4. Impacts du recyclage sur l'environnement et l'industrie.....	14
I.5. Les avantages du recyclage.....	15
I.6. Caractérisation des granulats recyclés et béton	16
I.6.1. Le recyclage	16
I.6.2. Classification des granulats	17
I.6.2.1. Classification des matériaux recyclés selon le MTQ	18
I.6.2.2. Classification de granulats recyclés selon RILEM.....	19
I.6.3. Intérêt du recyclage dans le génie civil.....	20
I.6.4. Elaboration des granulats recyclés.....	20
I.6.5. la méthode de raffinage des granulats	21
I.7. Caractéristiques morphologiques et physiques.....	22
I.7.1. La Granulométrie et le module de finesse	22
I.7.2. Forme et état de surface	23
I.7.3. Masses volumiques et porosité	23
I.7.4. Densités des granulats	24
I.7.5. L'absorption d'eau par les granulats recyclés	24
I.8. Perte de masse.....	25
I.9. Granulat recyclé fin	25
I.10. Propriétés des granulats recyclés en relation avec le béton Zone de transition.....	26
I.11. Pourcentage optimal du granulat recyclé.....	28
I.12. Incorporation de granulats de béton de démolition dans les bétons.....	28
I.12.1. Influence de la granulométrie et forme de gravillons.....	29
I.12.2. Influence du mortier attaché	30
I.12.3. Influence de la masse volumique des granulats.....	32
I.12.4. Influence du rapport E/C et le taux de substitution.....	33

Table des matières

Chapitre 2 : Matériaux et procédures expérimentales

II.1. Introduction	34
II.2. Matériaux utilisés.....	34
II.2.1 Ciment	35
II.2.2. Granulats	35
II.2.3. Eau de gâchage	36
II.2.4. Adjuvant	36
II.3. Essais effectués sur les granulats	37
II.3.1. Analyse granulométrique par tamisage	37
II.3.2. Propriété superficielle des granulats.....	40
II.3.4. Essai Los Angeles.....	41
II.3.5. Masses volumiques des granulats.....	41
II.3.6. Absorption d'eau.....	42
II.3.7. Analyse chimique.....	42
II.3.8. Equivalent de sable.....	43
II.3.9. Essais au bleu de méthylène.....	43
II.3.10. Compacité et porosité des granulats.....	43
II.3.11. Essai Proctor.....	44
II.4. Composition des bétons et mélanges retenus.....	44
II.4.1. Composition des bétons à base des granulats recyclés (méthode Dreux-Gorisse).....	44
II.5. Confection et cure des éprouvettes	51
II.6. Conservation des éprouvettes	52
II.7. Essai de caractérisation du béton à l'état frais et durci	52
II.7.1. Essai effectué sur les bétons frais	52
II.7.1.1. Affaissement au cône d'Abrams	52
II.7.1.2. Mesure de la densité réelle du béton frais.....	52
II.7.2. Essai effectué sur les bétons durcis	53
II.7.2.1. Essai de compression.....	53
II.7.2.2. Essai de flexion.....	54
II.7.2.3. Essai ultrasonique.....	55
II.7.2.4. Module d'élasticité dynamique.....	55
II.7.2.5. Essai d'absorption par capillarité.....	56
II.7.2.6. Essai de mesure de la Porosité et Absorption d'eau.....	57
II.7.2.7. Coefficient de ramollissement.....	58
II.7.3. Investigation microstructurale	58
II.7.3.1. Analyses par spectroscopie infrarouge.....	58
II.8. Conclusion.....	59

Table des matières

Chapitre 3 : Analyse et discussions des résultats

III.1. Introduction.....	60
III.2. Béton à base de granulats recyclés de béton démolie avec la substitution de sable recyclé par le sable naturel.....	60
III.2.1. Ouvrabilité.....	60
III.2.2. Densité.....	61
III.2.3. Résistance à la compression.....	62
III.2.4. Résistance à la flexion.....	63
III.2.5. Essai d'auscultation ultrasonique.....	64
III.2.6. Module d'élasticité dynamique.....	65
III.2.7. Coefficient de ramollissement.....	66
III.2.8. Cinétique d'absorption capillaire des bétons recyclent.....	66
III.2.8.1. Absorption capillaire à 28 jours d'âge.....	66
III.2.8.2. Porosité et l'absorption.....	67
III.3. Relation entre module de finesse, densité sèche OPN et affaissement	68
III.4. Corrélation entre résistance à la compression et vitesse du son.....	69
III.5. Corrélation entre les résistances mécaniques R_c , R_f	70
III.6. Corrélation R_f en fonction de (ρ)	70
III.7. la corrélation entre l'affaissement (A) et la densité à l'état frais (ρ).....	71
III.8. la corrélation entre (E_d) en fonction de (V).....	71
III.9. Analyses par spectroscopie infrarouge	72
III.10. Conclusion.....	76
Conclusion générale	78
Référence bibliographie.....	81
Annexes	85

Liste des tableaux

Tableau I.1 :Taux de recyclage en Europe	5
Tableau I.2 :Répartition de la production des déchets de chantier selon l'origine en 1993	7
Tableau I.3 :Différentes sources de granulats et leur utilisation	17
Tableau I.4 :Classification des matériaux recyclés selon le MTQ (Norme liée: NQ2560600)	18
Tableau I.5 :Composition des différents types d'agréats recyclés	19
Tableau II.1 :Essais Effectués et leurs références	34
Tableau II.2 :Caractéristiques techniques du ciment	35
Tableau II.3 :Analyses granulométriques des Granulats Utilisés	38
Tableau II.4 : Propreté Superficielle du gravier (P)	40
Tableau II.5 : Coefficient d'Aplatissement	40
Tableau II.6 : Coefficient Los Angeles (LA)	41
Tableau II.7 :Masses Volumiques des Granulats	42
Tableau II.8 :Coefficient d'Absorption d'Eau des Granulats (A_b)	42
Tableau II.9 :Résultats des essais chimique	42
Tableau II.10 :Equivalents de Sable	43
Tableau II.11 :Compacité et porosité de différents sables recyclés utilisés	44
Tableau II.12 :Résultats des essais Proctor sur le sable utilisés	44
Tableau II.13 :Valeurs du coefficient granulaire G	45
Tableau II.14 :Abaque de correction le dosage en eau	46
Tableau II.15 :Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats	47
Tableau II.16 :Coordonnées des points de la courbe de référence OAB	47
Tableau II.17 :Valeurs du coefficient de compacité 	48
Tableau II.18 :composition de béton BR	49
Tableau II.19 :composition de béton BR SN	50
Tableau II.20 :composition de béton BR 75/25	50
Tableau II.21 :composition de béton BR 50/50	50
Tableau II.22 :composition de béton BR 25/75	51
Tableau II.23 :composition de béton témoin	51
Tableau II.24 :Résistances en compression (en MPa)	53
Tableau II.25 :Résistances en flexion (en MPa)	54
Tableau III.1 :Classification de béton selon la vitesse du son (RILEM)	64
Tableau III.2 :La porosité et à l'absorption des différents bétons étudiée	67

Liste des figures

Figure I.1 : Répartition des quantités de déchets par types en 1991 au Royaume-Uni	8
Figure I.2 : Les principes de l'analyse du cycle de vie	13
Figure I.3 : Bilan environnement d'un hall industriel	15
Figure I.4 : Cycle de vie du béton	16
Figure I.5 : Formes des granulats recyclés	18
Figure I.6 : Répartition de la production en granulats recyclés au Pays-Bas en 1992	19
Figure I.7 : Les granulats naturels	20
Figure I.8 : les granulats recyclés	20
Figure I.9 : Système de recyclage du béton en boucle fermée	21
Figure I.10: Schématisation d'un granulats recyclé	22
Figure I.11: Analyse granulométrique des matériaux recyclés	23
Figure I.12: Interface granulats naturel / pâte de ciment d'un granulats recyclé de béton	25
Figure I.13: Vue en coupe du granulats recyclé (gauche) et du granulats naturel (droite)	26
Figure I.14: Relation entre la micro-dureté Vickers de la vieille zone de transition et la résistance à la compression du béton ($E/L = 0,25$)	27
Figure I.15: Micro-dureté Vickers de la nouvelle et vieille zone de transition pour un béton	28
Figure I.16: Corrélation entre la teneur en mortier et le Los Angeles	31
Figure I.17: Corrélation entre l'absorption d'eau et la densité des granulats recyclés	32
Figure II.1 : Granulats recyclés 0/5 , 5 /10 , 10 /16	36
Figure II.2 : Courbes Granulométriques des Granulats	39
Figure II.3 : fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton	39
Figure II.4 : Abaque permettant d'évaluer Approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée	45
Figure II.5 : courbes granulométriques des granulats recyclés	46
Figure II.6 : principe de l'essai d'absorption par capillaire	56
Figure II.7: Spectrophotomètre	59
Figure II.7: Echantillons pour essai IR	59
Figure III.1 : Influence du taux de substitution de sable sur l'ouvrabilité	60
Figure III.2 : Variation de la densité selon le taux de substitution	62

Figure III.3 : Variation de la densité selon le taux de substitution	63
Figure III.4 : Variation de la de la résistance à la flexion selon le taux de substitution	64
Figure III.5 : Variation de la vitesse du son selon le taux de substitution	65
Figure III.6 : Variation du module d'élasticité selon le taux de substitution	65
Figure III.7 : Variation du coefficient de ramollissement selon le taux de substitution	66
Figure III.8 : Influence du taux de substitution sur l'absorption d'eau par capillarité	67
Figure III.9 : Influence du taux de substitution sur la porosité et l'absorption d'eau	68
Figure III.10: Relation entre module de finesse, densité sèche OPN et Affaissement	69
Figure III.11: Corrélation entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique à 28 jours d'âge	69
Figure III.12 : Corrélation entre la résistance à la compression et l la résistance à la flexion à 28 jours d'âge	70
Figure III.13 : corrélation entre résistance à la flexion et densité à l'état frais	70
Figure III.14 : corrélation entre l'affaissement et la densité à l'état frais	71
Figure III.15 : Corrélation entre (Ed) en fonction de (V)	71
Figure III.16 : spectroscopies infrarouge du béton témoin BT à l'âge de 28 jours	73
Figure III.17 : spectroscopies infrarouge du béton BR0 à l'âge de 28 jours	74
Figure III.18 : spectroscopies infrarouge du béton BR25 à l'âge de 28 jours	74
Figure III.19 : spectroscopies infrarouge du béton BR50 à l'âge de 28 jours	75
Figure III.20 : spectroscopies infrarouge du béton BR75 à l'âge de 28 jours	75
Figure III.21 : spectroscopies infrarouge du béton BR100 à l'âge de 28 jours	76

Liste des abréviations

RILEM :	R éunion I nternationale des L aboratoires et E xperts des M atériaux.
EN :	N orme E uropéenne définitive.
NF P :	N orme F rançaises applicable au bâtiment et génie civil
BTP :	B âtiment et T ravaux P ublics.
CEM II/B-L :	Ciment portland au calcaire
FT-IR:	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
DRX:	Diffraction par rayon X
BT :	Béton Témoin
SN :	Sable Naturel de Classe (0/5).
SR :	Sable Recyclé de Classe (0/5).
GN :	Gravier naturel de classes (3/8) et (8/15).
GR :	Gravier recyclé de Classes (5/10) et (10/16).
S 75/25:	(75% Sable recyclé, 25% Sable naturel).
S 50/50:	(50% Sable recyclé, 50% Sable naturel).
S 25/75:	(25% Sable recyclé, 75% Sable naturel).

INTRODUCTION GENERALE

Thème de mémoire

Contribution à l'évaluation des caractéristiques mécaniques et microstructurales du béton à base de granulats naturels et démolis

Problématique :

La construction à base de granulats recyclés est aujourd'hui l'une des priorités de la politique d'ajustement environnementale dans le monde de matériaux de construction, il devient de plus en plus nécessaire de rechercher des nouvelles techniques permettant l'inclusion de béton démoulé dans la fabrication de nouveaux éléments, en cherchant à avoir une performance similaire à celle obtenue par le matériau original .

Le recyclage du béton brisé pour concevoir des formulations du béton joue un rôle essentiel en tant qu'alternative pour atténuer les problèmes associés aux facteurs suivants : 1) le recyclage du béton de démolition d'anciennes structures ;2) l'empreinte écologique associée aux travaux de construction et la production de granulats naturels dans les carrières, 3) la manque des granulats naturels pour béton dans les grands centres urbains, 4) la possible réduction de coûts de construction liés à la production des bétons avec de nouvelles matières premières, et 5) la disposition de résidus et débris provenant de l'industrie de la construction dans sites d'enfouissement.

Bien que l'utilisation de granulats recyclés dans le béton présente plusieurs avantages, il existe actuellement des facteurs techniques qui limitent l'utilisation massive de ce matériau pour l'élaboration de nouveaux bétons. Des études montrent que la forte porosité et l'absorption du granulat recyclé modifient de manière significative les propriétés du béton. De même, la zone située entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment qui entoure les granulats présente deux zones de transition, ce qui peut modifier de manière significative les propriétés mécaniques et de durabilité du béton obtenu. L'un de ces endroits est la zone de transition entre l'agrégat naturel d'origine et le mortier résiduel attaché au granulat, qui provient de la structure initiale. Le deuxième endroit est la zone de transition entre le mortier résiduel qui recouvre le granulat naturel et le nouveau mortier qui entoure le granulat recyclé. Ces facteurs signifient que certaines modifications doivent être apportées à la formulation et à l'obtention de nouveaux.

Dans ce contexte, notre travail s'inscrit, il a pour objectif principal de contribuer à la valorisation les bétons de démolition, avec des proportions défini, dans la production de nouveaux bétons structurels,

dans le but de Contribuer aux études menées sur l'emploi des granulats recyclés dans les bétons et substitution des granulats naturels.

Introduction :

L'utilisation de granulats recyclés, bien qu'ils ne représentent qu'une faible part de la production, ne cesse de progresser. Leur réemploi dans le mortier et le béton conduit à une économie de granulats de démolition . Le recyclage paraît d'autant plus intéressant qu'il génère un secteur d'activité nouveau pris en charge par l'ensemble « activités locales et industriels »

La présente étude porte sur l'analyse des caractéristiques et le réemploi des granulats recyclés de béton et de contribuer à la réutilisation des déchets et sous-produits dans la fabrication des bétons et mortiers, Le programme de cette recherche comprend donc des travaux portant sur la valorisation de ces matériaux avec intégration de matières premières algériennes, Valoriser ces granulats issus des bétons de démolition pour la fabrication d'un béton hydraulique peut étendre leur domaine d'utilisation actuel. Malgré plusieurs études de recherche pour une éventuelle utilisation avec des liants hydrauliques pour la construction d'ouvrages ou de bâtiments, les granulats recyclés trouvent peu d'application en tant que granulats de béton. Néanmoins des Pays comme la Suisse ou encore le Danemark ont adopté des normes pour la fabrication de béton de granulats recyclés.

Cette valorisation présente un intérêt d'ordre économique. En effet, le réemploi des matériaux de démolition pourrait être envisagé directement sur site ou sur les plateformes de recyclage chargées du traitement. Ces plateformes pourraient alors s'occuper de la fabrication de béton à base de ces granulats recyclés. La diminution des coûts de transports des granulats et des déchets de démolition constitue l'enjeu économique principal de ce projet, les granulats n'étant pas toujours disponibles à proximité des chantiers de construction.

Par ailleurs, ces granulats recyclés pouvant se substituer aux granulats naturels, ceci diminuerait l'épuisement des ressources naturelles.

Les voix actuelles de valorisation des granulats recyclés sont des applications qui n'exigent pas de performances très élevées, telles que les blocs préfabriqués de construction, le béton de fondation, le béton de propreté. Ces granulats sont également réutilisés comme fond de forme dans les constructions routières, comme remblai et comme fond de tranchée ou drainage de plate-forme.

Plusieurs recherches à travers le monde ont permis de poser le problème de la faisabilité des bétons à base de granulats recyclés, les résultats obtenus à cet effet sont encourageants, cependant la substitution partielle ou totale des granulats naturels par des granulats recyclés conduit à des bétons présentant des performances inférieures à celles des bétons classiques.

Structure de mémoire :

Le premier chapitre en premier lieu exposé une revue de documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les agrégats recyclés et leur utilisation puis la caractérisation des granulats recyclés et béton.

Dans le deuxième chapitre, il était nécessaire de faire une caractérisation complète de tous les matériaux utilisés pour la préparation des mélanges au laboratoire. Plusieurs essais de caractérisation des granulats et béton du granulat recyclé sont réalisés pour évaluer les caractéristiques mécaniques et microstructurales des granulats naturels, des granulats recyclés, et béton

Le troisième chapitre, Après l'étape de caractérisation de matériaux utilisés et en tenant compte de toute l'information recueillie suite aux essais sur les granulats, une évaluation des propriétés à l'état frais et durci du béton est réalisée. Les paramètres établis pour l'étude sont: provenance du granulat recyclé (0/5, 5/10, 10/16), le pourcentage la substitutions de sable recyclé (25% , 50%, 75%, 100%) et la séquence de malaxage utilisée (malaxage avec granulats recyclés saturés). en dernier partie de ce chapitre, on faisant interprétations et l'analyses des résultats obtenue .

Enfin, la conclusion générales ainsi que les recommandations pour de futurs travaux sont présentées.

CHAPITRE I

Revue de littérature

I.1. Introduction

Actuellement, l'industrie de construction dispose de plusieurs procédés permettant de recycler jusqu'à 100% des bétons démolis. Une fois démantelés, ces derniers sont envoyés vers des centres de concassage. Les granulats résultants de ces opérations sont, par la suite, réutilisés dans diverses applications (remblais, bétons structuraux et non structuraux, aménagement extérieur, matériaux de remplissage, etc.) [4].

Dans le cadre de la présente étude, on vise l'évaluation de comportement du béton à base des granulats recyclés avec substitution du sable recyclé dans les formulations du béton, ce qui permettra de leur donner une seconde vie pour développer des éco-granulats. Ainsi, jusqu'à la totalité des granulats recyclés (sable) seront remplacés par du sable naturel. L'utilisation des granulats recyclés dans le béton a été adoptée par plusieurs pays à travers le monde, notamment en Europe et en Etats-Unis. Cette analyse de la situation permet de faire ressortir les éléments pertinents quant à l'utilisation des granulats recyclés dans les bétons ordinaires.

I.2. Conditions économiques de rentabilité

Le coût d'élaboration des granulats recyclés est supérieur à celui des granulats naturels en moyenne, à qualité égale, et résulte de deux principaux facteurs :

La nécessité d'adjoindre aux fonctions traditionnelles de concassage criblage, un certain nombre d'opérations, destinées à faciliter le traitement des matériaux et à améliorer la qualité des produits finis, notamment :

- le stockage sélectif des matériaux réceptionnés,
 - la préparation avant concassage (réduction du volume de gros éléments, cisailage des ferrailles...).
 - En cours d'élaboration, le défeuillage (magnétique) ainsi que le tri manuels et mécaniques (épurateur, table densimétriques) des papiers, des bois et des plastiques,
- D'autre part, l'efficacité moindre des matériels d'une installation de recyclage par rapport à celle d'une installation de granulats naturels.
- Le recyclage des matériaux de démolition s'effectue en zone urbaine ou péri-urbaine, c'est à dire à la proximité immédiate, des grands centres de consommation de granulats.

En conséquence, le prix rendu sur les lieux d'utilisation des matériaux recyclés est très voisin du prix du départ de l'installation, ce qui n'est pas le cas, généralement, des granulats naturels qui doivent supporter un transport plus ou moins long

L'égalité des prix est satisfaite sur pour un transport de granulats naturels sur une distance de l'ordre de 20 kilomètres. La règle de compétitivité peut se traduire de la façon suivante, à prix égal rendu sur le chantier de mise en œuvre :

Les granulats recyclés supportent un surcoût, au départ de l'installation, qui correspond à une distance de transport de 20km, environ, Ce qui revient à dire que les granulats naturels bénéficient d'une possibilité de transport supplémentaire de 20km, environ.

Cependant il s'agit d'un ordre de grandeur car les prix de départ des granulats varient d'une région à une autre. D'autre part, les conditions de circulation dans certaines agglomérations peuvent conduire à calculer les coûts de transport non seulement en fonction de la distance parcourue, mais aussi en fonction du temps écoulé.

Ainsi, la différence de coût constatée au niveau de l'élaboration peut être plus ou moins compensée par l'économie faite au niveau du transport, de telle sorte que, sous certaines conditions, les granulats de recyclage sont économiquement compétitifs.

I.3. Etudes antérieures sur les granulats recyclés de béton de démolition

L'idée de recycler des matériaux de démolition n'est pas nouvelle. Pendant la seconde guerre mondiale, les gravats provenant du bâtiment détruit par les bombardements étaient employés en grande Bretagne et en Allemagne pour la restructuration. Les granulats obtenus par ce recyclage comportaient un forte de brique compte tenu de la nature des constructions de l'époque [1, 3] .

Un travail de recherche a lieu mondialement et a fait l'objet de plusieurs conférences internationales dans l'utilisation de béton démolis et déchets de maçonnerie comme agrégats dans le béton.

Actuellement, la valorisation des déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation et connaît un développement assez important. Le taux de recyclage dans différents pays Européens en 1992 est résumé dans le tableau I.1

Pays	Déchets de démolition en million de tonne par an	Matériaux recyclés en millions de tonne par an	Pourcentage de recyclage par rapport à la production de déchets	Pourcentage de recyclage par rapport à la production des granulats naturels
Pays-Bas	12.2	8.5	73	2.6
Royaume-Uni	24	11	45.8	3.8
Allemagne	58	14.9	34.6	3.6
Belgique	7.5	2.2	29	5.8
Danemark	05	1.25	25	4.25
France	25	03	13	0.75
Espagne	13.5	0.5	3.7	0.2
Total	145	42	Moyenne = 31	21.0

Tableau I.1: Taux de recyclage en Europe [8]

I.3.1. Historique et expérience étrangères

Il est connu que le principe de recyclage des matériaux n'est pas nouveau car il est déjà utilisé par les romains. Le principe consistait en général en la destruction des statuts des dieux qui n'étaient pas vénérés et les matériaux récupérés servaient à en faire nouvelles.

Devant le fait des villes sinistres pendant et après la seconde guerre mondiale, le recyclage des matériaux s'est présenté comme une solution envisageable et connu son début en Europe et plus précisément en Allemagne et en Grande-Bretagne.

Cette période d'après guerre est suivi d'une période assez longue passée dans les études, jusqu'à la publication par "BUCK" d'un rapport de recherche 1973 [1], puis la présentation par le même auteur d'une communication en 1976, [1, 3,5]. Sur l'étude des granulats de béton recyclé.

A partir de 1975, les premiers tentatives de recyclage ont débuté aux Etats-Unis et plus précisément dans le domaine routier, où ils utilisaient les granulats recyclés provenant du concassage de béton armé et non armé dans les couches de fondation de chaussées.

La première utilisation de béton recyclé était pour les sous couches des voies de circulation en Californie et la composition comportait du béton recyclé, d'asphalte et de 8% de ciment. En 1976, la première réussite de l'utilisation d'agregats recyclés et celle d'un ancien béton de 41ans.

❖ **En Allemagne**, Sshutz [1], reportait qu'en ex -RFA, il n'était pas autorisé d'utiliser les agregats de béton recyclé à cause de la légèreté de ces derniers mais en 1985, il y avait 60 stations de recyclage avec une capacité de 10 millions de tonnes par an. En 2015, 124 millions de tonnes de matériaux de démolition ont été obtenus en ex-RFA, 35% de ces matériaux de démolition sont recyclés.

Actuellement en Allemagne, les granulats recyclés sont très utilisés et bien adaptés au domaine routier, mais non pas pour le béton hydraulique, car celui -ci demande des granulats de bonne qualité et par conséquent un prix de revient élevé. Cependant l'Allemagne encourage les expériences de démolition sélective, visant ainsi une meilleure récupération des matériaux pour le recyclage.

❖ Pays-Bas

Une des actions récentes de la politique environnementale néerlandaise a été de mettre en place un plan national de mise en œuvre « déchet de chantier » basé sur la participation de l'ensemble des intéressants dans le domaine de la construction. Le recyclage des déchets de chantier, et plus particulièrement des matériaux minéraux, est l'un des objectifs principaux de ce plan, 90% des déchets

de chantiers devant être recyclés en 2000. Les premières installations fixes de recyclage concassage datent du début des années 60 [5].

Dès 1986, des recommandations pour les granulats recyclés dans le béton ont été élaborées, et sont exigées si on dépasse les 20% des granulats recyclés et substitués.

En 1993, on comptait 72 installations de recyclage concassage au Pays-Bas [5, 6]. L'origine des matériaux de démolition provient dans 38% des déchets de chantier (dont 88% pour la démolition des bâtiments non résidentiels), et dans 33.5% des travaux routiers et hydrauliques (construction, rénovation et démolition). (Tableau I.2)

Origine	Bâtiments		Travaux routiers et hydrauliques	Total déchets de chantier	Sol
	Résidentiel	Non résidentiel			
Construction	848	766	NC	-	-
Rénovation	1354	524	NC	-	-
Démolition	552	4163	NC	-	-
Total	2754	5453	4170	12377	3100

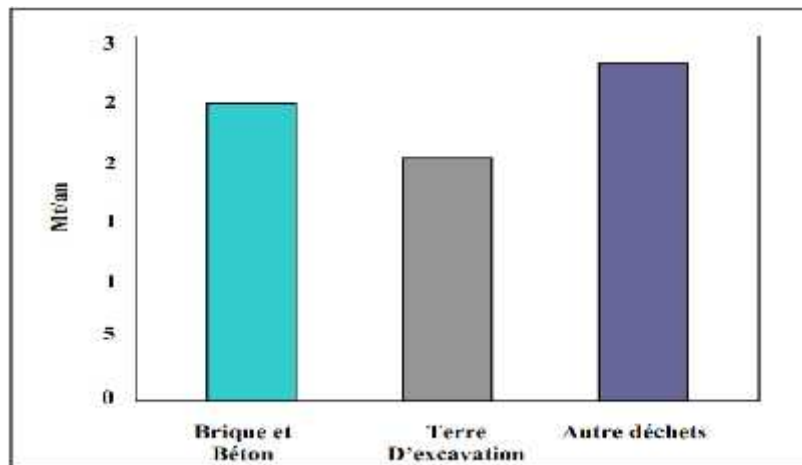
Tableau I.2 : Répartition de la production des déchets de chantiers selon l'origine en 1993

❖ Le Royaume-Uni (Grande Bretagne)

Dans le secteur de la construction, le gouvernement encourage la réutilisation et le recyclage des matériaux considérés comme déchets là où ils peuvent se substituer à l'emploi de minéraux naturels neufs.

En 1991 [6], les estimations des quantités des déchets dues aux activités de construction et de démolition étaient de 24 millions de tonnes par an. La figure 2.1 résume la Répartition des quantités de déchet au Royaume-Uni.

- ❖ **Royaume-Uni [6]**, en 1995 il y avait 36 centres fixes [7]. Ils produisent 368 tonnes par jour de produits utilisables soit, pour 216 journées de travail, une production annuelle de 2.8 millions de tonnes. Selon les estimations d'Humphrys, les 63% de déchet de construction /démolition recyclées de 1995 pourraient atteindre 75% l'an 2000, et les granulats recyclés passeront à 5 millions de tonnes.



**Figure I.1: Répartition des quantités de déchets par types
en 1991 au Royaume-Uni [6]**

❖ La Belgique

La recherche en matière de recyclage des déchets de construction et de démolition a débuté en Belgique il y a plus d'une vingtaine d'années [6]. Aux années 80, un mur de soutènement a été recyclé et reconstruit lus largement au même endroit [7]. En 2013, avec l'aide du CSTB (centre Scientifique et Technique de la reconstruction), un projet très important avait vu le jour en Belgique pour la construction d'une nouvelle écluse à Anvers avec la démolition de 700 000 m³ de béton armé et le recyclage d'une partie de débris de béton comme agrégats employés à la fabrication du béton servant à la construction des murs de l'écluse. Depuis, une véritable industrie de recyclage vu le jour en Belgique.

Les décrets flamands du 2 juillet 1981 et Wallon du 5 juillet 1985 ainsi que l'ordonnance bruxelloise du 7 mars 1991, relatifs à la prévention et à la gestion des déchets, ont encouragé la valorisation des déchets.

La production annelle de granulats naturels (Carriers) s'élève à 64 million de tonnes. Les déchets de démolition et de construction sont estimés à 75 millions par ans jusqu'à l'année 1995, et environ 2.3 millions de tonnes de débris de démolition sont traités annuellement par concassage, soit 30% de la quantité totale de débris produits, ceci pour une capacité totale des installations de 4.4 millions de t /an [6].

Les granulats recyclés provenant des stations mobiles (concasseurs à mâchoires) sont principalement utilisés dans les travaux routiers pour les fondations en empierrements et comme ajout dans les maigres de fondation de routes. La réutilisation du béton dans le bâtiment est encore au stade de développement.

❖ L'ex URSS

Des stations de recyclage de 720.000m³/an sont couramment en opération [7]. Les gros agrégats recyclés sont utilisés dans les fondations et pour la production de nouveau bétons de structure avec une résistance caractéristiques de 20MPa et les agrégats fins sont utilisés comme filer dans l'asphalte.

❖ Le Japon

Jusqu'à 1985, les agrégats recyclés été utilisés uniquement dans la construction routière à cause des autorités Japonaises qui n'avait pas encore approuvé la réglementation pour l'utilisation d'agrégats recycles et béton d'agrégats recyclés. A partir de cette année, l'activité de recyclage s'est développée en arrivant dans ces dernières années à raison de cinq fois plus de nouvelles installation de concassage.

Aujourd'hui, le Japon est le pays qui utilise le plus d'agrégats recyclés après les Pays-Bas, l'Allemagne et la Belgique [9].

I.3.2. travaux des recherches étranges sur agrégats recyclés et béton d'agrégats recyclés

[Hallshow et Levacher ; 2000] ont fait une étude sur la valorisation des granulats issus de bétons de démolition dans la fabrication de nouveaux bétons, cette étude est basée sur l'introduction de sables recyclés dans le mortier et le gravier recyclé dans le béton; les résultats indiquent une chute de la résistance en compression de l'ordre de 11% pour les bétons de granulats recyclés. [16]

[Corinaldesi ; 2005] a étudié le comportement mécanique et les propriétés élastiques de bétons recyclés. Ces bétons ont été préparés avec deux fractions de granulats recyclés provenant d'une usine de recyclage dans lequel les décombres de la démolition sont collectés et traités convenablement. Plusieurs mélanges de béton ont été préparés en utilisant uniquement des granulats vierges (comme référence), Le taux de substitution est de 30% en granulats recyclés (gravier fin et grossier). Cinq différents rapports d'eau/ciment ont été adoptés comme suit: 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 et 0,60.

L'ouvrabilité du béton était de l'ordre de l'affaissement de 190-200 mm. Des essais de compression ont été effectués après 28 jours de cure à l'eau.

En outre, un module d'élasticité du béton et le retrait de séchage ont été évalués. Les résultats obtenus ont montré que les structures en béton armé jusqu'à une classe de résistance C32/40 peuvent être fabriquées par le remplacement de 30% d'agrégat vierge avec granulats recyclés en béton. **[14]**

[Evangelista;2007] a conclu que les Granulats fins recyclés sont considérés comme le dernier choix en matière de recyclage pour la production de béton. Dans la recherche expérimentale menée, différents mélanges de béton (avec augmentation des taux de substitution des granulats naturels fins - sable - avec granulats recyclés fins de béton concassé) ont été préparés et testés. Les résultats ont ensuite été comparés avec ceux d'un béton de référence avec exactement la même composition et courbe granulométrique, mais sans granulats recyclés. Les principaux résultats de cette recherche pour l'absorption d'eau par immersion et la capillarité, la pénétration des chlorures, et la résistance à la carbonatation, ont été tirés. **[13]**

[Domingo-Cabo ; 2009] a présenté les résultats de la recherche expérimentale du béton produit par le remplacement des granulats naturels avec granulats recyclés provenant de déchets de construction et de démolition. L'objectif principal de son travail était de déterminer le fluage et le retrait et les variations rencontrées dans le béton à base de granulats recyclés, fabriqué par le remplacement de la fraction principale de l'agrégat naturel avec un agrégat recyclé provenant de déchets de béton et en le comparant à un béton témoin. Les pourcentages de substitution étaient de 20%, 50% et 100%. Il a été possible de constater que l'évolution de la déformation par retrait et fluage est similaire à celle d'un béton classique, bien que les résultats après une période de 180 jours ont montré l'influence du pourcentage de substitution des granulats recyclés présents dans le mélange. Dans le cas où le taux de substitution arrive à 100% il y'a eu une augmentation des déformations par fluage de 51% et en retrait de 70% par rapport à celles subies par le béton témoin. **[11]**

1.3.3. Quelque travaux des recherches en l'Algérie sur agrégats recyclés et béton d'agrégats recyclés

En Algérie, des bâtiments publics, des immeubles et des ponts sont démolis après des sinistres naturels comme le séisme et les crues ou par le vieillissement et les actions de bombes.

Les matériaux de démolition sont, pour l'instant rarement recyclés. L'industrie de construction génère aussi une quantité importante de déchets (briques et béton en particulier) qui sont rarement valorisés. Les quantités générées par la démolition et les déchets de chantier restent inconnues.

Au cours de la deuxième moitié de ce siècle et en 1980, la ville algérienne d'El Asnam (Chlef actuellement), a été secouée par deux tremblements de terre intenses qui l'ont quasiment réduit en un énorme tas de gravats. En 1981, L'expérience acquise par la Belgique en matière de recyclage des déchets de construction et de démolition, a permis au CSTC [19] (Centre scientifique et technique de la construction) de proposer aux autorités algériennes d'effectuer une étude sur les possibilités de recyclage des décombres de la ville. Alors, face à quelques milliers de bâtiments (38% des bâtiments) qui devaient être démolis et par la suite l'évacuation de plusieurs centaines de milliers de tonnes de débris, l'opération pilote de recyclage menée par la recherche du CSTC [19], a démontré qu'il est possible de recycler les débris en blocs de construction de qualité convenables [18].

Il faut aussi noter la manque de politique de gestion des déchets en général et les déchets non ultimes en particulier et de leur valorisation. Selon les informations disponibles, aucune étude de valorisation des déchets de construction ou de démolition comme agrégats en béton n'a été réalisée à ce jour en Algérie. sauf les travaux de recherche Que nous présentons comme suit :

[Saadani, Sabrina ; 2010] ont fait une étude de comportement des bétons à base de granulats recyclés, Ce mémoire cherche à mettre en évidence la possibilité d'utiliser les déchets de marbre comme granulats pour béton hydraulique, L'étude consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence à l'état frais et durci, 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%).. [20]

[Bourmatte, Nadjoua ; 2017] ont fait une étude de granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques: béton de démolition – déchets de briques – déchets de verre, Dans son étude, le développement de la première variété de béton conventionnel a été fait passer les taux de remplacement du gravier recyclé du béton de démolition de 0-25-50 et 100% (avec une différence de

dose de ciment: 250 - 350 et 450 kg / m³, taux 0-25 - 50% (dans le sable de déchets de verre d'une deuxième variété, tandis que pour le développement de béton autodéterminé, nous avons adopté des taux de remplacement) 0-10-10-20-30-20 et 50% (dans la poudre de déchets de briques) 0-25-25 50 75 et 100% (dans le sable de mortier pour mortier, le béton fabriqué avec cet agrégat a une opérabilité acceptable. La résistance à la compression varie en fonction du taux de remplacement: le taux de remplacement augmente, plus la résistance à la compression est faible, alors cet agrégat peut être utilisé à des taux limités dans le béton et le mortier. [21]

[**Benaichi, El hadj; 2018**] a étudié la durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs, L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des ajouts minéraux actifs (Pouzzolane, Laitier et Fumés de silice) et inerte (calcaire) sur le comportement du béton à base des agrégats fin recyclés Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de conclure que l'utilisation des ajouts (pouzzolane, fumées de silice et laitier) améliore les caractéristiques physico-mécaniques et plus particulièrement la durabilité des bétons à base de 50 % d'agrégat fin recyclé..[22]

[**BERREDJEM Layachi, ARABI Nourredine, MOLEZ Laurent; 2010**] leur travail est une contribution expérimentale à l'étude des indicateurs de durabilité des bétons à base des granulats recyclés, Après identification et caractérisation physico-chimiques et mécaniques des granulats en particulier les recyclés, les essais de durabilité sur des bétons classe cible C25/30 en prenant en considération le même type et dosage du ciment et la même classe de consistance S2.La procédure expérimentale consiste à comparer les résistances mécaniques ainsi que les indicateurs de durabilité les plus déterminants pour ces bétons à savoir : la porosité, la perméabilité et la lixiviation au nitrate d'ammonium. L'étude comparative entre les différentes compositions de bétons recyclés a montré des propriétés physiques et mécaniques acceptables vis-à-vis de la résistance mécanique et de la durabilité. Les granulats recyclés peuvent constituer un matériau de substitution à des granulats naturels. [23]

I.4. Impact des matériaux de construction et démolition sur l'environnement naturel humain

Il est important de connaître l'impact environnemental des déchets du BTP afin d'améliorer leur stockage et de déterminer les filières de valorisation les plus adaptées et les plus respectueuses de l'environnement [24].

I.4.1. Notion de cycle de vie et d'énergie grise

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

Les chantiers de construction génèrent des nuisances, mais sont aussi capables d'absorber des déchets, à travers la recyclage (aspect positif). L'air, l'eau, le sol, le bruit et les vibrations sont les principaux vecteurs des pollutions [25].

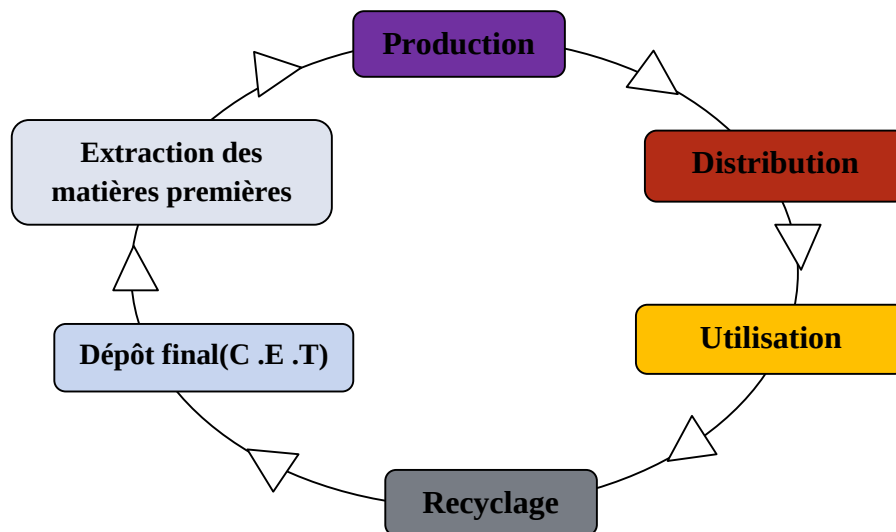


Figure I.2 : Les principes de l'analyse du cycle de vie [25].

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

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

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

I.4.2. Matériaux et constructions « respectueuses » de l'environnement

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

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

Il est important donc d'envisager non seulement le cycle de vie complet du produit, mais aussi celui de la construction ou du bâtiment dont il va faire partie, dans la mesure où il va interagir, être lié voire être mélangé avec d'autres matériaux. Une analyse de cycle de vie sur la construction elle-même est donc requise : quelques travaux expérimentaux ont été réalisés à sujet [26]. Ils ne sont tout à fait complets car il est très difficile de rassembler de façon exhaustive les informations nécessaires .Un exemple donné ci-après concerne la comparaison entre trois méthodes de fabrication d'un hall industriel(i) colonnes et poutres en acier, (ii) colonnes et poutres en béton et (iii) colonnes en béton et poutre en bois lamellé-collé.

I.4.3. Impact sur la santé et l'environnement

L'activité de construction et de démolition génère des déchets sous formes gazeuse, liquide et solide Une liste exhaustive de ces déchets: ils concernent tous les corps de métier sans exception. Ces déchets, dangereux ou non, constituent une menace potentielle pour l'environnement naturel dans la mesure où ils peuvent contaminer les sols, les nappes phréatiques où les rivières et polluer l'air par des rejets dans l'atmosphère [25].

I.4.4. Impacts du recyclage sur l'environnement et l'industrie

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont importants: il permet de protéger les ressources (source d'approvisionnement alternative), de réduire les déchets, de créer des emplois (création d'activités), de protéger la nature et d'économiser les matières premières, et parmi cette bénéfices de recyclages sont:

- ✓ l'acier recyclé permet l'économiseur 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 eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

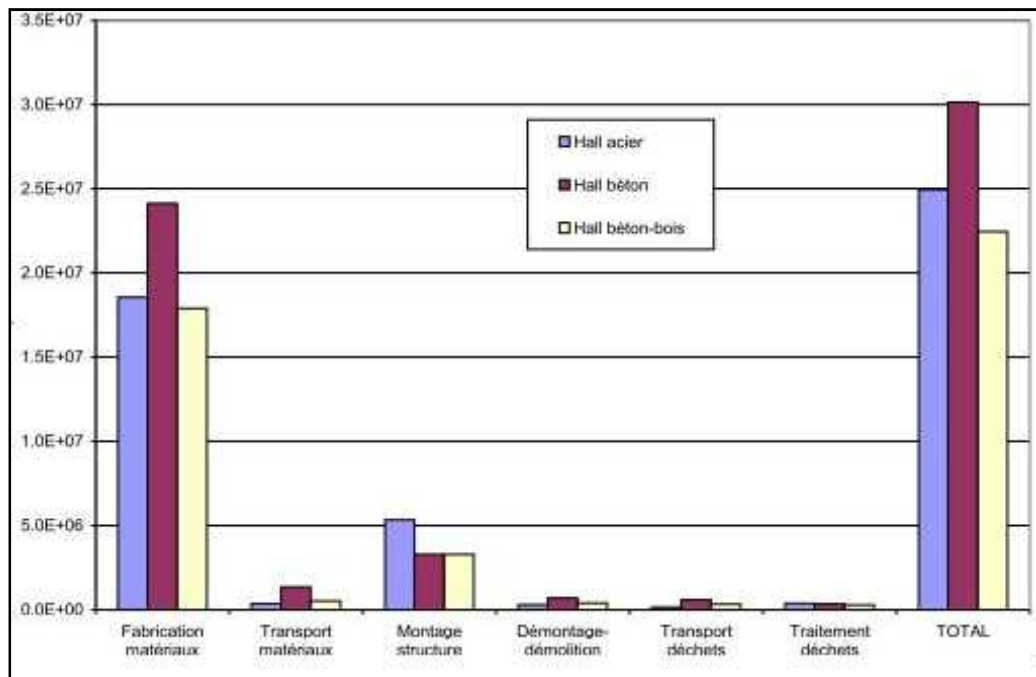


Figure I.3 : Bilan environnement d'un hall industriel [29]

I.5. Les avantages du recyclage

Le recyclage des granulats sur les chantiers routiers et la réutilisation des latéraux sur place dans les chantiers de démolition de bâtiments permet :

- Une économie de la ressource naturelle,
- Une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre
- Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants,
- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge
- Le recyclage évite la mise en décharge ou l'incinération qui sont des modes de gestion des déchets favorisant la pollution des sols et de l'air. [27]

- la réduction des quantités de matériaux mis en décharge. Au niveau environnemental, le recyclage complet du béton contribue à minimiser l'impact CO₂ du fait que pour les grandes agglomérations, l'utilisation des granulats recyclés permettra de diminuer une partie du CO₂ attribuée au transport de granulats ; le béton concassé est susceptible de piéger le CO₂ en se carbonatant [28]

I.6. Caractérisation des granulats recyclés et béton

I.6.1. Le recyclage, c'est quoi ?

Le recyclage est le procédé qui permet la fabrication de nouveaux produits à partir de la réutilisation partielle ou totale des matériaux en fin de vie « faire du neuf à partir du vieux » donc les déchets deviennent des matières premières (Figure I.4) [36].

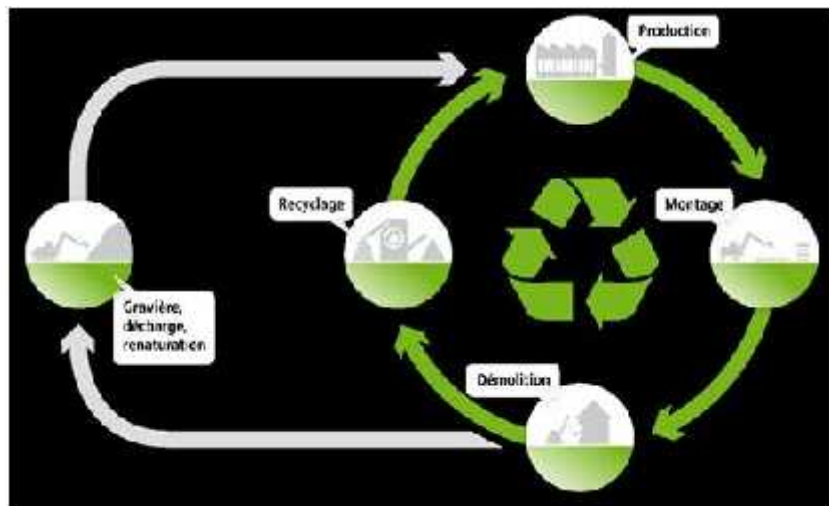


Figure I.4 : Cycle de vie du béton [36].

I.6.2. Classification des granulats :

Le tableau de synthèse ci-après présente, les différentes sources de granulats et leur utilisation .[31]

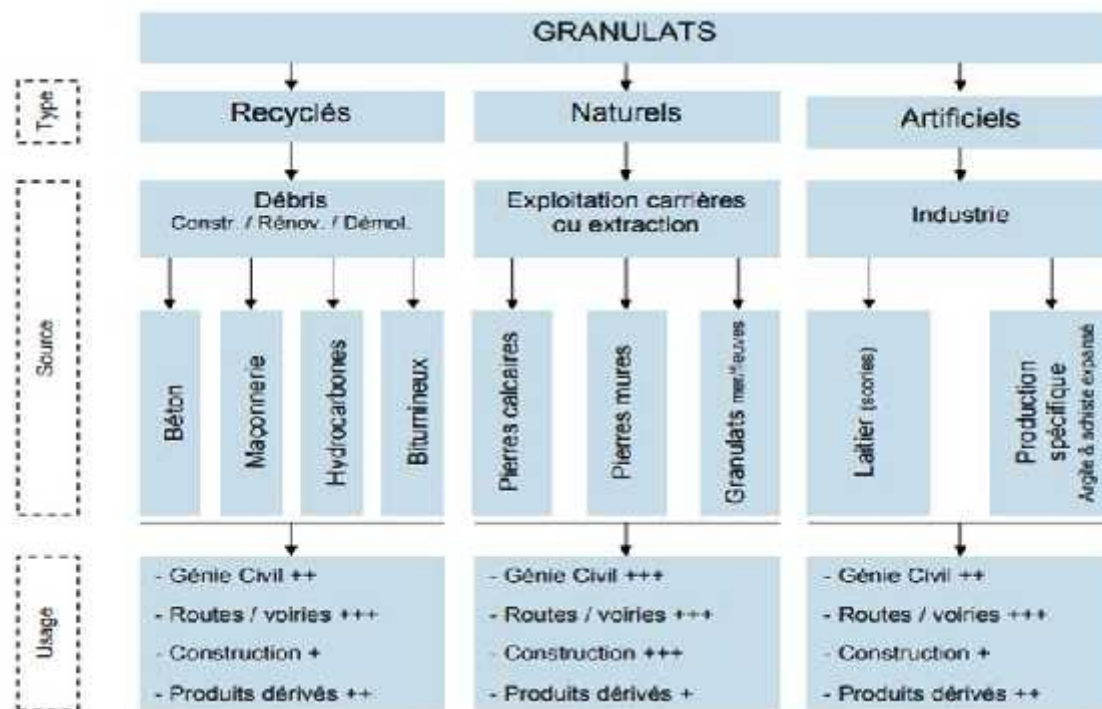


Tableau I.3 : Différentes sources de granulats et leur utilisation. [31]

- **Les granulats recyclés**, Le granulat recyclé est un matériau provenant du recyclage de débris de démolition, qui est le résultat du concassage du béton d'anciennes structures civiles. Le granulat recyclé est formé à partir du granulat d'origine et d'une couche de mortier résiduel qui est autour du granulat d'origine. L'interaction entre ces deux phases joue un rôle très important dans la qualité du béton formé à partir de granulats recyclés [Boulay, 2014; Etxeberria et al., 2007]

En règle générale, on distingue quatre classes principales de granulats recyclés :

- granulats de débris de béton de ciment
- granulats de débris de maçonneries
- granulats de débris de béton bitumineux
- granulats de débris mixtes (déchets de construction, de démolition et de rénovation)

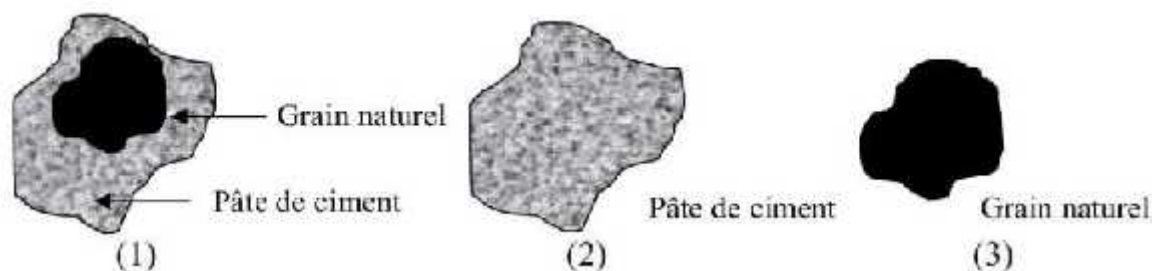


Figure I.5 : Formes des granulats recyclés [22,40,41,42]

- **Les granulats artificiels** sont initialement d'origine minérale, ils résultent d'un procédé industriel comprenant
- **Les granulats naturels** : La majorité des granulats naturels sont issus de l'exploitation de carrières ou de l'extraction en mer ou en rivière.

I.6.2.1. Classification des matériaux recyclés selon le MTQ (Norme liée: NQ2560600)

La Direction du Laboratoire des Chaussées du Ministère des Transports du Québec présente dans son bulletin d'Information Technique No. 3 [Marquis et al., 1998] une classification des granulats recyclés en fonction de la quantité de béton de ciment concassé (% b.c.), de béton bitumineux concassé (% b.b.) et de granulat conventionnel ou granulat original (% g.c.) (Tableau I.).

Classes	MR-1	MR-2	MR-3	MR-4	MR-5	MR-6	MR-7
% b.c.	≤ 50 %	> 50 %	≤ 30 %	> 30 %	< 65 %	< 50 %	< 15 %
% b.b.	< 15 %	< 15 %	15 - 35 %	15 - 35 %	35 - 50 %	50 - 85 %	> 85 %
% g.c.	≥ 35 %	< 50 %	35 - 85 %	< 55 %	< 65 %	< 50 %	< 15 %

Tableau I.4 : Classification des matériaux recyclés selon le MTQ (Norme liée: NQ2560600)
[Marquis et al., 1998]

En tenant compte de cette classification, deux types de granulat MR-2 provenant de deux différents lieux de production de débris, localisés dans la province de Québec, sont utilisés : les granulats provenant de Bauval et les granulats de RecyBéton (Montréal).

I.6.2.2. Classification de granulats recyclés selon RILEM [43, 22]

Généralement, les granulats recyclés produits dans les installations de concassage sont de différents types. A titre d'exemple, au Pays-Bas la production jusqu'à 1992 a été comme le montre la figure suivantes :

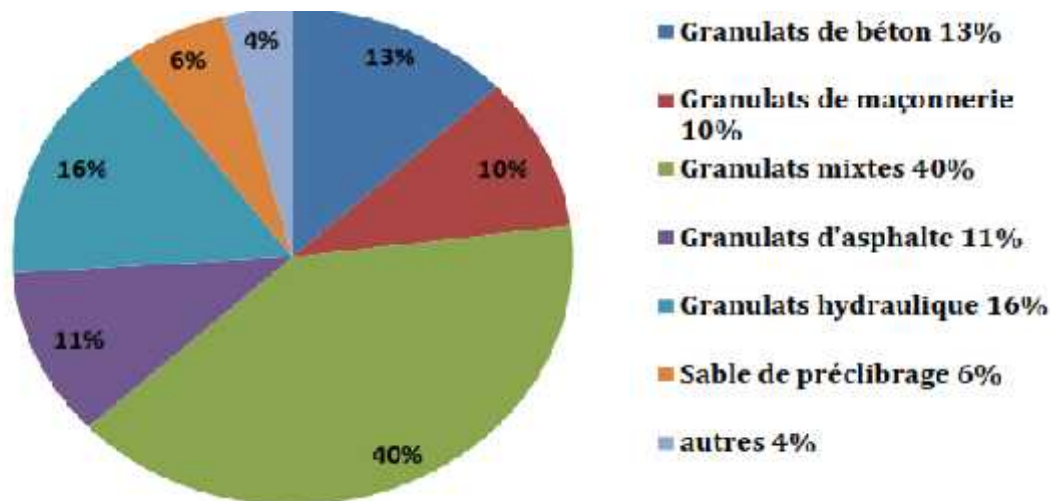


Figure I.6 : Répartition de la production en granulats recyclés au Pays-Bas en 1992

Parmi les différentes définitions et classifications d'agrégats recyclés, la classification du comité technique (TC121) de la RILEM lors du 3^{ème} congrès sur la démolition et réutilisation du béton et de la maçonnerie au DANEMARK (Odense) 1993[43], paraît être un des plus convenables pour une application pratique. La RILEM recommandait de classer les gros granulats recyclés en trois types (Tableau 5) dans chacun serait sujet de limites spéciales en impuretés en plus des limites imposées par les normes européennes accordées comme le montre le tableau suivants :

Types d'agrégats	Composition
Type I	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de maçonnerie (brique).
Type II	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de béton.
Type III	Un mélange d'au moins 80% d'agrégats naturels et pas plus de 10% d'agrégats recyclés de type I (jusqu'à 20% d'agrégats recyclés de Type II).

Tableau I.5 : Composition des différents types d'agrégats recyclés proposé par [44,45]

I.6.3. Intérêt du recyclage dans le génie civil

Actuellement, la plupart des granulats utilisés sont des granulats naturels issus de carrières. Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu. Il s'agit de produits nobles dont l'utilisation pourrait, par exemple, être en tout ou partie remplacée par des granulats recyclés pour la réalisation de certains bétons. Dans ce contexte, l'utilisation de produits recyclés trouve tout son sens, la bonne approche consiste à utiliser le bon produit, pour le bon usage, dans les bonnes conditions.[31]

I.6.4. Elaboration des granulats recyclés

Les installations de production de gravillons recyclés sont pratiquement identiques à celles des naturels, la présence d'impuretés rend le travail plus complexe (la figure I.7) montre les granulats naturels et (la figures I.8) montre les granulats recyclés.



Figure I.7 : Les granulats naturels [33]



Figure I.8 : les granulats recyclés [33]

L'utilisation d'un seul concasseur donnera des éléments de plus ou moins bonne qualité et n'affecte pas, en dehors de la distribution granulométrique, les propriétés du matériau comme la densité, la masse volumique, l'absorption. La quantité de particules cubique produite est à peu près la même. La distribution granulométrique donnée par les concasseurs à mâchoires est plus grossière, mais ils assurent la meilleure répartition.

Cependant les concasseurs à percussion brisent aussi bien les granulats naturels que la gangue de mortier, mais ne détache pas cette dernière. Les concasseurs à mâchoires, par leur action d'écrasement et de forttement donnent un pourcentage de mortier plus grand. On obtient généralement le meilleur agencement de taille et de forme en procédant à un premier concassage, suivi d'un second. Cependant, pour des raisons économiques, on n'en effectue qu'un seul [32].

I.6.5. la méthode de raffinage des granulats

Le procédé de raffinage des granulats est un système de recyclage du béton de démolition en boucle fermée dans lequel le ciment collé sur les agrégats est fragilisé par un traitement thermique à environ 300°C et éliminé de façon sélective par frottement du matériau concassé. (La figure .II.4) montre le schéma de principe [33]

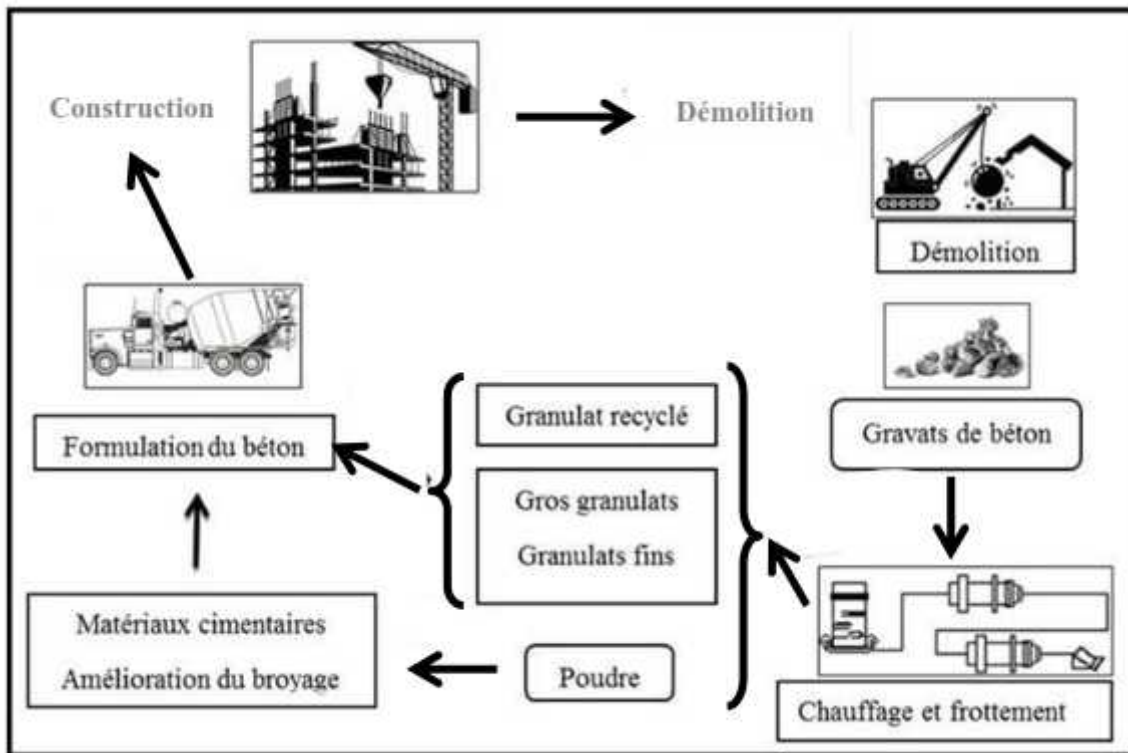


Figure I.9 : Système de recyclage du béton en boucle fermée [33]

- **Description du granulat recyclé :** Les granulats recyclés sont formés du granulat d'origine et de mortier attaché à celui-ci. Ceux-ci doivent donc être considérés comme un système composé de deux phases distinctes, le mortier et le granulat d'origine [34]. La teneur en mortier résiduel attaché au granulat d'origine a un grand impact sur les propriétés du granulat recyclé [46]. La teneur en mortier résiduel du granulat est une des caractéristiques importantes permettant d'évaluer la qualité d'un granulat recyclé. Une des conséquences de la présence du mortier résiduel est la formation d'une zone de transition entre le granulat original et le mortier résiduel en plus de la zone de transition se formant entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment. La configuration du granulat recyclé est illustrée sur la(Figure I.10)

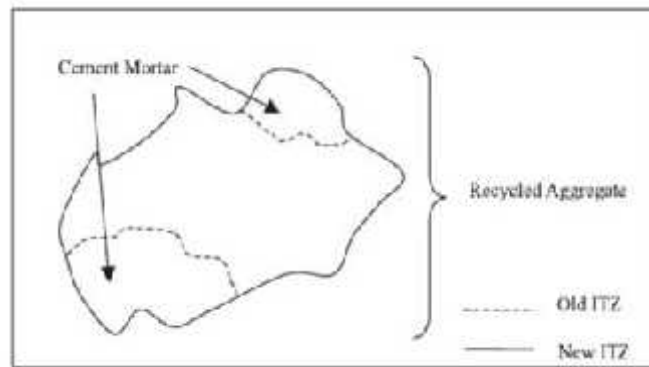


Figure I.10: Schématisation d'un granulat recyclé [35]

I.7. Caractéristiques morphologiques et physiques [47]

I.7.1. La Granulométrie et le module de finesse :

En général, les granulats recyclés se caractérisent par un fuseau granulaire homogène et continu, mais les sables recyclés sont sensiblement plus grossiers que les sables naturels utilisés dans les bétons ordinaires [Hansen - 92, Morel - 93, De Vries - 93, Québaud - 96, Delwar - 97, Orsetti - 97]. Un autre aspect important de la granulométrie est la teneur en fines. Les fines présentes dans les granulats recyclés sont essentiellement constituées de ciment ancien et peuvent influencer aussi bien les caractéristiques des bétons frais (demande en eau, maniabilité, délais de la prise), que celles des bétons durcis (adhérence nouvelle pâte de ciment- granulat).

La propreté des sables caractérise la teneur en fines argileuses dans le pourcentage global en fines, car les fines argileuses peuvent rendre la mise en place du béton plus difficile et peuvent altérer l'adhérence des grains à la pâte de ciment.

[Moniz *et al.*, 2013]. Réalisent l'essai de la granulométrie par tamisage sur chacun des matériaux granulaires-sources, pour cinq MR retenus pour leur étude (MR-2 à MR-6). Les analyses granulométriques des cinq échantillons ont été réalisées conformément à la norme NQ2560-040. Il en ressort que toutes les courbes granulaires des matériaux recyclés de classe MR demeurent à l'intérieur du fuseau prescrit par le NQ 2560-600.

Les résultats d'analyse granulométrique des matériaux recyclés MR-2, MR-3, MR-4, MR-5 et MR6 Sont présentés dans la figure I.11.

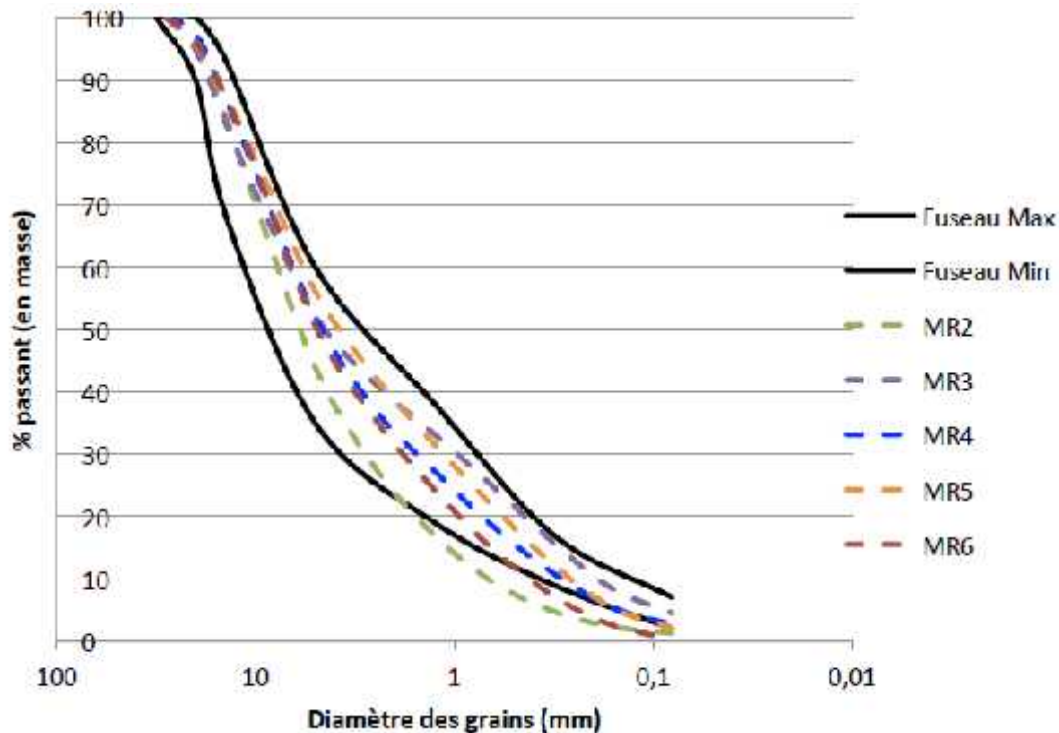


Figure I.11 : Analyse granulométrique des matériaux recyclés [Moniz *et al.*, 2013]

I.7.2. Forme et état de surface

La forme des grains et leur état de surface ont une influence considérable sur l'ouvrabilité des bétons et leurs propriétés mécaniques.

I.7.3. Masses volumiques et porosité

Du fait de la faible densité de la gangue de ciment, de la porosité plus élevée et des impuretés légères présentes dans les granulats recyclés, leur masse volumique est plus faible que celle des granulats naturels silico-calcaires d'utilisation courante dans les bétons.

La porosité des granulats recyclés est beaucoup plus élevée que celle des granulats naturels courants. Mesbah a déterminé, à l'aide d'un porosimètre à mercure, la porosité des différentes fractions du sable recyclé. La porosité de la fraction inférieure à 1 mm était de l'ordre de 14%, alors que celle de la fraction supérieure à 1 mm était de 11,5%. La porosité globale du sable recyclé a été évaluée à 13%. [10]

En fait, du point de vue du comportement des granulats dans le béton, la porosité totale joue un rôle secondaire. Le rôle primordial appartient à la répartition des tailles des pores et à leur interconnexion, ce qui se reflète directement sur le coefficient d'absorption d'eau des granulats. [10]

I.7.4. Densités des granulats

Plusieurs recherches reportent une diminution de la densité des granulats recyclés par rapport au granulat conventionnel, ce qui a un effet direct sur la densité du béton contenant ce type de granulats. La diminution de la densité est attribuable au mortier résiduel attaché au granulat d'origine [César Medina et al., 2014; Gonzalez-Fonteboa et al., 2008].

Les résultats montrent que les granulats recyclés sont moins denses que les gros granulats naturels de 4,67% pour le granulat recyclé sans particules de faible densité (par exemple bois) et de 3,87% pour les granulats recyclés avec particules de faible densité [César Medina et al., 2014]. La densité relative des granulats recyclés est généralement dans la plage de 2,4 à 2,5 (2400 à 2500 kg/m) tandis que les granulats naturels ont une densité d'environ 2,75 (2750 kg/m) [Boulay, 2014].

L'analyse de 19 différents types de granulats recyclés, montrent une plage de densité de 2,22 à 2,58 pour ce type de matériau [Agrela et al., 2011].

I.7.5. L'absorption d'eau par les granulats recyclés

Dans toutes les études consultées, l'absorption des granulats recyclés est beaucoup plus grande que celle des granulats naturels. Les valeurs d'absorption des granulats recyclés sont comprises entre 3% et 10%, alors que pour le granulat naturel cette propriété est entre 1% et 5% [Boulay, 2014; Vivian W Y Tam et al., 2008].

Deux effets principaux de l'absorption d'eau par les granulats recyclés peuvent être considérés :

- sur la plasticité et l'ouvrabilité du béton frais;
- sur la formation du réseau poreux du béton et, par conséquent, les caractéristiques mécaniques et la durabilité du béton durci.

Lors de la fabrication des granulats recyclés le concassage a deux effets:

- En créant des fissures, le concassage contribue à une augmentation de l'absorption d'eau.
- Les fissures dans la partie hydratée du ciment primaire est responsable de la forte absorption d'eau [Orsetti - 97]. figure I.12

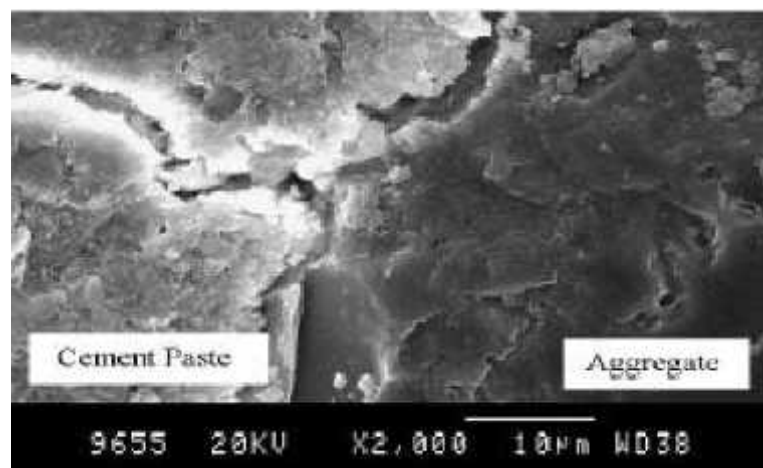


Figure I.12 Interface granulat naturel / pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton [21]

I.8. Perte de masse

En général, en raison de la configuration du granulat recyclé, la perte de masse due à l'abrasion est plus grande pour celui-ci par rapport au granulat naturel. [César Medina et al., 2014] ont également montré que les granulats naturels ont une plus résistance au concassage que le matériau recyclé mixte (avec ou sans particules en suspension). La perte de masse était de 21,12 et 20,58% inférieure dans le gravier naturel que dans le granulat recyclé avec et sans particules flottantes [Zakaria et al., 1996]. Des valeurs similaires ont été obtenues par [Saravana Kumar et al., 2012] et [Butler et al., 2011] (17,77% et 23,1% pour les granulats recyclés avec et sans particules en suspension). La teneur en mortier résiduel est donc directement liée à la résistance à l'abrasion du granulat [Boulay, 2014; De Juan et al., 2009].

I.9. Granulat recyclé fin

En termes d'utilisation des granulats recyclés dans la production de nouveau béton, il est établi que seul le remplacement d'une partie des gros granulats ne modifie pas significativement les propriétés du béton. Cependant, il n'y a pas de consensus concernant le remplacement des granulats fins. Le principal facteur mentionné par certains chercheurs contre l'utilisation de la partie fine des granulats recyclés est son absorption d'eau élevée, ce qui peut conduire à un béton avec de moins bonnes performances à l'état frais. Néanmoins, certaines recherches indiquent que l'utilisation de la partie fine des granulats recyclés peut être viable, si la quantité utilisée ne conduit pas à une perte importante de ses propriétés, tant mécaniques [Bravo et al., 2015; Evangelista et al., 2010] que de durabilité [Evangelista et al., 2014].

[Evangelista et al., 2007] ont analysé la résistance à la compression de divers mélanges de béton contenant la partie fine des granulats recyclés et ils ont trouvé des valeurs semblables à celle du

béton de référence (60 MPa). Ils justifient ces bons résultats par la présence de ciment non hydraté dans les fines provenant du granulat recyclé, et ils justifient la meilleure adhérence entre la pâte de ciment et le granulat fin recyclé, à cause de sa plus grande porosité [Bravo et al.,2015].

Par contre, [Bravo et al., 2015] ont obtenu une augmentation significative dans le rapport E/L pour les mélanges contenant des fins recyclés. Ces fines particules absorbent une grande quantité d'eau, forçant une augmentation du rapport E/L afin de maintenir l'affaissement approprié [Bravo et al., 2015]. Cette augmentation d'eau cause alors une diminution dans les propriétés mécaniques du béton.

I.10. Propriétés des granulats recyclés en relation avec le béton Zone de transition

En particulier dans le béton de granulat recyclé, il y a plus d'une zone de transition par rapport au béton de granulat naturel. La Figure 3 (gauche) montre une vue en coupe d'un granulat recyclé.

Cette figure indique la vieille zone de transition entre le granulat d'origine et le mortier résiduel, ainsi que la zone de transition entre le mortier résiduel et la nouvelle matrice de mortier.

Par ailleurs, la Figure I.13 (droite) présente aussi la zone de transition pour un granulat naturel

Conventionnel. La configuration dans ce cas ne dispose que d'une seule zone de transition entre le granulat et le nouveau mortier [Otsuki et al., 2003].

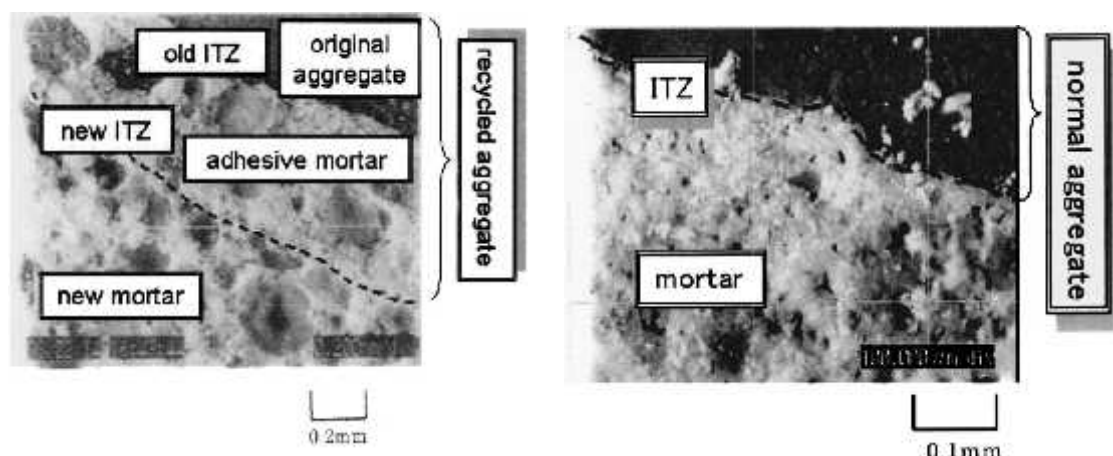


Figure I.13 : Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite)
[Otsuki et al., 2003]

En tenant compte des études consultées, les caractéristiques spécifiques de la zone de transition sont influencées par la qualité de mortier autour de cette zone. Cependant, l'épaisseur (ou quantité) du mortier résiduel ne semble pas avoir une influence déterminante sur les caractéristiques de la zone de transition [Otsuki et al., 2003; Boulay, 2014].

Pour les bétons contenant les granulats recyclés, cette zone a une porosité spécialement élevée [Thomas et al., 2013; Mars et al., 2006], en raison de l'absorption et de la porosité de ce type de granulat. La combinaison de ces facteurs, avec la faible teneur initiale en eau des constituants pendant le processus de mélange, produit une absorption d'eau importante dans la phase primaire de conception du béton et, par conséquent, l'obtention d'une zone de transition de porosité élevée [Poon et al., 2004].

De plus, [Otsuki et al., 2003] ont rapporté l'essai de micro-dureté Vickers en tant que moyen de caractérisation des propriétés de la zone de transition par rapport à la masse. Cette étude a montré un accroissement de la résistance à la compression du béton contenant le granulat recyclé avec l'augmentation de la micro-dureté mesurée dans la zone de transition (Figure I.14). Les résultats montrent aussi une meilleure micro dureté de la nouvelle zone de transition pour les bétons avec de rapports E/L de 0,25 (Figure 5). Par contre, la micro-dureté était plus forte dans l'ancienne zone de transition pour les rapports E/L de 0,55 (Figure I.15). C'est-à-dire, la vieille zone de transition régit la performance de résistance du béton pour des rapports E/L bas, tandis que la nouvelle zone de transition régit cette performance pour des rapports E/L élevés.

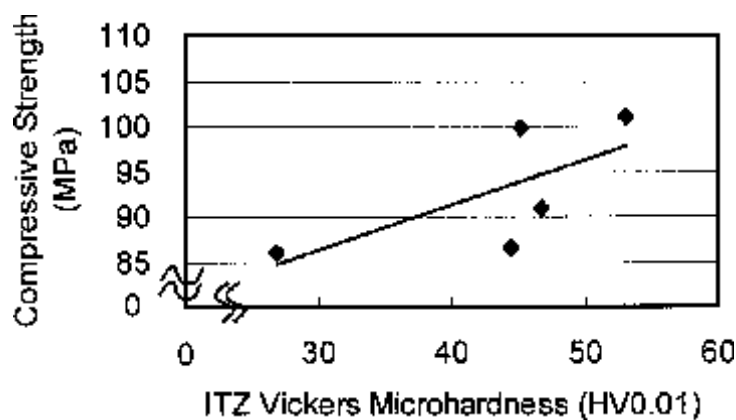


Figure I.14 : Relation entre la micro-dureté Vickers de la vieille zone de transition et la résistance à la compression du béton (E/L = 0,25)
[Otsuki et al., 2003]

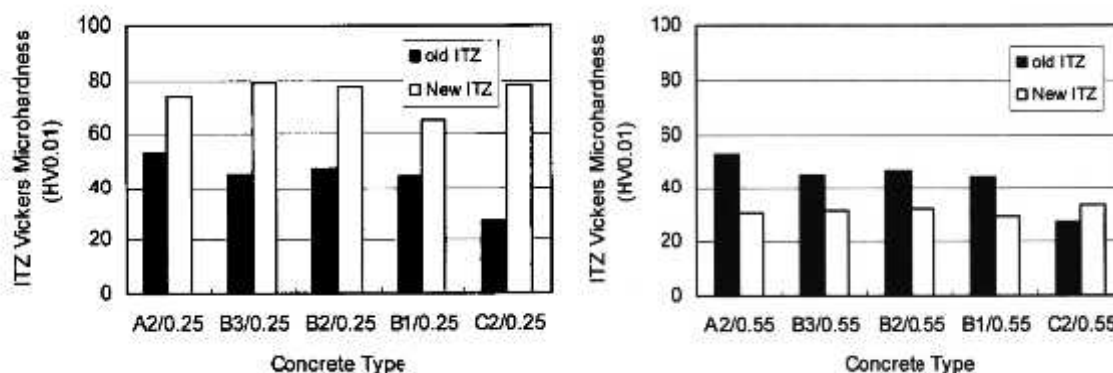


Figure I.15 : Micro-dureté Vickers de la nouvelle et vieille zone de transition pour un béton avec un rapport E/L de 0,25 (gauche) et un rapport E/L de 0,55 (droite)
[Otsuki et al., 2003]

I.11. Pourcentage optimal du granulat recyclé

Le pourcentage de remplacement optimal du granulat recyclé est celui qui permet de maintenir à un niveau acceptable les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci. Ce pourcentage varie beaucoup dans les études consultées. Cependant, quelques chercheurs proposent une plage de valeurs pour les pourcentages optimaux. D'un côté, [Vivian W Y Tam et al. 2007] mentionnent que les proportions optimales de GR sont d'environ 25 à 40% et 50 à 70%, lors de l'utilisation d'une séquence de malaxage en deux étapes pour la préparation du béton. En effet, l'utilisation d'une séquence de malaxage spécifique lors de la gâchée permet d'obtenir un pourcentage optimal de granulat recyclé plus élevé, par rapport aux méthodes conventionnels de malaxage [Vivian W Y Tam et al., 2007].

D'un autre côté, [Boulay, 2014] affirme que, selon plusieurs recherches, cette plage est entre 20 et 50 % de remplacement de granulats naturels par des granulats recyclés [Etxeberria et al., 2007; Chakradhara Rao et al., 2011; Rao et al. 2007; Corinaldesi, 2010]. De plus, dans la plupart des études il est clair que l'augmentation progressive du pourcentage de granulats recyclés diminue de manière progressive les propriétés physiques et mécaniques du béton [Boulay, 2014].

I.12. Incorporation de granulats de béton de démolition dans les bétons

Les granulats recyclés de béton sont incorporés dans la formulation de béton en remplacement des granulats naturels dans des proportions variant de 0 à 100 %. Des bétons témoins sont toujours fabriqués pour établir un point de comparaison. Ainsi, les approches pour formuler un béton sont nombreuses, chacun fixant les paramètres utiles pour comparer et observer l'effet des granulats recyclés sur le comportement physique des bétons. Certains choisissent de travailler à ouvrabilité constante [Debieb et al, 2010] [Levy, 2004] tandis que d'autres auteurs s'intéressent aux temps de

malaxage, au degré d'humidité des granulats recyclés et à la quantité d'eau globale et effective à mettre en œuvre [Evangelista, 2010] [Gomez, 2002]. Pour certaines études le remplacement est massif ou volumique sans modifier les autres paramètres de composition (quantité de ciment) [Olorunsogo, 2002]. Enfin, certains chercheurs travaillent avec une méthode de mortier équivalent. Dans cette méthode, on considère que la matrice cimentaire présente dans les granulats recyclés rentre en ligne de compte dans la matrice cimentaire du nouveau béton [Abbas et al, 2009]. [49]

I.12.1. Influence de la granulométrie et forme de gravillons

Des études expérimentales ont montré que la granulométrie et la taille maximale des granulats influent sur les proportions relatives des granulats, les quantités de liant et d'eau nécessaires, la maniabilité, la porosité, le retrait et la durabilité du béton. Toute variation de granulométrie influence sérieusement l'uniformité du béton d'une gâchée à l'autre. Les sables très fins sont souvent peu économiques, tandis que les sables et granulats très grossiers peuvent produire des mélanges raides et peu maniables. Selon [Mehta et Monteiro, 1993], les granulats ne souffrant ni d'une grande carence ni d'un excès de particules de diamètre donné et présentant une courbe granulométrique régulière donnent les meilleurs résultats. La variété dans la dimension des particules contribue à réduire le volume total des vides entre les granulats. [49]

Ravindrarajah et son équipe a montré l'influence du choix du concasseur et des performances du béton ancien sur la régularité des courbes granulométriques [Ravindrarajah et al., 1985]. Weimann a montré que la défillerisation par voie humide permet quasiment de supprimer la contamination par des éléments indésirables (bois, métal, constituants autres que le béton,...) Ceux-ci restent inférieurs à 2%. Les sables obtenus ont également une teneur en matrice cimentaire plus faible que les sables élaborés à sec [Weimann et al., 2004].

Evangelista et de Brito ont montré que les granulats recyclés étaient plus anguleux et donc à l'origine d'une plus grande friction interne ce qui, en plus de l'absorption plus élevée, explique qu'à courbe et module de finesse égaux, la demande en eau du béton soit plus forte [Evangelista et al., 2010]. [50]

Noureddine a montré qu'un granulats comportant une forte proportion de particules plates et allongées se compacte difficilement et possède un indice des vides intergranulaires plus élevé qu'un granulats similaire constitué de particules plus arrondies. L'indice des vides du mélange granulaire est un paramètre important de formulation d'un béton car il influence plusieurs de ses propriétés dont notamment sa compacité, sa maniabilité et ses propriétés mécaniques. Il faut donc porter une attention particulière aux caractéristiques du mélange granulaire, car un mélange ayant un indice des vides élevé

donnera un béton moins économique, moins maniable ou nécessitant une plus grande quantité de matières cimentaires pour satisfaire les exigences de performance (maniabilité, propriétés mécaniques, perméabilité, durabilité). [Noureddine, 1996]. [49]

En général, les granulats les plus désirables pour le béton sont ceux qui présentent des proportions élevées en particules cubiques (augmentation de la compacité du squelette granulaire) et rugueuses (augmentation de l'adhérence pâte-granat).

La forme et la rugosité des granulats peuvent impliquer une plus grande difficulté pour les bulles d'air à s'extraire du béton pendant la vibration. C'est ainsi qu'en moyenne, certains auteurs trouvent des teneurs en air occlus légèrement plus importantes dans les bétons de granulats recyclés, l'écart étant de l'ordre de 0,6 % [Hansen et Narud, 1983 cité dans Topçu et al., 2004].

La granularité des granulats peut faire apparaître des teneurs en fines importantes, en particulier lorsque le sable recyclé est utilisé. Les granulats recyclés étant obtenus par concassage, leur rugosité de surface est importante, et leur compacité est relativement faible. Ceci est un autre facteur tendant à augmenter la demande en eau efficace. Cette demande en eau efficace peut être traitée soit par un volume de pâte plus élevé (se traduisant par un supplément d'eau de 5 à 15% d'après la littérature) [Hansen, 1992], soit par l'utilisation d'adjuvants plastifiants/superplastifiants utilisés en réducteur d'eau, soit enfin par une combinaison de ces deux stratégies.

La demande en eau totale du béton est encore accrue par l'absorption d'eau importante des granulats recyclés. Dans les cas où les granulats sur stock ne sont pas saturés en eau, une reprise d'eau des granulats dans le mélange intervient dans les heures qui suivent le malaxage. [50]

I.12.2. Influence du mortier attaché

Les granulats recyclés de béton diffèrent principalement des granulats naturels en ce qu'ils sont composés de deux fractions de nature différente : le granulat naturel et le mortier de ciment qui y est accroché. Ce mortier de ciment est la cause de la baisse des caractéristiques des granulats recyclés: densité plus faible, absorption d'eau plus élevée, teneurs en sulfates et en alcalins plus élevées [Sanchez et al., 2004]. La teneur en mortier dépend du cycle de concassage du béton et est directement liée à la taille du granulat [Sanchez et al., 2004].

Aussi, certaines études ont été réalisées pour caractériser ce mortier [Yagishita et al., 1993 ; Abbas et al., 2007, 2009 ; Vasquez, 2002].

Il a également été constaté que les caractéristiques du mortier dépendaient des performances du béton d'origine [Padmini et al., 2009]. [50]

La masse du mortier d'un béton ancien qui recouvre la surface des gros granulats recyclés de béton et leur angularité influencent considérablement la consistance du nouveau béton, compte tenu de la porosité élevée de ces granulats, sa consistance (selon les pourcentages de substitution) demande beaucoup plus d'eau de gâchage que celui du béton naturel, cependant de nombreux chercheurs ont une ouvrabilité comparable du béton recyclé à celle du béton du béton naturel, dans le cas ou seuls les gros granulats sont substitués. L'introduction de granulats fins recyclés réduit considérablement l'ouvrabilité. Selon certains travaux [17] ,la demande supplémentaire en eau était de l'ordre de 5% pour le béton à base de gros granulats recyclés et arrive à 15% pour le béton à base de gros et fins granulats recyclés. Une augmentation de 21% en eau de gâchage est reportée pour un béton à gros et fins granulats recyclés dont l'absorption est de 25%. Cité [51] Une moins bonne adhérence entre la pâte de ciment et les granulats dans le béton à base de granulats recyclés a été confirmée par Hansen [17].

La présence du mortier réduit la résistance aux chocs, à l'usure et g au gel [Québaud, 1996; Ravindraradjah et al., 1985 ; Sanchez et al., 2004].

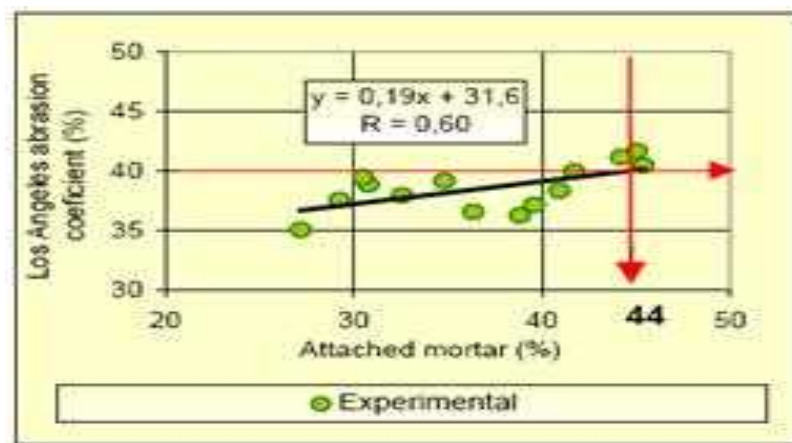


Figure I.16 : Corrélation entre la teneur en mortier et le Los Angeles
[Sanchez et al., 2004]

Des équipes de chercheurs [Mahmoud, 2005 ; Sanchez et al., 2004] ont montré la différence de solubilité des chlorures dans l'eau et dans l'acide pour différents teneurs en mortier.

Sanchez de Juan et Alaejos Gutiérrez [Sanchez et al., 2004] ont établi une corrélation entre la teneur en sulfates et la quantité de mortier présent sur le granulat. [10]

I.12.3. Influence de la masse volumique des granulats

Les masses volumiques des bétons recyclés sont plus basses que celles des bétons naturels [51], puisque les granulats de base sont plus légers et donc avoir des caractéristiques physiques et mécaniques différentes. Hansen a démontré aussi que la densité du béton à base de granulats recyclés chute de 15% et le pourcentage d'air occlus augmente jusqu'à 0.6% par rapport aux bétons à base de granulats naturels elle est généralement plus faible que celle des bétons classiques, du fait de la quantité de mortier ancien jouant le rôle de granulat. Les valeurs reportées sont en général comprises entre 2000 et 2200 kg/m³ [Hansen et Narud, 1983, Gomez-Soberon, 2002, cités dans Topçu et al., 2004] [50].

Les propriétés physiques des granulats recyclés sont différentes de celles des granulats naturels. Ils ont le plus souvent une densité plus faible et une absorption d'eau plus élevée, de nombreuses études ont confirmé ces résultats [Evangelista et al., 2004; Djerbi et al., 2010; Angulo et al., 2010; Sanchez et al., 2004; Mahmoud, 2005; Tam, 2005; DJE, 2011; Karthik, 2007; Katz, 2003; Kou et al., 2010] [50].

Dans la figure I.17 Hansen estime que l'absorption d'eau des granulats recyclés est liée à leur densité.

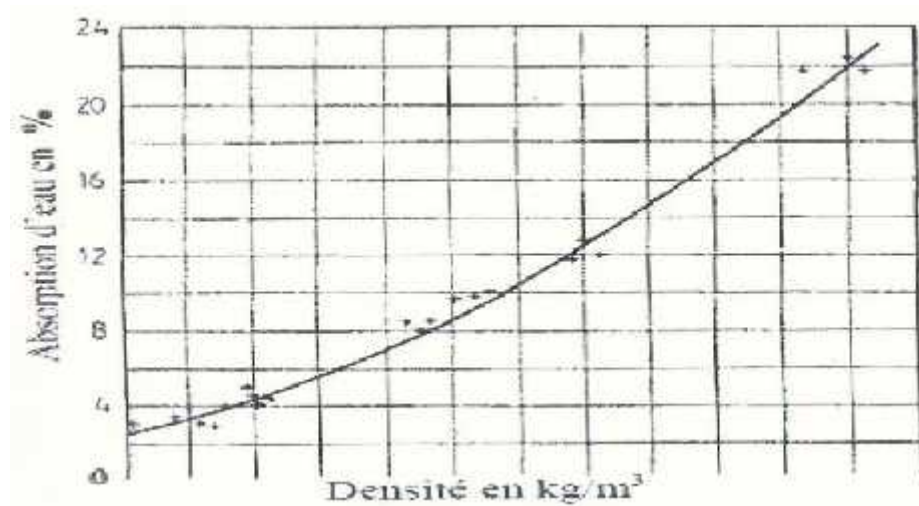


Figure I.17 Corrélation entre l'absorption d'eau et la densité des granulats recyclés [17]

I.12.4. Influence du rapport E/C et le taux de substitution

Toutes les études montrent que la résistance à la compression des bétons fabriqués avec des granulats recyclés peut être de 5 à 40% plus faible que celle d'un béton formulé avec des granulats naturels.

La résistance à la compression dépend du taux de substitution pour un rapport E/C constant. La diminution de la résistance à la compression est peu significative lorsque le taux de remplacement des graviers est inférieur ou égal à 25% et de sable inférieur à 30% [Chakradhara et al., 2011; Kou et al., 2009; Casuccio et al., 2008; Gonzalez-F. et al, 2011; Evangelista et al., 2007].

Généralement, cette diminution est attribuée à une porosité plus importante dans les bétons de granulats recyclés [Gomez-Soberon, 2002] et une mauvaise interface granulats/liant [Xing and Zhou, 1998]; Angulo [Angulo et al., 2010] montre qu'une porosité des granulats inférieure à 17% affecte peu les résistances à la compression, quel que soit le rapport E/C;

Des résultats ont montré que la résistance à la traction diminue également en augmentant le taux de substitution en granulats recyclés [Chakradhara et al., 2011; Kou et al., 2010; Yang et al., 2011 ; Evangelista et al., 2007]. **[50]**

CHAPITRE II

Matériaux et procédures expérimentales

Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

II.1. Introduction :

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

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats recyclés (**0/5, 5/10, 10/16**) et naturels (**0/5, 3/8, 8/15**) entrant dans la composition des bétons. En effet, notre recherche a pour objet l'étude des bétons ordinaires à base de granulats 100% recyclés en substitution volumique de sable, avec des taux de substitution de (**0%, 25%, 50% , 75%, et 100%**), pour confectionner les bétons **BR0%, BR 25, BR 50, BR 75, BR100**, et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état frais et durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires BT (béton témoin).

Les mélanges de béton ont été préparés en utilisant la méthode de formulation du béton de Dreux-Gorisse (Dreux et al. 1998), en prenant un dosage constant pour tous les mélanges préparés.

II.2. Matériaux utilisés :

Six mélanges de béton ont été préparés. Un de ces mélanges ne contenait que des granulats naturels (béton témoin), alors que les autres contenaient du sable naturels et des granulats recyclés. Ces mélanges sont principalement constitués de granulats, ciment, eau de gâchage qui doit avoir des propriétés spécifiques, Ils sont vérifiés à partir des essais réalisés au niveau de laboratoire selon les normes en vigueur, notamment :

Tableau II.1 : Essais Effectués et leurs références

Essais		Normes	SN	SR	GN	GR
Analyse granulométrique		NF P 18-560	X	X	X	X
Coefficient d'Aplatissement		NF P 18-561			X	X
Propreté superficielle		NF P 18-591			X	X
Module de finesse		XP P 18-540	X	X		
Equivalent de sable		P 18-598	X	X		
Masses volumiques		P 18-554 Gravier P 18-555 Sable	X	X	X	X
Los Angeles		NF P 18-573			X	X
Proctor		NF P 94-093	X	X		
Bleu de méthylène		NF P 18-592	X			
Analyse chimique	Teneur en carbonate	NF P 94-048	X	X		
	Insolubles	NF P15-461	X	X		
	teneur en sulfate		X	X		

Les résultats de caractérisation des granulats utilisés et comparaison avec les valeurs des normes seront présentés dans le tableau II.1

II.2.1 Ciment :

Le ciment employé lors de l'étude est le ciment portland composé CPJ CEM II /B.L 42,5N de la cimenterie SPA BISKRIA de BISKRA, dont les spécifications physico-chimiques ainsi que mécaniques sont étudiées conformément à la norme algérienne NA 442 édition 2000.

Les caractéristiques physico – mécaniques ainsi que la composition chimique du ciment employé sont données sur le tableau suivant et d'après la fiche technique du ciment.

Tableau II.2. : Caractéristiques techniques du ciment

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu	7.5 – 9.5
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.4 – 2.8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 0.05
Teneur en chlorures	< 3.5
Composition Potentielle du Clinker (%)	Valeur
C ₃ S	58 – 66
C ₃ A	0.0 – 1.0
Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	26.5 – 28.4
Expansion à chaud (mm)	0.0 – 1.0
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	150 – 200
Fin de prise	220 – 290
Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	15 – 25
28 jours (MPa)	42.5 – 52.5

II.2.2. Granulats :

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé deux types de granulats, l'un est naturel et l'autre recyclé

➤ Granulats recyclés

Les granulats recyclés sont le résultat de concassage des éprouvettes de béton subi des tests destructifs, déchets de démolition et déchets de production de l'industrie du béton à l'aide d'un marteau (concassage manuel).

Après concassage, les granulats ont été criblés afin d'avoir les classes granulaires suivantes :

- Sable recyclé de classe granulaire (0/5).
- Gravier recyclé de classe granulaire (5/10).
- Gravier recyclé de classe granulaire (10/16).

➤ **Granulats naturels**

- Le sable naturel alluvionnaire de classe granulaire (0/5), provenant de la région de Djamaa.
- Les granulats de la classe granulaire (3/8, 8/15), provenant de la station de concassage ENG, Ain Touta W de Batna.

Nous désignerons, dans ce qui suit, les différents granulats utilisés par les indications suivantes :

SN: Sable Naturel de Classe (0/5).

SR: Sable Recyclé de Classe (0/5).

SR25: (75% Sable recyclé, 25% Sable naturel).

SR50: (50% Sable recyclé, 50% Sable naturel).

SR75: (25% Sable recyclé, 75% Sable naturel).

GN: Gravier naturel de classes (3/8) et (8/15).

GR: Gravier recyclé de Classes (5/10) et (10/16).



Figure II.1 : Granulats recyclés 0/5 , 5 /10 , 10 /16

II.2.3. Eau de gâchage :

L'eau utilisée lors de la confection des mélanges de bétons est celle provenant du robinet du laboratoire. Il s'agit d'une eau potable. Sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées, quoique les bétons obtenus à une température assez constante d'un mélange à l'autre, de 20 ± 2 °C. Sa qualité conforme aux prescriptions de la norme me **NF P 18-303**.

II.2.4. Adjuvant :

L'utilisation des granulats recyclés dans le béton affecte l'ouvrabilité, causée par le mortier résiduel qui a une forte absorption et qui est variable dépendamment de la qualité de l'ancien béton. Durant le malaxage, le béton fabriqué avec de granulats recyclés absorbe l'eau de gâchage et l'adjuvant superplastifiant dilué dans l'eau de gâchage, ce qui peut avoir une influence sur la maniabilité.

L'adjuvant est un produit chimique ajouté en très faible quantité aux bétons, mortiers ou coulis, avant ou pendant le malaxage. La dose est inférieure à 2.5 % du poids du ciment.

Le but est d'améliorer certaines propriétés du béton, qu'il soit à l'état frais pendant la prise et le durcissement, ou à l'état durci.

L'adjuvant utilisés, est un super plastifiant haut réducteur d'eau de forme liquide, couleur brai sombre permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité il est fourni par l'entreprise GRANITEX et commercialisé sous le nom :MEDAPLAST SP40, de densité 1.20 ± 0.01 , de PH 8.2 et de teneur en chlorure $< 1\text{g/l}$ et extrait sec 40% conforme à la norme NF EN 934-2 et NA 774. Le pourcentage autorisé par le fabricant est de 0,6 – 2,5% du poids de ciment soit 0,5 à 2,0 litre pour 100Kg de ciment (voir fiche technique en annexes).

Grace à ses propriétés le MEDAPLAST SP40 permet

- **Sur béton frais**

- Améliorer la fluidité.
- Augmenter la maniabilité.
- Réduire l'eau de gâchage.
- Eviter la ségrégation.
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

- **Sur béton durci**

- Augmenter la résistance mécanique même à jeune âge.
- Diminuer la porosité.
- Augmenter la durabilité.
- Diminuer le retrait.

II.3. Essais effectués sur les granulats :

Une série d'essais d'identification a été effectuée sur les granulats utilisés, naturel et recyclé, afin de les caractériser. Le Tableau II.3, ci-dessous, donne la liste des différents essais effectués ainsi que la norme correspondante à chaque essai. Ces essais vont nous renseigner sur la qualité des granulats et sur la possibilité d'utiliser ces granulats dans la réalisation des ouvrages en béton.

II.3.1. Analyse granulométrique par tamisage :

L'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne **NF P 18-560**.

Les résultats de cette analyse sont donnés sur le tableau II.3, et représentés graphiquement dans la Figure II.1 suivante :

Tableau II.3 :Analyses granulométriques des Granulats Utilisés

Caractéristiques	Tamis (mm)	PASSANT (%)								
		SABLE					Gravier R		Gravier N	
		SN	SR	75/25	50/50	25/75	5/10	10/16	3/8	8/15
Granulométrie	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	31.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	100	-	100
	16	-	-	-	-	-	-	99	-	97.89
	12.5	-	-	-	-	-	100	41.36	-	75.69
	10	-	-	-	-	-	98.88	8.15	100	40.89
	8	-	-	-	-	-	74.40	1.17	99.33	13.11
	6.3	100	100	100	100	100	40.50	0.80	83.00	0.69
	5	99.75	98.62	99.38	99.40	99.75	8.46	-	55.15	0.34
	2.5	98.71	65.34	72.90	81.07	92.10	0.88	-	1.93	-
	1.25	97.08	54.10	62.88	73.67	87.70	0.15	-	-	-
	0.63	87.29	38.14	46.93	58.63	73.40	-	-	-	-
	0.315	38.21	20.30	21.30	23.80	28.20	-	-	-	-
	0.16	6.04	8.99	5.65	2.57	4.75	-	-	-	-
	0.08	1.75	4.35	2.88	1.30	1.60	-	-	-	-
Module de finesse		1.73	3.15	2.91	2.61	2.14	-	-	-	-

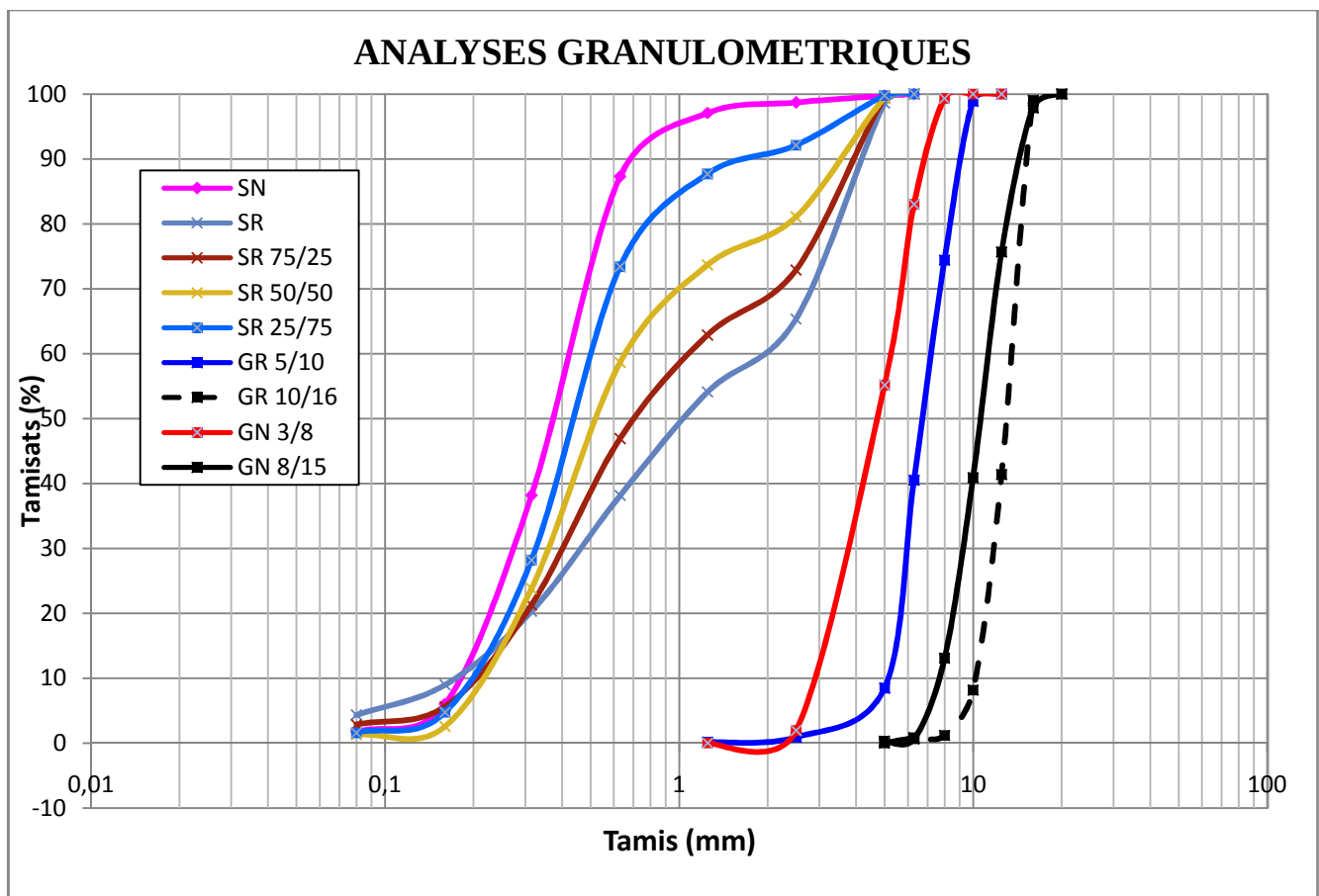


Figure II.2 : Courbes Granulométriques des Granulats

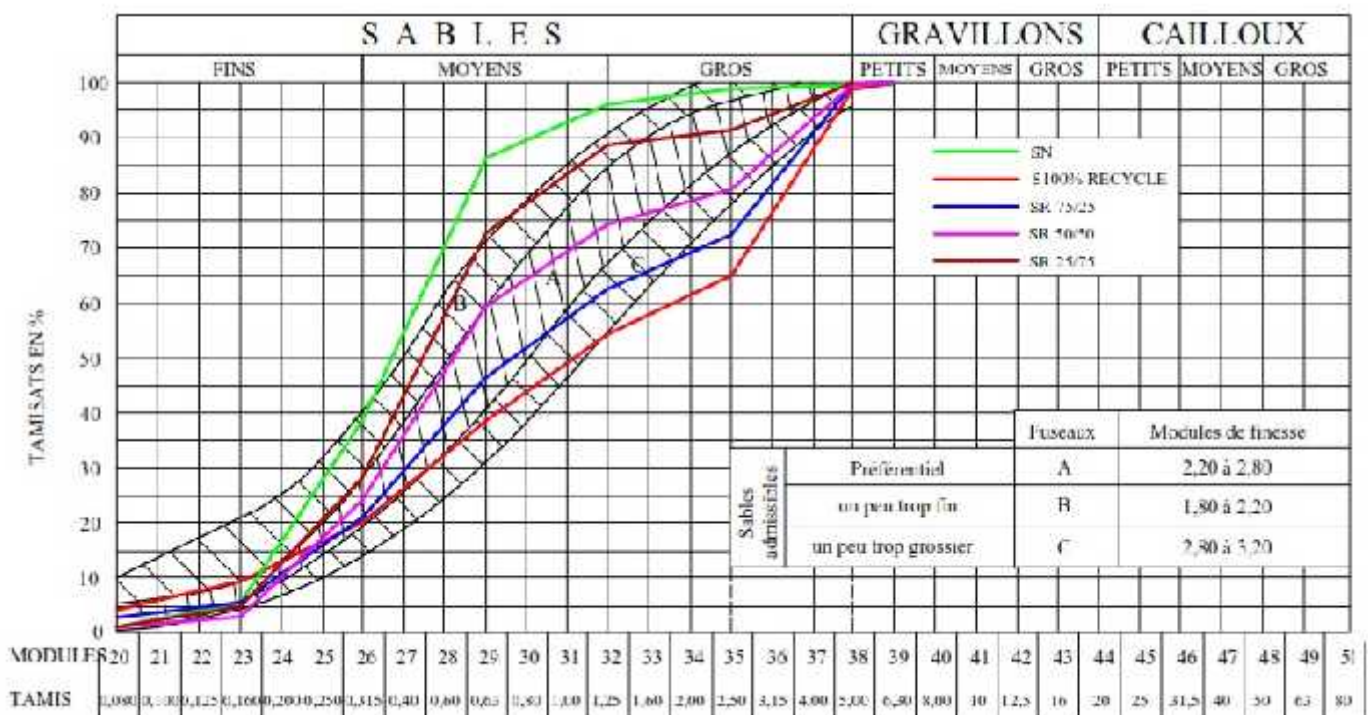


Figure II.3 : fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton

On remarque d'après les courbes granulométriques des granulats que :

- **Le sable naturel** : est un sable moyen à granulométrie étalée, il est hors fuseau partiellement, Il est riche en éléments fins et pauvre en élément grossiers.
- **Le sable recyclé** : est un sable grossier à granulométrie étalée et qui déborde le fuseau admissible dans sa partie grossière, et pauvre en éléments fins, il nécessite une correction pour démunie la valeur de son module de finesse.

II.3.2. Propreté superficielle des granulats :

L'essai a été réalisé conformément à la norme française 591-18 P [53]. Il consiste à déterminer la propreté superficielle des granulats supérieurs à 2 mm par élimination des poussières et des particules argileuses inférieures à 0,5 mm. L'élimination est réalisée par lavage de l'échantillon sur le tamis correspondant. Le rapport du passant à 0,5 mm au poids total de l'échantillon représente la propreté superficielle des gravillons :

$$P = (m/M_s) \times 100$$

Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : Propreté Superficielle du gravier (P)

Propreté superficielle	GN 3/8	GN 8/15	GR 5/10	GR 10/16
P (%)	0.65	0.35	0.71	1.05

Les résultats trouvés nous indiquent que les deux types du gravier sont propres, d'après la norme française XP P 18-540 [28].

II.3.3. Aplatissement :

L'essai d'aplatissement a été effectué conformément à la norme européenne 3-933 EN, par mesure du coefficient d'aplatissement.

Le coefficient d'aplatissement (A) est déterminé par un double tamisage, d'abord au travers de la série de tamis à mailles carrées utilisée pour l'analyse granulométrique, puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles.

Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Coefficient d'Aplatissement

Coefficient d'aplatissement	GN 3/8	GN 8/15	GR 5/10	GR 10/16
Ap (%)	17	14	13	15

Les valeurs trouvées indiquent que les deux types du gravier naturel et recyclé sont acceptables pour la fabrication du béton.

II.3.4. Essai los Angeles :

L'essai Los Angeles a été effectué conformément à la norme française 573-18 P . Il consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation du matériau testé de classe granulaire (10/14), soumis aux chocs d'une charge de 7 à 11 boulets par la mise en rotation du cylindre de la machine Los Angeles de 500 tours. Le coefficient Los Angeles (LA) est le pourcentage du rapport de la masse m (éléments ≥ 1.6 mm) par le 5 kg du matériau testé.

Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : Coefficient Los Angeles (LA)

Gravier Coefficient Los Angeles	GR C 5/10	GR C 10/16	GN C 3/8	GN C 8/15
LA (%)	40.10	36.50	17	19

Les valeurs du coefficient Los Angeles des granulats recyclés est assez élevée par rapport au coefficient LA des granulats naturels, Le coefficient Los Angeles est d'autant plus élevé que le granulat est moins bon. Et selon la norme française 557-18 P [32], La résistance mécanique des roches est directement liée à leur porosité.

II.3.5. Masses volumiques des granulats :

▪ Masses volumiques apparentes

La masse volumique apparente (ρ) d'un granulat est le rapport de sa masse par son volume total y compris les vides entre les grains le constituant [42]. On la détermine en calculant le quotient :

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

M étant la masse du granulat remplissant un récipient de volume V . Les masses volumiques apparentes (ρ) des granulats ont été déterminées conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 1097-3

Par contre, les masses volumiques apparentes (ρ_a) des gravillons ont été déterminées conformément au mode opératoire de détermination du poids apparent de gros agrégats.

▪ Masses volumiques absolues

Les masses volumiques absolues ρ , des gravillons (3/8) ainsi que des sables, ont été déterminées conformément au mode opératoire de la méthode de la mesure au pycnomètre [47].

Par contre, les masses volumiques absolues ρ des gravillons (8/15) ont été déterminées conformément au mode opératoire de la méthode de l'éprouvette graduée [47].

Les résultats des différents essais sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.7 : Masses Volumiques des Granulats

	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)
SN	1.616	2.58
SR0	1.438	2.529
SR25	1.522	2.634
SR 50	1.563	2.569
SR 75	1.616	2.614
GRN 3/8	1.398	2.626
GRN 8/15	1.462	2.635
GR 5/10	1.072	2.475
GR 10/16	1.125	2.495

II.3.6. Absorption d'eau :

Les coefficients d'absorption d'eau « A » ont été déterminés conformément à la norme NF P 18-555, pour les sables et la norme NF P 18-554 pour les graviers. Les résultats des essais sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Coefficient d'Absorption d'Eau des Granulats (A_b)

	SABLE		GRAVIER	
Granulats	SN	SR	GN	GR
Coefficient d'absorption d'eau (A_b)	0.50	13.68	1.31	11.37

On remarque que les sables et graviers recyclés, absorbent beaucoup plus d'eau contrairement aux sables et graviers naturels qui ont une faible absorption.

II.3.7. Analyse chimique :

Les résultats de cette analyse ont été donnés dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Résultats des essais chimique

Eléments chimique	Résultats (%)		Norme
	Sable recyclé	Sable naturel	
Insolubles	77	87	NF P15-461
Sulfates CaSO ₄	0.195	0.155	N BS1377
Carbonates CaCO ₃	22	12.74	NF P15-461

II.3.8. Equivalent de sable :

L'essai d'équivalent de sable a pour objet de contrôler la propreté du sable d'éléments fins et de poussières. Il a été effectué conformément à la norme **NF P18-598**.

Le Tableau II.10 suivant indique les résultats des essais :

Tableau II.10 : Equivalents de Sable

Equivalents de Sable	
SN (0/5)	SR (0/5)
50	85

Les résultats trouvés indiquent que le sable recyclé est un sable propre, ce sable a été élaboré par concassage et criblage sans dépoussiérage. Par contre, le sable naturel est un sable pollué. On peut déterminer la nature des éléments fins à partir l'essai au bleu de méthylène.

II.3.9. Essais au bleu de méthylène :

L'essai au bleu de méthylène, est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer l'argilosité d'un sol. L'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée.

D'après le résultat obtenu de VBS (VBS = 0.11) et selon la classification des sols GTR (Guide des Terrassements Routiers), on peut dire que le sol est insensible à l'eau et la nature des éléments fins ne sont pas argileuse.

II.3.10. Compacité et porosité des granulats :

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

$$C = \frac{MV_{app}}{MV_{abs}} \times 100 (\%); \quad P = 1 - C (\%)$$

L'essai est réalisé selon la norme **NFP18-554** [Normes AFNOR]. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II.11.

On remarque la compacité est stable par rapport toutes les types de sables (sable recycle et sable avec le fines de marbre).

La compacité du sable selon Dreux [54] doit être entre 55 et 65 %. Les résultats ci-dessus montrent que les sables recyclés (SN, SR, S 75/25, S 50/50 et S 25/75) sont assez peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel ce qui peut engendrer une ségrégation du béton.

Tableau II.11 : Compacité et porosité de différents sables recyclés utilisés

	SN	SR	S 75/25	S 50/50	S 25/75
Compacité (%)	63	57	58	61	62
Porosité (%)	37	43	62	39	38

II.3.11. Essai Proctor normal - NF P 94-093 Septembre 1997- :

L'essai PROCTOR a pour but de déterminer la teneur en eau optimum et la densité sèche maximale pour une énergie de compactage donnée. Le tableau II.12 regroupe les résultats obtenus.

Tableau II.12 : Résultats des essais Proctor sur le sable utilisés

Sable	Teneur en eau %	Densité t/m ³
SN	06	1.708
SR0	10	1.660
SR25	10	1.710
SR50	08	1.706
SR75	06	1.703

II.4. Composition des bétons et mélanges retenus :

II.4.1. Composition des bétons à base des granulats recyclés

(méthode Dreux-Gorisse):

Pour la composition des bétons à base de granulats de béton de démolition avec la substitution de sable recyclé par du sable naturels, on a adopté la méthode « Dreux-Gorisse », elle est permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition adaptée au béton étudié.

On a les données suivantes :

- f_{c28} demande et 25 - 30 MPa.
- Affaissement de A = 6 à 9 cm (béton plastique).
- Serrage : vibration normale
- Le ciment utilisé est un CEM II/B-L 42,5N.
- $D_{max} = 16$ mm.
- Module de finesse = 3.15.

- Détermination du dosage en ciment

$$f_{cm} = f_{c28} \times 1,15 = 30 \times 1,15 = 34,5 \text{ MPa.}$$

- Rapport C/E :

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G * F_{ce}} + G$$

Tableau II.13 : Valeurs du coefficient granulaire G

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins (D ≤ 16 mm)	Moyens (20 ≤ D ≤ 40 mm)	Gros (D ≥ 50 mm)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, Courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

$$\frac{C}{E} = \frac{34.5}{0.45 \times 62.5} + 0.45 = \mathbf{1.73}$$

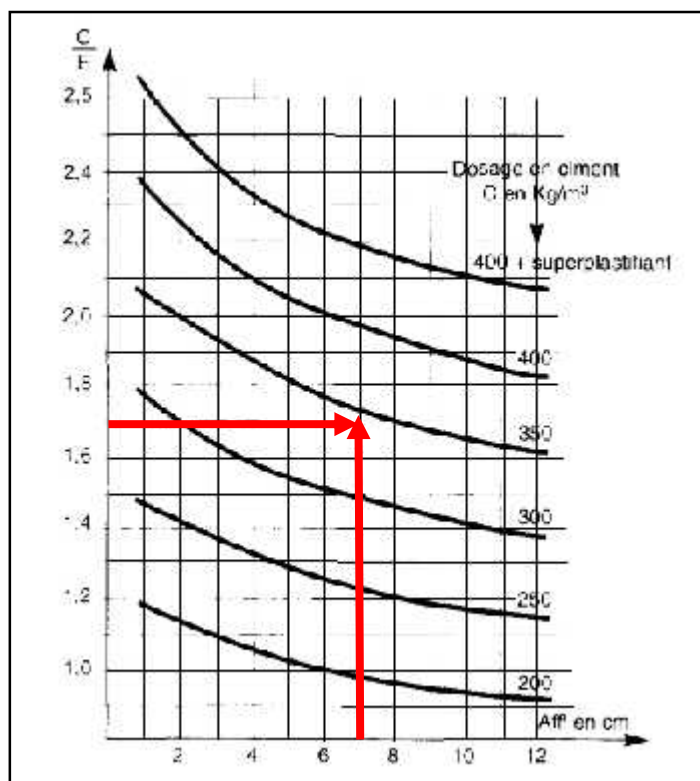


Figure II.4 : Abaque permettant d'évaluer Approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

A=7 cm et C/E =1,73

En fonction de C/E et A de la Figure II.4 on prend le dosage en ciment **350 Kg/m³**

- Détermination du dosage en eau :

$$\frac{C}{E} = 1.73 \rightarrow E = \frac{350}{1.73} = 202.70 \text{ l/m}^3.$$

Tableau II.14 : Abaque de correction le dosage en eau

Dimension maximale des Granulats D en (mm)	5	8 à 10	12,5 à 16	20 à 25	30 à 40	50 à 63,5	80 à 100
Correction sur le dosage en Eau en (%)	+15	+9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

- Correction sur le dosage en eau en fonction de D :

$$E_{\text{cor}} = E \times 1.04 = 202.7 \times 1.04 = 210.81 \text{ l/m}^3.$$

$$\frac{E}{C} = \frac{210.81}{350} = 0.60$$

- Tracé de la courbe de référence OAB :

Sur un graphique d'analyse granulométrique, on trace la courbe de référence OAB.

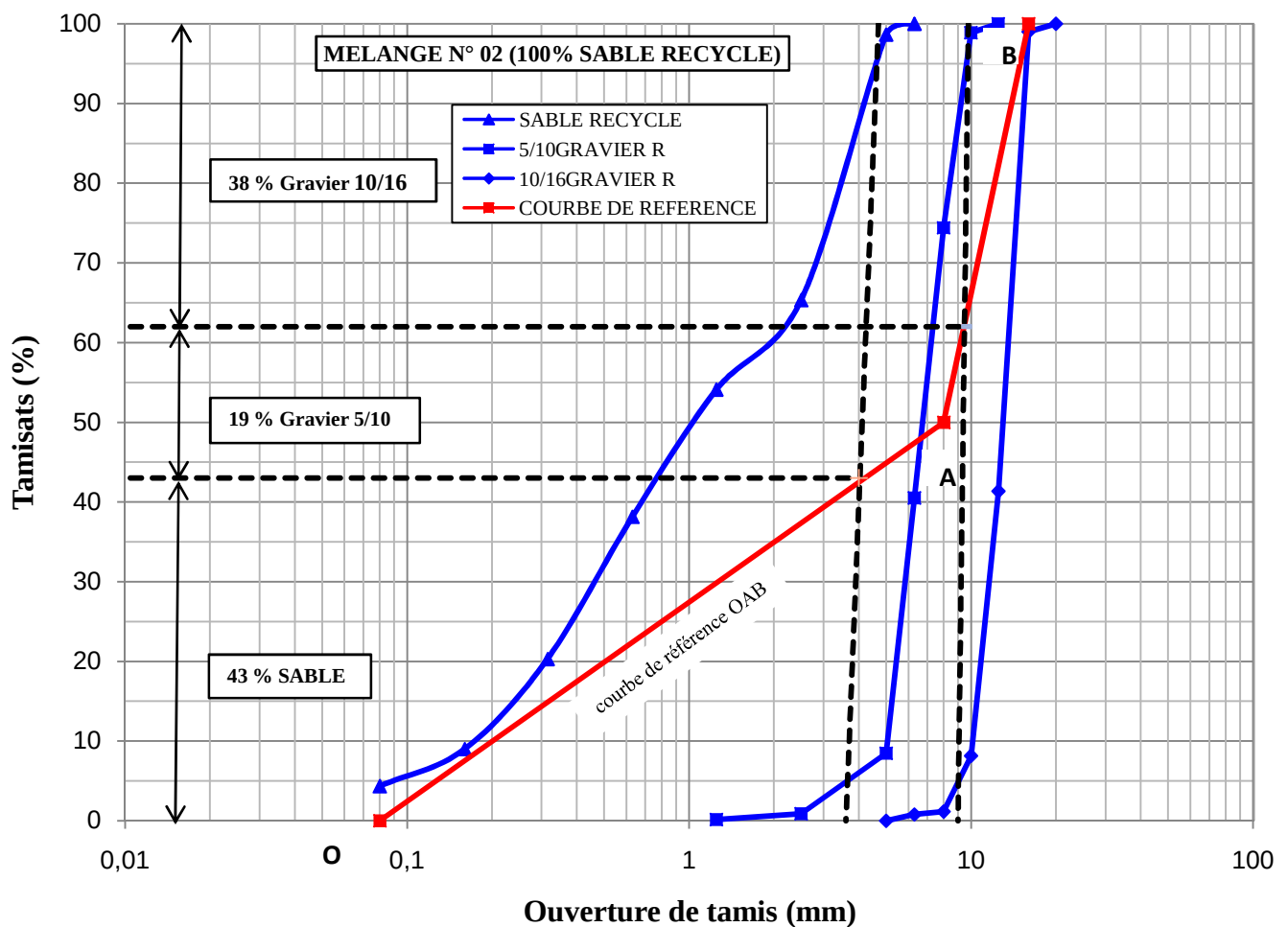


Figure II.5 : courbes granulométriques des granulats recyclés

- **Calcul de coordonnées du point de brisure A**

- **Abscisse :**

$$D_{\max} = 16 \text{ mm} \leq 20 \Rightarrow XA = D_{\max}/2 = 8.$$

- **Ordonnée :**

$$YA = 50 - \sqrt{D} + K + Ks$$

K : terme correcteur en fonction du dosage en ciment, de la puissance, de la vibration et de l'angularité des granulats.

Ks : terme correcteur supplémentaire si le module de finesse du sable est fort.

Tableau II.15 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		Roulé	concassé	Roulé	concassé	Roulé	concassé
Dosage en ciment	400 + super plastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	2	-2	0	-4	-2
	350	2	4	0	2	-2	0
	300	4	6	2	4	0	2
	250	6	8	4	6	2	4
	200	8	10	6	8	4	6

D'après le tableau II.15 et en fonction du dosage en ciment, et la puissance de vibration et l'angularité des granulats on prend **K = 2**.

Selon le module de finesse du sable recyclé utilisé ($M_f = 3.15$), il nécessite une correction supplémentaire :

$$Ks = 5.4 \times M_f - 15 \Rightarrow Ks = 5.4 \times 3.15 - 15 = 2.01.$$

$$YA = 50 - \sqrt{16} + 2 + 2.01 = 50.01$$

Tableau II.16 : Coordonnées des points de la courbe de référence OAB

Point	X	Y
O	0.08	0
A	8	50.01
B	16	100

- **Courbe granulométrique de composition réelle**

Les pourcentages pondéraux d'agrégats sont extraits de l'intersection des lignes de partage avec la courbe de référence OAB.

Les pourcentages sont les suivants :

- SR C0/543%.
- GR C5/10.....19%.
- GR C10/16.....38%.

- **Coefficient de compacité γ :**

Tableau II.17 : Valeurs du coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	coefficient de compacité en fonction du diamètre D des granulats						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes:								
➤ sable roulé et gravier concassé = - 0,01 ➤ sable et gravier concassé = - 0,03								

$$\gamma = 0,815 + 0,825 / 2 = 0.82.$$

$$\gamma_{\text{Corr}} = \gamma - 0.03 = 0.82 - 0.03 = 0.79.$$

- **Volumes pour 1m³ :**

- Volume absolu du ciment : $V_C = 350 / 3.1 = 112.90 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu des granulats : $V_G = 1000 \gamma - V_C = 1000 \times 0.79 - 112.9 = 677,1 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu de sable recyclé : $V = V_G \times \% \text{ Sable 0/5} = 677,1 \times 0.43 = 291.15 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu de GR C 5/10 : $V = V_G \times \% \text{ GR C 5/10} = 677,1 \times 0.19 = 128.65 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu de GR C 10/16 : $V = V_G \times \% \text{ GR C 10/16} = 677,1 \times 0.38 = 257.298 \text{ l/m}^3$.

- **Quantités en masses pour 1m³ :**

- Ciment.....= 350 Kg/m³.
- Sable recyclé SR 0/5 = $V_{SR} \times M.V_{abs(SR)}$ = 291.15 x 2.529 = 736.32 Kg/m³.
- Gravier recyclé GR 5/10 = $V_{GR5/10} \times M.V_{abs(GR5/10)}$ = 128.65 x 2.475 = 318.41 Kg/m³.
- Gravier recyclé GR 10/16 = $V_{GR10/16} \times M.V_{abs(GR10/16)}$ = 257.30 x 2.495 = 641.96 Kg/m³.
- Eau : = 210.81 Kg/m³.

- **Calculer de volume des éprouvettes :**

- Moule (10x10x10) cm = 0,0010 x 3 Eprouvettes x 3 Echéancier = 0,009 m³.
- Moule (07x07x28) cm = 0,0014 x 3 Eprouvettes x 3 Echéancier = 0.0126 m³.

Le gâchage exécuté pour l'essai d'étude en question doit être telle qu'elle permet d'obtenir un volume de béton compacté excédant celui des éprouvettes à remplir d'au moins 25%.

Volume de gâchage = (0.009 + 0.0126) x 1.25 = 0.027 m³.

- **Abréviation des bétons**

- **BT** : béton témoin (Granulats naturels).
- **BR0** : béton à granulats 100% recyclés.
- **BR25** : Béton à gravier 100% recyclés, et sable recyclé substitué à 25% du sable naturel.
- **BR50** : Béton à gravier 100% recyclés, et sable recyclé substitué à 50% du sable naturel.
- **BR75** : Béton à gravier 100% recyclés, et sable recyclé substitué à 75% du sable naturel.
- **BR100** : Béton à gravier 100% recyclés, et 100% Sable naturel.

Tableau II.18 : composition de béton BR

Composition	%	Quantités en Kg pour 1 m ³	Quantités en Kg pour confection des éprouvettes (V= 0.027 m ³)
Ciment	/	350	9.45
Sable recyclé (SR)	43	736.32	19.88
Gravier recyclé C 5/10	19	318.40	8.60
Gravier recyclé C 10/16	38	641.96	17.33
Eau	/	210.81	5.69
Adjuvant	1.5	5.25	0.14
Densité théorique du béton	2.257		

Tableau II.19 : composition de béton BR SN

Composition	%	Quantités en Kg pour 1 m ³	Quantités en Kg pour confection des éprouvettes (V= 0.027 m ³)
Ciment	/	350	9.45
Sable recyclé (SR)	43	629.48	17.00
Gravier recyclé C 5/10	19	431.33	11.65
Gravier recyclé C 10/16	38	695.70	18.78
Eau	/	210.81	5.69
Adjuvant	1.5	5.25	0.14
Densité théorique du béton	2.317		

Tableau II.20 : composition de béton BR 75/25

Composition	%	Quantités en Kg pour 1 m ³	Quantités en Kg pour confection des éprouvettes (V= 0.027 m ³)
Ciment	/	350	9.45
Sable naturel (SN)	42	771.18	20.82
Gravier naturel C 3/8	20	345.06	9.32
Gravier naturel C 8/15	38	660.92	17.84
Eau	/	210.81	5.69
Adjuvant	1.5	5.25	0.14
Densité théorique du béton	2.338		

Tableau II.21 : composition de béton BR 50/50

Composition	%	Quantités en Kg pour 1 m ³	Quantités en Kg pour confection des éprouvettes (V= 0.027 m ³)
Ciment	/	350	9.45
Sable naturel (SN)	40.5	725.29	19.58
Gravier naturel C 3/8	19.5	336.44	9.08
Gravier naturel C 8/15	40	695.70	18.78
Eau	/	210.81	5.69
Adjuvant	1.5	5.25	0.14
Densité théorique du béton	2.318		

Tableau II.22 : composition de béton BR 25/75

Composition	%	Quantités en Kg pour 1 m ³	Quantités en Kg pour confection des éprouvettes (V= 0.027 m ³)
Ciment	/	350	9.45
Sable naturel (SN)	39	710.66	19.19
Gravier naturel C 3/8	21	362.32	9.78
Gravier naturel C 8/15	40	695.70	18.78
Eau	/	210.81	5.69
Adjuvant	1.5	5.25	0.14
Densité théorique du béton	2.338		

Tableau II.23 : composition de béton témoin

Composition	%	Quantités en Kg pour 1 m ³	Quantités en Kg pour confection des éprouvettes (V= 0.027 m ³)
Ciment	/	350	9.45
Sable naturel (SN)	33	593.51	16.02
Gravier naturel C 3/8	14	256.28	6.92
Gravier naturel C 8/15	53	973.53	26.28
Eau	/	210.81	5.69
Adjuvant	1.5	5.25	0.14
Densité théorique du béton	2.384		

II.5. Confection et cure des éprouvettes :

Afin d'avoir des résultats comparables aux ceux du béton « témoin », il est impératif qu'on maintient, pour les autres types des bétons, le même volume total absolu des constituants, en conséquence, un rapport eau – ciment relativement constant avec un dosage en ciment de 350 Kg /m³. Les proportions des granulats à mélanger sont calculées en fonction du volume absolu de chaque classe granulaire.

Pour la formulation des bétons à base des granulats recyclés on a utilisé la même procédure que celle du béton témoin avec un prémouillage des granulats recyclés Cela a été fait en submergeant le granulat dans un récipient d'eau pour une période de 30 min. des travaux antérieurs ont montré que, 30 min est pratiquement suffisante, au-delà pour une période de 24h produit seulement une augmentation de voisinage de 2% d'absorption de l'eau.

La préparation des mélanges a été effectuée suivant un dosage pondéral des granulats et conformément à la norme française **404-18PNF**, qui consiste à :

- Pré mouillage du malaxeur.
- Introduire les constituants dans malaxeur.
- Introduire le ciment.
- Malaxer à sec les éléments de l'ordre de 1 min.
- Ajouter l'eau de gâchage et l'adjuvant et poursuivre le malaxage pendant 2 min.

La seule différence, entre le mélange du béton « témoin » et les autres mélanges des bétons à base de granulats de déchets de brique, est le prémouillage de ces granulats.

On mélange et on homogénéise la gâchée exécutée et on en prélève la quantité voulue pour le remplissage des moules en deux couches pour les moules cubiques ou prismatiques. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage, par une aiguille vibrante.

II.6. Conservation des éprouvettes

Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont maintenues pendant 24 heures, dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire.

Après démoulage, les éprouvettes sont conservées dans un bac plein d'eau à une température de 20 ± 2 °C, jusqu'au moment des essais d'écrasements qui s'effectuent à 7, 14, 28 jours.

II.7. Essai de caractérisation du béton a l'état frais et durci :

II.7.1. Essai effectué sur les bétons frais :

II.7.1.1. Affaissement au cône d'Abrams :

L'essai est effectué au cône d'Abrams, conformément à la norme **NF P 18-451**, c'est l'essai de mesure de consistance le plus employé; on remplit en trois couches, piquées chacune de 25 coups d'une tige métallique normalisée de 1,6 cm de diamètre, un moule tronconique en tôle (D=20Cm, d=10Cm, h=30 Cm), le moule est retiré lentement et la mesure est réalisée, la valeur de l'affaissement est exprimé en Cm.

II.7.1.2. 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).

P_0 : est la masse du récipient vide.

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

II.7.2. Essai effectué sur les bétons durcis :

II.7.2.1. Essai de compression :

L'essai de compression simple est réalisé suivant la norme EN 12390-3 « Essai pour béton durci – Résistance à la compression des éprouvettes ». Les extrémités des éprouvettes sont rectifiées par une règle métallique. L'éprouvette est placée et centrée sur une presse hydraulique de marque UTEST de 2000 kN puis soumise à un taux de chargement de $0,6 \text{ kN.s}^{-1}$ jusqu'à la rupture.

La charge maximale qui provoque la rupture de l'éprouvette permet de calculer la résistance en compression comme suit :

$$\sigma_c = P_r / S$$

Avec :

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

S : la section de l'éprouvette.

Tableau II.24 : Résistances en compression (en MPa)

Béton	Age (jours)	Résistances à la compression (MPa)		
		7 J	14 J	28 J
B.T (béton témoin)		24.07	25.32	26.95
BR0 (granulats 100% recyclés)		16.24	18.56	20.56
BR25 (Graviers recyclés, 75% S recyclé, 25% S naturel)		17.42	20.10	22.98
BR50 (Graviers recyclés, 50% S recyclé, 50% S naturel)		20.30	22.43	23.82
BR75 (Graviers recyclés, 25% S recyclé, 75% S naturel)		18.86	23.00	25.38
BR100 (Graviers recyclés, sable naturel)		16.70	24.76	26.54

Les granulats recyclés causent une réduction de résistance à la compression par rapport au béton témoin à base des granulats naturels. De plus, cette réduction augmente avec un taux décroissant de sable naturel. Le béton BR présente une réduction de la résistance à la compression à 28 jours de 27 à 21 MPa (22%). On observe aussi une évolution de la résistance à la compression de tous les bétons étudiés en fonction de l'âge. Tous les bétons étudiés ont une résistance supérieure à 20 MPa à 28 jours.

II.7.2.2. Essai de flexion :

La résistance à la flexion a été effectuée sur des éprouvettes prismatiques du béton 7x7x28 Cm conformément à la norme **NF EN 12390-5** (NF EN 12390-5, 1999). Cet essai est réalisé avec une presse de marque UTEST de capacité 2000 Kn.s⁻¹.

L'essai est déroulé comme suit:

- Placer l'éprouvette 7x7x28 cm entre les appuis du support de flexion. La face latérale de l'éprouvette doit être en contact avec les appuis.
- après la mise en marche de la presse jusqu'à la rupture.
- Lire la valeur de force de rupture " F ".
- Refaire la même démarche pour les autres éprouvettes.

Application de la formule ci-après pour calculer la résistance à la flexion :

$$R_f = 3FL / 2b^3$$

Où :

R_f : Résistance à la flexion en (MPa).

F : Force de rupture en Newton.

b : dimension de la section ($b=70$ mm).

L : longueur entre les deux appuis ($L=210$ mm).

On a fait l'essai aux échéances cités précédemment, comme nous l'avons vu au section précédant. Les résultats des résistances en flexion déterminés à 7, 14 et 28 jours sont illustrés sur la figure 69. Chaque valeur représente une moyenne de deux mesures. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II.25.

Tableau II .25 : Résistances à la flexion (en MPa)

Béton	Résistances en flexion (MPa)		
	7 J	14 J	28 J
B.T (béton témoin)	2.78	3.71	4.45
BR0 (granulats 100% recyclés)	3.10	3.39	3.64
BR 75/25 (Graviers recyclés, 75% S recyclé, 25% S naturel)	2.73	3.35	3.6
BR 50/50 (Graviers recyclés, 50% S recyclé, 50% S naturel)	3.67	3.88	4.02
BR 25/75 (Graviers recyclés, 25% S recyclé, 75% S naturel)	3.10	3.47	3.98
BR SN (Graviers recyclés, sable naturel)	2.47	3.33	3.64

On observe que l'utilisation des granulats recyclés diminue la résistance en flexion de 4.45 à 3.60 MPa (18%) dans le cas de béton (BR, BR SN, BR 75/25), la résistance augmente avec l'augmentation du taux de remplacement de sable recyclé par le sable naturel (cas de béton BR 50/50, BR 25/75).

On observe également une évolution de la résistance à la flexion en fonction de l'âge sur tous les bétons étudiés.

II.7.2.3. Essai ultrasonique :

Le matériel utilisé est l'appareil à ultrasons «Proceq Pundit Lab». Cet essai est réalisé suivant la norme **EN 12504-4** (EN 12504-4, 2004), le principe de l'essai est qu'une impulsion de vibrations longitudinales est produite par un transducteur électroacoustique maintenu en contact avec une surface du béton sous test. Après avoir parcouru une longueur de chemin connue dans le béton, l'impulsion de vibrations est convertie en un signal électrique par un deuxième transducteur et des circuits de synchronisation électroniques permettent de mesurer le temps de transit de l'impulsion.

Dans cette étude, nous avons testé des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm et des éprouvettes cubiques 10x10x10, trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation de béton. Ces mesures sont faites aux échéances 7,14 ,28 jours. Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran ou procède au calcul de la vitesse ultrasonique par l'application de la relation suivante :

$$V = L / T \quad (\text{m/s})$$

L : longueur de l'éprouvette

T : temps nécessaire à une impulsion ultrasonore pour se déplacer du transducteur émetteur au transducteur récepteur.

II.7.2.4. Module d'élasticité dynamique :

Les modules d'élasticité des bétons à base de granulats recyclés sont généralement plus faibles que ceux des bétons à base de granulats naturels. Il est généralement conseillé de calculer le module d'élasticité de 15 à 50% de la contrainte de rupture [55].

A partir de la vitesse de propagation des ondes ultrasonique, il est possible de calculer le module d'élasticité dynamique (**Ed**) selon l'expression suivante :

$$Ed = (\rho \times v^2) / g \times 10^{-2}$$

Où :

Ed module d'élasticité dynamique (Gpa).

ρ la densité du béton (Kg/m³).

V la vitesse ultrasonique (Km/s).

g la vitesse gravitationnelle (9,81 m/s²).

II.7.2.5. Essai d'absorption par capillarité : [37, 38, 39]

Parmi les essais de durabilité, Des échantillons de béton de formes cubiques de 7x7x7 cm ont été sciés à partir de l'extrémité des éprouvettes prismatique 7x7x28 cm.

L'essai d'absorption capillaire a été inspiré des recommandations de l'Association Française de Génie Civil [Association Française Génie Civil, 2007]. Le mode opératoire se déroule comme suit :

- Sécher les échantillons dans une étuve à 70°C jusqu'à une masse constante telle que $\Delta m/\text{jour} \leq 0.1\%$ pour assurer une dessiccation complète des échantillons.
- Imperméabiliser à l'aide de paraffine (ciré) toutes les faces extérieures des échantillons sauf la face qui sera étudiée et laisser jusqu'à séchage.
- Mesurer la masse sèche et placer les faces à étudier dans un bassin d'eau de 5 mm d'épaisseur.
- Mesurer la masse pondérale de l'échantillon dans le temps (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) min,

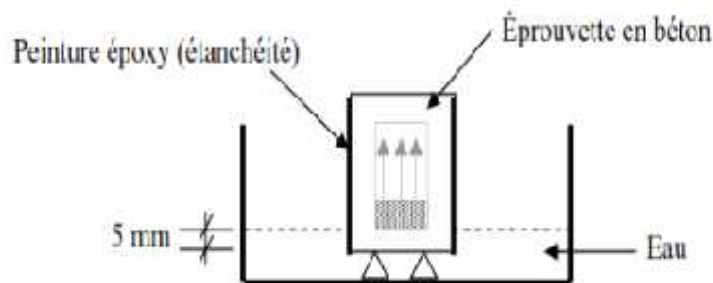


Figure II.6 : principe de l'essai d'absorption par capillaire

Pour chaque échéance de mesure (t), le coefficient d'absorption capillaire est défini par la relation suivante :

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

Où :

C_t : est le coefficient d'absorption à l'échéance t (g/cm^2).

A : est la section de l'éprouvette (cm^2).

M_t : est la masse à une échéance t (g).

M_0 : est la masse initiale de l'éprouvette (g).

Notons que cette opération a été mesurée à chaque échéance citée précédemment.

II.7.2.6. Essai de mesure de la Porosité et Absorption d'eau :[52]

La perméabilité et la porosité accessible à l'eau sont des indicateurs majeurs de la durabilité des bétons. En effet, ces deux paramètres caractérisent l'aptitude du matériau à laisser pénétrer et circuler des agents agressifs, que ce soit en phase liquide ou bien en phase gazeuse.

- **la Porosité : ASTM - C642 :[37, 38, 39]**

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton parmi cette méthode, la norme **ASTM** désignation **C642** et la norme **NF P18-459** (mars 2010). Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.

- **Mode d'essai**
 - Séchage la étuve a 105⁰C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu' a obtention d'une masse constante, afin de faire évaporé toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est note **M_{sec}**.
 - Emersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24.
 - Chauffage jusqu' a évolution pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillonnage l'air (soit **M_{air}** ce point) puis pesage a l'eau (pesée hydrostatique, soit **M_{eau}** ce point).
- **Calcul de la porosité accessible à l'eau :**

Calculer par la formule :

$$V_p = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

Où :

- V_p : volume des vides (%).
- M_{sec} : poids de l'échantillon après étuvage (g).
- M_{air} : poids à l'air immersion et ébullition (g).
- M_{eau} : poids à l'eau immersion et ébullition (g).

Notons que cette opération a été mesurée à chaque type de mélange citée précédemment.

- **Mesure le taux d'absorption d'eau : EN 1097**

La présente norme a pour objet d'exposer la technique de la mesure du coefficient d'absorption d'eau des agrégats.

- **Méthode d'essai**

Dans notre travail nous avons utilisés l'éprouvette cubique 10x10x10 cm. Avant tout essai, les éprouvettes sont séchées à la température de 105°C jusqu'à masse constante. On considère que cette masse est atteinte lorsque l'écart entre deux pesés effectuées à une heure d'intervalle est au plus égale à 1/1000 (Généralement, il suffit de 15heur à l'étuve pour éteindre cette masse). Par la suite la précision admise sur les pesées est de 1/1000.

L'absorption d'eau à la pression atmosphérique est $M_2 - M_1$. Alors le taux d'absorption sera calculer a partir cette formule :

$$\text{Abs} = (M_2 - M_1) / M_1$$

Où :

Abs : taux d'absorption.

M1 : masse d'éprouvette après l'étuvage.

M2 : masse d'éprouvette saturée d'eau.

II.7.2.7. Coefficient de ramollissement :

Le coefficient de ramollissement est un rapport de la résistance à la compression d'un matériau saturé d'eau R_{sat} à la résistance à la compression du matériau sec R_{sec} .

Les résistances R_{sat} et R_{sec} sont mesurées sur éprouvettes cubiques 10x10x10 cm à 28 jours d'âge

$$K_{ram} = R_{sat} / R_{sec}$$

Où :

Kram : Coefficient de ramollissement.

R_{sat} : Résistance à la compression d'un matériau saturé d'eau (en MPa).

R_{sec} : Résistance à la compression d'un matériau sec (en MPa).

II.7.3. Investigation microstructurale :

II.7.3.1. Analyses par spectroscopie infrarouge : [40]

La spectroscopie FT-IR est une technique basée sur l'interaction entre un rayonnement IR et un échantillon pouvant être solide, liquide ou gazeux. elle mesure les fréquences aux quelles l'échantillon absorbe le rayonnement, ainsi que l'intensité de ces absorptions. Les fréquences sont utiles pour l'identification de la composition chimique de l'échantillon car les groupes fonctionnels chimiques sont responsables de l'absorption du rayonnement à différentes fréquences. La concentration d'un composant peut être déterminée en fonction de l'intensité d'absorption.

Cet essai est exécuté au niveau du laboratoire de recherche en chimie de l'université d'El Oued, aux échéances 07, 28 jours.

Les spectres FT-IR ont été enregistrés en utilisant un spectrophotomètre SHIMADZU IRAffinity-1. Les spectres des échantillons du béton ont été enregistrés en broyant les échantillons en poudre, en mélangeant la poudre avec une petite quantité de poudre de KBr (bromure de potassium) (0.198g poudre KBr + 0.002g béton) et en compactant le mélange pour obtenir un disque.

Plus précisément, la gamme de fréquences dans l'infrarouge moyen (4000 à 400 cm^{-1}) avec une résolution de 8 cm^{-1} . Trente scans ont été enregistrés à chaque fois.



Figure II.7: Spectrophotomètre [40]



Figure II.7: Echantillons pour essai IR

II.8. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre, les matériaux utilisés dans l'étude des bétons, les résultats des essais de caractérisation de ces matériaux ont été exposés, d'après ces résultats, on a pu tirer les observations suivantes :

Deux particularités distinguent les granulats recyclés de béton de démolition des granulats naturels : la gangue de ciment de l'ancien mortier attachée aux granulats primaires et la présence de quelques impuretés [56].

Les granulats recyclés de béton de démolition sont de surface rugueuse, de forme anguleuse, de granulométrie grossière, de faible densité, de forte porosité et donc d'absorption d'eau élevée et de faible résistances mécaniques.

Les granulats recyclés présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons courants. Cependant, ils ont une faible résistance mécanique qui peut diminuer fortement la résistance globale du béton.

Le sable recyclé est un sable friable qu'il faut éviter dans les bétons soumis à l'usure. Il favorise la perméabilité et l'augmentation de l'air occlus dans les bétons par sa granulométrie grossière, on a constaté aussi que le sable recyclé a une masse volumique inférieure et plus légers que à celle de sable naturel.

En conclusion, des différents mélanges seront confectionnés à base de ces matériaux, En substituant le sable recyclé par un sable naturel de la zone de Djamaa avec des pourcentages de substitutions données, afin d'apprécier leurs influence sur les performances du béton obtenu.

CHAPITRE III

Analyse et discussions des résultats

CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, en identifiant les propriétés des granulats recyclés et ayant un impact sur le comportement des bétons BR0, BR25, BR50, BR75, BR100, confectionnés avec des granulats recyclés à différents taux de remplacement de la fraction 0/5 par un sable naturel (0%, 25%, 50%, 75% et 100%). Les granulats recyclés sont utilisés à l'état mouillé. Suivis d'une comparaison avec ceux reproduits entre eux et entre un béton témoin à base des granulats naturels.

III.2. Béton à base de granulats recyclés de béton démolie avec la substitution de sable recyclé par le sable naturel

III.2.1. Ouvrabilité

La substitution de sable recyclé par le sable naturel dans le béton a un effet direct sur la quantité d'eau utilisée dans le mélange du béton et donc sur la maniabilité du béton.

Nous avons préparé plusieurs mélanges de béton avec différentes proportions de sable naturel et avec une ouvrabilité plastique (6 à 9 cm).

Les résultats de l'influence du taux de substitution de sable sur l'ouvrabilité des bétons confectionnés pour une dosage en eau et super plastifiant constante sont présentés dans la figure III.1. Nous notons que l'augmentation de l'ouvrabilité est directement proportionnelle à l'augmentation du pourcentage de substitutions du sable recyclé par le sable naturel.

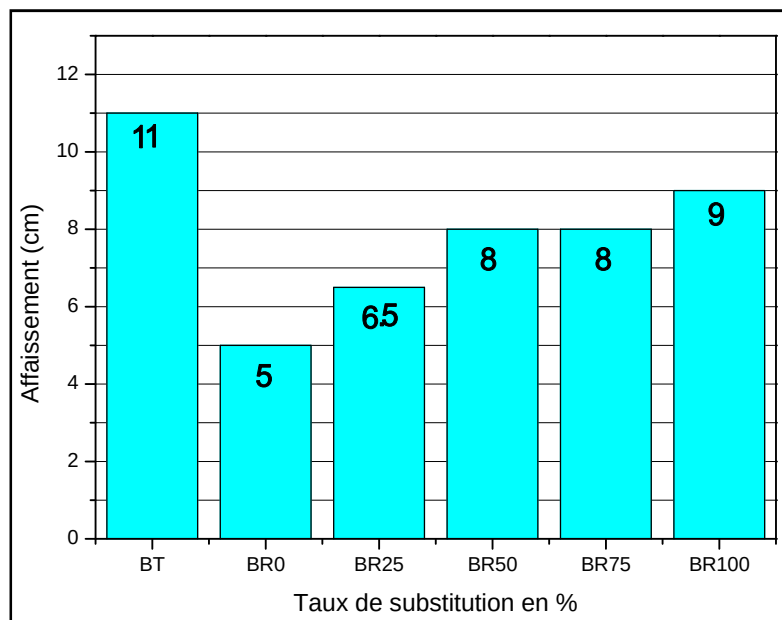


Figure III.1 Influence du taux de substitution de sable sur l'ouvrabilité

L'absorption d'eau des granulats recyclés de béton est pratiquement inévitable et affecte le comportement rhéologique du béton frais ainsi que sa résistance au gel-dégel, Cette absorption est

constatée dans les compositions à base de ces granulats, Pour s'affranchir de celle-là, une quantité d'eau supplémentaire est indispensable pour conserver une ouvrabilité plastique similaire. L'absorption est la conséquence de la présence d'une structure alvéolaire de l'ancien mortier collé aux granulats recyclés ainsi les sables recyclés sont caractérisés par une structure anguleuse et, par conséquence, une surface spécifique plus développée.

La substitution partielle du sable recyclé par le sable naturel, augmente la maniabilité [Topçu et al, 2004]. Cependant, la formulation est généralement mise au point avec un objectif de consistance initiale (exprimée sous forme d'affaissement au cône).

Tout l'éventail des valeurs d'affaissement est à priori envisageable avec des matériaux recyclés, avec des dosages en eau plus forts que pour les bétons ordinaires. Par contre, les possibles phénomènes d'absorption d'eau différée par les granulats (dont l'essentiel se produit dans les 15 premières minutes de la vie du béton) et l'utilisation d'adjuvants, en présence d'impuretés diverses modifiant la chimie de l'hydratation précoce, augmentent le risque de perte rapide de maniabilité [Ravindrarajah et al, 1987]. Certains auteurs préconisent d'ailleurs de pré-saturer par immersion dans l'eau les granulats recyclés avant utilisation en béton [Kashino et Takahashi, 1988].

III.2.2. Densité

La variation de la densité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton, La figure III.2 montre que la substitution du sable recyclé par le sable naturel augmente la densité du béton.

La décroissance de la densité dans le cas de BR0 par rapport les compositions BR25, BR50, BR75, BR100, s'explique logiquement à cause de la porosité plus élevée et des impuretés légères présentes dans ces granulats, en plus de la faible densité de la gangue de ciment. [47] On peut remarquer aussi que les densités des bétons à base de ces granulats sont plus faibles que celles des bétons à base de granulats recyclés partiellement substitués par le sable naturel, d'autre part un béton dense sa résistance sera élevée.

Ces résultats montrent que le béton recyclé est moins compact que le béton naturel, donc ses propriétés mécaniques sont influencées négativement, une bonne vibration s'impose pour avoir un béton comparable au béton de référence.

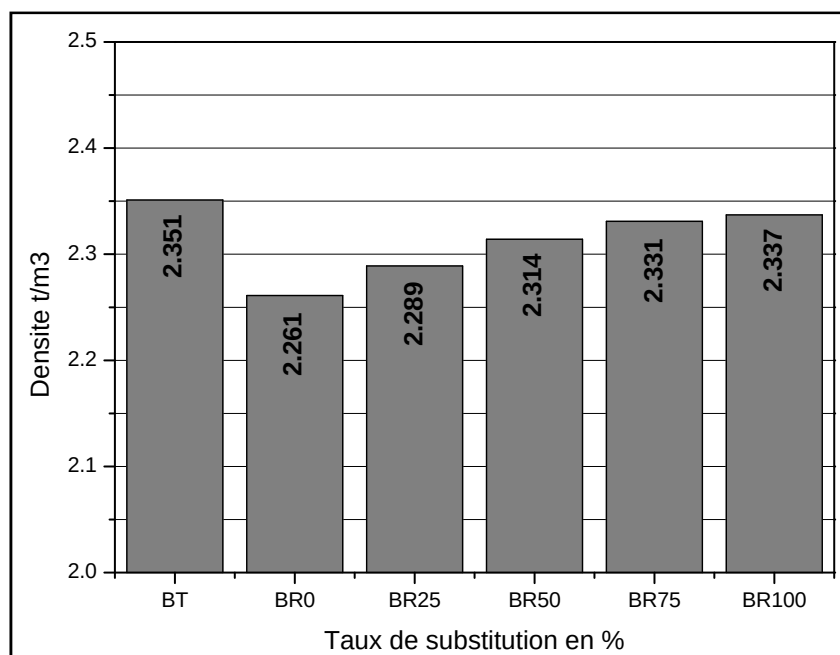


Figure III.2 : Variation de la densité selon le taux de substitution

III.2.3. Résistance à la compression

Les résultats de l'essai de compression simple sur éprouvettes en béton à base de granulats recyclés (béton démolé) sont présentés dans la Figure III.3

L'un des objectifs de cette étude est d'obtenir des résultats de résistance à la compression simple de 25 à 30 MPa, d'après la figure III.3 on a seulement deux compositions (BR75, BR100) sont dépassent le seuil de 25 MPa. La résistance à la compression des bétons diminue lorsque le pourcentage en granulats recyclés augmente.

Le béton à base des granulats recyclés BR0 présente une perte de résistance de l'ordre de 36% par rapport au BT, la résistance à la compression augmente en fonction le taux de substitution de sable recyclé par le sable naturel pour les bétons BR25, BR50, BR75, BR100 par rapport au BR0.

En effet, il a été montré que le rapport Eau/ciment est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton. L'adhérence entre le mortier et le gros granulat influence considérablement la résistance à la compression, ce qui traduit la diminution de la résistance du béton à base de granulats recyclés.

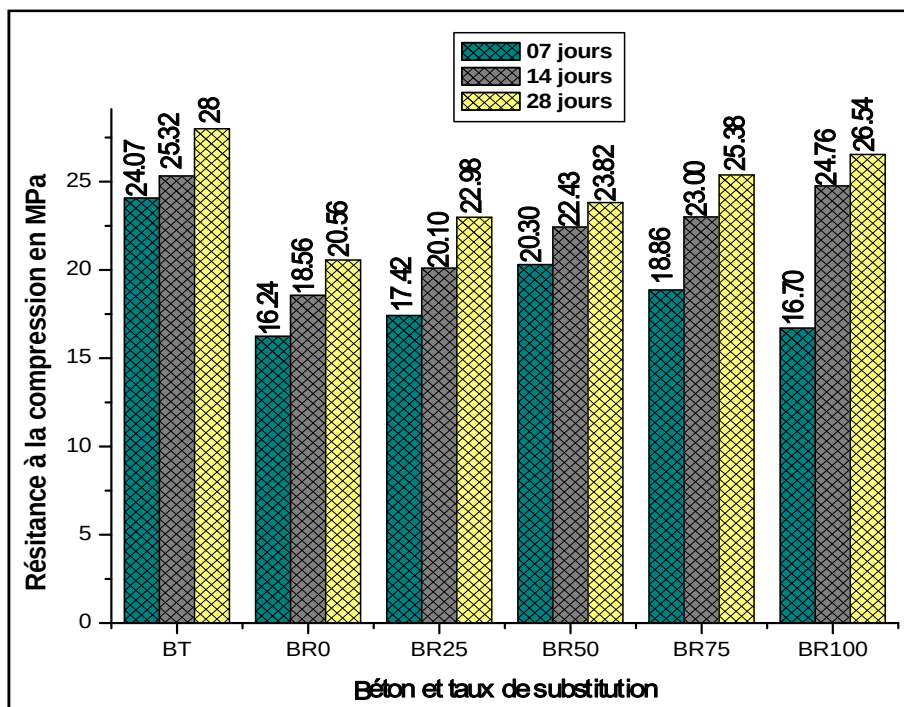


Figure III.3 : Variation de la densité selon le taux de substitution

III.2.4. Résistance à la compression

- Une augmentation de la résistance à la traction par flexion au cours du temps pour les différents bétons confectionnés.
- Le béton BR0, BR25, BR100 ont une progression des résistances presque similaire au cours du temps. Même remarque pour les bétons BR50, BR75.
- Il est à constater que les valeurs minimales de la résistance à la traction sont obtenues dans le béton BR0, BR25 et que l'effort maximal obtenu dans le béton BR50, BR75. On remarque aussi une perte de résistance de l'ordre de 11% entre compositions substitués en sable naturel, et une perte de 22% entre BT et BR0.

la figure III.4 montre que plus le taux des granulats recyclés augmente plus la résistance diminue, cela est plus remarquable à 28j, cette diminution peut être liée selon [Tung et al., 2011] et [Kou et al., 2009] à la faible adhérence au niveau de l'interface agrégats (granulats) mortier matrice cimentaire

La zone de contact des granulats recyclés constitue une zone de faiblesse à travers laquelle se propage la fissure d'une part et d'autre part les zones de rigidité plus faible constituent aussi des zones de faiblesse. [57]

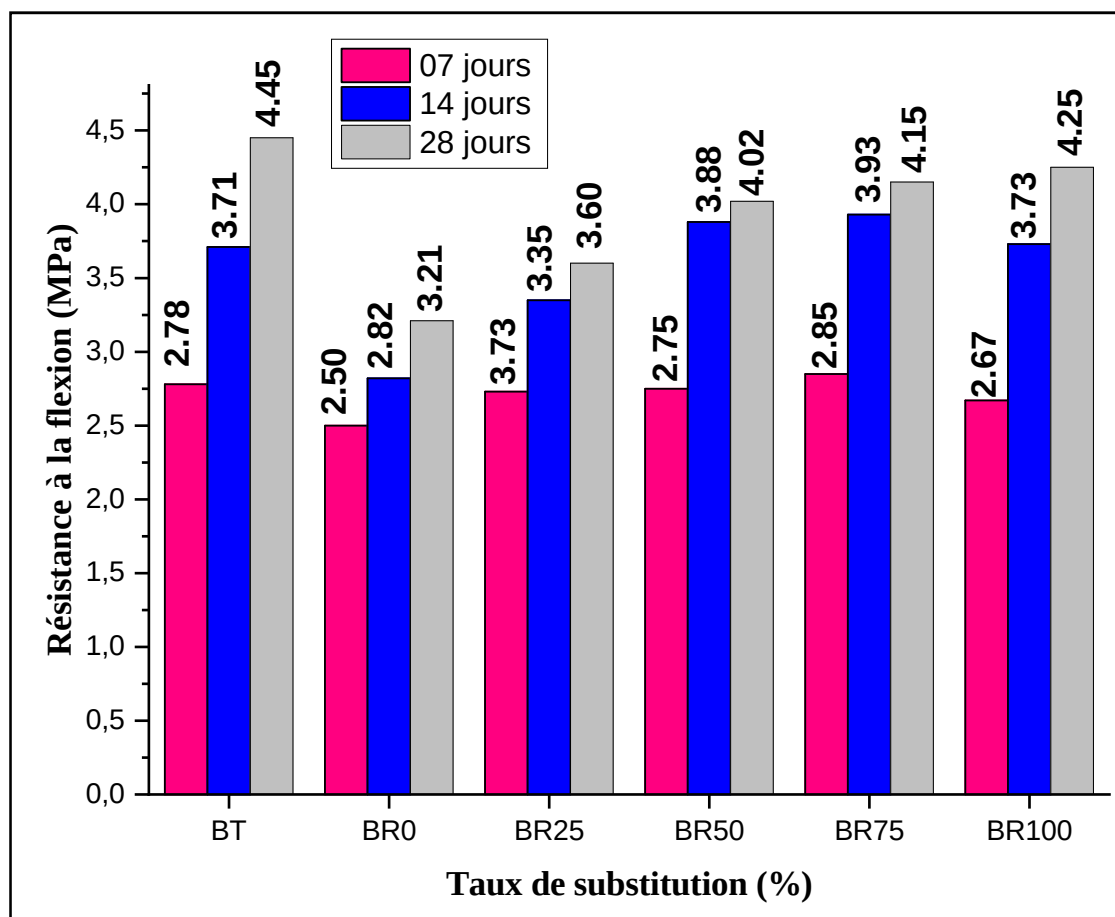


Figure III.4 : Variation de la de la résistance à la flexion selon le taux de substitution

III.2.5. Essai d'auscultation ultrasonique

On remarque que les bétons BR50, BR75, BR100 ont des vitesses très proches de l'ordre de 3700 m/s, et le béton BR0 marque une basse vitesse de l'ordre de 3333 m/s.

D'après les résultats obtenues et selon la classification de RILEM on peut dire que les bétons BT, BR25, BR50, BR75, BR100 sont bons, et le béton BR0 assez bon.

ces valeurs dépendent essentiellement à la nature des granulats utilisés et le pourcentage de substitution du sable naturel, la vitesse d'ultrason nous donne des informations sur la compacité et l'homogénéité du béton et par conséquent une bonne indication sur le comportement mécanique de ces bétons.

Tableau III.1: Classification de béton selon la vitesse du son (RILEM)

Vitesse du son (m/s)	Appréciation de la qualité de béton
> 4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre

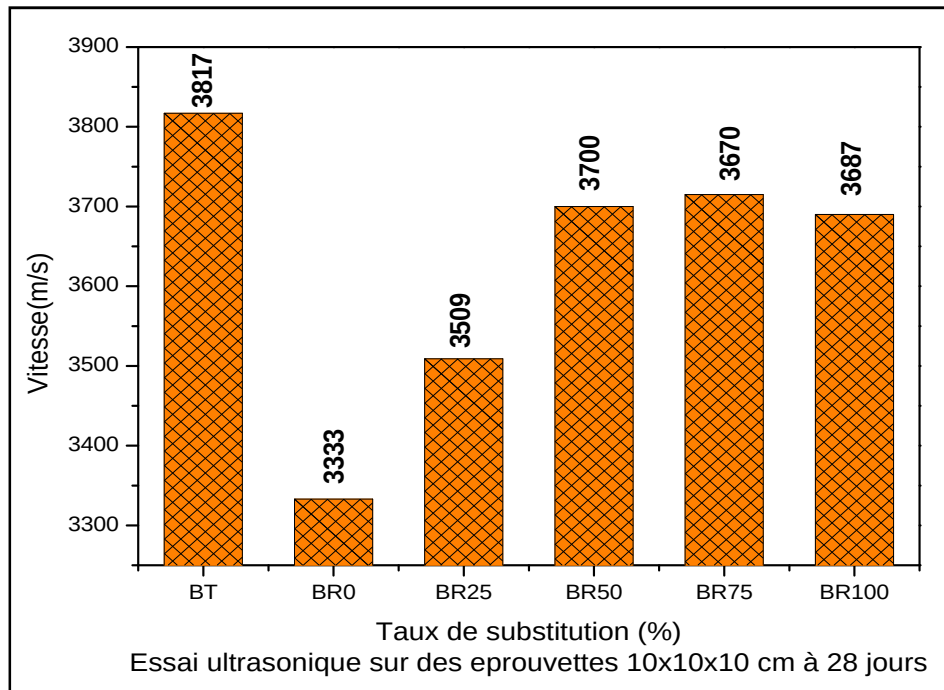


Figure III.5 : Variation de la vitesse du son selon le taux de substitution

III.2.6. Module d'élasticité dynamique

Le module d'élasticité du béton augmente lorsque sa résistance à la compression augmente. Cependant, chose certaine, il est conditionné par le module d'élasticité du granulat et par les proportions volumétriques qu'il occupe dans le béton [58].

Pour les bétons courants, le module d'élasticité d'un béton peut varier de 25 GPa à 45 GPa, d'après la figure III.6 tous les bétons dépassent le seuil de 25 GPa, les bétons BR50, BR75, BR100 ont presque la même valeur (32 GPa), nous notons également que le béton de granulats recyclés BR0 a enregistré la valeur la plus faible par rapport au béton témoin BT.

La valeur du module d'élasticité augmente proportionnellement à l'augmentation du taux de substitution de sable recyclé par le sable naturel.

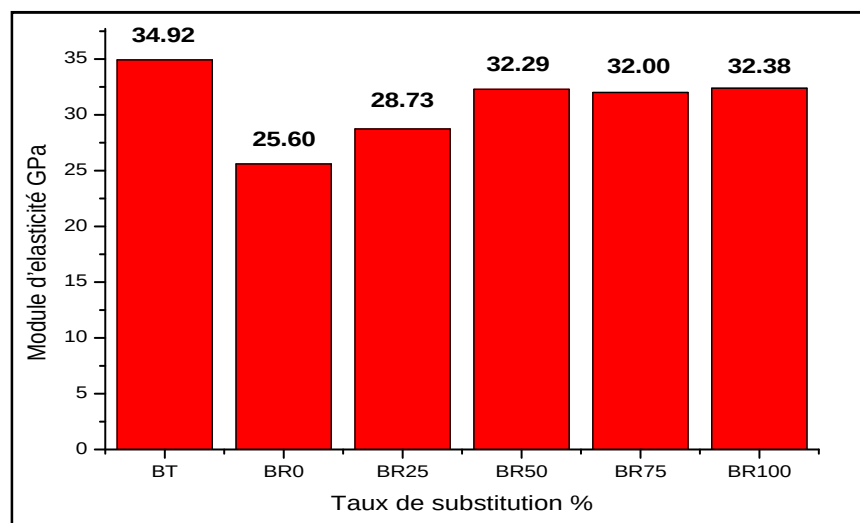


Figure III.6: Variation du module d'élasticité selon le taux de substitution

III.2.7. Coefficient de ramollissement

Le coefficient de ramollissement est le rapport entre la résistance à la compression d'un matériau saturé d'eau (R_{sat}) à la résistance à la compression du matériau sec (R_{sec}). Cette valeur est affectée par le type d'agrégat utilisé, dans notre recherche Les résistances R_{sat} et R_{sec} sont mesurée sur éprouvette $10 \times 10 \times 10$ cm à 28 jours d'âge, les formulations de béton ont un coefficient de ramollissement supérieur à 0,8, ce qui indique que les bétons obtenus résistent à l'humidité.

Le béton de granulats recyclés BR0 a donné la valeur la plus faible parmi les autres bétons avec un pourcentage de 34 % inférieur au béton témoin BT.

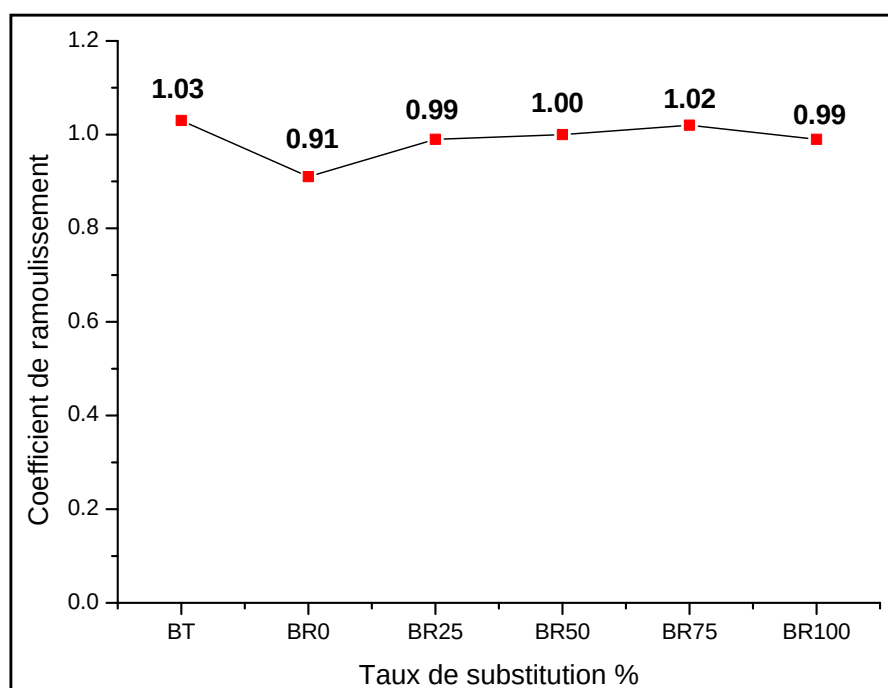


Figure III.7 : Variation du coefficient de ramollissement selon le taux de substitution

III.2.8. Cinétique d'absorption capillaire des bétons recyclés

La cinétique d'absorption a été réalisée dans les conditions normale pour tous les types de bétons et pour chaque échéance (07, 14, et 28 jours) de mesure (t). L'influence du taux de substitution du sable recyclé par le sable naturel sur l'absorption d'eau par capillarité du différent type de bétons.

III.2.8.1. Absorption capillaire à 28 jours d'âge

La Figure III.8 nous montre l'évolution de l'absorption de l'eau par capillarité des différents bétons et on constate ce qui suit :

Les valeurs montrent une augmentation d'absorption avec le temps pour tous les mélanges. Le béton témoin est le moins absorbant de l'eau par succion capillaire. Par contre, le béton BR50 est le plus absorbant suivi du BR25, cette absorption est due à la porosité de la pâte de ciment qui représente la seule phase continue dans le béton. La pâte de ciment est plus poreuse dans le cas du

sable recyclé substitué de 50% de sable naturel, même remarque pour BR25 mais avec une valeur relativement faible.

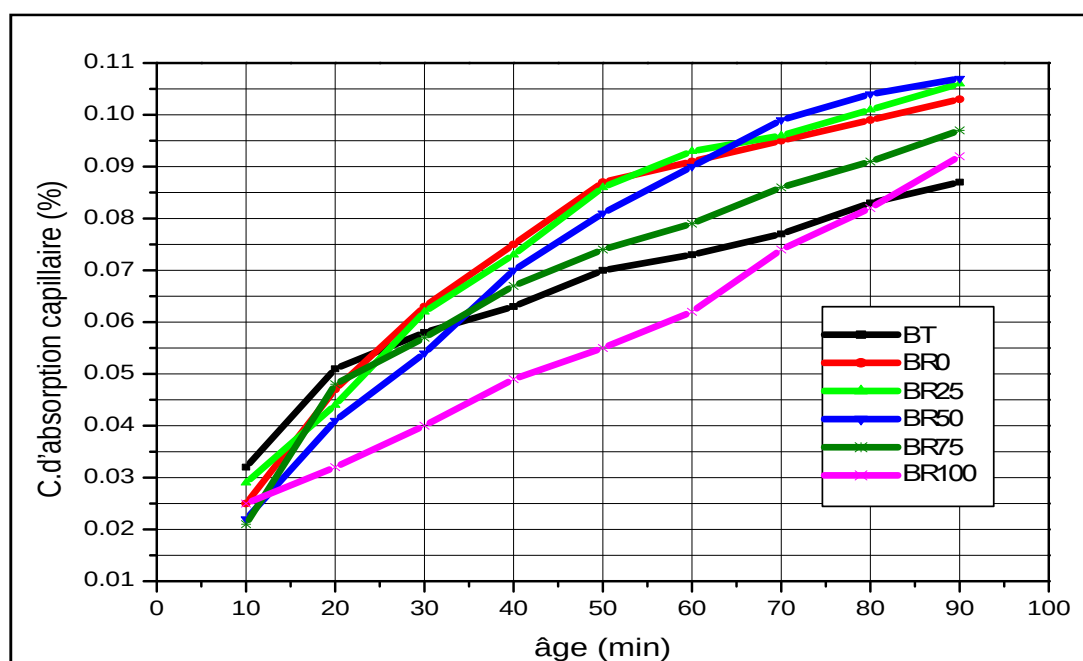


Figure III.8 : Influence du taux de substitution sur l'absorption d'eau par capillarité

III.2.8.2. Porosité et l'absorption

La porosité et l'absorption d'eau sont des paramètres indicateurs de la durabilité des bétons, car ils traduisent la capacité des substances agressives à pénétrer et endommager le béton. Le tableau III.2 regroupe l'ensemble des résultats obtenus de la porosité accessible à l'eau et le taux d'absorption d'eau des bétons testés.

L'absorption d'eau par immersion est le résultat des mouvements capillaires dans les pores du béton qui sont ouverts sur le milieu ambiant. Elle est déterminée par immersion d'une éprouvette de béton dans l'eau jusqu'à masse constante et en mesurant l'augmentation de masse. Elle est exprimée en pourcentage de la masse sèche de l'éprouvette. Etant une image de la porosité, l'absorption d'eau est utilisée comme un indicateur de la qualité du béton.(figureIII.9)

Tableau III.2 La porosité et à l'absorption des différents bétons étudiée

DESIGNATION	ABSORPTION	POROSITE
BT	8.7	12.96
BR0	10.3	15.65
BR25	10.6	15.68
BR50	10.7	15.62
BR75	9.7	13.96
BR100	9.2	13.24

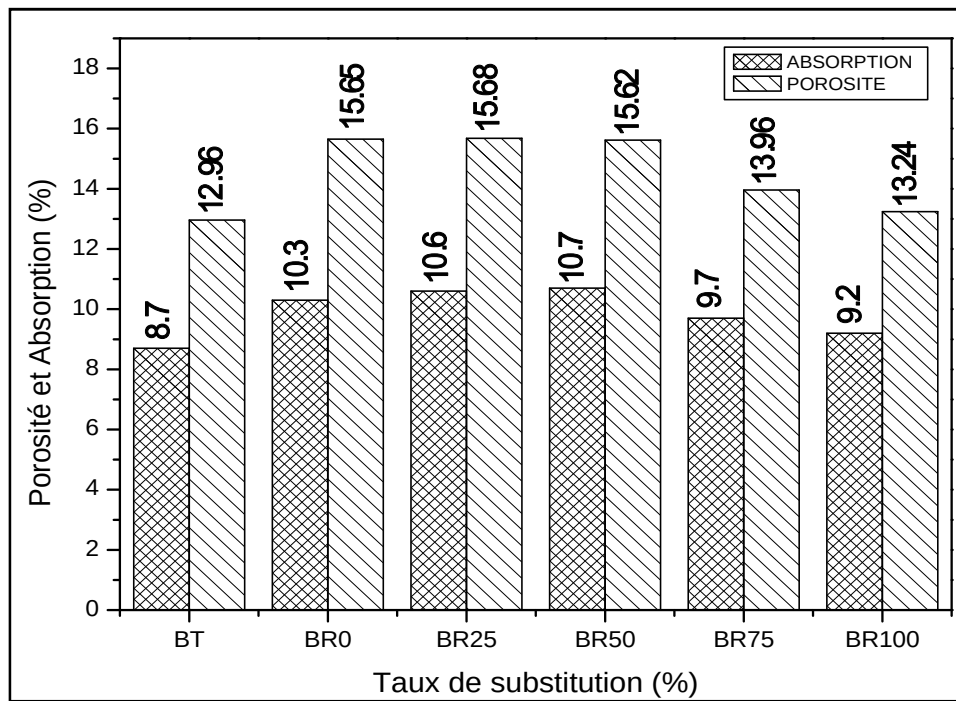


Figure III.9 : Influence du taux de substitution sur la porosité et l'absorption d'eau

III.3. Relation entre module de finesse, densité sèche OPN et affaissement

D'après la Figure III.10 on remarque que les valeurs du module de finesse ont un faible effet sur la valeur de la densité sèche pour tous les sables utilisés sauf le cas du béton BR0, ces valeurs sont comprises entre 1.703 et 1.710 t/m³. Le sable SR0 a donné la valeur de densité la plus faible (1.66 t/m³), Ceci est dû à la proportion, nature des éléments fins et à la porosité des éléments compris entre 0,08 et 05 mm.

On peut dire aussi que l'affaissement était fortement dépendant des propriétés physiques (propreté et module de finesse) des sables. Ces résultats seront confirmés dans la prochaine partie après l'utilisation du sable de dune.

La réduction du module de finesse par l'augmentation du taux de substitution améliore l'ouvrabilité du béton.

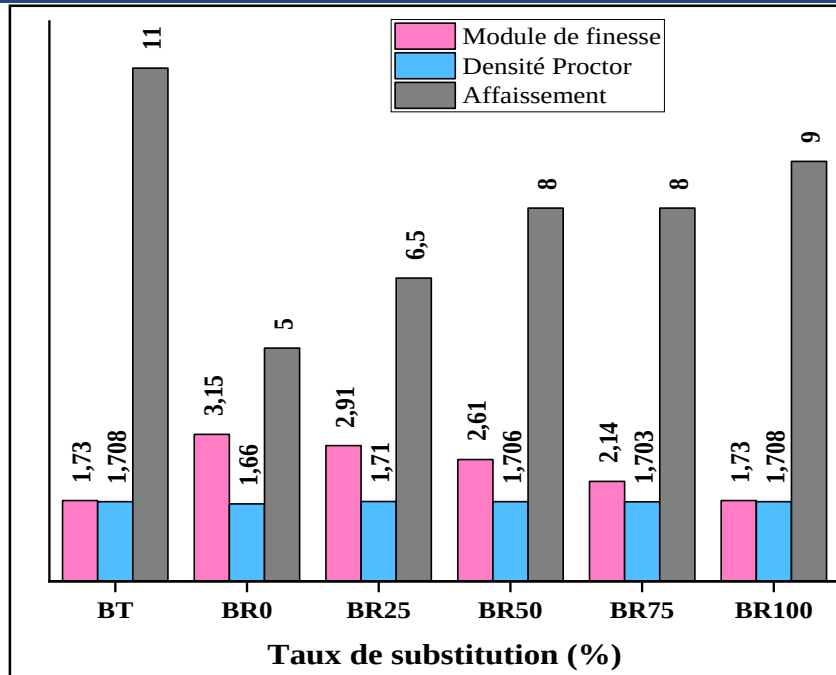


Figure III.10 : Relation entre module de finesse, densité sèche OPN et Affaissement

III.4. Corrélation entre résistance à la compression et vitesse du son

La mesure par vitesse du son donne une estimation acceptable de la résistance à la compression pour le béton à base des granulats naturels ainsi que pour le béton à base des granulats recyclés. Il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre la valeur de la vitesse du son et la résistance du béton. En revanche, La vitesse des ondes est liée à la masse volumique du béton, par conséquent, un béton qui assure une grande vitesse est un béton résistant.

Les pourcentages des résistances par vitesse du son ainsi que ceux des masses volumiques des différents bétons sont similaire. Ceci confirme la proportionnalité de la vitesse du son à la masse volumique du béton. La différence remarquée entre les résistances du béton ordinaire est due à la résistance mécanique des granulats lors de la compression.

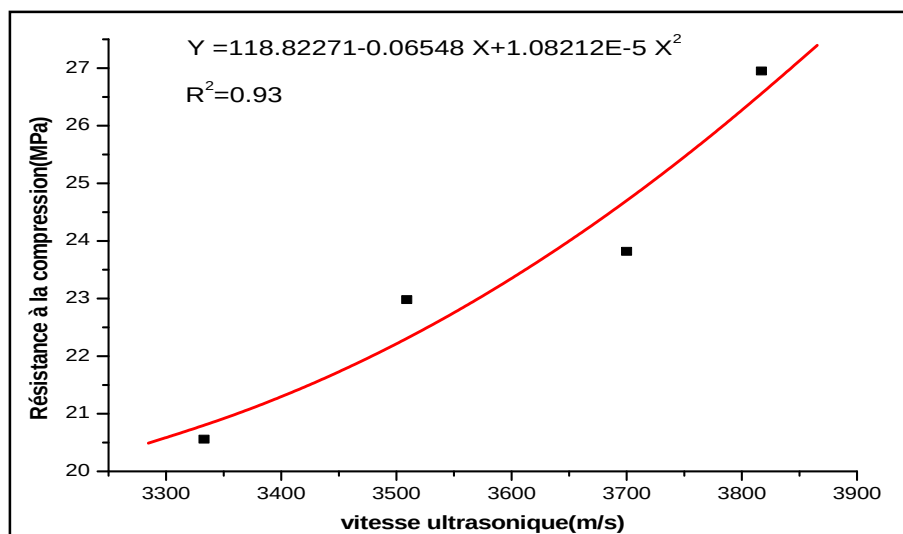


Figure III.11: Corrélation entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique à 28 jours d'âge

III.5. Corrélation entre les résistances mécaniques R_c , R_f

On constate que l'augmentation de la résistance à la compression est proportionnelle avec celle de la résistance à la flexion.

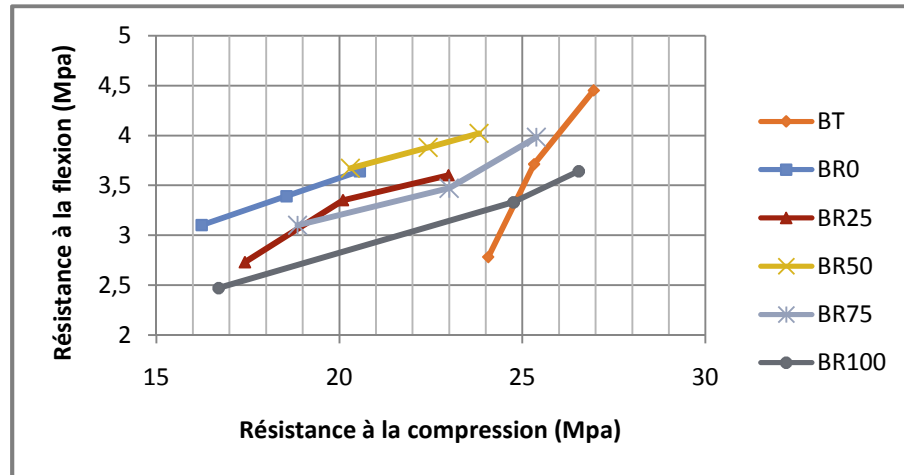


Figure III.12 : Corrélation entre la résistance à la compression et la résistance à la flexion à 28 jours d'âge

III.6. Corrélation R_f en fonction de (ρ)

La figure III.12, présente la courbe de corrélation établie entre les résistances à la flexion par écrasement « R » et la densité à l'état frais « ρ » correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme polynomiale présentée par l'équation :

$Y = 949.37708 - 828.95476 X + 181.6347 X^2$ avec un coefficient de corrélation $R_f = 0,99$.

D'après cette figure III.12, on peut conclure qu'il existe une excellente corrélation ($R = 0,99$) entre la résistance à la flexion et la densité à l'état frais correspondants pour l'ensemble des bétons étudiés.

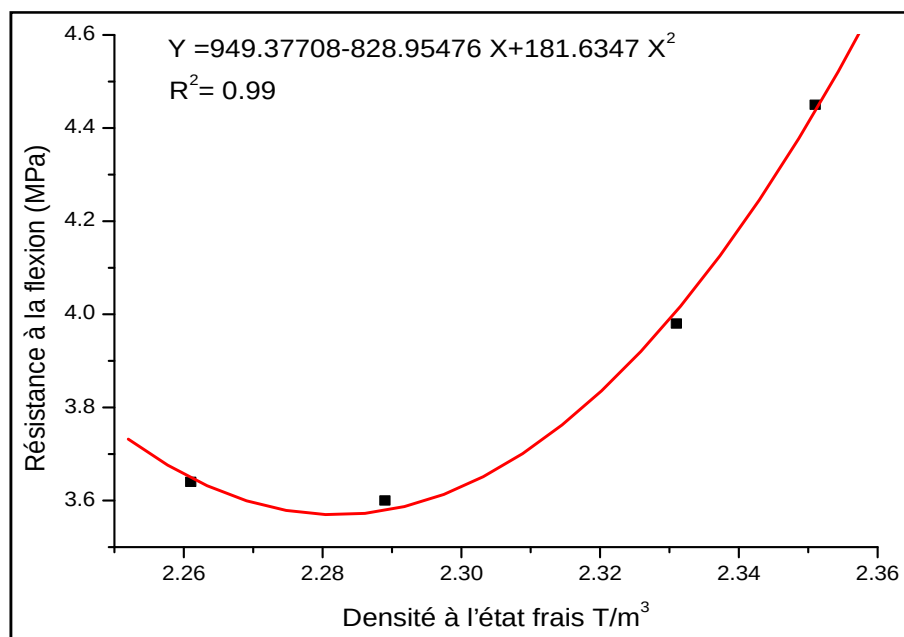


Figure III.13 : corrélation entre résistance à la flexion et densité à l'état frais

III.7. la corrélation entre l'affaissement (A) et la densité à l'état frais (ρ)

La présente courbe de corrélation établie entre l'affaissement «A» et la densité à l'état frais « ρ » correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme linéaire présentée par l'équation : $Y=58.784X-128.10$ avec un coefficient de corrélation $R^2= 0.95$.

D'après cette figure III.13, on peut conclure qu'il existe une bonne corrélation ($R^2 = 0,95$) entre l'affaissement et la densité à l'état frais correspondants pour l'ensemble des mélange.

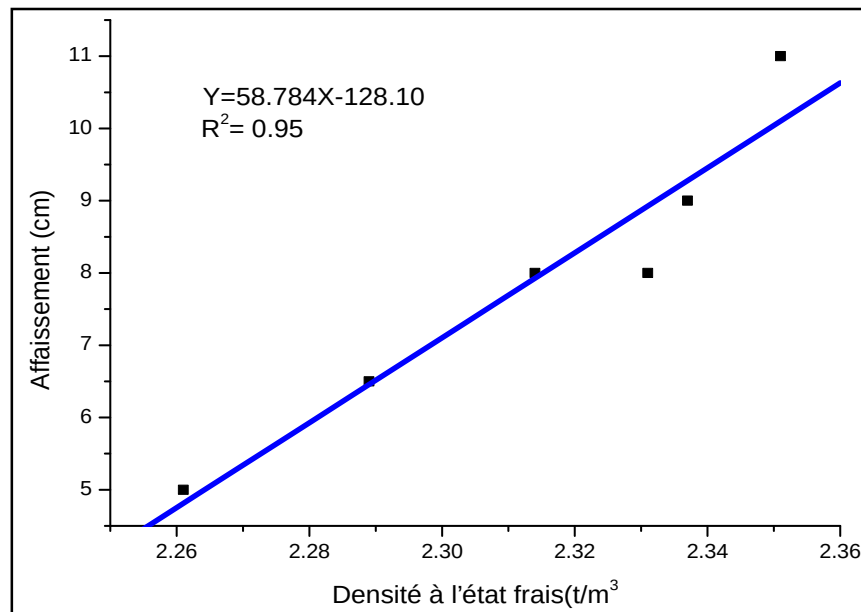


Figure III.14 : corrélation entre l'affaissement et la densité à l'état frais

III.8. la corrélation entre (E_d) en fonction de (V)

D'après la Figure III.14, on peut conclure qu'il existe une corrélation excellent ($R^2 = 0,99$) entre module élasticité dynamique et la vitesse ultrasonique pour tous les type de bétons étudié.

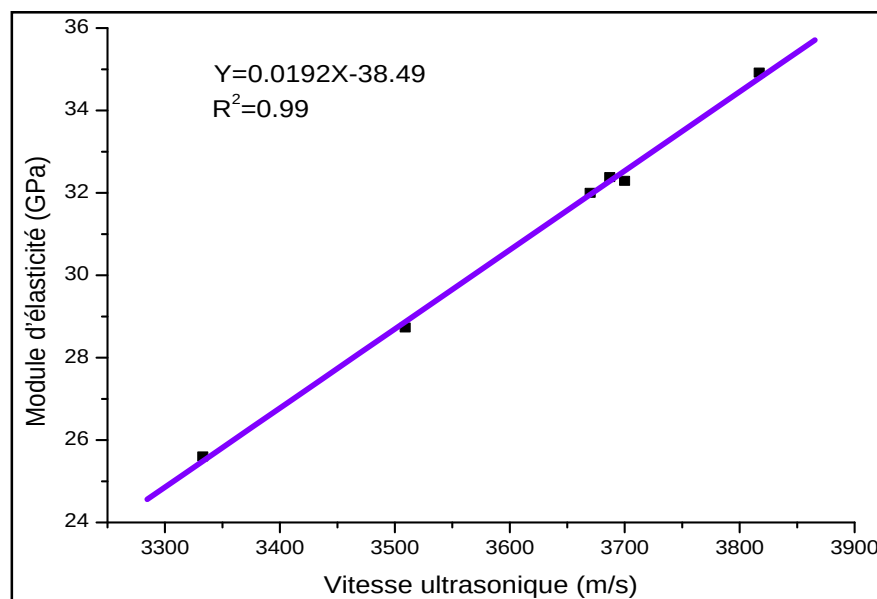


Figure III.15 : Corrélation entre (E_d) en fonction de (V)

III.9. Analyses par spectroscopie infrarouge

Les résultats d'identification des différentes bandes d'absorption apparues sur les spectres IR des six échantillons des bétons BT, BR0, BR25, BR50, BR75 et BR100 (figure III.(15,16,17,18,19,20)), permet d'obtenir les informations suivantes :

Le spectre IR de l'échantillon BR0 a montré quatre bandes de vibration d'élongation C-O intenses et bien résolues à (1418 cm^{-1} , 865 cm^{-1} , 590 cm^{-1}) et une bande C-O moins intense à ($1815,652\text{ cm}^{-1}$) caractéristiques de la calcite. Des bandes des vibrations d'élongation Si-O observé à $1112,243\text{ cm}^{-1}$, 1706 cm^{-1} accompagnée d'une bande vers 956 cm^{-1} ainsi que des bande de O-H vers 2420 cm^{-1} , 3390 cm^{-1} En raison de produits d'hydratation d'aluminates (DJEDID.T,2020).

Les spectres IR des échantillons BR75 et BR100, Nous avons lire des mêmes valeurs d'absorption des bandes de C-O à (1410 cm^{-1} , 979 cm^{-1}) caractéristique de la calcite Cela ne peut être confirmé par DRX, les résultats montrent également des bandes O-H à peu près les mêmes bandes que celles observées pour les échantillons avec un déplacement des positions des bandes à 1640 cm^{-1} , 2510 cm^{-1} , 3470 cm^{-1} pour BR100 et de 1660 cm^{-1} , 3340 cm^{-1} de la part de BR75, explique l'existence du gypse (DJEDID.T,2020).

Les spectres IR des compositions des bétons BR25, BR50 on peut voir des bandes S-O à 770 cm^{-1} , 893 cm^{-1} , 1660 cm^{-1} pour BR25 et de 512 cm^{-1} , 745 cm^{-1} , 1260 cm^{-1} . des bandes d'absorption O-H de produits d'hydratation d'aluminates, sont trouvées au 2730 cm^{-1} , 3650 cm^{-1} chez l'échantillon BR25. De plus les bandes 2090 cm^{-1} , 2670 cm^{-1} , 3650 cm^{-1} observé au sein de l'échantillon BR50 (DJEDID.T,2020). un autre signal de carbonates de calcium C-O localisé à 1430 cm^{-1} entre le deux mélanges, on peut voir aussi des bandes d'absorption C-O à 1580 cm^{-1} , 892 cm^{-1} pour BR25, BR50 successivement

Le spectre IR de mélange BT présente deux bandes d'absorption d'élongation C-O intenses et bien résolues à 1410 cm^{-1} , 871 cm^{-1} signifié l'existence du Carbonates de calcium sont dues à l'ion CO_3^{2-} les résultats montrent également des autres pic d'absorption C-O à 520 cm^{-1} , 709 cm^{-1} . Et d'autre part, les bandes caractéristiques de l'eau constitutive qui apparaissent à 3374 cm^{-1} et d'une bande vers 2570 cm^{-1} correspondant à des modes de vibrations d'élongation de la liaison O-H, on visualise des pic de O-S à 1120 cm^{-1} , 2200 cm^{-1} , 1700 cm^{-1} , 993 cm^{-1}

Nous pouvons constater, d'après les différents spectres des échantillons BR75, BR100 est beaucoup plus similaire (voir figures III.20, III.21), Dans un premier temps nous pouvons dire que les signaux de l'ettringite obtenus sont regroupés aux bandes suivantes : une bande S-O à 993, 960, 893, 930, 970 pour BT, BR0, BR25, BR75, BR100 successivement (DJEDID.T2020), une Bande C-O à 1410 cm^{-1} représentée les mélanges BT, BR75, BR100

les spectres du gypse dans les échantillons BR75, BR100 sont localisés aux bandes S-O: 710,725 cm^{-1} (ces interprétations restent incomplète jusqu'à ce qu'ils soient confirmés avec les résultats de DRX)

Généralement et dans tous les mélanges on remarque des pics (signaux) Plus intenses d'ettringite et de gypse et aussi de calcite, La calcite sont en grande quantité due de la conversion de Ca(OH)_2 en CaCO_3 , Cette constatation indique certainement l'avantage d'utilisation du béton à base des granulats de démolition avec une substitution de sable naturel.(DJEDID.T 2020)

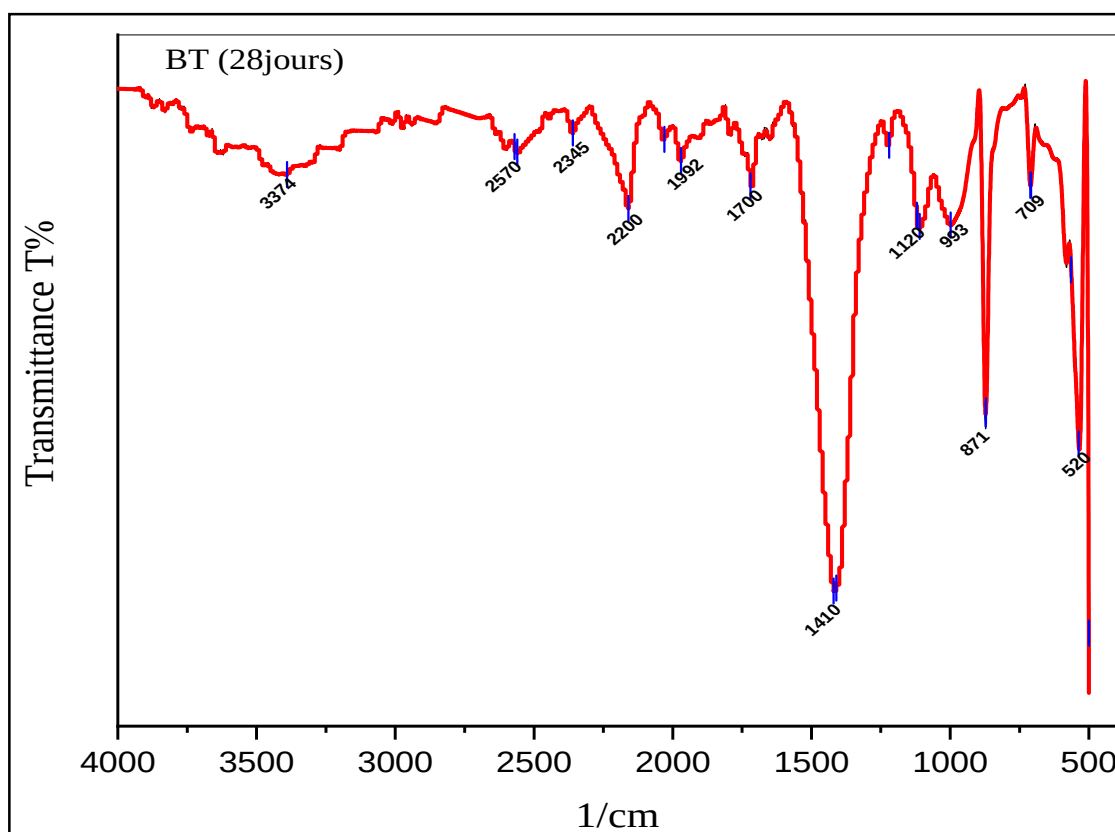


Figure III.16 :spectroscopies infrarouge du béton témoin BT à l'âge de 28 jours

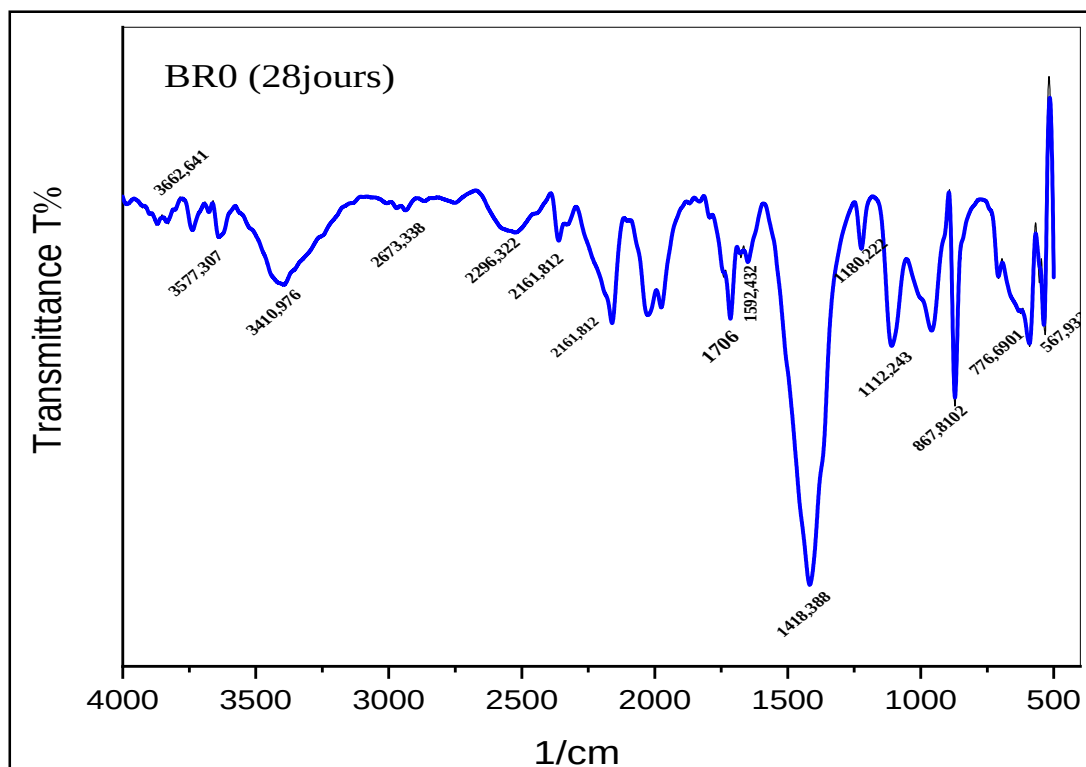


Figure III.17 : spectroscopies infrarouge du béton BR0 à l'âge de 28 jours

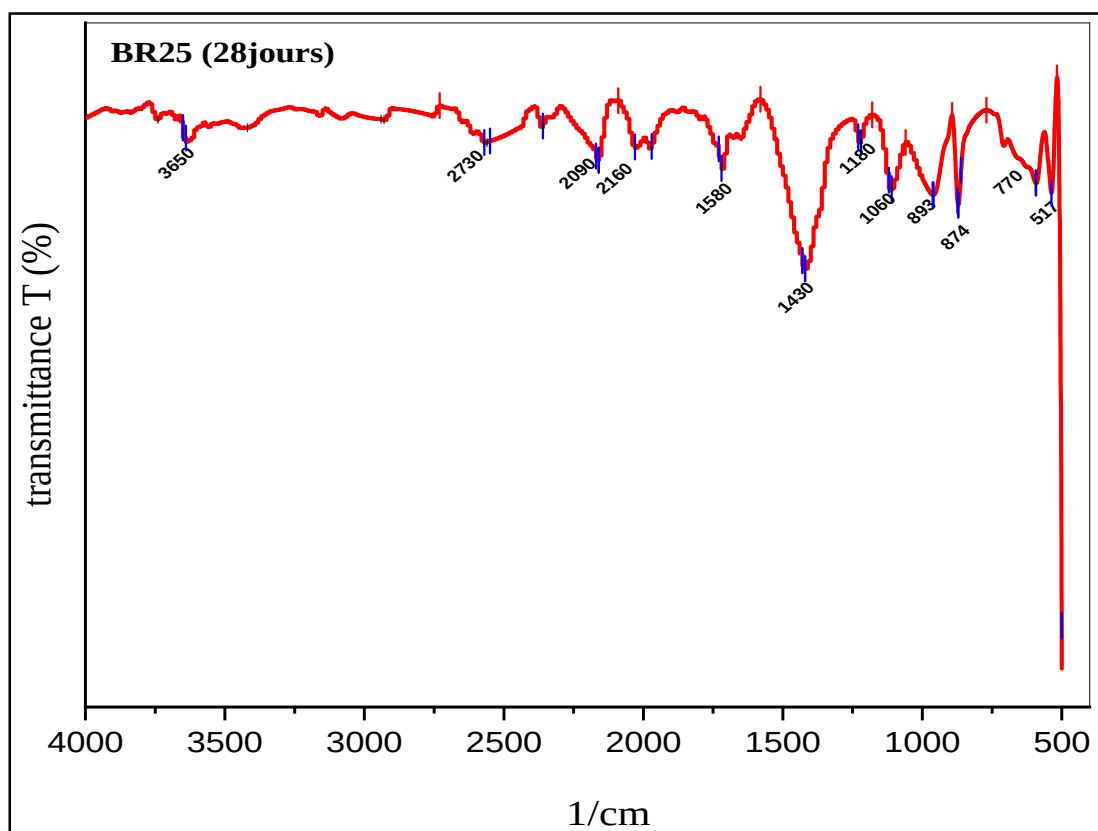


Figure III.18 : spectroscopies infrarouge du béton BR25 à l'âge de 28 jours

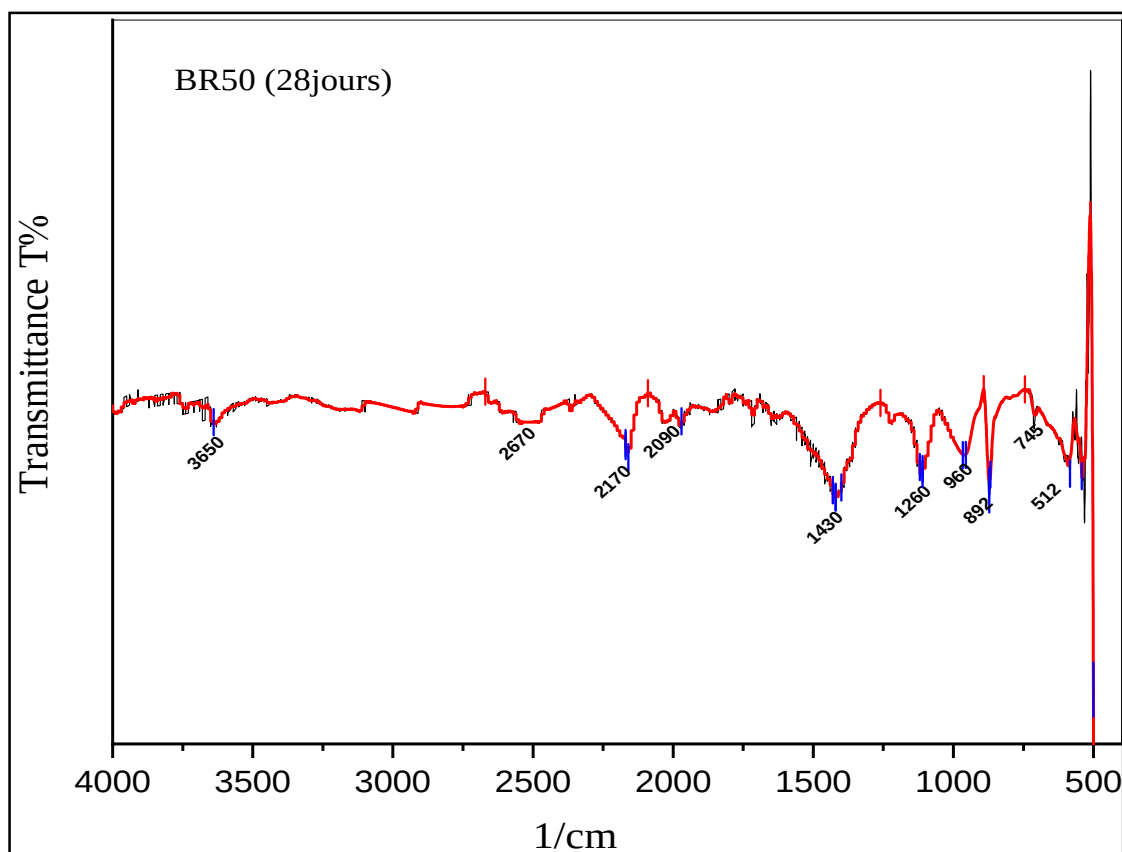


Figure III.19 : spectroscopies infrarouge du béton BR50 à l'âge de 28 jours

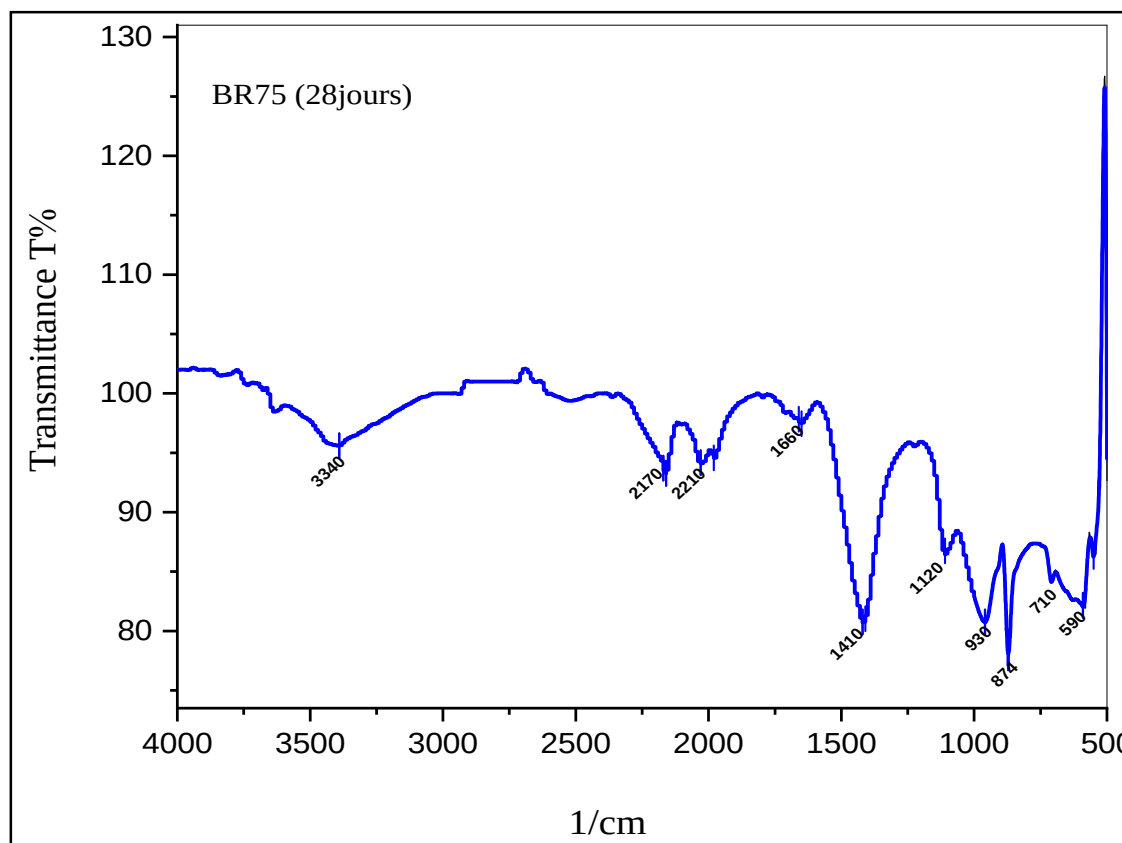


Figure III.20 : spectroscopies infrarouge du béton BR75 à l'âge de 28 jours

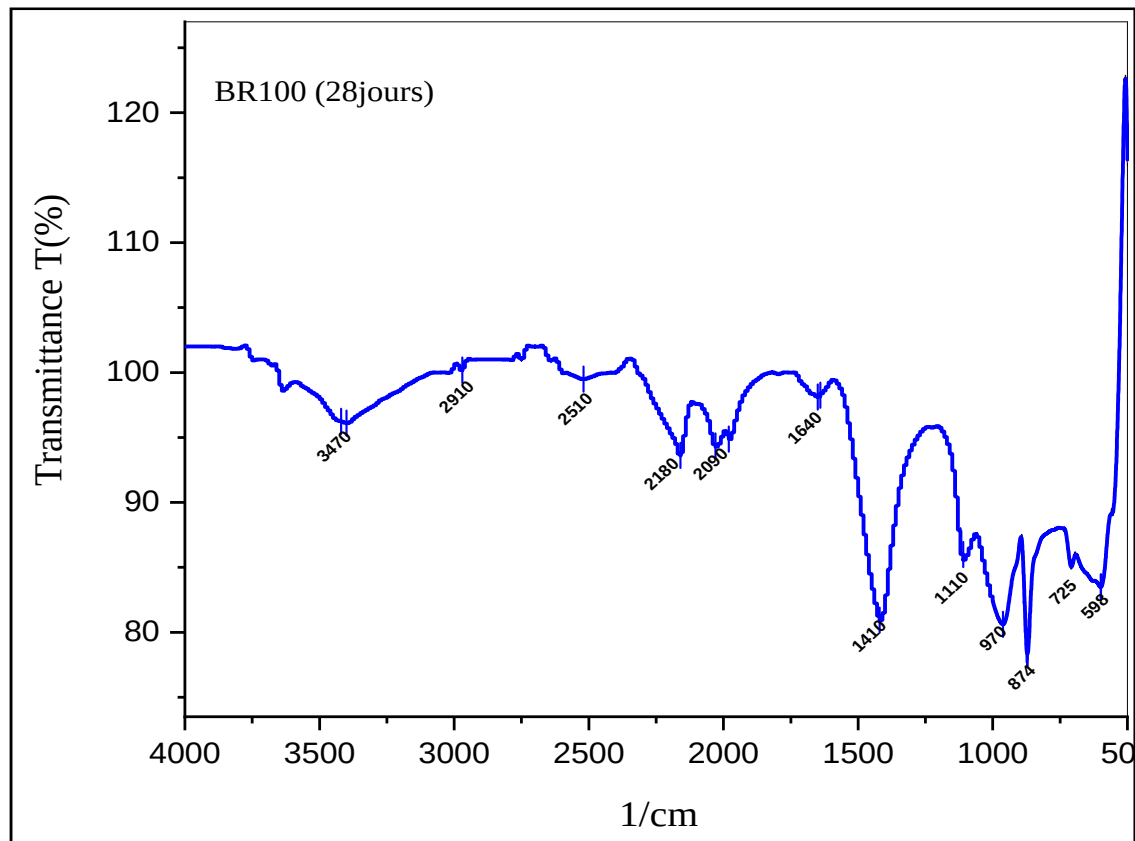


Figure III.21 : spectroscopies infrarouge du béton BR100 à l'âge de 28 jours

III.10. Conclusion

Après la réalisation des essais sur les granulats recyclés, et granulats naturels, et des bétons à l'état frais et l'état durci, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats recyclés sont inférieures à celles des granulats naturels, ceci est principalement lié à la présence de l'ancien mortier collé aux granulats. Où les résultats des essais de dureté des granulats recyclés sont importants par rapport à ceux des granulats naturels et même ils sont touchés des valeurs limites prescrites par les normes, ce qui va rétrécir le champ d'application future des granulats recyclés comme source de granulat pour des bétons de structures.
- Les granulats recyclés se caractérisent par une absorption d'eau importante, due à la présence du vieux mortier, dont il faut en tenir compte lors du dosage en eau, soit en augmentant ce dernier soit en pré-mouillant les granulats pour éviter une dégradation des propriétés du béton.
- Lorsque le rapport S/G augmente, la quantité de sable dans le squelette granulat augmente également et cette augmentation accroît la quantité de particules fines dans le mélange. C'est pour cette raison que la figure III.22 (voire annexe) présente la variation de l'affaissement en fonction du rapport S/G pour les bétons formulés. les résultats présentés à la Figure III.4 indiquent que la substitution du sable recyclé augmente les résistances à la compression dans le cas des sables SR25, SR50, SR75, et SR100. Nous notons que les résistances à la compression s'améliorent dans

le cas des sables SR25, SR50, SR75, et SR100 (11.77% à 29.08%, pour le sable SR0). Ces résultats ont été attribués au module de finesse inférieure du sable naturel, et que l'utilisation du sable recyclé dans des proportions élevées réduit d'avantage le module de finesse de ces sables. Par conséquent, nous pouvons dire que les résistances à la compression sont affectées par le module de finesse et que la réduction du module de finesse permet de combler les vides granulaires.

- vues les caractéristiques physico-mécaniques des granulats recyclés, une diminution de la résistance en compression des bétons en fonction du taux de substitution de sable recyclé par le sable naturel.
- La variation du taux de substitution est retrouvée comme étant un paramètre très influant sur les caractéristiques des mortiers à l'état durci, les résistances sont inversement proportionnelles aux taux de substitution.
- La résistance à la traction par flexion des bétons à base de déchets de brique chute par substitution partielle ou totale des granulats naturels par les granulats recyclés. elle est de l'ordre de 30 à 45% inférieure à celle du béton témoin BT à l'âge de 7 jours et augmente au fur et à mesure au cours du temps jusqu'à 80 à 90% du béton BT à l'âge de 28 jours.
- Le béton à base de granulats recyclés présente des résistances à la compression inférieures aux valeurs souhaitées (25 à 30 MPa), pour les bétons BR0, BR50, par contre, le BR75, BR100 présentent des résultats supérieur à 25 MPa, ces résultats restent inférieure à celles du béton de référence BT, qui a touché le seuil de 28 MPa.
- les applications de notre étude ont montré combien cet outil d'analyse de spectrométrie infrarouge peut être intéressant pour la caractérisation physico-chimique des bétons , et pour l'obtention d'une multitude d'informations intéressantes quand il s'agit de vérifier par comparaison la composition des mélanges BT, BR0, BR25, BR50, BR75 et BR100, soit de connaître que la composition chimique des matériaux (béton) telque d'ettringite et gypse.

**CONCLUSIONS GENERALE
ET
RECOMMANDATION**

Conclusion Générale

Cette étude a été menée pour évaluer l'effet de la substitution du sable recyclé du béton par du sable naturel sur le comportement mécanique, la maniabilité et les propriétés de durabilité du béton, Où nous avons remplacé le sable recyclé par du sable naturel dans les proportions suivantes (0%, 25%, 50%, 75%, 100%), et en comparant les résultats obtenus avec un béton de référence (témoin) entièrement constitué des granulats naturels.

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

- Les granulats recyclés obtenus, présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons courants. Cependant, ils ont une faible résistance mécanique qui contribue à la diminution de la résistance globale du béton.
- La masse volumique des granulats recyclés est plus faible que celle des granulats naturels, Où la densité du gravier recyclé est inférieure de 5.61 à 10.23 % à celle du gravier naturel (2.635 t/m^3), et de 3.4% du sable recyclé par rapport au sable naturel (2.58 t/m^3).
- Le module de finesse du sable montre qu'on a un sable naturel fin 1.73, et un sable recyclé un peu trop grossier (3.15).
- L'absorption d'eau par les granulats recyclés de classe (5/10, 10/16) est liée principalement au taux de la pâte de ciment attachée au gravier, et à la nature minéralogique de la roche elle-même.
- Le mouillage des granulats recyclés assure une maniabilité permettant une mise en œuvre adéquate.

Suite à l'analyse des résultats des essais mécaniques et de durabilité sur le béton confectionné avec des granulats recyclés, on constate que les propriétés varient généralement en fonction des paramètres suivants :

- Le remplacement du sable recyclé par le sable naturel affecte positivement la résistance à la compression du béton, à la flexion et le module d'élasticité. Les propriétés mécaniques augmentent avec le taux de remplacement des granulats recyclés par les granulats naturels.
- La réduction du module de finesse par l'augmentation du taux de substitution améliore l'ouvrabilité du béton.
- Les bétons BR75 et BR100 présentent une résistance à la compression de 25,38 et 26,54 MPa, Où ils représentent les deux valeurs maximales qui ont été enregistrées parmi les cinq mélanges préparés à base des granulats recyclés, elles sont inférieures d'environ de 8% au béton de référence BT (témoin), BR0, BR25, BR50 présentent une résistance à la compression de 20.56, 22.98, et 23.82 MPa, avec un taux de diminution de 36%, 22%, et 18% respectivement par rapport au béton de référence BT (témoin) à 28 jours d'âge.
- La résistance à la flexion des bétons à base des granulats recyclés augmentent par substitution partielle ou totale du sable recyclé par le sable naturel. Elle est de l'ordre de 2.5 à 2.85 MPa à l'âge de 7 jours, et augmente au fur et à mesure au cours du temps jusqu'à 3.1 à 4.25 MPa à 28

jours, la valeur maximale présente une diminution de l'ordre de 4.70% par rapport au béton de référence BT.

- Le module d'élasticité des bétons augmente par substitution successive du sable recyclés par le sable naturel. Cela confirme que le module d'élasticité du béton est conditionné par le module d'élasticité du granulat et par ses proportions volumétriques dans le béton.
- La spectrométrie infrarouge reste une technique d'analyse qualitative de caractérisation des matériaux minéraux. Elle permet d'obtenir rapidement de nombreuses informations sur la composition des bétons.
- Les difficultés d'interprétation des différentes bandes d'absorption ont pu être affranchies grâce à la consultation d'une banque de spectres spécifiques aux matériaux couramment utilisés dans ce domaine.
- Des intensités mineures d'ettringite et de gypse des bétons BR75, BR100, On note également la relation entre le changement des pics des bandes O-H, S-O, C-O... et la substitution du sable naturel

Recommandations

Il est recommandé de prendre en compte les paramètres suivants, pour comprendre les propriétés des matériaux utilisés dans la fabrication du béton à base des granulats recyclés :

- Le contrôle strict de la quantité de fins recyclées ajoutés au béton est nécessaire afin de pouvoir comparer le béton avec différents pourcentages de matériaux recyclés.
- Compte tenu des caractéristiques d'absorption des granulats recyclés, lors de la préparation du mélange de béton recyclé, il est nécessaire d'effectuer une correction d'humidité pour ce type de granulat, car ce matériau pourrait modifier significativement la quantité l'eau de gâchage disponible.
- Il est recommandé d'effectuer des essais de durabilité sur des périodes prolongées pour le béton recyclé. Cela permettra d'avoir plus d'informations sur la façon dont le matériau se comporte à des âges avancés et comment ses propriétés sont modifiées par rapport au béton témoin, après 6 mois ou plus d'âge des échantillons.
- Dans la mesure du possible, l'utilisation des granulats recyclés homogènes est recommandée pour la réalisation de mélanges de béton. Si le matériau recyclé est très variable, il sera plus difficile de contrôler les paramètres du béton fabriqué à partir de ce matériau. Des facteurs tels que l'utilisation d'un matériau recyclé provenant d'une source unique ou la sélection rigoureuse du matériau recyclé à ajouter peuvent aider à avoir une plus grande homogénéité dans le béton recyclé.

- Les recherches futures sur les bétons à base de granulats recyclés devraient continuer à être menées, de telle sorte que les principales caractéristiques de ce type de matériau puissent être bien comprises et des critères soient de plus en plus clairs pour l'utilisation appropriée de ces granulats comme sources de matériaux dans les structures en béton.

REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- [1] **BOUCHARD. M. (1984)** “Utilisation en technique routière de granulats provenant du concassage de béton de démolition”. Bulletin liaison laboratoire pont et chaussé, n° 134, Réf 2852, pp.53-57
- [2] **Neville Adam.M.** ‘propriétés des Bétons ‘Editions Eyrolles, Paris, 2000, p.103-726
- [3] **PIMIENTA. P, TRAN. T, DEMOLTTE. P, VIMON. E, COLOMARDPROUT. M.(1997)** “Emploi des granulats recyclés pour la fabrication de blocs de construction”, Rapport du CSTB rédigé à la demande du plan construction et architecture, France
- [4] **Fabrigat S. (2012)**, Actu environnement, déchet, projet RecyBéton, <https://www.actu-environnement.com/ae/news/recyclage-dechets-batiment-beton-granulats-14781.php4> (photo de déchet de démolition), consulté mai 2017
- [5] **BUTENWIZER. I, FAVENNEC. M. (1995)** “ Le recyclage- concassage des matériaux minéraux issus de la démolition au Danemark et aux Pays-Bas » cahier du CSTB, n° 2794, France.
- [6] **CANAT. D, CHEVET. H. (1995)** “ Le recyclage concassage des matériaux minéraux issus de la démolition en Belgique et au Royaume-Uni ”, cahier du CSTB, n° 2814, France
- [7] **HANSEN.TC. (1992)** “Recycling aggregates end recycling aggregate and masonry”, RILEM Report N° 06, LONDON, E & FN, SPON.
- [8] **QUEBAUD, M. (1996)** Caractérisation des granulats recyclés, étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats. Thèse de doctorat, Département de génie civil, Université d'Artois, Artois, France. 250 p.
- [9] **YANAGIBASHI. K, YONEZAWA.T. (1999)** “Development of production process for reusable concrete aggregate”, Congress Proceeding R'99, Vol3, Geneva Switzerland, pp.137142.
- [10] **De Juan M.S., Gutiérrez P.A.,** Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, Vol. 23 (2),p. 872-877, 2009.
- [11] **Domingo C., Lazaro C., al.,** Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, Vol. 23(7), P. 2545-2553, 2009
- [12] **Etcheberria M., Vazquez A., Mari A., Barra M.,** Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled concrete, Cement and concrete research, Vol. 37, p.735-742, 2007.
- [13] **Evangelista L., J. de Brito.,** Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Composites, Vol. 29(5) , P.397-401, 2007.
- [14] **Corinaldesi V., Gnappi G., Moriconi G., Montenero A.,** Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars, Waste Management, Vol. 25, p. 197-201, 2005.
- [15] **Berredjem L., Arabi N.,** Les matériaux de démolition, une source de granulats pour béton: formulation et caractérisation d'un béton à base de ces recyclés. Conference: SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran, Vol. 2, 2009.
- [16] **Hallshow H., Levacher D., Quench J-L., Bennabi A., Bouvet F.,** Valorisation des agrégats issus du béton de démolition dans la fabrication de nouveaux bétons, Déchetssciences et techniques, N°19-3ème trimestre, 2000.

Références bibliographiques

- [17] **Hansen T. C.**, Recycling of demolished concrete and masonry , RILEM Report, London Chapman & Hall, E & FN Spon, 1992.
- [18] **Berredjem L., Arabi N., Molez L., Jauberthie R.**, Propriétés mécaniques et durabilité des bétons à base des graviers et sables recyclés issus de béton de démolition, actes de la conférence internationale francophone NoMaD à Douai, Novembre 2015.
- [19] **Bethmont S.** Mécanismes de ségrégation dans les bétons auto plaçants (BAP), Etude expérimentale des interactions granulaires, Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ENPC, 2005.
- [20] **Mlle SAADANI Sabrina.**, Comportement des bétons a base de granulats recyclés, Thème de Magister, Université de Mentouri Constantine,
- [21] **BOURMATTE N.**, Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques: béton de démolition – déchets de briques – déchets de verre, Thèse de Doctorat, Université des frères mentouri Constantine , 2017.
- [22] **Benaichi, El hadj; 2018** Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs, Thèse de Doctorat, Université Mohamed khider Biska , 2018.
- [23] **BERREDJEM Layachi, ARABI Nourredine, MOLEZ Laurent**, Contribution à l'étude des indicateurs de durabilité des bétons à base des granulats recyclés, Article, 33èmes Rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA, Anglet, 27 au 29 mai 2015.
- [24] **Djelal. H et Nouvel. V, 2008** « Gestion des déchets de démolition et environnement» Ecole des Métiers de l'Environnement, Rue Robert Schuman, Campus de Ker Lann, 35170 BRUZ.
- [25] **Courard. L, 2006** « Le cycle de vie des matières les matériaux de construction et de démolition »état de l'environnement wallon études –expertises.
- [26] **Salhi. K, Mezghiche, B, 2009** « étude de durabilité de mortier et béton contenant de ciment avec ajouts de laitier granule et sable de dune » Etudiant Doctorat Département Génie civil, Université de Biskra, Algérie.
- [27] **ARRABI N**, valorisation des déchets industriels dans la construction, cours, Université d'Annaba, département de Génie Civil, 2020.
- [28] **THAI-HOA V (2009).**"Caractérisation de la phase solide et transferts de gaz dans les milieux poreux insaturés. Etude expérimentale et modélisation appliquées à la diffusion de l'hydrogène dans les matériaux cimentaires."Spécialité Génie civil. Université Toulouse.
- [29] **Rademaker. Ch, 1996** « Application de la notion d'analyse de Cycle de Vie aux éléments de construction industriels (acier, béton, bois) » Travail de fin d'étude. Faculté des sciences Appliquées, Université de liège.
- [30] **HADED K.** " Les BAP à base de granulats de béton de démolition résistance et approche de la durabilité ". Mémoire de mastère II. 2012. 35 pages.
- [31] **RAPPORT TECHNIQUE**, Bâtiment exemplaire : l'utilisation des granulats issus de recyclage. Page8 sur 24. [https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF_BATEX_Fiche4.1.Granulats_FR.pdf].
- [32] **FALEK K.**, Etude de comportement mécanique et rhéologique d'un béton à base de granulats recyclés". Thèse de doctorat. 2017. Page 25.27.36. <http://hdl.handle.net/123456789/5751>
- [33] **DORBANI K.et BOUHANICHI N.**, les bétons drainants à base de granulats recyclés : de la formulation au comportement".2019.pages 12.

Références bibliographiques

- [34] **FATHIFAZL G., ABBAS A., RAZAQPUR A. G., ISGOR O. B., FOURNIER B. et FOO, S.).** "New mixture proportioning method for concrete made with coarse recycled concrete aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, (2009, volume 21", N°10, p. 601-611.
- [35] **TAM, V. W. Y., GAO, X. F. et TAM, C. M. (2005).** "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach". *Cement and Concrete Research*, volume 35, numéro 6, p. 1195-1203.
- [36] **SERIFOU M.** "Béton à base de recyclas : influence de type de recyclas et rôle de formulation." 2013. intérêt du recyclage dans le génie civil. Page 25
- [37] **DJEDID T,** Etude de l'effet de la corrosion des armatures sur la durabilité des ouvrages en béton armé. Thèse de Magister en Génie Civil. Université Mohammed khider, Biskra, Avril 2012.
- [38] **DJEDID T, A. Guettala, M. Mani.** Study of the workability and mechanical strength of concrete in the face of upwelling (Case of the El Oued region of Algeria. *J Fundam Appl Sci*.11(1), 368-384. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v11i1.24>. ISSN 1112-9867, 2019.
- [39] **DJEDID T,** Durabilité Effet de la substitution du sable de rivière par du sable de carrière sur la durabilité des bétons à base de différents ciments algériens dans des environnements chimiques, Thèse de Doctorat, Université Mohamed khider Biska ,Jan 2020.
- [40] **De Juan M.S. and Gutiérrez P.A.** «Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate» 2009,*Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 872-877. USA. *ResourConsercyRecycl* 2004; 42(3):275-94
- [41] **Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S.,** «Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete», *Construction and Building Materials*, 23 (2),pp. 829-836,2009
- [42] **Douara T.H.,** « Caractérisation physiques et chimiques des granulats recyclés et granulats naturels ». 2009
- [43] **HOSTMANN,** « Une nouvelle gestion des déchets de chantier d'ici cinq ans », les cahiers techniques du bâtiments , n°177, France, Jan-Fév. 1997.
- [44] **Collins. r. j. (1994)** "the use of recycled aggregates in concrete", bre information paper p5/94.
- [45] **RILEM. (1993)** "Unified specifications of recycled coarse aggregates for concrete", RILEM TC 121-DRG.
- [46] **ETXEBERRIA, M., VAZQUEZ, E., MARI, A. et BARRA, M. (2007).** "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete." *Cement and Concrete Research*, volume 37, numéro 5, p. 735-742.
- [47] **Hadjieva Zaharieva R.,** Durabilité des bétons à base de granulats recyclés, Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 1998.
- [48] **Mesbah H-A.,** Amélioration du comportement des mortiers à base de Granulats recyclés par adjonction des fibres, Thèse de Doctorat, université d'Artois, juin 1997
- [49] **Serifou M.,** Béton à base de recyclats: influence du type de recyclats et rôle de la formulation, Thèse de Doctorat, Université felix houphouet boigny et l'Université de Bordeaux 1, Décembre 2013
- [50] **Projet de R&D - PN RECYBETON (RECYclage complet des BETONs),** 2011.

Références bibliographiques

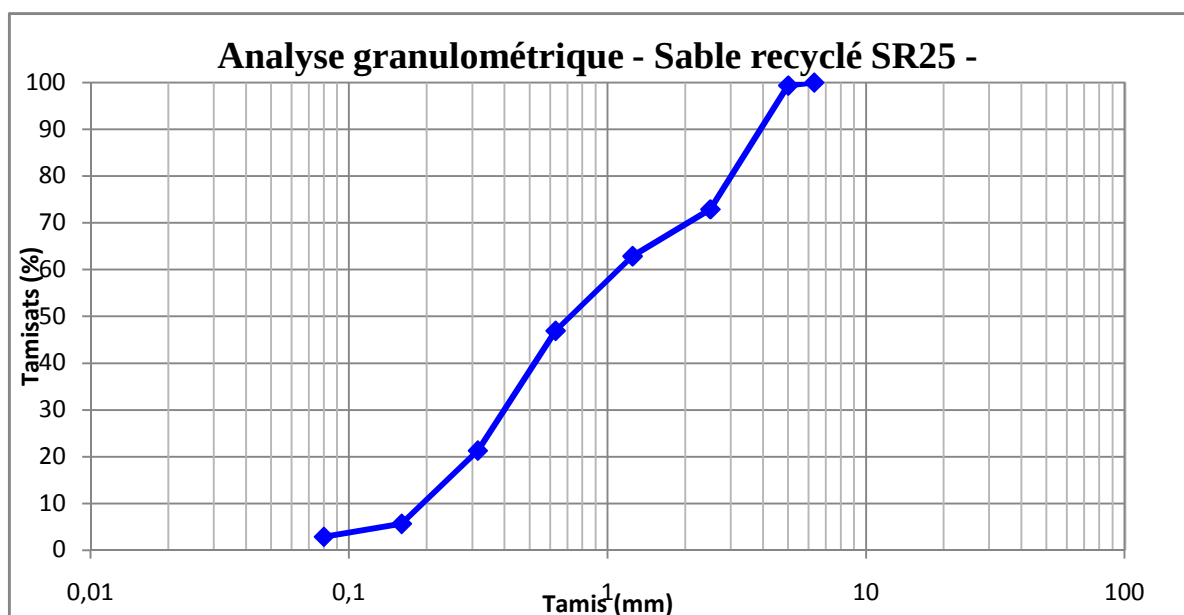
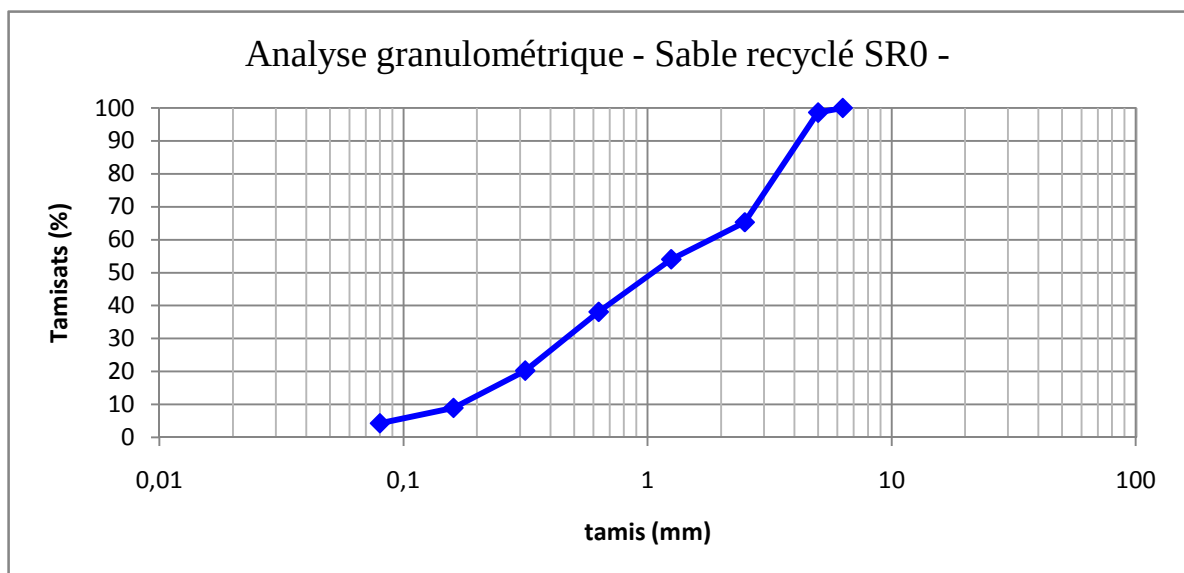
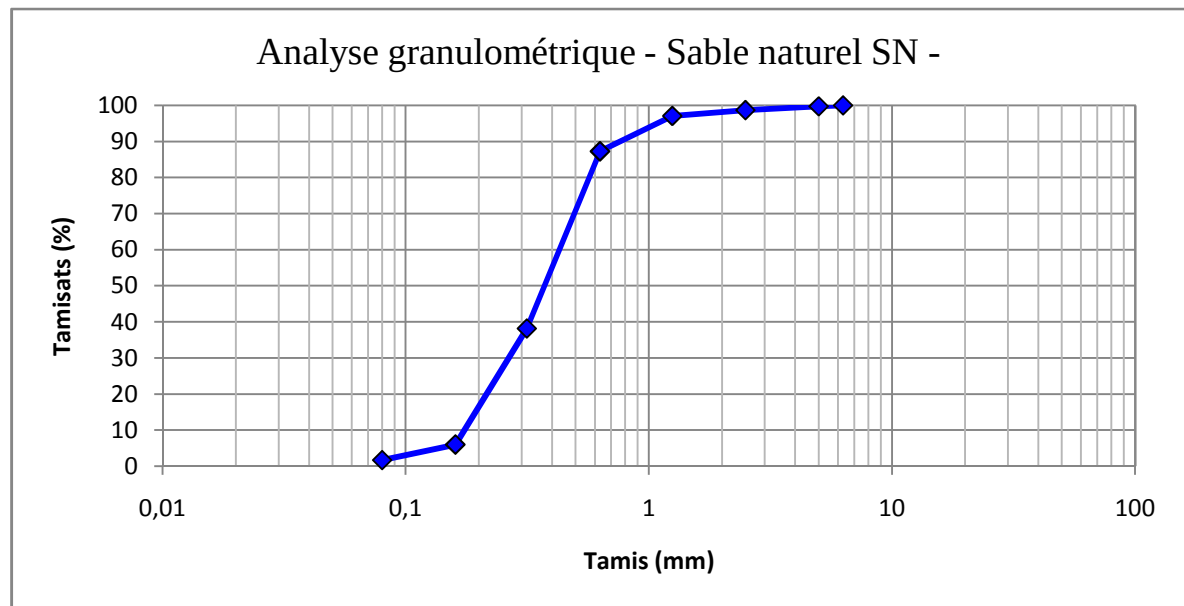
- [51] **Debied F.**, Performance et durabilité des bétons à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et les sulfates, Thèse de Doctorat, Université Houari Boumediene, 2007.
- [52] **YAGOUBI M. S.**, Etude de caractérisation et corrélation aux moyens des essais non destructifs et essais direct d'un béton à haute performance (BHP) à base de matériaux locaux, Thème de Master, Université de Mohamed Boudiaf M'sila , 2016.
- [53] **Casuccio, M., Torrijos MC.**, al., Failure mechanism of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, Vol. 22(7), p. 1500-1506, 2008.
- [54] **DREUX. G, FESTA. J.** (1995) Nouveau guide du béton , Septième édition, EYROLLES.
- [55] **DREUX. G, et FESTA. J.** 1998 Nouveau guide du Béton et de ses constituants. Eyrolles, 416p.
- [56] **Topçu I.B., Bilir T., Uygunoglu T.**, Effect of waste marble dust content as filler on properties self-compacting concrete, Construction and Building Materials Vol. 23, P. 1947–1953, 2009.
- [57] **Serifou M.**, Béton à base de recyclats: influence du type de recyclats et rôle de la formulation, Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny et l'Université de Bordeaux 1, Décembre 2013.

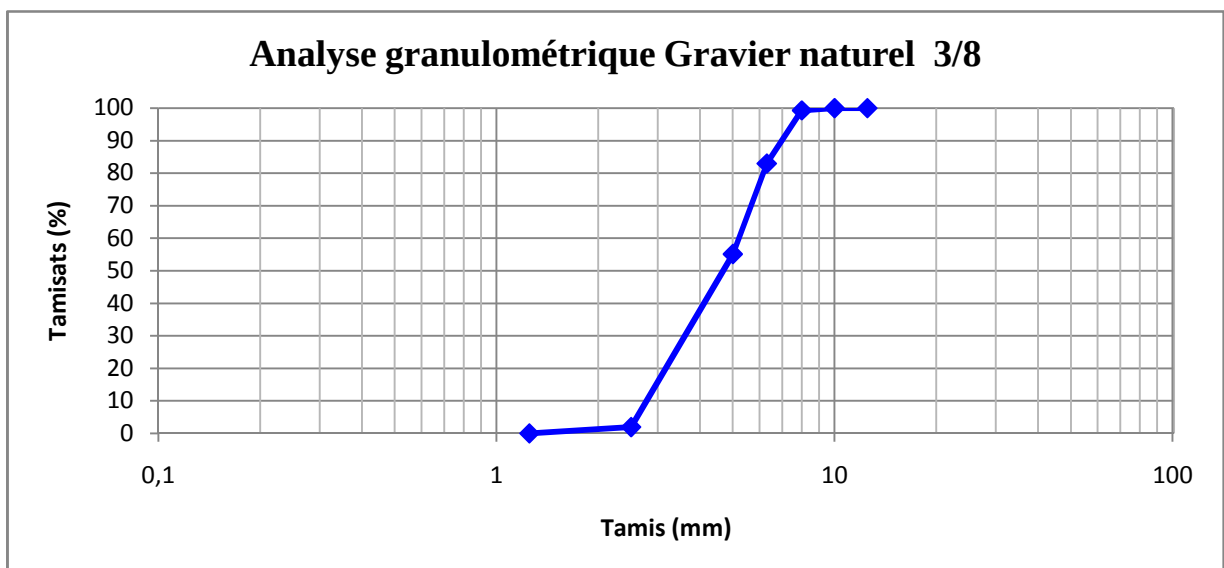
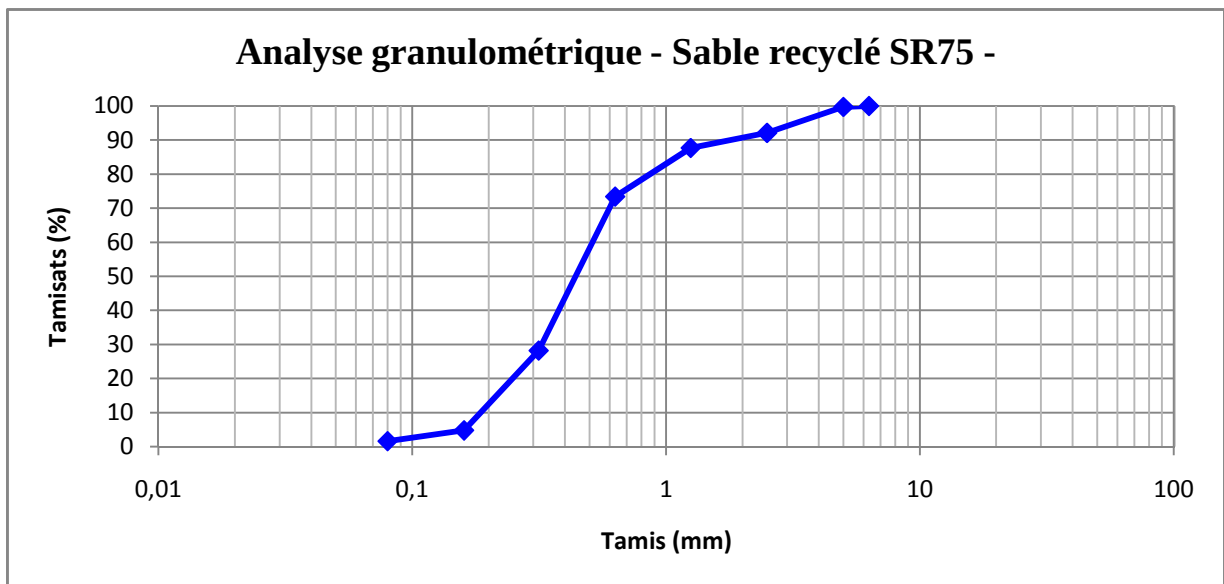
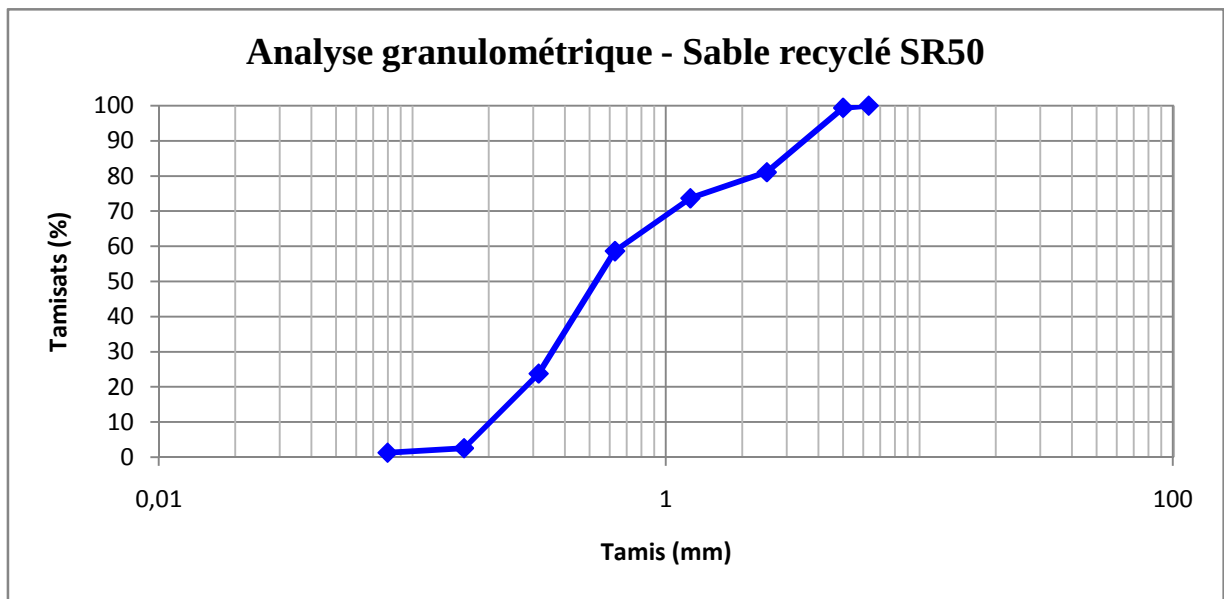
Annexes

Annexes

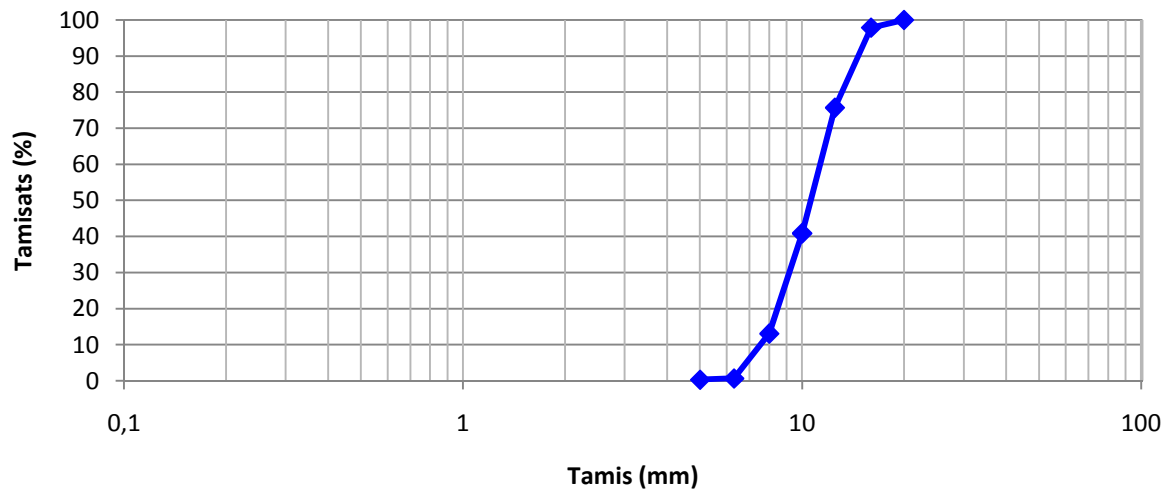
Tableau récapitulatif des résultats des essais

Caractéristiques	Tamis (mm)	PASSANT (%)								
		SABLE					Gravier R		Gravier N	
		SN	SR	SR25	SR50	SR75	5/10	10/16	3/8	8/15
Granulométrie	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	31.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	100	-	100
	16	-	-	-	-	-	-	99	-	97.89
	12.5	-	-	-	-	-	100	41.36	-	75.69
	10	-	-	-	-	-	98.88	8.15	100	40.89
	8	-	-	-	-	-	74.40	1.17	99.33	13.11
	6.3	100	100	100	100	100	40.50	0.80	83.00	0.69
	5	99.75	98.62	99.38	99.40	99.75	8.46	-	55.15	0.34
	2.5	98.71	65.34	72.90	81.07	92.10	0.88	-	1.93	-
	1.25	97.08	54.10	62.88	73.67	87.70	0.15	-	-	-
	0.63	87.29	38.14	46.93	58.63	73.40	-	-	-	-
	0.315	38.21	20.30	21.30	23.80	28.20	-	-	-	-
	0.16	6.04	8.99	5.65	2.57	4.75	-	-	-	-
	0.08	1.75	4.35	2.88	1.30	1.60	-	-	-	-
Module de finesse		1.73	3.15	2.91	2.61	2.14	-	-	-	-
Propreté superficielle		-	-	-	-	-	0.71	1.05	0.65	0.35
Coefficient d'aplatissement		-	-	-	-	-	13	15	17	14
Coefficient LA (%)							40.10	36.50	17	19
Equivalent de sable		50	85	-	-	-	-	-	-	-
VBS		0.11	-	-	-	-	-	-	-	-
Masse volumique App		1.616	1.438	1.522	1.563	1.616	1.072	1.125	1.398	1.462
Masse volumique Abs		2.58	2.529	2.634	2.569	2.614	2.475	2.495	2.626	2.635
Coefficient d'Absorption		0.50	13.68	-	-	-	11.37		1.31	
Compacité du sable		63	57	58	61	62	-	-	-	-
Porosité du sable		37	43	62	39	38	-	-	-	-
Densité Proctor		1.708	1.660	1.710	1.706	1.703				
Analyses chimiques	insolubles	87	77	-	-	-	-	-	-	-
	Sulfates	0.155	0.195	-	-	-	-	-	-	-
	Carbonates	12.74	22	-	-	-	-	-	-	-

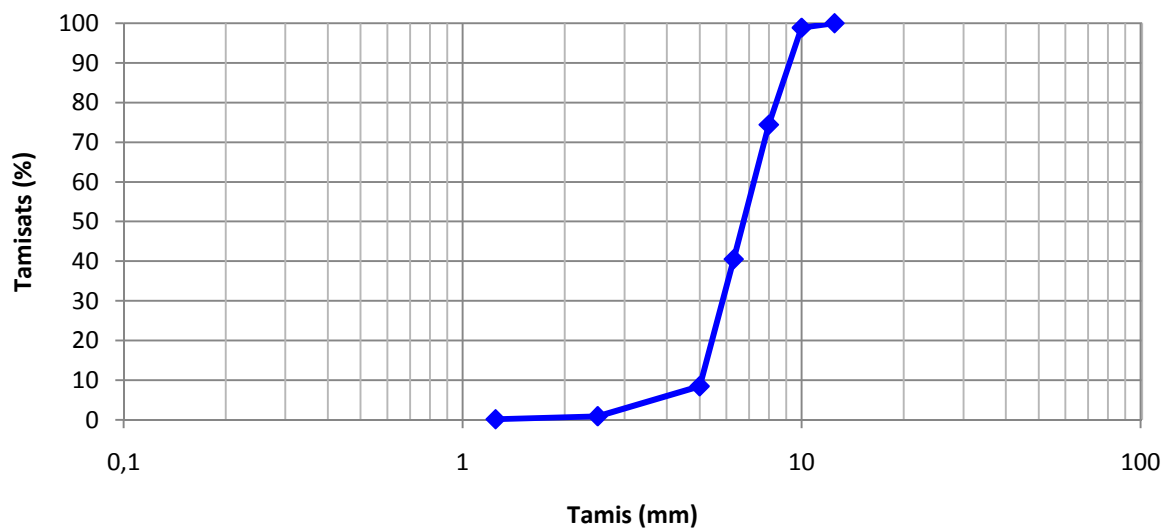




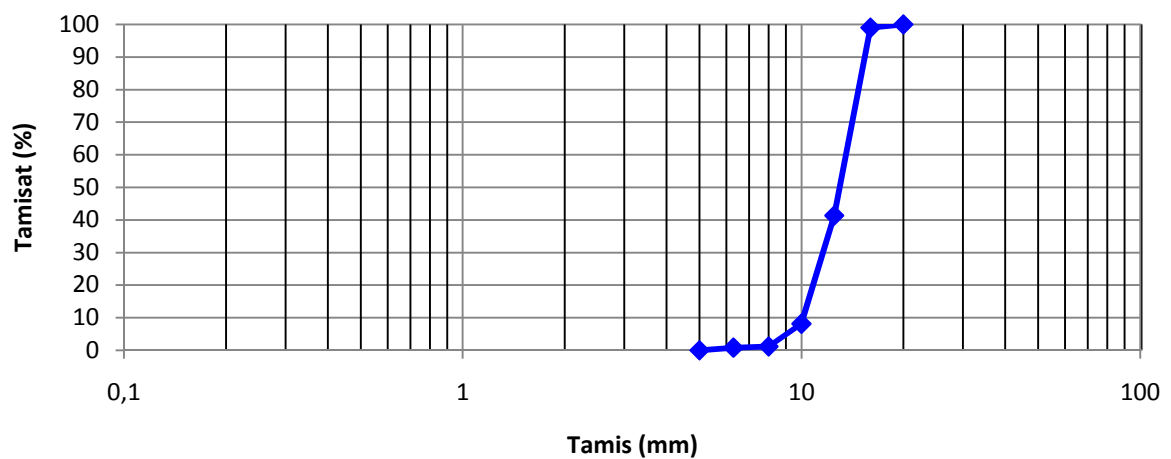
Analyse granulométrique - Gravier naturel 8/15 -



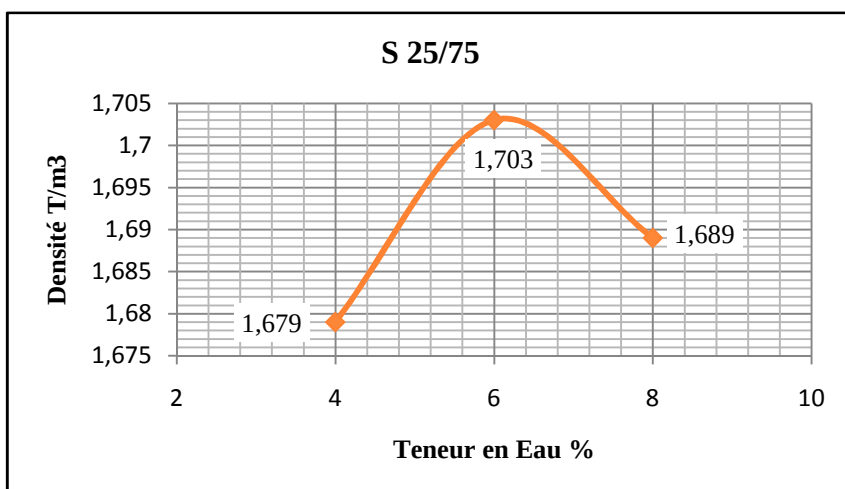
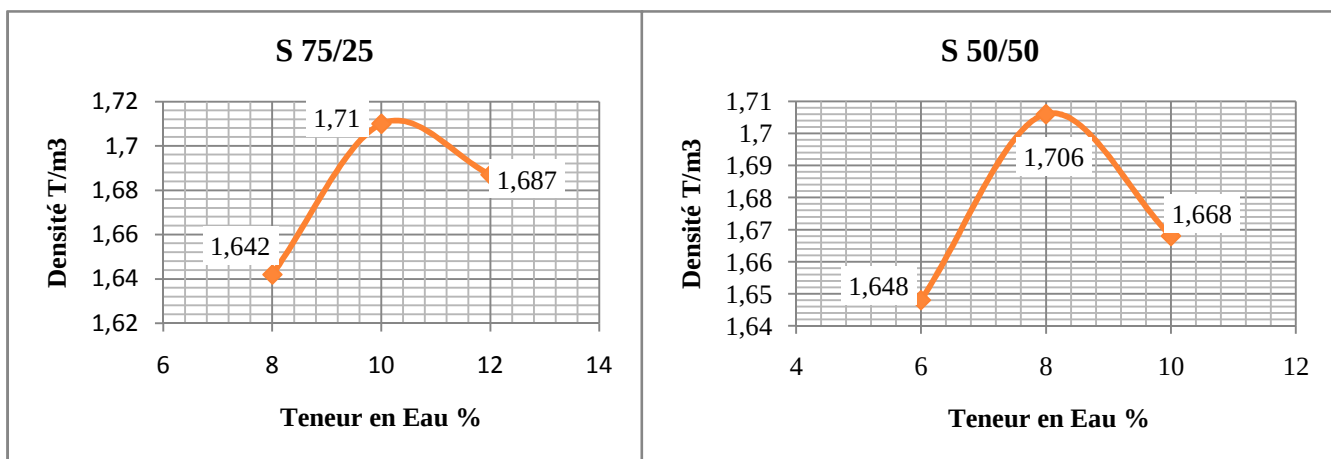
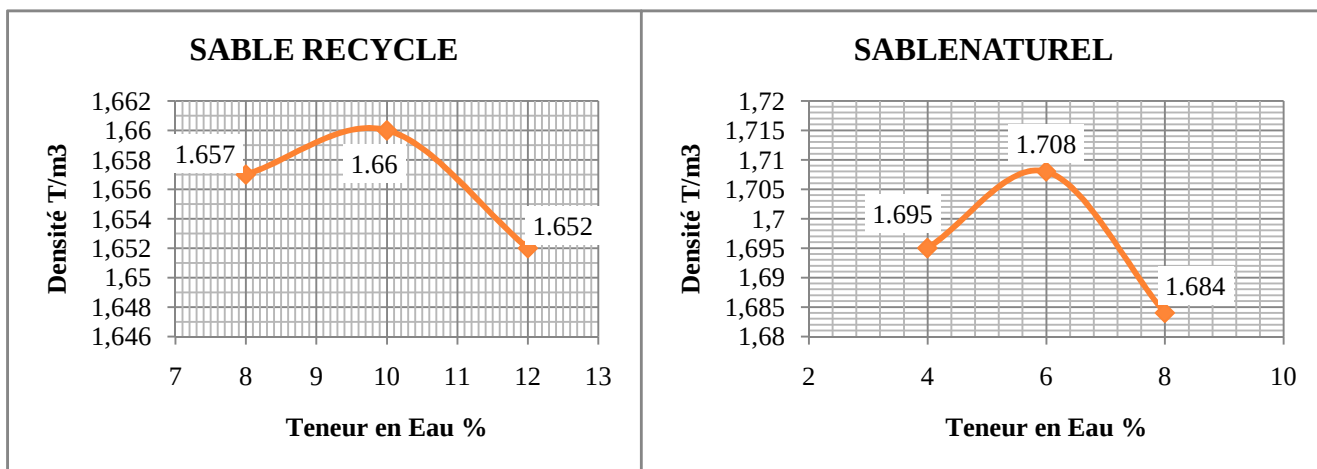
Analyse granulométrique - Gravier recyclé 5/10 -



Analyse granulométrique - Gravier recyclé 10/16 -



Essai Proctor



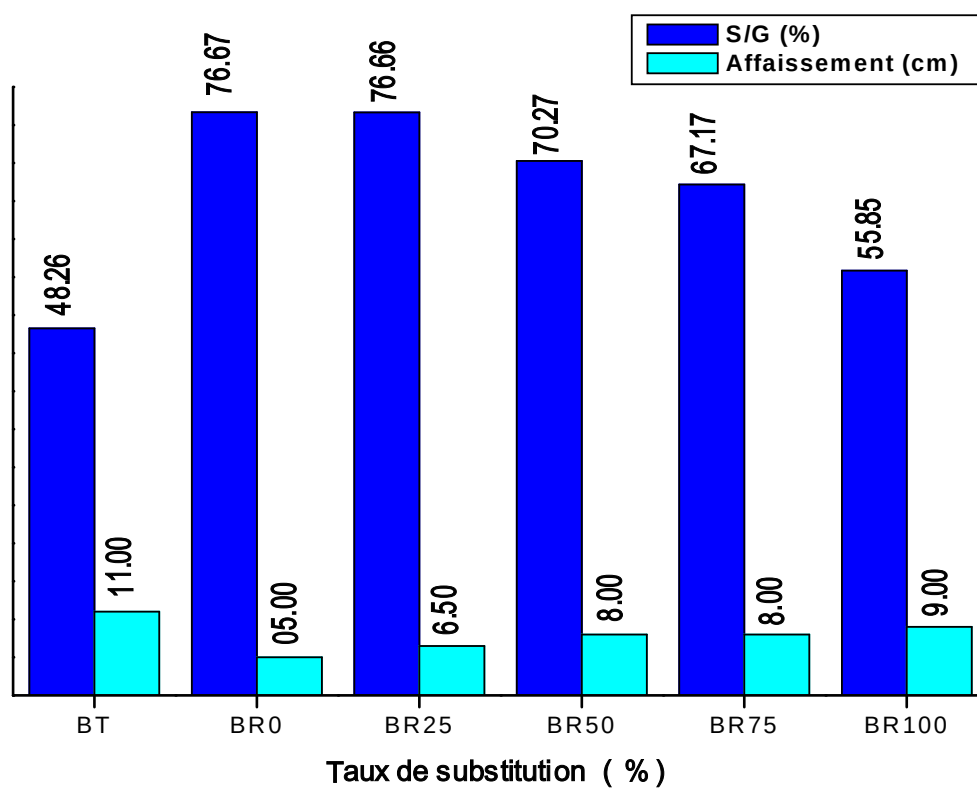


Figure III.22 la variation de l'affaissement en fonction du rapport S/G



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM II/B-L 42.5N

CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE

CEM II/B-L 42.5N Ciment gris pour béton à performances élevées, il procure une utilisation confortable due au temps de prise idéale, destiné à la construction dans le bâtiment, le génie civil, ainsi que dans la préfabrication.

CEM II/B-L 42.5N :

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013)

👉 DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions d'infrastructure et superstructure, ouvrages d'Art, nécessitant une haute résistance, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Résistance idéale a jeune âge.
- Béton projeté, pompé et béton pour étanchéité.
- Article en béton et préfabrication industrielle.
- Bétonnage par temps froid ou chaud.
- Voiles en béton.



✓ APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Un produit adéquat qui permet de réaliser toutes les étapes de construction.
- Ce produit est utilisé tout au long de l'année.

🪣 FORMULATION CONSEILLÉE

	ciment 	Sable (sec) 0/5 	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	50k X1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L
	ciment 	Sable Correcteur 0/3mm 	Sable (sec) 0/4mm 	Eau (litres) 
Mortier de briquetage	50k X1 	+ X6 	+ X9 	+ 35 L
Mortier de finitions	50k X1 	+ X9 	+ X6 	+ 35 L

Remarque: un bidon = 10 litres

🔍 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	valeur
Perte au feu	7.5 – 9.5
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.4 – 2.8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl ⁻)	< 0.05
Composition Potentielle du Clinker (%) (Selon Bogue)	valeur
C ₃ S	58 – 66
C ₃ A	5.1 – 7.2
Propriétés physiques	valeur
Consistance normale (%)	26.5 – 28.4
Expansion à chaud (mm)	0.0 – 1.0
Temps de prise (min)	valeur
Début de prise	150 – 200
Fin de prise	220 – 290
Résistance à la compression	valeur
2 jours (MPa)	15 – 25
28 jours (MPa)	42.5 – 52.5



SPA BISKRIA CIMENT
Adresse : Djar Belahrache
Branis , Biskra Algerie

Tel : +213 (0) 560 753 424
Fax : +213 (0) 33 62 73 92
contact@biskriaciment-dz.com
www.biskriaciment-dz.com

NOTICE TECHNIQUE

MEDAPLAST HP

Conforme à la norme NF-P 18-502

DESCRIPTION

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

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

DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST HP permet :

- Sur béton frais :**
- Améliorer la cohésion
- Éviter le ressuage et la ségrégation

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques
 - Obtenir des bétons possédant une excellente imperméabilité
 - Augmenter la résistance à l'érosion et à l'abrasion
 - Obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques
 - Augmenter la durabilité du béton
- L'ajout d'un superplastifiant est recommandé (MEDAPLAST SP, SP40) afin d'améliorer la fluidité du béton et de diminuer le rapport E/C. Le béton obtenu, une fois appliqué, ne présente aucun ressuage.

Ajout à base de micro silice

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect : Poudre
- Densité : 0.5
- Densité absolue : 2.3 ± 0.1
- Composants :
 - SiO₂ : > 85(%)
 - SiO₃ : < 2.5 (%)
 - Cl⁻ : < 0.2 (%)
- Surface spécifique : > 15 (m²/gr)
- Humidité par élève à 105°C : < 1 (%)
- Taille des particules : < 0.1 (microns)

MODE D'EMPLOI

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

Malaxer ensuite jusqu'à homogénéisation du béton.

Il est nécessaire de procéder à une cure de plusieurs jours du béton obtenu (MEDACURE) surtout par temps chaud ou en présence de vents.

DOSAGE

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le MEDAPLAST HP est conditionné en sacs de 2 kg et 25 kg. Disponible aussi en Bigbag.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur.

PRÉCAUTION D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com



128



Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz - E-mail: granitex@granitex.dz

NOTICE TECHNIQUE

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1, 3.1 et 3.2 NA 774

DESCRIPTION

Le MEDAPLAST SP 40 est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST SP 40 permet

Sur béton frais :

- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect : Liquide
- Couleur : Marron
- pH : 8.2
- Densité : 1.20 ± 0.01
- Teneur en chlore : < 1g/L
- Extrait sec : 40%

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



129



Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

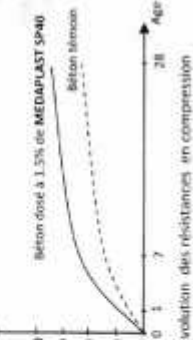
www.granitex-dz - E-mail: granitex@granitex.dz

2

1 3 6

Superplastifiant - haut réducteur d'eau

Rc (MPa)



MODE D'EMPLOI

Le MEDAPLAST SP 40 est introduit dans l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée : 0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le MEDAPLAST SP 40 est conditionné en bidons de 12kg, fûts de 270 kg et cubitnaire de 1200 kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < T < 35°C).

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERB en Janvier 2007.



Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz - E-mail: granitex@granitex.dz