



**Faculté de Technologies**  
**Département de Génie Civil et Hydraulique**

# Mémoire de fin d'études

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

**Option** : Matériaux en génie civil

## Thème

**Etude de la possibilité de recyclage du  
béton de démolition avec  
l'incorporation de fines de marbre**

**Dirigé par :**

-Dr/ DJEDID Tarek

**Présenté par:**

- ZERIG Tahar

- KIREM M<sup>ed</sup> Salah

**Membres du Jury :**

- Président : Dr Mani Mohammed
- Examineur : Dr Logbi Abdelaziz

Soutenu le : 23 Juin 2020

**Promotion : Juin 2020**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا ۗ وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ

وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٍ ۚ وَمِنَ النَّاسِ وَالدَّوَابِّ وَأَلْأَنْعَامِ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ كَذَلِكَ

إِنَّمَا يَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ الْعُلَمَاءُ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ ﴿ فاطر: 28



# *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions الله le tout-puissant,*

*Nous avons l'occasion de remercier profondément notre Directeur de Thème, Docteur Tarek DJEDID, à qui nous restons redevable de m'avoir accepté, supporté et soutenu physiquement et moralement sans relâche pendant les bons et les mauvais moments de ces quatre mois. nous aimerions aussi le remercier pour sa disponibilité malgré ses nombreuses occupations, ses sages conseils, toujours su me témoigner une grande confiance et me laisser une large part d'initiative, son intérêt pour le présent travail. Permetts-nous Mr DJEDID Tarek, de bien vouloir vous dire « MERCI POUR TOUT ».*

*Nous voudrions également adresser nos plus sincères remerciements à Messieurs Farik Ali, Mani Mohamed, Miloudi Abdelmouniam, Logbi Abdelazziz, Kaab Med Zouhir, Ilyes Soulimane, Chaibi Abdelhamid, Bourni Younes, Bedadi Laid et Monsieur Chalbi Abderrahmane d'avoirs sacrifiés de leur temps, pour nous donner tous les renseignements nécessaires en cours des années universitaires, nous avons beaucoup appris de votre part, Merci beaucoup.*

*Nous remerciments s'adressent aussi à tous les docteurs et Membres de Laboratoires pour leur aide que ce soit à l'université Echahid Hamma Lakhdar aux Laboratoires privées: Messieurs Walabi Siadi et Sedira Abdelhamid.*

# ***Dédicaces***



*Pour la mémoire de :*

*LAIID Zerig, mon cher père, rappelé à الله  
Le 25 Décembre 2015, Et qui sut laissé ce feu  
après l'éternel adieu.....*

*Et je dédie ce travail à :*

*A ma chère mère, Hania*

*Ma chère épouse, Farida*

*Et mon 2<sup>eme</sup> père, Ali Zerig*

*Et mes enfants, Imane, Oussama, Nada, Radhia, Alla, Laid*

*Et le joyau de mes yeux Meriem.*

*A mes frères, Kamel, Ali, Hamza, Abdelwahab, El-Hadi, Nabil  
et Tedjani*

*Et ma sœur, Fatima et ses enfants*

*A mes amis, Lalmi, Rachid, El Hachemi*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin  
pour accomplir ce travail.*

*Tahar Zerig*



*A la mémoire de mon père*



# ***Dédicaces***



*Et je dédie ce travail à :*

*A mon chère Parents, Belgacem et Aïcha*

*Ma chère épouse, Fatma*

*A mes frères, Taher, Abdelkamel, , Hacem, Ali, Khemisti  
et Mohammed*

*Et mes sœur, Fatima et Malika et ses enfants*

*A mes amis, Tahar Zerig, Othmane Zaghdî , Khelifi*

*Abdelhamid et Mesbahi Issam*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour  
accomplir ce travail .*

*M<sup>ed</sup> Salah Kired*



## ***Résumé***

L'industrie des matériaux de construction est toujours accompagnée par des produits secondaires ou des déchets qui ont une incidence sur l'environnement. Dans les pays occidentaux le rejet des déchets solides, provenant des usines des matériaux de construction et de démolition des constructions, dans les décharges publiques est strictement interdit.

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

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

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de proportions (0%, 5%, 10%, 15% et 20%) des Fines de Marbre sur le comportement du béton à base des agrégats recyclés 100% béton de démolition.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de conclure que l'utilisation des ajouts (Fines de marbre) améliore les caractéristiques physico-mécaniques et plus particulièrement la durabilité des bétons à base de 100% d'agrégat recyclé (Gravier et Sable).

**Mots clés:** Granulats recyclés, fines de marbre, déchets, béton de démolition, durabilité, caractéristiques physico-mécaniques, environnement, valorisation .

## ***Abstract***

The building materials industry is always accompanied by secondary products or waste that have an impact on the environment. In western countries, the rejection of solid waste from factories of building materials and building demolition, in public dumps is strictly prohibited.

The depletion of natural aggregates deposits and the difficulties of opening new quarries make it necessary to seek new sources of supply.

The recycling and recovery of waste are today considered as a solution for the future in order to meet the deficit between production and consumption and conservation of natural resources and protect the environment.

The objective of this study is to assess the effect of proportions (0%, 5%, 10%, 15% and 20%) of Marble Fines on the behavior of concrete based on recycled aggregates 100% demolition concrete.

The results obtained in this experimental study allow us to conclude that the use of additions (Fine marble) improves the physico-mechanical characteristics and more particularly the durability of concretes based on 100% recycled aggregates (Sand and Gravel).

**Key words:** Recycled aggregates, marble fines, waste, demolition concrete, durability, physico-mechanical characteristics, environment, valuation.

## ملخص

إن صناعة مواد البناء دائماً ما تكون مصحوبة بمسئوليات ثانوية أو نفايات لها تأثير على البيئة. في الدول الغربية، يُمنع منعاً باتاً إلقاء النفايات الصلبة الناتجة عن مصانع مواد البناء وهدم المباني.

إن استنفاد الحقول الطبيعية وصعوبات فتح محاجر جديدة تجعل من الضروري البحث عن مصادر تموين جديدة. وتعتبر إعادة تدوير واستعادة النفايات اليوم حلاً للمستقبل من أجل سد العجز بين الإنتاج والاستهلاك والحفاظ على الموارد الطبيعية وحماية البيئة. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير النسب (0% و 5% و 10% و 15% و 20%) من الرخام الناعم على سلوك الخرسانة القائمة على الركام المعاد تدويره بنسبة 100% من الخرسانة المهدامة.

النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة التجريبية تسمح لنا بالقول أن استعمال الإضافات (رخام ناعم) يحسن الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وبشكل خاص متانة الخرسانات القائمة على الركام المعاد تدويره بنسبة 100% (الرمال والحصى).

**الكلمات المفتاحية:** الركام المعاد تدويره، نواعم الرخام، النفايات، خرسانة الهدم، الديمومة، الخصائص الفيزيائية الميكانيكية، البيئة، التثمين.

## ***Table des matières***

Remerciements .....	i
Résumé .....	iv
Abstract .....	v
ملخص .....	vi
Table des matières .....	vii
Liste des tableaux .....	x
Liste des figures .....	xii
Liste des photo .....	xiv
Liste des abréviation .....	xv
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
Problématique .....	1
Objectifs .....	4
Plan de travail .....	5
<b>CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>Partie A : Valorisation des Déchets, Réglementation et Environnement</b>	
I.1 Introduction .....	6
I.2 Déchets et environnement .....	6
I.2.1 Déchets en Algérie .....	6
I.2.2 Naissance d'une véritable politique environnemental .....	7
I.2.3 Déchets de la construction / démolition .....	9
I.3. Impacts du recyclage sur l'environnement et l'industrie .....	11
I.4 Gestion des déchets .....	12
I.4.1 Définition .....	12
I.4.2 Principe de gestion des déchets .....	12
I.4.3 Technique de gestion des déchets .....	12
I.4.3.1 Décharge .....	12
I.4.3.2 Incinération .....	13
I.4.3.3 Compost et fermentation .....	13
I.4.3.4 Traitement biologique et mécanique .....	13
I.4.3.5 Pyrolyse et gazéification .....	14
I.5 Recyclage des déchets .....	14
I.5.1 Définition .....	14
I.5.2 Législation européenne relative au recyclage des déchets .....	15
I.5.3 Technique de recyclage .....	15
I.5.3.1 Procédés de recyclage .....	15
I.5.3.2 La chaîne de recyclage .....	16
I.6. Déchets utilisés dans le domaine du Génie Civil .....	16
I.6.1 Laitier de haut fourneau .....	16
I.6.2 Laitier d'acier .....	17

I.6.3	Sous-produits provenant des centrales thermiques .....	17
I.6.4	Mâchefer .....	17
I.6.5	Scories .....	18
I.6.6	Cendres volantes .....	18
I.6.7	Déchets divers .....	18
I.7	Conclusion .....	21
<b>Partie B : Granulats Recycles et Bétons</b>		
I.8	Introduction .....	22
I.9	Origine des granulats .....	22
I.10	Granulats de recyclage.....	23
I.10.1	Béton de démolition .....	23
I.10.2	Caractéristiques des granulats recyclés de béton.....	24
I.10.3	Les différents types de concasseurs .....	24
I.10.4	Les méthodes de séparation des impuretés .....	26
I.10.5	Caractéristiques morphologiques et physiques .....	28
I.10.6	Domaines d'utilisation des granulats recyclés de béton .....	29
I.10.7	Incorporation de granulats de béton de démolition dans les bétons .....	30
I.10.8	Déchets de marbre .....	30
I.10.8.1	Définition de marbre .....	30
I.10.8.2	L'objectif et l'importance d'utilisation de fines de marbre .....	31
I.10.8.3	Les types de déchets de marbre .....	32
I.10.9	Classification de granulats recyclés selon RILEM .....	33
I.11	Des études antérieures sur les granulats recyclés de béton de démolition et de déchets de marbre .....	35
I.12	Conclusion .....	37
<b>CHAPITRE II : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES</b>		
II.1	Introduction .....	38
II.2	Matériaux de base utilisés .....	38
II.2.1	Matériaux utilisés pour Bétons à base de granulats de béton de démolition .....	40
II.2.2	Essais d'analyse chimique .....	41
II.2.2.1	Teneur en carbonate .....	41
II.2.2.2	Détermination des insolubles et Teneur en Sulfate .....	42
II.2.2.2.1	Détermination des insolubles .....	42
II.2.2.2.2	Détermination de la teneur en sulfate .....	43
II.2.2.3	Essai au bleu de méthylène .....	44
II.2.3	Essais d'analyse physique et mécanique .....	46
II.2.4	Matériaux utilisés pour Bétons à base de granulats de béton de démolition avec l'incorporation de taux du fines de marbre .....	50
II.2.4.1	Compacité et porosité des granulats .....	53
II.2.4.2	Optimisation du squelette granulaire .....	54
II.3	Composition des bétons et mélanges retenus .....	54
II.3.1	Composition des bétons à base des granulats recycles .....	54
II.3.2	Les étapes d'application de la méthode Dreux-Gorisse .....	55
II.3.3	Mélanges retenus .....	61
II.4	Confection des mélanges et conservation des éprouvettes .....	61
II.5	Modes opératoires des essais .....	64

II.5.1. Essais sur béton frais .....	64
II.5.1.1. Affaissement au cône d'Abrams .....	64
II.5.1.2. Mesure de la densité réelle du béton frais .....	65
II.5.2. Essais sur béton durci .....	65
II.5.2.1 Essai de compression .....	65
II.5.2.2 Essai de flexion .....	66
II.5.2.3 Essai ultrasonique .....	67
II.5.2.4 Module d'élasticité dynamique .....	68
II.5.2.5 Essai d'absorption par capillarité .....	68
II.5.2.6. Essais de mesure la Porosité, Absorption d'eau et la Perméabilité .....	70
II.5.2.6.1 la Porosité .....	70
II.5.2.6.2 Mesure le taux d'absorption d'eau .....	71
II.5.2.6.3 la Perméabilité .....	72
II.5.2.7 Coefficient de ramollissement .....	72
II.6 Conclusion .....	73
<b>CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RÉSULTATS</b>	
III.1 Introduction .....	74
III.2 Béton à base de granulats recyclés de béton démolie et avec d'incorporation de fines de marbre .....	74
III.2.1 Ouvrabilité .....	74
III.2.2 Densité .....	75
III.2.3 Résistance à la compression .....	76
III.2.4 Résistance à la flexion .....	79
III.2.5 Vitesse ultrasonique .....	81
III.2.6 Module d'élasticité dynamique .....	83
III.2.7 Optimisation des proportions du squelette granulaire .....	84
III.2.8 Coefficient de ramollissement .....	85
III.2.9 Cinétique d'absorption capillaire du bétons recycle .....	86
III.2.10 Essai de la porosité (% de vide) et l'absorption d'eau par immersion .....	89
III.2.10.1 Porosité et l'absorption .....	89
III.3 Étude statistique (corrélation) .....	90
III.3.1 Corrélation entre les résistances mécaniques ( $R_c$ , $R_f$ ) .....	90
III.3.2 la corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $V$ ) .....	91
III.3.3 la corrélation ( $R_f$ ) en fonction de ( $\rho$ ) .....	92
III.3.4 la corrélation entre ( $P$ ) et l'absorption capillaire ( $C_t$ ) .....	93
III.3.5 la corrélation entre l'affaissement ( $A$ ) et Module de finesse ( $M_f$ ) .....	93
III.3.6 la corrélation entre l'affaissement ( $A$ ) et la densité à l'état frais ( $\rho$ ) .....	94
III.3.7 la corrélation entre Absorption/immersion et $A_b$ capillaire .....	95
III.3.8 la corrélation entre ( $E_d$ ) en fonction de ( $V$ ) .....	95
III.4 Conclusion .....	97
<b>CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS</b> .....	98
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	101
<b>Annexes</b> .....	104



## ***Liste des Tableaux***

<b>Tableau I.1 :</b> Quelques valeurs de différents types de déchets ménagers produits annuellement en Algérie	07
<b>Tableau I.2 :</b> Composition des différents types d'agrégats recyclés proposés par [13,14]	33
<b>Tableau I.3 :</b> Les différentes limites proposées par le RILEM sur les trois classes de béton recyclés	34
<b>Tableau I.4 :</b> Classe du béton recyclé	34
<b>Tableau I.5 :</b> Les coefficients multiplicateurs des propriétés des bétons recyclés par rapport aux bétons ordinaires	35
<b>Tableau II.1 :</b> Récapitulation des caractéristiques chimiques	45
<b>Tableau II.2 :</b> Analyse granulométrique des granulats recyclés (béton démolé)	46
<b>Tableau II.3 :</b> Caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés et résultats des études antérieures	47
<b>Tableau II.4 :</b> Caractéristiques physico-mécaniques, minéralogiques et chimiques de ciment	49
<b>Tableau II.5 :</b> Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques; physico-mécaniques et chimiques de marbre de la carrière de FIL-FILA	51
<b>Tableau II.6 :</b> Analyse granulométrique des sables recyclés (béton démolé) avec l'incorporation de fines de marbre	52
<b>Tableau II.7 :</b> Compacité et porosité des granulats recyclés et granulats recyclés incorporés de fines de marbre	53
<b>Tableau II.8 :</b> Caractéristiques de la pièce à bétonner / $D_{max}$	55
<b>Tableau II.9 :</b> Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	56
<b>Tableau II.10 :</b> Abaque de correction du dosage en eau	57

---

<b>Tableau II.11:</b> Abaque valeur du terme correcteur $K$	58
<b>Tableau II.12 :</b> Pourcentage pondéraux du mélange de granulats recyclés	58
<b>Tableau II.13:</b> Evaluation de l'ouvrabilité par rapport à l'affaissement au cône	59
<b>Tableau II.14:</b> Valeur du coefficient de compacité $\gamma$	59
<b>Tableau II.15:</b> La masse spécifiques de chaque granulats pour $1m^3$	60
<b>Tableau II.16:</b> Abréviation et désignations des bétons teste	61
<b>Tableau II.17:</b> Composition des mélanges pour confection des éprouvettes	61
<b>Tableau III.1:</b> Résistance à la compression du béton à base d'agrégats recyclés avec l'incorporation de taux fines de marbre	76
<b>Tableau III.2:</b> L'effort et la résistance à la flexion du béton à base d'agrégats recyclés avec l'incorporation de taux fines de marbre	79
<b>Tableau III.3:</b> La vitesse d'ultrason des déférents béton étudié à 7,14,28 et 60 jours	81
<b>Tableau III.4 :</b> Module d'élasticité des bétons réalises	83
<b>Tableau III.5:</b> Composition de Béton	84
<b>Tableau III.6:</b> Coefficient de ramollissement du béton recyclé a 60 j d'âge	85
<b>Tableau III.7:</b> La porosité et à l'absorption des différents bétons étudié	89
<b>Tableau III.8:</b> Résistance mécanique du bétons étudié	90

## ***Liste des Figures***

<b>Figure I.1 :</b>	Compositions des déchets du bâtiment	10
<b>Figure I.2 :</b>	Schéma de fonctionnement d'une centrale de recyclage/concassage	27
<b>Figure I.3 :</b>	Répartition de la production en granulats recyclés au Pays-Bas en 1992.	33
<b>Figure II.1 :</b>	Courbes granulométrique des granulats recyclés (béton démolé) étudiés	47
<b>Figure II.2 :</b>	Courbes granulométrique des sables recyclés (béton démolé) avec l'incorporation de fines de marbre	53
<b>Figure II.3 :</b>	Courbes granulométrique des granulats recyclés (béton démolé)	55
<b>Figure II.4 :</b>	Graphique indiquant Approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée	56
<b>Figure II.5 :</b>	Courbes granulométrique OAB	57
<b>Figure II.6 :</b>	Principe de l'essai de la flexion	66
<b>Figure II.7 :</b>	Principe de l'essai d'absorption par capillaire	69
<b>Figure III.1 :</b>	Influence du taux d'incorporation de fines de marbre sur l'ouvrabilité	74
<b>Figure III.2 :</b>	Variation de la densité du béton recycle en fonction du taux d'incorporation de fines de marbre	75
<b>Figure III.3 :</b>	Résistance à la compression de chaque mélange	77
<b>Figure III.4 :</b>	Influence du taux de substitution sur la résistance à la compression en fonction % de fines et l'échéancier d'écrasements	77
<b>Figure III.5 :</b>	Résistance à la compression à 60j d'âge	78
<b>Figure III.6 :</b>	Evolution de la résistance à la compression des bétons à 60j d'âge en fonction de taux de fines de marbre	78
<b>Figure III.7 :</b>	Effort de flexion appliqué sur chaque mélange	80

<b>Figure III.8</b> : Influence du taux de substitution sur la résistance à la flexion en fonction % de fines et l'échéancier d'écrasements	80
<b>Figure III.9</b> : L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction du pourcentage de fines de marbre pour les différents types de béton à 7, 14 ,28 et 60 jours	82
<b>Figure III.10</b> : Evolution de module d'élasticités fonction de taux de fines de m. à 60j	83
<b>Figure III.11</b> : Optimisation du rapport G/S en fonction de l'affaissement	84
<b>Figure III.12</b> : Coefficient de ramollissement à 60 jour d'âge	85
<b>Figure III.13</b> : Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 7 jour d'âge de béton recycle	86
<b>Figure III.14</b> : Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 14 jour d'âge de béton recycle	87
<b>Figure III.15</b> : Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 28 jour d'âge de béton recycle	87
<b>Figure III.16</b> : Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 60 jour d'âge de béton recycle	88
<b>Figure III.17</b> : La variation de la porosité et de l'absorption d'eau en Fonction du pourcentage de fines	89
<b>Figure III.18</b> : Corrélation entre la résistances à la compression et à la flexion	91
<b>Figure III.19</b> : Corrélation entre la résistances à la compression et la vitesse ultrasonique à 28 jour d'âge	91
<b>Figure III.20</b> : Corrélation entre la résistances à la flexion et la densité à l'état frais à 28 jour d'âge	92
<b>Figure III.21</b> : Corrélation entre la Porosité et l'absorption capillaire à 28 jour	93
<b>Figure III.22</b> : Corrélation entre l'affaissement et module de finesse	94
<b>Figure III.23</b> : Corrélation entre l'affaissement et la densité à l'état frais	94
<b>Figure III.24</b> : Corrélation entre Absorption par immersion et Ab capillaire à 28j d'âge	95
<b>Figure III.25</b> : Corrélation entre (Ed) en fonction de (V)	96

---

## ***Liste des Photos***

<b>Photo I.1 :</b>	Formes des granulats recyclés	23
<b>Photo I.2 :</b>	Interface granulat naturel / pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton	29
<b>Photo I.3 :</b>	Photos montrant le marbre et le granite dans la nature	32
<b>Photo II.1 :</b>	Béton de démolition	40
<b>Photo II.2 :</b>	Gravier recycle 10/16	40
<b>Photo II.3 :</b>	Sable recycle 0/5	40
<b>Photo II.4 :</b>	Gravier recycle 5/10	40
<b>Photo II.5 :</b>	Calcimètre de Dietrich-Frühling	41
<b>Photo II.6 :</b>	Appareillage d'essais des insolubles	43
<b>Photo II.7 :</b>	Appareillage d'essais de teneur en sulfate	44
<b>Photo II.8 :</b>	Matériel (essai manuel) au bleu de méthylène	44
<b>Photo II.9 :</b>	Déchets de marbre utilisés	51
<b>Photo II.10 :</b>	Malaxeur utilisé	62
<b>Photo II.11 :</b>	Moules cubiques et prismatiques	62
<b>Photo II.12 :</b>	Types des éprouvettes cubique et prismatiques	63
<b>Photo II.13 :</b>	Appareillage de cône d'Abrams	64
<b>Photo II.14 :</b>	Deux (02) Appareillages de la compression	65
<b>Photo II.15 :</b>	Appareillage de la flexion	66
<b>Photo II.16 :</b>	Appareil à ultrasons (Proceq Pundit Lab)	67
<b>Photo II.17 :</b>	L'essai d'absorption par capillarité	69
<b>Photo II.18 :</b>	Types d'appareillages de pesée hydrostatique	70
<b>Photo III.1 :</b>	Exemple de rupture à l'état saturé et à l'état sec	85

## *Liste des Abréviations*

- MATET** : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme.
- RILEM** : Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux.  
(International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials)
- ASTM** : American Society for Testing and Materials.
- EN** : Norme Européenne définitive.
- NF P** : Norme Françaises applicable au bâtiment et génie civil .
- AFNOR** : Association Française de Normalisation .
- PNAE-DD**: Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable.
- FEDEP** : Fonds National de l'Environnement et de dépollution.
- CEM II/B-L 42,5N** : Ciment portland au calcaire
- BTP** : Bâtiment et Travaux Publics.
- DI** : Déchets Inertes
- DIB** : Déchets Industriels Banals
- DIS** : Déchets Industriels Spéciaux
- DD** : Déchets dangereux
- BR0** : Béton à base des agrégats recycle avec 0% fine de marbre (Béton témoin)
- BR5** : Béton à base des agrégats recycle avec 5% fine de marbre
- BR10** : Béton à base des agrégats recycle avec 10% fine de marbre
- BR15** : Béton à base des agrégats recycle avec 15% fine de marbre
- BR20** : Béton à base des agrégats recycle avec 20% fine de marbre
- SR 0/5** : Sable Recycle classe 0/5 mm
- GR 5/10** : Gravier Recycle classe 5/10 mm
- GR 10/16** : Gravier Recycle classe 10/16 mm
- GR 5/20** : Gravier Recycle classe 5/20 mm
- SR 0%fm** : Sable Recycle classe 0/5 mm avec 0% fine de marbre
- SR 5%fm** : Sable Recycle classe 0/5 mm avec 5% fine de marbre
- SR 10%fm** : Sable Recycle classe 0/5 mm avec 10% fine de marbre
- SR 15%fm** : Sable Recycle classe 0/5 mm avec 15% fine de marbre
- SR 20%fm** : Sable Recycle classe 0/5 mm avec 20% fine de marbre
- MEB** : Microscopie électronique à Balayage
- DRX** : Diffraction par Rayons X

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---



## Thème de mémoire

### **Etude de la possibilité de recyclage du béton de démolition avec l'incorporation de fines de marbre**

#### Problématique

Les agrégats sont une constituante fondamentale dans la construction et les travaux publics. Par exemple, une résidence familiale nécessite en moyenne 100 tonnes d'agrégats. La consommation d'agrégats est particulièrement importante dans les travaux publics, les infrastructures et les réseaux de toute sorte.

Les agrégats font partie des richesses naturelles, Ils sont caractérisés comme suit :

- ✓ Disponibles dans la nature en quantité limitée, et ne sont pas renouvelables ;
- ✓ Une fois utilisés, ils sont récupérables et recyclables ;
- ✓ Le coût du transport en vrac est basé sur la distance à parcourir ; donc, plus le site est éloigné, plus élevé est le coût de la matière première ;
- ✓ En Algérie, la récupération et le recyclage des agrégats ne sont pas identifiés comme un objectif prioritaire dans le domaine des richesses naturelles.

La demande pour les agrégats vise la construction de routes, les divers établissements (l'enseignement, les hôpitaux, l'habitations et le besoin d'entreprises). Les ressources en agrégats sont également en demande dans le secteur manufacturier pour produire de l'acier, du vinyle, du verre, de la peinture, du papier, des produits pharmaceutiques, des fertilisants et du ciment .

Grâce à l'accessibilité de ses ressources en agrégats, l'Algérie a pu offrir des coûts d'infrastructures et de logement abordables. La gestion judicieuse des ressources en agrégats et le juste équilibre des intérêts pour ces ressources assureront un approvisionnement continu à proximité du marché.

La prise en compte des agrégats recyclés sur les caractéristiques physico-mécaniques, des bétons devant avoir une valeur variable en fonction de l'âge et des paramètres de formulation (dosage en ciment, en additions, en eau, en adjuvats et nature de ciments et des granulats).

Avec l'amenuisement des réserves naturelles des agrégats, il est nécessaire de se préoccuper dès aujourd'hui à l'utilisation des **granulats recyclés**, de façon à fabriquer des bétons économiques et durables.

Dans ce contexte, notre travail s'inscrit, il a pour objectif principal de contribuer à la valorisation les bétons de démolition, et les déchets de marbre comme substitut aux granulats naturels, dans la production de nouveaux bétons structurels, dans le but de :

- ✓ Contribuer à préserver l'environnement par l'élimination du dépôt sauvage des gravats et la limitation d'extraction des granulats de carrière et alluvionnaires.
- ✓ Répondre à la demande croissante en granulats.
- ✓ Contribuer à mettre en valeur des granulats recyclés.
- ✓ Contribuer aux études menées sur l'emploi des granulats recyclés dans les bétons et substitution des granulats naturels.
- ✓ Réduire les cout globale des ouvrages en bétons.

## INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le deuxième matériau le plus consommé au monde après l'eau. L'activité du bâtiment et des ouvrages d'art consomme des ressources naturelles et génère des quantités non négligeables de déchets, le besoin en bétons nouveaux pour répondre à la demande des grands projets d'aménagement nécessite de puiser davantage dans les carrières de granulats alluvionnaires, Ceci peut entraîner comme conséquence la pollution de nappes d'eau souterraines et la transformation des sites naturels, en plus la réglementation pour l'ouverture de nouvelles carrières, oblige à chercher des solutions dans le domaine du recyclage.

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 alluvionnaires. 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 démolie et de contribuer à la réutilisation des déchets et sous-produits dans la fabrication des bétons, Le programme de cette recherche comprend donc des travaux portant sur la valorisation de ces matériaux avec intégration de matières premières algériennes (fines de marbre), Valoriser ces granulats issus des bétons de démolition ou d'autres déchets pour la fabrication du plusieurs types des bétons, et peut étendre leur domaine d'utilisation actuel. Malgré plusieurs études de recherche dans ce domaine, 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.

En outre, le code de l'environnement (modifié par ordonnance le 17 décembre 2010) précise que « tout producteur ou détenteur de déchets est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation ». De ce fait, le recyclage et le réemploi des déchets inertes représentent des solutions intéressantes et s'intègrent au concept de développement durable.

L'évolution actuelle de la réglementation en matière d'environnement conduit les producteurs de déchets à les valoriser ou les réutiliser en particulier dans différents domaines de la construction et par voie de conséquence de limiter la mise en décharge uniquement des déchets ultimes après stabilisation.

Les voies 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.

La condition fondamentale pour la valorisation de ces granulats est qu'ils remplissent la fonction requise dans la position qu'ils occupent et qu'ils continuent à remplir celle-ci durant toute l'existence de la construction sans manifester d'effets secondaires négatifs qui conduisent à des désordres dans l'ouvrage.

## Objectifs

Notre mémoire a pour objectif premier de caractériser les différents agrégats recyclés disponibles provenant de la démolition (débris de béton et les résidus du béton). Ces matériaux récupérés sont principalement du béton de ciment recyclés et de déchets broyage de marbre sous forme de produit très fins (comme des ajouts), peuvent être mélangés partiellement avec les sable recycle pour ressortir un mélange sableux répond au condition de résistance et de durabilité (sable idéal).

L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats recyclés et les fines de marbre sur les caractéristiques physico-mécaniques, ainsi que la durabilité des bétons conçus à base de ces agrégats et à déterminer l'efficacité ( favorise) de ces proportions.

## Plan de travail

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés. Nous avons donc mené un plan de travail qui se compose des chapitres suivants :

- Une introduction générale qui fait définir la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés et un plan de travail.
- Dans le premier chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique détaillée composée de deux parties :

Partie A : sur les déchets, la politique et l'utilisation de ces produits dans le génie civil ainsi que l'intérêt et l'activité de recyclage des matériaux de construction et de démolition sont présentes. L'aspect normatif du recyclage et la situation en Algérie sont également soulignés.

Partie B : présente les propriétés et l'utilisation des granulats recyclés dans les bétons, une banque de données sur les études antérieures nous a permis de faire une confrontation de résultats.

- Le deuxième chapitre résume les caractérisations des différents matériaux et procédures utilisés dans le cadre du programme expérimental, les modalités d'essais sont également présentées.

dans ce chapitre, les propriétés des granulats recyclés utilisés et leurs caractéristiques spécifiques sont discutées.

- Le dernier chapitre est consacré à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus de l'étude expérimentale, et faisant des observations sur le béton témoin composé à 100% des granulats recycles sans fines de marbre et des autres résultats des études antérieur .

Enfin, notre travaille est achevé par une conclusion générale et de recommandations au service de travaux ultérieurement.

# **CHAPITRE I:**

---

## **SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

## **Partie A: VALORISATION DES DECHETS, REGLEMENTATION ET ENVIRONNEMENT**

### **I.1 Introduction**

La protection de l'environnement et l'économie des ressources naturelles sont devenues un enjeu socio-économique majeur. Le béton est le deuxième matériau le plus consommé au monde, après l'eau. Les industries, notamment du bâtiment, sont aujourd'hui contraintes de modifier leurs techniques de production et/ou de mise en œuvre, afin d'adopter des méthodes s'inscrivant dans un contexte de développement durable.

Il a été observé ces dernières années dans le secteur du BTP, une augmentation conséquente du nombre de constructions, qui se traduit par un besoin toujours croissant de matières premières. Or, les gisements naturels de granulats potentiellement exploitables se raréfient, et les industriels font face à une difficulté d'approvisionnement croissante.

Le recyclage permet une meilleure gestion des ressources, par valorisation des « déchets » et par économie des granulats naturels traditionnels. Son impact environnemental et écologique est conditionné également par la limitation des zones de dépôt, de l'ouverture de carrières et de l'exploitation des lits alluvionnaires .

Dans ce chapitre, nous présentons la réglementation concernant les déchets, la gestion et l'activité de recyclage de ces matériaux en abordant le cas de certains pays qui ont adopté cette politique et en soulignant la situation en Algérie. Nous présentons aussi les différents déchets utilisés dans le domaine du génie civil.

### **I.2 Déchets et environnement**

Un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon (loi française du 1975 du code de l'environnement).

#### **I.2.1 Déchets en Algérie**

Le gisement de déchets ménagers produit annuellement en Algérie comporte une fraction récupérable non négligeable que les Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme (MATET) estiment les valeurs suivantes:



**Tableau I.1 : Quelques valeurs de différents types de déchets ménagers  
produit annuellement en Algérie**

	Différents types de déchets				
	Papiers	Plastiques	Métaux	Verre	Matière diverse
Quantités de déchets en tonnes/an	385 000	130 000	100 000	50 000	95 000

D'après les données nationales, on peut résumer ce qui suit : [1]

- ✓ L'Algérie génère chaque année 10 à 12 millions tonnes de déchets ménagers.
- ✓ L'Algérie compte 3000 décharges sauvages. Ces décharges occupent une surface totale de l'ordre de 150 000 hectares.
- ✓ La décharge coûte annuellement à l'Algérie 0,19 % du PIB en impacts sur la santé et 0,13 % du PIB en pertes économiques (potentiel de recyclage et de valorisation non réalisés).
- ✓ Des 200 000 tonnes de déchets d'emballages rejetés annuellement, seulement 4000 tonnes sont récupérées soit 2% du gisement.
- ✓ Chaque année, 22000 tonnes de déchets d'activité de soins sont produits en Algérie.
- ✓ Le MATET a programmé la réalisation de 1000 schémas directeurs de gestion des déchets solides urbains pour les différentes communes du pays, et de 300 Centres d'enfouissement Technique et décharges contrôlées.
- ✓ Il existe en Algérie 317 incinérateurs opérationnels pour la destruction des déchets d'activité de soins.

### **I.2.2 Naissance d'une véritable politique environnementale [2]**

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

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

- **Sur le plan de la politique environnementale**, le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) fixe les différents programmes environnementaux du pays pour 2001-2010. Ces politiques sont appuyées par le Fonds National de l'Environnement et de dépollution (FEDEP) qui intervient notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions et les unités de collecte, de traitement et de recyclage des déchets, ainsi que par la nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe du pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.
- **Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :**
- Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
  - Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
  - Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
  - Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
  - Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
  - Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
  - Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
  - Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005. Le montant de la taxe est de 24.000DA/tonne de déchets liés aux activités de soin des hôpitaux et cliniques et de 10 500DA/tonne de déchets industriels dangereux stockés.

➤ **Sur le plan institutionnel, création de plusieurs organismes :**

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

### **I.2.3 Déchets de la construction / démolition**

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement.

Les granulats recyclés qui proviennent des déchets de démolition de bâtiments ou de routes sont constitués de résidus des procédés de production et de transformation (déchets chimiques, emballages, bois traités ou non traités...). Ces déchets de démolition font partie des déchets industriels dans la classification usuelle (à distinguer des déchets urbains et des déchets agroalimentaires).

Il est nécessaire de distinguer les différentes catégories des déchets industriels.

Quatre grandes catégories présentées dans la Figure I.1 permettent de classer ces déchets industriels:

- **Les déchets inertes désignés (DI):** La Directive européenne 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets définit un déchet inerte comme un déchet ne pouvant subir aucune modification physique, chimique ou biologique. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ces déchets n'entraînent pas de pollution de l'environnement et ne peuvent nuire à la santé humaine.

Exemple : béton, briques, pierre, tuiles, céramiques...

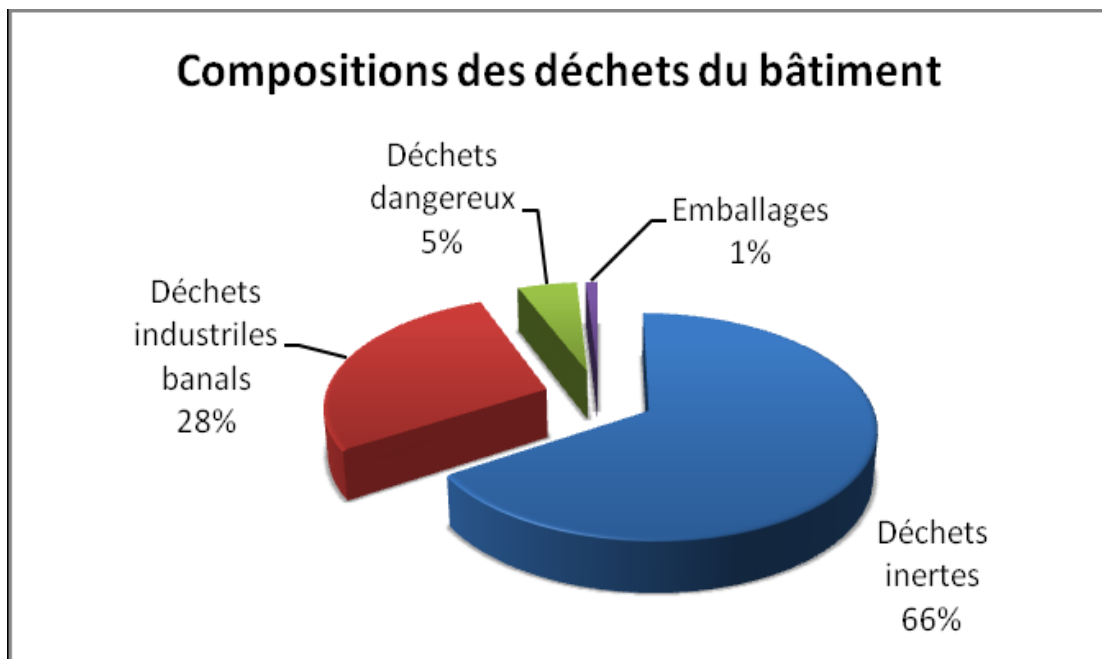
- **Les déchets industriels banals (DIB) :** Un déchet est dit banal si est traité par les mêmes procédures que ceux employés pour les déchets ménagers. Ces déchets ne sont ni inertes, ni toxiques. Cette appellation est en cours de modification : Déchets Non Dangereux (DND).

Exemple : plastiques, métaux, verre, bois non traités...

- **Les déchets industriels spéciaux (DIS) ou déchets dangereux (DD):** En opposition avec les DIB, ce type de déchet est traité par des procédés qui diffèrent de ceux employés pour les ordures ménagères. Ils contiennent des substances dangereuses pour l'homme et pour l'environnement. Leur stockage et leur traitement sont soumis à des règles strictes.

Exemple : amiante, solvants, peintures, huiles, colles, goudron, bois traités ou emballages souillés,

- **Les déchets d'emballages** dont le traitement impose une valorisation au-delà d'une certaine quantité.



**Figure I.1: Compositions des déchets du bâtiment [2]**

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets.

En effet, la composition approximative des déchets de démolition se répartit comme suit: [2]

- Béton (40 %),
- Briques (30 %),
- Bois (10 %),
- Plastique (5 %),
- Métaux (5 %),
- Autres éléments (10 %).

La démolition des routes génère des déchets d'enrobés mais également des déchets de bétons hydrauliques.

### **I.3. 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.

## **I.4 Gestion des déchets**

### **I.4.1 Définition**

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

La gestion des déchets concerne tout les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant.

La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité.

### **I.4.2 Principe de gestion des déchets**

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois **R**) :

- Réduire
- Réutiliser
- Recycler

Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « quatrième **R** » :

- Repenser

### **I.4.3 Technique de gestion des déchets**

#### **I .4.3.1 Décharge**

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays.

Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur

l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

#### **I.4.3.2 Incinération**

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

#### **I.4.3.3 Compost et fermentation**

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

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

#### **I.4.3.4 Traitement biologique et mécanique**

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

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



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

#### **I.4.3.5 Pyrolyse et gazéification**

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène.

Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.

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

La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur.

La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

### **I.5 Recyclage des déchets**

#### **I.5.1 Définition**

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

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de paire avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne.

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

### **I.5.2 Législation européenne relative au recyclage des déchets**

En 2007, la production, le stockage, le traitement et le recyclage des déchets est désormais encadrée en Europe par une législation de plus en plus élaborée. L'incinération des déchets dangereux est l'objet de la Directive n° 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000. Le stockage de déchets industriels spéciaux est définie par la Directive n°1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets et la Décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 ainsi que la Décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux.

### **I.5.3 Technique de recyclage**

#### **I.5.3.1 Procédés de recyclage**

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

Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit

« organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

### **I.5.3.2 La chaîne de recyclage**

#### **a. Collecte de déchets**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.

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

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

#### **b. Transformation**

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

#### **c. Commercialisation et consommation**

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

## **I.6 Déchets utilisés dans le domaine du Génie Civil**

### **I.6.1 Laitier de haut fourneau**

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

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulat pour le béton. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications. [3]

### **I.6.2 Laitier d'acier**

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable, il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement/maturation se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Aussi, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus.

### **I.6.3 Sous-produits provenant des centrales thermiques**

Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de houille sont désignés sous le nom de « mâchefer ». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Les particules sont appelées « cendres volantes ». Certaines particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four.

Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon [3].

### **I.6.4 Mâchefer**

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

A la sortie du four d'incinération les mâchefers sont généralement humides et contiennent des éléments grossiers (ex : verre, ferrailles, gros imbrûlés). Ils sont classés en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques en 3 catégories:

- Mâchefers de catégorie « V » à faible fraction lixiviable (fraction d'éléments solubles dans un solvant);
- Mâchefers intermédiaires de catégorie « M »;
- Mâchefers avec forte fraction lixiviable de catégorie « S ».

### **I.6.5 Scories**

Ces résidus constituent environ 2,5 % de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers.

### **I.6.6 Cendres volantes**

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulats légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Et sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage. Les cendres volantes sont classifiées selon leurs teneurs en CaO et du type du charbon brûlé.

### **I.6.7 Déchets divers**

- **Verre de récupération**

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Il est utilisé sous deux formes principales: les granulats (taille > 4 mm) et les poudres (taille < 4 mm). Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre. Les poudres (sables et fines) sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable mais aussi dans l'industrie du ciment pour fines.

- **Pneus usagers**

Les matériaux cimentaires ont une capacité de déformation très limitée ainsi qu'une faible résistance à la traction, ce qui les rend sensibles à la fissuration, notamment la fissuration due au retrait. A titre d'exemple, les dallages, les chaussées et plus généralement les éléments mis en place en grande surface se fissurent sous l'effet du retrait. Ainsi, l'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la microfissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait.

- **Ciment durci**

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau, la poudre se cristallise. Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Il devient inutilisable comme liant sur le chantier. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet. Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton [3].

Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc important d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production.

- **Résidus d'incinérateurs**

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

- **Boues rouges**

Les boues rouges sont des résidus industriels issus du processus d'extraction d'aluminium à partir de la bauxite (procédé de Bayer). Elles sont stockées soit au fond des océans (en France, en Allemagne), soit près des usines comme au Canada.

Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules, chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.

- **Déchets de démolition**

Le béton représente environ 75% en poids de tous les matériaux de construction. La plupart des déchets de démolition sont en béton, fournissant des millions de tonnes de débris de béton démolis ou les déchets produit à séismes des ouvrages.

Aujourd'hui, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Ainsi, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature:

- les bétons armés sans enduit ni plâtre ;
- les matériaux composés de briques, de tuiles, de graves, de pierres et de blocs rocheux, etc.
- les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, bois, plastique, etc.
- les mauvais matériaux avec une teneur en bois, plâtre, plastique : supérieure à 10%,
- les autres matériaux n'entrant pas dans les catégories précédentes. [3]

- **Déchets de production de l'industrie du béton**

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- les débris de béton générés tout au long des étapes de la production; ils résultent du nettoyage des installations de fabrication et du transport du béton frais (chutes de béton); il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non utilisées ou non utilisables.
- les produits défectueux, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme; à ces produits défectueux s'ajoutent les produits ayant fait l'objet d'essais de résistance à la rupture.

**I.7 Conclusion :**

L'enjeu de cette étude n'est donc pas de subvenir à un manque actuel de granulats naturels mais plutôt de contribuer à la diminution de l'épuisement des ressources naturelles pour l'avenir, point fort de protection environnementale.

La valorisation de ces granulats issus du recyclage présente un intérêt d'ordre économique, technique et environnemental. Le réemploi de ces matériaux dans la fabrication des bétons contribuerait à la prolongation de la durée de vie des carrières existantes et au même temps à l'élimination des déchets dans les décharges.

Par ailleurs, ces granulats recyclés pouvant se substituer aux granulats naturels, ceci permet de résoudre dans l'avenir le manque de granulats naturels.

Néanmoins, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les propriétés de ces déchets (granulats recyclés) destinés pour bétons ou mortiers en fonction de leur origine, ce qui facilitera leur valorisation.



## **Partie B: GRANULATS RECYCLES ET BETONS**

### **I.8 Introduction**

L'objectif de ce partie est de passer en revue les connaissances actuelles les plus pertinentes sur les différentes caractéristiques des granulats recyclés utilisés dans cette étude et l'action de ces granulats recyclés sur les bétons. Notre recherche bibliographique s'appuie sur les études les plus récentes dans le domaine ainsi que sur la normalisation française et européenne, ce qui nous a permis de dégager les principaux arguments sur lesquels nous appuyons notre approche méthodologique pour l'étude des bétons.

On présente aussi quelques résumés des études sur le recyclage des granulats utilisés dans les bétons, en indiquant leurs démarches, les facteurs d'influence, les réponses retenus et les principaux résultats afin d'avoir une synthèse qui justifie notre choix de matériaux.

Ce chapitre porte donc sur les granulats recyclés utilisés dans cette étude à savoir les granulats recyclés de béton de démolition, et tous de déchets de bétons ( central à béton, les éprouvettes des essais ...etc ), de déchets de marbre, leurs influences sur les bétons ordinaires, de façon à mieux comprendre leur comportement vis-à-vis de la présence de ces granulats.

### **I.9 Origine des granulats**

Les granulats sont des fragments de roche destinés à la fabrication d'ouvrages, de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépend de leur provenance et des techniques de production. Leur taille est comprise entre 0 et 125 mm, trois grandes familles de granulats sont définies en fonction de leur origine:

#### **✓ Les granulats alluvionnaires ou de carrière**

Sont des matériaux meubles, non consolidés. Ils proviennent de lits de rivière, les fonds de lacs ou certains fonds marins. Ces granulats peuvent être traités suite à leur extraction. Ils sont concassés si leur granulométrie est trop importante. Cette opération est suivie d'un criblage, d'un lavage et d'un calibrage.

### Les granulats de roches massives

Qui proviennent de l'exploitation de ces roches, cette matière première est présente dans différentes situations géologiques: couches plus ou moins massives de roches sédimentaires, massifs de granit, anciennes coulées volcaniques, roches métamorphiques... Leur extraction se fait généralement à l'explosif. Les granulats sont ensuite concassés, lavés et criblés.

### ✓ Les granulats de recyclage et artificiels

Sont produits en concassant et en recyclant des matériaux de chantiers de démolition comme les bétons, ou en recyclant des sous-produits de l'industrie tels les laitiers de hauts fourneaux ou les mâchefers ou d'autres déchets comme les briques, verre et le marbre.

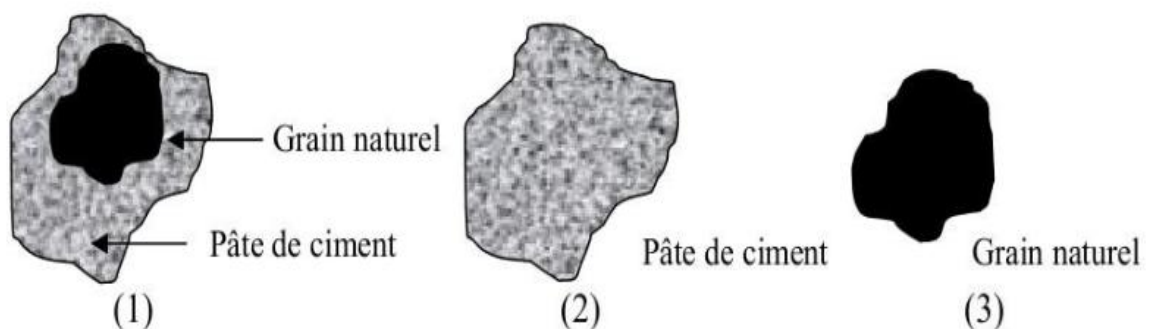
Après concassage, lavage et criblage, leur usage reste souvent réservé à des emplois spécifiques compte tenu de leur qualité particulière et de la réglementation en cours.

## I.10 Granulats de recyclage

### I.10.1 Béton de démolition

Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition: En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont :

- ✓ des granulats naturels concassés partiellement
- ✓ de la pâte de ciment hydraté concassée, enrobant les granulats naturels. Photo I.B.1



**Photo I.1 Formes des granulats recyclés [4,5,6,7]**

Les éléments constitutifs de ces granulats recyclés sont présents en proportion différente.

En effet, Le taux de pâte de ciment présent dans les granulats recyclés de béton varie en fonction de leur origine c'est-à-dire en fonction de la formulation de base du béton initial appelé béton parent dans la littérature.

### I.10.2 Caractéristiques des granulats recyclés de béton

La principale particularité des granulats issus du recyclage du béton est l'existence d'une gangue de ciment ancien attachée aux granulats naturels primaires.

Elle a une influence importante sur le comportement des bétons à base de granulats recyclés, car elle détermine, en grande partie, les caractéristiques géométriques (forme, état de surface), physiques (porosité et absorption d'eau). Mécaniques (friabilité, résistance aux chocs et à l'usure) et physico-chimiques de ces granulats (ils ne peuvent pas être considérés comme inertes). [8]

Lorsque les granulats recyclés sont issus de produits de démolition, il apparaît une autre particularité : la présence de différents types d'impuretés indésirables: minérales: comme le gypse, le verre, les chlorures, les briques ou bien organiques: comme le papier, le bois, les plastiques, etc.

Cette présence d'impuretés introduit une hétérogénéité importante des granulats recyclés et pose des problèmes liés à l'échantillonnage et à la représentativité des résultats lors de leur caractérisation, mais aussi des problèmes liés à la durabilité des bétons incluant ces granulats [8].

### I.10.3 Les différents types de concasseurs

Pour la fragmentation des matériaux secs (bloc de roche , béton démolé...) , différents types de concasseurs peuvent être envisagés.

#### ✓ Concasseurs à mâchoire

Avec ce type de concasseurs, le matériau est cassé par pression entre les deux machines, l'une fixe et l'autre en mouvement. Ces concasseurs ont tendance à produire des agrégats de forme plate (surtout pour la maçonnerie) .Ils sont, de ce fait peu indiqués comme concasseur secondaire par contre c'est ce type de concasseur que produit le moins de particules fines (de l'ordre de 10% max).

**✓ Concasseurs à marteaux**

Il réalise la fragmentation des matériaux par percussion sur des matériaux articulés sur un ou deux rotors tournants à grande vitesse. Lorsqu'il est utilisé comme concasseur primaire, la hauteur entre la courroie d'alimentation et l'axe de rotor est réglable. Cela permet, en réglant la vitesse du rotor d'assurer une très importante réduction de la dimension des matériaux concassés. La forme des matériaux a une influence sur la dimension et la forme des granulats obtenus. Le niveau de fragmentation est difficilement maîtrisable, la consommation énergétique de l'équipement est plus élevée en comparaison avec le concasseur à mâchoires. Par contre, la séparation de l'acier du béton est meilleure.

**✓ Concasseurs à percussion**

Un rotor équipé d'un certain nombre de barres d'impact, projette les matériaux à grande vitesse contre les parois de la chambre de broyage garnie latéralement des plaques d'usure et de deux encolures en acier de haute résistance .les agrégats sont produits par choc et éclatement, ils sont de ce fait très durs et de faible calibre avec une importante quantité de fines (jusqu'au 40% de particules < 6mm).

**✓ Concasseur giratoire**

Le concasseur opère par écrasement du matériau entre un cône giratoire. Le mouvement à l'intérieure de la chambre de broyage est commandé par un arbre excentrique, ce qui rapproche par le dessous de la machine. La dimension maximale du matériau est limitée à 200mm environ. Sans métal ni bois, cet équipement peut être utilisé comme concasseur primaire et produit des agrégats de forme cubique et une quantité moyenne de fines (< 20 %).

**✓ Concasseur à cône**

Ce concasseur fonctionne selon le même principe que le concasseur giratoire. Ici un cône tronqué se met autour d'un axe excentrique dans un matériau qui a la forme d'un cône tronqué inversé, de telle sorte que l'espace n'agrandit à nouveau, les petits morceaux tombent par la fente. Ici également, le matériau à concasser doit être exempt d'acier.

#### **I.10.4 Les méthodes de séparation des impuretés**

✓ **Séparation manuelle :**

Elle a l'avantage majeur de pouvoir éliminer les éléments indésirables qui ne sont pas facilement séparable par d'autres moyens, il s'agit notamment du verre, des morceaux d'isolants plats, les fils électriques gainés, etc. Par contre elle nécessite du personnel en permanence et le rythme de production doit être adapté à leur vitesse de travail (Par exemple, arrêt momentané de la bande transporteuse si trop d'éléments indésirables passent en même temps).

✓ **Séparateur magnétique**

Un très puissant aimant permanent enjambe la courroie transporteuse. Il est équipé d'une courroie à lattes contre lesquelles se plaquent les métaux ferreux qui sont ainsi écartés de la voie du concasseur pour tomber à côté de l'installation lorsqu'ils quittent le champ magnétique de l'aimant. Ce système ne fonctionne que pour les métaux ferreux.

✓ **Séparation par aspiration**

Tous les matériaux légers (tels que bois, textile, plastique de faible densité etc....) sont aspirés dans un système placé à l'extrémité du premier crible, tandis que les matériaux pierreux plus lourds, passent en travers. Son efficacité est notamment améliorée lorsqu'on peut l'utiliser que pour une fraction granulométrique bien définie. Dans ce cas, il permet jusqu'à 95% des éléments indispensables.

✓ **Séparation par gravité**

La méthode est basée sur la différence de masse volumique des différents composants. Pour pouvoir exploiter la différence de masse volumique, il faut s'intéresser à des volumes comparables et donc de sélectionner une granulométrie limitée. En général, la séparation s'opère en deux niveaux : un étage supérieur pour la fraction 50-150 mm et un étage inférieur pour 20-50 mm.

✓ **Séparation par décantation**

Les granulats traversent une distance avec renfile d'eau. Les matériaux légers flottent tandis que les matériaux pierreux plus tard, tombent au fond. Les éléments indésirables flottant sont raclés en surface tandis que les agrégats propres continuent le circuit. Ce procédé

a l'avantage d'éliminer la grande majorité des éléments indésirables ou de fournir un granulats très propre. Par contre il produit une grande quantité de boue qui doit être traité.

La figure II.1 résume le fonctionnement d'une centrale de concassage de génération moderne de production de granulats recyclés. Contient des dispositifs qui procèdent au retrait de certaines de ses impuretés.

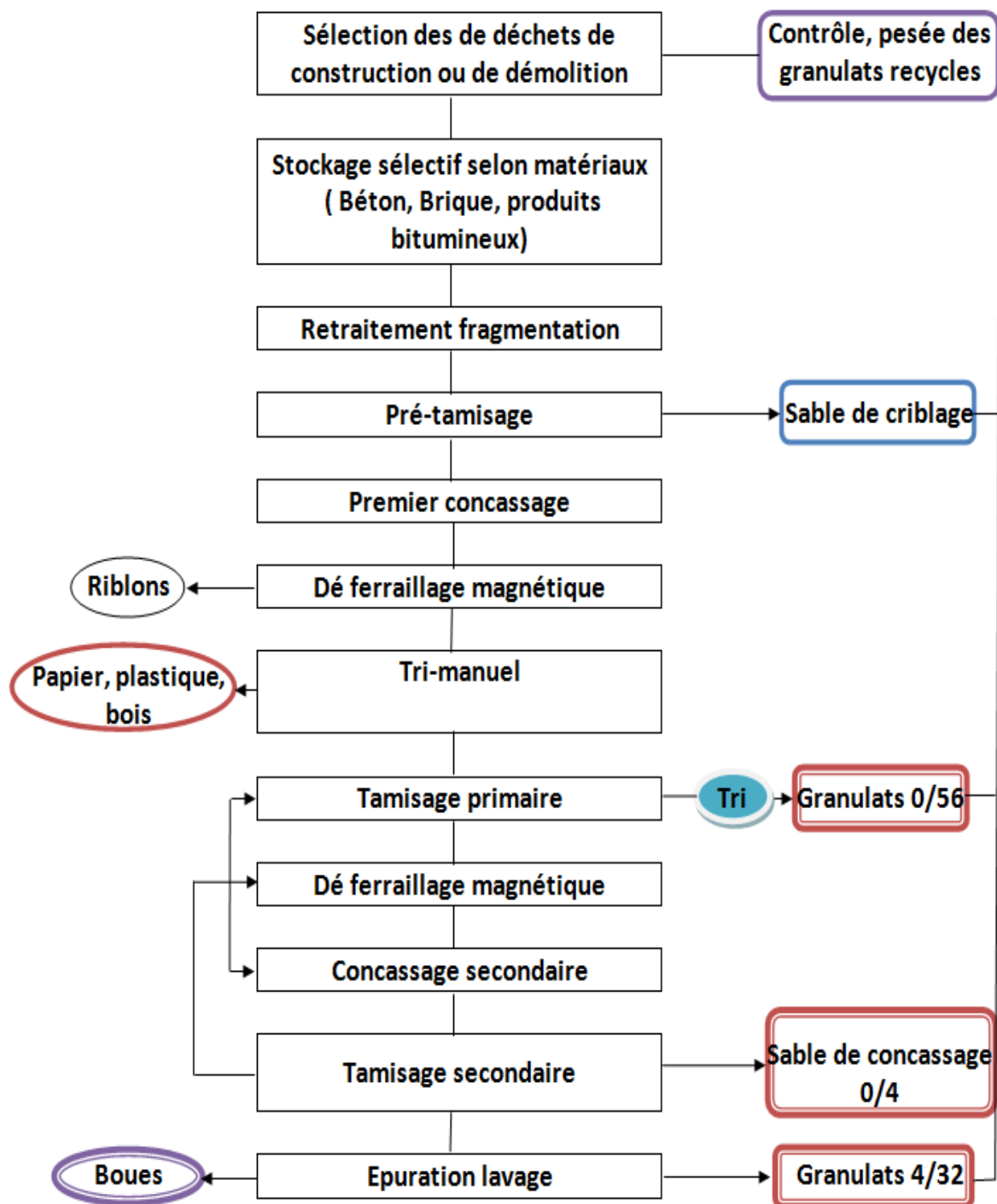


Figure I.2 Schéma de fonctionnement d'une centrale de recyclage/concassage [9]

### I.10.5 Caractéristiques morphologiques et physiques [8]

#### ➤ 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.

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) .

#### ➤ 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.

#### ➤ 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 masse volumique d'agrégats de béton recyclé est inférieure de l'ordre de 5 à 10% de celle d'agrégats naturels [32,12]. Cette baisse est relativement à la masse volumique faible d'anciens mortiers attachés aux particules d'agrégats du béton recyclé.

La porosité des granulats recyclés est beaucoup plus élevée que celle des granulats naturels courants. La porosité globale du sable recyclé a été évaluée à 13% [10] .

#### ➤ L'absorption d'eau par les granulats recyclés

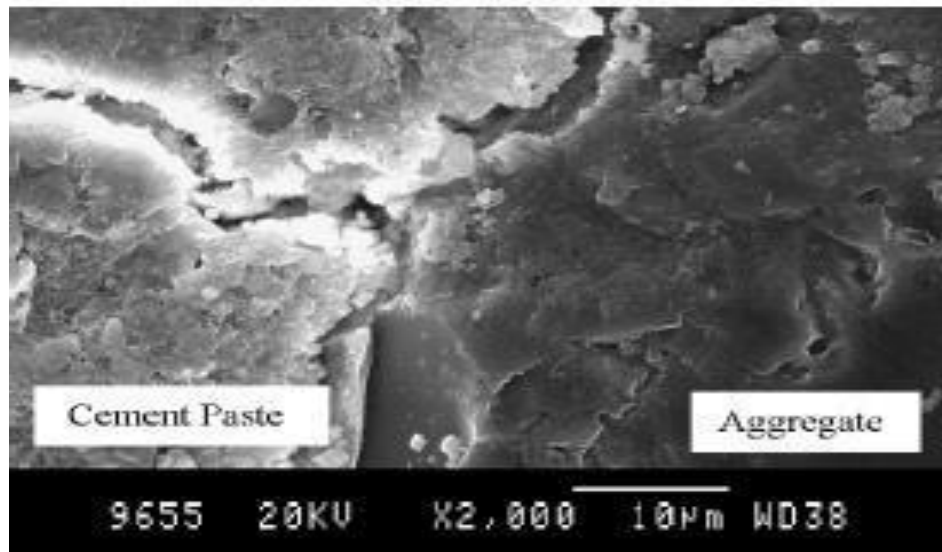
Deux effets principaux de l'absorption d'eau par les granulats recyclés peuvent être considérés :

- 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 [2]. Photo II.2 .



**Photo I.2 Interface granulat naturel / pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton [2]**

### **I.10.6 Domaines d'utilisation des granulats recyclés de béton**

#### ➤ **Les routes et le VRD (Voiries Réseaux Divers)**

Les chaussées sont constituées en partie d'une couche d'assise (couche de fondation et couche de base). Elles sont surmontées éventuellement d'une couche de liaison pour l'amélioration des performances, puis d'une couche de roulement adaptée aux trafics (Classe du trafic définie par la moyenne journalière des poids lourds par voie de circulation).

Quel que soit le niveau, les granulats sont utilisés dans l'ensemble de ces couches. Ils doivent répondre à des critères de qualité liés à la solidité des ouvrages et à la sécurité. Ces exigences sont spécifiées dans des normes françaises (NF) et européennes (EN).

Les granulats de recyclage peuvent être utilisés dans les couches de forme et les couches d'assises, ainsi que sur les accotements des chaussées.

#### ➤ **La production de béton**

Actuellement, les emplois des bétons à base de granulats recyclés de béton ne sont pas encore normalisés dans la plupart des pays.

#### ➤ **Les réseaux ferrés**

Les voies ferrées requièrent de très grandes quantités de ces granulats pour la réalisation de structures des plates-formes, des chaussées, et de ballast des chemins de fer.



### **I.10.7 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 massique 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]. [3]

En général, il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires. Cependant, une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton qui respecte le cahier des charges.

### **I.10.8 Déchets de marbre**

#### **I.10.8.1 Définition de marbre**

Le terme « marbre » serait d'abord une appellation traditionnelle dérivée du grec marmaros, qui signifie "pierre resplendissante", (ensuite du latin marmor) et indiquait n'importe quelle pierre « lustrable », c'est-à-dire dont la surface pouvait être lustrée au moyen de polissage. Dans ce sens, l'appellation n'a pas de définition géologique précise et ne se réfère qu'à la capacité d'une roche à être polie et refléter la lumière.

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

Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7.

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

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

Durant l'année 2007, la production de marbre en blocs, par les filiales de l'Entreprise ENAMARBRE, est de 10 620 m<sup>3</sup>, en baisse de 33,96% par rapport à la production enregistrée en 2006 qui était de 16 082 m<sup>3</sup>.

#### **I.10.8.2 L'objectif et l'importance d'utilisation de fines de marbre**

Dans notre recherche nous choisissons les fines de marbre comme substitutions pour objective d'obtention des mélanges idéal (module de finesse conformément le norme), et caractéristiques physique et mécanique caractérise ( densité, haute résistance , moindre de porosité et bonne maniabilité et affaissement), et des ouvrages durable.



**Photo I.3 : Photos montrant le marbre et le granite dans la nature**

### **I.10.8.3 Les types de déchets de marbre**

Il existe quatre types de déchets du marbre : Déchets solides, Déchets liquides, Émissions de poussières, Les eaux usées de l'usine .

- ✓ **Déchets solides** :de grande taille provenant de marbre et de pierre. Ces déchets sont éliminés dans l'industrie du béton et divers ouvrages de construction.
- ✓ **Déchets liquides** :l'ors que l'eau sort des mécanismes chargés de fines et de particules granulés, sable et sciure résultant des processus de coupe, d'épandage, de raffinage et de décantation surfaces de marbre et de pierre.
- ✓ **Émissions de poussières** et de particules résultant de la diffusion de fines molles et de sciure de bois lors de la coupe, de l'épandage et du meulage.
- ✓ **Les eaux usées de l'usine** : qui sont déversées dans le réseau d'assainissement local.

### I.10.9 Classification de granulats recyclés selon RILEM [11, 12]

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 été comme le montre la figure suivantes :

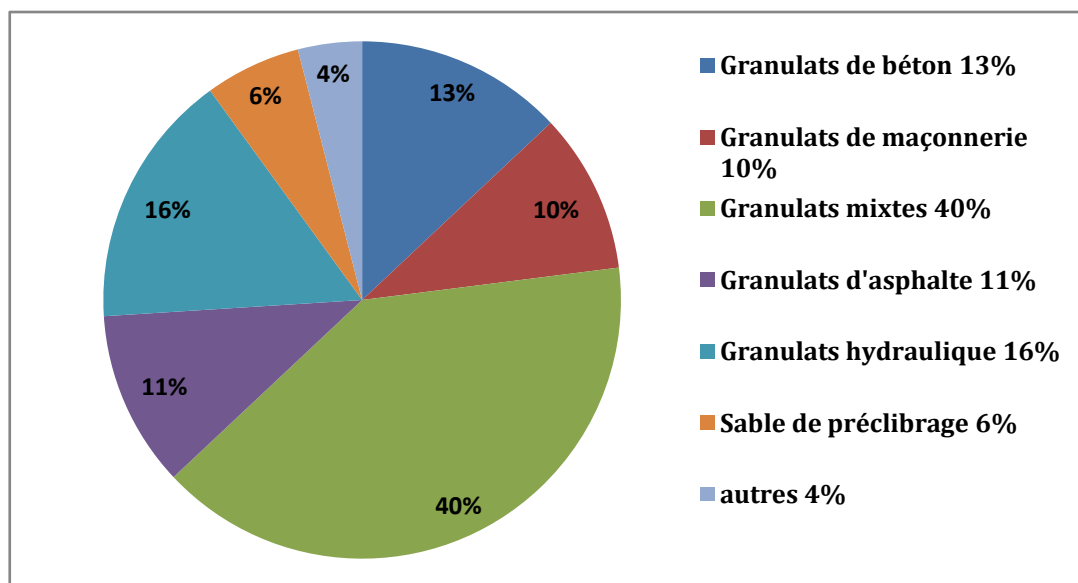


Figure I-3 : Répartition de la production en granulats recyclés au Pays-Bas en 1992.

Parmi les différentes définitions et classifications d'agrégats recyclés, la classification du comité technique (TC121) de la RILEM lors du 3ème congrès sur la démolition et réutilisation du béton et de la maçonnerie au DANEMARK (Odense) 1993[11], paraît être un des plus convenables pour une application pratique. La RILEM recommandait de classifie les gros granulats recyclés en trois type (Tableau I.2) 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 :

Tableau I.2 : Composition des différents types d'agrégats recyclés proposé par [13,14]

Types d'agrégats	Composition
<b>Type I</b>	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de maçonnerie (brique).
<b>Type II</b>	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de béton.
<b>Type III</b>	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).

Les limites proposées sur ces granulats sont résumées au tableau I.3 suivants :

**Tableau I.3 : Les différentes limites proposées par le RILEM sur les trois classes de béton recyclés [14]**

Exigences mandataires	Type I	Type II	Type III
Densité sèche minimum (kg/m <sup>3</sup> )	1800	2200	2400
Absorption d'eau max. (%)	15	5	3
Teneur maximale de matériaux à densité sèche < 2200 kg/m <sup>3</sup> (%)	-	10	10
Teneur maximale de matériaux à densité sèche < 1000 kg/m <sup>3</sup> (%)	10	1	1
Teneur maximale on matériaux à densité sèche < 1200 kg/m <sup>3</sup> (%)	2	0.5	0.5
Teneur maximale on matériaux non minéraux (%)	1	1	1
Teneur maximale on matériaux organique (%)	0.5	0.5	0.5
Teneur maximale en élément fins (< 0.8mm) (%)	3	3	2
Teneur maximale en sable (< 1mm) (%)	3	3	3
Teneur maximale en chlorure (%)	0.06	0.06	0.06
Teneur maximale en sulfate (%)	1	1	1
Teneur maximale en matières étrangères (verre, métal, ... etc) (%)	5	1	1

Les classes de résistance du béton à base des granulats recyclés recommandés par la RILEM Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials), sont résumées dans le tableau I.4 suivants :

**Tableau I.4 : Classe du béton recyclé [14]**

Classe de béton	Type I	Type II	Type III
C16/20	x	-	-
C50/60	-	x	-

Aucune limite n'est donnée pour le type III.

Les coefficients multiplicateurs des propriétés des bétons recyclés par rapport aux bétons d'agrégats naturels proposés par la RILEM, sont comme suite :

**Tableau I.5 : Les coefficients multiplicateurs des propriétés des bétons recyclés par rapport aux bétons ordinaire [14]**

Classe de béton caractéristique	Type I	Type II	Type III
Retrait	1.5	1.3	1
Module d'élasticité	0.7	0.8	1
Fluage	1.2	1.2	1
Résistance de traction	0.8	0.9	1

### **I.11 Des études antérieures sur les granulats recyclés de béton de démolition et de déchets de marbre**

[Saadani, Sabrina ; 2010] ont faite une étude de comportement des bétons à base de granulats recycles, 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%).. [15]

[Bourmatte, Nadjoua ; 2017] ont faite 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 / m<sup>3</sup>, 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. [2]

[Ranjodh, kaushik ; 2013] ont étudié la substitution des granulats fins par la poudre de marbre et la poussière de brique à un pourcentage de 25% et 50%. Les résultats obtenus montrent que la poussière de brique peut être efficacement utilisée pour produire une bonne qualité du béton autoplaçant (étalement et temps d'écoulement satisfaisants), ainsi avec un dosage de 25%, la poussière de brique donne une meilleure résistance à la compression. [16]

[**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..[12]

[**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. [17]

[**Houria Hebhou, Mouloud Belachia ; 2010**] ont fait une étude sur l'introduction de sable de déchet de marbre dans le béton hydraulique, l'étude est une caractérisation des matériaux utilisés qui nous permet de formuler les bétons. Dans ce sens on a étudié une série d'essais, « substitution de sable » avec un rapport E/C (eau /ciment) constant pour une teneur en sable recyclé variable. L'étude consiste à analyser les propriétés mécaniques à l'état frais et durci des bétons avec un taux de substitution variable (25%,50% ,75% et 100%) et de comparer les résultats avec un béton témoin à base de granulats ordinaires.. [18].

[**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. [19]



## I.12 Conclusion

Cette synthèse bibliographique a été réalisée pour évaluer et connaître le cas concernant la possibilité de recyclage du béton démolé avec l'incorporation de proportions de fines de marbre et leur substitution à partir de sable recyclé. Mais pour bien comprendre ce comportement, il a fallu agréger les propriétés de ces agrégats, la structure microscopique, les différentes réactions chimiques, ainsi que les mécanismes d'adhésion de l'agrégat de pâte de ciment. La plupart des formules de béton sont conçues actuellement de manière empirique. La méthode de Dreux-Gorisse n'est en effet pas adaptée, car elle ne prend en compte ni les adjuvants ni les additions. La formulation se fait donc sur la base de l'expérience acquise ces dernières années. L'aspect économique n'est pas encore le critère prédominant de la formulation; les dosages en super-plastifiants et en fines ne sont donc pas bornés. Il est vrai, paradoxalement, que l'utilisation des agents de viscosité n'est pas très diffusée, justement à cause de leur coût.

Tous les programmes expérimentaux demandent un certain nombre d'essais pour caractériser les constituants ou leurs interactions. Les essais en laboratoire sont pratiquement indispensables pour une formulation scientifique des bétons ordinaires ou les autres. Les données bibliographiques spécifiques concernant l'influence des granulats recyclés sur les propriétés physico-mécanique et ainsi sur les paramètres de durabilité, sont présentées et analysées.

D'après notre étude bibliographique, il n'est pas aisé de dégager des règles générales d'emplois de granulats recyclés dans les bétons ou mortiers; cela vient de la disparité des objectifs des scientifiques, de ce que leur travail vise à caractériser, ou rechercher des propriétés particulières, de l'abondance des paramètres de composition, de matériaux locaux, de la mise en place, du mode de cure et d'essais.

Nous envisageons dans cette étude de travailler sur l'obtention des solutions au problème, avec la possibilité d'incorporer des proportions de fines de marbre sur du béton constitué principalement d'agrégats recyclés pour obtenir un béton résistant et durable, nous abordons le problème en mesurant avec de nombreuses études menées dans le même domaine.



## **CHAPITRE II :**

---

### **MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES**

---

## **CHAPITRE II :**

### **MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES**

#### **II.1 Introduction**

Ce chapitre décrit en détails tous les essais réalisés au cours de la présente recherche, les matériaux utilisés ainsi que les résultats de leur caractérisation en les comparant aux différentes valeurs imposées par les normes et des études antérieures.

Le programme expérimental utilisé dans l'étude des bétons ordinaires à base de granulats recyclés 100% de béton de démolition: on a fait varier le taux d'incorporation de fines de marbre 0%, 5%, 10%, 15% et 20% pour confectionner les bétons BR0, BR5, BR10, BR15 et BR20 respectivement, aussi le dosage en ciment et super plastifiant fixée 350 Kg/m<sup>3</sup> et 2% respectivement; Le béton de référence c'est un résultat des études antérieures et le béton témoin BR0 (Sable et gravier recycle 100%), le béton témoin à base de granulats complètement naturels qui à difficile via impossible de confectionner avec les mêmes conditions que le béton recyclé ( E/C et %SP) , on a pu observer ensuite le comportement de ces bétons à l'état frais et durci.

On a abordé aussi dans ce chapitre, la composition des différents bétons en adoptant la méthode Dreux-Gorisse pour les bétons ordinaires, avec présentation de tous les mélanges retenus dans cette étude. La formulation des bétons à base des agrégats recycle et de déchets de fines de marbre.

#### **II.2 Matériaux de base utilisés**

Les matériaux de base utilisés sont: les granulats de béton de démolition (sable et gravier), les déchets de marbre (fines de marbre), les ciments, les adjuvants et l'eau de gâchage; Les normes **NF P 18-101** et **NF P 18-541** définissent les caractéristiques des granulats, pouvant être utilisés pour la confection des bétons. Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiments et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage, il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire :

- L'essai de détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des essais permettant de caractériser la forme (coefficient de forme).
- L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme **NF P 18-553**.

- La propreté de granulats peut être mesurée par deux méthodes :
  - En utilisant les essais d'équivalent de sable **NF P 18-598** qui permettent donc de déterminer la quantité des éléments les plus fins contenus dans les granulats.
  - Par l'essai au bleu de méthylène **NF P 18-592** qui permet d'évaluer le degré d'activité des particules fines argileuses qui sont responsables, dans une large mesure des désordres et de non qualité dans les bétons.
- L'essai de détermination des insolubles et teneur en Sulfate, **NF P15-461** et **NBS1377**  
La présente norme expérimentale a pour objet de définir le mode opératoire de référence.
- L'essai de teneur en carbonate se fait à l'aide du Calcimètre de Dietrich-Frühling, qui permet à définir le pourcentage de carbonatée contenue dans un sol, une roche ou un matériau, suivante la norme **NF P 94-048** (Octobre 1996) ou **NF P15-461**.
- La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. De même que l'on distingue le volume apparent (c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides) et le volume absolu (sans tenir compte du volume des vides).
- L'essai de détermination du coefficient d'Absorption d'eau qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22°C à la masse sèche de l'échantillon conformément à la norme **NF P 18-555** [Normes AFNOR].
- L'essai de détermination la teneur en eau d'un granulat qui est défini le pourcentage d'eau (en masse) par rapport au matériau sec de l'échantillon conformément à la norme **NF P 18-555** [Normes AFNOR].
- L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon.

Lors de la fabrication du béton, le malaxage est la source de frottement intense entre les grains. Si ceux-ci ne sont pas assez résistants, ils peuvent se casser en produisant des sables ou des éléments fins. Les essais effectués sont :

- Résistance au choc ; Los Angeles **NF P 18-573**: l'essai consiste à mesurer la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm. Produits par la fragmentation du granulat testé et qui l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

- Résistance à l'usure ; essai Micro Deval **NF P 18-572**: l'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottement mutuels, en présence d'eau et d'une charge abrasive, dans un cylindre en rotation.

Les résultats de caractérisation des granulats utilisés et comparaison avec les valeurs des normes seront présentés dans ce qui suit (Tableau II.3) :

### II.2.1 Matériaux utilisés pour Bétons à base de granulats de béton de démolition

- **Granulats de Béton de démolition**

Pour les granulats recyclés, on a choisi des éprouvettes de laboratoire qui ont subi des tests destructifs, déchets de démolition et déchets de production de l'industrie du béton..., certaines et dont on dispose des renseignements sur la composition de leurs bétons, la qualité des granulats et leurs caractéristiques.

Les granulats recyclés utilisés dans les études sont donc des granulats concassés de trois classes : sable 0/5, gravier 5/10 et 10/16 (mode de concassage traditionnel avec marteau).

La préparation et l'obtention des classes granulaires se fait par concassage, criblage et tamisage .



**Photo II.1 : Béton de démolition**



**Photo II.2 : Gravier recycle 10/16**



**Photo II.3 : Sable recycle 0/5**



**Photo II.4 : Gravier recycle 5/10**

## II.2.2 Essais d'analyse chimique

La composition chimique détaillée d'un sol est de peu d'intérêt pour les projets BTP elle comprend les métaux organiques, PH, les sulfates, les carbonates et les chlorures et sel dissous dans l'eau.

### II.2.2.1 Teneur en carbonate

La détermination du taux de carbonate se fait à l'aide du Calcimètre de Dietrich-Frühling. Le but pour déterminer le pourcentage de la fraction carbonatée contenue dans un sol, une roche ou un matériau, suivant la norme **NF P 94-048** (Octobre 1996), et utile pour les raisons suivants :

- utilise comme indice pour évaluer la quantité de la craie, une teneur en carbonate élevée signifie une faible teneur en minéraux argileux, et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.
- Dans les sols cimentés et les roches sédimentaires meubles, la teneur en carbonate indique le degré de cimentations.
- C'est un indicateur du pourcentage de pierre concassée et déjà mélangée à du sable recyclé pour voir le taux de carbonate( % de carbonate dans roches élève).



**Photo II.5: Calcimètre de Dietrich-Frühling**



➤ **Mode d'essai**

- Le flacon et la burette sont remplis d'eau distillée colorée par quelque gouttes de bleu de méthylène de telle sorte que ce liquide atteint au préalable le niveau zéro dans la burette et dans le flacon.
- On recueille à partir de l'échantillon initial le tamisât passant par le tamis 0.2mm ensuite on prend une masse de 0,5g de substance, on la verse entièrement au fond d'un flacon et à l'aide d'une pince brucelles, on fait descendre prudemment un petit tube contenant 10 ml d'acide chlorhydrique à 10%.
- On branche bien le flacon à réaction à l'aide d'un bouchon à tubulure, l'air existant dans le flacon va entraîner le déplacement de la solution de la burette.
- On note cette 1<sup>er</sup> lecture soit  $V_1$ , puis à ce moment on fait basculer l'acide sur la substance en inclinant le flacon, le gaz carbonique se dégage et exerce une autre pression sur le liquide on note la 2<sup>eme</sup> lecture soit  $V_2$

Calculer par la formule :

$$\% \text{Caco3} = \frac{V_2 - V_1}{115} \times 100$$

Où :

-  $V_{\text{caco}} = 115$  ,

La réaction chimique de formation du carbonates peut être représentée comme suite :



Résultat :  $\% \text{Caco3} = ((73,82-8,5)/115) \times 100 = 56,80 \%$

### II.2.2.2 Détermination des insolubles et Teneur en Sulfate

#### II.2.2.2.1 Détermination des insolubles NF P15-461 :

Pour déterminer les insolubles nous procédons de la manière suivante :

- Retire le tamisât passant par le tamis 0,2mm de l'étuve réglée à 60 °C.
- Mettre dans un bécher 1g d'échantillon
- Ajouter 100 ml d'acide chlorhydrique dosage à 33%.
- Porter le tout sur une plaque chauffante pendant 10 minutes .
- Une fois la durée d'ébullition est terminée, filtrer le contenu de bûcher dans une fiole.
- Ajouter au filtrat de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 ml.
- Mettre le papier filtre avec le contenu dans un creuset pour la calcination 900°C dans le four pendant 2heures.



**Photo II.6: Appareillage d'essais des insolubles**

Calculer par la formule :

$$\% \text{ Ins} = (P_1 - P_0) \times 100$$

Où :

- $P_0$  = le poids du creuset vide.
- $P_1$  = le poids du creuset après calcination au four.

Résultat :  $\% \text{ ins} = (112,406 - 112,116) \times 100 = 29 \%$

#### II.2.2.2 Détermination de la teneur en sulfate :

Pour déterminer la teneur en sulfate, on utilise le filtrat obtenu dans l'opération de détermination des insolubles comme suite:

- Prenez 100ml de filtrat qui se trouve dans le fide après une mélange énergique.
- Verse cette quantité dans un bécher.
- Mettre le tout sur une plaque chauffante pendant 10 minutes.
- Une fois les 07 premiers minutes passent, ajouter au contenu de bécher 25ml de chlorure de Barium à 10%.
- Après l'ébullition filtre la solution sur un papier filtre doublée
- Mettre le papier filtre avec le contenu dans un creuset pour la calcination 900 °C dans le four pendant 2 heure.



**Photo II.7: Appareillage d'essais de teneur en sulfate**

Calculer par la formule :

$$\% \text{Caso}_4 = (P_1 - P_0) \times 184,23$$

Où :

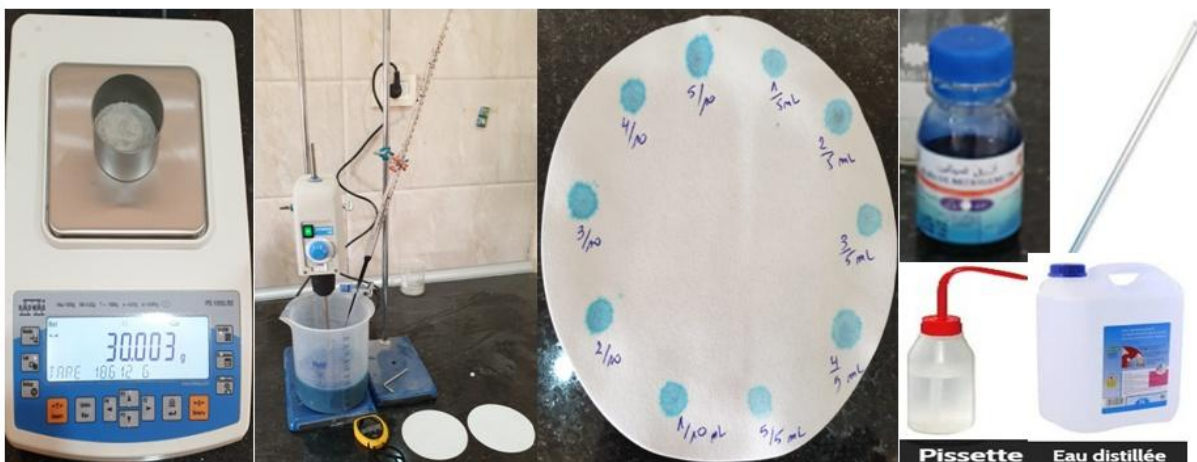
-  $P_0$  = le poids du creuset vide.

-  $P_1$  = le poids du creuset après calcination au four.

Résultat :  $\% \text{Caso}_4 = (102,602 - 102,59) \times 184,23 = 2,20\%$ .

### II.2.2.3 Essai au bleu de méthylène : NF P 18-592

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol. L'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée.



**Photo II.8: Matériel (essai manuel) au bleu de méthylène**



➤ **Mode opératoire**

- Tamiser l'échantillon à étudier au tamis 2 mm.
- Verser un échantillon de 30 gr de sol sec dans le Bécher et ajouter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Agiter sans arrêt le mélange à l'aide de l'agitateur à ailettes.
- Ajouter 5 cm<sup>3</sup> de bleu de méthylène dans le Bécher.
- Prélever une goutte de mélange et la placer sur papier filtre.
- Si la tache centrale est entourée d'une auréole bleu turquoise, le test est positif. Dans ce cas l'essai est terminé, les particules argileuses sont alors saturées en Bleu de Méthylène. On recommence l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.
- Si la tache est entourée d'une auréole humide incolore, le test est négatif. Dans ce cas, on ajoute du bleu de méthylène par prises de 5cm<sup>3</sup> jusqu'à ce que le teste soit positif. On répète l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.

Calculer la valeur au bleu du sol (VBS) en appliquant la formule suivante :

$$\text{VBS} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{ms}} \times \mathbf{C} \times 100$$

Où :

- **B** : masse de bleu introduite dans le bécher (en gr).
- **Ms** : masse sèche de la prise d'essai (en gr).
- **C** : proportion de 0/5 mm soumis à l'essai dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

Résultat :  $\text{VBS} = (5/30) \times 100 = \mathbf{0,1666} = \mathbf{0,17 \%}$

D'après le Guide des Terrassements Routiers (GTR 92) on dire Catégorie de sol insensible à l'eau.

**Tableau II.1 Récapitulation les caractéristiques chimique**

Les éléments chimique	Résultats obtenu (%)	Norme
<b>Insolubles</b>	29	<b>NF P15-461</b>
<b>Sulfates CaSO4</b>	2,2	<b>N BS1377</b>
<b>hydroxide Sodium NaOH</b>	12	<b>NF P15-461</b>
<b>Carbonates CaCO3</b>	56,8	<b>NF P15-461</b>

### II.2.3 Essais d'analyse physique et mécanique

Les analyses au laboratoire donnent les résultats suivants :

**Tableau II.2 Analyse granulométrique des granulats recyclés (béton démolé)**

Diamètre Tamis en (mm)	Module tamis	Pourcentage des Tamisât cumulés en (%)			
		SR 0/5	GR 5/10	GR 10/16	GR 5/20
25	45			100	100
20	44			99.08	99.50
16	43		100	71.37	94.40
12.5	42		99.23	37.92	79.60
10	41		97.34	8.91	57.50
8	40		67.39	1.59	34.50
6.3	39		37.32	1.06	15.02
5	38	100	10.85	0.70	2.42
4	37	93.31	3.20	0.62	0.52
3,15	36	83.86	1.24		
2,5	35	68.97			
1,6		62.21			
1,25	32	54.08			
1	31	48.87			
0,80	30	44.00			
0,63	29	37.83			
0,50		31.35			
0,315	26	19.36			
0,25		15.47			
0,16	23	8.79			
0,125		6.89			
0,08	20	3.74			

Module de finesse **Mf = 3,11**

Selon le % des refus et le module de finesse de cette essai, égale à 3.11, on peut dire que le sable analysé est un sable trop grossier qui peut être utilisé dans des grands béton pour favoriser des résistances élevées, mais le béton ne sera pas bien ouvrable, donc un risque de ségrégation existe, d'où la nécessité de faire une correction au sable en ajoutant des fines à ce sable recycle.

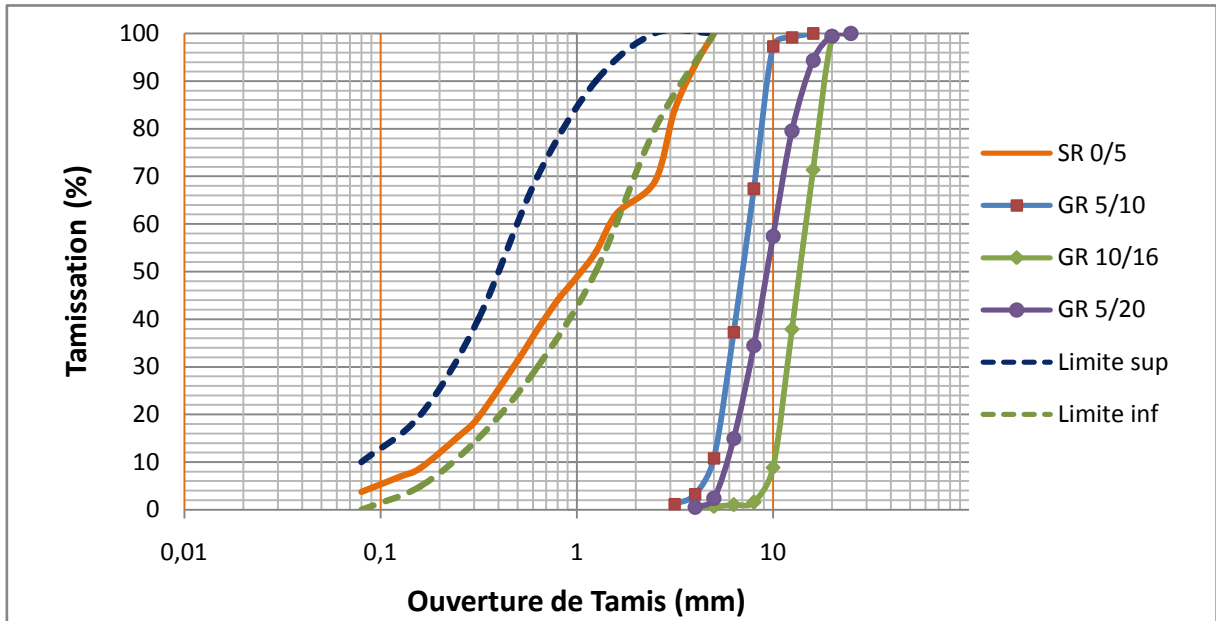


Figure II.1 Courbes granulométrique des granulats recyclés (béton démolé) étudiés

L'analyse granulométrique est très nécessaire Car :

- ✓ Elle permet de déterminer la grosseur des différentes familles de grains.
- ✓ Les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains

Tableau II.3 : Caractéristiques physico-mécanique des granulats utilisés et résultats des études antérieures

Caractéristiques	Résultats obtenus				Résultats des études antérieures				
	Sable Recyclé	Gravier Recyclé classe			Sable Recyclé		Gravier Recyclé classe		
d/D	0/5	5/10	10/16	5/20	0/5 [20]	0/5 [2]	6/20 [2]	5/12,5 [20]	12,5/20 [20]
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2,38	2,50	2,48	2,47	2,56 [19]		2,28 [19]	1,98 [19]	
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,35	1,30	2,29	1,26	1,04 [19]		1,14 [19]	1,09 [19]	
Module de finesse (MF)	3,11	-	-	-	2,40	4,67	-	-	-
Coefficient d'aplatissement (%)			6,34					10,10	
P: Propreté Superficielle			92,18					97,70	99,00
Equivalent de sable (visuel) %	87,27				65,40				
Equivalent de sable (piston) %	88,54								
VB: Bleu de Méthylène	0,17				0,17				
Teneur en eau (%)	2,56	1,50	1,55	1,56	3,13			0,85	0,90
Coef. d'Absorption d'eau (%)			3,76	4,25	7,09		11 [33]	6,25	5,36
Indice des vides (%)									
Los Angeles			34,10				26,00	38,88	36,20
Micro-Deval			33,65				31,00	36,50	38,60

Les agrégats acceptables pour la production du béton doivent avoir un Coefficient Los Angeles  $LA \leq 40\%$  selon la norme française **NF P 18-573** ; La majorité des auteurs confirment avoir trouvé des coefficients Los-Angeles satisfaisants pour ces granulats recyclés.

Sable très propre ( $ESV \geq 85$  et  $ESP \geq 80$ ), l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau selon la norme française **NF P 18-598**, et  $Mf=3.11$  donc le sable manque de fines, il est un peu trop grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

La masse volumique des granulats recyclés est plus faible que celle des granulats naturels, ce qui est conforme avec les résultats trouvés par d'autres chercheurs [12,30,32 et 33], Cette diminution est principalement due à la masse d'ancien mortier de faible densité recouvrant les particules des granulats de béton concassé, ces granulats peuvent être classés comme granulats légers. Cette granulats absorbent beaucoup plus que le granulats naturels. Cela du à la présence d'ancien mortier dans les granulats de béton concassé  $Ab=3.76$  et  $4.25\%$  conformément des résultats trouvent par le chercheur [20] .

- **Ciment**

Le ciment anhydre est obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux (des ajouts) contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuits à haute température (température de clinkérisation, à  $1450^{\circ}\text{C}$ ) puis broyés. Tous les ciments courants contiennent du clinker Portland (mélange de calcaire et de silice cuits) qui assure la fonction liante. Cependant, suivant leur types, ils peuvent aussi contenir des constituants secondaires (fumée de silice, cendres volantes, laitiers de haut fourneau...). Le ciment se présente sous forme de grains ayant une grande dispersion de taille (le diamètre varie de 1 à  $100\ \mu\text{m}$ ) et de forme, dont le diamètre moyen est d'environ  $10\ \mu\text{m}$ .

Le ciment utilisé pour l'étude de cette variété de bétons est le ciment de type :  
CEM II/B-L 42,5N ciment portland au calcaire fabriqué à l'usine SPA BISKRIA CIMENT  
( voir annexe).

Les différentes caractéristiques que ce soit chimiques, physiques ou mécaniques du ciment sont établies sur des fiches techniques élaborées au niveau du laboratoire de l'usine. Les différentes caractéristiques sont présentées dans le tableau II.4 :

**Tableau II.4:Caractéristiques physico-mécanique, minéralogique et chimiques de ciment**

<i>Analyses chimiques (%)</i>	<i>Valeur</i>
Perte au feu	7,5 – 9,5
Teneur en sulfates ( SO <sub>3</sub> )	2,4 – 2,8
Teneur en Oxyde de Magnésium ( MgO )	< 3,5
Teneur en Chlorures ( Cl <sup>-</sup> )	< 0,05
<i>Composition Potentielle du Clinker (%) selon Bogue</i>	<i>Valeur</i>
C3S	58 – 66
C3A	5,1 – 7,2
<i>Propriétés physiques</i>	<i>Valeur</i>
Consistance normale ( % )	26,5 – 28,4
Expansion à chaud ( mm )	0,0 – 1,0
<i>Temps de prise (min)</i>	<i>Valeur</i>
Début de prise	150 - 200
Fin de prise	220 - 290
<i>Résistance à la compression en (Mpa)</i>	<i>Valeur</i>
2 jours (Mpa)	15 - 25
28 jours (Mpa)	42,5 – 52,5

- **Adjuvant (Super plastifiant) NF EN 934-2**

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 2% du poids de ciment permet d'améliorer certaines de ses propriétés.

L'adjuvant utilisés dans ce contexte, est un super plastifiant haut réducteur d'eau de forme liquide; couleur brai clair permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité il est fourni par l'entreprise GRANITEX et commercialisé sous le nom : MEDAFLOW 145, de densité  $1.065 \pm 0.015$ , de PH entre 5-6 et de teneur en chlorure < 1g/l et extrait sec  $30 \pm 1,5$  % conforme à la norme **NF EN 934-2** et **NA 774**. Le pourcentage autorisé par le fabricant est de 0,3 – 2,0% de poids de ciment soit 0,33 à 1,8 litre pour 100Kg de ciment ( voir annexe).

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

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 145 permet:

- Sur béton frais : Obtention d'un E/C très bas, béton plastique à fluides, une très bonne maniabilité, un long maintien de l'ouvrabilité et de faciliter la mise en œuvre du béton.
- Sur béton durci : Bonne résistance initial et finales, diminue la porosité, diminue le retrait et bel aspect de parement au décoffrage.

- **Eau de gâchage**

L'eau permet d'activer la réaction d'hydratation du ciment anhydre et donner une pâte cimentaire durcie. La quantité d'eau initiale est un paramètre de formulation qui conditionne les propriétés mécaniques (résistance, raideur...) et de transfert (porosité, perméabilité...). Ce paramètre est donné par le rapport massique de la quantité d'eau à celle du ciment, noté E/C. Ce rapport affecte également la saturation initiale du matériau, c'est-à-dire l'eau disponible dans le réseau poreux après hydratation.

L'eau utilisée pour la confection des mélanges de bétons est celle provenant du robinet en principe exempte d'impuretés. Il s'agit d'une eau potable. Sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées, quoi que le béton obtenu à une température environ  $20 \pm 2$  °C . Sa qualité conforme aux prescriptions de la norme **NF P 18-303**.

#### **II.2.4 Matériaux utilisés pour Bétons à base de granulats de béton de démolition avec l'incorporation de taux du fines de marbre**

- **Granulats recyclés de béton de démolition**

Les granulats recyclés utilisés dans les études sont donc des granulats concassés de trois classes : sable 0/5, gravier 5/10 et 10/16 (mode de concassage traditionnel avec marteau).

La préparation et l'obtention des classes granulaires se fait par concassage, criblage et tamisage.

Les résultats de l'analyse granulométrique des granulats recyclés (béton démoli) sont présentés précédemment au tableau II.1 .

- **Déchets de marbre**

Les déchets de marbre utilisés dans sont études proviennent de l'usine de marbrerie de Chaabani à Bayadha sous forme de granules et de petits morceaux qui sont broyés manuellement comme illustré, Photo II.9.

Et l'autre quantité de marbre très fin, il a été broyé en une partie granuleuse de moins

de 80µm provient de l'usine de marbre de Belida. Ses propriétés sont présentées dans les tableaux II.5 [15].



Photo II.9 Déchets de marbre utilisés

Les analyses au laboratoire donnent les résultats suivants [15] :

**Tableau II.5 : Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques; physico-mécaniques et chimiques de marbre de la carrière de FIL-FILA [15].**

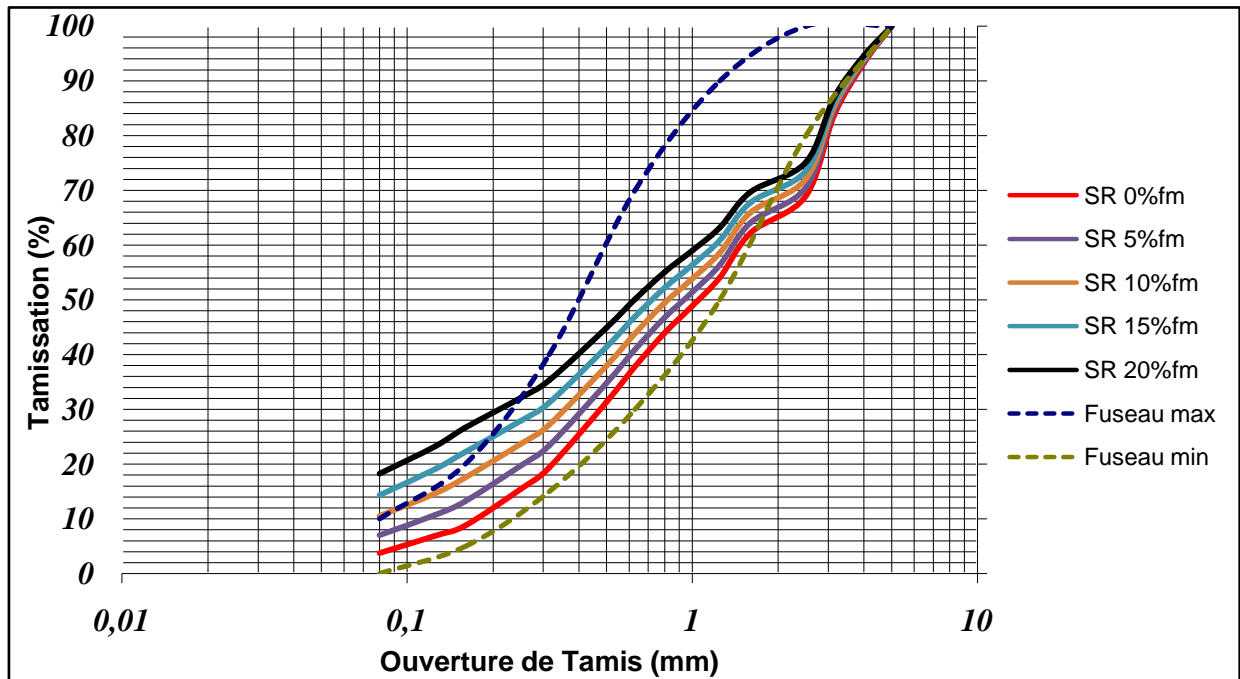
Caractéristiques	Type de marbre		
	Blanc	Gris	Réséda vert
<b>Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques</b>			
<b>Nature pétrographique</b>	Calcaire microcristalline		
Couleur	Blanche	Gris sombre	Gris avec veinules vertes
Aspect	Homogène	Non Homogène	
Texture	Massive	Massive	-
Structure	Microcristalin		-
<b>Composition minéralogique</b>			
Calcite	100%	96%	94%
Quartz	-	3%	3%
Oxyde de fer	-	0,1%	-
<b>Caractéristiques physico-mécaniques</b>			
Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>	2,736	2,746	2,752
Compacité en %	98,03	99,70	98,70
Porosité en %	1,96	0,30	1,30
Coefficient d'absorption d'eau en %	0,39	0,11	0,16

Coefficient de saturation en %	0,87	0,50	0,77
Résistance à la compression à l'état sec en kg/cm <sup>2</sup>	961	1378	949
Résistance à la compression après refroidissement en kg/cm <sup>2</sup>	966	1026	1047
Résistance à l'usure en g/cm <sup>2</sup>	1,82	0,719	0,996
Résistance au choc en kg/cm <sup>2</sup>	40	56	83,50
<b>Caractéristiques chimiques</b>			
Caco <sub>3</sub>	99,05	97,73	97,22
Mgo	1,03	0,99	3,05
Cao	54,86	54	51,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,22	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,56	0,08
SiO <sub>2</sub>	0,15	0,9	0,15
P.C	44,26	43,65	44,26

**Tableau II.6 Analyse granulométrique des sables recyclés (béton démolé) avec l'incorporation de fines de marbre**

Diamètre Tamis en (mm)	Module tamis	Pourcentage des Tamisât cumulés en (%) SR classe 0/5				
		SR 0%fm	SR 5%fm	SR 10%fm	SR 15%fm	SR 20%fm
5	38	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4	37	93,32	93,63	93,98	94,30	94,64
3,15	36	83,87	84,65	85,46	86,23	87,04
2,5	35	68,98	70,51	72,08	73,55	75,12
1,6		62,22	64,09	65,98	67,79	69,71
1,25	32	54,08	56,36	58,60	60,84	63,19
1	31	48,87	51,41	53,88	56,39	58,99
0,8	30	44,00	46,79	49,46	52,23	55,09
0,63	29	37,83	40,93	43,86	46,93	50,13
0,5		31,35	34,77	37,98	41,42	44,92
0,315	26	19,37	23,39	27,19	31,23	35,32
0,25		15,47	19,69	23,67	27,91	32,13
0,16	23	8,79	13,24	17,58	22,23	26,68
0,125		6,90	10,70	14,65	19,08	23,25
0,08	20	3,74	7,04	10,57	14,35	18,27
<b>Module de finesse</b>		<b>Mf = 3,11</b>	<b>Mf = 2,96</b>	<b>Mf = 2,81</b>	<b>Mf = 2,65</b>	<b>Mf = 2,5</b>





**Figure II.2 Courbes granulométrique des sables recyclés (béton démolé) avec l'incorporation de fines de marbre**

Les courbes granulométrique doit se situer à l'intérieur du fuseau indiqué sur la figure II.2. On remarque d'après ces courbes granulométriques que les différents sables recyclés utilisés sont acceptables sauf SR20 et SR15 pour la confection du béton ordinaire.

Le module de finesse est de 2.5, 2.65 et 2.81 respectivement pour les sables recyclé SR20, SR15 et SR10 on est en présence d'un sable préférentiel (Le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2,2 et 2,8).

#### II.2.4.1 Compacité et porosité des granulats :

La compacité (C) 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.6 .

**Tableau II.7 : Compacité et porosité des granulats recyclés et granulats recyclés incorpore de fines de marbre**

	SR 0%fm	SR 5%fm	SR 10%fm	SR 15%fm	SR 20%fm
Compacité (%) = $MV_{app}/MV_{abs}$	56	56	56	57	57
Porosité (%) : $P = 1 - C$	44	44	44	43	43

$MV_{app}$  : Masse volumique apparente.

$MV_{abs}$  : Masse volumique absolue.

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 [21] doit être entre 55 et 65 %. Les résultats ci-dessus montrent que les sables recyclés (SR0, SR5, SR10, SR15 et SR20) sont assez peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel ce qui peut engendrer une ségrégation du béton.

#### II.2.4.2 Optimisation du squelette granulaire :

le squelette granulaire est optimise par le choix des fractions granulaires et leurs analyses granulométriques permettant de détecter les classes manquantes.

L'application de la méthode graphique de Dreux-Gorisse [22 ; 23] permet de déterminer la composition du squelette granulaire qui est appliquée pour formuler un béton ordinaire (BO) sans addition et sans superplastifiant .

### II.3 Composition des bétons et mélanges retenus

#### II.3.1 Composition des bétons à base des granulats recycles

Pour la composition des bétons à base de granulats de béton de démolition et bétons avec l'intégration le déchets de marbre, on a adopté la méthode « Dreux-Gorisse », qui a pour but de déterminer d'une façon simple et rapide une formule de composition du béton étudié.

On a les données suivantes :

- $f_{c28}$  demande et 25 - 30 MPa.
- Affaissement de A = 6 à 9 cm
- Plasticité : béton plastique.
- Nombre de chocs : 15 à 25
- Serrage : vibration normale
- Le ciment utilisé est un CEM II/B-L 42,5N et  $\rho_{absolue} = 3.1 \text{ Kg/m}^3$ .
- Les granulats recycles concassés de classes : 0/5, 5/10 et 10/16

D'après le Tableau II.1,  $D_{max} = 20\text{mm}$  et suivants la norme **NF P 18-304** en prendre  $D_{max} = 16 \text{ mm}$  .

II.3.2 Les étapes d'application de la méthode Dreux-Gorisse

• Etape 1 : Détermination  $D_{max}$

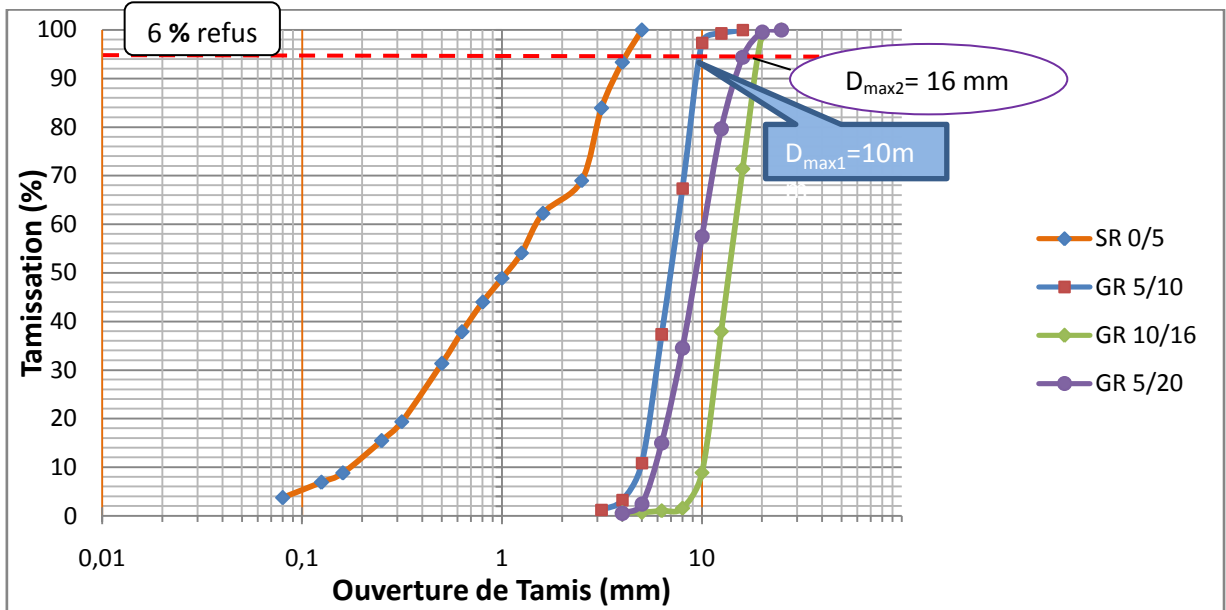
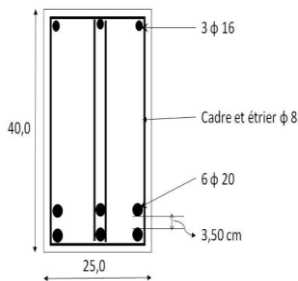


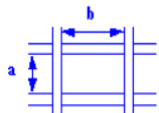
Figure II.3 Courbes granulométrique des granulats recyclés (béton démolé)

• Etape 2 : Vérification granulats / à la section du béton

Tableau II.8 : Caractéristiques de la pièce à bétonner /  $D_{max}$



Exemple de ferrailage		$D_{max} 1$	$D_{max} 2$
$e_h = 54\text{ mm}$	$54/1,5 = 36\text{ mm}$	<b>10 mm</b>	<b>16 mm</b>
$c = 25\text{ mm}$	25 mm		
$e_h = 35\text{ mm}$	35 mm		
$r = 9,8\text{ mm}$	$1,2r = 1,2 * 9,8 = 11,8\text{ mm}$		
$h_m = 25\text{ cm}$	$250/5 = 50\text{ mm}$		

Caractéristiques de la pièce à bétonner		$D_{max}$
$e_h$	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$< e_h / 1,5$
$e_v$	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$< e_v$
$c$	Enrobages des armatures :	$< d$
$r$	Rayon moyen du ferrailage  $r = \frac{a b}{2(a+b)}$	Granulats roulés $< 1,4 r$ Granulats concassés $< 1,2 r$
$h_m$	Hauteur ou épaisseur minimale	$< h_m / 5$

Donc la majorité du granulats  $D_{max}$  entre 10 et 16 mm d'après le pourcentage des Refus cumulés la vérification granulats par rapport à la section du béton **acceptable** .

- **Etape 3 : Détermination du dosage en ciment**

Résistance moyenne à 28 jours : Calcul de  $f_{cm} = f_{c28} \times 1,15 = 30 \times 1,15 = 34,5$  MPa

Rapport C/E :

**Tableau II.9 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G**

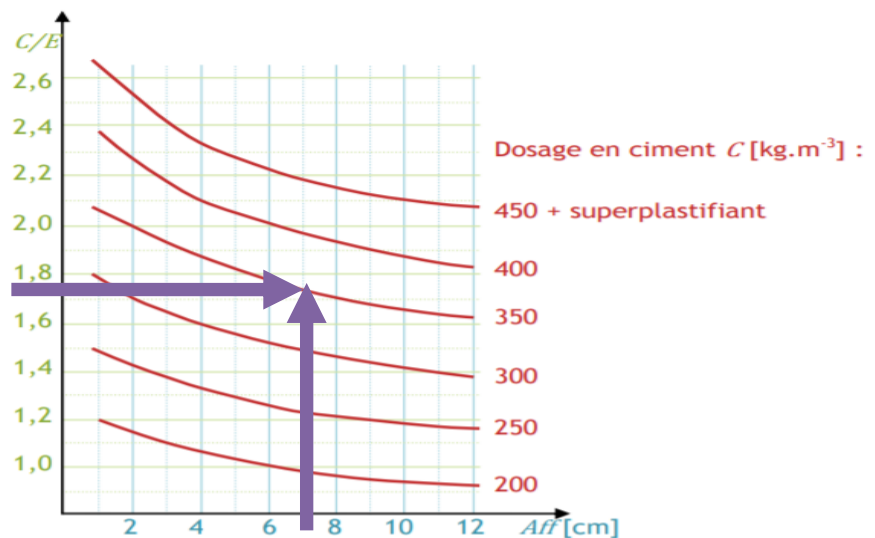
Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ( $D \leq 16$ mm)	Moyens ( $20 \leq D \leq 40$ mm)	Gros ( $D \geq 50$ mm)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, Courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Donc en prendre Coefficient granulaire moyenne : **G = 0.45**

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G \cdot \sigma_{c28}} + G = 34.5 / (0.45 \times 62.5) + 0.45 = 1.68$$

A=7 cm et C/E =1,68

Donc d'après ces graphique en prendre dosage en ciment **350 Kg/m<sup>3</sup>**



**Figure II.4** Graphique indiquant Approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

- **Etape 4 : Détermination du dosage en eau**

Calcul de E :  $C/E = 1,68 \rightarrow E = 350/1,68 = 208,33$  l/m<sup>3</sup>

Correction sur le dosage en eau :

**Tableau II.10 : 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  $\Rightarrow$  4%

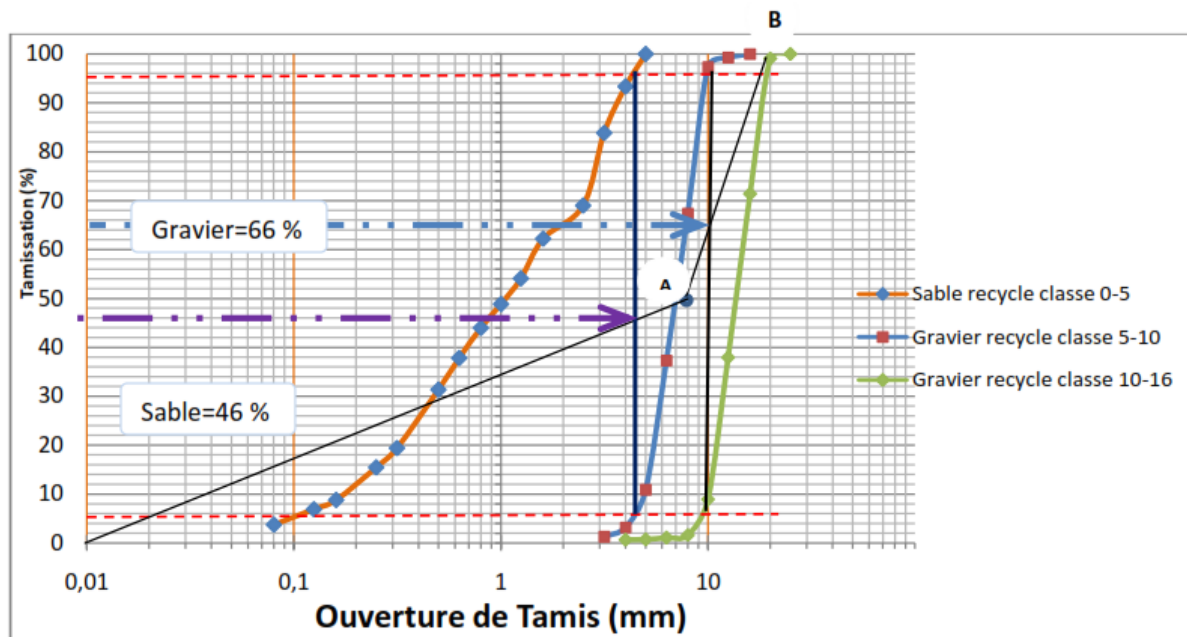
$$\Rightarrow E_c = E = 208,33 \times 1.04 = 216.66 \text{ L/m}^3$$

**E/C = 0,62**

• **Etape 5 : Tracé courbe granulaire O A B**

- Courbe granulométrique :

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



**Figure II.5 Courbes granulométrique OAB**

- Courbe de référence :

- Coordonnées de O : (0 ;0)
- Coordonnées de B : (D ;100%)
- Coordonnées de A : (X ;Y)

$X = D/2$  si  $D \leq 20$  mm sinon X est le milieu du segment limité par les tamis 5 mm et D.

$$X = 16/2 = 8 \text{ donc } \Rightarrow X_A = 8$$

$$\text{Calcul de } Y_A = 50 - \sqrt{D+K+K_s+K_p}$$


**Tableau II.11 : Abaque valeur du terme correcteur K**

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

- **K**, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment → **K = 2**
- **Ks**, ajustement pour les sables de granularité un peu grossière:  $M_f = 3,11 > 2,8$  donc :  
 $K_s = 5,4 \times M_f - 15$  ( $M_f$ : module de finesse du sable)

$$K_s = 5.4M_f - 15 = 5.4 \times 3,11 - 15 \rightarrow K_s = 1,79$$

- **Kp**, ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.  
 $K_p = 0$  si béton non pompable ;  $5 \leq K_p \leq 10$  si béton pompable. → **Kp = 0**



$$Y_A = 50 - \sqrt{16 + 2 + 1.79 + 0} = 49.79$$

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

**Tableau II.12 : Pourcentage pondéraux du mélange de granulats recyclés**

<b>Tamis (mm)</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>12.5</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6.3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3,15</b>	<b>2,5</b>
<b>Mélange (%)</b>	100,00	99,69	90,27	78,74	68,50	60,02	53,82	48,17	43,56	38,83	31,73
<b>Tamis (mm)</b>	<b>1,6</b>	<b>1,25</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,63</b>	<b>0,5</b>	<b>0,315</b>	<b>0,25</b>	<b>0,16</b>	<b>0,125</b>	<b>0,08</b>
<b>Mélange (%)</b>	28,62	24,88	22,48	20,24	17,40	14,42	8,91	7,12	4,04	3,17	1,72

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

**46 % SR classe 0-5**  
**20 % GR classe 5-10**  
**34 % GR classe 10-16**

Coefficient de compacité  $\gamma$  :

**Tableau II.13 : Evaluation de l'ouvrabilité par rapport à l'affaissement au cône**

Plasticité	Serrage	Affaissement A (cm)	Nombre de choc test C.E.S
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	>60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton liquid (fluidé)		$\geq 14$	<10

$\Rightarrow A = 7 \text{ cm}$  : Béton plastique

**Tableau II.14 : Valeur du coefficient de compacité  $\gamma$**

Consistance	Serrage	$\gamma$ 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
<b>Plastique</b>	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
	<b>Vibration normale</b>	0,770	0,800	<b>0,815</b>	<b>0,825</b>	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 suivants:  
 - sable roulé et gravier concassé = -0,01  
 - sable et gravier concassé = -0,03

Valeur du coefficient de compacité :  $\gamma = 0,815 + 0,825 / 2 = 0,820$  (moyenne)

$$\gamma_{\text{corrigé}} = 0,820 - 0,03 = 0,79$$

Dosage des granulats :

Ciment : 350Mg/m<sup>3</sup> ; densité : 3.1

➤ Volume absolu du ciment :  $c = 350/3.1 = 112.90 \text{ l/m}^3$

➤ Volume absolu des granulats : Sable + Gravillon+ Gravier :  $V = 1000\gamma - c$

$$V = 1000 \times 0,79 - 112,9 = 677,1 \text{ l/m}^3$$

➤ Volume absolu du Sable  $V_s = VT \times \% \text{sable } 0/5 \rightarrow V_s = 677.1 \times 46/100 = 311,47 \text{ l/m}^3$

➤ Volume absolu du Sable  $V_g = VT \times \% \text{Gravillon } 5/10 \rightarrow V_g = 677.1 \times 20/100 = 135,42 \text{ l/m}^3$

➤ Volume absolu du Sable  $V_G = VT \times \% \text{Gravier } 10/16 \rightarrow V_G = 677.1 \times 34/100 = 230,21 \text{ l/m}^3$

Dosage pondéral des granulats ( pour  $1 \text{ m}^3$  de béton ) :

**Tableau II.15 : La masse spécifiques de chaque granulats pour  $1 \text{ m}^3$**

Constituants	Méthode de calcul		Quantité en $\text{Kg/ m}^3$
SR 0/5	$S = V_s \times \gamma_s$	$311,47 \times 2.38$	741,30
GR 5/10	$G_1 = V_g \times \gamma_g$	$135,42 \times 2.50$	338,55
GR 10/16	$G_2 = V_g \times \gamma_g$	$230,21 \times 2.48$	570,92
Ciment	Abaque Dreux $A=7\text{cm}$ et $C/E=1.68$		350
Eaux	$E = (350/1.68) \times 1.04$		216,66
Densité théorique du béton frais en œuvre =			2,217

- La détermination du rapport en volume absolu  $G/S = \text{gravier/sable}$   $\frac{G}{S} = 1,23$

Deux facteurs ont longtemps été considérés comme ayant une influence sur les propriétés du béton le  $G/S$  et  $M_f$ , la proportion relative gravillons/sable traduite par le facteur  $G/S$  que les études récentes ont fait apparaître comme moins importante qu'on ne le pensait auparavant, dans la mesure où ce facteur reste inférieur à 2 .

#### Calculer de volume des éprouvettes :

- Moule  $10 \times 10 \times 10$  =  $0,001 \times 3$  Eprouvettes  $\times 5$  Echéancier =  $0,015 \text{ m}^3$

- Moule  $7 \times 7 \times 28$  =  $0,0014 \times 3$  Eprouvettes  $\times 4$  Echéancier =  $0,017 \text{ m}^3$

- Moule  $15 \times 15 \times 15$  =  $0,0034 \times 1$  Eprouvette  $\times 1$  Echéancier =  $0,0034 \text{ m}^3$

Volume de chaque type de mélange soit (BR0, BR5, BR10, BR15 et BR20 ) =  $0,0354 \text{ m}^3$



**Tableau II.16 : Abréviations et désignations des bétons teste**

<b>Abréviations</b>	<b>Désignations des bétons teste</b>
<b>BR0</b>	Béton des granulats 100% sable et gravier recycle
<b>BR5</b>	Béton des granulats 95% sable recycle, 100% gravier recycle et 5% de fines de marbre
<b>BR10</b>	Béton des granulats 90% sable recycle, 100% gravier recycle et 10% de fines de marbre
<b>BR15</b>	Béton des granulats 85% sable recycle, 100% gravier recycle et 15% de fines de marbre
<b>BR20</b>	Béton des granulats 80% sable recycle, 100% gravier recycle et 20% de fines de marbre

### II.3.3 Mélanges retenus

La proportion des fines de marbre dans la formule est liée au pourcentage de sable,

Les différentes formulations de ces bétons sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.17 : Composition des mélanges pour confection des éprouvettes**

<b>Matériaux en (Kg)</b>	<b>Fines de marbre</b>	<b>SR classe 0/5</b>	<b>GR classe 5/10</b>	<b>GR classes 10/16</b>	<b>Ciment</b>	<b>Eau</b>
<b>Béton dosage 350 Kg/m<sup>3</sup></b>	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
<b>BR0 % Référence et Témoin</b>	0	26,242	11,984	20,211	12,390	7,669
<b>BR 05 % fm</b>	1,312	24,930				
<b>BR10 % fm</b>	2,624	23,618				
<b>BR15 % fm</b>	3,936	22,306				
<b>BR20 % fm</b>	5,248	20,994				

### II.4 Confection des mélanges et conservation des éprouvettes

Pour la confection des gâchées, nous avons utilisé plusieurs équipements et fournitures courants afin d'avoir un composant bien homogène.

L'utilisation du malaxeur voir Photo II.10 est impérative dans le béton. Un malaxeur à béton du type à tambour et mouvement circulaire de capacité 140 litres.



**Photo II.10 Malaxeur utilisé**

La fabrication se déroule comme suit :

- Pré mouillage du malaxeur pour limiter une absorption supplémentaire de l'eau de gâchage par les parois du malaxeur.
- Introduction des constituants solides en commençant par les graviers (5/10 et 10/16), le sable 0/5 avec un temps de 30 sec.
- Introduction du ciment et les additions (Fines de marbre).
- Malaxage puis introduction de l'eau et adjuvant.

Les types d'éprouvettes utilisées (cubiques et prismatiques), Photo II.11, Conformément et respectivement aux normes **NF P 18-406**, **NF P18-407**.



**Photo II.11 Moules cubiques et prismatiques**

Après vidange de béton on remplit les moules avec vibration normale, La finition de la surface est effectuée à l'aide d'une règle biseautée.

Il y a plusieurs formes de corps d'épreuve ont été coulées pour chacune des compositions :

- Pour la résistance mécanique en flexion et ultrasonique: prismes 7x7x28 Cm.
- Pour la résistance mécanique en compression : cubiques 10x10x10 Cm.
- Pour vérifier la résistance mécanique à la dernière échancrure on a aussi utilisé des éprouvettes : cubiques 15x15x15 Cm.
- Pour l'absorption capillaire a été effectué sur des échantillons des bétons. Ces échantillons ont été sciés à partir des éprouvettes prismatiques 7x7x28 Cm et ont des dimensions 7x7x7 Cm ; Ce test a été réalisé selon la recommandation de l'Association Française de Génie Civil.

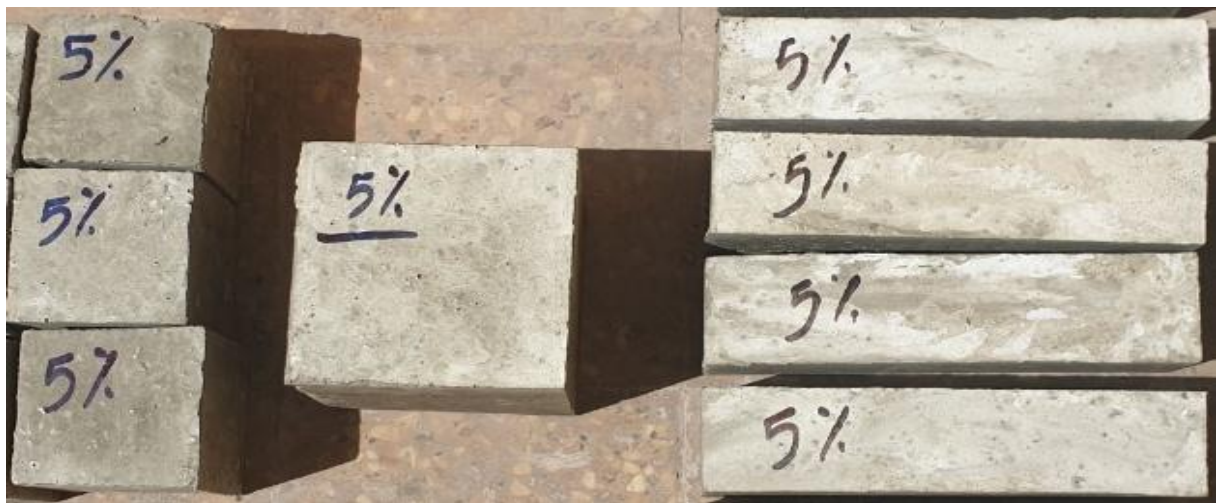
Toutes les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après la fabrication. Elles ont ensuite été immergées dans l'eau est à l'air ambiant du laboratoire jusqu'au moment des essais d'écrasement qui s'effectuent à 7, 14, 28 et 60 jours.

Les mélanges de béton ont été réalisés avec des essais d'ouvrabilité au cône d'Abrams qui définit la classe de béton indiquée par la norme **NF EN 12350-2**, après ça E/C = 0,6 et 2% de super-plastifiant ont été fixés:

- BR5, BR10 et BR15 bétons plastique A=5,6 Cm, 7,5Cm et 8 Cm respectivement .
- BR20 béton très plastique A=10,5 Cm.
- BR0 béton ferme A=1,8 Cm.

Les tableaux II 15 : présentent la formulation complète des différents mélanges de

béton pour dosage de ciment 350 kg /m<sup>3</sup> et pour un affaissement varie compris entre 1,8 et 10,5cm respectivement, la composition du béton a été fait par la méthode des « volumes absolus » .



**Photo II.12: Types des éprouvettes cubique et prismatiques**

## II.5 Modes opératoires des essais

### II.5.1. Essais sur béton frais:

#### II.5.1.1. Affaissement au cône d'Abrams :

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

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

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

La valeur de l'affaissement est exprimée en cm.



Photo II.13 : Appareillage de cône d'Abrams

### II.5.1.2. 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<sub>0</sub>** est la masse du récipient vide

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

### II.5.2. Essais sur béton durci:

#### II.5.2.1. Essai de compression :

L'essai de compression uniaxiale 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 surfaçage avec une rectifieuse. 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 (Photo II.14). 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<sub>r</sub>** : l'effort enregistré au moment de la rupture de l'éprouvette

**S** : la section de l'éprouvette.



Photo II.14: Deux (02) Appareillages de la compression



### II.5.2.2. 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 la procédure de flexion au trois points . La structure globale est représentée sur la Photo II.15.

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 :

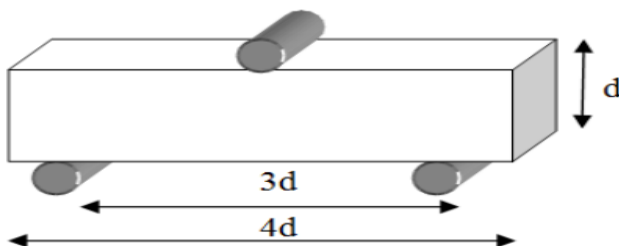
**R<sub>f</sub>**: Résistance à la flexion en ( MPa ).

**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.



**Figure II.6 : Principe de l'essai de la flexion.**



**Photo II.15: Appareillage de la flexion**

### II.5.2.3 Essai ultrasonique :

Le matériel utilisé est l'appareil à ultrasons «Proceq Pundit Lab» (Photo II.16). 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 séchées jusqu'à masse constante dans l'étuve à 45°C , trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation de béton. ces mesures sont faites aux échéances 7,14 ,28 et 60 jours.

Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran (Photo II.16). 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.



**Photo II.16: Appareil à ultrasons (Proceq Pundit Lab)**

#### II.5.2.4 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 [22].

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 :

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

Où :

- **Ed** module d'élasticité dynamique (Gpa),
- **ρ** la densité du béton (Kg/m<sup>3</sup>),
- **V** la vitesse ultrasonique (Km/s),
- **g** la vitesse gravitationnelle (9,81 m/s<sup>2</sup>),

#### II.5.2.5. Essai d'absorption par capillarité [24,25,26]

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 (Photo II.17). 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, 24h, 48h, 72h.
- Déterminer la quantité d'eau absorbée et la sorptivité .





Photo II.17: L'essai d'absorption par capillarité

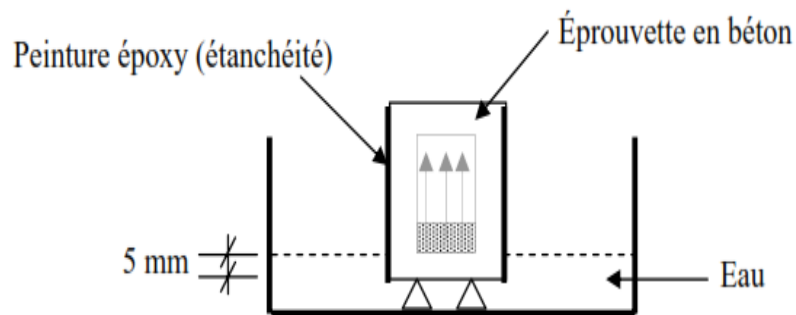


Figure II.7: Principe de l'essai d'absorption par capillaire

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  $t$  ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ),
- $A$  est la section de l'éprouvette ( $\text{cm}^2$ ),
- $M_t$  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.5.2.6. Essais de mesure de la Porosité, Absorption d'eau et la Perméabilité[27]

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.

#### II.5.2.6.1 la Porosité : ASTM - C642 [24,25,26]

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.



Photo II.18: Types d'appareillages de pesée hydrostatique

#### ➤ Mode d'essai

- Séchage la étuve a  $105^{\circ}\text{C}$  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<sub>sec</sub>**.
- Émersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24
- Chauffage jusqu' a évolution pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillonnage l'air (soit **M<sub>air</sub>** ce point) puis pesage a l'eau (pesée hydrostatique, soit **M<sub>eau</sub>** 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<sub>p</sub>** volume des vides (%),
- **M<sub>sec</sub>** poids de l'échantillon après étuvage (g),
- **M<sub>air</sub>** poids à l'air immersion et ébullition (g),
- **M<sub>eau</sub>** poids à l'eau immersion et ébullition (g).

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

**II.5.2.6.2 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 effectués 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 M2 –M1. Alors le taux d'absorption sera calculer a partir cette formule :

$$Abs = (M_2 - M_1) / M_1$$

Où :

- **Abs** : taux d'absorption.
- **M1** : masse d'éprouvette après l'étuvage.
- **M2** : masse d'éprouvette saturée d'eau.

### II.5.2.6.3 la Perméabilité à l'eau :

La perméabilité du béton représente la capacité du matériau poreux à être traversé par un fluide sous un gradient de pression. Elle dépend fortement du réseau poreux, de la fissuration et de la teneur en eau du matériau, Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la perméabilité du béton,

Les échantillons ont été préparés des éprouvettes cubique 15x15x15 cm à chaque type de béton pour effectuer l'expérience de perméabilité, mais nous n'avons pas pu le faire en raison de la pandémie de Corona (Covid 19).

### II.5.2.7 Coefficient de ramollissement [12]

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  $R_{sec}$ . Pour les matériaux dont le coefficient de ramollissement est égal ou supérieur à 0.8 sont considérés comme résistant à l'eau si  $K_{ram} \geq 0.8$  surtout dans les régions où l'humidité est un facteur constant ( $K_{ram} = 0$  pour l'argile : capacité d'absorption élevée,  $K_{ram} = 1$  pour les métaux et les verres : matériaux non poreux, hydrophobes).

Les résistances  $R_{sat}$  et  $R_{sec}$  sont mesurées sur éprouvettes cubiques 10x10x10 cm<sup>3</sup> à 28 jours d'âge.

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

Où :

- $K_{ram}$  : 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.6 Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre, les matériaux utilisés dans l'étude expérimentale 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 [31].

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 faibles résistances mécaniques par rapport aux granulats naturels.

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

Tous les essais granulométrique réalisés dans laboratoire (coef. D'aplatissement, Mf, masse volumique, Es et coef d'absorption ... etc) sont acceptables par rapport aux normes indiquées précédemment.

d'après les études antérieures les granulats recyclés de béton de démolition présentent une source supplémentaire de chlorures, de chaux, d'alcalins ainsi que d'autres matières susceptibles de modifier la structure du béton et influencer sa durabilité.

Les déchets de marbre (fines de marbre) utilisés dans ces mélanges incorporés par un pourcentage contribuent et améliorent le module de finesse, d'après sa composition minéralogique et selon la norme ASTM C618 nous pouvons conclure que ces déchets ont des propriétés pouzzolaniques. Cette grande finesse ( $4000 \text{ Cm}^2/\text{g}$ ) peut augmenter la demande en eau et par conséquent causer des problèmes à l'état frais (fluidité). Par contre, cette propriété pouzzolanique peut contribuer à l'amélioration de la résistance à la compression ainsi qu'à la flexion.

## **CHAPITRE III :**

---

### **ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS**

---

## CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

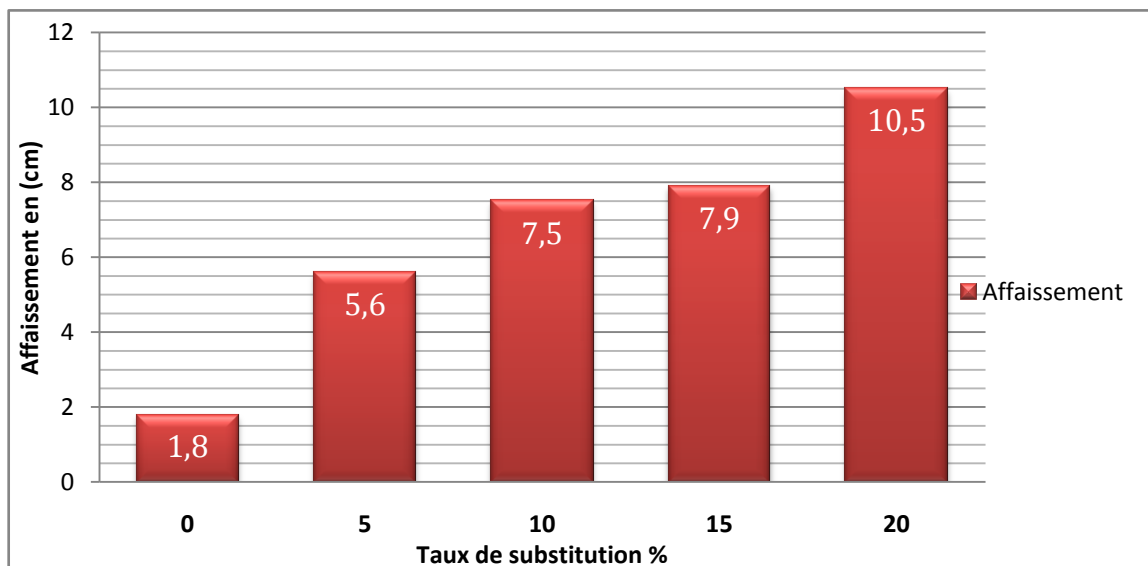
### III. 1 Introduction

La thématique des bétons classiques à base de granulats recyclés est un sujet très vaste qui couvre un grand nombre d'études. Cette partie expérimentale présente les éléments essentiels à l'étude de la rhéologie de ces bétons à l'état frais et la caractérisation de ses propriétés physiques et mécaniques à l'état durci en mettant l'accent sur les problèmes liés à leur mise en œuvre et leurs propriétés spécifiques, avec de matière première algérienne et dans un contexte de développement durable.

### III.2 Béton à base de granulats recyclés de béton démolie et avec l'incorporation de fines de marbre

#### III.2.1 Ouvrabilité

La demande en eau est définie comme étant le dosage en eau efficace nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité souhaitée, Les mélanges de béton sont préparés avec un affaissement imposé (entre 6 et 9 cm) fourchette des bétons plastiques ce qui est plus répandu dans les chantiers de coulage de béton. Les résultats de l'influence du taux de l'incorporation de fines de marbre sur l'ouvrabilité des bétons confectionnés pour une dosage en eau et super plastifiant constante sont présentés dans la figure III.1.



**Figure III.1 Influence du taux d'incorporation de fines de marbre sur l'ouvrabilité**

Il est à noter que l'augmentation de l'ouvrabilité (affaissement) est directement proportionnelle à l'augmentation du pourcentage de fines de marbre, et cela est dû au fait que le

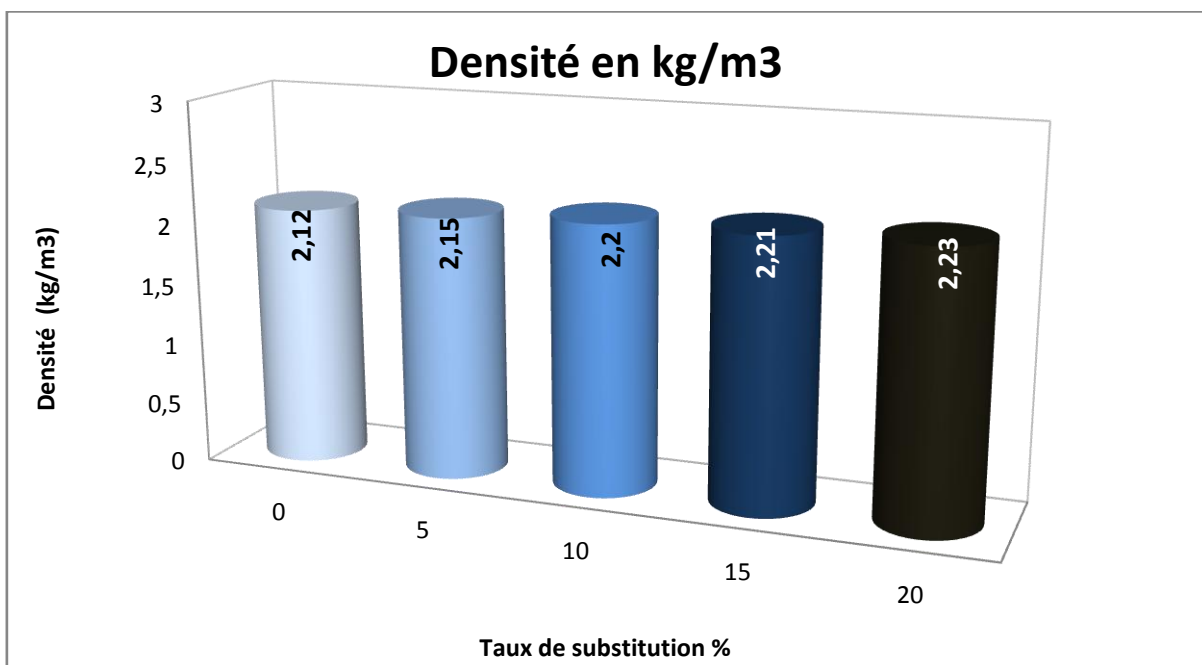
fines de marbre donnent la maniabilité au sable recycle et n'absorbent pas d'eau, sachant que E/C et % S. Plastifiant dans notre étude ont été fixés.

La demande en eau de tous les bétons étudiés augmente avec le taux de substitution en granulats recyclés, par conséquent une augmentation du rapport Eau/Ciment est inévitable. [8], 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 . [28]

Lors de la confection des bétons à base de granulats recyclés de béton, on a remarqué une certaine difficulté de mise en œuvre par rapport à celle des bétons ordinaires probablement due à l'absorption d'eau élevée de ces granulats, une moins bonne adhérence entre la pâte de ciment et ces granulats a été confirmée par des études antérieures.

### III.2.2 Densité

La variation de la densité des bétons en fonction du taux d'incorporation de fines de marbre sur les granulats recyclés de béton est présentée dans la figure III.2.



**Figure III.2 Variation de la densité du béton recyclé en fonction du taux d'incorporation de fines de marbre**



D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la densité avec l'augmentation de la teneur en fines de marbre et la réduction de volume des pores ( la densité absolue de fines de marbre (2,736%)[15], et plus élevée que la densité de sable recyclé (2,38%), pour les bétons BR5, BR10, BR15 et BR20 à taux de 1,39% , 3,64%, 4,07% et 4,93% respectivement par rapport BR0.

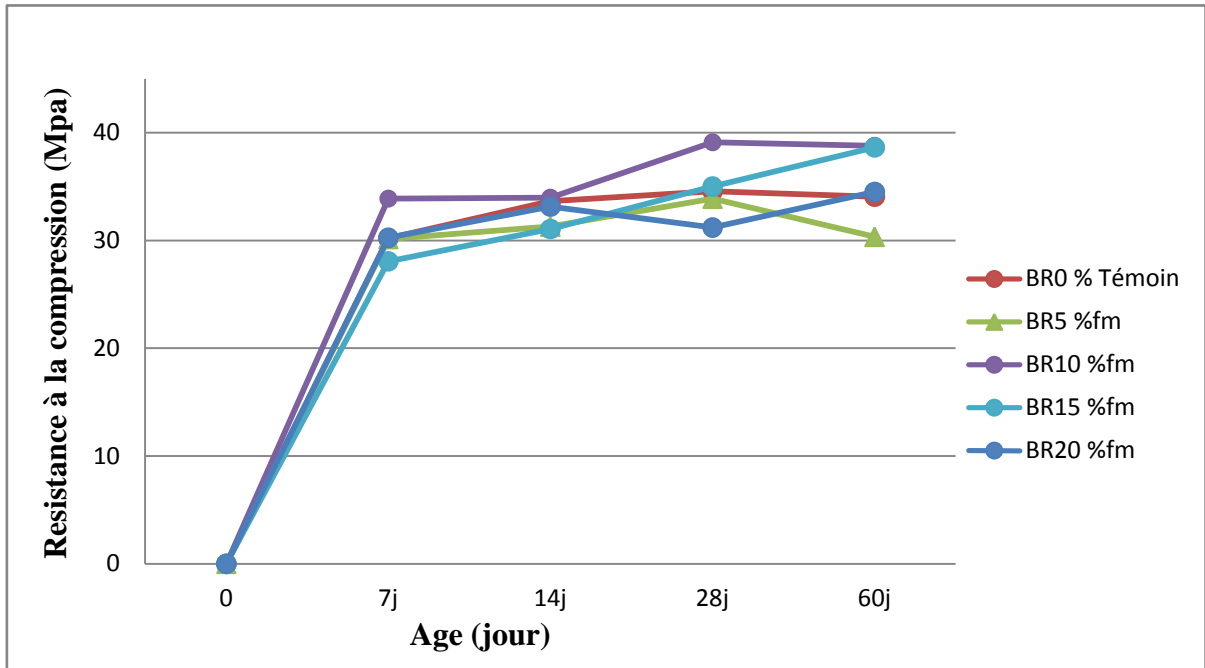
La densité des bétons augmente avec l'augmentation fines de marbre, Les particules des fines remplissent les vides disponibles entre les particules du béton augmentant ainsi la compacité du mélange en améliorant l'arrangement total des particules dans la matrice.

### III.2.3 Résistance à la compression

➤ La résistance à la compression est déduite par moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cubique de (10x10x10) cm<sup>3</sup> en béton à base de granulats recyclés (béton démolé) pour chaque mélange, soit à 07j, 14j, 28j et à 60 jour de cure sont présentés dans le Tableau III.1 et la Figure III.3 et III.4.

**Tableau III.1: Résistance à la compression du béton à base d'agrégats recyclés avec l'incorporation de taux fines de marbre**

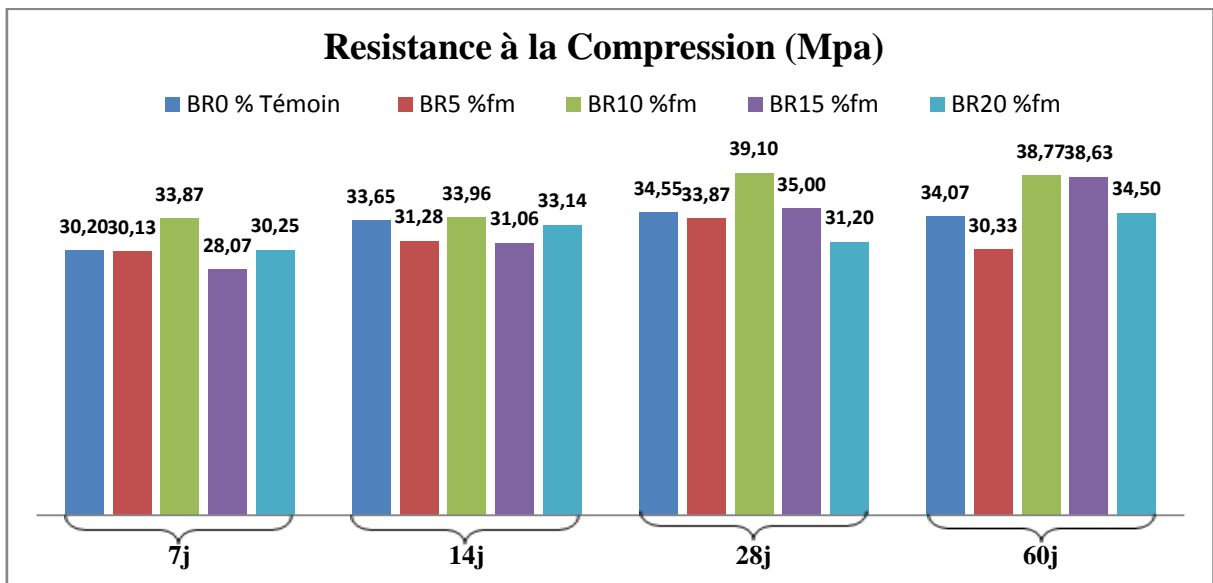
Types de béton	Resistances à la compression en Mpa				
	éprouvettes cubique de: (10x10x10) cm <sup>3</sup>				(15x15x15) cm <sup>3</sup>
	07 j	14 j	28 j	60 j	60 j
<b>BR0 % Témoin</b>	30,20	33,65	34,55	34,07	41,00
<b>BR5 %fm</b>	30,13	31,28	33,87	30,33	39,00
<b>BR10 %fm</b>	33,87	33,96	39,10	38,77	45,50
<b>BR15 %fm</b>	28,07	31,06	35,00	38,63	40,70
<b>BR20 %fm</b>	30,25	33,14	31,20	34,50	35,70



**Figure III.3 Résistance à la compression de chaque mélange**

La résistance à la compression des bétons augmente avec l'augmentation de taux de fines de marbre jusqu'à un certain proportion entre 10 et 15 % au-delà de cette valeur la résistance chute jusqu'à la substitution à 20%.

Les mélanges BR10% et BR15% présentent une augmentation de la résistance de (11,64% et 1,28% ) respectivement sauf BR5% et BR20% qui a présenté une perte de 1,97 % et 9.70% par rapport au BR0 de référence, à 28 jour d'âge.



**Figure III.4 Influence du taux de substitution sur la résistance à la compression en fonction % de fines et l'échéancier d'écrasements**

D'après les figures III.3 ; III.4 : on remarque que les bétons recyclés (BR20) présentent des résistances à la compression plus faible que le béton (BR0 Témoin et BR10), et que la chute de résistance diminue en faisant augmenter l'âge de cure, et aussi on remarque que l'ajout de (10 et 15%) de fines améliore la résistance à la compression à moyen et à long terme dû à la finesse élevée des ces ajouts, sur des éprouvettes cubique (10\*10\*10) cm<sup>3</sup>.

➤ Les résultats de l'essai de compression sur éprouvettes cubique 15x15x15 cm<sup>3</sup> (pour vérification) de chaque mélange à 60 jours d'âge sont présentés dans la Figure III.5 et III.6.

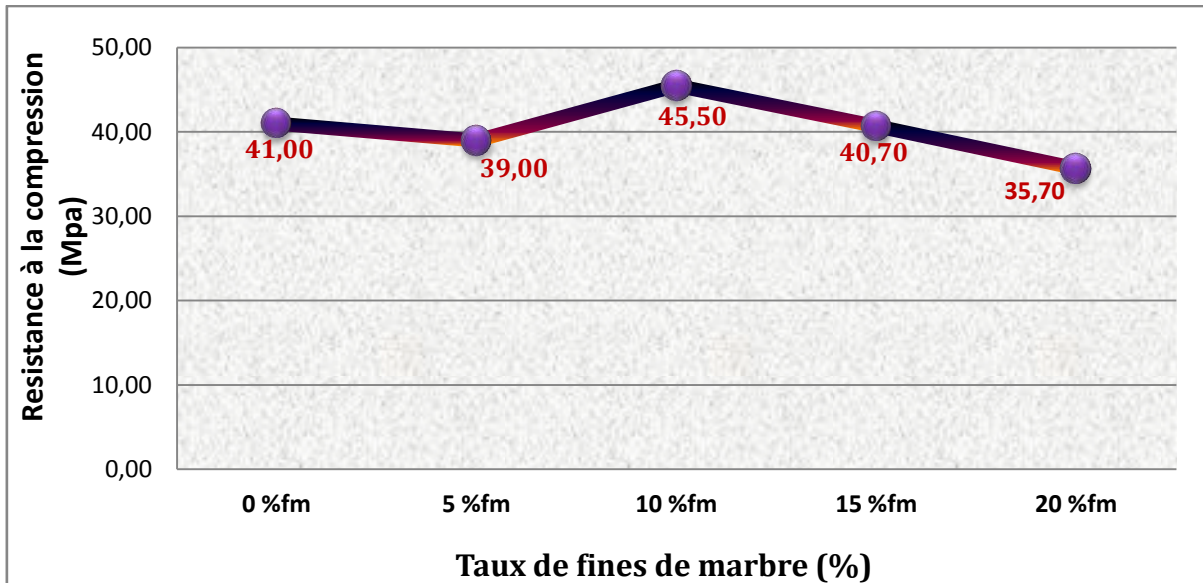


Figure III.5 Résistance à la compression à 60j d'âge

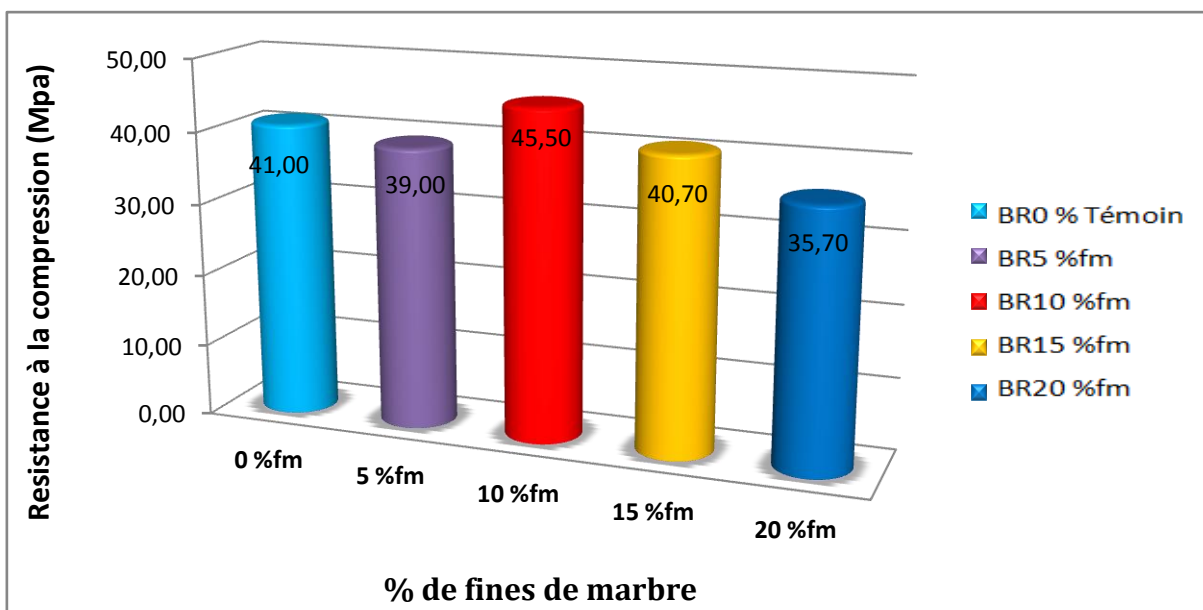


Figure III.6 Evolution de la résistance à la compression des bétons à 60j d'âge en fonction de taux de fines de marbre

D'après les figures III.5 ; III.6 : on remarque que les bétons recyclés BR10 et BR15 présentent une augmentation de la résistance de 45,50 Mpa et 40,70 Mpa respectivement par rapport au BR0 de référence.

Généralement on résume que la résistance à la compression des éprouvettes 10x10x10 cm<sup>3</sup> et 15x15x15 cm<sup>3</sup> à chaque échéances commente ci-dessus, que les béton BR10 et BR15 a partir de ces résultats, nous pouvons dire que l'introduction de la fines de marbre jusqu'a 10 à 15% dans les BR affecte positivement la résistance à la compression.

Les bétons BR10 et BR15 donnent des meilleurs résultats lorsque on utiliser à la choix des éprouvettes 10x10x10 cm<sup>3</sup> et 15x15x15 cm<sup>3</sup>.

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, ainsi que la qualité du béton parent [29].

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. [8].

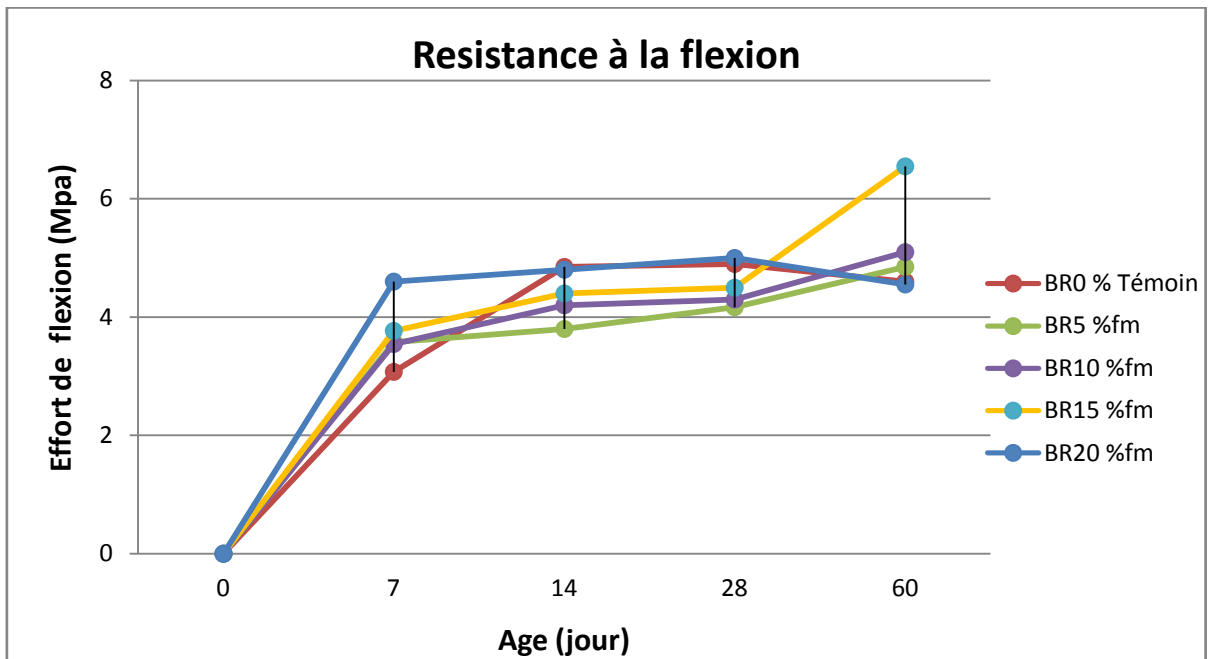
### III.2.4 Résistance à la flexion

La résistance à la flexion est déduite par moyenne de trois éprouvettes prismatique de (7x7x28) cm<sup>3</sup> en béton à base de granulats recyclés (béton démolé) pour chaque mélange est soumis à un effort de flexion jusqu'à la rupture, soit à 07j, 14j, 28j et à 60 jour de cure.

Les Tableau III.2 et les courbes de la figure III.7 et III.8 présentent les efforts appliqués à l'essai de flexion sur les éprouvettes de béton en fonction du taux de substitution de fines de marbre dans cette étude :

**Tableau III.2: l'Effort et la résistance à la flexion du béton à base d'agrégats recyclés avec l'incorporation de taux fines de marbre**

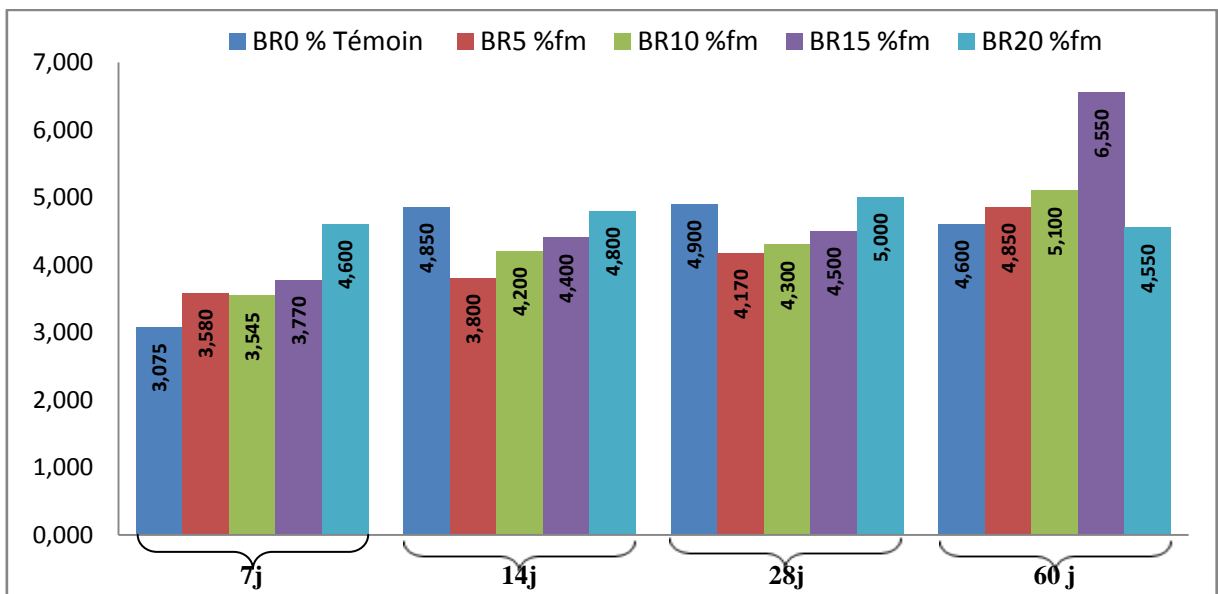
Types de béton	Effort de flexion en (KN)				Resistance à la flexion en (Mpa)			
	7j	14j	28j	60j	7j	14j	28j	60j
BR0 % Témoin	3,075	4,85	4,90	4,60	2,82	4,45	4,50	4,22
BR5 %fm	3,58	3,80	4,17	4,85	3,29	3,49	3,83	4,45
BR10 %fm	3,55	4,20	4,30	5,10	3,26	3,86	3,95	4,68
BR15 %fm	3,77	4,40	4,50	6,55	3,46	4,04	4,13	6,02
BR20 %fm	4,60	4,80	5,00	4,55	4,22	4,41	4,59	4,18



**Figure III.7 Effort de flexion appliqué sur chaque mélange**

On remarque il y a une évolution dans la résistance à la flexion jusqu'à la dernière échéancier (60 jour) ce que prouve l'efficacité de l'existence des fines de marbre dans ce types de béton sauf BR20 qui a présenté une perte de 9 % par rapport l'effort à 28j, est à constater que les valeurs de l'effort maximal de rupture appliqué dans cet essai est de 5,10 et 6,02 KN obtenu dans le béton BR10 et BR15 et respectivement, donc il présente la meilleure résistance .

La résistance à la flexion augmente avec l'échéancier des essais dans tous les bétons étudiés.



**Figure III.8 Influence du taux de substitution sur l'effort à la flexion en fonction % de fines et l'échéancier d'écrasements**

Pour le béton à 0% de fines de marbre (BR0% fm béton de référence) la résistance à la flexion commence par 3,075 KN à 7 jours et arrive à l'ordre de 4,9 KN à 28 jours.

Pour le béton à 20% de fines de marbre (BR20% fm) la résistance à la flexion commence par 4,6 KN à 7 jours cette résistance presque reste la même à 28 jours.

Finalement pour les bétons recyclé dont le taux de substitution du fines ne dépassant pas le taux optimal 10 à 15 %, la perte de résistance à long terme reste acceptable, alors on pourra conclure que l'écart de la perte de résistance à la flexion des bétons à base des agrégats recyclés avec l'incorporation de fm marquée à jeune âge reste stable ou s'élève légèrement au cours du temps (à 28 jours), ce qui présente un avantage pour ce type de béton.

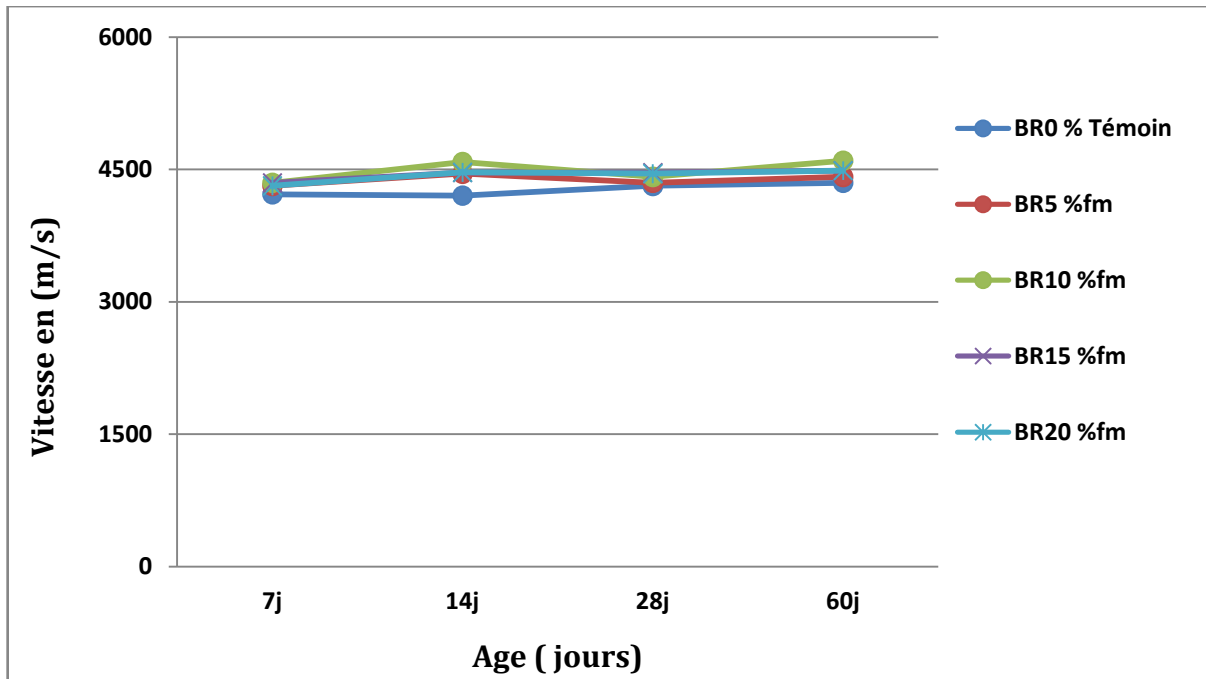
On récapitule que les principaux paramètres influençant la résistance sont : l'hydratation du ciment, la qualité des fines et l'humidité relative du milieu de conservation.

### III.2.5 Vitesse ultrasonique

Le Tableau III.3 présentent les vitesses des ondes ultra sonores obtenues à travers des éprouvettes prismatique 7x7x28 cm. On constate une dispersion quelques-uns des valeurs, allant de plus de 4314 m/s jusqu'à 4487 m/s à presque 4500 m/s. Les résultats indiquent une spécification de l'élévation de la transmission de son pendant 60 jours dans chaque type du béton.

**Tableau III.3 La vitesse d'ultrason des différents type de béton étudié à 7,14,28 et 60 jours**

Type de Béton	La vitesse (V) en (m/s)			
	7 jours	14 jours	28 jours	60 jours
<b>BR0 % Témoin</b>	4217	4204	4314	4348
<b>BR5 %fm</b>	4314	4452	4348	4416
<b>BR10 %fm</b>	4348	4583	4416	4598
<b>BR15 %fm</b>	4348	4464	4464	4487
<b>BR20 %fm</b>	4314	4466	4452	4487



**Figure III.9 : L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction du pourcentage de fines de marbre pour les différents types de béton à 7, 14, 28 et 60 jours.**

La figure III.9 représente l'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrason des différents bétons étudié dans le temps. On remarque que tous les bétons ont une cinétique analogue en ce qui concerne l'évolution de la vitesse d'ultrason dans le temps, mais avec des valeurs différentes, ces valeurs dépendent essentiellement à la composition du béton et son pourcentage de fines ; 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.

Ces résultats sont en coordination avec ceux obtenue à partir des essais d'écrasement (figure III.3), d'où les bétons qui ont des vitesses élevées ont logiquement des résistances élevées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec BR10 et BR15.

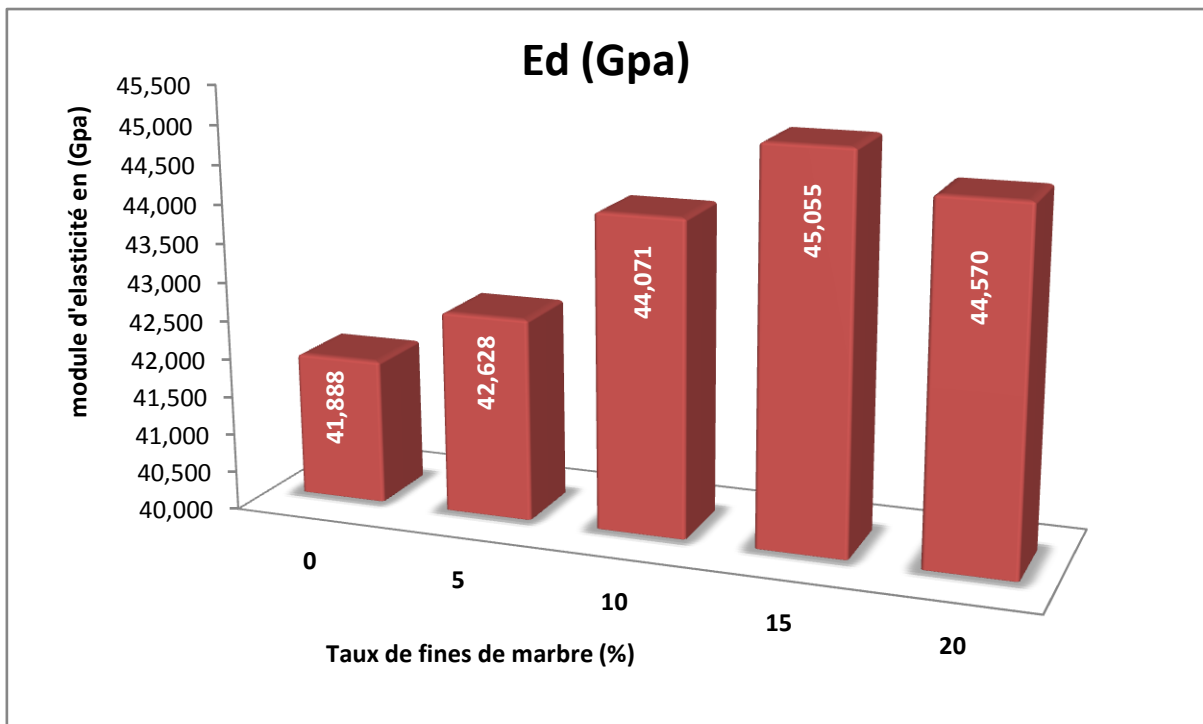
D'après les classifications de béton selon le vitesse ultrasonique  $V \geq 4200$  m/s nous dirons béton de résistance plus élevée, et il y a d'autre appréciations peuvent être apportées telles que tirée des recommandations canadiennes donne le valeur  $V \geq 4572$  m/s et excellent, et  $3658 \text{ m/s} \leq V < 4572$  m/s bonne.

### III.2.6 Module d'élasticité dynamique

Le module d'élasticité dynamique a été déterminé pour chaque types de béton à l'état durci dont la composition est précisée dans le Tableau III.4 .

**Tableau III.4 Module d'élasticité des bétons réalises**

Type de béton	Densité à l'état durci (g/cm <sup>3</sup> )	Ed (Gpa)
BR0 % Témoin	2,208	41,888
BR5 % fm	2,212	42,628
BR10 % fm	2,217	44,071
BR15 % fm	2,218	45,055
BR20 % fm	2,206	44,570



**Figure III.10 Evolution de module d'élasticités fonction de taux de fines de marbre à 60 j**

On a observé des augmentations des modules élasticités de chaque type des bétons à base de granulats recyclés BR5, BR10, BR15 et BR20, de taux 1,74%, 4,95%, 7,03% et 6,01% par rapport de béton BR0 respectivement, et de 30,76% par rapport BR [12, 30].

Le module d'élasticité de béton recyclé diminue en fonction de diminution de la résistance de compression .



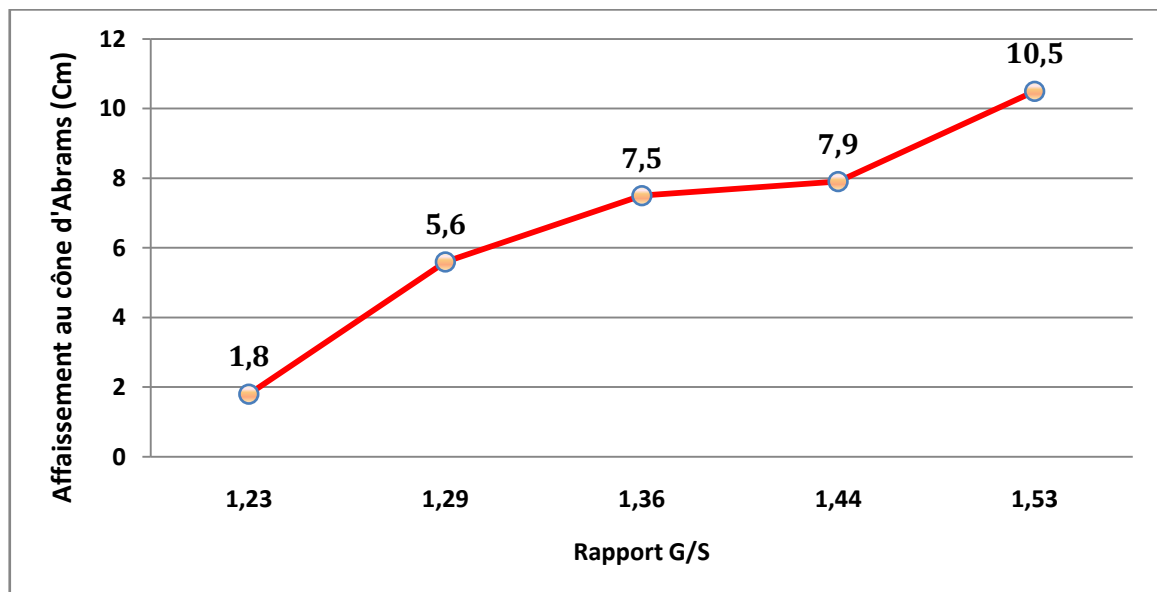
### III.2.7 Optimisation des proportions du squelette granulaire [22 ; 23]

Le rapport G/S optimum a été déterminé pour chaque types de béton dont la composition est précisée dans le Tableau III.5.

**Tableau III.5 Composition de Béton**

Matériaux Type de Béton	Fines de marbre (kg/m <sup>3</sup> )	Sable + Gravillons (kg/m <sup>3</sup> )	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (kg/m <sup>3</sup> )
<b>BR0% Référence(Témoin)</b>	0	1650,77	350	216,66
<b>BR 05 % fm</b>	37,065	1613,705		
<b>BR10 % fm</b>	74,13	1576,64		
<b>BR15 % fm</b>	111,195	1539,575		
<b>BR20 % fm</b>	148,26	1502,51		

Suivant la méthode Dreux-Gorisse, on a fabriqué plusieurs gâchées pour le béton présenté précédemment et le rapport G/S a été modulé de 1,23 à 1,53. La Figure III.11 montre que le rapport optimum expérimental (pour lequel l'affaissement est maximal) est de 1,53.



**Figure III.11 Optimisation du rapport G/S en fonction de l'affaissement**

Le rapport granulats-sable doit être inférieur à 2. En effet, si le rapport est supérieur à 2,2, la résistance en compression ainsi que la densité augmenteront considérablement. Par contre, cela rendra l'ouvrabilité ou la maniabilité du béton moindre. L'augmentation de rapport G/S au delà de 2 entraîne une discordance dans le squelette granulaire, la composition de béton se trouve ainsi déficiente en éléments fins et deviendra source de ségrégation [20].

### III.2.8 Coefficient de ramollissement

La variation de la coefficient de ramollissement caractérise la résistance à l’eau du matériau béton en fonction du taux de substitution de fines de marbre de chaque type de béton sont présentés dans la figure III.12 et le résultats dans tableau III.6 .

Dans notre recherche Les résistances  $R_{sat}$  et  $R_{sec}$  sont mesurée sur éprouvette 10×10×10cm à 60 jour d’âge.



Photo III.1 Exemple de rupture à l’état saturé et à l’état sèche

Tableau III.6 Coefficient de ramollissement du béton recyclé a 60 j d’âge

Type de Béton	BR 0% (Témoin)	BR05 % fm	BR10 % fm	BR15 % fm	BR20 % fm
$K_{ram}$	1,01	0,89	1,50	1,11	0,94

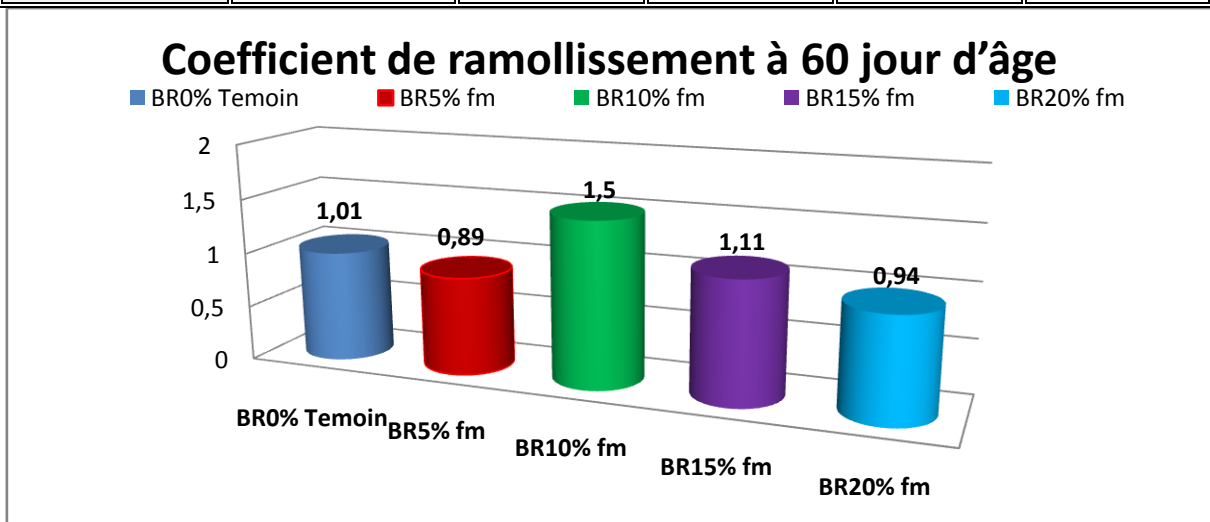
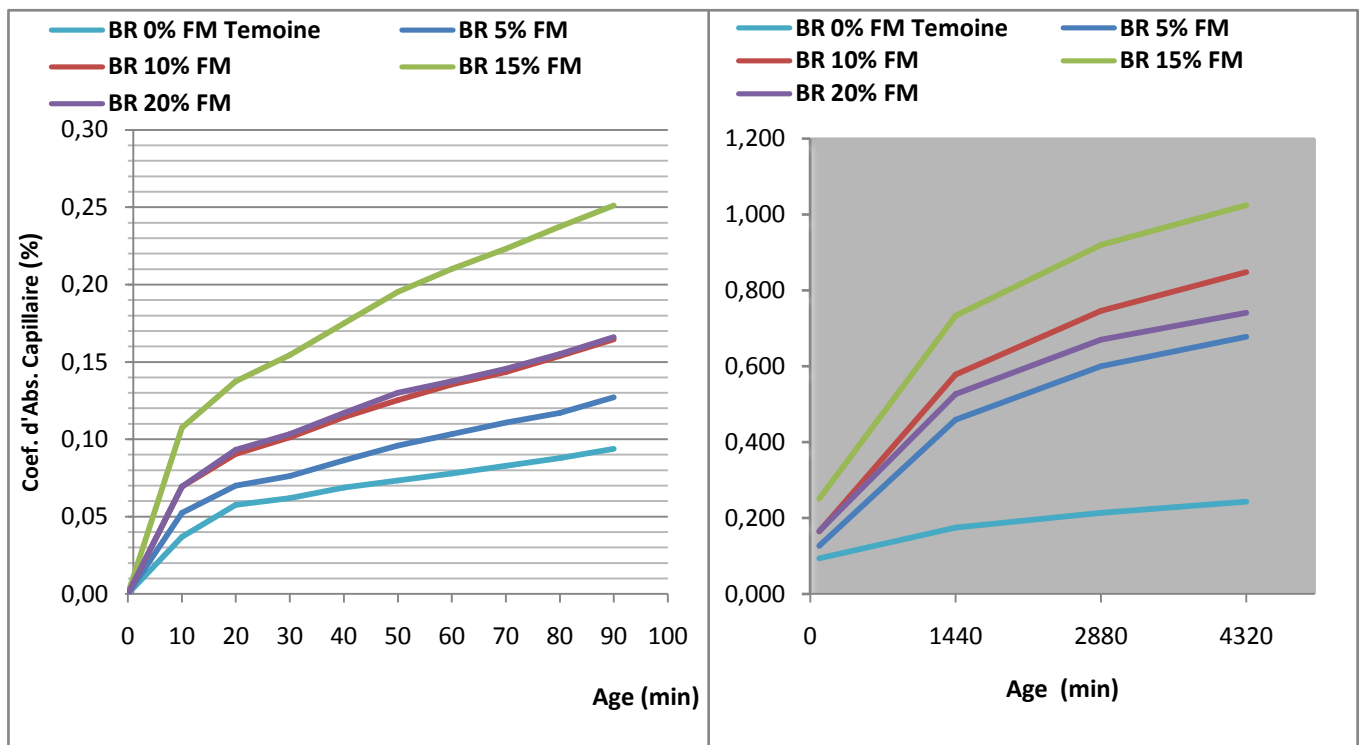


Figure III.12 Coefficient de ramollissement à 60 jour d’âge

A travers les résultats obtenus à partir du calcul du coefficient de ramollissement, on constate que toutes les formulations de béton ont un coefficient de ramollissement supérieur à 0,8, ce qui indique qu’elles résistent à l’humidité surtout BR10 et BR15 [12].

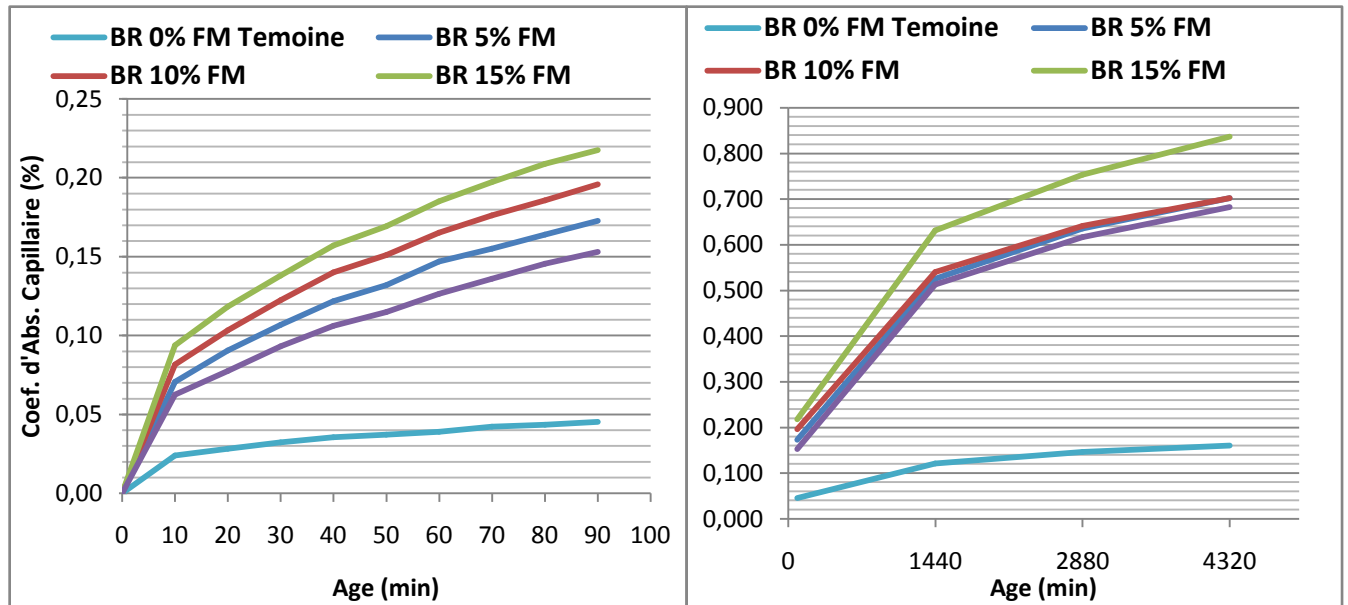
### III.2.9 Cinétique d'absorption capillaire du bétons recycle

La cinétique d'absorption a été réalisée dans les conditions normale pour tous les types de bétons et pour chaque échéance (07j, 14j, 28 et 60 jour) de mesure (t). L'influence du taux de substitution des déchets de marbre broyés et les agrégats recyclés sur l'absorption d'eau par capillarité des différents type de bétons. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (voir Annexes) et l'influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 7,14,28 et 60 jour d'âge de béton recycle sont présentes dans la figures suivantes III.13, III.14, III.15 et III.16 ( voir annexe).



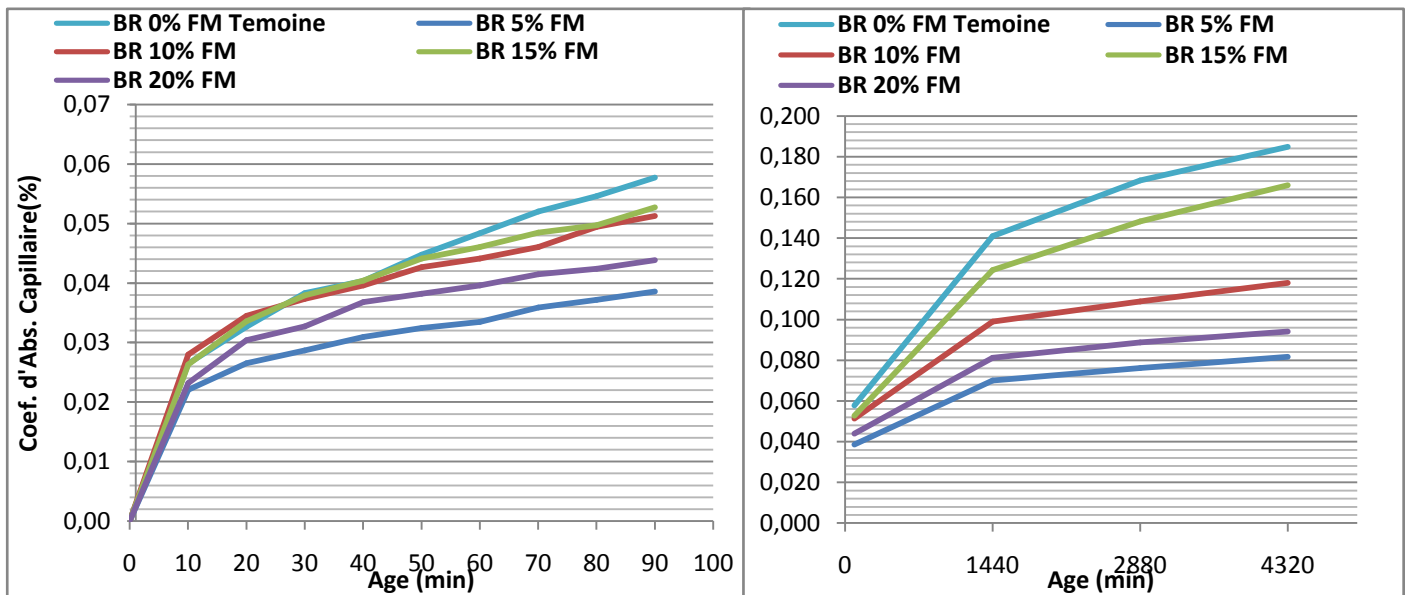
**Figure III.13 Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 7 jours d'âge de béton recyclé**

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorption dans le temps, et ce pour tous les mélanges. On remarque que le béton BR0 réf est celui qui a le coefficient d'absorption le plus petit qui est de 76,27 % par rapport le béton BR15, alors que le coefficient d'absorption des autres mélanges est plus grand, mais cette % de fines colmaté le pores et augmente Rc.



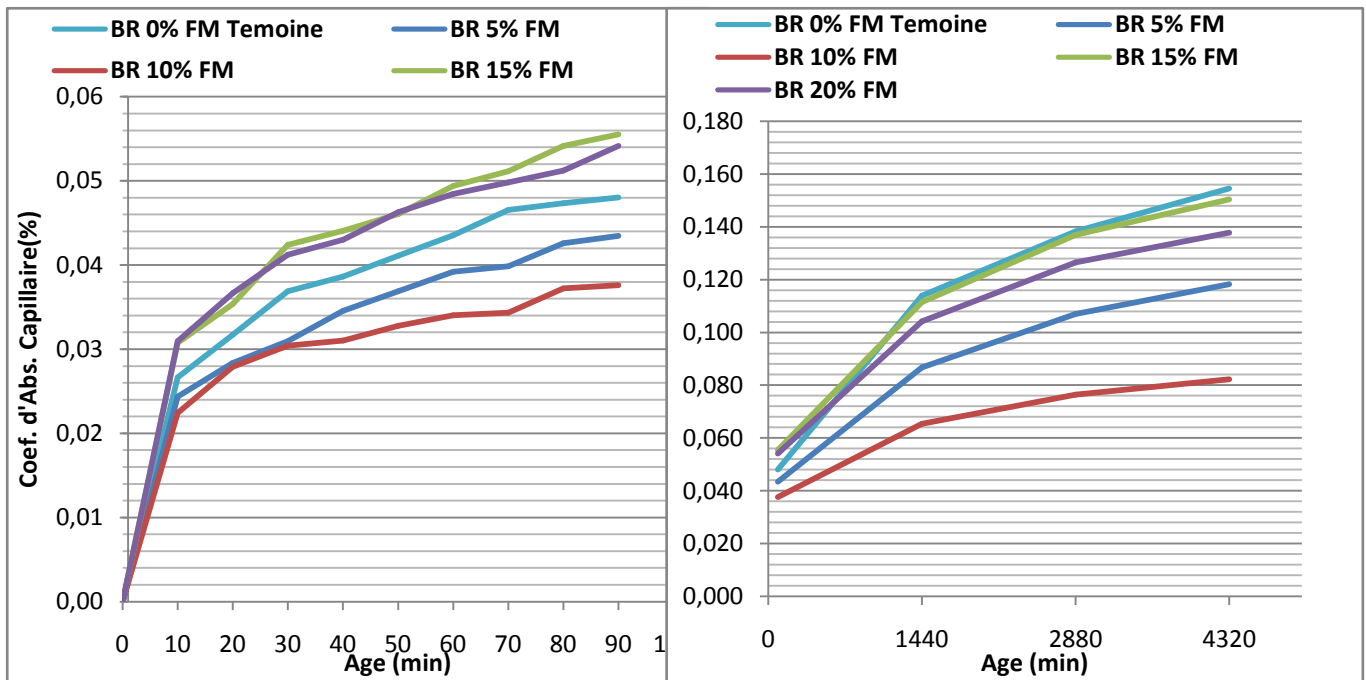
**Figure III.14 Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 14 jour d'âge de béton recyclé**

En ce qui concerne le taux d'absorption par capillaire à l'âge de 14 jour de cure , ont été constatées les mêmes remarques cite précédemment, mais l'écart entre BR0 et les bétons BR15 est de 80,76 % .



**Figure III.15 Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 28 jour d'âge de béton recyclé**

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorption dans le temps, et ce pour tous les mélanges. Mais on remarque à l'âge de 28 jour de cure, que le BR0 réf est celui qui a le coefficient d'absorption le plus grand qui est de 36,22% et 10,27% par rapport le béton BR10 et BR15 respectivement.



**Figure III.16 Influence du taux de fines de marbre sur l'absorption d'eau par capillarité à 60 jour d'âge de béton recyclé**

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorption dans le temps, et ce pour tous les mélanges. On remarque que le BR10 est celui qui a le coefficient d'absorption le plus petit, alors que le coefficient d'absorption des autres mélanges est plus grand surtout BR0 et BR15.

Le Béton BR10 a enregistré une diminution de à 46,75%, 45,33%, 40,58% et 30,51% par rapport à BR0, BR15, BR20 et BR5 respectivement.

Généralement on résume sur l'absorption capillaire à jeune âge 7j et 14j le béton recyclé BR0 à enregistrer le plus petit absorption, ce qui signifie qu'il existe des pores qui résultent des granulats grossiers en le mélange avec un module de finesse ( $M_f = 3,11$ ), par contre ce type de béton enregistre plus d'absorption à 28 et 60 jours.

En même temps on remarque que le béton BR10 enregistre une diminution à 28 et 60 jours par rapport au jeune âge.

On peut expliquer cette porosité des bétons par l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage pour assurer une maniabilité, lors de la prise et le durcissement du béton, l'eau qui ne réagit pas avec le ciment, va progressivement s'évaporer et laisser la place à la porosité ce qui explique le taux élevé de l'absorption d'eau, et spécifiquement dans les bétons à base des agrégats recyclés, qui renferment une partie importante de fines formée suite à l'utilisation de la méthode de concassage.

Donc nous dirons que le béton BR10, le mélange le plus favorise.

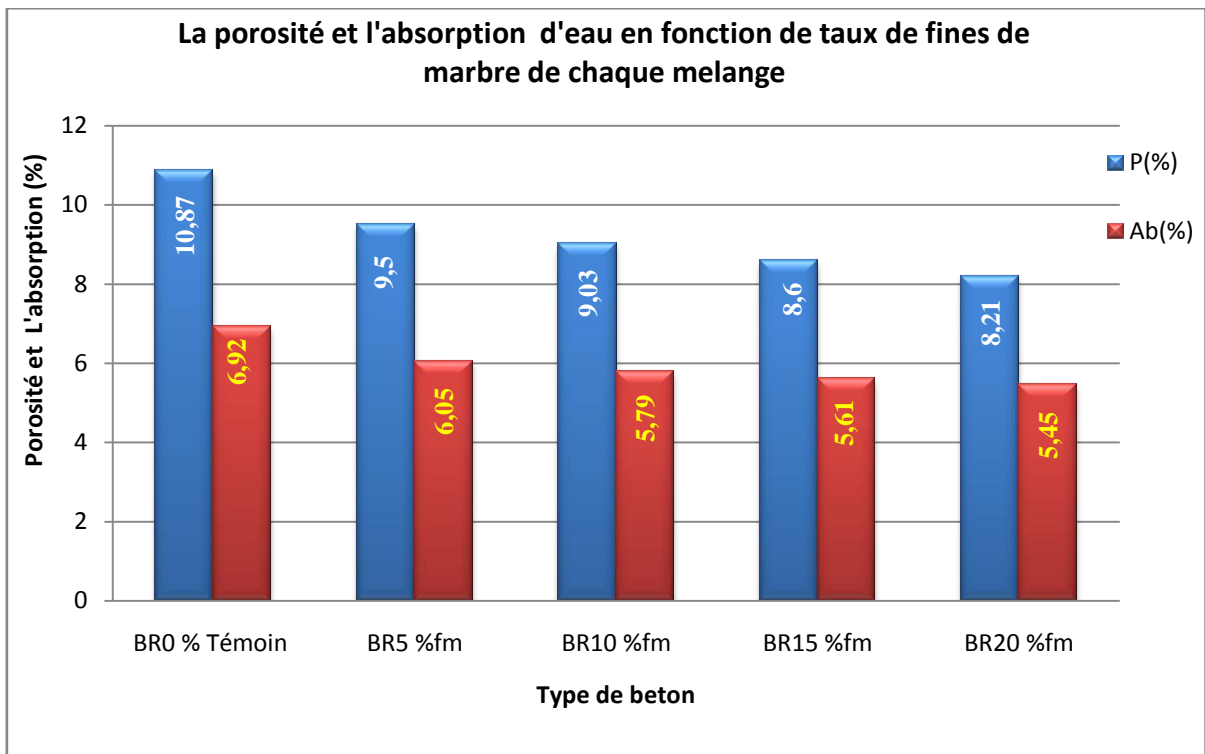
### III.2.10 Essai de la porosité (% de vide) et l'absorption d'eau par immersion

#### III.2.10.1 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.7 regroupe l'ensemble des résultats obtenus de la porosité accessible à l'eau et le taux d'absorption d'eau des bétons testés.

**Tableau III.7 La porosité et à l'absorption des différents bétons étudiés.**

Type de béton	P(%)	Ab(%)
BR0 % Témoin	10,87	7,28
BR5 %fm	9,5	6,27
BR10 %fm	9,03	6,09
BR15 %fm	8,6	5,88
BR20 %fm	8,21	5,69



**Figure III.17 : La variation de la porosité et de l'absorption d'eau en fonction du pourcentage de fines.**

On remarque pour les deux paramètres (porosité et absorption d'eau) que les résultats sont en coordination. Les bétons les plus poreux sont les bétons qui absorbent plus d'eau.

Le béton témoin BR0 a une porosité élevée comparativement aux bétons BR5, BR10, BR15 et BR20, les meilleurs résultats pour la porosité sont obtenus avec les bétons BR20, d'où on constate un écart d'ordre 24,47% et 20,88%, entre BR0 et les bétons BR20 et BR15. Les autres bétons BR5 et BR10 présentent presque même valeurs et de porosité élevées.

En ce qui concerne le taux d'absorption d'eau, les mêmes remarques ont été constatées, les écarts entre BR0 et les bétons BR20, BR15 et BR10, sont 21,24%, 18,93% et 16,33% respectivement, et les bétons BR5 et BR0 présentent presque même valeurs et d'absorption élevées, Il y a des études antérieures qui ont trouvé presque le même résultat, [12].

On peut expliquer cette porosité des bétons par l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage pour assurer une maniabilité, lors de la prise et le durcissement du béton, l'eau qui ne réagit pas avec le ciment, va progressivement s'évaporer et laisser la place à la porosité ce qui explique le taux élevé de l'absorption d'eau, et spécifiquement dans les bétons à base des agrégats recycle.

### III.3 Étude statistiques ( corrélation ) [24,25,26]

#### III.3.1 Corrélation entre les résistances mécaniques ( $R_c$ , $R_f$ )

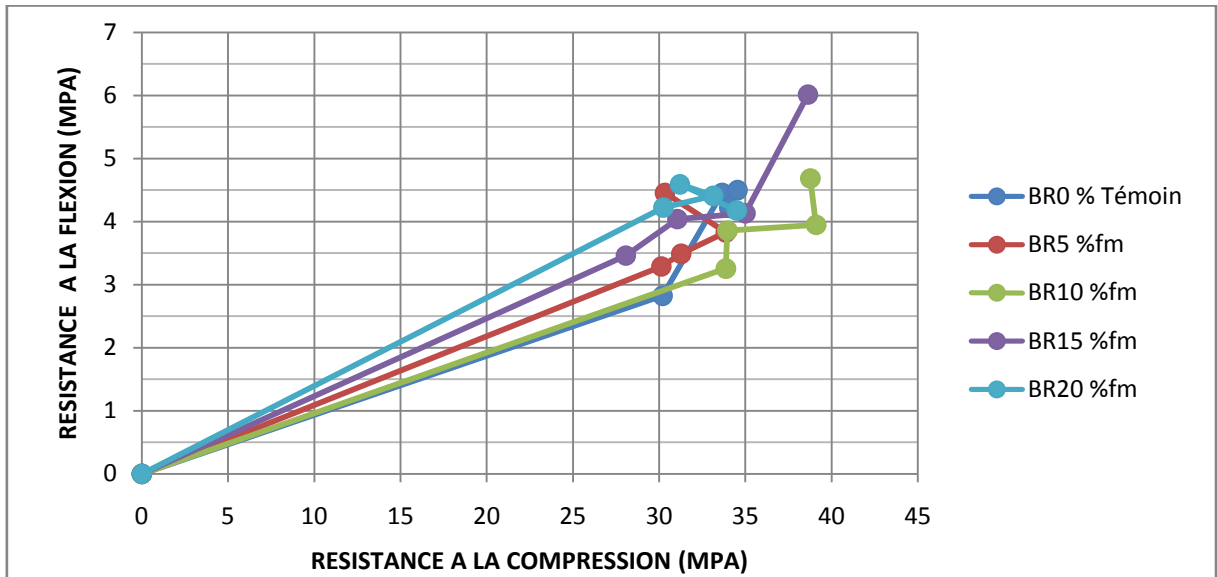
La figure III.18 présente la corrélation des résistances à la compression et à la flexion.

Dans le tableau III.8, les valeurs représentées de la résistance en compression et flexion est une moyenne effectuée sur trois valeurs des bétons BR0, BR5, BR10, BR15 et BR20.

**Tableau III.8 Résistance mécanique du bétons étudié**

R. d'écrasements Type de Bétons	Resistance à la compression				Resistance à la flexion			
	7j	14j	28j	60 j	7j	14j	28j	60 j
<b>BR0 % Témoin</b>	30,20	33,65	34,55	34,07	2,82	4,45	4,50	4,22
<b>BR5 %fm</b>	30,13	31,28	33,87	30,33	3,29	3,49	3,83	4,45
<b>BR10 %fm</b>	33,87	33,96	39,10	38,77	3,26	3,86	3,95	4,68
<b>BR15 %fm</b>	28,07	31,06	35,00	38,63	3,46	4,04	4,13	6,02
<b>BR20 %fm</b>	30,25	33,14	31,20	34,50	4,22	4,41	4,59	4,18



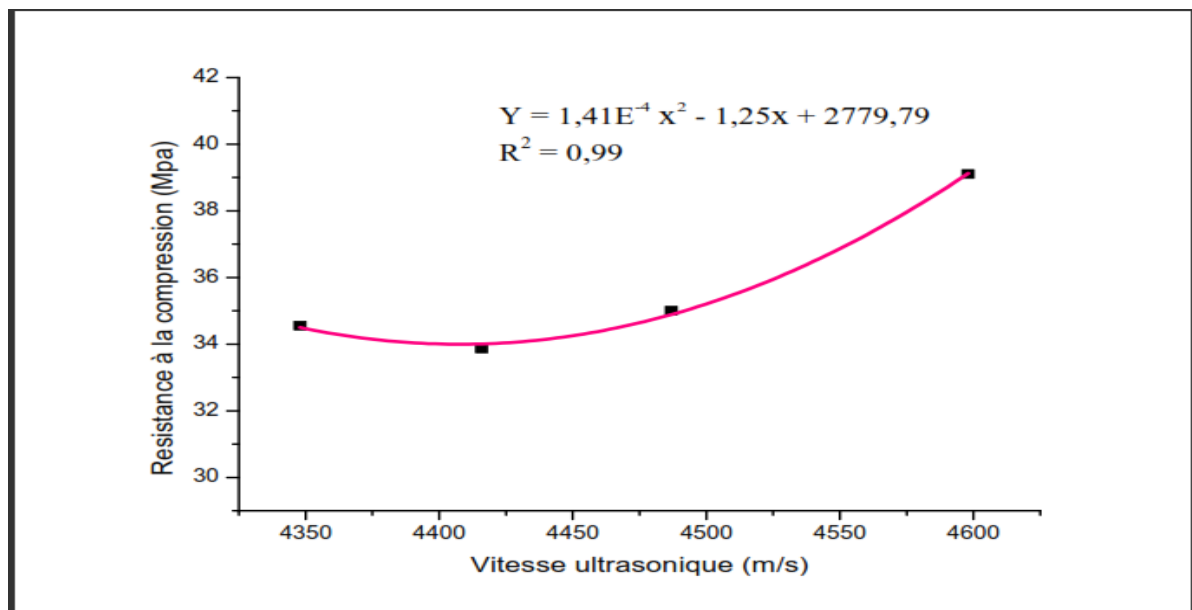


**Figure III.18** Corrélation entre la résistances à la compression et à la flexion

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

### III.3.2 la corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $V$ )

La figure III.18, présente la courbe de corrélation établie entre les résistances à la compression par écrasement « $R_c$ » et les vitesses d'ultrason « $V$ » correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme polynomiale présentée par l'équation  $Y=1,41E^{-4} x^2 - 1,25x + 2779,79$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,99$ .



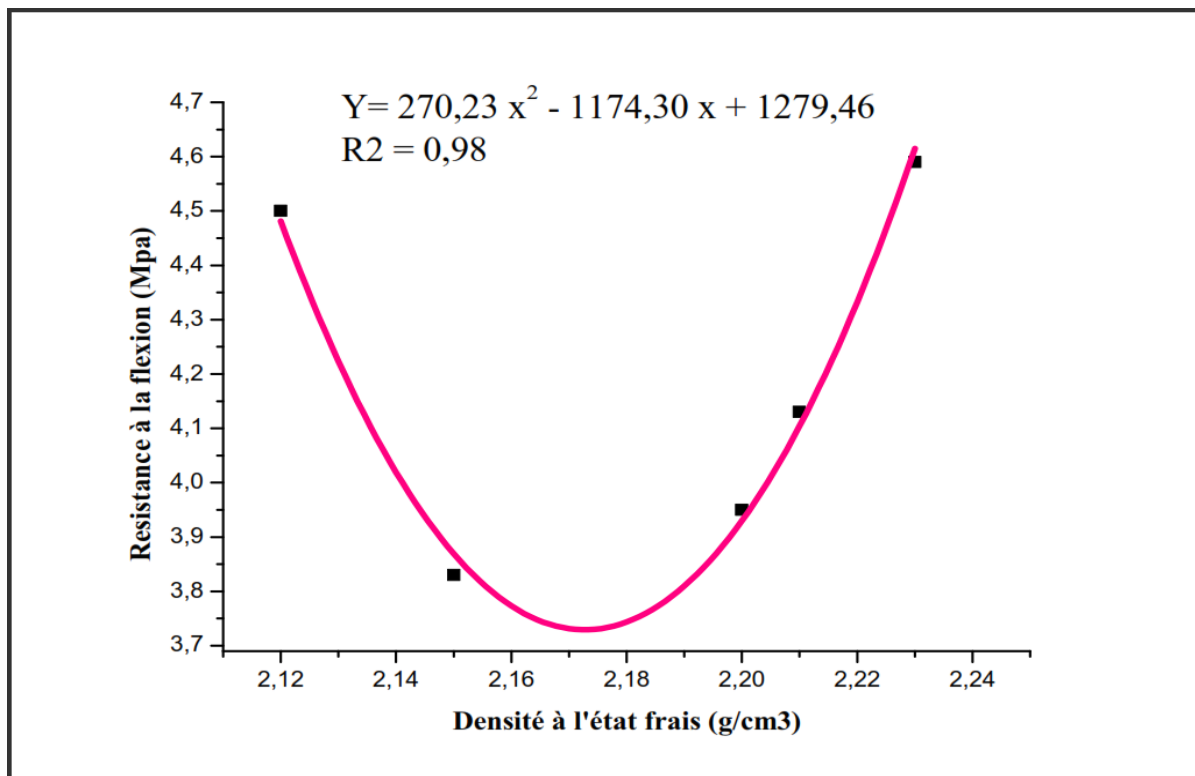
**Figure III.19** Corrélation entre la résistances à la compression et la vitesse ultrasonique à 28 jour d'âge



D'après cette figure III.19, on peut conclure qu'il existe une excellente corrélation ( $R^2 = 0,99$ ) entre la résistance à la compression et les vitesses d'ultrason correspondants pour l'ensemble des bétons étudiés.

### III.3.3 la corrélation ( $R_f$ ) en fonction de ( $\rho$ )

La figure III.20, présente la courbe de corrélation établie entre les résistances à la flexion par écrasement « $R_f$ » et la densité à l'état frais « $\rho$ » correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme polynomiale présentée par l'équation :  $Y = 270,23 x^2 - 1174,30 x + 1279,46$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,98$ .



**Figure III.20 Corrélation entre la résistances à la flexion et la densité à l'état frais à 28 jour d'âge**

D'après cette figure III.20, on peut conclure qu'il existe une excellente corrélation ( $R^2 = 0,98$ ) entre la résistance à la flexion et la densité à l'état frais correspondants pour l'ensemble des bétons étudiés.

### III.3.4 la corrélation entre (P) et l'absorption capillaire (Ct)

La figure III.21, présente la courbe de corrélation établie entre la porosité «P» et l'absorption capillaire à 28 jour d'âge «Ct» correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme polynomiale présentée par l'équation :  $Y=14,43-101,044 X+442,963 X^2$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,84$  et une erreur de 4,31 %.

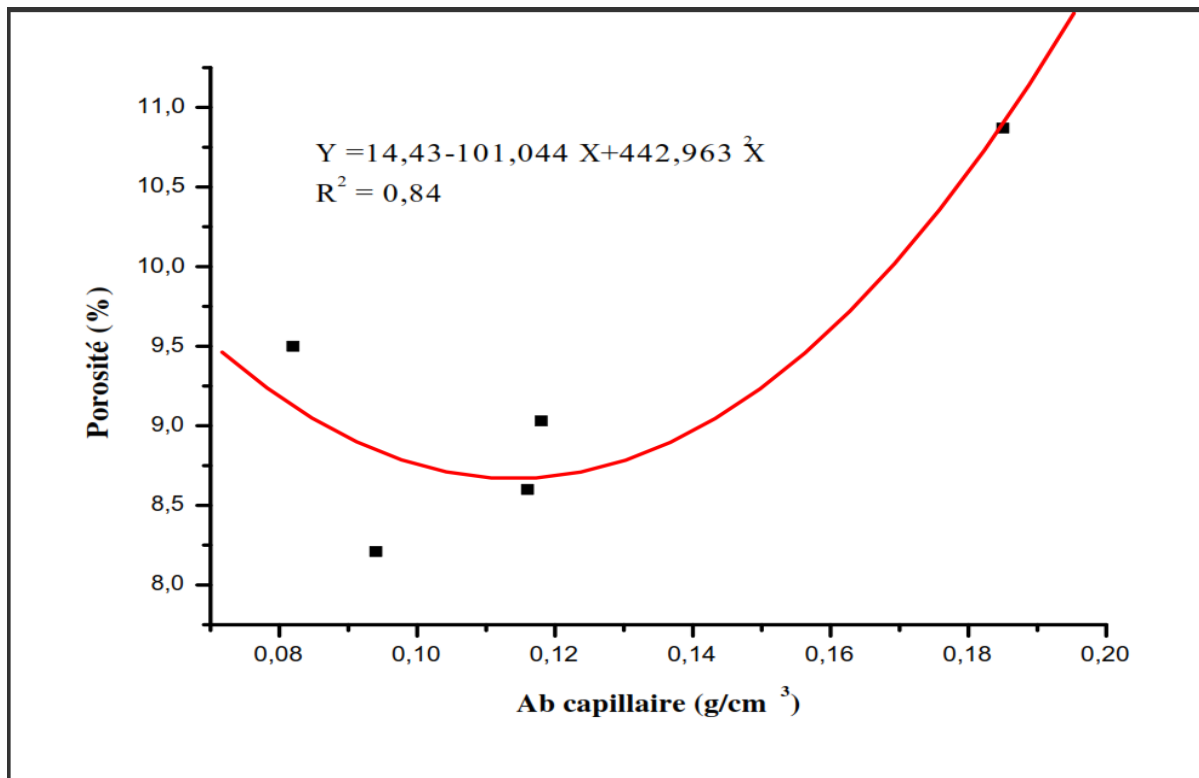
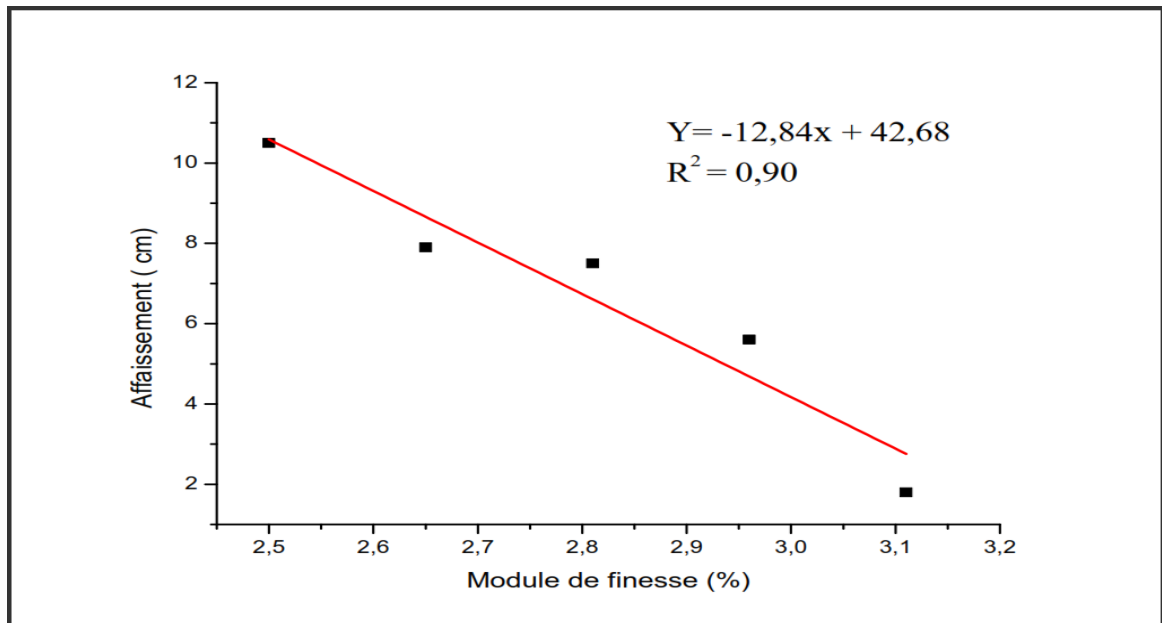


Figure III.21 Corrélation entre la Porosité et l'absorption capillaire à 28 jour

D'après cette figure III.21, on peut conclure qu'il existe une bonne corrélation  $R^2 = 0,84$  entre la porosité et l'absorption capillaire à 28 jour d'âge correspondants pour l'ensemble des bétons étudiés.

### III.3.5 la corrélation entre l'affaissement (A) et Module de finesse (M<sub>f</sub>)

La présente courbe de corrélation établie entre l'affaissement «A» et le module de finesse «M<sub>f</sub>» correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme linéaire présentée par l'équation :  $Y = -12,84x + 42,68$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,90$ .

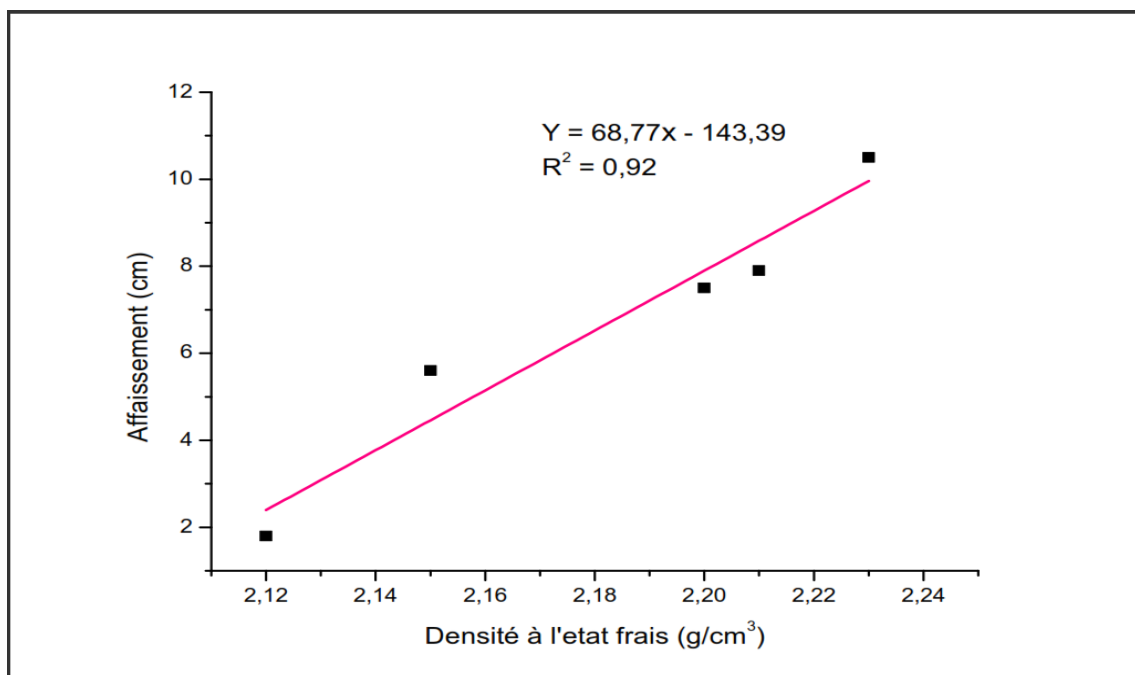


**Figure III.22** Corrélation entre l'affaissement et module de finesse

D'après cette figure III.22, on peut conclure qu'il existe une bonne corrélation ( $R^2 = 0,90$ ) entre l'affaissement et le module de finesse correspondants pour l'ensemble des mélange.

### III.3.6 la corrélation entre l'affaissement (A) et la densité à l'état frais ( $\rho$ )

La présente courbe de corrélation établie entre l'affaissement «A» et la densité à l'état frais « $\rho$ » correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme linéaire présentée par l'équ. :  $Y = 68,77x - 143,39$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,92$ .



**Figure III.23** Corrélation entre l'affaissement et la densité à l'état frais

D'après cette figure III.23, on peut conclure qu'il existe une très bonne corrélation ( $R^2 = 0,92$ ) entre l'affaissement et la densité à l'état frais correspondants pour l'ensemble des mélange.

### III.3.7 la corrélation entre Absorption/immersion et Ab capillaire

La présente courbe de corrélation établie entre les deux Absorption «Ab/im» et «Ab/cap» correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme exponentielle présentée par l'équation :  $Y = 1,62E^{-13} * \exp(-x/-0,00624) + 5,71$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,68$ .

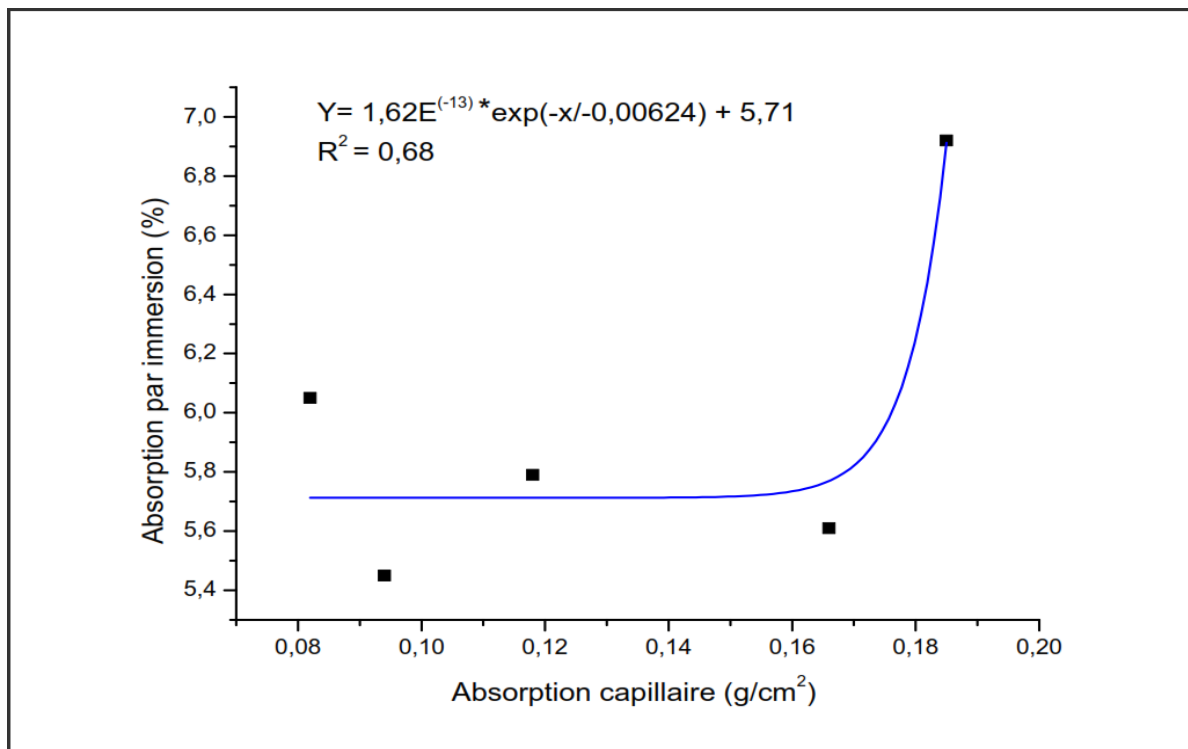
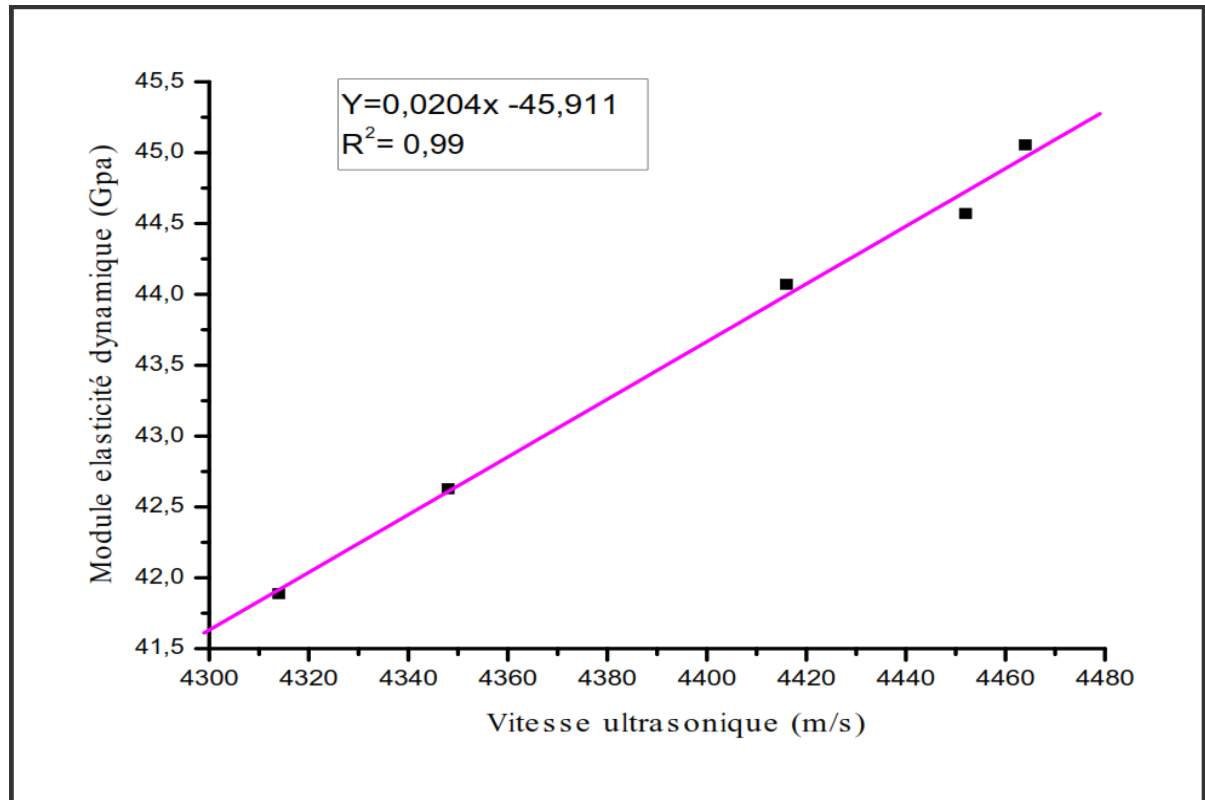


Figure III.24 Corrélation entre Absorption par immersion et Ab capillaire à 28 j d'âge

D'après cette figure III.24, on peut conclure qu'il existe une corrélation acceptable ( $R^2 = 0,68$ ) entre les deux type d'absorption d'eau pour l'ensemble des mélange.

### III.3.8 la corrélation entre (Ed) en fonction de (V)

La présente courbe de corrélation établie entre la module élasticité «Ed» et la vitesse de son «V» correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme linéaire présentée par l'éq :  $Y = 0,0204x - 45,911$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,99$ .



**Figure III.25 Corrélation entre ( $E_d$ ) en fonction de ( $V$ )**

D'après cette figure III.25, 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 .

On résume généralement, cette étude corrélative statistique réalisée dans le cadre de notre recherche de fin d'étude nous a permet d'établir des corrélations entre quelque propriétés mécaniques et physiques avec les résultats des essais non destructifs, pour une approche statistique a été inspiré au cours de ce travail (Figures III.18, III.19, III.21 et III.22) en vue de prédire le comportement de béton, la résistance à la compression, flexion, affaissement et l'absorption de l'eau du béton ordinaire à base de granulats recyclés stipule qu'il y a une relation polynomiale et linéaire liée au type du béton étudié, précisément BR10 et BR15. Cette corrélation a pour coefficient  $R^2$  égal 0,99, 0,98, 0,90 et 0,92 respectivement par rapport les figures cite précédemment.

Les courbes de corrélation données dans ce travail prouvent que l'évaluation fiable de la résistance in situ peut seulement être obtenue si la corrélation entre la résistance à la compression et la mesure d'essai non destructif .

## IV.6 CONCLUSION

Cette étude expérimentale a pu toucher une bonne variété de différentes compositions de bétons classiques .

Nos résultats sur le comportement des bétons des granulats recyclés s'accordent en général avec les données expérimentales présentées dans la littérature à l'exception de quelques travaux antérieurs.

Les résultats trouvés permettent de mettre en évidence que les bétons de granulats recyclés de béton présentent des performances systématiquement inférieures à celles des bétons ordinaires.

L'influence du taux de fines de marbre avec fixation du dosage en ciment et superplastifiant sur le comportement du béton à l'état frais et durci a été étudiée :

Le béton à base de granulats recyclés BR10 présente les meilleures performances, une bonne densité, maniabilité, une demande en eau acceptable et une résistance considérable presque identiques à celles du béton à base de granulats ordinaires.

La variation des dosages est un paramètre très influant sur les caractéristiques des bétons à l'état frais et durci, les résistances sont proportionnelles aux dosages en ciment et les taux de fines.

La Résistance à la compression du béton à base des agrégats recyclés à 28 j a diminué par rapport à celle du béton témoin BR0 de 1,97% pour un taux de substitution de 5 % et de 9.70% pour un taux de substitution de 20%.

Le pourcentage de diminution de la résistance à 60 jours est de 10,98% pour un taux de substitution de 5% et une augmentation de 1,25% pour un taux de 20%.

A 60 jours pour les éprouvettes 15x15x15 cm, la résistance à la compression des bétons à base des agrégats recyclés diminue de 4,88% pour un taux de substitution de 5%, 0,73% pour un taux de substitution de 15% et de 12,93% pour un taux de substitution de 20%.

Quant à la Résistance à la flexion à 60 j décroît de 0,95% pour un taux de substitution de 20%, et croît de 5,16% pour un taux de substitution de 5%, 9,83% pour un taux de 10% et 29,90% pour un taux de substitution de 15%.

A 28 jours, la résistance à la flexion diminue de 14,89 % pour un taux de substitution de 5%, de 12,22% pour un taux de substitution de 10% et de 8,22% pour un taux de substitution de 15%.

---

**CONCLUSIONS GÉNÉRALES**  
&  
**RECOMMANDATIONS**

---

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS

Ce travail a porté essentiellement sur l'étude de la possibilité de récupération des résidus de béton démolis ainsi que de déchets de marbre et leur utilisation dans le béton comme agrégats.

Le recyclage des granulats présente un intérêt particulier car leur valorisation permet de résoudre le manque de granulats naturels, de prolonger la durée d'exploitation des carrières existantes et de réduire les déchets mis en décharge.

En Algérie, chaque année, une quantité très importante de déchets de construction ou de démolition est générée mais rarement recyclée et spécialement dans notre région (wilaya d'El-Oued).

La valorisation de ces nouveaux matériaux sous forme de granulats dans les bétons ou mortiers est actuellement freinée par le fait que les granulats recyclés sont souvent considérés comme « granulats hors normes » et on les suspecte ainsi d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité de ces bétons, mais d'après notre étude ce n'est pas le cas.

Afin d'évaluer les risques potentiels pour ces bétons, nous avons d'abord caractérisé ce type des granulats, à l'aide d'une part d'une revue bibliographique et d'autre part d'une étude expérimentale :

### ➤ **Granulats recyclés de béton de démolition**

Notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des bétons, on retrouve les taux de remplacement des fines de marbre par les sables recyclés avec fixation de dosages en ciment et super plastifiants.

Toutefois, deux particularités distinguent les granulats recyclés du béton de démolition des granulats naturels: la gangue de la pâte de ciment ancien attaché aux granulats primaires et la présence d'impuretés. Elles peuvent influencer aussi bien le comportement du béton frais, que celui du béton durci à court et à long terme.

La forte porosité ouverte et l'absorption d'eau élevée des granulats recyclés de béton de démolition entraînent des rapports E/C importants, ce qui représente un premier facteur défavorable pour la durabilité.



Les essais effectués sur les bétons incluant des granulats recyclés de béton de démolition ont permis de constater qu'en général, leur comportement ne diffère pas beaucoup de celui des bétons classiques: ils obéissent aux mêmes lois et dépendent des mêmes facteurs (rapport E/C, compacité, conditions de cure et de durcissement, âge, séchage, etc...)

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée.

La variabilité des propriétés du vieux béton, qui influe sur celles du nouveau, constitue un grand problème de recyclage du béton. On peut en partie l'éviter en ajustant les dosages en ciment. Néanmoins, la réduction du rapport E/C des bétons recyclés n'est pas toujours favorable.

### ➤ **Valorisation de déchets de marbre (fines de marbre)**

L'utilisation du marbre dans les bétons est possible mais nécessite certaines précautions d'emploi vis-à-vis du phénomène d'alcali-réaction. Ce phénomène provoque des désordres qui conduisent au gonflement et à la fissuration du béton dans les zones gel dégel. Cet aspect n'a pas été l'objet de notre étude, nous nous sommes intéressés à l'influence des fines de marbre sur la résistance à la compression et à la flexion.

Aussi, l'augmentation de la proportion de fines de marbre égale ou supérieur de 20% dans le béton il diminue la résistance en compression et flexion . Ce qui serait lié au défaut d'adhérence entre la matrice du béton et les granulats de fines de marbre.

La valorisation des déchets de marbre (fines de marbre) dans la formulation des bétons ordinaire a un effet positif sur le comportement des bétons jusqu'à un certain pourcentage de remplacement. proportion de (5%, 10%, 15%, 20%) de poudre de marbre ont permis de formuler des bétons dont l'ouvrabilité est conforme .Les mélanges sont homogènes et ne présentent aucune tendance de ségrégation ni de ressuage.

A l'état frais, Pourcentage de fines de marbre (10% et 15%) dans le mélange, il présente une bonne affaissement et maniabilité.

A l'état durci, et en même % de fines les bétons BR10 et BR15 présentent une bonne résistance à la compression 44,9 et 41,5 Mpa et à la flexion 4,68 et 6,02 Mpa respectivement à 60 jours d'âge.

Lorsqu'en augmentation de % de fines de marbre, on remarque une augmentation d'absorption d'eau par capillarité, bon affaissement et maniabilité, par contre une réduction à partir un saut (10à15%) chute de la résistance et augmentation de porosité, absorption d'eau par immersion.

### ➤ **Recommandations et perspectives**

Quelques recommandations pour des futures recherches dans le domaine des agrégats recyclés et leur utilisation dans le béton peuvent être dégagées à la suite de cette étude :

- Dans notre cas, l'étude expérimentale a été faite sur des matériaux récupérés et concassés manuellement (non pollués), il est souhaitable que des essais soient faits sur des matériaux provenant directement des chantiers de démolition ou zone de stockage et leur concassage soit mécanique et écarte le broyage manuel mode traditionnel qui influe sur le comportement de bétons et les résultats obtenus.
- Analyser le comportement des éléments structuraux fabriqués en béton armé à base des agrégats recyclés sous chargement statique et dynamique.
- Etudier le comportement des bétons à base de granulats recyclés de contenu de 10à15% fines de marbre aux régions à température élevée et ou de zone agressives ;
- Etude caractéristiques microstructurale des bétons recyclés.
- Les granulats recyclés doivent être utilisés à 100% dans les bétons suivants: béton de propreté, gros bétons, plateforme, stade matico et marche piétons et même temps en utilise ce matériaux dans le domaine TP pour renforcer les couche de base et couche de fondations.
- Il est recommandé l'exécution et la mise en œuvre rapidement du béton à base des agrégats recyclés pour assurer une bonne maniabilité.
- La précision de manipulation les granulats recyclés en termes de propriétés physiques, mécaniques et chimiques.
- Comportement mécanique et de durabilité de béton recyclé contient de 10% fm, dans la remonter d'eau capillaires.

D'après les résultats obtenus dans notre recherches, nous pouvons dire que la possibilité de recyclage de béton de démolition avec l'incorporation des fines de marbre de taux entre 10 à 15% .

---

---

## **REFERNCES BIBLIOGRAPHIE**

---

---

---

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés.
- [2] **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.
- [3] **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.
- [4] **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. *Resour Conserv Recycl* 2004; 42(3):275-94.
- [5] **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.
- [6] **Douara T.H.**, « Caractérisation physiques et chimiques des granulats recyclés et granulats naturels ». 2009.
- [7] **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.
- [8] **Hadjieva Zaharieva R.**, Durabilité des bétons à base de granulats recyclés, Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 1998.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **HOSTMANN**, « Une nouvelle gestion des déchets de chantier d'ici cinq ans » , les cahiers techniques du bâtiment , n°177, France, Jan-Fév. 1997.

- [12] **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.
- [13] **COLLINS. R. J.; 1994** “The use of recycled aggregates in concrete”, BRE information paper p5/94.
- [14] **RILEM. ;1993** “Unified specifications of recycled coarse aggregates for concrete”, RILEM TC 121-DRG.
- [15] **Mlle SAADANI Sabrina ;2006**, Comportement des bétons a base de granulats recycles, Thème de Magister, Université de Mentouri Constantine, 2006.
- [16] **Randjodh S., Rohin Kaushik Er., Gurniwaz Singh Er.,** Study of Self Compacting Concrete Using Brick Dust and Marble Powder, Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 3, Issue 3, p.1283-1286, 2013.
- [17] **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, Déchets-sciences et techniques, N°19-3<sup>ème</sup> trimestre, 2000.
- [18] **Hebhoub H., Belachia M.,** Introduction de sable de déchet de marbre dans le béton hydraulique, Article, Revue « Nature et Technologie ». N°04/Janvier2011.Pages41à 46, 2010.
- [19] **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.
- [20] **ARABI N. & BERREDJEM L.** Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons, l'Article Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12 Annaba 23000, Algérie 2011 .
- [21] **DREUX. G, FESTA. J.; 1995** Nouveau guide du béton , Septième édition, EYROLLES.
- [22] **DREUX. G, et FESTA. J. 1998** Nouveau guide du Béton et de ses constituants. Eyrolles, 416p.
- [23] **F. Zeraoulia-Boumaza & M. Behim.** Formulation des bétons autoplacants : Optimisation du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux-Gorisse, l'Article Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12 Annaba 23000, Algérie 2013.

- [24] **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.
- [25] **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.
- [26] **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.
- [27] **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.
- [28] **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.
- [29] **Casuccio, M., Torrijos MC., al.**, Failure mechanism of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, Vol. 22(7), p. 1500-1506, 2008.
- [30] **COQUILLAT. G. ;1984** “ Recyclage des matériaux des démolition dans la confection des bétons”, Annales de L'ITBTP, n°428, France, pp.63-71.
- [31] **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.
- [32] **HANSEN, T. C. ;1986** “ Recycling aggregates and recycling aggregate concrete ”, second state-of- the –art report developments 1945-1985. Materials and structures, vol19, N° 111, pp. 201-246.
- [33] **Hansen.T.**, Recycling of Demolishwa Concrete and Masonry. Oxfordshire: Taylor Francis Group, 1992.

---

---

# **ANNEXES**

---

---

# Les annexes

## NOTICE TECHNIQUE

### MEDAFLOW 145

Conforme à la norme NF EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1  
ET TAB 3.2 NA 774

Super plastifiant-Haut réducteur d'eau

#### DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité. Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

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

Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

#### CARACTERISTIQUES

- Forme .....Liquide
- Couleur .....brai clair
- pH ..... 5 - 6
- Densité..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore..... < 1g/L
- Extrait sec..... 30±1,5%

#### PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :

##### Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

##### Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

#### DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferrailage dense

#### DOSAGE

##### Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.

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

#### MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.

Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardateur de prise **MEDARETARD GR**.

#### CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg. et cubitainer 1100 kg

##### Délai de conservation :

12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ( $5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$ ).

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.



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







# 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)
<b>Dosage pour béton</b>	50k X1	+ X7	+ X5 + X4	+ 25 L
	ciment	Sable Correcteur 0/1mm	Sable (sec) 0/4mm	Eau (litres)
<b>Mortier de briquetage</b>	50k X1	+ X6	+ X9	+ 35 L
<b>Mortier de finitions</b>	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 (SO3)	2.4 - 2.8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	< 0.05
Composition Potentielle du Clinker (%) (Selon Bogue)	valeur
C <sub>3</sub> S	58 - 66
C <sub>3</sub> 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





Ministry of Higher Education  
and Scientific Research  
UNIVERSITY OF EL-OUED  
Faculty of Exact Sciences  
Chemistry Department  
[sem.edx39@gmail.com](mailto:sem.edx39@gmail.com)



وزارة التعليم العالي  
والبحوث العلمي  
جامعة الوادي  
كلية العلوم الدقيقة  
قسم الكيمياء  
[sem.edx39@gmail.com](mailto:sem.edx39@gmail.com)  
مرجع :

Reference :

SEM-EDX REQUISITION FORM  
نموذج طلب SEM-EDX

Requisitioner Data	Name of the Requisitioner: <u>Ki REJ Med Salan h</u> : اسم ولقب مقدم الطلب
	Specialty : <u>Materiaux en genie civil</u> : اختصاص
	Department: <u>Hydraulique et genie civil</u> : قسم
	Faculty : <u>Technologique</u> : كلية
	Affiliation : : الانتماء
	Telephone : <u>0655 M 55 91</u> : الهاتف
Sample Data	E-mail (1): : البريد الالكتروني
	Diploma prepared (2) : <u>MASTER</u> : شهادة المحضرة
	Project title : <u>Etude de la possibilité de recyclage Au beton de ciment fin avec l'incorporation de fibre de montage</u> : عنوان المشروع
	Number of samples (3) (≤2) : <u>02</u> : عدد العينات
	Nature of sample (4) : <u>1. Matiere et beton</u> : طبيعة العينات
	Tick * if sample is sensitive to temperature 60°C: <input type="checkbox"/> : ضع علامة * إذا كانت العينة حساسة لدرجة الحرارة أكبر 60 م°
Tick * if sample is sensitive to moisture (5): <input type="checkbox"/> : ضع علامة * إذا كانت العينة حساسة للرطوبة	
Analysis Data	Hazards and special precautions (6) : : المخاطر والاحتياطات الخاصة
	SEM Analysis Magnification expected (2x-150000x): : تحليل الصورة
	EDX Analysis List of expected elements if conducting EDX analysis : : قائمة العناصر المتوقعة إذا كان إجراء تحليل EDX
	Only identification of elements (Qualitative): <input type="checkbox"/> : معرفة العناصر فقط (النوعي)
	Quantification of elements (Quantitative) : <input type="checkbox"/> : تحديد العناصر (كميا)
	Signature of Requisitioner : : توقيع الطالب
Authorization Data	Name of Supervisor: <u>TAREK Djahide</u> : اسم المشرف
	Signature of Supervisor : : توقيع المشرف
	Signature Head of Department : : توقيع رئيس القسم



Note:

- The results should be sent by e-mail so the email address must be very clear.
- Diploma Prepared : Master, Ph D, etc ...
- Only 3 samples per requisition will be accepted.
- Nature of Sample : Ceramic, metallic, semiconducting, polymeric, powder, textile fiber, biological, pharmaceutical ,etc
- Samples should be in dry condition. The size of metal sample must be up to 1 cubic cm and thin film 1×1 cm.
- If the sample is danger , indicate the type of risk : Pathogens , Toxic , Radioactive, Flammable ,etc.....
- Put the sample in a pillbox labeled with the product name and the name of the Requisitioner.
- Samples after analysis are not retrieved .

## جامعة الشهيد حمة اخضر الوادي

قسم الفيزياء

كلية العلوم الدقيقة

الرقم: ...../2019.

**FORMULAIRE POUR UNE DEMANDE D'ANALYSE PAR DRX**

Nom et prénom du demandeur: DJIDJI TAREK  
 Spécialité: Matériaux en génie civil  
 Département: Génie civil Faculté: Technologie  
 Tel: 0782 24 64 66 E-mail: zerig72@gmail.com  
 Diplôme préparé: Master  Doctorat en Sciences  Doctorat LMD   
 Les éléments chimiques: Ca, Cl, O, Si, C, Al, 14g  
 Nombre d'échantillons: 03 (03 Max.)  
 Type de l'échantillon: poudre  verre   
 Observations: Non dangereux   
 Dangereux  , indiquer le type du danger:  
 irritant  toxique  nocif  autres: .....

**Procédure à suivre :**

- 1- Mettre l'échantillon dans un pilulier étiqueté avec le nom du produit et le nom du demandeur.
- 2- Quantité/dimension de produit : Poudre (environ 1 g)- Verre (1 cm x 1 cm)
- 3- L'échantillon en **Poudre** doit être bien broyé.
- 4- Déposer l'échantillon ainsi que la présente fiche au niveau du labo 16.

**Remarque :**

Un échantillon qui n'a pas été récupéré au maximum 7 jours après réception des résultats sera automatiquement détruit.

**L'encadreur:**

Nom et prénom/ Signature

TAREK Djidji

Date de dépôt de l'échantillon:

11/02/2020Nom et prénom du Technicien : Louebi Amel Signature: Amel

Avis du responsable du Laboratoire:

El-Oued le: .....

Cadre réserver à l'administration

Types de Béton / Nbr de Echantillon		Poids echant, avec Ciré en (g)	Absorption capillaire en fonction de temps t (g) à 7j d'âge											
			10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	1 j	2 j	3 j
BR 0% FM Témoin	1	761,76	764,62	765,52	765,68	766,52	766,64	766,92	767,21	767,64	767,86	772,14	773,90	774,82
	2	765,72	766,64	767,98	768,02	768,12	768,31	768,42	768,76	768,88	769,10	772,52	774,68	776,65
	3	767,08	768,74	769,54	769,98	770,04	770,40	770,68	770,78	770,96	771,38	775,62	777,40	778,88
Moyenne		<b>764,85</b>	<b>766,67</b>	<b>767,68</b>	<b>767,89</b>	<b>768,23</b>	<b>768,45</b>	<b>768,67</b>	<b>768,92</b>	<b>769,16</b>	<b>769,45</b>	<b>773,43</b>	<b>775,33</b>	<b>776,78</b>
Ct			<b>0,037</b>	<b>0,058</b>	<b>0,062</b>	<b>0,069</b>	<b>0,073</b>	<b>0,078</b>	<b>0,083</b>	<b>0,088</b>	<b>0,094</b>	<b>0,175</b>	<b>0,214</b>	<b>0,243</b>
BR 5% FM	1	724,10	726,50	727,30	727,60	728,00	728,50	728,80	729,10	729,40	729,80	745,60	753,00	757,10
	2	739,90	742,20	742,90	743,10	743,50	743,90	744,20	744,50	744,70	745,20	759,50	765,90	769,30
	3	718,20	721,20	722,30	722,70	723,40	723,90	724,40	724,90	725,30	725,90	744,60	751,60	755,50
Moyenne		<b>727,40</b>	<b>729,97</b>	<b>730,83</b>	<b>731,13</b>	<b>731,63</b>	<b>732,10</b>	<b>732,47</b>	<b>732,83</b>	<b>733,13</b>	<b>733,63</b>	<b>749,90</b>	<b>756,83</b>	<b>760,63</b>
Ct			<b>0,052</b>	<b>0,070</b>	<b>0,076</b>	<b>0,086</b>	<b>0,096</b>	<b>0,103</b>	<b>0,111</b>	<b>0,117</b>	<b>0,127</b>	<b>0,459</b>	<b>0,601</b>	<b>0,678</b>
BR 10% FM	1	726,80	729,70	730,50	730,90	731,40	731,80	732,20	732,50	732,90	733,30	751,30	758,30	762,20
	2	688,30	691,30	692,20	692,60	693,20	693,70	694,20	694,50	695,00	695,50	714,10	722,00	727,10
	3	751,70	756,00	757,40	758,20	759,00	759,70	760,30	760,90	761,50	762,20	786,40	796,20	802,20
Moyenne		<b>722,27</b>	<b>725,67</b>	<b>726,70</b>	<b>727,23</b>	<b>727,87</b>	<b>728,40</b>	<b>728,90</b>	<b>729,30</b>	<b>729,80</b>	<b>730,33</b>	<b>750,60</b>	<b>758,83</b>	<b>763,83</b>
Ct			<b>0,069</b>	<b>0,090</b>	<b>0,101</b>	<b>0,114</b>	<b>0,125</b>	<b>0,135</b>	<b>0,144</b>	<b>0,154</b>	<b>0,165</b>	<b>0,578</b>	<b>0,746</b>	<b>0,848</b>
BR 15% FM	1	731,00	736,70	738,60	739,60	740,80	742,10	743,00	743,70	744,50	745,30	771,40	781,10	786,70
	2	707,00	712,40	713,80	714,60	715,70	716,50	717,30	717,90	718,60	719,30	744,00	753,20	758,00
	3	716,80	721,50	722,60	723,30	724,00	724,90	725,40	726,00	726,60	727,10	747,30	755,80	760,70
Moyenne		<b>718,27</b>	<b>723,53</b>	<b>725,00</b>	<b>725,83</b>	<b>726,83</b>	<b>727,83</b>	<b>728,57</b>	<b>729,20</b>	<b>729,90</b>	<b>730,57</b>	<b>754,23</b>	<b>763,37</b>	<b>768,47</b>
Ct			<b>0,107</b>	<b>0,137</b>	<b>0,154</b>	<b>0,175</b>	<b>0,195</b>	<b>0,210</b>	<b>0,223</b>	<b>0,237</b>	<b>0,251</b>	<b>0,734</b>	<b>0,920</b>	<b>1,024</b>
BR 20% FM	1	756,70	760,00	761,10	761,60	762,20	762,80	763,20	763,60	764,00	764,60	783,60	791,20	795,00
	2	725,20	728,60	729,90	730,50	731,20	731,80	732,20	732,70	733,20	733,70	750,70	757,10	760,40
	3	719,70	723,20	724,30	724,70	725,40	726,10	726,40	726,70	727,20	727,70	744,80	751,80	755,20
Moyenne		<b>733,87</b>	<b>737,27</b>	<b>738,43</b>	<b>738,93</b>	<b>739,60</b>	<b>740,23</b>	<b>740,60</b>	<b>741,00</b>	<b>741,47</b>	<b>742,00</b>	<b>759,70</b>	<b>766,70</b>	<b>770,20</b>
Ct			<b>0,069</b>	<b>0,093</b>	<b>0,103</b>	<b>0,117</b>	<b>0,130</b>	<b>0,137</b>	<b>0,146</b>	<b>0,155</b>	<b>0,166</b>	<b>0,527</b>	<b>0,670</b>	<b>0,741</b>



Types de Béton / Nbr de Echantillon		Poids echant, avec Ciré en (g)	Absorption capillaire en fonction de temps t (g) à 14 j d'âge											
			10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	1 j	2 j	3 j
BR 0% FM Temoine	<b>1</b>	761,00	762,23	762,33	762,68	762,74	762,78	762,96	763,01	763,07	763,18	766,82	767,93	768,56
	<b>2</b>	757,86	758,82	759,06	759,18	759,36	759,49	759,52	759,70	759,76	759,82	763,18	764,42	765,09
	<b>3</b>	769,00	770,34	770,62	770,75	771,00	771,04	771,11	771,35	771,43	771,52	775,67	777,00	777,82
<b>Moyenne</b>		<b>762,62</b>	<b>763,80</b>	<b>764,00</b>	<b>764,20</b>	<b>764,37</b>	<b>764,44</b>	<b>764,53</b>	<b>764,69</b>	<b>764,75</b>	<b>764,84</b>	<b>768,56</b>	<b>769,78</b>	<b>770,49</b>
<b>Ct</b>			<b>0,024</b>	<b>0,028</b>	<b>0,032</b>	<b>0,036</b>	<b>0,037</b>	<b>0,039</b>	<b>0,042</b>	<b>0,044</b>	<b>0,045</b>	<b>0,121</b>	<b>0,146</b>	<b>0,161</b>
BR 5% FM	<b>1</b>	770,80	774,30	775,30	776,20	777,00	777,60	778,30	778,80	779,30	779,80	799,34	805,88	809,34
	<b>2</b>	740,10	743,60	744,70	745,50	746,20	746,70	747,60	748,10	748,40	749,00	769,26	775,50	779,50
	<b>3</b>	764,00	767,40	768,20	768,90	769,60	770,00	770,60	770,80	771,30	771,50	783,50	786,90	789,30
<b>Moyenne</b>		<b>758,30</b>	<b>761,77</b>	<b>762,73</b>	<b>763,53</b>	<b>764,27</b>	<b>764,77</b>	<b>765,50</b>	<b>765,90</b>	<b>766,33</b>	<b>766,77</b>	<b>784,03</b>	<b>789,43</b>	<b>792,71</b>
<b>Ct</b>			<b>0,071</b>	<b>0,090</b>	<b>0,107</b>	<b>0,122</b>	<b>0,132</b>	<b>0,147</b>	<b>0,155</b>	<b>0,164</b>	<b>0,173</b>	<b>0,525</b>	<b>0,635</b>	<b>0,702</b>
BR 10% FM	<b>1</b>	767,40	771,70	772,90	773,80	774,80	775,40	776,10	776,70	777,10	777,60	794,40	799,60	802,64
	<b>2</b>	760,50	763,80	764,70	765,50	766,30	766,70	767,40	767,80	768,20	768,60	783,95	788,20	791,10
	<b>3</b>	767,00	771,40	772,50	773,60	774,40	775,00	775,70	776,30	776,90	777,50	796,00	801,30	804,36
<b>Moyenne</b>		<b>764,97</b>	<b>768,97</b>	<b>770,03</b>	<b>770,97</b>	<b>771,83</b>	<b>772,37</b>	<b>773,07</b>	<b>773,60</b>	<b>774,07</b>	<b>774,57</b>	<b>791,45</b>	<b>796,37</b>	<b>799,37</b>
<b>Ct</b>			<b>0,082</b>	<b>0,103</b>	<b>0,122</b>	<b>0,140</b>	<b>0,151</b>	<b>0,165</b>	<b>0,176</b>	<b>0,186</b>	<b>0,196</b>	<b>0,540</b>	<b>0,641</b>	<b>0,702</b>
BR 15% FM	<b>1</b>	735,10	740,00	741,40	742,30	743,30	743,90	744,90	745,40	746,10	746,50	766,30	772,20	776,20
	<b>2</b>	754,70	759,30	760,50	761,50	762,50	763,10	763,80	764,50	765,00	765,50	786,90	793,40	797,90
	<b>3</b>	746,50	750,80	751,80	752,80	753,60	754,20	754,80	755,40	755,90	756,30	775,90	781,40	785,20
<b>Moyenne</b>		<b>745,43</b>	<b>750,03</b>	<b>751,23</b>	<b>752,20</b>	<b>753,13</b>	<b>753,73</b>	<b>754,50</b>	<b>755,10</b>	<b>755,67</b>	<b>756,10</b>	<b>776,37</b>	<b>782,33</b>	<b>786,43</b>
<b>Ct</b>			<b>0,094</b>	<b>0,118</b>	<b>0,138</b>	<b>0,157</b>	<b>0,169</b>	<b>0,185</b>	<b>0,197</b>	<b>0,209</b>	<b>0,218</b>	<b>0,631</b>	<b>0,753</b>	<b>0,837</b>
BR 20% FM	<b>1</b>	782,50	785,30	785,90	786,60	787,20	787,60	788,10	788,50	788,90	789,20	806,32	811,46	814,56
	<b>2</b>	746,40	749,80	750,70	751,50	752,20	752,70	753,30	753,80	754,30	754,70	773,30	778,60	782,10
	<b>3</b>	748,00	751,00	751,70	752,50	753,10	753,50	754,10	754,60	755,10	755,50	772,70	777,50	780,60
<b>Moyenne</b>		<b>758,97</b>	<b>762,03</b>	<b>762,77</b>	<b>763,53</b>	<b>764,17</b>	<b>764,60</b>	<b>765,17</b>	<b>765,63</b>	<b>766,10</b>	<b>766,47</b>	<b>784,11</b>	<b>789,19</b>	<b>792,42</b>
<b>Ct</b>			<b>0,063</b>	<b>0,078</b>	<b>0,093</b>	<b>0,106</b>	<b>0,115</b>	<b>0,127</b>	<b>0,136</b>	<b>0,146</b>	<b>0,153</b>	<b>0,513</b>	<b>0,617</b>	<b>0,683</b>

Types de Béton / Nbr de Echantillon		Poids echant, avec Ciré en (g)	Absorption capillaire en fonction de temps t (g) à 28 j d'âge											
			10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	1 j	2 j	3 j
BR 0% FM Temoine	1	744,16	745,79	746,10	746,49	746,61	746,81	747,07	747,35	747,51	747,69	752,18	753,70	754,46
	2	747,86	749,02	749,33	749,63	749,70	749,90	750,07	750,23	750,28	750,48	754,42	755,67	756,45
	3	739,62	740,72	741,01	741,15	741,26	741,51	741,61	741,71	741,88	741,96	745,76	747,02	747,90
Moyenne		<b>743,88</b>	<b>745,18</b>	<b>745,48</b>	<b>745,76</b>	<b>745,86</b>	<b>746,07</b>	<b>746,25</b>	<b>746,43</b>	<b>746,56</b>	<b>746,71</b>	<b>750,79</b>	<b>752,13</b>	<b>752,94</b>
Ct			<b>0,026</b>	<b>0,033</b>	<b>0,038</b>	<b>0,040</b>	<b>0,045</b>	<b>0,048</b>	<b>0,052</b>	<b>0,055</b>	<b>0,058</b>	<b>0,141</b>	<b>0,168</b>	<b>0,185</b>
BR 5% FM	1	800,49	801,55	801,74	801,84	801,96	802,02	802,06	802,17	802,23	802,34	803,58	803,84	804,06
	2	760,76	761,60	761,93	762,00	762,13	762,17	762,23	762,37	762,39	762,41	764,04	764,41	764,71
	3	780,85	782,19	782,33	782,48	782,56	782,68	782,73	782,84	782,95	783,02	784,78	785,06	785,33
Moyenne		<b>780,70</b>	<b>781,78</b>	<b>782,00</b>	<b>782,11</b>	<b>782,22</b>	<b>782,29</b>	<b>782,34</b>	<b>782,46</b>	<b>782,52</b>	<b>782,59</b>	<b>784,13</b>	<b>784,44</b>	<b>784,70</b>
Ct			<b>0,022</b>	<b>0,027</b>	<b>0,029</b>	<b>0,031</b>	<b>0,032</b>	<b>0,033</b>	<b>0,036</b>	<b>0,037</b>	<b>0,039</b>	<b>0,070</b>	<b>0,076</b>	<b>0,082</b>
BR 10% FM	1	793,23	794,35	794,65	794,70	794,80	794,91	795,01	795,15	795,28	795,35	797,44	797,60	798,02
	2	792,82	794,36	794,78	794,94	795,11	795,28	795,36	795,44	795,68	795,75	798,94	799,94	800,68
	3	772,65	774,10	774,34	774,55	774,61	774,78	774,82	774,88	775,01	775,14	776,88	777,16	777,35
Moyenne		<b>786,23</b>	<b>787,60</b>	<b>787,92</b>	<b>788,06</b>	<b>788,17</b>	<b>788,32</b>	<b>788,40</b>	<b>788,49</b>	<b>788,66</b>	<b>788,75</b>	<b>791,09</b>	<b>791,57</b>	<b>792,02</b>
Ct			<b>0,028</b>	<b>0,034</b>	<b>0,037</b>	<b>0,040</b>	<b>0,043</b>	<b>0,044</b>	<b>0,046</b>	<b>0,049</b>	<b>0,051</b>	<b>0,099</b>	<b>0,109</b>	<b>0,118</b>
BR 15% FM	1	768,35	769,72	770,13	770,35	770,55	770,82	770,85	770,98	771,02	771,12	774,54	775,65	776,60
	2	799,71	801,00	801,29	801,55	801,62	801,72	801,83	801,97	802,04	802,18	805,96	807,42	808,32
	3	760,14	761,35	761,72	761,88	761,97	762,15	762,29	762,38	762,45	762,65	765,97	766,92	767,68
Moyenne		<b>776,07</b>	<b>777,36</b>	<b>777,71</b>	<b>777,93</b>	<b>778,05</b>	<b>778,23</b>	<b>778,32</b>	<b>778,44</b>	<b>778,50</b>	<b>778,65</b>	<b>782,16</b>	<b>783,33</b>	<b>784,20</b>
Ct			<b>0,026</b>	<b>0,034</b>	<b>0,038</b>	<b>0,040</b>	<b>0,044</b>	<b>0,046</b>	<b>0,049</b>	<b>0,050</b>	<b>0,053</b>	<b>0,124</b>	<b>0,148</b>	<b>0,166</b>
BR 20% FM	1	801,14	802,35	802,66	802,78	802,95	803,05	803,11	803,22	803,26	803,29	805,14	805,34	805,55
	2	817,39	818,47	818,80	818,93	819,13	819,18	819,25	819,34	819,37	819,42	821,00	821,51	821,67
	3	787,76	788,88	789,30	789,39	789,62	789,68	789,75	789,83	789,89	790,03	792,09	792,50	792,91
Moyenne		<b>802,10</b>	<b>803,23</b>	<b>803,59</b>	<b>803,70</b>	<b>803,90</b>	<b>803,97</b>	<b>804,04</b>	<b>804,13</b>	<b>804,17</b>	<b>804,25</b>	<b>806,08</b>	<b>806,45</b>	<b>806,71</b>
Ct			<b>0,023</b>	<b>0,030</b>	<b>0,033</b>	<b>0,037</b>	<b>0,038</b>	<b>0,040</b>	<b>0,041</b>	<b>0,042</b>	<b>0,044</b>	<b>0,081</b>	<b>0,089</b>	<b>0,094</b>

Types de Béton / Nbr de Echantillon		Poids echant, avec Ciré en (g)	0	Absorption capillaire en fonction de temps t (g) à 60 j d'âge											
				10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	1 j	2 j	3 j
BR 0% FM Temoine	<b>1</b>	760,91		762,13	762,32	762,65	762,67	762,77	762,90	762,96	763,00	763,05	766,16	767,35	768,08
	<b>2</b>	737,20		738,54	738,87	739,15	739,24	739,38	739,50	739,77	739,79	739,81	743,60	745,01	745,84
	<b>3</b>	784,10		785,46	785,68	785,83	785,98	786,10	786,21	786,32	786,38	786,41	789,19	790,18	791,00
<b>Moyenne</b>		<b>760,74</b>		<b>762,04</b>	<b>762,29</b>	<b>762,54</b>	<b>762,63</b>	<b>762,75</b>	<b>762,87</b>	<b>763,02</b>	<b>763,06</b>	<b>763,09</b>	<b>766,32</b>	<b>767,51</b>	<b>768,31</b>
<b>Ct</b>			0,00	<b>0,027</b>	<b>0,032</b>	<b>0,037</b>	<b>0,039</b>	<b>0,041</b>	<b>0,044</b>	<b>0,047</b>	<b>0,047</b>	<b>0,048</b>	<b>0,114</b>	<b>0,138</b>	<b>0,154</b>
BR 5% FM	<b>1</b>	768,64		769,74	769,77	770,01	770,24	770,33	770,39	770,46	770,57	770,58	772,47	773,31	773,90
	<b>2</b>	783,00		784,37	784,64	784,66	784,86	785,00	785,16	785,18	785,37	785,45	787,69	788,67	789,12
	<b>3</b>	753,60		754,71	755,00	755,12	755,22	755,33	755,45	755,46	755,56	755,60	757,84	758,98	759,61
<b>Moyenne</b>		<b>768,41</b>		<b>769,61</b>	<b>769,80</b>	<b>769,93</b>	<b>770,11</b>	<b>770,22</b>	<b>770,33</b>	<b>770,37</b>	<b>770,50</b>	<b>770,54</b>	<b>772,67</b>	<b>773,65</b>	<b>774,21</b>
<b>Ct</b>			0,00	<b>0,024</b>	<b>0,028</b>	<b>0,031</b>	<b>0,035</b>	<b>0,037</b>	<b>0,039</b>	<b>0,040</b>	<b>0,043</b>	<b>0,043</b>	<b>0,087</b>	<b>0,107</b>	<b>0,118</b>
BR 10% FM	<b>1</b>	781,76		783,04	783,30	783,51	783,55	783,67	783,69	783,73	783,93	783,96	785,61	786,26	786,50
	<b>2</b>	800,04		801,00	801,25	801,27	801,33	801,45	801,53	801,53	801,56	801,58	802,74	803,24	803,50
	<b>3</b>	779,95		781,01	781,30	781,44	781,43	781,45	781,53	781,54	781,73	781,74	783,01	783,48	783,85
<b>Moyenne</b>		<b>787,25</b>		<b>788,35</b>	<b>788,62</b>	<b>788,74</b>	<b>788,77</b>	<b>788,86</b>	<b>788,92</b>	<b>788,93</b>	<b>789,07</b>	<b>789,09</b>	<b>790,45</b>	<b>790,99</b>	<b>791,28</b>
<b>Ct</b>			0,00	<b>0,022</b>	<b>0,028</b>	<b>0,030</b>	<b>0,031</b>	<b>0,033</b>	<b>0,034</b>	<b>0,034</b>	<b>0,037</b>	<b>0,038</b>	<b>0,065</b>	<b>0,076</b>	<b>0,082</b>
BR 15% FM	<b>1</b>	804,40		805,56	805,68	806,00	806,10	806,23	806,35	806,40	806,48	806,63	809,20	810,35	810,97
	<b>2</b>	781,27		782,73	782,93	783,23	783,25	783,33	783,45	783,52	783,66	783,70	786,09	787,19	787,78
	<b>3</b>	800,85		802,75	803,11	803,52	803,65	803,73	803,98	804,12	804,34	804,35	807,61	809,12	809,88
<b>Moyenne</b>		<b>795,51</b>		<b>797,01</b>	<b>797,24</b>	<b>797,58</b>	<b>797,67</b>	<b>797,76</b>	<b>797,93</b>	<b>798,01</b>	<b>798,16</b>	<b>798,23</b>	<b>800,97</b>	<b>802,22</b>	<b>802,88</b>
<b>Ct</b>			0,00	<b>0,031</b>	<b>0,035</b>	<b>0,042</b>	<b>0,044</b>	<b>0,046</b>	<b>0,049</b>	<b>0,051</b>	<b>0,054</b>	<b>0,056</b>	<b>0,111</b>	<b>0,137</b>	<b>0,150</b>
BR 20% FM	<b>1</b>	773,30		774,65	774,95	775,09	775,13	775,34	775,47	775,50	775,55	775,70	777,97	779,09	779,71
	<b>2</b>	750,08		751,60	751,86	752,13	752,24	752,40	752,42	752,54	752,64	752,77	755,07	756,03	756,48
	<b>3</b>	775,48		777,16	777,44	777,70	777,81	777,92	778,09	778,14	778,20	778,35	781,14	782,34	782,92
<b>Moyenne</b>		<b>766,29</b>		<b>767,80</b>	<b>768,08</b>	<b>768,31</b>	<b>768,39</b>	<b>768,55</b>	<b>768,66</b>	<b>768,73</b>	<b>768,80</b>	<b>768,94</b>	<b>771,39</b>	<b>772,49</b>	<b>773,04</b>
<b>Ct</b>			0,00	<b>0,031</b>	<b>0,037</b>	<b>0,041</b>	<b>0,043</b>	<b>0,046</b>	<b>0,048</b>	<b>0,050</b>	<b>0,051</b>	<b>0,054</b>	<b>0,104</b>	<b>0,127</b>	<b>0,138</b>



**Calcul de la Porosité (% de vides) et l'absorption d'eau par immersion Ab(%)**  
**Laboratoire de Mahmoudi El-Oued**

La masse		M <sub>sec</sub> après 105 C étuvage	M <sub>air</sub> après 5h à l'aire	M <sub>eau</sub> pesée hydrostatique	M <sub>eauS</sub> sature	Porosité (% de vides) Vp	Ab(%)= (M <sub>eauS</sub> - M <sub>sec</sub> /M <sub>sec</sub> )*100
Type de béton et N <sub>bre</sub> essais							
BR0 Témoin	<b>1</b>	2271,55	2356,60	1575,70	2439,30	10,89	7,38
	<b>2</b>	2249,55	2327,36	1577,70	2397,10	10,38	6,56
	<b>3</b>	2245,75	2333,28	1561,20	2398,50	11,34	6,80
<b>Moyenne</b>		<b>2255,62</b>	<b>2339,08</b>	<b>1571,53</b>	<b>2411,63</b>	<b>10,87</b>	<b>6,92</b>
BR5 % fm	<b>1</b>	2265,50	2343,45	1561,30	2426,65	9,97	7,11
	<b>2</b>	2275,55	2359,88	1552,10	2409,95	10,44	5,91
	<b>3</b>	2309,50	2375,39	1560,60	2427,65	8,09	5,12
<b>Moyenne</b>		<b>2283,52</b>	<b>2359,57</b>	<b>1558,00</b>	<b>2421,42</b>	<b>9,50</b>	<b>6,05</b>
BR10 % fm	<b>1</b>	2300,00	2377,85	1581,70	2398,95	9,78	4,30
	<b>2</b>	2209,40	2278,52	1520,10	2394,05	9,11	8,36
	<b>3</b>	2292,00	2357,17	1563,30	2399,95	8,21	4,71
<b>Moyenne</b>		<b>2267,13</b>	<b>2337,85</b>	<b>1555,03</b>	<b>2397,65</b>	<b>9,03</b>	<b>5,79</b>
BR15 % fm	<b>1</b>	2270,80	2353,65	1473,20	2395,27	9,41	5,48
	<b>2</b>	2294,85	2356,25	1487,70	2436,50	7,07	6,17
	<b>3</b>	2270,75	2353,66	1463,20	2387,97	9,31	5,16
<b>Moyenne</b>		<b>2278,80</b>	<b>2354,52</b>	<b>1474,70</b>	<b>2406,58</b>	<b>8,60</b>	<b>5,61</b>
BR20 % fm	<b>1</b>	2280,55	2375,74	1447,20	2389,83	10,25	4,79
	<b>2</b>	2300,45	2366,21	1451,80	2432,86	7,19	5,76
	<b>3</b>	2268,40	2333,26	1432,50	2399,83	7,20	5,79
<b>Moyenne</b>		<b>2283,13</b>	<b>2358,40</b>	<b>1443,83</b>	<b>2407,51</b>	<b>8,21</b>	<b>5,45</b>