

# République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret



Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Génie de la Construction

Présenté par :

**Abdesselem Larbi**

*Sujet du mémoire*

## VALORISATION DES GRANULATS RECYCLES DE BETON DANS LE CONTEXTE LOCAL

*Soutenu publiquement le 01 juin 2017 devant le jury composé de :*

M <sup>r</sup> BOUDERBA Bachir	MC A	Président
M <sup>r</sup> AIT AMAR MEZIANE Mohamed	MC A	Encadreur
M <sup>r</sup> KHILOUN Mokhtar	MA A	Examineur
M <sup>me</sup> KHAROUBI Lamya	MA A	Examineur
M <sup>me</sup> AIT YAHIA Siham	MC B	Examineur

Promotion 2016/2017

# *Dédicaces*

*A Mes chers parents ;*

*A mon épouse et ma fille :*

*Malak miral,*

*A mes Frères et Sœurs ;*

*A Tous, Je Dédie ce Mémoire.*

# ***REMERCIEMENTS***

**Mes sincères remerciements s'adressent :**

A mon encadreur **Mr Ait Amar Meziane Mohamed**  
pour son attention, générosité scientifique et compréhension.

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

**A tout le personnel de :**

Laboratoire des Travaux Publics de L'Ouest Tiaret.

Je tiens à adresser mes remerciements aux différentes  
personnes qui ont contribué à la réussite de ce projet de près  
ou de loin. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma gratitude.

Je tiens enfin à remercier ma famille pour m'avoir toujours  
soutenu et encouragé

**Merci à tous**

## المخلص

ان ضرورة مراعاة الاحتياجات العالمية في ميدان تكنولوجيا صناعة الخرسانة تدعم الحفاظ على الموارد الطبيعية وحماية البيئة واستخدام عقلائي للطاقة.

ان رسكلة نفايات الإنجاز وهدم البنايات جلبت اهتمام متزايد في مجال البناء، كونها مصدر الحصى ولإنتاج الخرسانة. وفي هذا الإطار، يدخل هذا العمل ضمن اعطاء الحلول لسد النقص ونفاذ الحصى لصناعة الخرسانة، كما له هدف في تقييم المواد الخاملة لبقايا هدم البنايات وخاصة التي تدخل كمصدر جديد في انتاج الخرسانة المائية.

الهدف الرئيسي المرجو من هذه الدراسة وهي اثبات الاستعمال الجزئي او الكلي للحصى (نفايات الخرسانة واللبنات الناتجة من الهدم) كتعويض للحصى الطبيعي في انتاج الخرسانة المائية.

تشتمل هذه الدراسة على نسب التعويض الحصى الطبيعي (0, 30, 50, 70, 100%) لكل نوع من الحصى المرسل ثم الاثنين معا.

تحتوي هذه الدراسة على مقارنة خاصيات خرسانة المرجع التي تم ادماج الحصى المرسل في الحالات اللينة والصلبة مع الخرسانة الطبيعية الشاهدة (100% حصى طبيعي)

المقاومة الميكانيكية للانضغاط بدلالة الزمن للخرسانة بالحصى المرسل بمختلف الخلطات ودون إضافات (Superplastifiant)، مقبولة عموما مقارنة مع الخرسانة الطبيعية ومنه يمكن صناعة الخرسانة من الحصى المرسل ذات المقاومة الانضغاط في 28 يوم في حدود 20-30 ميقا باسكال. ادماج (Superplastifiant) لم يعطي النتائج المرجوة لا من حيث كمية الماء المضافة ولا من حيث تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة المرسل بعكس الخرسانة الطبيعية.

### كلمات المفتاح:

حصى، الرسكلة، الهدم الحصى الطبيعي، نسب التعويض، امتصاص الماء، المقاومة الميكانيكية للانضغاط، الخصائص الفيزيو- ميكانيكية، الديمومة.

## RESUME

Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Le recyclage des déchets de construction et de démolition en tant que source de granulats pour la production de béton, a attiré des intérêts croissants de l'industrie du bâtiment.

Dans ce contexte, ce travail s'inscrit dans l'optique d'apporter des réponses aux soucis de manque en granulats pour béton. Il a pour objectif aussi la valorisation de la fraction inerte des matériaux de démolition et principalement les bétons comme source de granulats pour la fabrication de nouveaux bétons hydrauliques.

Le but principal de cette étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser partiellement ou totalement les granulats (déchets de béton et brique de démolition) comme substitution des granulats naturels dans la fabrication du béton hydraulique.

L'étude expérimentale a porté sur les taux de substitution (0, 30, 50, 70, 100%) pour chaque type de granulats recyclés ainsi qu'une combinaison des deux types à proportions égales.

Les caractéristiques des agrégats recyclés ainsi que celles du béton frais et durci à base de ces matériaux ont été analysées et comparées avec celles d'un béton témoin (100% granulats naturels).

Les résistances mécaniques, à la compression en fonction du temps, des bétons sans adjuvants à base des granulats recyclés, avec différentes combinaisons granulaires, sont acceptables par rapport à celles des bétons naturels. Ces performances mécaniques mettent en évidence, que les granulats recyclés peuvent fournir des bétons de résistance caractéristique à 28 jours en compression dans les limites de 20 à 30 MPa sans aucune technologie adaptée. L'incorporation d'un superplastifiant SP 40, n'a pas donné d'amélioration escomptée que ce soit en gain sur le dosage en eau ou l'amélioration des performances mécaniques des bétons recyclés, contrairement aux bétons naturels.

### ***MOTS CLES :***

Agrégats recyclés, démolition, agrégats naturels, taux de substitution, résistance à la compression, caractéristiques physico-mécaniques, durabilité.

## ABSTRACT

The universal need to conserve resources, protect the environment and well using the energy must necessarily be felt in the field of concrete technology. Recycling of construction waste and demolition as a source of aggregates for concrete production, has attracted growing interest in the building industry.

In this context, this work is conducted in order to answer the concerns of lack aggregates for concrete. Its objective is also the recovery of the fraction of inert demolition materials and mainly as a source of concrete aggregates for the construction of new hydraulic concrete.

The main purpose of this study is to demonstrate the technical feasibility of using part or all of the aggregates (waste concrete and brick demolition) as substitutes for natural aggregates in the manufacture of hydraulic concrete.

The experimental study focused on the rate of substitution (0, 30, 50, 70, 100%) for each type of recycled aggregate and a combination of both types in equal proportions.

The characteristics of recycled aggregates as well as those of fresh and hardened concrete based on these materials were analyzed and compared with those of a concrete indicator (100% natural aggregates).

The strength, compressive and tensile splitting as a function of time, without concrete admixtures based aggregates recycled with different combinations granular, are acceptable compared to those of natural concrete. The mechanical performances highlight that the recycled aggregate concrete can provide resistance to 28 days under compression within 20 to 30 MPa without any adapted technology. The incorporation of superplasticizers SP 40, gave no expected improvement in both gain in water dosage or the improvement of mechanical performance of recycled concrete, unlike the natural concrete

### **KEYWORDS:**

Recycled aggregates, demolition, aggregate natural rate of substitution, compression strength, physical and mechanical durability.

Sigle	DENOMINATION
RILEM	: Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages
AFNOR	: Association Française de Normalisation
CEN	: Comité Européen de Normalisation
EN	: Norme Européenne définitive
ENV	: Prénorme européenne
NF	: Norme Française
NF P	: Norme Française applicable au bâtiment et génie civil
D ou D <sub>max</sub>	: Dimension maximale du plus gros granulaire de béton
d	: Dimension de plus petit grain d'un mélange granulaire
Mf	: Module de finesse des sables
A	: Coefficient d'Aplatissement
P %	: Porosité
W%	: Teneur en eau
Ab %	: Taux d'absorption d'eau
ES	: Equivalent de sable
VB	: Valeur du Bleu au Méthylène
P	: La propreté des gros granulats
NR	: Non Réactif
PR	: Potentiellement Réactifs
PRP	: Potentiellement Réactifs à effet de Pessimum
G	: Coefficient de Gélivité des granulats
LA	: Coefficient Los Angeles
FD	: Fragmentation Dynamique
M <sub>DE</sub>	: Coefficient Micro-Deval
RAC	: Béton de granulats recyclés
NAC	: Béton de granulats naturels
M <sub>Vapp</sub>	: Masse volumique apparente
M <sub>Vabs</sub>	: Masse volumique absolue
Aff	: Affaissement au cône d'Abrams
R <sub>cj</sub>	: Résistance à la compression de béton à (j) jours
BN	: Béton naturel
BC	: Béton concassé
BR	: Béton de brique concassé
SN	: Sable naturel
GN	: Gravier naturel
GBC	: Gravier recyclé de béton de ciment
GBR	: Gravier des déchets de brique rouge

## **Table des matières**

RESUME : .....	.....
LISTE DES SYMBOLES : .....	.....
TABLE DES MATIERES : .....	.....
LISTE DES FORMULES FIGURES ET TABLEAUX .....	.....
INTRODUCTION GENERALE : .....	1
<b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
I.1/ GENERALITES SUR LES GRANULATS UTILISES DANS LE BETON : .....	4
I.1.1/ Introduction : .....	4
I.1.2/ Définition : .....	4
I.1.3/ Les Différents Types de Granulats : .....	4
I.1.3.1/ Les Granulats Recyclés : .....	4
I.1.3.2/ Les Granulats Artificiels : .....	7
I.1.3.3/ Les Granulats Naturels : .....	11
I.1.4/ Caractéristiques des granulats : .....	14
I.1.4.1/Analyse Granulométrique : .....	15
I.1.4.2/Les Caractéristiques Géométriques des Granulats : .....	17
I.1.4.3/Caractéristiques Physiques : .....	18
I.1.4.4/Caractéristiques Chimiques : .....	23
I.1.4.5/Caractéristiques Mécaniques : .....	24
I.2/ LES PROPRIETES ESSENTIELLES DES BETONS (CONVENTIONNELS ET RECYCLES) : .....	25
I.2.1/ Les propriétés rhéologiques : .....	25
- Influence des Granulats sur la Maniabilité : .....	25
I.2.2/ Les propriétés mécaniques : .....	26
- Résistance à la Compression : .....	26
- Influence de la Quantité de Liant sur la Résistance : .....	26
- Influence des Granulats sur le Rapport E/C : .....	26
I.2.3/ Durabilité : .....	27
- La carbonatation : .....	27
- Alkali réaction : .....	28
- Le gel-dégel : .....	28

I.3/ CONCLUSION :	30
<b>CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET FORMULATION DES BETONS</b>	
II.1/ INTRODUCTION :	31
II.2/LES MODES OPERATOIRES DES ESSAIS :	31
II.2.1/Le ciment :	31
II.2.2/Les granulats :	33
II.2.2.1/La préparation des granulats :	33
II.2.2.2/ Echantillonnage :	34
II.2.2.3/ Essais sur granulats :	34
II.2.3/ Le béton frais :	39
II.2.4/Le béton durci :	40
II.3/CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES :	40
II.3.1/ L'eau :	40
II.3.2/Le ciment :	40
II.3.3/Les granulats :	42
II.3.3.1/Analyse granulométrique par tamisage :	42
II.3.3.2/Caractéristiques mécaniques :	46
II.3.3.3/Caractéristiques physiques :	48
II.3.4/ Les adjuvants :	52
II.4/FORMULATION ET MISE EN ŒUVRE DES BETONS :	52
II.4.1/Méthode de formulation de béton :	52
II.4.2/Formulation et préparation des bétons :	53
II.4.3/Confection et cure des éprouvettes :	53
II.4.4/Composition des bétons :	54
II.5/CONCLUSION :	55
<b>CHAPITRE III : COMPORTEMENT REHOLOGIQUE ET MECANIQUE DE BETON SANS ADJUVANT</b>	
III.1/COMPOSITION ET FORMULATION DES BETONS :	57
III.1.1/Consistance des bétons frais :	58
III.2/RESISTANCE A LA COMPRESSION DES BETONS :	61
III.3/RESISTANCE A LA COMPRESSION DES BETONS EN FONCTION DU TEMPS	63
III.3.1/Développement de la résistance au cours du temps :	63

III.4/ CONCLUSION :	67
<b>CHAPITRE IV : COMPORTEMENT REHOLOGIQUE ET MECANIQUE DE BETON AVEC ADJUVANT</b>	
IV.1/COMPOSITION ET FORMULATION DES BETONS :	68
IV.2/EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS FRAIS :	69
IV.2.1/Dosage en eau et en superplastifiant :	69
IV.3/EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS DURCIS :	71
IV.3.1/Résistance à la compression :	71
IV.3.2/Comparaison entre les résultats des bétons sans adjuvant et avec adjuvant :	73
IV.4/CONCLUSION :	75
CONCLUSION GENERALE :	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	79
ANNEXES :	85

**LISTE DES FORMULES**

<b>N° :de la Formule</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I</b>		
Formule I.1	: Gélivité des granulats (G)	24
<b>Chapitre II</b>		
Formule II.1	: La masse volumique apparente du ciment ( $M_{V_{app}}$ )	32
Formule II.2	: La masse volumique absolue du ciment ( $M_{V_{abs}}$ )	32
Formule II.3	: La porosité	33
Formule II.4	: Le module de finesse (MF)	35
Formule II.5	: Le coefficient d'aplatissement (A)	35
Formule II.6	: Essai Los-Angeles ( $L_A$ )	36
Formule II.7	: Essai Micro-Deval ( $M_{DE}$ )	36
Formule II.8	: Masse volumique apparente ( $M_{V_{app}}$ )	36
Formule II.9	: Masse volumique absolue ( $M_{V_{abs}}$ )	37
Formule II.10	: Teneur en eau (W %)	37
Formule II.11	: Taux d'absorption d'eau ( $Ab$ %)	37
Formule II.12	: La propreté des gros granulats (P)	38
Formule II.13	: La propreté des sables (ES)	38
Formule II.14	: La propreté des sables (VB)	39
Formule II.15	: Mesure de la densité réelle du béton frais	39
Formule II.16	: Résistance à la compression (RC)	40

**LISTE DES FIGURES**

<b>N° :de Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure 1	: Photos de décharge sauvage de gravats dans la région de Rahouia	1
<b>CHAPITRE I</b>		
Figure I.1	: Granulats de Débris de Béton	5
Figure I.2	: Granulats de Débris de Maçonneries	5
Figure I.3	: Granulats des Débris Hydrocarbonés	6
Figure I.4	: Granulats des Débris Mixtes	6
Figure I.5	: Laitiers ou scories	8
Figure I.6	: Produits Elaborés	9
Figure I.7	: Pierre Calcaire	11
Figure I.8	: Roches Dures	12
Figure I.9	: Granulats Alluvionnaires & Marins	12
Figure I.10	: Exemples de courbes granulaires des granulats pour béton	16
Figure I.11	: Forme d'un granulat	17
Figure I.12	: Relation entre l'absorption d'eau et densité des granulats recyclés	20
Figure I.13	: Essai d'équivalent de sable	21
Figure I.14	: Essai au bleu de méthylène	22
<b>CHAPITRE II</b>		
Figure II.1	: Le cône d'Abrams	39
Figure II.2	: Courbe granulométrique du sable	43
Figure II.3	: Courbe granulométrique du Gros granulat naturel	44
Figure II.4	: Courbe granulométrique du Gros granulat recyclé de béton concassé	45
Figure II.5	: Courbe granulométrique du Gros granulat recyclé de concassage des déchets de briques rouges	46
Figure II.6	: Essais Micro-Deval sur les granulats naturels et recyclés	47
Figure II.7	: Essais Los-Angeles sur les granulats naturels et recyclés	48
Figure II.8	: Masses volumiques apparentes et absolues des différents types de granulats.	49
Figure II.9	: Teneur et absorption d'eau des différents types de granulats	50
Figure II.10	: Composition des granulats recyclés	50
Figure II.11	: Forme de granulat recyclé	50
<b>CHAPITRE III</b>		
Figure III.1	: Rapport E/C des bétons partiellement composé des granulats de béton pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup> .	59
Figure III.2	: Rapport E/C des bétons partiellement composé des granulats de brique pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup>	59
Figure III.3	: Rapport E/C des bétons partiellement composés en granulats combinés de béton et de briques concassés pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup>	60

N° :de Figure	Titre	Page
Figure	III.4 : Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats de béton de démolition pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup>	61
Figure	III.5 : Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats de brique concassé pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup> .	62
Figure	III.6 : Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction des pourcentages de substitution en granulats combinés de béton et de briques concassés pour des dosages de ciment respectifs 300, 350,400 kg/m <sup>3</sup> .	63
Figure	III.7 : Développement de la résistance des bétons à base des agrégats de béton de démolition en fonction du temps	64
Figure	III.8 : Développement de la résistance des bétons à base des agrégats de brique en fonction du temps.	65
Figure	III.9 : Développement de la résistance des bétons à base des agrégats combinés en fonction du temps	65
<b>CHAPITRE IV</b>		
Figure	IV.1 : Comparaison des dosages en eau de bétons avec et sans adjuvants	70
Figure	IV.2 : Comparaison des consistances de bétons avec et sans adjuvants des différents dosages	71
Figure	IV.3 : Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants à 28 jours avec un dosage de 350 kg/m <sup>3</sup>	72
Figure	IV.4 : Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants dosage 0.6 %	73
Figure	IV.5 : Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants dosage 1 %	73
Figure	IV.6 : Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants dosage 2 %	74

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>N° : du Tableau.</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>CHAPITRE I</b>		
Tableau I.1	: Synthèse les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché	14
Tableau I.2	: Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable	17
Tableau I.3	: Limitation de contaminants dans les granulats recyclés	23
<b>CHAPITRE II</b>		
Tableau II.1	: Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé	41
Tableau II.2	: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé pour la confection de béton	41
Tableau II.3	: Granulométrie du sable	42
Tableau II.4	: Granulométrie du Gros granulat naturel	43
Tableau II.5	: Granulométrie du Gros granulat recyclé de béton concassé	44
Tableau II.6	: Granulométrie du gros granulat recyclé de concassage des déchets de briques rouges	45
Tableau II.7	: Caractéristiques mécaniques MDE des granulats naturels et recyclés	46
Tableau II.8	: Caractéristiques mécaniques LA des granulats naturels et recyclés	47
Tableau II.9	: Les caractéristiques physiques des granulats utilisés	51
Tableau II.10	: Les principales caractéristiques physicochimiques de l'adjuvant	52
<b>CHAPITRE III</b>		
Tableau III.1	: Désignation des mélanges de béton avec les taux de remplacement	57
Tableau III.2	: Compositions des différents bétons dosage 300 kg/m <sup>3</sup>	58
Tableau III.3	: Compositions des différents bétons dosage 350 kg/m <sup>3</sup>	58
Tableau III.4	: Compositions des différents bétons dosage 400 kg/m <sup>3</sup>	58
<b>CHAPITRE IV</b>		
Tableau IV.1	: Composition de béton avec adjuvant formulé à 0.6%	68
Tableau IV.2	: Composition de béton avec adjuvant formulé à 1%	68
Tableau IV.3	: Composition de béton avec adjuvant formulé à 2%	69

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

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

La poussée écologique imposa de tenir compte de l'environnement soit en évitant des empruntes de matériaux naturels, soit en éliminant des sous-produits et déchets dont les dépôts souvent disgracieux peuvent conduire à certaines pollutions du milieu naturel ce qui nécessitera la mobilisation de capitaux très importants.

Les chantiers de déconstruction génèrent une grande diversité de déchets et leurs éliminations sont souvent onéreuses. Les déchets inertes sans pollution de l'environnement, et sans influence sur la santé humaine constituent une pollution visuelle. Ils sont admis en installation de stockage de classe 3 [1] selon la directive européenne relative aux déchets inertes.

L'épuisement de sources naturelles disponibles des granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent le recyclage des déchets de chantier.

Le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà bien engagé dans le secteur des travaux publics mais moins dans les travaux de génie civil, semble être une solution idéale, la plus prometteuse pour les problèmes de déchets. Il a connu une grande évolution dans les pays développés, répond aux soucis de manque de granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers et de promouvoir le respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages de gravats et la figure suivante est bien édifiante.



**Figure 1** : Photos de décharge sauvage de gravats dans la région de Rahouia.

Actuellement, la valorisation de déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation à travers le monde et connaît un développement assez important et le taux de recyclage des débris de construction/démolition a atteint dans certains pays les 80 %.

En Algérie, l'interdiction d'extraction des matériaux alluvionnaires à partir du 04 juillet 2007 ( Loi N: 05/12 du 04/08/2005) [2], l'épuisement de certains gisements naturels de granulats et les difficultés pour mettre en place de nouvelles carrières (la protection de l'environnement, la préservation des paysages) imposent de rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement en granulats pour béton afin de répondre aux besoins des grands chantiers lancés par le gouvernement Algérien (Autoroute Est-Ouest, la réalisation de un (01) million de logements et d'autres infrastructures.....).

Comme le béton constitue presque 75%, en poids, des constructions. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton.

Les granulats issus de recyclage des produits de démolition s'inscrivent dans le cadre des matériaux locaux de substitution, ils sont utilisés actuellement dans la plupart des pays Européens dans le domaine routier, et leur valorisation dans le béton hydraulique est freinée par le fait qu'ils sont considérés comme granulats hors normes. Leur hétérogénéité et leur fort pouvoir d'absorption d'eau menant à des difficultés de control des propriétés du béton frais et par conséquent, influençant la résistance et on les suspecte ainsi d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons.

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

Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif principal de contribuer à la valorisation de la fraction inerte des matériaux de démolition et principalement les bétons 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 en substitution des granulats naturels.

L'objectif de cette étude expérimentale est de valoriser les granulats issus des bétons de démolition pour la fabrication d'un béton hydraulique. Des tests de caractérisations physiques et mécaniques sur les granulats recyclés (graviers) comme granulats de substitution, ont été effectués pour la mise en conformité avec les normes en vigueur. Plusieurs taux de substitutions entre types de granulats (naturels-recyclés) ont été testées. L'influence de ces granulats recyclés sur les propriétés du béton frais et durci a été aussi étudiée.

### **Ce manuscrit comporte quatre chapitres :**

Après une introduction générale sur la problématique, sur l'insuffisance des granulats naturels face aux besoins de fonctionnement des chantiers de grands projets lancés en Algérie et l'impact de la décharge des déchets de démolition sur l'environnement et sur l'économie

Une revue bibliographique sur ces derniers et sur les propriétés des bétons frais et durci est présentée dans le premier chapitre.

- La première partie présente un ensemble de généralités sur les granulats utilisés dans le béton, un rappel sur les différents types de granulats, un aperçu général sur les méthodes et les moyens nécessaires à l'élaboration des granulats recyclés et enfin l'ensemble des caractéristiques des granulats (intrinsèques).
- La deuxième partie traite les propriétés physiques et mécaniques essentielles des bétons conventionnels en général et ceux recyclés en particulier.
- Dans le second chapitre, on a exposé les modes opératoires des essais sur les matériaux employés dans cette étude, ainsi que les différentes méthodes expérimentales, selon les normes en vigueur, nécessaire pour la caractérisation physique et mécanique de ces matériaux. La dernière partie de ce chapitre présente la méthode et les conditions de formulation des bétons.
- Le troisième chapitre est entièrement axé sur l'étude du béton à base de granulats recyclés avec différents taux de substitutions avec ceux naturels. La caractérisation des bétons frais, la consistance, le dosage en eau et la caractérisation mécanique du béton durcis en compression.
- Le quatrième chapitre est porté sur l'étude des mêmes bétons du chapitre précédent en incorporant un superplastifiant dans la perspective d'amélioration du comportement rhéologique et une comparaison de ces bétons avec ceux non adjuvés.
- Enfin une conclusion générale relative à ces travaux.

**CHAPITRE I :**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE :****I.1/ GENERALITES SUR LES GRANULATS UTILISES DANS LE BETON :****I.1.1/ Introduction :**

Les ‘débris’ : sont définis comme la fraction pierreuse et sableuse des déchets provenant de la construction, de la rénovation ou de la démolition de bâtiments et d’ouvrages d’art ou de routes ou d’autres Installations. On distingue :

- Débris de béton
- Débris de maçonnerie
- Débris mixtes de béton et de maçonnerie
- Débris d’enrobés hydrocarbonés (bitumineux ou contenant des goudrons)

Les déchets de construction et de démolition se composent pour près de 95% de ces débris. La majeure partie peut être d’autant mieux valorisée qu’elle contient peu d’impuretés et ne doit donc pas être mise en Décharge.

Les ‘débris’ deviennent ‘granulats recyclés’ après tri et concassage [5].

**I.1.2/ Définition : Qu’est-ce qu’un granulats ?**

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme XP P 18-540 [3]. Le granulats est un fragment de roche destiné à la fabrication d’ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production. Leur taille est comprise entre 0 et 125 mm [4].

Les granulats représentent, après l’eau et l’air, la matière première la plus importante utilisée dans un pays.

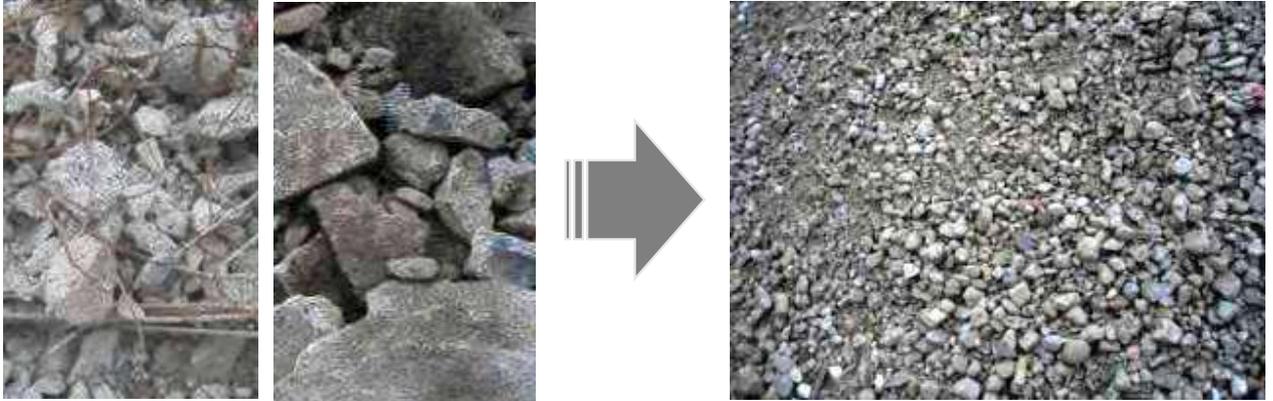
**I.1.3/ Les différents types de granulats :**

Il existe différents types de granulats :

**I.1.3.1/ Granulats recyclés** (issus de bétons recyclés ou de matériaux inertes recyclés). En règle générale, on distingue quatre classes principales de granulats recyclés.

**GRANULATS DE DEBRIS DE BETON**

Proviennent de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures de génie civil (bétons ou béton armé d'acier) [5].



**Figures I.1** : Granulats de Débris de Béton [5].

**GRANULATS DE DEBRIS DE MACONNERIES**

Proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments [5].



**Figures I.2** : Granulats de Débris de Maçonneries [5].

**GRANULATS DE DEBRIS HYDROCARBONES**

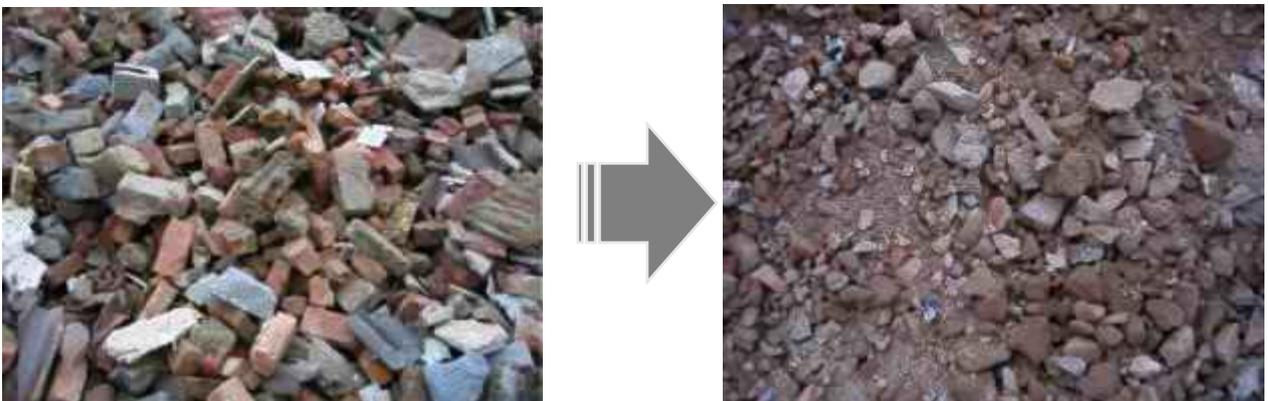
Proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes...), de la démolition de parkings...



**Figures I.3 :** Granulats des Débris Hydrocarbonés [5].

**GRANULATS DE DEBRIS MIXTES**

Proviennent de la construction / rénovation, démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles...)



**Figures I.4 :** Granulats des Débris Mixtes [5].

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

**a) Les déchets de chantier :** Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des

déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé.

**b) Les déchets de démolition :** Les déchets de démolition sont une sous-catégorie des déchets du bâtiment qui regroupent tous les matériaux de déconstruction ou de réhabilitation. Comme le béton constitue presque 75 % en poids de tous les matériaux de construction, il s'en suit donc que les fortes proportions des rebuts de démolition soient du béton

### **I.1.3.2/Granulats artificiels (issus de déchets d'industrie - avec traitement - ex : scories...)**

Les granulats artificiels sont initialement d'origine minérale, ils résultent d'un procédé industriel comprenant en autres des transformations thermiques et sont considérés comme sous-produits.

On identifie deux types principaux de granulats artificiels :

**LAITIERS ou SCORIES**

(Résidus de haut fourneaux ou aciérie / soudage)

Les scories sont communément reprises sous la dénomination 'laitier'. Le laitier est principalement un résidu issu de la fabrication de la fonte en haut fourneau. Il peut également provenir d'aciérie ou de processus de soudage.

Le plus employé est le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

On peut définir deux grandes classes d'utilisation du laitier en construction ou génie civil :

- Liant à potentiel hydraulique partiellement substituable au ciment pour la construction
  
- Granulats (pour enrobage ou en mélange d'autres composants) ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers.



**Figures I.5 :** Laitiers ou scories [5].

**PRODUITS ELABORES**  
(Processus spécifique de fabrication)

**Billes d'argile expansée**

Granulat réalisé à partir du traitement thermique de l'argile. Utilisé pour la réalisation de bétons légers avec augmentation des caractéristiques d'isolation thermique.

**Schiste expansé**

Granulat réalisé à partir du traitement thermique du schiste. Utilisé pour la réalisation de bétons légers avec augmentation des caractéristiques d'isolation thermique



**Figures I.6 :** Produits Elaborés [5].

- **Les Granulats Artificiels :** Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés [5].

**✚ Sous-Produits et Déchets de L'industrie :**

**a) Le Laitier des hauts fourneaux :**

Le laitier de haut fourneau est le principal sous-produit de l'industrie sidérurgique, il est constitué de toutes les parties minérales contenues dans la charge du haut fourneau (minerai et ajouts) qui subsistent après l'extraction du fer [6].

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.

**b) Le laitier cristallisé concassé :**

Il est obtenu par refroidissement lent à l'air libre, en fosse, il a l'aspect et les propriétés d'une roche magmatique. Il peut être plus ou moins poreux, plus le refroidissement est lent et

en couches minces, plus le laitier est cristallisé et compact [7]. Il possède une masse volumique apparente  $>1250 \text{ Kg/cm}^3$ , de composition chimique constituée essentiellement de chaux, magnésie, silice et alumine [8].

**c) Le laitier expansé ou bouleté :**

Le laitier de coulée subit un traitement spécial : une puissante injection d'eau et une action mécanique. Les particules de laitiers sont alors projetées à plusieurs mètres qui subissent une trempe à l'air pendant la durée de leurs trajets [8, 9]. Le laitier expansé à une masse volumique apparente comprise entre  $800$  et  $950 \text{ kg/m}^3$  [6].

**d) Les Scories d'aciérie :**

Ces laitiers sont des sous-produits de la transformation de la fonte hématite en acier. Traité comme les laitiers de haut fourneau, ce matériau est handicapé par une déferrisation insuffisante qui conduit à une masse volumique élevée d'environ  $3300 \text{ kg/m}^3$  [7].

**e) Les Schistes houillers :**

L'industrie minière en général et les houillères en particulier produisent des quantités considérables de matériaux stériles. Ces déchets trouvent des applications importantes dans des terrassements routiers comme granulats [7].

**- Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :**

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires [7].

**- Granulats allégés par expansion ou frittage**

Ces granulats ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé, leurs masses volumiques varient entre  $400$  et  $800 \text{ kg/m}^3$  selon le type et la granularité. Ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique [6].

**- Sous-produits provenant des centrales thermiques :**

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de « mâchefer ». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par

les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Ces particules sont appelées « cendres volantes ». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon [10].

- **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 [10].

- **Scories de sole :**

Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton [10].

### **I.1.3.3/Granulats naturels : (origine minéralogique)**

La majorité des granulats naturels sont issus de l'exploitation de carrières ou de l'extraction en mer ou en rivière [5].

Parmi les granulats naturels, nous identifions majoritairement :

#### **PIERRE CALCAIRE**

Principalement utilisé sous forme de granulats destinés dans la construction des ouvrages de génie civil et de bâtiments, que ce soit dans le béton prêt à l'emploi ou dans le béton préfabriqué. L'industrie utilise de plus en plus le calcaire broyé dans ses processus de



**Figures I.7 :** Pierre Calcaire [5].

**ROCHES DURES**

On retrouve sous cette dénomination : le grès, le quartzite, le porphyre, l'arkose. Ces pierres, initialement destinées à la construction sont à présent majoritairement concassées et utilisées dans tous les produits en béton. Le grès et le porphyre font partie des recouvrements hydrocarbonés des routes ou pistes d'aérodrome ou de ballast de chemin de fer pour leurs propriétés de résistance à l'usure et leur accrochage.



**Figure I.8** : Roches Dures [5].

**GRANULATS****(Alluvionnaires & Marins)**

Les granulats alluvionnaires sont de type siliceux ou siliceux-calcaire. Déposés par la meuse pendant l'ère quaternaire, ils sont à présents exploités depuis de nombreuses années dans le Limbourg et exploités pour la construction. Les granulats marins sont comme leur nom l'indique, extraits des fonds marins par dragage et exploités pour la construction.



**Figure I.9** : Granulats Alluvionnaires & Marins [5].

- **Les granulats naturels :**

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires.

Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- **Eruptives** : Elles proviennent du refroidissement d'un magma préalablement Fondu (granites, basaltes, porphyres)

- **Sédimentaires** : Ce terme désigne toutes les roches formées à la surface de la Terre (surface des continents et fond des océans), par accumulation de sédiments : matériaux et substances issus de l'érosion de toutes les roches affleurant à la surface (calcaires, grès, quartzites)

- **Métamorphiques** : Elles peuvent provenir de n'importe quelle roche préexistante que les événements tectoniques, dans le contexte des surrections montagneuses, enfouissent à des profondeurs où elles subissent les effets de la pression et de la température qui les font "cuire" sans les faire fondre. Cette "cuisson" recombine les éléments chimiques et fait apparaître de nouveaux minéraux. Les grands mouvements de soulèvement, accompagnant la naissance des montagnes, ramènent ces roches vers la surface où elles finissent par affleurer. Les plus connues sont : les schistes, les gneiss, les quartzites, les marbres et les amphibolites [11].

#### **L'érosion fait naître :**

- Des morceaux, des grains (sables, graviers, grès, conglomérats),
- Des particules fines (argiles),
- Des substances dissoutes (calcaire, gypse, roches salines).

Ces roches peuvent être meubles (sables, graviers, argiles...) ou consolidées (grès, calcaire...).

Le rôle des êtres vivants est prédominant dans l'origine des calcaires. Ceux-ci fixent dans leur carapace le calcaire dissous dans l'eau (coquilles, squelettes, enveloppes microscopiques...). À leur mort, le calcaire s'accumule sur le fond.

Des soulèvements de terrains provoquent l'affleurement des roches sédimentaires.

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires.

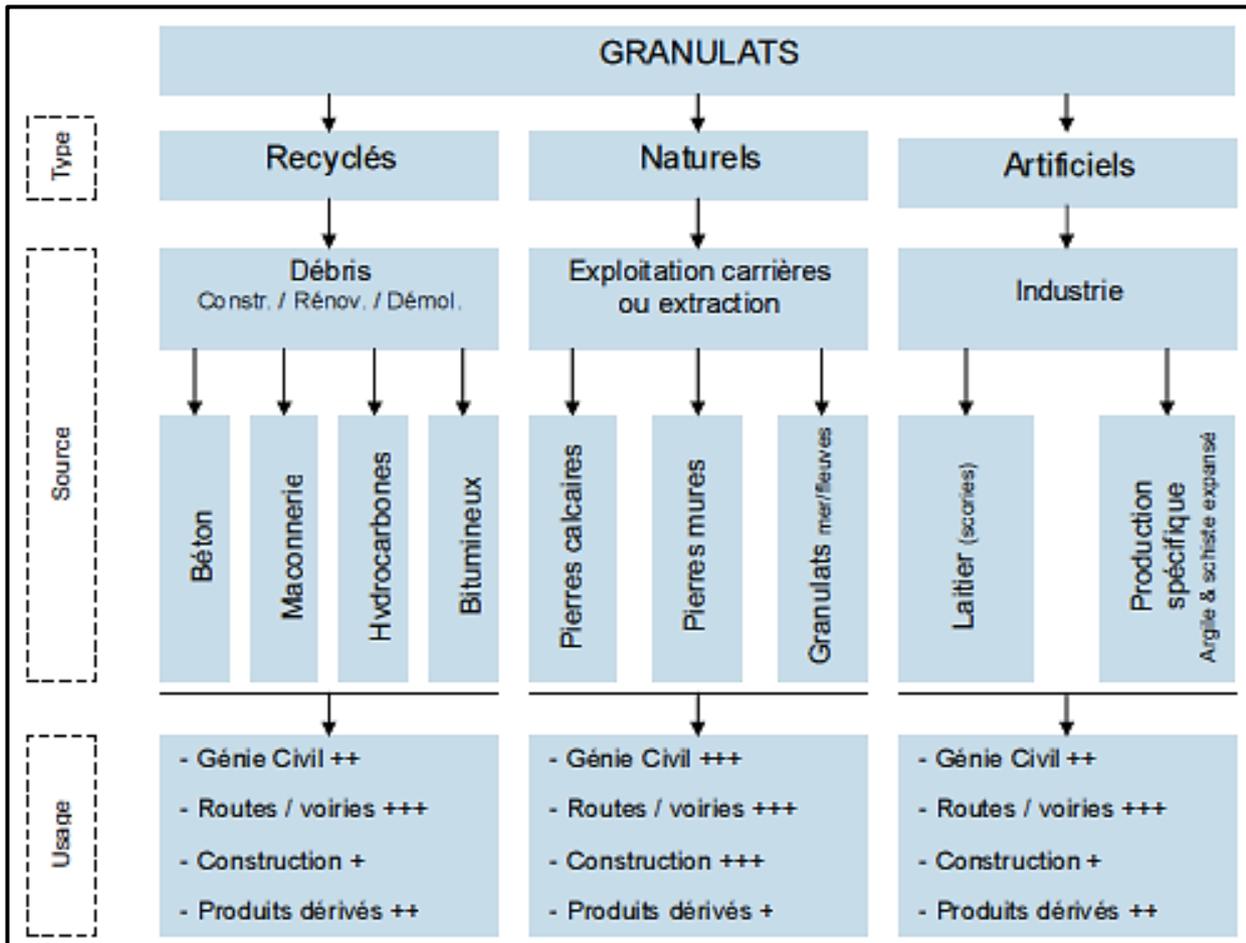
- **Les Granulats Alluvionnaires** : Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement). Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [12].

- **Les Granulats de Carrières** : Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... [6]. Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [13]

**Remarque** : Les granulats 'artificiels' et 'naturels' ne sont pas considérés comme des granulats issus du recyclage. Il s'agit dans le premier cas de sous-produits industriels, et dans le second de produits issus de l'extraction. La fraction de granulats 'naturels'

provenant des ‘déchets’ d’exploitation de carrière (ex : pour l’extraction de pierres de construction ou décoratives) est limitée, les granulats naturels proviennent en effet majoritairement d’une exploitation des carrières pour seul usage de la production de granulats [4].

Le tableau de synthèse ci-après présente, les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie [5].



**Tableau I.1** : Synthèse les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché

#### I.1.4/ Caractéristiques des granulats

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les propriétés des granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originales et aux caractéristiques de fabrication [14].

Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (gros et fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton.

Intérêt des granulats dans le béton :

- **Intérêt économique** : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition).
- **Intérêt technique** : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment) [14].

Le prélèvement d'un échantillon pour la caractérisation doit se faire conformément aux Normes "NF P 18-553 [15] relatives au prélèvement par "échantillonneur" ou par

- Quartage ou fractionnement manuel d'une quantité de matériau. Cette méthode est à utiliser lorsqu'on a des quantités de matériau importantes,
- Au moyen de diviseurs « échantillonneurs », appareils séparant en parties égales une quantité de matériau déterminée au moyen de diviseurs « échantillonneurs », appareils séparant en parties égales une quantité de matériau déterminée [15].

#### **I.1.4.1/Analyse granulométrique :**

**I.1.4.1.1/Analyse granulométrique par tamisage : Normes "EN 933-1 et EN 933-2" [16,17].**

On appelle analyse granulométrique l'opération permettant de déterminer :

- La granulométrie : c'est-à-dire la détermination de la grandeur des grains :
- La granularité : c'est-à-dire la répartition dimensionnelle des grains dans un granulats.
- **L'analyse granulométrique par tamisage** : consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis : les masses des différents refus sont rapportés à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de graphique (courbe d'analyse granulométrique).

On distingue les familles de granulats suivantes :

- Fillers 0/D où  $D < 2$  mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sablons 0/D où  $D \leq 1$  mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sables 0/D où  $1 < D \leq 6,3$  mm ;
- Graves 0/D où  $D > 6,3$  mm ;
- Gravillons d/D où  $d \geq 1$  et  $D \leq 125$  mm ;
- Ballasts d/D où  $d \geq 25$  mm et  $D \leq 50$  mm.

Tous les sables qu'ils soient d'origine unique, ou résultant d'un mélange, doivent satisfaire aux exigences de la présente norme pour pouvoir y faire référence.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- en abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes ;
- en ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total, de la fraction du sol dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant).

Les courbes granulométriques apportent les renseignements suivant :

- Les limites d et D du granulat en question (sable, gravier,) d et D représentent la plus petite et la plus grande des dimensions demandées.
- La proportion d'éléments fins ; sable normal, sable fin ou sable grossier).
- La continuité ou la discontinuité de la granularité ; la discontinuité n'affecte pas la résistance du béton mais affecte l'ouvrabilité du béton [11].

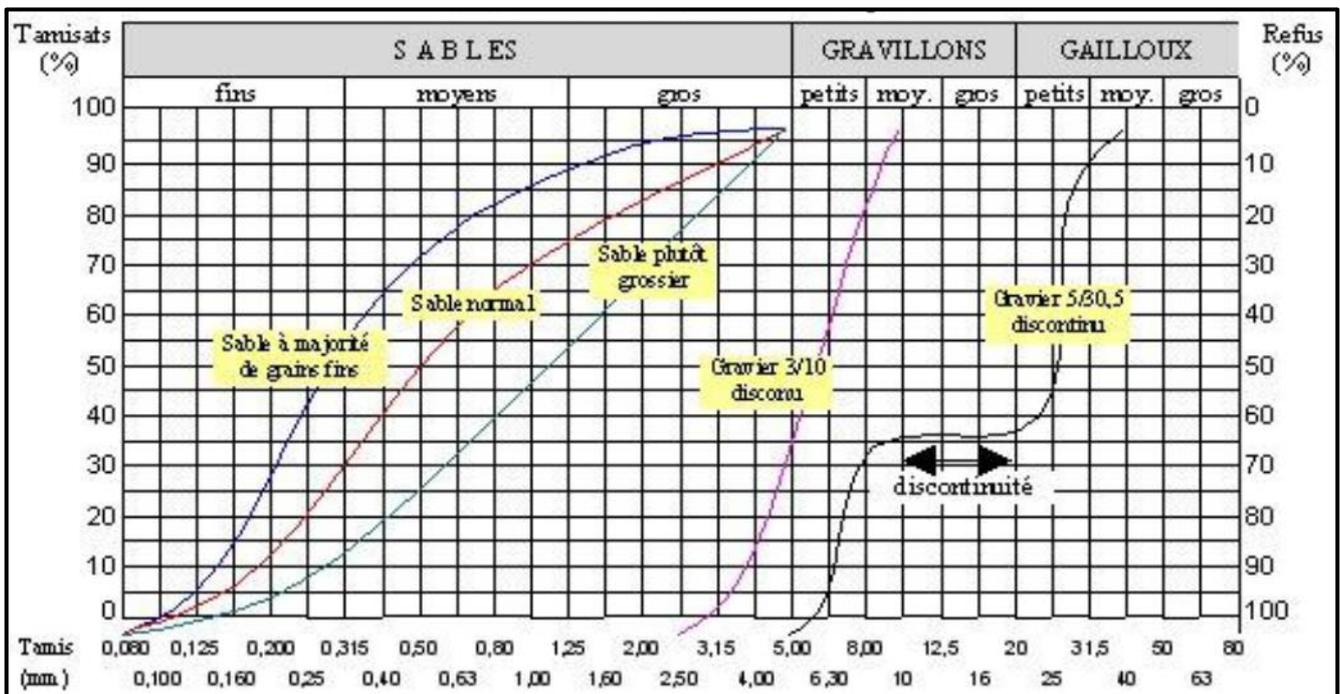


Figure I.10 : Exemples de courbes granulaires des granulats pour béton [11].

### I.1.4.2/ Les caractéristiques géométriques des granulats :

Les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état de surface des grains influent sur l'aptitude à la mise en place du béton frais, la résistance mécanique et durabilité du béton durci.

- **Module de finesse (MF) : NF. P 18-540** [3].

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis.

Il est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage, aux tamis de **0,16 — 0,315 — 0,63 — 1,25 — 2,5 et 5 mm** [3].

<b>01</b>	Tamis : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 et 5 mm. "NF P 18-540" [3].
<b>02</b>	Tamis : 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 mm. "EN 12620" [18].

**Tableau I.2:** Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.

Un bon sable pour béton doit avoir un module finesse d'environ 2,2 et 2,8. Au-dessous, le sable est à majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau, au-dessus, le sable manque de fins et le béton y perd en ouvrabilité

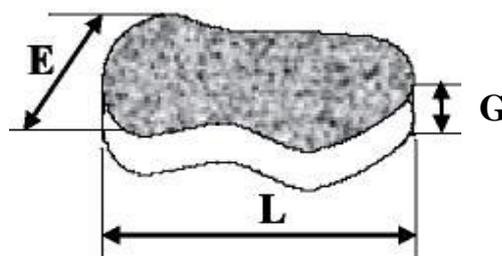
Sable Fin : MF = 1,8    Sable optimal : MF = 2,2 à 2,8    Sable Grossier : MF = 3,2 [16,19].

- **La forme :**

Une bonne forme des granulats est essentielle pour éviter des chutes de résistance des bétons par suite du risque d'apparition de plans de glissements potentiels.

La forme d'un élément granulométrique est définie par ses trois caractéristiques dimensionnelles principales,

L'épaisseur (E), la grosseur (G) et la longueur (L).



**Figure I.11 :** Forme d'un granulat [19].

Pour différents usages, il est conseillé d'utiliser des granulats les plus isotropes possibles. Une forme assez ramassée des granulats est très recommandée pour une utilisation dans le béton [11].

- **Coefficient d'aplatissement des granulats** : selon la Norme NF EN 933-3 [20]. Permet de caractériser la forme des granulats selon leurs origines, leur nature et leur mode d'élaboration, les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état de surface des grains influent :

- Sur l'aptitude à la mise en place du béton frais, sa tenue au démoulage immédiat et à la résistance mécanique du béton durci.
- À la compacité des remblais et couches de forme, à la rugosité des couches de roulement, l'adhérence avec les liants bitumineux.

Un gravillon de forme défavorable (plate ou allongée) présente un coefficient d'aplatissement élevé (20 à 40 %). Un gravillon de forme favorable (sphérique, cubique, nodulaire) présente un coefficient d'aplatissement généralement compris entre 5 et 20 %.

- **Angularité** : L'angularité des granulats est conventionnellement estimée par les valeurs des indices et rapport de concassage. Mais peut être mesurée aussi par le temps d'écoulement d'un certain volume de granulats à travers un orifice donné caractérisant ainsi un coefficient d'écoulement des gravillons. Il en va de même pour les sables, la méthodologie étant la même, seul diffère les dimensions de l'appareillage de mesure [11].

- **La pâte cimentaire attachée aux granulats** : Les granulats recyclés contiennent du mortier et pâte cimentaire, qui sont toujours présents et collés aux granulats. Au Japon, les recherches ont abouti à une méthode, qui consiste à l'enlèvement de mortier à partir de la surface des granulats sans écraser les granulats [21].

Les principaux facteurs qui influent sur la quantité de la pâte cimentaire rattaché aux granulats recyclés sont : le rapport E/C, la résistance du béton source des granulats et la taille des granulats recyclés [21].

**I.1.4.3/Caractéristiques physiques** : On peut les classer en deux groupes [21], celles qui concernent le granulat lui-même, et celles qui concernent la teneur en substances étrangères et nocives.

- **Les masses volumiques :**

Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes : NF P 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6 [22, 23, 24, 25, 26].

- **La masse volumique apparente (en vrac) :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores intergranulaires.

- **La masse volumique absolue :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores).

Il existe 3 façons généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat :

- **Méthode de l'éprouvette graduée,**
- **Méthode de la mesure au pycnomètre :** La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre,
- **Méthode de la pesée hydrostatique :** Cette méthode est également utilisée pour déterminer des volumes apparents après paraffinage du matériau ou par graissage.

Les granulats sont dits :

- **Légers si "  $M_{v_{abs}} < 2 \text{ t/m}^3$  ".**
- **Courants si "  $2 \text{ t/m}^3 < M_{v_{abs}} < 3 \text{ t/m}^3$  ".**
- **Lourds si "  $M_{v_{abs}} > 3 \text{ t/m}^3$  " [19].**

En général, la densité des granulats recyclés est inférieure à celle des granulats naturels, à cause de la faible densité de la pâte cimentaire rattaché aux granulats

- **La porosité (P) :**

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats La mesure de la porosité se fait selon les normes "NF P18 554, EN 1097-3" [22, 25].

La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats. Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface [9].

- **Teneur en eau (W %) :**

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon "NF P18 555" [11].

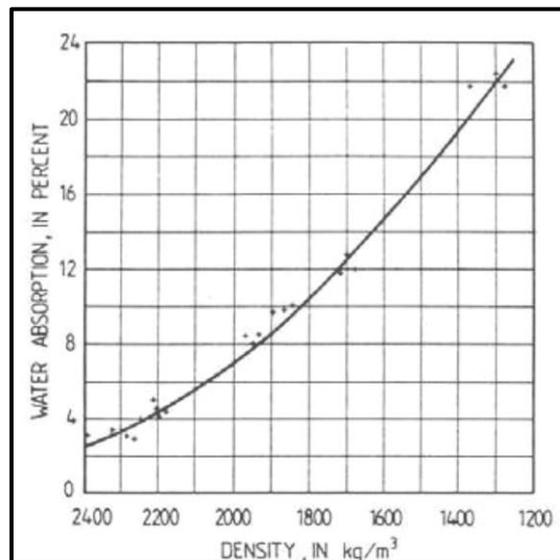
- **Taux d'absorption d'eau (AB %) :**

L'absorption d'eau par définition est le quotient de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique, par sa masse sèche. Elle est déterminée selon les normes standards NF P 18-554, 18-555 [22,23].

Les granulats sont plus ou moins dangereux selon leur degré de saturation en eau au moment où intervient le gel.

La capacité d'absorption d'eau des granulats recyclés dépendra principalement :

- La taille des granulats. Les granulats fins absorbent de l'eau beaucoup plus que les gros granulats [27].
- La qualité et la quantité de la pâte cimentaire rattachée aux granulats [28].
- La densité des granulats (figure I.12) [27].



**Figure I.12 :** Relation entre l'absorption d'eau et densité des granulats recyclés [27].

- **Propreté des granulats :**

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats : matières organiques, les argiles et les matériaux fins (issues du concassage ou du broyage des roches). Leurs présences à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges. De telles impuretés semblent être plus courantes dans les sables que dans les gros granulats, plus facilement lavés [13].

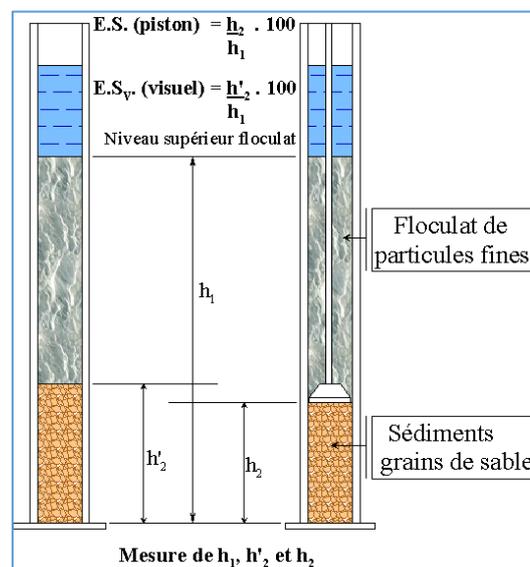
### a) Les sables :

On mesure l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai d'équivalent de sable et l'essai au bleu de méthylène [11].

- **Equivalent de sable "ES"** : L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique multiplié par 100 entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins. Il existe deux types de mesures : l'essai visuel et l'essai au piston [17, 19]. Actuellement, trois textes réglementaires décrivent cet essai :

- d'équivalent de sable (NFP 18-598) [29],
- d'équivalent de sable à 10% de fines (NFP 18-597) [30],
- évaluation des fines - équivalent de sable (EN 933-8) [31].

Les essais d'équivalent de sable permettent la détermination du pourcentage des éléments très fins du sable (aspect quantitatif) sans aucune distinction de nature "argile, limon, vase et matières solubles" (aspect qualitatif), et pour évaluer de façon plus sélective la propreté des sables, de compléter l'essai d'équivalent de sable par l'essai au bleu de méthylène [17,19]



**Figure I.13** : Essai d'équivalent de sable

La valeur de l'équivalent de sable **ES** est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée  $h_2$ , à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée  $h_1$ .

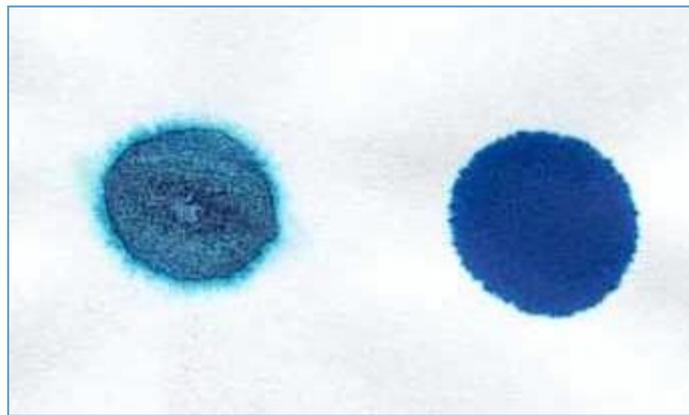
$$ESV \text{ (visuel)} = 100 \cdot (h'_2 / h_1)$$

$$ES \text{ (piston)} = 100 \cdot (h_2 / h_1)$$

- **Essai au bleu de méthylène :**

Le bleu de méthylène se fixe préférentiellement sur les fines argileuses au détriment des fines non argileuses [11]. L'essai au bleu de méthylène est pratiqué selon la norme "NF EN 933-9" [32] sur la fraction granulaire (0/2 mm) des sables courants (**V<sub>B</sub>**) ou sur les fillers (0/0,125 mm) contenus dans un sable fillerisé, un gravillon ou un tout venant (**V<sub>BF</sub>**) [19]. La valeur limite selon les spécifications pour les bétons hydraulique est égale à 01[16].

La VBS se détermine à partir de l'essai au bleu de méthylène à la tache sur la fraction 0/5 mm. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène. A chaque ajout on contrôle l'adsorption en prélevant une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre normalisé pour faire une tache. L'adsorption maximale est atteinte quand une auréole bleue claire se produit à la périphérie de la tache.



**Figures I.14 :** Essai au bleu de méthylène

b) **Les gravillons, essai de propreté superficielle (P) :** La propreté superficielle des gravillons est caractérisée par la teneur en particules fines essentiellement argileuse ou d'origine végétale ou organique [9], elle est définie comme étant le rapport du passant à 0,5 mm au poids total d'un échantillon de gravillon. Elle est déterminée selon la norme NF P 18-591[33].

c) **Autres pollutions :** Les normes relatives aux granulats définissent des seuils pour certaines impuretés comme : les éléments coquilliers dans les gravillons alluvionnaires, les matières organiques dans les sables, les chlorures et les sulfates et sulfures. Les limites des contaminants dans les granulats recyclés sont données par le tableau (I.3) [34].

Type des granulats recyclés	Le plâtre, l'argile et d'autres impuretés de densité <1950 (Kg/m <sup>3</sup> )	Asphalte, plastique, peinture, tissu, papier, bois et matériaux similaires avec une densité inférieure à 1200 (Kg/m <sup>3</sup> )
Gravier	10 Kg/m <sup>3</sup>	10 Kg/m <sup>3</sup>
Sable	2 Kg/m <sup>3</sup>	2 Kg/m <sup>3</sup>

**Tableau I.3** : Limitation de contaminants dans les granulats recyclés [34].

#### I.1.4.4/Caractéristiques chimiques

##### - La teneur en chlorures :

Un sable provenant du bord de mer, tout comme un sable de désert, contient du sel et doit être traité [13]. La quantité d'ions chlore acceptable dans les granulats est limitée à 1 % pour les bétons non armés ; 0,40 % pour les bétons armés selon Neville [13] et selon la norme européenne NF EN 206-1 [35].

Il a été constaté sur des cas de bétons recyclés la présence de chlorures dépassant les limites recommandées [36]. Ceci est semblablement lié à la contamination des ouvrages par les chlorures au cours leurs exploitations avant démolition.

##### - La teneur en sulfate :

La norme européenne EN-12-620 définit la limite de la teneur en sulfate à 1 % [20].

La teneur en sulfate des granulats recyclés est en relation avec la quantité de la pâte cimentaire attachée aux granulats. La contrainte de compression du béton qui emploie 3% de plâtre est de 15 % inférieure à celui sans plâtre. Toutefois, les granulats doivent être lavés avant leur utilisation et la démolition sélective pourrait être considérée comme une alternative efficace [27].

##### - Alkali-réaction :

L'alkali-réaction est un ensemble de réactions chimiques pouvant se produire entre certaines formes de silices, de silicates ou de carbonates appartenant aux granulats et les éléments alcalins (sodium, potassium) en solutions dans la pâte liante [28], et la formation d'un gel expansif entraînant l'éclatement du béton [11].

Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR), potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP). La teneur en alcalins actifs des granulats est communiquée si elle dépasse 0,01 % exprimée en Na<sub>2</sub>O équivalent [11].

- **Géivité des granulats (G) :**

Un granulat ne sera pas sensible au gel, s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macrospores (qui jouent le rôle de bulles d'air) [37]. Un granulat est considéré comme non gélif si au moins l'une des trois valeurs spécifiées suivantes est respectée : absorbe peu d'eau ( $A_b \leq 1\%$ ), sa résistance à la fragmentation est bonne ( $L_A \leq 25$ ), sa géivité ( $G \leq 30$ ) [11,12]. Dans les cas contraires, la géivité est mesurée par la dégradation granulométrique du matériau préalablement soumis à des cycles gel-dégel [11].

L'essai gel-dégel est déterminé selon la norme "NF EN 1367-1" [38]. La sensibilité au gel est déterminée par la formule (I.1) suivante :

$$G = \left( \frac{L_{AG} - L_A}{L_A} \right) \times 100 \quad (I.1)$$

Où  $L_{AG}$  : coefficient Los Angeles des granulats gelés,

$L_A$  : coefficient Los Angeles des granulats non gelés.

Plusieurs travaux ont indiqué que les granulats recyclés ont de mauvaises performances lors de l'essai de gel-dégel [40, 41, 42, 43].

### **I.1.4.5/Caractéristiques mécaniques :**

- **Résistance des granulats :**

La résistance des granulats est obtenue par des essais indirects, des essais de résistance au choc et à l'usure. En général, la résistance et l'élasticité des granulats dépendent de leur composition minéralogique, de leur texture et de leur structure.

- **La résistance à la fragmentation**

- **Essai Los Angeles ( $L_A$ ) : (fragmentation par choc et Usure par frottement)**

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs des boulets et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

La valeur du coefficient Los-Angeles doit être  $\leq 40$  pour les granulats naturels type B et C suivant les normes "NF P18 573, EN 1097-2 § 5" [44, 45]. et compris entre 30 (catégorie A) et 50 (catégorie D) selon les normes XP P 18 540 [3, 16]. et ASTM C-33 pour les granulats recyclés [27, 28].

La variation du coefficient Los-Angles des granulats recyclés est en fonction de la résistance du béton d'origine, la quantité de la pâte cimentaire rattachée aux granulats et la qualité d'origine des granulats ainsi que la méthode de préparation des granulats et la puissance employée [27].

- **La fragmentation dynamique (FD) :**

L'essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un granulats "NF P 18-574" [46]. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6mm produite en soumettant le matériau aux chocs d'une masse normalisée. Cette quantité est appelée coefficient de fragmentation dynamique. Cet essai a été conçu de manière à trouver, sur un même matériau, un résultat aussi proche que possible du coefficient Los-Angles. [19].

- **Résistance à l'attrition et à l'usure "Essai Micro-Deval humide" (MDE) :**

L'essai Micro Deval peut être utilisé à sec ou en présence d'eau, méthode plus représentative [11]. Les granulats résistent d'autant mieux à l'attrition que la valeur du coefficient Micro-Deval est faible [11]. La valeur du (MDE) doit être  $\leq 35$  pour les granulats naturels selon "NF P18-577, NF EN 1097-1" [47, 48]. et compris entre 15 et 50 pour les granulats recyclés selon la norme "XP P 18-540" [3].

- Une bonne résistance du granulats permet d'éviter des modifications de la granularité lors du malaxage et du transport.
- Eviter de modifier les propriétés du béton (de résistance et d'ouvrabilité).

## **I.2/ LES PROPRIETES ESSENTIELLES DES BETONS (CONVENTIONNELS ET RECYCLES) :**

### **I.2.1/ Les propriétés rhéologiques :**

- **Influence des granulats sur la maniabilité :**

La maniabilité est une caractéristique d'aptitude à la mise en œuvre d'un béton [49]. Sa mesure, est appréciée à l'aide de différents appareillages dont le plus répandu est l'essai d'affaissement au cône d'Abrams encore appelé slump-test.

L'ouvrabilité des bétons recyclés est généralement affectée par la capacité d'absorption d'eau des granulats [27].

La forme et la texture des granulats peuvent également affecter l'efficacité de l'ouvrabilité des bétons cités. Cela dépend du type de broyeur utilisé [24].

La forte absorption d'eau est attribuée à la présence de l'ancien mortier attaché aux granulats recyclés et plus celui-ci est important plus la maniabilité se réduit davantage [50].

D'après certaines expériences, les bétons recyclés à base de granulats recyclé et sable naturel nécessitent 5 % d'eau que le béton conventionnel avec la même ouvrabilité [28 ,51, 52]. Certains chercheurs conseillent l'utilisation des granulats recyclés saturés en eau ou très humides. [53]

### **I.2.2/ Les propriétés mécaniques :**

- **Résistance à La Compression :**

La résistance mécanique d'un béton est fondamentalement liée aux performances mécaniques des granulats [13]. D'après certains auteurs [54, 1], les bétons fabriqués avec des granulats recyclés obtiennent de bonnes résistances mécaniques et peuvent atteindre des résistances à la compression équivalente à celles d'un béton conventionnel.

La résistance à la compression des bétons à base de granulats de recyclage est influencée directement par la résistance des granulats utilisés. Celle-ci dépend à son tour de la densité brute des granulats. Comme les granulats de recyclage présentent généralement une densité inférieure à celle des granulats naturels, en raison de la présence de ciment et d'une composition souvent hétérogène, la résistance à la compression des bétons de recyclés est généralement moindre. La présence du mortier collé aux granulats et qui possède une dureté beaucoup plus faible que le granulat naturel, affecte davantage cette dureté donc sa qualification [55]. Néanmoins, la résistance du béton ne soit pas seulement due à la résistance mécanique des granulats, mais aussi, à un certain degré, à leur absorption et à leurs caractéristiques de liaison.

- **Influence de la quantité de liant sur la résistance :**

Une augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C de ce béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance surtout à court terme. La résistance du béton est reliée au type et la classe de ciment [56], tandis que la forte teneur en ciment des bétons affecte la résistance de tous les bétons de résistances moyennes ou très élevées (> 35 MPa) [9].

Pour atteindre la même résistance à la compression du béton conventionnel, il est nécessaire d'augmenter le dosage en ciment dans le béton à base de gros granulats recyclés de 5 à 9 % et de 15 à 20 % dans le béton à base de sable recyclé [27].

- **Influence des granulats sur le rapport E/C :**

La rétention d'eau par les granulats recyclés, conduit à réaliser les bétons recyclés avec des rapports E/C supérieurs à ceux des bétons classiques [41].

### I.2.3/ Durabilité :

Chaque agent agressif dans l'environnement entourant une structure en béton peut s'infiltrer, diffuser et pénétrer à travers les pores contenus dans le béton selon des lois et mécanismes de transport. Une mauvaise durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes aux bétons. L'étude de la durabilité des bétons à base de granulats recyclés s'avère donc une étape indispensable afin de leur attribuer un domaine d'utilisation et l'absorption d'eau est la tare essentielle qui compromet la durabilité.

L'absorption d'eau par immersion et le volume total des pores sont considérés comme les meilleurs indicateurs de la longévité potentielle du béton que l'absorption par capillarité qui donne une indication macroscopique du réseau poreux puisque le béton n'est pas totalement en état de saturation d'eau. WIRQUIN & ALL. [57], ont rapporté dans une étude, que le processus d'absorption d'eau d'un béton recyclé est similaire à celui d'un béton conventionnel et obéit aux mêmes lois. Toutefois, les bétons recyclés se caractérisent par une plus forte capacité d'absorption d'eau. Cela est dû à la taille plus grande des gros capillaires et à la proportion en volume plus importante des petits capillaires, ce qui les rend a priori plus vulnérables à la pénétration des agents agressifs. Ceux-ci sont sous forme d'eau, d'ions ou de gaz qui pénètrent dans le béton et peuvent changer la cinétique de dégradation du béton pendant la durée de vie de l'ouvrage. Les pathologies les plus abordées par la littérature pour le cas du RAC sont ; la carbonatation, l'alcali-réaction et le gel-dégel.

La présence du mortier collé aux granulats et qui possède une dureté beaucoup plus faible que le granulat naturel, affecte davantage cette dureté, donc sa qualification [55]

#### - **La carbonatation :**

En raison de sa porosité plus élevée, la profondeur de carbonatation devrait être en principe plus importante pour un RAC que pour un NAC. Or, selon une étude [58], faite sur le recyclage de granulats de béton recyclé et de granulats de maçonnerie, la profondeur de carbonatation diminue quand la quantité d'agrégats réutilisés augmente, présentant un meilleur comportement quand ce remplacement était 20% ou 50%. Même à 100% de remplacement le niveau de carbonatation était pareil à celui observé pour un NAC. L'explication de ceci est le dosage en ciment plus important pour un RAC pour atteindre la résistance mécanique d'un NAC ce qui fait accroître l'alcalinité du milieu. En plus de ceci, les granulats recyclés sont constitués en partie par du vieux mortier dans lequel le ciment peut contenir de l'hydroxyde de calcium qui augmente davantage l'alcalinité. Sur un autre plan, la saturation en eau (lors de l'absorption et un rapport E/C élevé) pourrait ralentir la diffusion du CO<sub>2</sub> et celle-là est importante lorsque le taux de remplacement en granulats de recyclage augmente.

**- Alkali réaction :**

La réaction alcali-granulat est une pathologie des bétons, qui se caractérise par une réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle. En l'absence de précaution, cette pathologie peut apparaître dans les parties d'ouvrages, les plus sévèrement exposées à l'humidité et se caractérise par la formation d'un gel gonflant qui peut provoquer, en particulier, au cœur du béton, des déformations et une microfissuration du matériau. Les contraintes expansives génèrent, si elles dépassent la résistance en traction du béton, un décollement à l'interface pâte-granulats et la formation de microfissures qui se matérialise en surface par une fissuration à multi orientation. Cette pathologie ne peut se produire que lorsque trois conditions soient réunies simultanément : présence d'un granulat potentiellement réactif, des alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) en quantités suffisantes dans la solution interstitielle ( $\text{PH} > 12,5$ ) pour maintenir une concentration en ions hydroxydes élevée et des conditions d'humidité relative excèdent 80-85% [59]. Pour le cas de la réutilisation des granulats de béton recyclé, très peu de sujets ont été trouvés dans la littérature sur le cas l'alcali-réaction. La pathologie ne peut se produire que si les granulats recyclés sont dès l'origine réactifs et celle-ci peut avoir lieu lorsque les granulats réactifs n'ont pas trouvé les conditions favorables à leur réaction avant la réutilisation (c'est à dire ils étaient en milieu sec ou par manque d'alcalins) ou bien venant du vieux mortier contenant encore une réactivité résiduelle dans la fraction sable [60].

**- Le gel-dégel :**

Un granulat ne sera pas sensible au gel s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macropores (qui jouent le rôle de bulles d'air). Le volume d'eau susceptible de geler ne doit pas excéder le volume des vides de l'air entraîné du béton. Cette condition se traduit par la nécessité d'avoir un apport E/C suffisamment faible, ce qui assure par la même une bonne résistance au béton qui peut mieux résister aux forces de dégradation induites par le gel. Le béton de granulats recyclés n'échappe pas à cette règle et il est plus exposé à de telles dégradations à cause du fort taux d'absorption d'eau par les granulats.

Des essais ont été menés dans le but d'améliorer la durabilité au gel des bétons de granulats recyclés par une reconfiguration de la composition, ou par des inclusions d'agents antigel. Selon SALEM & BURDETTE (1998) [61], la méthode de l'air entraîné est la meilleure façon d'améliorer la résistance au gel des granulats recyclés, cependant, cette méthode affecte quelques propriétés physiques des bétons. M. BARRA & VAZQUEZ (1996) [62], ont fait observer que les mauvais résultats de la résistance au gel des RAC sont obtenus par l'utilisation des granulats à l'état saturé ou sec et que ces bétons devenaient bons avec les granulats prémouillés préalablement.

**I.3/ CONCLUSION :**

D'après ce qui a été présenté dans cette partie bibliographique, on peut conclure que :

- L'apport de cette étude permet de confirmer la possibilité de valorisation des déchets de démolition en tant que matériau substituable en partie au granulats naturels.
- La déconstruction sélective des constructions est indispensable, choix plus coûteux mais assure des granulats de bonne qualité.
- La présence de l'ancien mortier collé est aléatoire et inévitable, il faut le considérer comme caractéristique intrinsèque du matériau.
- Par leur fort taux d'absorption d'eau, les granulats recyclés verront leur champ d'application se rétrécir. Ils présentent des mauvaises performances vis-à-vis du gel-dégel.
- La masse volumique des granulats recyclés est plus faible que celle des granulats naturels, du fait de leur teneur en mortier ;
- Les granulats recyclés étant obtenus par concassage, leur rugosité de surface est importante, et leur compacité relativement faible. Ceci est un autre facteur tendant à augmenter la demande en eau efficace.

Pour mieux connaître le comportement des bétons incluant des granulats recyclés, on a consacré le deuxième chapitre à la caractérisation des matériaux utilisés et la formulation des bétons.

**CHAPITRE II :**

**CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES**

**ET FORMULATION DES BETONS**

## II/ CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET FORMULATION DES BETONS :

A travers ce chapitre, on a présenté les matériaux utilisés dans cette étude et les techniques expérimentales pour caractériser ces matériaux ainsi que et la formulation des bétons.

### II.1/ INTRODUCTION :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents types de granulats (naturels/recyclés), le dosage en ciment et l'eau, afin de réaliser un béton répondant aux qualités recherchées.

Avant la détermination des dosages des constituants qui rentrent dans la formulation du béton, il est recommandé de vérifier certaines propriétés et caractéristiques des matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau,), en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés. Une fois le béton préparé, il doit subir des essais à l'état frais et durci, afin de matérialiser notre matériau et donc confectionner des ouvrages résistants, durables et économiques.

Ce deuxième chapitre est composé de trois parties :

- La première partie expose les modes opératoires des essais réalisés.
- La deuxième partie traite les caractéristiques des matériaux utilisés.
- La troisième partie concerne la préparation et la formulation des bétons.

### II.2/LES MODES OPERATOIRES DES ESSAIS :

#### II.2.1/Le ciment :

Le ciment utilisé dans la confection des différents bétons est conforme aux normes NF P 15-301 et ENV 197-1[63, 64]. C'est un ciment portland composé de classe CEM II 42,5, fabriqué à Cheliff.

- **Essais de Prise :** Il est nécessaire de connaître le début et la fin de prise des liants hydrauliques afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des bétons. Les essais de prise se font à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille, Norme EN 196-3 [49].

Le but est de déterminer le temps de début de prise, qui correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, et la fin de prise qui est le moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide.

- **Essai de consistance normale** : Cet essai est réalisé à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une sonde de diamètre de 10 mm, selon la norme NF EN 196-3[49]. Le but est de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour le ciment. La consistance normale est atteinte lorsque la distance entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule atteint  $6 \pm 1$  mm.

- **La finesse de mouture du ciment** : La finesse de mouture est obtenue à partir du refus sur le tamis  $80\mu\text{m}$ , qui doit être inférieur à 15% [65], norme NF EN 196-6, mais aussi par le perméabilimètre de Blaine, NF P 15-442[66]. Les résultats sont fournis par la cimenterie de Cheliff.

- **La masse volumique apparente ( $Mv_{app}$ )** : L'essai consiste à remplir en matériau sec (ciment) un récipient vide de volume ( $V$ ) du matériau sec (ciment) sans le tasser et le peser ensuite ( $M$ ), pour en déduire la masse volumique. Cet essai a été réalisé selon la norme NF EN 1097-3 [25].

$$Mv_{app} = \frac{M}{V} \times 1000 \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (\text{II.1})$$

Où :  $M$  : La masse sèche du matériau, en (g).

$V$  : représente le volume du récipient, en (ml).

- **La masse volumique absolue ( $Mv_{abs}$ )** : Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, on a appliqué la méthode de l'éprouvette graduée selon la norme NF P 18-558[24]. L'essai consiste à verser une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte (mazoute), la différence de volume rapportée à la masse du matériau donne la masse volumique selon la formule (II.2) :

$$Mv_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)} \times 1000 \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (\text{II.2})$$

Où :  $M$  : La masse sèche du matériau, en (g).

$V_1$  et  $V_2$  : la lecture sur l'éprouvette graduée avant et après l'introduction du ciment, en (ml).

- **La porosité (P)** :

La porosité est déduite à partir des masses volumiques, qui est définie par la formule (II.3) suivante :

$$P = \left[ 1 - Mv_{app}/Mv_{abs} \right] \times 1000 \text{ (\%)} \quad (\text{II. 3})$$

### II.2.2/Les granulats

Lors de L'élaboration de ce travail, il fut convenu de choisir deux types de matériaux de démolition (béton de ciment concassé) et (déchets de briques concassés), le troisième type, un granulat naturel qui sera pris comme témoin.

Les deux types " béton de ciment " et " brique concassé" provenant en grande partie de la démolition des bâtiments situés à Rahouia de la région de Tiaret de, tandis que les gros granulats naturels font part de la carrière de Rechaiga de la région de Tiaret.

#### II.2.2.1/ Préparation des granulats :

On a choisi pour cette étude, de concevoir 2 classes granulaires 0/5 et 5/20 et cela pour avoir des bétons binaires avec un étendu granulaire meilleur et une formulation adaptée aux exigences voulues (Consistance et Résistance).

Pour les graviers :

Gravier naturel (GN) 5/20 provenant de la carrière de Rechaiga (Tiaret).

Gravier recyclé (GBC) 5/20 produit par le concassage de béton de ciment.

Gravier recyclé (GBR) 5/20 produit par le concassage des déchets de briques rouges.

Pour le sable :

Sable naturel (SN) 0/5 provenant de carrière Ghassoul (Bayadh).

#### - Fractionnement et préparation des granulats naturels concassés :

On a procédé aux fractionnements des granulats pour avoir deux nouvelles classes :0/5 et 5/20. Notant que lors de la séparation (tamisage) des graviers, on a éliminé certaines quantités des fillers qui peuvent influencer la qualité des bétons.

#### - Elaboration et préparation des granulats recyclés :

L'élaboration des granulats recyclés est passée par plusieurs étapes :

Fragmentation des blocs du béton de démolition (dalles préfabriquées) et de briques, et à l'aide d'un marteau on a brisé les fragments du béton, on a procédé ensuite à l'aide des tamis, à séparer les différentes classes granulaires.

### II.2.2.2/ Echantillonnage :

Les prélèvements des granulats naturels sont effectués en cours d'écoulement des matériaux, directement à partir de la trémie au niveau de la carrière. Et dans le laboratoire on a prélevé les matériaux sur le tas, en haut et en bas au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin. Le passage de l'échantillon total à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, a été fait selon les deux procédés d'échantillonnage : le quartage ou à l'aide d'échantillonneur. Et la quantité du matériau soumise à l'essai "la prise" est indiquée dans les modes opératoires NF P18-553, EN 932-1[15,67].

$$M \geq 9xD_{max}^{0.5} \quad (M \text{ en Kg et } D_{max} \text{ en mm}; (D_{max} = 20\text{mm } M = 40 \text{ kg}).$$

On appelle prélèvement une fraction constituant l'échantillon global. La masse doit être telle que  $M \geq 0.1xD_{max}$  ( $M$  en Kg et  $D$  en mm; ( $D_{max} = 20\text{mm } M = 2 \text{ kg}$ )

### II.2.2.3/ Essais sur granulats :

La série d'essais sur les granulats (naturels ou recyclés) a concerné la mesure des caractéristiques granulométriques, géométriques, mécaniques et physiques.

#### - Analyse granulométrique par tamisage :

L'analyse granulométrique des granulats est déterminée selon la norme NF P 18-560 [68], elle a été réalisée par voie sèche. L'échantillon de masse  $M$  ( $200D < M < 600D$ ) préalablement séché dans une étuve ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) est tamisé à travers une série de tamis qui correspond pour chaque cas de granulat suivant :

- Pour le sable : 5 - 3,15 - 2 - 1,25, 0,8 - 0,5 - 0,315 - 0,2 - 0,125 - 0,08 mm.

- Pour les graviers : 20 - 16 - 12,5 et 12,5 - 10 - 8 - 6,3 - 5 mm.

- **Courbes granulométriques :** Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale du matériau et exprimées en pourcentage, servent pour tracer la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le % des refus et les mailles  $D$  sont indiquées en abscisse.

- **Les caractéristiques géométriques des granulats :**

- **Le module de finesse (MF):**

Le module de finesse des sables est déterminé selon la norme XP P 18-540 [3], et calculé selon la formule (II.4) suivante :

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des Tamis (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5 mm)} \quad (\text{II.4})$$

- **Le coefficient d'aplatissement (A) :**

L'essai a été réalisé au niveau du laboratoire du LTPOUEST Tiaret, selon la norme NF EN 933-3 [20]. Il consiste en une double opération de tamisage du même échantillon (4- 20 mm) de granulats d'une masse  $M \geq 0,2D$ , en utilisant une série de tamis à maille carrées et une série de grilles à fente parallèles d'écartement  $E=D/2$ . Le coefficient d'aplatissement est calculé d'après la formule (II.5) suivante :

$$A = \frac{\sum_1^i M_{ei}}{\sum_1^i M_{gi}} \times 100 (\%) \quad (\text{II.5})$$

Avec :  $M_{ei}$  : Masse de la classe granulaire ;

$M_{gi}$  : Masse passant à travers le tamis à fente parallèles d'écartement E correspondant.

- **Caractéristiques mécaniques des granulats :**

Les essais de dureté ont été réalisés au laboratoire LTPOuest de Tiaret.

- **Essai Los-Angeles (LA) :**

La résistance à la fragmentation (au choc) est déterminée par l'essai Los-Angeles selon la norme NF P 18-573 [44], l'essai consiste à mesurer la masse (m) d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los-Angeles en 500 rotations à une vitesse régulière [6].

L'essai Los-Angeles et le nombre de boulets est 9 et 11, d'une masse total 3 960 et 4 840 grammes respectivement. Les matériaux sont lavés, tamisés et séchés à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante. Le coefficient Los-Angeles est déterminé par la formule (II.6) :

$$L_A = \left(\frac{m}{M}\right) \times 100 \quad (\text{II.6})$$

Où :  $m$  : représente le passant du matériau au tamis 1,6 mm après essai en (g).

$M$  : la masse initiale en (g),  $M = 5000 \pm 5$  g.

- **Essai Micro-Deval ( $M_{DE}$ ) :**

La résistance à l'usure est déterminée selon l'essai Micro-Deval en présence d'eau, selon la norme NF P 18-572 [69], les fractions ont été testés pour chaque type de granulats avec une charge abrasive de  $2000 \pm 5$  et  $4000 \pm 5$  g respectivement.

Le coefficient Micro-Deval est déterminé par la formule (II.7) suivante :

$$M_{DE} = \left(\frac{M-m'}{M}\right) \times 100 = \left(\frac{m}{M}\right) \times 100 \quad (\text{II.7})$$

Où :  $m$  : représente la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm, en (g).

$m'$  : représente la masse sèche du refus au tamis 1,6 mm, en (g).

$M$  : la masse initiale sèche de l'échantillon en (g),  $M = 500 \pm 2$  g.

- **Caractéristiques physiques des granulats :**

- **Masse volumique apparente ( $Mv_{app}$ ) :**

Elle est déterminée selon les normes NF P 18-554 [22], pour les graviers et NF P 18-555 [23], pour les sables. L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume ( $V$ ) du matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité ( $M$ ), pour en déduire la masse volumique selon la formule (II.8) suivante :

$$Mv_{app} = \frac{M}{V} \quad (\text{Kg}/\text{m}^3) \quad (\text{II.8})$$

Où :  $M$  en (g) : La masse sèche du matériau.

$V$  en (L) : représente le volume du récipient.

- **Masse volumique absolue ( $M_{V_{abs}}$ ) :**

Elle est déterminée selon les normes NF P 18-554 [22] pour les graviers et NF P 18-555 [23] pour les sables. La méthode utilisée est celle de l'éprouvette graduée. Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de granulat dans une quantité d'eau. La différence de volume rapportée à la masse du matériau donne la masse volumique absolue. La masse volumique est calculée selon la formule (II.9) suivante :

$$Mv_{abs} = M_S / (M_a - M_{a'}) \quad (Kg/m^3) \quad (II.9)$$

Où :  $M_S$  en (g) : représente la masse sèche de la fraction du matériau dans l'air après lavage au tamis de 4 mm.

$M_a$  en (g) : représente la masse de l'échantillon imbibé dans l'air après immersion pendant 24h dans l'eau.

$M_{a'}$  en (g) : représente la masse de l'échantillon imbibé dans l'eau.

- **Teneur en eau (W %)** :

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon, elle est déterminée selon la norme NF P 18-554 [22], pour les graviers et NF P 18-555 [23], pour les sables. Elle est déterminée selon la formule (II.10) suivante :

$$W = \frac{M - M'_S}{M'_S} \times 100 \quad (\%) \quad (II.10)$$

- M en (g) : la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état.

-  $M'_S$  en (g) : la masse de cet échantillon, séché sans lavage.

- **Taux d'absorption d'eau ( $A_b$  %)** :

Le taux d'absorption d'eau est déterminé selon les normes NF P 18-554 [22], et NF P 18-555 [23]. Il est déterminé selon la formule (II.11) suivante :

$$A_b = \frac{M_a - M_S}{M_S} \times 100 \quad (\%) \quad (II.11)$$

-  $M_a$  en (g) : la masse du l'échantillon immergé pendant 24h dans l'eau après avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant l'eau à la surface des granulats ou plus connue sous le nom SSS (Saturé à Surface Sèche).

-  $M_S$  en (g) : la masse de l'échantillon séché à 105°C.

- **Propreté des granulats :**
- **La propreté des gros granulats (P) :**

Elle est caractérisée par la teneur d'éléments fins indésirables, hydrophiles ou non. Ce sont soit des fines d'argile, soit des fines issues du concassage ou du broyage des roches. La propreté des graviers est déterminée à partir de l'essai de propreté superficielle NFP 18-591 [33], l'essai est effectué par lavage d'une quantité de gravier ( $200D < M < 600D$ ) sur le tamis 0,5 mm et en déduire la différence de masse après séchage. Elle est déterminée d'après la formule (II.12) suivante :

$$P = \frac{M_S - m'}{M_S} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{II.12})$$

-  $M_S$  en (g) : la masse du dernier échantillon immergé pendant 24h dans l'eau après avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant.

-  $m'$  en (g) : la masse de l'échantillon séché à 105°C.

- **La propreté des sables (ES, VB) :**

Le degré de propreté du sable est fourni par l'essai d'équivalent de sable (**ES**), selon la norme NF P 18-597 [30] et complété par l'essai au bleu de méthylène (**VB**), selon la norme EN 933-9 [32], ce dernier a été réalisé au niveau du laboratoire LTPOuest Tiaret

L'équivalent de sable est déterminé selon la formule (II.13) suivante :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{II.13})$$

-  $h_1$  en (cm) : la hauteur totale y compris le flocculat (fines en suspension).

-  $h_2$  en (cm) : la hauteur du dépôt de sable visible.

La valeur du Bleu de Méthylène est déterminée sur la fraction 0/2 mm et calculée selon la formule (II.14) suivante :

$$VB = \frac{V}{m} \quad (\text{II.14})$$

- V en (ml) : le volume du bleu de méthylène.
- m en (g) : la masse de l'échantillon (0-2mm).

### II.2.3/ Le béton frais :

#### - Malaxage et vibration :

Le malaxage des bétons a été fait dans une bétonnière électrique à axe inclinée, de capacité 30 litres. Le temps de malaxage est de 05 minutes dont 02 minutes de malaxage à sec. La mise en place du béton est réalisée sur une table vibrante (vibration externe), selon la norme NF P18 - 421 [70].

#### - Essai d'ouvrabilité du béton :

L'ouvrabilité du béton est évaluée à l'aide du cône d'Abrams, conformément à la norme NF P 18-451 [71].

L'essai consiste à introduire le béton frais dans un moule tronconique (D=20, d=10, H=30 cm) en trois couches, où chacune subit 25 coups de piquage à l'aide d'une tige  $\phi$  16 mm, puis le moule est retiré lentement et on relève la mesure de l'affaissement en (cm).



Figure II.1: Le cône d'Abrams

#### - Mesure de la densité réelle du béton frais :

La densité du béton frais est mesurée à partir de la masse d'une quantité de béton frais rapporté à son volume après vibration. Elle est calculée selon la formule (II.15) suivante :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (\text{II.15})$$

- M en (g) : la masse de la quantité du béton frais.
- V en (ml) : le volume du récipient.

#### II.2.4/Le béton durci :

Les essais réalisés sur le béton durci dans cette étude sont la mesure de la résistance à la compression

##### – Résistance à la compression (RC) :

La détermination de la résistance à la compression simple des bétons s'est faite sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté. L'essai est réalisé conformément à la BS 1881 partie 116[72]. La presse est électrique à doubles manomètres et grands plateaux, ayant une capacité 5000 kgf. Les résultats sont obtenus par la formule (II.16) suivante :

$$R_{Cj} = \frac{F}{a^2} = 0.102 \times F \text{ MPa} \quad (\text{II. 16})$$

Avec :  $R_{Cj}$  : Contrainte de compression à (j) Jours en "MPa".  
 $F$  : Valeur de la charge de rupture en "Kgf".  
 $a^2$  : Section de l'éprouvette en  $\text{Cm}^2$ ,  $a^2 = 225 \text{ Cm}^2$ .

### II.3/CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES :

#### II.3.1/ L'eau :

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle du robinet (potable), qui répond aux Prescriptions de la norme EN 1008 [73].

#### II.3.2/Le ciment :

La composition chimique et les paramètres physico-mécaniques du CEM II 42,5 utilisé pour la confection des bétons sont résumés dans les tableaux, qui sont élaborés à la base de la fiche technique fournie par le laboratoire de l'usine Cheliff, en Annexe

Paramètres Physico-Mécaniques	Résultats			Norme NA442
	Mini	Maxi	Moy	-
SS Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3073	3745	3448	-
Consistance (%)	25.20	25.73	25.53	≥ 60mn
Début de prise en (mn)	93	138	111	≥ 12.5
Compression 02 jours (Mpa)	15.79	23.20	19.93	-
Compression 07 jours (Mpa)	33.72	43.70	40.40	≥ 42.5
Compression 28 jours (Mpa)	43.32	53.09	49.55	-
Flexion 02 jours (Mpa)	3.51	4.61	4.02	-
Flexion 07 jours (Mpa)	5.55	6.55	6.12	-
Flexion 28 jours (Mpa)	6.12	7.22	6.68	-
Expansion à chaud sur pâte (mm)	0.0	3.00	0.94	≤ 10
Retrait 28 j (µm/m)	-	-	665	≤1000

**Tableau II.1:** Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé.

Paramètres chimiques	Résultats			Norme NA 442
	Mini	Maxi	Moy	-
Perte au feu (%)	5.01	9.14	6.70	-
CaO libre (%)	0.35	1.42	0.92	-
SiO <sub>2</sub> (%)	17.26	20.20	18.53	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.82	.70	4.47	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2.93	3.43	3.13	-
CaO (%)	61.15	64.77	62.93	-
MgO (%)	0.74	0.99	0.88	≤ 5
So <sub>3</sub> (%)	1.45	2.25	1.77	≤ 4
Cl (%)	-	-	-	≤ 0.1
Insolubles (%)	-	-	-	-

**Tableau II.2:** Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé pour la confection de béton.

### II.3.3/Les granulats :

#### II.3.3.1/Analyse granulométrique par tamisage :

Les différentes courbes granulométriques des granulats utilisés sont montrées sur les figures (II.2, II.3 et II.4).

##### - Sable

Selon le module de finesse de sable en comparaison aux normes peut être classer comme suit : le sable naturel "MF = 2.71 " dans la classe A "préférentiel". Suite à sa préparation au niveau du laboratoire avec soin, sa granulométrie est présentée dans le tableau (II.3) et illustrée à la figure (II.2).

Ouverture des tamis (mm)	Sable		
	% Passant		
	0-5 (mm)	Fuseau	
		0-5 (mm)	
0,08	1	0	3
0,16	8	2	10
0,315	24	10	35
0,63	47	25	65
1,25	67	50	90
2,5	85	80	100
5	98	95	100
10	99	100	100

**Tableau II.3:** Granulométrie du sable

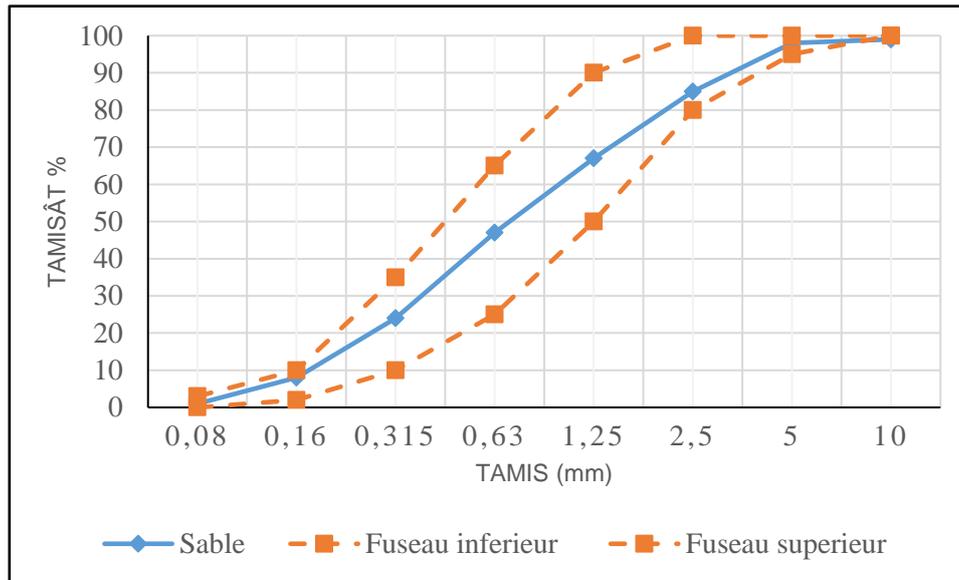


Figure II.2: Courbe granulométrique du sable

– Gros granulat naturel

Les gros granulats proviennent de la carrière de Rechaiga 5-20 mm et ont été utilisés, afin de respecter les exigences de la norme en vigueur pour la courbe granulométrique d'un gros granulat de béton de grosseur nominale 5-20 mm, les distributions granulométriques ainsi que les propriétés des granulats sont présentées dans le tableau (II.4). Les distributions granulométriques des granulats sont illustrées sur les figure (II.3).

Ouverture des tamis (mm)	Granulat naturel		
	% Passant		
	5-20 (mm)	Fuseau 5-20 (mm)	
2,5	1	0	5
5	5	0	10
10	45	25	60
14	80	60	90
20	91	85	100
28	100	100	100

Tableau II.4 : Granulométrie du Gros granulat naturel

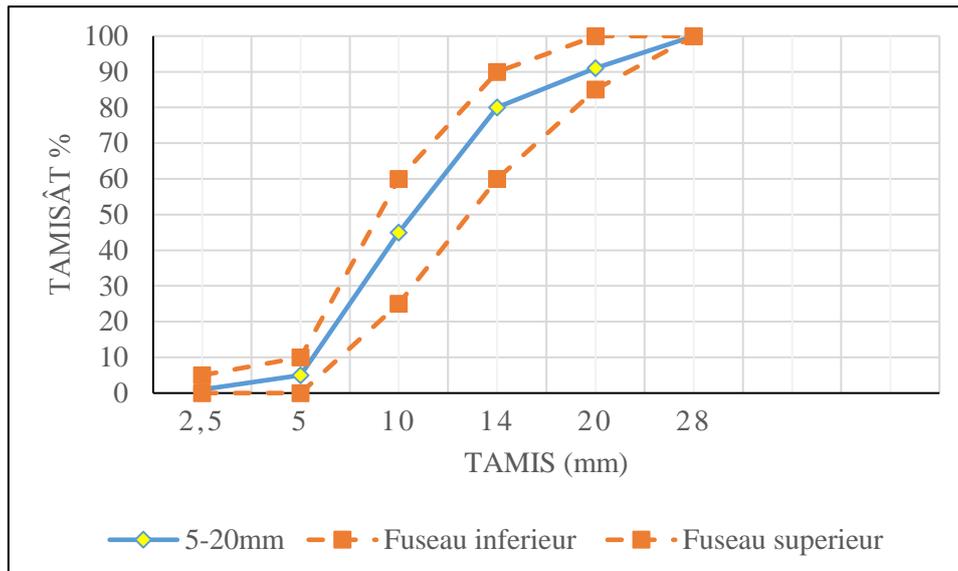


Figure II.3: Courbe granulométrique du Gros granulat naturel

– Granulat recyclé de béton concassé

Ouverture des tamis (mm)	Granulat recyclé de Béton concassé		
	% Passant		
	5-20 (mm)	Fuseau	
		5-20 (mm)	
2,5	2	0	5
5	5	0	10
10	50	25	60
14	85	60	90
20	94	85	100
28	100	100	100

Tableau II.5: Granulométrie du Gros granulat recyclé de béton concassé

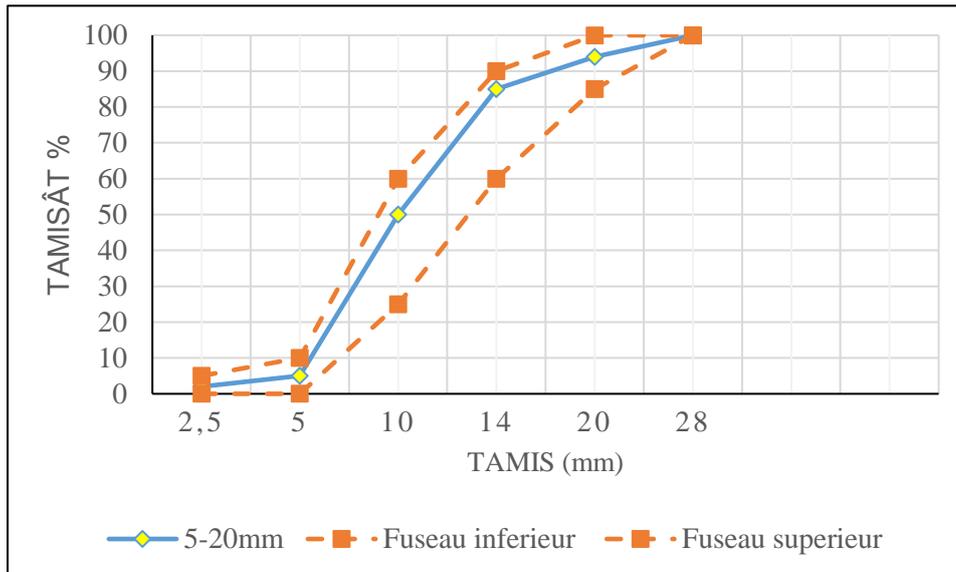


Figure II.4: Courbe granulométrique du Gros granulat recyclé de béton concassé

– Granulat recyclé de concassage des déchets de briques rouges

Ouverture des tamis (mm)	Granulat recyclé de brique concassée		
	% Passant		
	5-20	Fuseau	
	(mm)	5-20 (mm)	
2,5	2	0	5
5	5	0	10
10	40	25	60
14	80	60	90
20	93	85	100
28	100	100	100

Tableau II.6 : Granulométrie du gros granulat recyclé de concassage des déchets de briques rouges

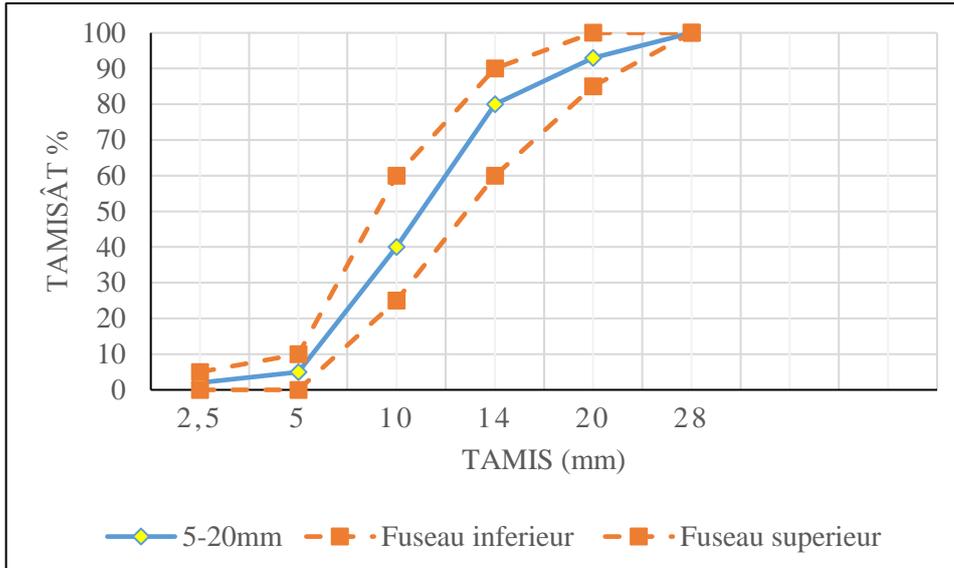


Figure II.5 : Courbe granulométrique du Gros granulat recyclé de concassage des déchets de briques rouges

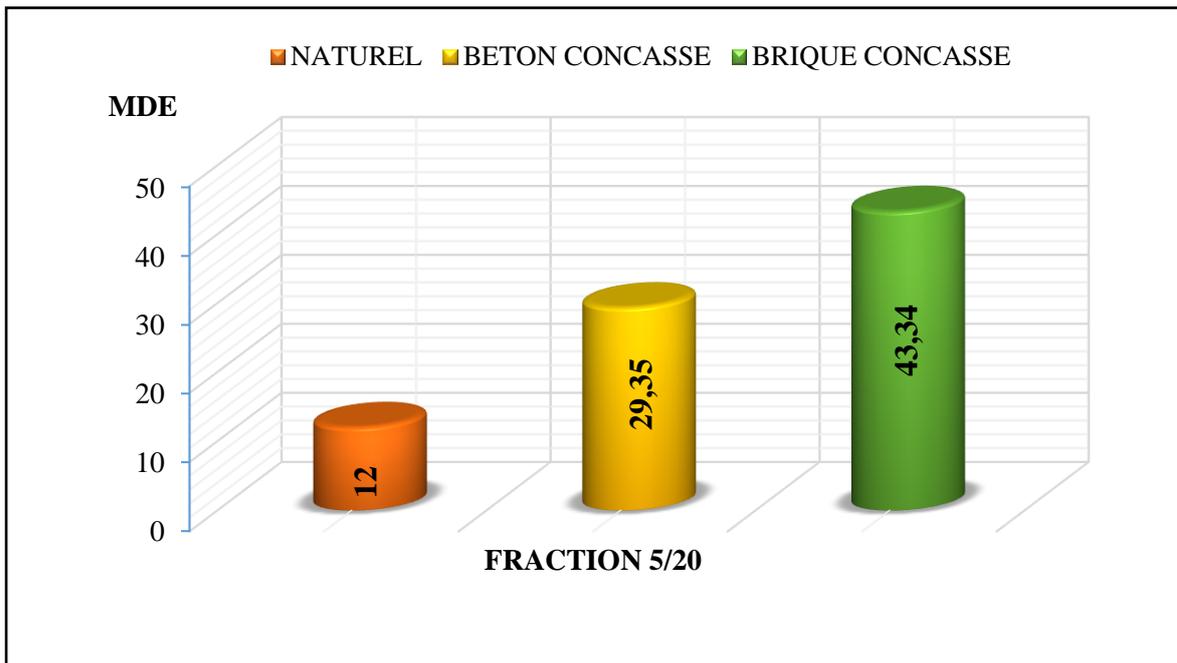
II.3.3.2/Caractéristiques mécaniques :

– Micro-Deval

Le tableau (II.7) récapitule les différents résultats obtenus lors des essais de caractérisation mécanique des granulats.

Fraction (5/20)	MDE
Naturel	12
Béton concasse	29,35
Brique concasse	43,34

Tableau II.7 : Caractéristiques mécaniques MDE des granulats naturels et recyclés



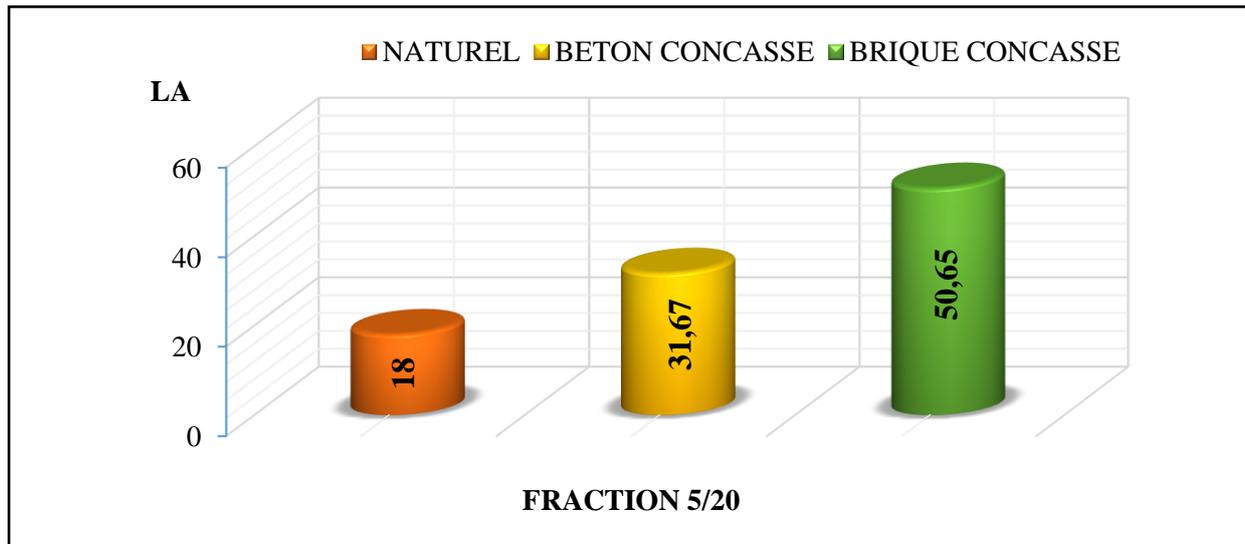
**Figure II.6:** Essais Micro-Deval sur les granulats naturels et recyclés

– **Los-Angeles**

Le tableau (II.8) récapitule les différents résultats obtenus lors des essais de caractérisation mécanique des granulats.

Fraction (5/20)	LA
Naturel	18
Béton concasse	31,67
Brique concasse	50,65

**Tableau II.8 :** Caractéristiques mécaniques LA des granulats naturels et recyclés



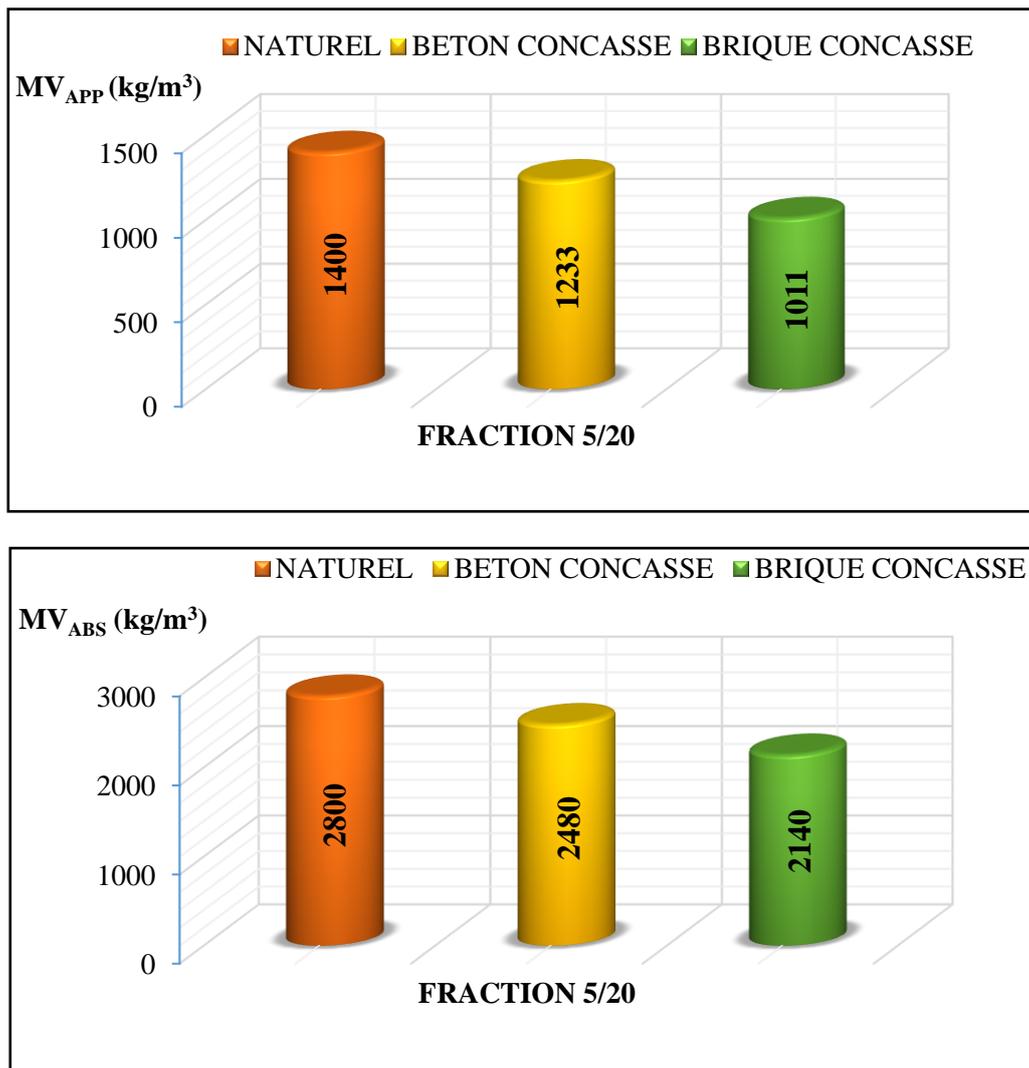
**Figure II.7 :** Essais Los-Angeles sur les granulats naturels et recyclés

D'après les résultats obtenus, les granulats naturels présentent de bonnes résistances de dureté (Choc et Usure), tandis que les granulats obtenus à partir des bétons démolis présentent de faibles résistances. Ceci est probablement la conséquence de la quantité de mortier que le béton recyclé contient, et la nature (dureté) des roches mères des granulats d'une part et l'âge, de la dégradation des bétons démolis (la carbonatation, l'alcali-réaction,) d'autre part. Toutefois, ces granulats présentent des valeurs à la limite pour le béton concassé et des valeurs supérieures pour le brique concassé de celles prescrites par les normes pour le béton hydraulique. Les normes limitent à la valeur de 40 pour l'essai Los Angeles et à la valeur de 35 pour l'essai Micro-Deval.

### II.3.3.3/Caractéristiques physiques :

#### – Masses volumiques apparentes et absolues

Les masses volumiques des granulats recyclés que ce soit apparentes ( $M_{v_{app}}$ ) ou absolues ( $M_{v_{abs}}$ ) sont sensiblement inférieures à celles des granulats naturels figure (II.8), ceci peut être expliqué par l'existence de la pâte cimentaire collée aux granulats recyclés qui est poreuse d'une part et la nature (densité intrinsèque) des roches sources de ces granulats d'autre part.



**Figure II.8 :** Masses volumiques apparentes et absolues des différents types de granulats.

– **Teneur en eau et l'absorption d'eau**

D'après la figure (II.9), les taux de teneur en eau et l'absorption d'eau des granulats recyclés sont très élevés par rapport aux granulats naturels, même ils dépassent la limite 5,5 % pour le brique concassé fixée par la norme XP P 18-541[74]. L'absorption est de 7 fois pour les graviers 5/20 et cela due à leur structure très poreuse comme le montre la figure (II.9).

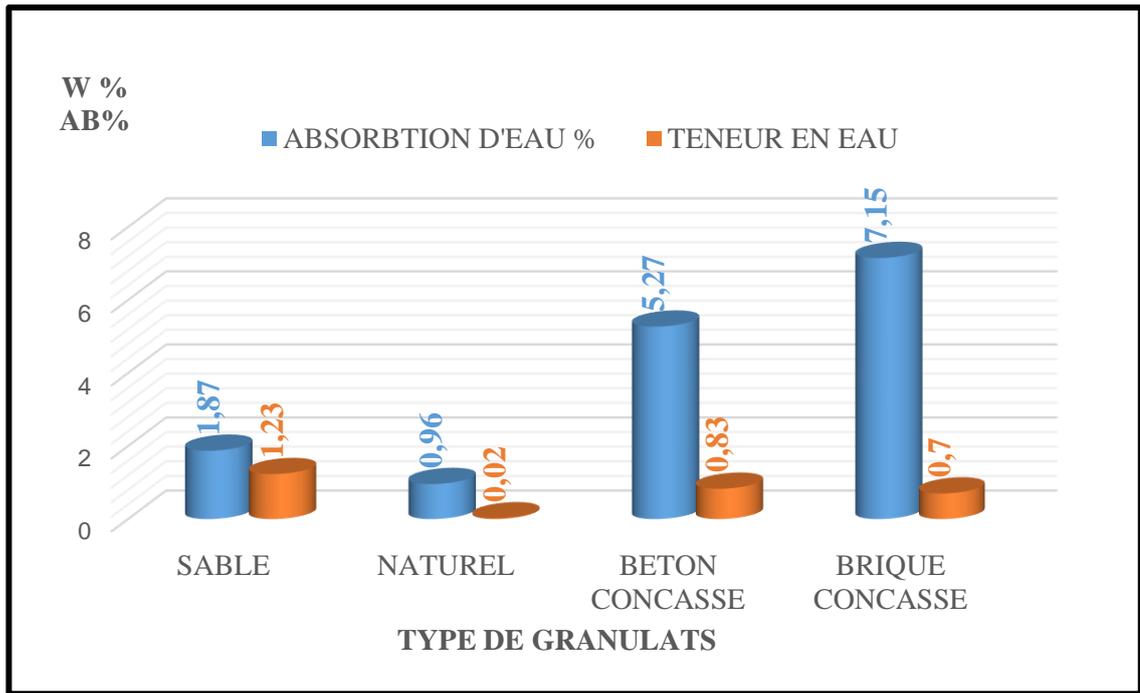
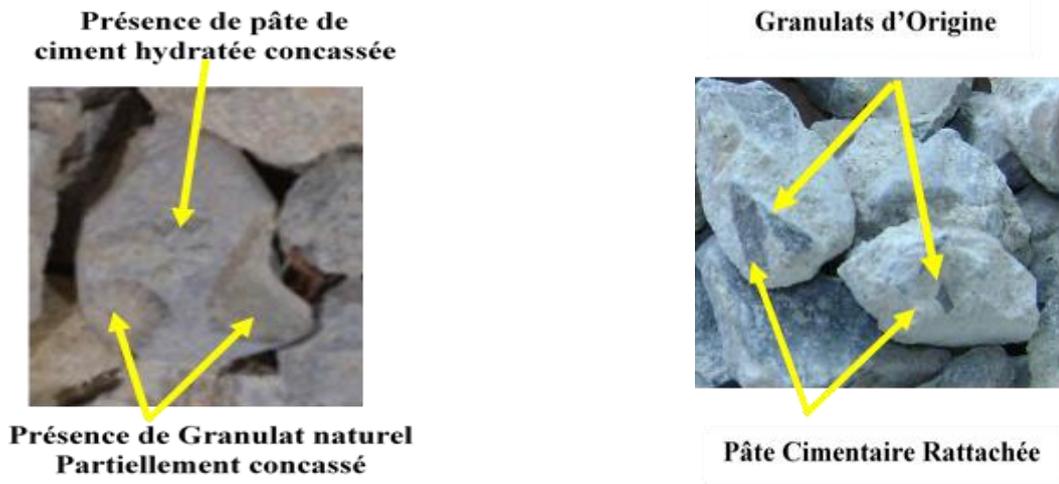


Figure II.9 : Teneur et absorption d'eau des différents types de granulats



Figures II.10 : Composition des granulats recyclés [55].

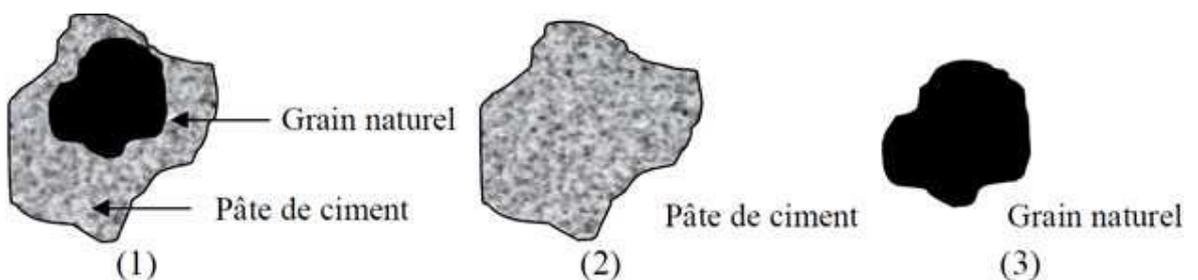


Figure II.11: Forme de granulat recyclé [55].

Les essais d'équivalent de sable confirmés par les essais au bleu méthylène montrent que le sable utilisé est propre et ne contient pas de fines argileuses, ce qui permet de dire qu'il est non plastique et qui n'est pas sujet de foisonnement.

Les graviers recyclés sont aussi propres que les graviers naturels et ceci s'est traduit par l'essai de propreté superficielle.

CARACTERISTIQUES	Unité	Type de granulats			
		Sable	Gravier		
		Naturel	Naturel	Béton concassé	Brique concassée
d/D	mm	0/5	5/20	5/20	5/20
Module de finesse (MF)	/	2.71	/	/	/
Los Angeles L.A (%)	/	/	18	31,67	50,65
Micro-Deval MDE (%)	/	/	12	29,35	43,34
Coéf. d'aplat (A)	/	/	13	12.09	34.5
Masse volumique apparente (M <sub>vapp</sub> )	Kg/m <sup>3</sup>	1440	1400	1233	1011
Masse volumique absolue (M <sub>vabs</sub> )	Kg/m <sup>3</sup>	2580	2800	2480	2140
Propreté superficielle (P)	%	/	1.88	3.05	0.84
Equivalent de sable (ES)%	V	83.24	/	/	/
	P	80			
Bleu de méthylène (VB)	%	0,36	/	/	/
Teneur en eau (W)	%	1.23	0.02	0.83	0.7
Absorption d'eau (AB)	%	1.87	0.96	5.27	7.15
Compacité (%)	/	55,81	50,00	49,72	47,24
Porosité (%)	/	44,19	50,00	50,28	52,76

Tableau II.9 : Les caractéristiques physiques des granulats utilisés

**II.3.4/ Les adjuvants :**

Nous avons testé un adjuvant sous forme de liquide, conformément à la norme EN 934-2 [75]. Un superplastifiant, le Medaplast SP 40 (voir Annexes), dont les principales caractéristiques physico-chimiques, fournies par les fabricants sont indiquées au Tableau (II.10) qui a donné de bons résultats en améliorant sensiblement la maniabilité des bétons même avec un minimum de pourcentage (0,6 % du poids de ciment).

Les caractéristiques principales	Medaplast SP 40
Couleur	Marron
Densité (t/m <sup>3</sup> )	1,2 ± 0,01
PH	8,2
Teneur en ions chlorures	< 1 g/L
Teneur en Na <sub>2</sub> O équivalent	--
Dosage recommandé par rapport du poids de ciment	0,6 à 2,5%

**Tableau II.10** : Les principales caractéristiques physicochimiques de l'adjuvant.

**II.4/FORMULATION ET MISE EN ŒUVRE DES BETONS****II.4.1/Méthode de formulation de béton :**

Les méthodes de formulation de béton permettent d'obtenir des dosages en constituants "volumétriques" ou "pondéraux" des différents constituants. Elles sont dites à granulométrie continue et à granulométrie discontinue. Pratiquement, la plupart des bétons utilisés actuellement sont à granularité continue [16].

Les performances requises pour un béton impliquent :

- Une consistance adaptée à sa destination.
- Des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours.
- Des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment ( $C_{\min}$ ) et un rapport E/C maximum (E/C) max.

La formulation du béton doit permettre de respecter les deux premières exigences avec un moindre coût, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment C le plus faible possible tout en vérifiant ( $C \geq C_{min}$ ) [17].

Les méthodes de formulation sont très nombreuses puisque les paramètres à prendre en compte dans l'étude de la composition d'un béton sont nombreux. Les plus utilisées sont associées aux noms de : Bolomey, Abrams, Faury, Valette, Joisel et Dreux-Gorisse. Cette dernière a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et en donnant satisfaction. Elle est très simple d'utilisation et se base sur la connaissance des courbes granulométriques des granulats utilisés [16].

#### **II.4.2/Formulation et préparation des bétons :**

La méthode de formulation des bétons utilisés dans cette étude est celle de Dreux-Gorisse [16]. La composition est calculée selon les données suivantes :

- Type de béton : Ordinaire.
- Diamètre maximal des granulats  $D_{max} = 20$  cm
- Les deux classes granulaires : 0/5 et 5/20.
- Ouvrabilité du béton : plastique (Affaissement au cône d'Abrams,  $Aff = (7 \pm 2)$  cm), qui est le paramètre le plus important pour la mise en œuvre des bétons.
- Serrage : vibration courante (table vibrante).
- Résistance caractéristique projetée à 28 jours pour tous les bétons  $R_{c28} = 20$  MPa.

Dosage en ciment des différents bétons est variable suivant chaque série des bétons. Il est de l'ordre de : 300, 350 et 400  $kg/m^3$

#### **II.4.3/Confection et cure des éprouvettes :**

Un type d'éprouvette utilisée dans cette étude, cubiques de (15x15x15 cm).

Les éprouvettes couvertes laissées à l'air libre sont démoulées après 24 heures et immergées sous l'eau à température ambiante.

Une moyenne de 3 éprouvettes de béton a été admise pour chaque essai.

**II.4.4/Composition des bétons :**

Trois séries de bétons ont été conçues la première série est partiellement composée des granulats de béton concassé (GBC), la deuxième pour les granulats issus du concassage de brique (GBR) et la troisième rassemble les deux types de granulats à proportions égales (GBC + GBR) dans chacune des trois série le taux de substitution des granulats naturels par les granulats recyclés a été varié de la même manière par cinq taux de remplacement distincts (0% , 30% , 50% , 70% , 100%), plus un béton conventionnel utilisés comme spécimens de contrôle pour tous les bétons.

**II.5/CONCLUSION**

L'analyse des résultats de la caractérisation des matériaux nous a permis de déduire que :

- La principale caractéristique des granulats de démolition est la présence aléatoire du vieux mortier collé aux granulats ce qui complique leur caractérisation exacte. Cette présence est inévitable et les propriétés physico-mécaniques des granulats recyclés seront dépendantes du volume de ce mortier.
- La vitesse d'absorption relative du granulat recyclé est plus grande que celle du granulat naturel. Cette propriété est donc importante à considérer lors de la préparation des bétons utilisant des granulats recyclés.
- Les caractéristiques intrinsèques des granulats recyclés sont sensiblement inférieures à celles des granulats naturels.
- La résistance à l'abrasion des granulats recyclés est plus faible que celle des granulats naturels.

La partie expérimentale consiste à valoriser les granulats recyclés dans le béton structural, et les comportements des bétons frais ainsi que les performances des bétons durcis sont évalués, présentés et discutés dans les chapitres suivants.

**CHAPITRE III :**

**COMPORTEMENT REHOLOGIQUE ET**

**MECANIQUE DE BETON SANS ADJUVANT**

**III/ COMPORTEMENT REHOLOGIQUE ET MECANIQUE DE BETONS SANS ADJUVANT :**

Ce chapitre porte sur l'influence des granulats recyclés sur les caractéristiques du béton frais et durci. Pour se faire, plusieurs mélanges de béton à différents pourcentages de substitution en granulats recyclés. En se basant sur la méthode de formulation de Dreux-Gorisse, le dosage de ciment est pris variable 300,350 et 400 kg/m<sup>3</sup> tout en gardant une ouvrabilité constante ( $A_{ff} = 7 \pm 2$  cm) et ceci pour toutes les combinaisons.

Les objectifs de cette étude expérimentale sont d'étudier :

- La relation entre le rapport E/C des bétons et le pourcentage de substitution en granulats recyclés.
- L'évolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats recyclés.
- Le développement de la résistance à la compression des bétons à base des agrégats de démolition au cours du temps.

Dans le cadre de cette étude, trois séries de bétons ont été conçues , la première série est partiellement composée des granulats de béton concassé (GBC), la deuxième pour les granulats issus du concassage de brique (GBR) et la troisième rassemble les deux types de granulats à proportions égales (GBC + GBR) dans chacune des trois série le taux de substitution des granulats naturels par les granulats recyclés a été varié de la même manière par cinq taux de remplacement distincts (0% , 30% , 50% , 70% , 100%).

Proportion GN/GBC/GBR (%)	Désignation des mélanges de béton
100/0/0	Béton témoin à base de 100% d'agrégats naturels
1 <sup>ère</sup> série	
70/30/0	Béton partiellement composé des granulats de béton concassé
50/50/0	
30/70/0	
0/100/0	
2 <sup>ème</sup> série	
70/0/30	Béton partiellement composé des granulats issus du concassage de brique
50/0/50	
30/0/70	
0/0/100	
3 <sup>ème</sup> série	
70/15/15	Béton partiellement composé des deux types de granulats à proportions égales
50/25/25	
30/35/35	
0/50/50	

**Tableau III.1** : Désignation des mélanges de béton avec les taux de remplacement.

\* GN/GBC/GBR : indiquent les pourcentages des gros granulats composant le mélange de béton à réaliser tel que :

GN : Pourcentage des gros granulats naturels

GBC : Pourcentage des gros granulats du béton concassé.

GBR : Pourcentage des gros granulats de brique concassé.

### III.1/COMPOSITION ET FORMULATION DES BETONS :

Un sable naturel a été utilisé pour la confection de béton standard. Les compositions des différents bétons non adjuvés confectionnés sont présentées par les tableaux (III.2, III.3 et III.4).

Composants	M <sub>v<sub>abs</sub></sub> T/m <sup>3</sup>	Unité	Types du Béton		
			BN	BC	BR
CEM II 42,5	3.10	Kg/m <sup>3</sup>	300	300	300
Sable Naturel 0/5	2.58		759.73	759.73	759.73
Gravier Naturel 5/20	2.80		1186.51	-	-
Gravier du béton concassé 5/20	2.48		-	1050.91	-
Gravier de brique concassé 5/20	2.14		-	-	906.83
G/S	-		1.56	1.38	1.19
Masse Volumique App. (M <sub>v<sub>app</sub></sub> )	-		1400	1233	1011

**Tableau III.2:** Compositions des différents bétons dosage 300 kg/m<sup>3</sup>.

Composants	M <sub>v<sub>abs</sub></sub> T/m <sup>3</sup>	Unité	Types du Béton		
			BN	BC	BR
CEM II 42,5	3.10	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350
Sable Naturel 0/5	2.58		742.67	742.67	742.67
Gravier Naturel 5/20	2.80		1159.86	-	-
Gravier du béton concassé 5/20	2.48		-	1027.31	-
Gravier de brique concassé 5/20	2.14		-	-	886.47
G/S	-		1.56	1.38	1.19
Masse Volumique App. (M <sub>v<sub>app</sub></sub> )	-		1400	1233	1011

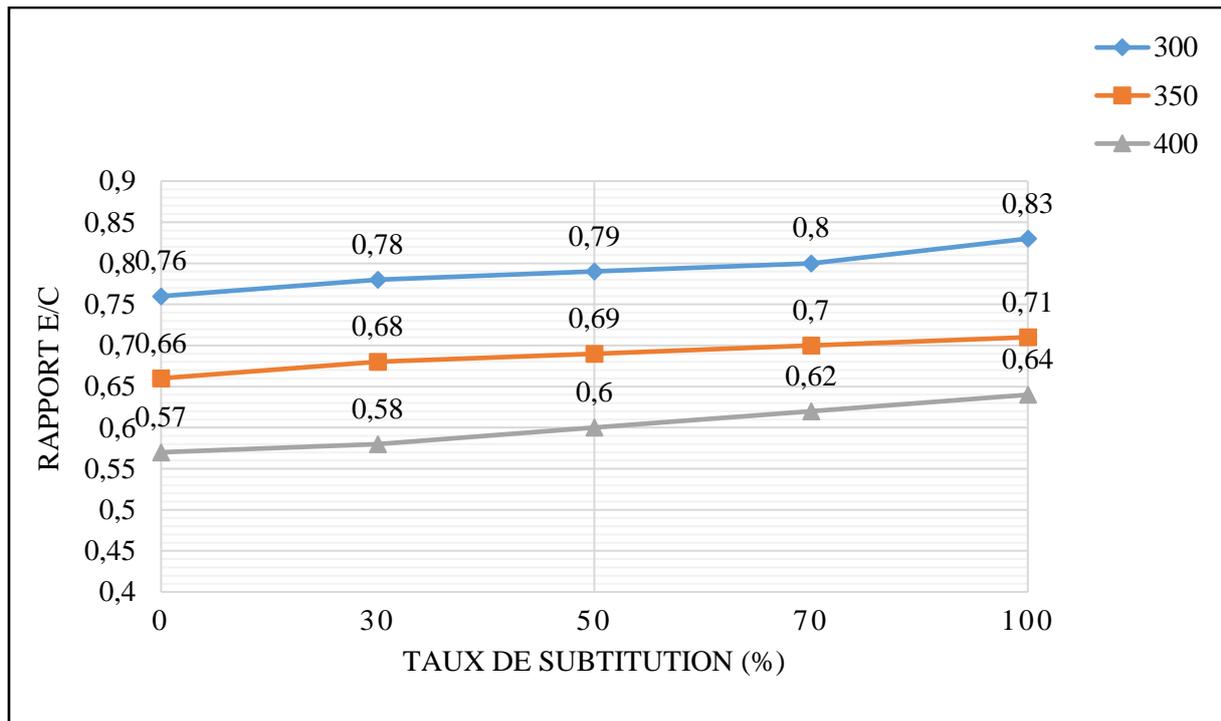
**Tableau III.3:** Compositions des différents bétons dosage 350 kg/m<sup>3</sup>.

Composants	M <sub>v<sub>abs</sub></sub> T/m <sup>3</sup>	Unité	Types du Béton		
			BN	BC	BR
CEM II 42,5	3.10	Kg/m <sup>3</sup>	400	400	400
Sable Naturel 0/5	2.58		725.61	725.61	725.61
Gravier Naturel 5/20	2.80		1133.22	-	-
Gravier du béton concassé 5/20	2.48		-	1003.71	-
Gravier de brique concassé 5/20	2.14		-	-	866.10
G/S	-		1.56	1.38	1.19
Masse Volumique App. (M <sub>v<sub>app</sub></sub> )	-		1400	1233	1011

**Tableau III.4:** Compositions des différents bétons dosage 400 kg/m<sup>3</sup>.

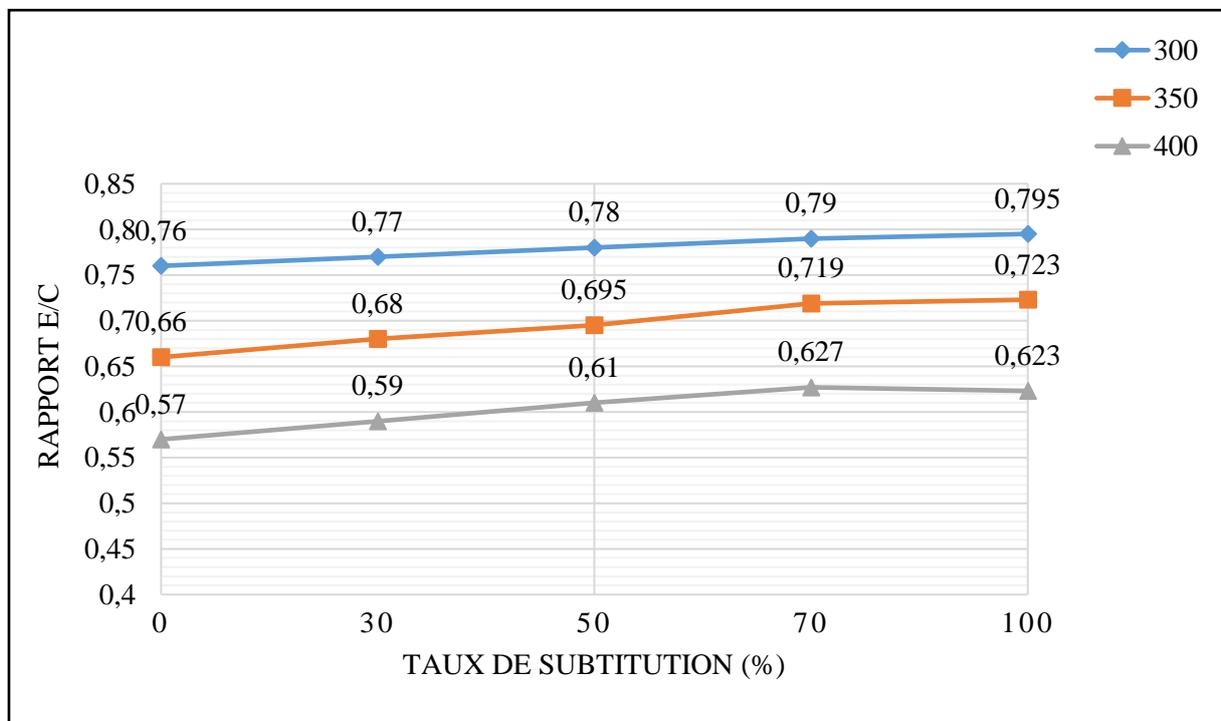
### III.1.1/Consistance des bétons frais

Comme tous les mélanges de béton sont préparés avec un affaissement imposé ( $A_{ff} = 7 \pm 2$  cm) fourchette des bétons plastiques, ce qui est plus répandu dans les chantiers de coulage de béton.

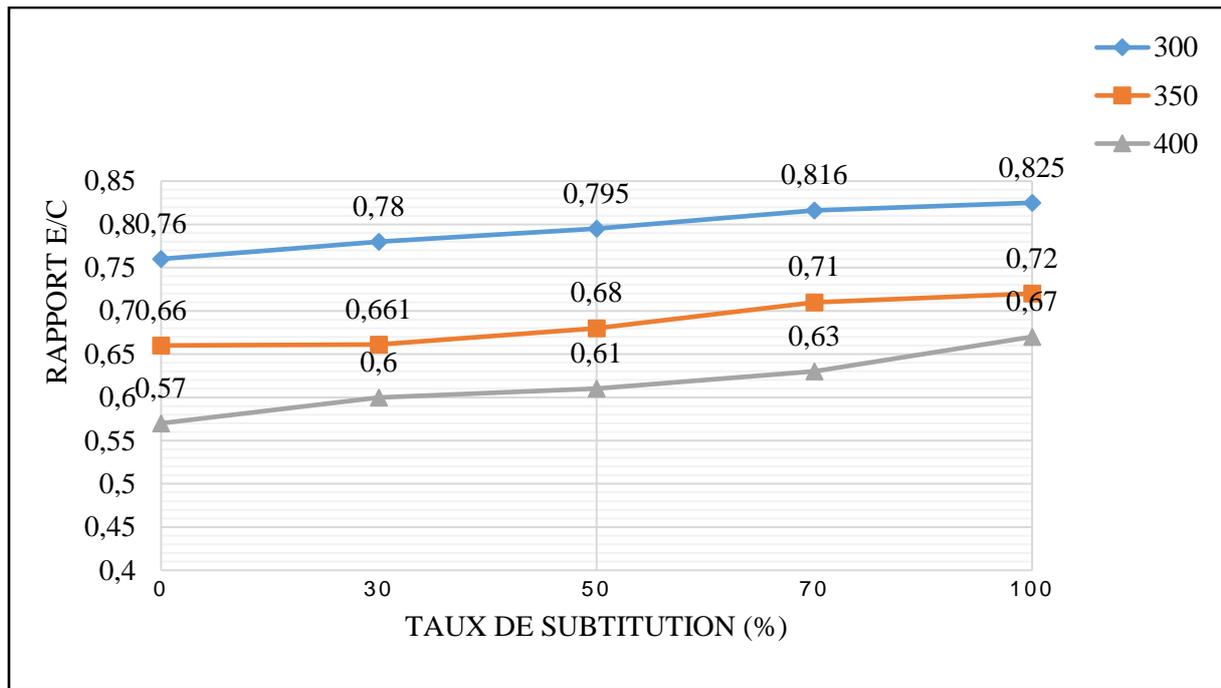


**Figure III.1:** Rapport E/C des bétons partiellement composé des granulats de béton pour des dosages de ciment respectifs 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.

On remarque que le rapport (Eau/Ciment) augmente suivant le taux de substitution en granulats recyclés pour des différents dosages de ciment respectifs 300,350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.



**Figure III.2 :** Rapport E/C des bétons partiellement composé des granulats de brique pour des dosages de ciment respectifs 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.

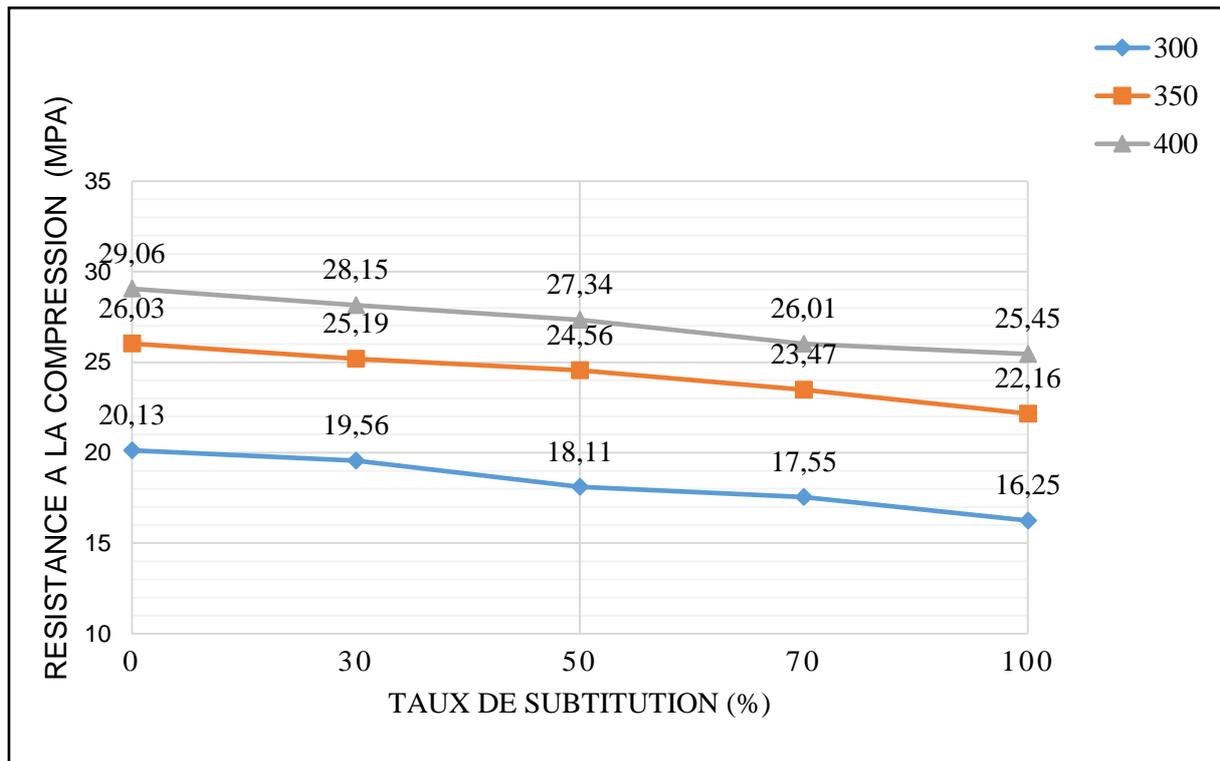


**Figure III.3 :** Rapport E/C des bétons partiellement composés en granulats combinés de béton et de briques concassés pour des dosages de ciment respectifs 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.

D'après les figures (III.1 à III.3) on remarque que le rapport E/C des différents mélanges qui varie dans le même sens que le taux de substitution en granulats recyclés. Cela se traduit par la présence de l'ancien mortier attaché aux granulats recyclés provenant du concassage de béton (GBC) qui est caractérisé par l'absorption d'eau (5.27%) tandis que pour les granulats, issus du concassage de brique (GBR), ont une porosité élevée, plus la nature du matériau d'origine argileux (Absorption 7.15%). On note aussi que le rapport E/C d'une même composition de béton diminue suite à un dosage élevé en ciment.

### III.2/RESISTANCE A LA COMPRESSION DES BETONS

Nous remarquons d'après les figures (III.4, III.5 et III.6) que les bétons à base des granulats recyclés présentent des résistances à la compression faible que les bétons conventionnels, et que la chute de résistance diminue dès qu'en faisant augmenter le dosage de ciment, on peut faire un résumé sur la chute de résistance à 28 jours en fonction de la nature et le taux de substitution de granulats recyclés ainsi que du dosage de ciment comme suit :



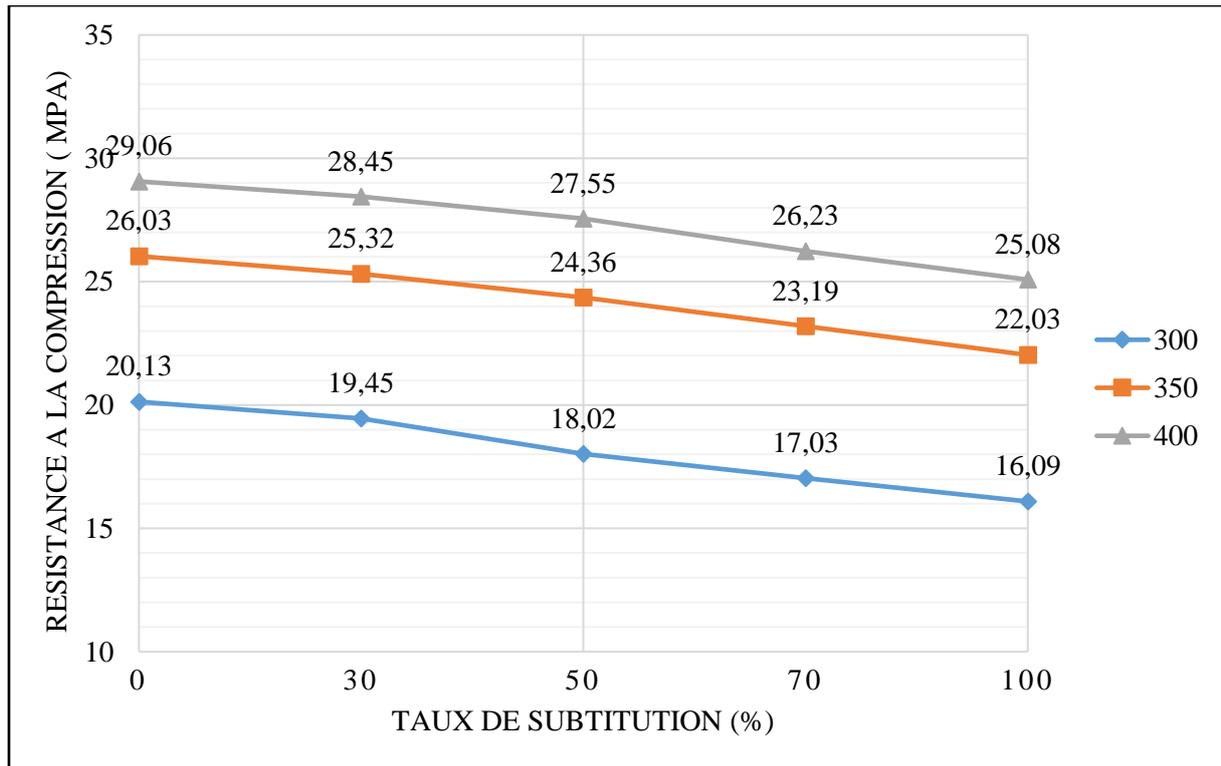
**Figure III.4:** Evolution de la résistance à la compression des bétons à 28 jours en fonction du pourcentage de substitution en granulats de béton de démolition pour des dosages de ciment respectifs 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les bétons à base des agrégats issus du concassage de béton de démolition, avec un taux de substitution plus de 30% une chute de résistance excède :

10.03 % pour un dosage de ciment de 300 kg /m<sup>3</sup>.

5.64 % pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>.

5.91 % pour un dosage de 400 kg /m<sup>3</sup>.



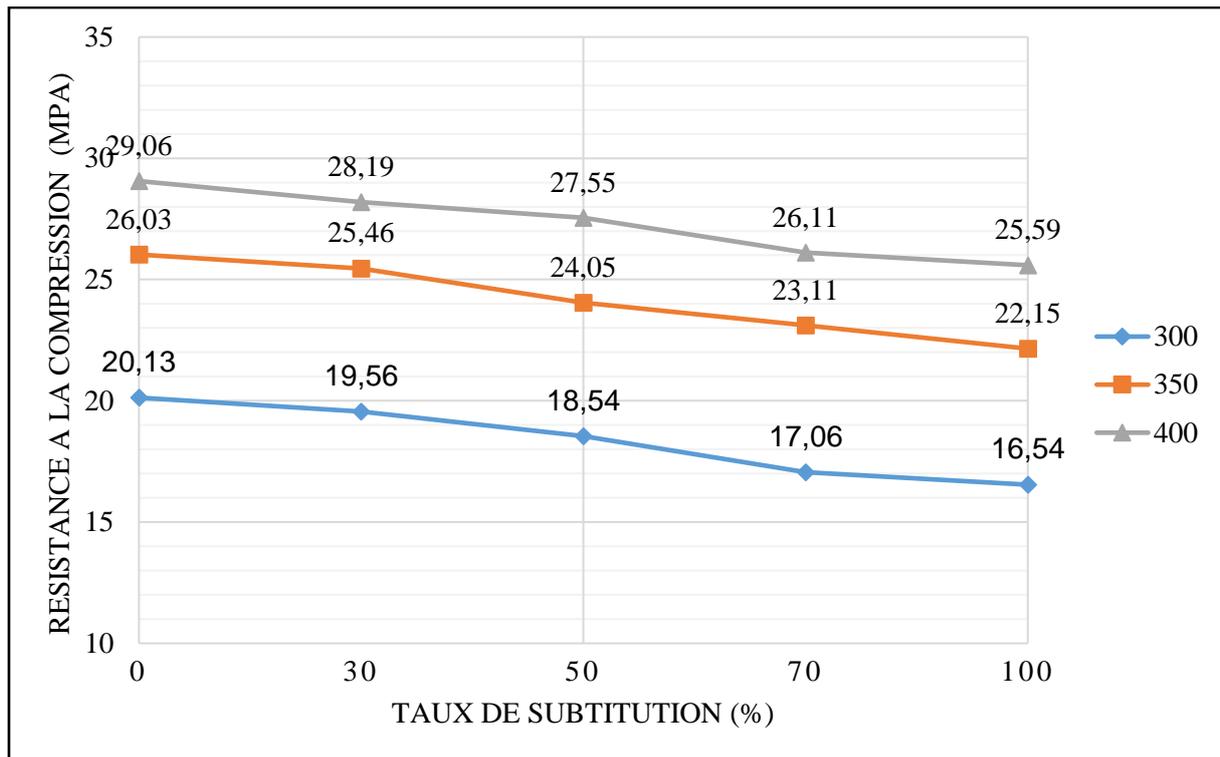
**Figure III.5 :** Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction du pourcentage de substitution en granulats de brique concassé pour des dosages de ciment respectifs 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les bétons à base des agrégats de concassé de brique dont le taux de substitution dépassant 30% une chute de résistance de plus de :

10.48 % pour un dosage de ciment de 300 kg /m<sup>3</sup>.

6.41 % pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>.

5.19 % pour un dosage de 400 kg /m<sup>3</sup>.



**Figure III.6 :** Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction des pourcentages de substitution en granulats combinés de béton et de briques concassés pour des dosages de ciment respectifs 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les bétons à base des agrégats combinés (à proportions égales) de concassé de brique et de béton et pour un taux de substitution plus de 30% une chute de résistance de :

7.89 % pour un dosage de ciment de 300 kg /m<sup>3</sup>.

7.61 % pour un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>.

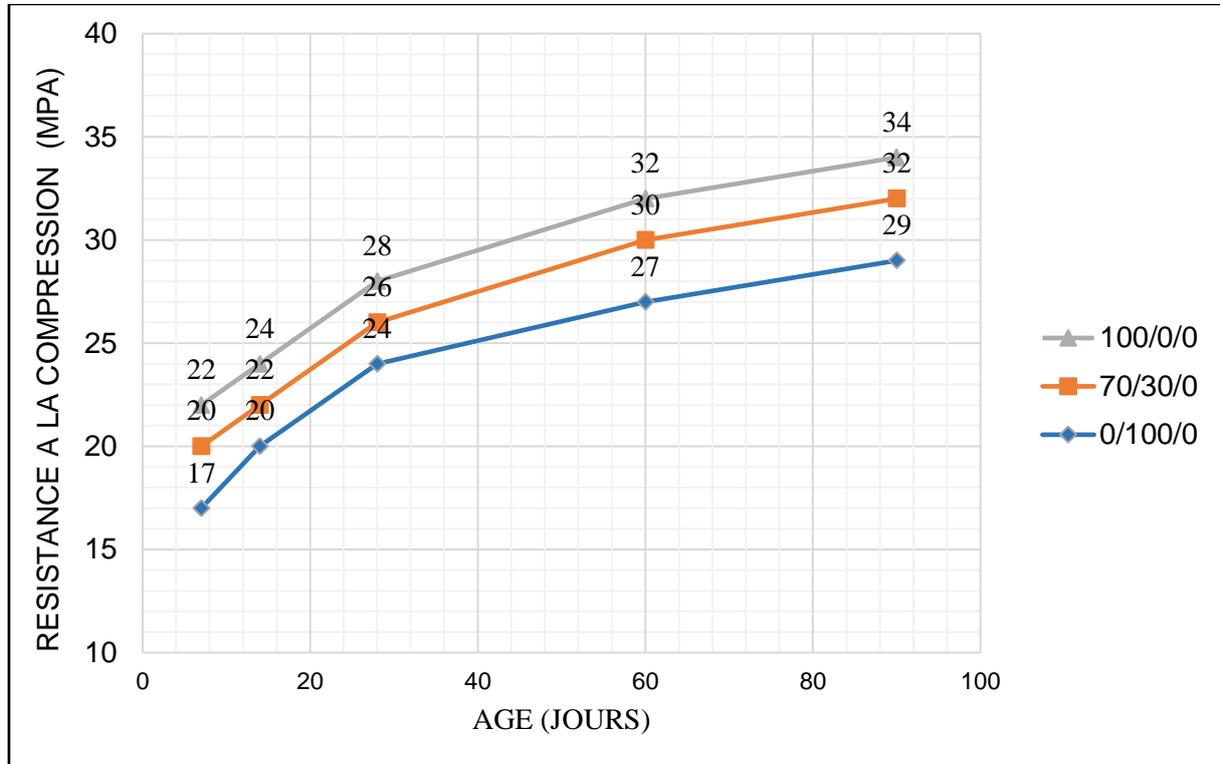
5.19 % pour un dosage de 400 kg /m<sup>3</sup>.

### III.3/RESISTANCE A LA COMPRESSION DES BETONS EN FONCTION DU TEMPS

#### III.3.1/Développement de la résistance au cours du temps

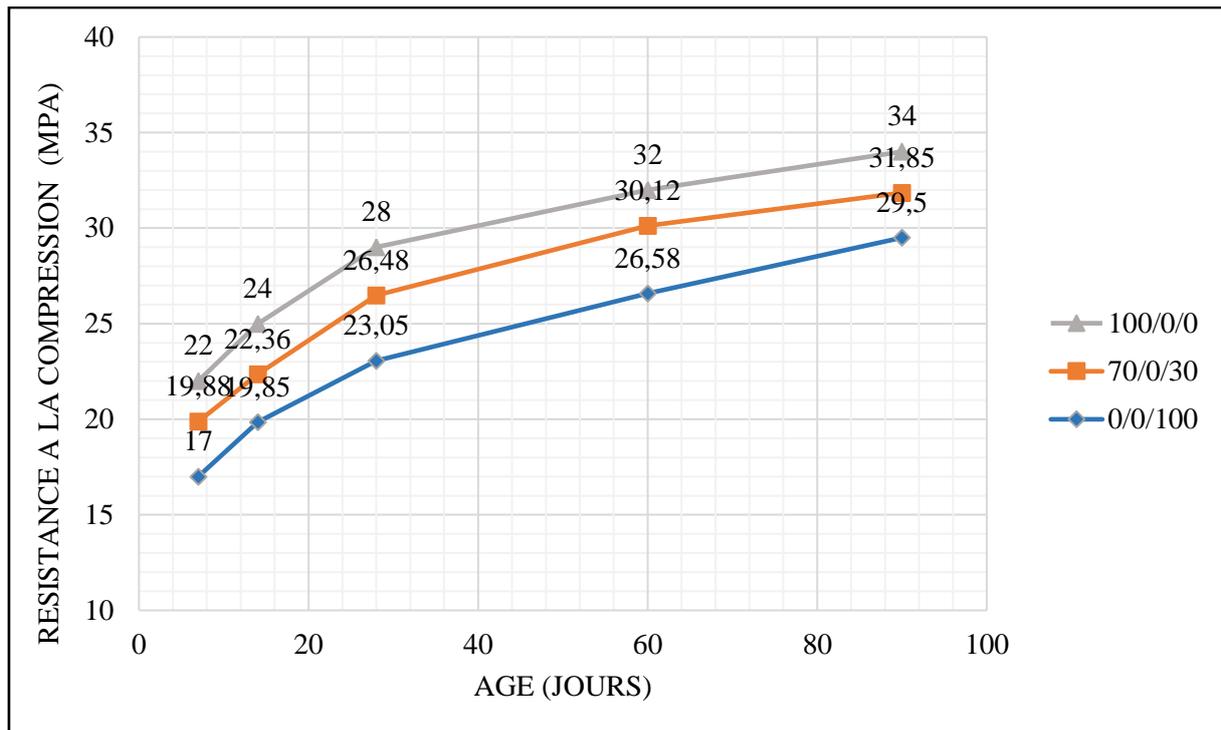
Dans cette partie, l'étude de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps a été effectuée sur la meilleure et la mauvaise composition de chaque série de béton déjà définies précédemment ainsi que sur le béton témoin afin de suivre le développement de la résistance à long terme. D'après les figures (III 7, III 8 et III 9), on constate que l'évolution de la résistance suivant l'âge des bétons à base des différents types d'agrégats recyclés (agrégats de béton concassé ou concassé de brique ou le mélange des deux à la fois) se comporte d'une

manière analogue que celle du béton conventionnel, cela nous laisse conclure que le développement du phénomène d'hydratation du ciment dans les bétons recyclés se déroule normalement et suit une augmentation avec l'âge.



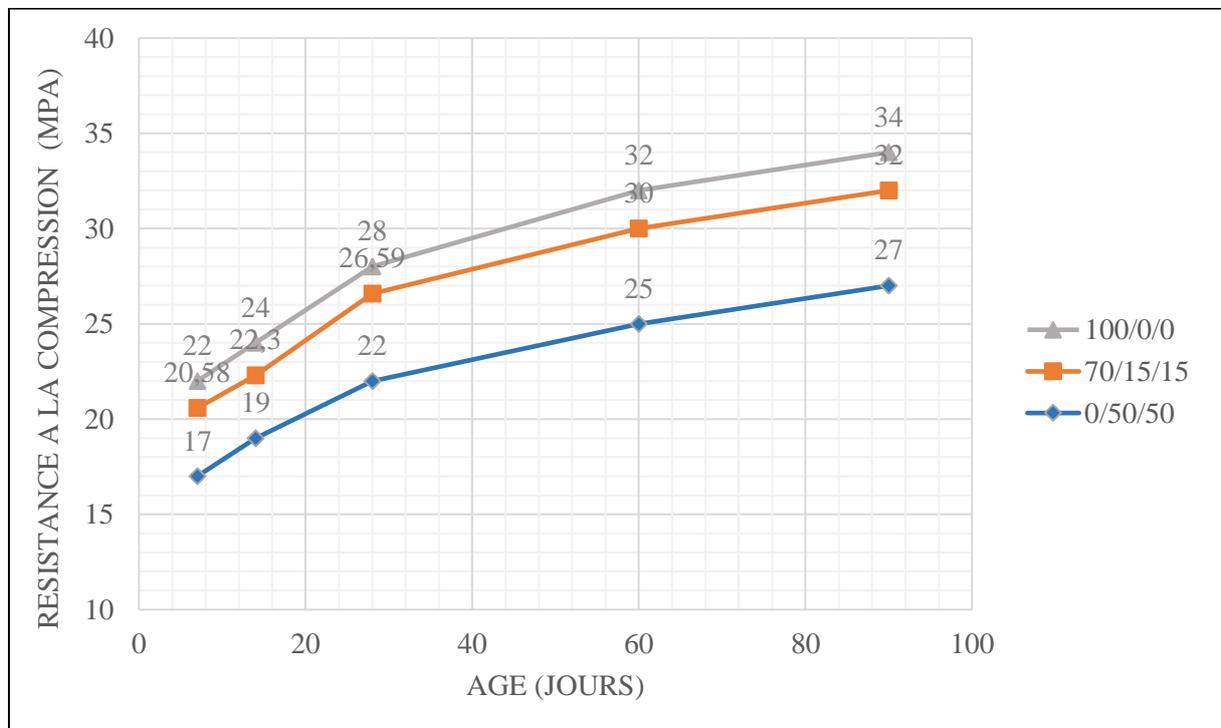
**Figure III.7:** Développement de la résistance des bétons à base des agrégats de béton de démolition en fonction du temps

Pour les bétons à 100% d'agrégats de concassé de béton la perte de résistance commence par 22.72% à jeune âge et arrive à l'ordre de 14.71% à 90 jours.



**Figure III.8:** Développement de la résistance des bétons à base des agrégats de brique en fonction du temps.

Pour les bétons à 100% d'agrégats de concassé de brique la perte de résistance débute par 22.72% à jeune âge et arrive à l'ordre de 13.23% à 90 jours.



**Figure III.9:** Développement de la résistance des bétons à base des agrégats combinés en fonction du temps.

Pour les bétons à base d'agrégats combinés la perte de résistance commence par 22.72% à jeune âge et arrive à l'ordre de 20.59% à 90 jours.

Finalement pour les bétons dont le taux de substitution des agrégats naturels par les agrégats recyclés de différents types ne dépassant pas le taux optimal 30%, la perte de résistance à long terme reste acceptable, alors on pourra conclure que l'écart de la perte de résistance des bétons à base d'agrégats recyclés marquée à jeune âge reste stable ou s'élève légèrement au cours du temps, ce qui présente un avantage pour ces types de béton.

**III.4/ CONCLUSION :**

D'après la série des essais effectuée sur le béton sans adjuvant frais et durci, on peut tirer les conclusions suivantes :

- L'absorption d'eau par les granulats recyclés est bien évidente et ne peut être quantifiée avec certitude vu le caractère aléatoire du vieux mortier collé aux granulats.
- Les valeurs de caractérisation mécanique des granulats recyclés et qui sont à la limite admissible par la normalisation, est reflétée par les performances mécaniques des bétons à base de ces recyclés.
- Pour les plus hauts taux de remplacement, les granulats recyclés ont généralement un impact négatif sur les résistances mécaniques et les propriétés liées à la durabilité des bétons.
- L'application des granulats recyclés a permis de mettre en évidence qu'ils peuvent fournir un béton de résistance caractéristique à 28 jours bien supérieure à 20 MPa, valeur admise antérieurement dans la formulation du béton avec beaucoup plus de méfiance quant à son comportement.

**CHAPITRE IV :**

**COMPORTEMENT REHOLOGIQUE ET**

**MECANIQUE DE BETON AVEC ADJUVANT**

#### IV/ COMPORTEMENT REHOLOGIQUE ET MECANIQUE DE BETON AVEC ADJUVANT :

On a constaté dans le chapitre précédent que la demande en eau de gâchage des bétons formulés est importante, d'où on a jugé utile d'optimiser le dosage en eau par l'emploi d'un superplastifiant SP 40, ce qui améliorerait probablement les comportements rhéologiques et les propriétés mécaniques des bétons

On a maintenu le dosage en ciment et la consistance des bétons constants ( $C = 350 \text{ kg/m}^3$ ) et  $A_{ff} = (7 \pm 2 \text{ cm, béton plastique})$ , afin de comparer les résultats obtenus avec ceux de la deuxième série (béton partiellement composé des granulats issus du concassage de brique).

##### IV.1/COMPOSITION ET FORMULATION DES BETONS :

Les compositions des différents bétons confectionnés dans cette série sont présentées par les tableaux (IV.1, IV.2 et IV.3).

Composants	Mvabs T/m <sup>3</sup>	Unité	Brique concassé				
			0	30	50	70	100
CEM II 42,5	3.10	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350	350
Eau sans adjuvant	Calculée	Litres	197.36	197.36	197.36	197.36	197.36
	Ajouté		33.64	40.64	45.89	54.29	55.69
	Total		231	238	243.25	251.65	253.05
Superplastifiant SP 40	1,20	% du C	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Eau avec adjuvant	Calculée	Litres	197.36	197.36	197.36	197.36	197.36
	Ajouté		31.95	38.12	42.36	50.12	50.19
	Total		229.31	235.48	239.72	247.48	247.55
% de chute d'eau		%	5.02	6.20	7.69	7.68	9.87

**Tableau IV.1** : Composition de béton avec adjuvant formulé à 0.6%

Composants	Mvabs T/m <sup>3</sup>	Unité	Brique concassé				
			0	30	50	70	100
CEM II 42,5	3.10	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350	350
Eau sans adjuvant	Calculée	Litres	197.36	197.36	197.36	197.36	197.36
	Ajouté		33.64	40.64	45.89	54.29	55.69
	Total		231	238	243.25	251.65	253.05
Superplastifiant SP 40	1,20	% du C	1	1	1	1	1
Eau avec adjuvant	Calculée	Litres	197.36	197.36	197.36	197.36	197.36
	Ajouté		30.61	36.18	42.16	49.13	50.12
	Total		227.97	233.54	239.52	246.49	247.48
% de chute d'eau		%	9	10.97	8.13	9.50	10

**Tableau IV.2** : Composition de béton avec adjuvant formulé à 1%

Composants	Mvabs T/m <sup>3</sup>	Unité	Brique concassé				
			0	30	50	70	100
CEM II 42,5	3.10	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350	350
Eau sans adjuvant	Calculée	Litres	197.36	197.36	197.36	197.36	197.36
	Ajouté		33.64	40.64	45.89	54.29	55.69
	Total		231	238	243.25	251.65	253.05
Superplastifiant SP 40	1,20	% du C	2	2	2	2	2
Eau avec adjuvant	Calculée	Litres	197.36	197.36	197.36	197.36	197.36
	Ajouté		30.15	36.08	40.89	48.45	49.74
	Total		227.51	234.16	238.25	245.81	247.1
% de chute d'eau		%	10.37	9.45	10.89	10.75	10.68

**Tableau IV.3 :** Composition de béton avec adjuvant formulé à 2%

Le fort dosage (2%) du superplastifiant est enregistré dans le tableau (IV.3), mais la quantité d'eau n'a pas diminué autant < 11%, cela est due à la structure poreuse des granulats recyclés, et l'adjuvant est absorbé avec l'eau par les granulats.

On a constaté que l'influence du superplastifiant sur le dosage en eau des bétons est faible et avec différents taux de substitution.

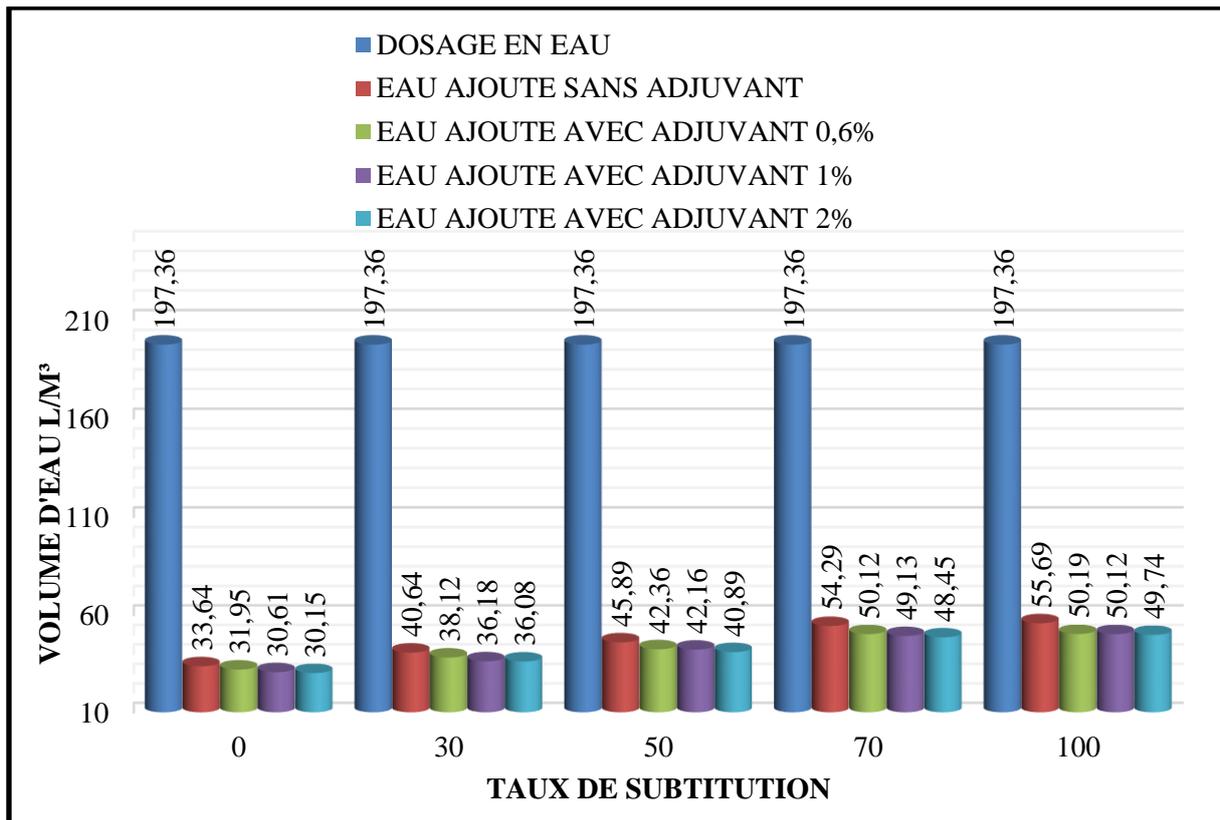
## IV.2/EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS FRAIS :

Les essais réalisés sur les bétons frais sont la mesure de l'ouvrabilité du béton, qui est évaluée à l'aide du cône d'Abrams, et la mesure de la densité réelle du béton.

### IV.2.1/Dosage en eau et en superplastifiant :

Le dosage en ciment est constant, d'où les quantités d'eau et du superplastifiant nécessaires pour la mise en œuvre des bétons dépendent essentiellement de la nature et la qualité des granulats utilisés.

La figure (IV.1) représente respectivement, les valeurs de dosage en eau et Superplastifiant pour les différents taux de substitution du béton de brique concassée, et une comparaison avec et sans adjuvant.



**Figure IV.1** : Comparaison des dosages en eau de bétons avec et sans adjuvants.

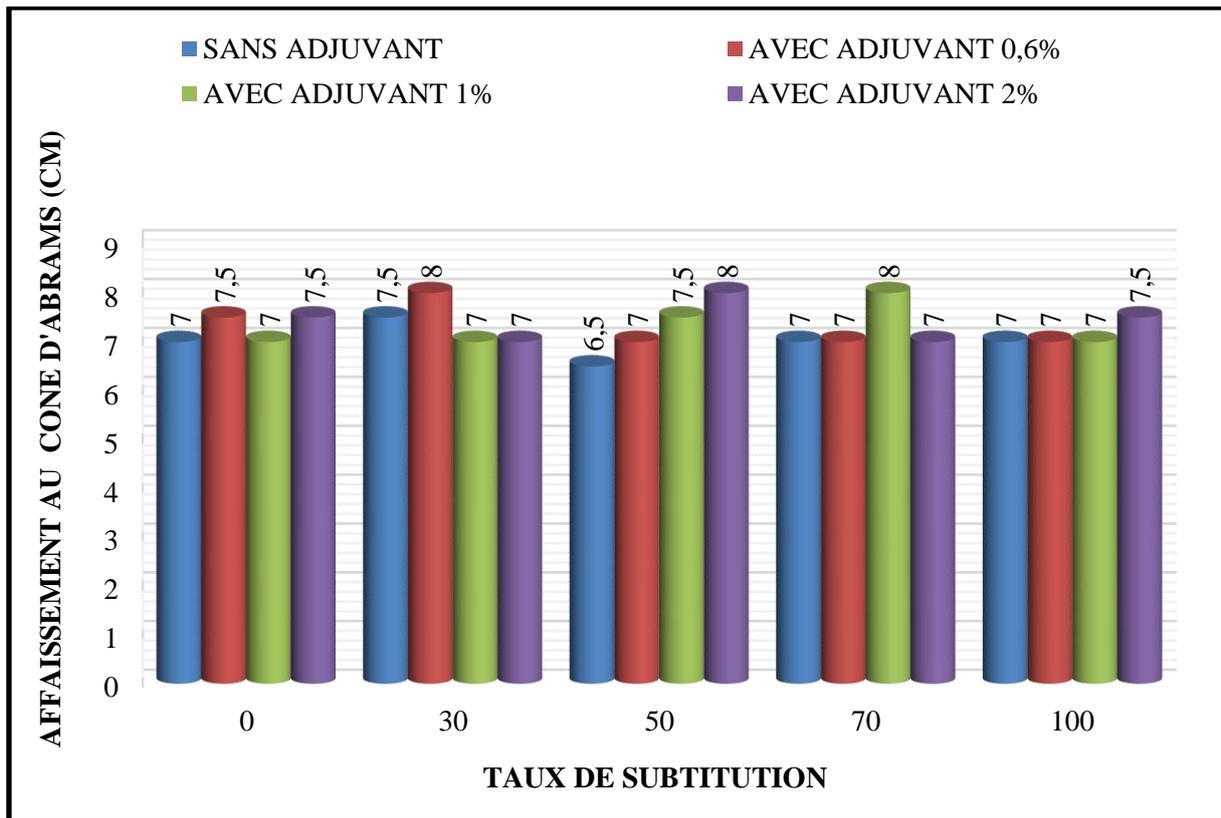
On a constaté que l'influence du superplastifiant sur le dosage en eau des bétons augmente selon le dosage d'adjuvant et selon le taux de substitution, due à la structure poreuse des granulats recyclés, et l'adjuvant est absorbé avec l'eau par les granulats.

- **Etude comparative des bétons sans et avec adjuvants au niveau de la consistance :**

Le rôle principal du superplastifiant est de réduire la teneur en eau en gardant une même maniabilité du béton.

En général, l'ouvrabilité des bétons adjuvés est améliorée par rapport à celle des bétons sans adjuvants (figure IV.2) même si cette amélioration n'est pas celle escomptée.

Il est à signaler la difficulté d'avoir une consistance du béton fixe, puisqu'il intervient plusieurs facteurs, la nature et la structure des granulats, la conduite de l'essai lui-même : le mouillage du moule, l'énergie du piquage, l'enlèvement du moule et l'inclinaison du plateau.



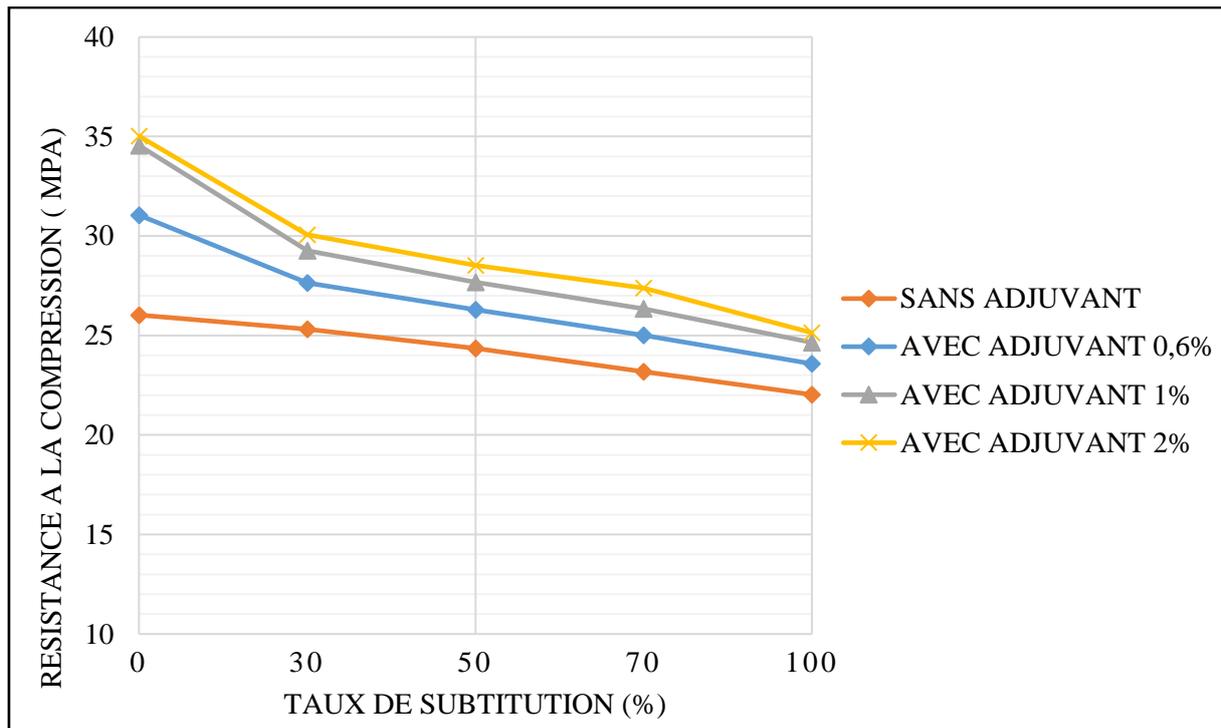
**Figure IV.2:** Comparaison des consistances de bétons avec et sans adjuvants des différents dosages.

### IV.3/EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS DURCIS :

Les essais réalisés sur les bétons durcis sont la mesure des résistances à la compression

#### IV.3.1/Résistance à la compression :

Les résultats de mesure des résistances à la compression des bétons adjuvés à 28 jours avec un dosage en ciment constant sur béton recyclé de déchet de brique sont illustrés par la figure (IV.3).



**Figure IV.3 :** Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclés de déchet de brique sans et avec adjuvants à 28 jours avec un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup>.

L'incorporation du superplastifiant avec les dosages 0.6, 1 et 2 % a donné une amélioration de la résistance à la compression à 28 jours du béton recyclé de déchet de brique.

Pour les bétons à base des agrégats issus du concassage de brique, avec un taux de substitution plus de 30%, une augmentation de résistance selon l'accroissement du dosage de l'adjuvant :

7.96% pour un dosage d'adjuvant de 0.6%.

13.63% pour un dosage d'adjuvant de 1%.

17.07% pour un dosage d'adjuvant de 2%.

IV.3.2/Comparaison entre les résultats des bétons sans adjuvant et avec adjuvant :

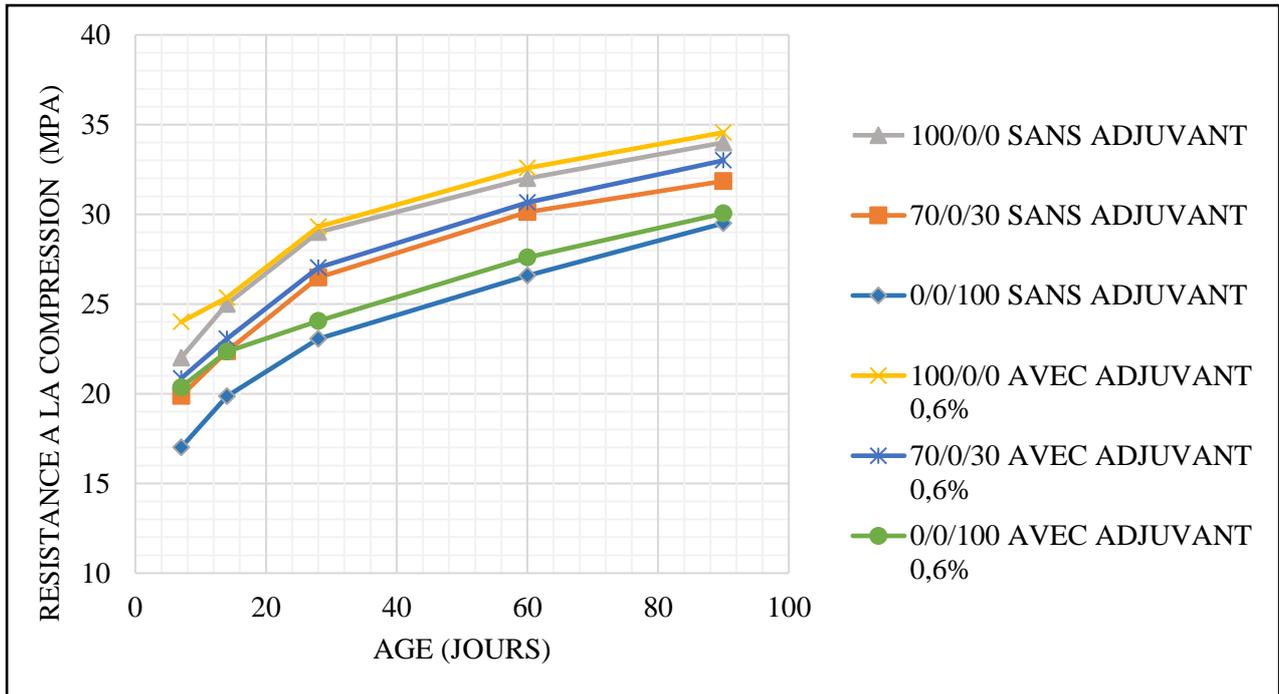


Figure IV.4 : Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants dosage 0.6 %.

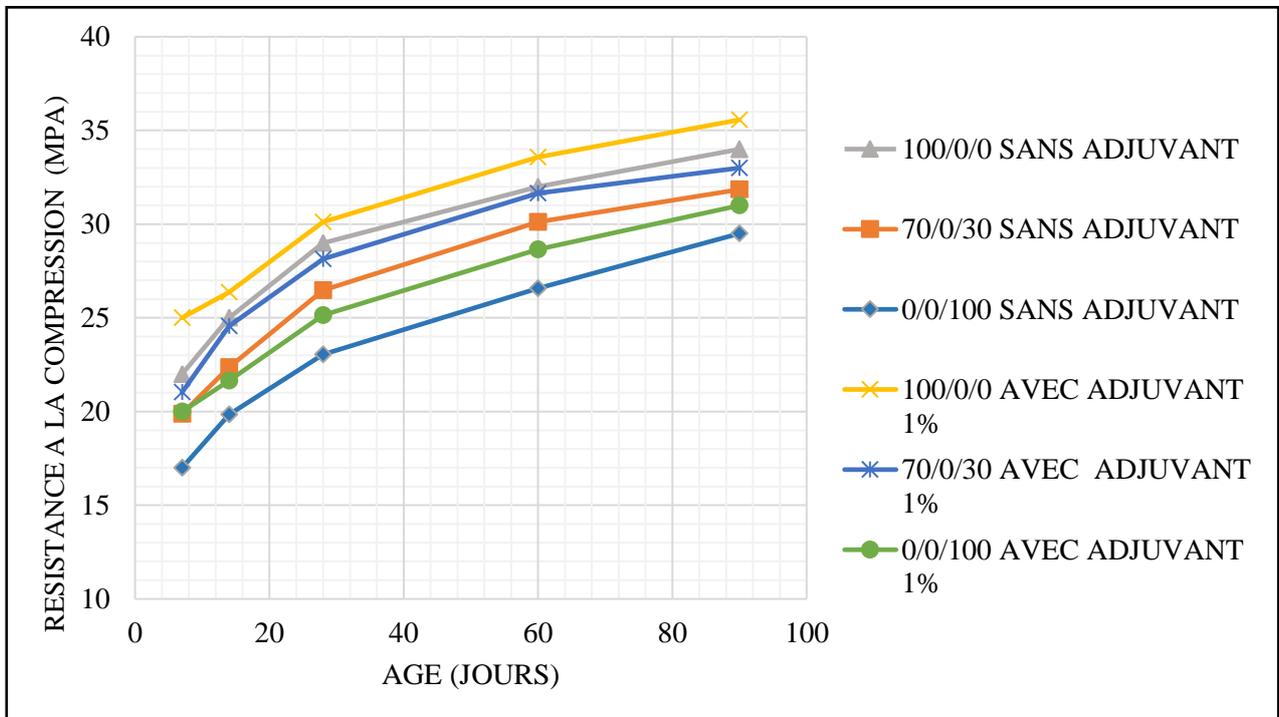
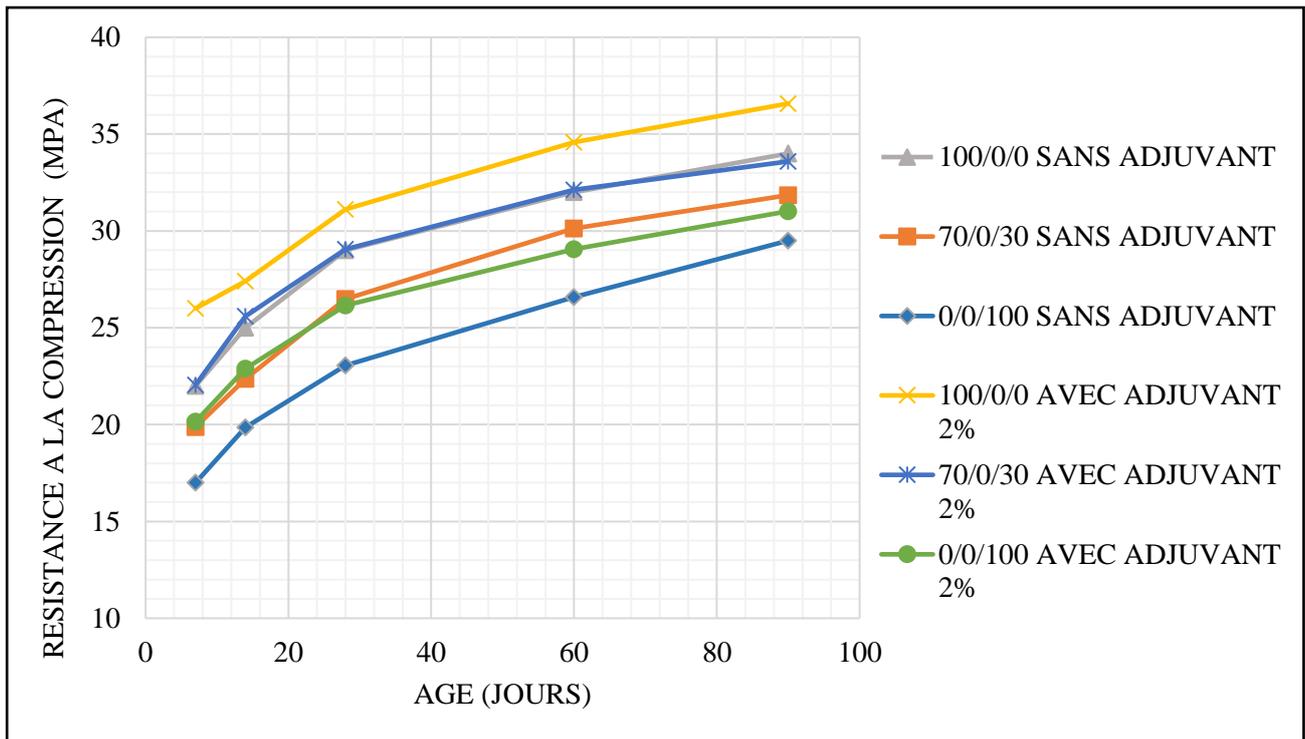


Figure IV.5: Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants dosage 1 %.



**Figure IV.6 :** Comparaison des résistances à la compression des bétons recyclé du déchet de brique sans et avec adjuvants dosage 2 %.

Les résistances à la compression de tous les bétons sont améliorées par l’ajout du superplastifiant.

A 7 jours, les résistances à la compression de tous les bétons adjuvés, ont dépassé la résistance visée à 28 jours (20 MPa). Evolution de la résistance à la compression des béton adjuvés est plus performant en fonction du temps par rapport au béton non adjuvés, La meilleure amélioration de la résistance à la compression est observée pour le béton recyclé incorporant un dosage d’adjuvant de 2%.

**IV.4/CONCLUSION :**

D'après les résultats obtenus sur les différents bétons adjuvés, les enseignements qui peuvent être tirés sont les suivants :

- L'ajout de superplastifiant améliore le comportement des différents bétons au jeune âge et leur permet de dépasser la résistance visée à 28 jours.
- Pour une même consistance (plastique), les résistances de béton, ont été remarquablement améliorées par l'ajout de superplastifiant, et cela à toutes les échéances.
- Le gain en résistance apporté par le superplastifiant pour le cas des bétons à base de granulats recyclés n'est pas aussi palpable. Face à des granulats à forte porosité la recommandation d'adjuvant ne se fait sentir, puisque celui-ci va se diluer dans l'eau et par conséquent être absorbé par les granulats.

# **CONCLUSION GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE**

Ce travail de recherche rentre dans le cadre de la valorisation des matériaux de démolition en tant que source de granulats pour les bétons hydrauliques. Dans ce contexte, il est aisé d'entrevoir l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter l'utilisation des granulats recyclés.

Ce projet de fin d'étude s'est axé sur l'étude de cette valorisation en étudiant certaines propriétés des granulats recyclés et des bétons de granulats recyclés à l'état frais et durci.

L'étude bibliographique a montré l'influence négative de la pâte de ciment (présent dans la composition des granulats recyclés) sur les caractéristiques rhéologiques du béton frais et sur les propriétés mécaniques des bétons de granulats recyclés de béton. Cette présence est inévitable et les propriétés physico-mécaniques de ces granulats sont dépendantes du volume et qualité de ce mortier. Ce qui a compliqué la caractérisation exacte de ces granulats.

Il est donc essentiel de maîtriser la quantité et la qualité de la pâte de ciment présent sur les granulats d'origine afin de comprendre leur influence sur les propriétés des bétons de granulats recyclés de béton.

La meilleure méthode de démolition est la déconstruction sélective, qui est plus couteuse, mais assure des granulats de bonne qualité.

L'absorption d'eau très élevée et la résistance mécanique des granulats recyclés ont freiné leur utilisation dans le béton structurel, par le suspect d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité, l'insuffisance des études et le manque des normes spécifiques.

La porosité importante des granulats recyclés a conduit à un fort taux d'absorption, qui a atteint 7 fois celui des graviers naturels, celui-ci a affecté le comportement rhéologique du béton frais et qui compromettrait la durabilité de ces bétons surtout s'ils étaient utilisés dans des milieux agressifs.

La granularité des granulats est influencée par leur méthode d'élaboration. Les granulats recyclés préparés au niveau du laboratoire sont meilleurs que ceux naturels acheminés de la carrière, selon la continuité des courbes granulaires.

Pré conditionner les granulats recyclés en les humidifiant avant l'utilisation ou en ajoutant une période de malaxage supplémentaire (une phase de présaturation partielle) avant l'introduction du ciment afin de saturer partiellement les granulats.

Le prémouillage des granulats recyclés a minimisé le dosage en eau des bétons et il a facilité leurs ouvrabilités.

Les caractéristiques intrinsèques et mécaniques des granulats recyclés de cette étude sont sensiblement inférieures à celles des granulats naturels, selon les seuils proposés dans la littérature, ils peuvent être qualifiés de qualité moyenne. Cela est dû à l'existence de la pâte cimentaire attachée (vieux mortier de ciment) aux granulats recyclés qui est poreuse et friable et de la nature des granulats naturels employés antérieurement d'une part et à la dégradation du béton démoli par des pathologies telle que la carbonatation d'autre part.

La résistance mécanique, à la compression à 28 jours, des bétons sans adjuvants à base des granulats recyclés avec différents taux de substitution, sont acceptables par rapport à celles des bétons naturels, probablement due à la qualité du béton structurel utilisé comme source de granulat. Ces performances mécaniques mettent en évidence, que les granulats recyclés peuvent fournir des bétons de résistance caractéristique à 28 jours en compression dans les limites de 20 à 30 MPa sans aucune technologie adaptée.

L'incorporation d'un superplastifiant SP 40, n'a pas donné d'amélioration significative escomptée que ce soit en gain sur le dosage en eau ou l'amélioration des performances mécaniques des bétons recyclés, contrairement aux bétons naturels. Économiquement l'utilisation des adjuvants dans les bétons recyclés est dispensable.

L'utilisation des granulats recyclés dans le béton offre une solution prometteuse aux problèmes des déchets de démolition. Le béton recyclé peut être utilisé dans les structures de moindres portances et dans des conditions d'agressivité faibles.

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des granulats recyclés de béton et devrait aider, à terme, à la mise en place des règles de formulation de bétons à base de granulats de substitution.

A la fin, cette recherche a ouvert la porte à des recherches nouvelles qui doivent s'intéresser à la valorisation des granulats recyclés de béton dans la confection des bétons hydrauliques.

Ce travail ouvre différentes perspectives :

- Etude de la microstructure.
- Influence d'autres paramètres de composition et d'environnement.
- Etude de quelques aspects de durabilité mécaniques et propriétés de ce type du béton.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] : L. BERREDJEM & N. ARABI, "Les matériaux de démolition des déchets inertes, une source de granulats pour béton", Séminaire national sur l'environnement et industrie, Sheraton Oran, pp :31-43, (2009).
- [2] : Le recyclage de béton de démolition, solution pour le développement durable. formulation et comportement physique et mécanique des bétons à base de ces recyclés. Layachi Berredjem (Thèse de Magister).
- [3] : Norme Française XP P 18-540, "Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement : P 15-540", (1997).
- [4] : Valorisation des granulats recycles de béton : étude des caractéristiques physiques et mécaniques des bétons de granulats recycles de béton. Grondin Aurélie (mémoire de fin d'étude).
- [5] : Fiche 4.1 l'utilisation de granulats issus du recyclage rapport technique - bâtiments exemplaires, source rapport d'activité Fedex 2009 – fédération des industries extractives de Belgique. source : UEPG : Union Européenne des Producteurs de Granulats – Rapport Annuel 2009-2010).  
3 - C2C – Cradle to Cradle : [www.mbdc.com](http://www.mbdc.com)
- [6] : V. PHOUMMAVONG, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>.
- [7] : G. ARQUIE & C. TOURENQ, "Granulats", Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 717 p., (1990).
- [8] : J. ALEXANDRE & J. SEBILEAU, "Laitier de haut fourneau", Centre Technique et de Promotion des Laitiers, Paris édition, 340 p., (1988).
- [9] : S. HACHAICHI, "Substitution de Sable roulé par les déchets de carrières et de hauts fourneaux dans le béton", Thèse de Magister, 92 p., (2008).
- [10] : Comportement des bétons à base de granulats recycles Mlle SAADANI Sabrina Thèse de Magister.
- [11] : R. MAILLOT, "Mémento technique des Granulats", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).
- [12] : J. BARON, et R. SAUTREY, "Le béton hydraulique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).
- [13] : A. M. NEVILLE, "Propriétés des bétons", traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 806p., (2000).

- [14] : Chapitre III : Les granulats source internet.
- [15] : Norme Française P 18-553, "Granulats -Préparation d'un échantillon pour essai", AFNOR, (1990).
- [16] : G. DREUX & J. FESTA, "Nouveau guide du béton et ses constituants", Edition Eyrolles, 8eme édition, 409 p., (1998).
- [17] : R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN, "Granulats, Sols, Ciments et Bétons", Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, 236 p., (2000).
- [18] : Norme Française EN 12-620, "Granulats pour béton hydraulique", (2004).
- [19] : F. GABRYSIK, "Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2", Académie de Nancy-Metz, [http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment\\_Pro/](http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/)
- [20] : Norme Française EN 933-3, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 3 : Détermination de la forme des granulats Coefficient d'aplatissement", AFNOR, (1996).
- [21] : H. HUSSAIN & D. LEVACHER, "Recyclage de béton de démolition dans la fabrication des nouveaux bétons", XXIème Rencontres Universitaires de Génie Civil, (2003).
- [22] : Norme Française P 18 554, "Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux", (1990).
- [23] : Norme Française P 18-555, "Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables", AFNOR, (1990).
- [24] : Norme Française P 18-558, "Granulats : Détermination de la masse volumique absolue des fines", AFNOR, (1990).
- [25] : Norme Française EN 1097-3, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 3 : Détermination de la Masse volumique apparente", AFNOR, (1996).
- [26] : Norme Française EN 1097-6, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 : Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient de l'absorption d'eau", AFNOR, (1996).
- [27] : L. MIREN ETXEBERRIA, "Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete", Thèse de doctorat, Université polytechnique de Catalogne - Espagne, 242 p., (2004).
- [28] : R.S. RAVINDRARAJAH, M. STEWARD & D. GRECO, "Variability of Recycled Concrete Aggregate and its Effects on Concrete Properties", 2nd International Conference on Engineering Materials, San Jose, USA, (2001).

- [29] : Norme Française XP P 18-598, "Granulats- Equivalent de sable", AFNOR, (1991).
- [30] : Norme Française XP P 18-597, "Granulats- Détermination de la propreté des sables équivalent de sable à 10 % de fines, AFNOR, (1990).
- [31] : Norme Française EN 933-8, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8: évaluation des fines - équivalent de sable", AFNOR, (1996).
- [32] : Norme Française EN 933-9, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 9 : Qualification des fines - Essai au bleu de méthylène", AFNOR, (1996).
- [33] : Norme Française XP P 18-591, "Granulats - détermination de la propreté superficielle", AFNOR, (1990).
- [34] : J. S. FERGUS, "Investigation and Mix Proportions for utilizing Recycled Portland Cement Concrete as Aggregate", National Seminar on PCC Pavement Recycling and Rehabilitation; St. Louis, Missouri, USA, Federal Highway Administration Report; pp:144-160, (1981).
- [35] : Norme Européenne EN 206-1, "Béton Partie1: Spécification, performances, production et conformité", (2002).
- [36] : V.W.Y. TAM, "Aggregate testing using 2nd-, 7th- and 10th-order interpolation polynomials", Resources, Conservation and Recycling, 52(1), pp:39-57, (2007).
- [37] : CH. GHERDAOUI, "Influence des fines minérales sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton à base de sable de carrières de la région de Guelma", Mémoire de Magister, Université Badji M. - Annaba, 94 p., (2007).
- [38] : Norme Européenne EN 1367-1, "Résistance à l'alternance gel-dégel",
- [39] : A. AJDUKIEWICZ & A. KLISZCZEWICZ, "Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HS/HPC", Cement & Concrete Composites, 24(2), pp:269-279, (2002).
- [40] : A. AJDUKIEWICZ & A. KLISZCZEWICZ, "Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HS/HPC", Cement & Concrete Composites, 24(2), pp:269-279, (2002).
- [41] : I. B. TOPÇU & S. SENDEL, "Properties of concretes produced with concrete aggregate", Civil Engineering Department, Université d'Osmangazi, Turkey, (2004).
- [42] : V. W. Y. TAM, X. F. GAO & C. M. TAM, "Micro-structural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", Cement & Concrete Research, 35(6):1195-1203, (2005).

- [43] : D. SANI, G. MORICONI, G. FAVA & V. CORINALDESI, "Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates", *Waste Management*, 25(2), pp:177-182, (2005).
- [44] : Norme Française XP P 18-573, "Granulats - Essai Los-Angeles", AFNOR, (1990).
- [45] : Norme Française EN 1097-2, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation", AFNOR, (1996).
- [46] : Norme Française XP P 18-574, "Granulats - Essai de fragmentation dynamique", AFNOR, (1990).
- [47] : Norme Française P 18-577, "Granulats - Essai Micro-Deval", AFNOR, (1990).
- [48] : Norme Française EN 1097-1, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1: Détermination de la résistance à l'usure (Micro-Deval) (indice de classement P 18-650.1)", AFNOR, (1996).
- [49] : Norme Européenne EN 196-3, "Méthodes d'essais des ciments, partie 3 détermination du temps de prise et de la stabilité", AFNOR Tome 3, (1995).
- [50] : B. S. POON & C. S. LAM, "The effect of aggregates-to- cement (A/C) ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks", *Cement & Concrete Composites*, 30(4), pp:283-289, (2008).
- [51] : T. MUKAI, M. KIKUCHI & N. ISHIKAWA, "Study on the properties of concrete containing recycle concrete aggregate", *Cement Association of Japan*, 32d review, (1978) (rapporté par [27]).
- [52] : T.C. HANSEN & H. NARUD, "Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate", *Concrete International- design and construction*, 5(1), pp:79-83, (1983).
- [53] : A. NEALEN & S. SCHENK, "The influence of recycled aggregate core moisture on freshly mixed and hardened concrete properties", In *Darmstadt concrete, Annual Journal 13*, TU Darmstadt, (1998).
- [54] : F. LORANGER, "Caractérisation de matériaux recyclés (bétons, enrobes et fondations granulaires) et évaluation de leur performance dans les bétons conventionnels et compacts au rouleau", *Mémoire de Maître ES Sciences*, Université Laval, 198 p., (2001).
- [55] : M. S. JUAN & P. A. GUTIÉRREZ, "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate", *Construction & Building Materials*, 23(2), 872-877, (2009).
- [56] : J. BARON et J. P. OLIVIER, "Les bétons, bases et données pour leur formulation", *Association technique de l'industrie des liants hydrauliques*, K. KHAYAT et J.

- P.OLIVIER, "Viser une consistance adaptée aux moyens de mise en œuvre - indice de la mise en œuvre sur la formulation des bétons", 2eme tirage, Edition Eyrolles, 522 p., (1997).
- [57] : E. WIRQUIN, R. HADJIEVA-ZAHARIEVA & F. BUYLE-BODIN, "Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité - Application aux bétons de granulats recyclés", *Materials and Structures*, 33(6), pp:403-408, (2000).
- [58] : R. JONES et M. F. KAPLAN, "The effects of coarse aggregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure", *Magazine of Concrete Research*, 9(26), pp:89-94, (1957). (rapporté par [13]).
- [59] : R. N. SWAMY, "The Alkali-Silica Reaction in Concrete", Blackie and Son. Ltd, Glasgow, 336 p., (1992).
- [60] : F.R. GOTTFREDSSEN & F. THOGERSEN, "Recycling of concrete in aggressive environment", 3rd International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry Odense", Denmark, pp:362-370, (1993).
- [61] : R.M. SALEM & E.G. BURDETTE, "Role of chemical and mineral admixtures on physical properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete", *ACI Materials Journal*, 95(5), pp:558-563, (1998).
- [62] : M. Barra de Oliveira & E. VAZQUEZ, "The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete", *Waste Management*, 16(1-3), pp:113-117, (1996).
- [63] : Norme Française P 15-301, "Liants hydrauliques - Définitions, classification et spécification des ciments", AFNOR, (1994).
- [64] : Norme Française EN 197-1, "Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants" AFNOR, pp:1-41, (2001)
- [65] : Norme Française EN 196-6, "Finesse de mouture des ciments", AFNOR,
- [66] : Norme Française NF P 15-442, "Finesse de mouture des ciments mesurée au perméabilimètre de Blaine", AFNOR
- [67] : Norme Française EN 932-1, "Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage", AFNOR, (1996).
- [68] : Norme Française P 18-560, "Granulats - Analyse granulométrique par tamisage", AFNOR, (1990).
- [69] : Norme Française XP P 18-572, "Granulats - Essai d'usure Micro-Deval", AFNOR, (1990).
- [70] : Norme Française P 18-421, "Béton frais mise en place par micro table vibrante", (1981).

- [71] : Norme Française P 18-451, "Béton frais essais d'affaissement au cône", Béton et constituants du béton, T2 ciment et chaux, recueil de normes françaises AFNOR, (1990).
- [72] : British Standard, 1881- BS. partie 116, (1983).
- [73] : Norme Française EN 1008, "Eau de gâchage pour bétons Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton", (2003) Indice de classement : P 18-211.
- [74] : Norme Française XP P 18-541, "Granulats- Granulats pour béton hydrauliques, spécifications", AFNOR, (1994).
- [75] : Norme Française EN 934-2, "Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Partie 2 Adjuvants pour béton - Définitions et exigences, (2002).

# ANNEXES

**Annexe 1 : La fiche technique du ciment CEM II 42,5, élaborée par le laboratoire de l'usine "CHELIFF".**

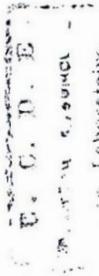
 <b>GROUPE GICA</b>	<b>المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر</b> <b>GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE</b> <b>ENTREPRISE DES CIMENTS ET DERIVES D'ECH-CHELIFF</b> <b>E.C.D.E</b> Spa au capital social de : 6.241.000.000DA : ش.ذ.ا. - رأسها الاجتماعي : 6.241.000.000DA N° Identification Fiscale : 098202010003950 - N° Article d'imposition : 022162/3506 - N° Registre de Commerce : 0060903675	<b>SMQ</b> Code: EQ1/3
<b>PROCEDURE POUR L'ECOUTE CLIENT</b> <b>FICHE TECHNIQUE MENSUELLE DU PRODUIT FINI</b>		

Mois : Janvier 2016  
Produit : Ciment CPJ CEM II / A 42.5

1. Paramètres Physico-Mécaniques	Résultats		Norme NA 442	2. Paramètres Chimiques	Résultats		Norme NA 442
	Mini	Maxi			Mini	Maxi	
S S Blaine Cm <sup>2</sup> /g	3073	3745	-	Perte au feu (%)	5.01	9.14	6.70
Consistance %	25.20	25.73	-	CaO libre (%)	0.35	1.42	0.92
Début de prise (mn)	93	138	≥ 60 mn	SiO <sub>2</sub> (%)	17.26	20.20	18.53
Compression 02 jours (Mpa)	15.79	23.20	≥ 12.5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.82	4.70	4.47
Compression 07 jours (Mpa)	33.72	43.70	-	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2.93	3.43	3.13
Compression 28 jours (Mpa)	43.32	53.09	≥ 42.5	CaO (%)	61.15	64.77	62.93
Flexion 02 jours (Mpa)	3.51	4.61	-	MgO (%)	0.74	0.99	0.88
Flexion 07 jours (Mpa)	5.55	6.55	-	SO <sub>3</sub> (%)	1.45	2.25	1.77
Flexion 28 jours (Mpa)	6.12	7.22	-	Cl (%)	-	-	≤ 0,1
Expansion à chaud sur pâte (mm)	0.0	3.00	≤ 10	Insolubles (%)	-	-	≤ 4
Retrait 28j (µm/m)	-	-	≤ 1000				



Service Laboratoire



SIEGE SOCIAL : BP 54 Cité Hammadia Chlef 02000 (W. Chlef) - Algérie.

Siège Annexe Zone Industrielle Oued Sly Chlef.

Tel : (027)778408/10 - Fax : (027)778160 - E-mail : contact@ecde.dz - Site web : www.ecde.dz

## Annexe 2 : Les caractéristiques principales du superplastifiant - haut réducteur d'eau MEDAPLAST SP 40, fournis par le fabricant Granitex, Alger

### NOTICE TECHNIQUE

2 1 3 6

# MEDAPLAST SP 40

Superplastifiant - Haut réducteur d'eau / Conforme à la norme EN 934-2

## DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

## CARACTERISTIQUES

- Forme.....Liquide
- Couleur.....Marron
- PH.....8,2
- Densité..... 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore..... < 1g/L

## PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

### Sur béton frais :

- d'améliorer la fluidité
- d'augmenter la maniabilité
- de réduire l'eau de gâchage
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton

### Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait

## DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto-plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Coulis d'injection

## DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,6 à 2,5% du poids de ciment

Soit 0,5 l à 2 l par 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 **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidon de 12 et 25 Kg et en fût de 270 kg.

### Délai de conservation :

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

### ESSAIS DE LABORATOIRE

Compte rendu d'essais conformes aux normes établi par le CNERIB en Juin 2005.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Ils sont donnés à titre indicatif. Il appartient au client de s'assurer que le produit convient à l'utilisation envisagée.



## Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél: 213 (0) 21 51 66 81 / 82 Fax: 213 (0) 21 51 64 22 / (0) 21 51 65 23

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