



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

*Elaboration d'un béton léger à partir des
matériaux locaux*

Dirigé par :

Dr. BEDDAR Miloud

Présenté par :

DJAKAM Imane

Promotion : 2015/2016.



DÉDICACES

*Je Dédie Cette Mémoire
A Ma Maman Et Mon Papa
A Mes Frères Et A Ma Sœur*

Dj. Imane



REMERCEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement les enseignants du département de Génie civil ainsi que les membres du jury, et j'exprime ici toute ma gratitude.

Je remercie encore plus particulièrement Monsieur BEDDAR Miloud qui m'ont encadré dans ce travail. Je les remercie pour leur patience et le soutien qu'ils m'ont accordé tout au long de ce travail.

Pour cette occasion je tiens à remercier les ingénieurs du laboratoire de génie civil surtout Yamna et Hanane.

En fin, je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous mes amis pour leurs soutiens moral et matériel, surtout « Saadaoui Othmane, Cunani Hicham, Abed Lekbir Rabeh ,Cuald Mohahamed Fayçal ».

Je remercie également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail.

Pour terminer, je tiens sincèrement à remercier du fond du cœur ma mère et mon père pour m'avoir soutenu et encouragé dans mes études.

RESUME

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction. Les granulats représentent 75% du volume du béton. À cet effet, il est opportun d'étudier la possibilité de valorisation des déchets de brique, comme substituant des granulats naturels.

L'objectif principal est d'étudier les caractéristiques physico mécaniques des granulats à base de déchets de brique, ainsi que les propriétés des bétons à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser, dans certains domaines de la construction, comme granulats artificiels plus légers que les granulats courants.

L'étude a été portée sur trois classes granulaires : sable (0/5), gravillon (3/8) et gravillon (8/16) des granulats de la brique concassée ainsi que des granulats naturels.

Le gravier et le sable naturel sont remplacés partiellement (25, 50, 75 et 100%) par le mélange de gros et fins granulats à base de brique concassée. Par comparaison avec un béton à base de 100% de granulats naturels, et l'utilisation de poudre d'aluminium pour obtenir un béton de « lever » et d'emprisonner de l'air sous forme de petites bulles.

Les propriétés des bétons à base de déchets de brique à l'état frais et durci sont analysées et comparées à celles du béton ordinaire.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer des bétons à base de déchets de brique malgré la défaillance mécanique de ces granulats. La résistance à la compression de ces bétons est acceptable et comparable à celle du béton ordinaire avec réduction en poids du béton appréciable. Cependant, ils ont une porosité et une absorption capillaire assez importantes que le béton ordinaire.

Mots clés : béton léger ,déchets de brique ,masse volumique ,absorption capillaire, porosité.

ABSTRACT

The concrete material is the most used in the construction field. The aggregates represent 75% of the concrete volume. Therefore, it is appropriate to study the possibility of valorization of the brick waste as substituting the natural aggregates.

The main objective is to study the mechanical physical properties of aggregates based brick waste and the properties of concrete based on these aggregates, in order to use them in some areas of construction, such as artificial aggregates more lighter than the current aggregate.

The study has been carried out on three granular classes: sand (0/5), gravel (3/8) and gravel (8/16) of the crushed brick as aggregate as well the natural aggregates.

Either coarse aggregates, fine aggregates were partially replaced (25, 50, 75 and 100%) with crushed concrete and brick aggregates. Compared with concrete base 100% natural aggregates, and use of aluminium powder for a concrete "lift" and trap air in the form of small bubbles

The results of this study showed that it is possible to use in the concrete the brick waste aggregates in spite of the mechanical failing of these aggregates. The concrete compressive strength is acceptable and comparable to the ordinary concrete with perceptible reduction of the weight concrete. However, they have a rather important a porosity and capillary absorption than ordinary concrete.

Keywords: lightweight, concrete, brick waste, density, capillary absorption, porosity.

ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استعمالا في ميدان البناء , تمثل الحبيبات 75 % من حجم الخرسانة , لذا فمن المناسب دراسة إمكانية تأمين بقايا الأجور و ذلك كبديل للحبيبات الطبيعية .
الهدف الرئيسي لهذا البحث يكمن في دراسة المميزات الفيزيائية والميكانيكية بحبيبات بقايا الاجور , وكذا دراسة خصائص الخرسانة المستعملة لهذه الحبيبات . وذلك من اجل استعمال هذه الأخيرة في بعض ميادين البناء كحبيبات اصطناعية اقل وزنا من الحبيبات العادية .
الدراسة المخبرية لحبيبات الاجور وكذا الحبيبات الطبيعية قد تم القيام بها بثلاثة أقسام من الحبيبات : الرمل (5/0) , الحصى (8/3) , الحصى (16/8) . تم استبدال الرمل والحصى الطبيعي جزئيا (25%, 50%, 75%, 100%) ببقايا الاجور المجروش . ومقارنتها مع خرسانة 100% حبيبات طبيعية , واستخدام مسحوق الألمنيوم للحصول على خرسانة مرتفعة وهواء مضغوط في شكل فقاعات صغيرة .
كما تم دراسة خصائص الخرسانة المستعملة لبقايا الاجور ومقارنتها مع خصائص الخرسانة العادية وهذا في حالة صنعها وأثناء نضجها .
إن نتائج هذه الدراسة أظهرت إمكانية استعمال بقايا الاجور في الخرسانة وهذا بالرغم من ضعف خصائصها الميكانيكية كما تم التحصل على مقاومة الانضغاط جد مقبولة لهذه الخرسانة مقارنة بالخرسانة العادية مع خفة في الوزن , كما انه تم تسجيل نسبة المسامية على مستوى هذه الخرسانة وكذا تصاعد المياه بالامتصاص جد مرتفعة مقارنة بالخرسانة العادية .
الكلمات الدالة : الخرسانة خفيفة الوزن , بقايا الأجور , الكتلة الحجمية , تصاعد المياه بالامتصاص , المسامية .

TABLE DES MATIERES

	PAGES
DÉDICACES	I
REMERCIEMENTS	II
RÉSUMÉ	III
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTES DES FIGURESIX
LISTE DES PHOTOS.....	X
NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS.....	XI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 – GÉNÉRALITÉS	
2 – OBJECTIF DE L'ÉTUDE	
3 – PLAN DE TRAVAIL	
PREMIÈRE PARTIE–RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
CHAPITRE I – GENERALITE SUR LE BETON LEGER.....	6
I.1- INTRODUCTIO.....	6
I.2- LES BETONS LEGERS.....	7
I.3- LES TYPES DE BETON LEGE.....	8
I.4-CLASSIFICATION DES BETONS LEGERS.....	8
I.5-CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BETONSL EGERES.....	9
I.6- LES AVANTAGES DU BETON LEGER.....	10
I.6.1- LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS PAR RAPPORT AU BETON ORDINAIRE	
I.6.2. LES INCONVENIENTS MAJEURS DES BETONS LEGERS PAR RAPPORT AU BETON ORDINAIRE	
I.7-DIFFERENCE ENTRE BETONS CLASSIQUES ET BETONS LEGERS.....	11
I.8-DOMAINES D'UTILISATION DES BETONS LEGERS.....	12
CHAPITRE II –UTILISATION DES DÉCHETS DANS LE GÉNIE CIVIL	14
II.1 – INTRODUCTION	14

II.2 – DÉFINITIONS	14
II. 3 – PRODUCTION DES DÉCHETS.....	14
II. 3.1 – SOURCES DE PRODUCTION DES DÉCHETS	
II. 3.2 – SOURCES DE DÉCHETS UTILISÉS EN GÉNIE CIVIL	
II. 3.2.1 – DECHETS DE CONSTRUCTION ET DE DEMOLITION	
A) – PRODUCTION	
B) – REPARTITION	
II.3.2.2 – SOUS-PRODUITS DE L’INDUSTRIE	
II.4 – DÉCHETS DANS LE GÉNIE CIVIL.....	16
II.4.1– DÉCHETS INERTES	
II.4.2– DÉCHETS DANGEREUX	
II.5 – DÉCHETS DE BRIQUE : RECYCLAGE ET NORMES	17
II.6– PROPRIÉTÉS DES BÉTONS DES DÉCHETS DE BRIQU.....	17
II.7–UTILISATIONS DES BÉTONS DES DÉCHETS DE BRIQUE	19
II.8 – UTILISATIONS LOCALES	20
II.9 – CONCLUSION.....	20
DEUXIÈME PARTIE – ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.....	22
CHAPITRE III – CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX.....	23
III.1 – INTRODUCTION.....	23
III.2 – MATÉRIAUX UTILISÉS	23
III. 2.1 – CIMENT	
III .2.1.1- COMPOSITION CHIMIQUE	
III .2.1.2- COMPOSITION MINIRALOGIQUE	
III .2.1.3- PROPRIETES PHYSIQUES	
III. 2.2 – GRANULATS	
III. 2.3 – EAU DE GACHAGE	
III .2.4- LA POUDRE D’ALUMINIUM	
III.3 – ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES GRANULATS.....	25
III. 3.2 – ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE	
III. 3.3 – MASSES VOLUMIQUES DES GRANULATS	
III. 3.3.1 – MASSES VOLUMIQUES APPARENTES	
III. 3.3.2 – MASSES VOLUMIQUES ABSOLUES	
III. 3.4 – ABSORPTION D’EAU	
III. 3.5– ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES SABLES	

III. 3.5.1 – ÉQUIVALENT DE SABLE	
III 3.6 – ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES GRAVILLONS	
III. 3.6.1 – POROSITE	
III.3.6.2- COMPACITE ET INDICE DE VIDE	
III. 3.6.3 – LOS ANGELES	
III.4 – CONCLUSION	33
CHAPITRE IV – FORMULATION DES BÉTONS ET ESSAIS.....	34
IV.1. DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON.....	43
IV.2-CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES.....	37
IV.2-1-MOULES POUR ÉPROUVETTES	
IV. 2.2-CONSERVATION DES ÉPROUVETTES	
IV.3- ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES BÉTONS.....	38
IV.3.1- ESSAI D’FFAISSEMENT	
IV. 3.2- MASSE VOLUMIQUE DU BÉTON FRAIS	
IV. 3.3 -MESURE DE L’AIR OCCLUS	
IV. 3.4- MASSE VOLUMIQUE DU BÉTON DURCI	
IV. 3.5 –ESSAI DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION	
IV. 3.6 –ESSAI D’ABSORPTION CAPILLAIRE	
IV.3.7– ESSAI D’ABSORPTION PAR IMMERSION	
CHAPITRE V – ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS.....	43
V .1 – INTRODUCTION	43
V. 2 – BÉTON FRAIS	43
V.2.1 – CONSISTANCES DES BÉTONS FRAIS	
V.2.2 – DENSITÉ ET MISE EN PLACE DES BÉTONS FRAIS	
V. 3 – BÉTON DURCI	
V. 3.1– DENSITÉ ET HOMOGENÉITÉ	
V. 3.2– RÉSISTANCE À LA COMPRESSION	
V. 3.2.1 – ÉVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION	
V. 3.2.2 – FACTEURS AGISSANT SUR LA RESISTANCE	
V. 3.2.3 – RELATION ENTRE RESISTANCE A LA COMPRESSION ET DENSITE	
V.3.3 – ABSORPTION CAPILLAIRE	
V.3.4– COMPACITÉ ET POROSITÉ DES BÉTONS	
CONCLUSION GÉNÉRALE	52

1 – CONCLUSION GÉNÉRALE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.56

ANNEXES

ANNEXE A1 – MATÉRIELS ET ESSAI D’IDENTIFICATION DES GRANULATS. . . .A1

ANNEXE A2 – MATÉRIELS ET ESSAIS DE BÉTONSA2

ANNEXE A3- ABAQUES DE DREUX GORISSE ET FICHE TECHNIQUE

DE CIMEA3

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Titre	Page
Tableau I-1:	Classification Des Bétons Légers Selon Le Guide ACI 213r-87	8
Tableau III-1:	Compositions Chimiques Du Ciment	24
Tableau III-2:	Compositions Minéralogiques Du Ciment	24
Tableau III-3:	Propriétés Physiques Du Ciment	24
Tableau III-4:	Essais Effectues Sur Les Granulats	26
Tableau III-5:	Analyse Granulométrique Du Sable Normale	26
Tableau III-6:	Analyse Granulométrique Du GN (3/8) Et (8/16)	27
Tableau III-7:	Analyse Granulométrique Du Sable Recycle	28
Tableau III-8:	Analyse Granulométrique Du Gr (3/8) Et (8/16)	29
Tableau III-9:	Masses Volumiques Des Granulats	30
Tableau III-10:	Coefficient D'absorption D'eau Des Granulats (Ab)	31
Tableau III-11:	Equivalents De Sable	31
Tableau III-12:	Porosité Des Gravillons (N)	31
Tableau III-13:	Compacité Et Indice De Vide	32
Tableau III-14:	Coefficient Los Angeles (La)	32
Tableau IV-1:	Pourcentage Des Granulats Naturels.	35
Tableau IV-2:	Volume Des Granulats Naturels	36
Tableau IV-3:	Dosage Pour 1m ³ De Béton Leger Témoin	36
Tableau IV-4:	Composition Optimale De 1 M ³ Des Bétons En Kg/M3	37
Tableau IV-5:	Quantités Pour 9 Eprouvettes De Béton Témoin.	37
Tableau IV-6:	Essais Effectues Sur Les Bétons	38
Tableau IV-7:	Masse Volumique Et Air Occlus Des Bétons Frais	39
Tableau IV-8:	Masses Volumiques Des Bétons Durcis	40
Tableau IV-9:	Resistance A La Compression Des Bétons Sur Cube	40
Tableau IV-10:	Absorption D'eau Par Remontée Capillaire Des Bétons	41
Tableau IV-11:	Porosité Des Bétons	42
Tableau V-1:	Eaux Totales Et Eaux Ajoutées Aux Mélanges Ainsi Que L'affaissement Des Bétons	43
Tableau V-2:	Résistances A La Compression Et Masse Volumiques Des Bétons	48

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
Figure II-1:	répartition Des Quantités De Déchets De Chantiers Ou De Démolition Par Type	14
Figure III-1:	Courbe Granulométrique De Granulats Utilise (0/5);(3/8);(8/16)	28
Figure III-2:	Courbe Granulométrique De Granulats Recycle (0/5);(3/8);(8/16)	29
Figure IV-1:	Courbe Granulométrique Optimale.	35
Figure V-1:	Eaux Totales Et Eaux Ajoutées Aux Mélanges (En Litres)	44
Figure V-2:	L'air Occlus Des Bétons Frais	45
Figure V-3:	Densité Des Bétons Frais	45
Figure V-4:	Masses Volumiques Des Bétons Durcis En (Kg/M ³)	46
Figure V-5:	Resistances A La Compression Et Densités Des Bétons	48
Figure V-6:	Absorption D'eaux Par Capillarite Des Bétons En Grammes	48
Figure V-7:	Porosité Des Bétons En (%)	50

LISTE DES PHOTOS

Photo N°	Titre	Page
Photo III-1	: Granulats Naturels	75
Photo III-2	: Granulats Recycles	75
Photo A1-1	: Récipients De Mesure De La Densité Apparente Des Granulats	A1
Photo A1-2	: Eprouvette Graduée + Récipient	A1
Photo A1-3	: Appareil Pour Essai Los Angeles	A1
Photo A1-4	: Tamis A Mailles Carrées	A1
Photo A1-5	: Appareillage D'équivalent De Sable	A1
Photo A2-1	: Malaxeur A Béton	A2
Photo A2-2	: Table Vibrante	A2
Photo A2-3	: Appareillage De Slump – Test	A2
Photo A2-4	: Aéromètre A Béton De 8 L	A2
Photo A2-5	: Machine D'essai De Compression	A2
Photo A2-6	: Moules Et Eprouvettes Utilises	A2

NOTIONS ET ABREVIATIONS

- **MAJUSCULES ROMAINES**

Ab : Coefficient D'absorption D'eau

Ap : Coefficient D'aplatissement Des Granulats

ACI : American Concrete Institute

D : Dimension Maximale Des Granulats (En Mm)

Es : Equivalent De Sable

Esp : Equivalent De Sable (Piston)

Esv : Equivalent De Sable (Visuel)

GN : Gravillon Naturel

GR : Gravillon Recycle De Brique Concassée

LA : Coefficient Los Angeles

MF : Module De Finesse Des Sables

RILEM: Réunion Internationale Des Laboratoires D'essais De Matériaux

S : Section Normal De L'éprouvette (En mm²)

SN : Sable Naturel

SR : Sable Recycle De Brique Concassée

- **MINUSCULES GRECQUES**

Papp : Masse Volumique Apparente

Pabs : Masse Volumique Absolue

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1-GÉNÉRALITÉS

Les béton dit légers sont obtenus par incorporation d'air .trois types de bétons légers sont classiquement distingués selon la façon dont l'air est introduit dans le béton .les trois catégorie sont : « béton cellulaire»«béton caverneux»,«béton de granulats légers», c'est a cette dernière catégorie que nous allons nous intéresser dans ce travail.

Le granulat est une matière première indispensable dans les industries du bâtiment et des travaux publics. Elle est produite et utilisée en très grandes quantités, dans tous les pays du monde ; toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation.

L'utilisation de granulats légers contribue à diminuer les volumes de granulats en fin de vie des ouvrages grâce à l'optimisation des structures porteuses résultant de l'allègement de structures.

Ainsi ces nouveaux bétons répondent parfaitement aux exigences actuelles de limitations des déchets.

Les granulats légers pouvant être issus de sous-produits industriels, ils permettent de plus de préserver les ressources naturelles en granulats et constituent une filière de valorisation des sous- produits.

Les déchets (dits inertes) peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers des travaux publics ou encore en d'autres applications dans le domaine de la construction, en particulier, comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de brique peuvent être concassés et utilisés comme granulats pour la fabrication du béton.

Historiquement, l'usage de brique concassée comme granulats dans le béton n'est pas nouveau. Le premier usage marqué de brique concassée avec le ciment portland était en Allemagne en 1860 pour la fabrication de produits en béton. Des recherches systématiques ont été exécutées depuis 1928 sur des mélanges de ciment, d'eau et de granulats en brique concassée [10].

Cependant le premier emploi considérable de brique recyclée comme granulats dans le béton a été marqué à la fin de la seconde guerre mondiale, dans les pays d'Europe qui ont été très

Introduction Générale

ravagés, comme la République Fédérale Allemande par exemple.

Il y a eu plusieurs recherches dans les possibilités d'utiliser la brique concassée comme granulats en béton. Cependant, la plupart de ces travaux ont été faites pendant les années 40 et 50 du siècle passé en utilisant le type de brique qui était disponible.

Les travaux, qui ont été réalisés en utilisant les types de brique qui sont utilisés communément dans la construction d'aujourd'hui, se sont concentrés plus sur les propriétés mécaniques du béton du granulat de brique, plutôt que sur les propriétés du granulat de la brique lui-même. Ils ont montré que:

- Il était possible de réaliser un béton de haute résistance en utilisant la brique concassée comme granulat grossier, avec réduction en poids,

En effet, l'usage de granulat de brique pour la fabrication du béton est jugé, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

2– OBJECTIF DEL'ÉTFDE

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction. Les granulats représentent 75% du volume du béton.

Le présent travail a pour objectif de contribuer à :

- La valorisation des déchets de briques, pour l'élaboration d'un autre matériau (béton léger a base de granulats de brique)

Un béton léger Obtenu en substituant une fraction optimale de granulats naturelle par granulats artificielles, et utilisation de poudre d'aluminium

- L'objectif visé par ce travail est d'évaluer expérimentalement le béton à base de déchets de brique en comparaison avec le béton ordinaire.

Notre étude a été portée sur la composition des bétons à partir d'un mélange ternaire de sable (0/5), de gravillon (3/8) et de gravillon (8/16).

3– PLAN DETRAVAIL

Ce mémoire comporte outre l'introduction deux parties :

- ✓ recherche bibliographique
- ✓ étude expérimentale

Introduction Générale

➤ **La première partie** : qui est destinée à la recherche bibliographique, se divise en deux chapitres qui suivent :

- **Le chapitre I : généralité sur le béton léger**
- **Le chapitre II** : est consacré aux recherches effectuées sur l'utilisation des déchets (en particulier ceux de briques) dans les domaines du génie civil et des travaux publics.

➤ **La deuxième partie** : étude expérimentale

Elle est présentée par les trois chapitres qui suivent :

- **Le chapitre IV** : est destiné à la caractérisation des différents matériaux utilisés dans la confection des bétons,
- **Le chapitre V** : étude de la composition des bétons à confectionner et à l'étude expérimentale des propriétés du béton ordinaire « témoin » et des bétons à base de déchets de brique. La composition de béton est formulée suivant la méthode dite « Dreux – Gorisse ».
- **Le chapitre VI** : expose les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les bétons. Une analyse et une discussion des résultats.

Enfin, une conclusion générale reprend les principaux.

PREMIÈRE PARTIE

RECHERCHE

BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITER I

GENERALITE SUR LE BETON LEGER

I.1. INTRODUCTION

Le béton est un matériau artificiel, composé d'agrégats (le plus souvent du sable et des gravillons), de l'eau et du ciment. En y ajoutant l'adjectif « léger », on fait généralement référence aux différents types de béton caractérisés par un faible poids spécifique. On obtient une densité réduite en ajoutant au mélange des ingrédients spécifiques, ou à l'aide de techniques spéciales de production qui permettent d'obtenir une diminution de masse volumique, soit 500 à 900 kg/m³ pour le béton léger au lieu des 2.000 à 2.500 kg/m³ d'un béton « ordinaire ». Durant l'entre-deux-guerres, plusieurs marques (internationales) de béton léger sont arrivées sur le marché, mais ce n'est qu'après-guerre que ce type de matériau de construction relativement neuf s'est réellement répandu. On distinguait quatre grandes sortes de béton léger, selon le type d'adjuvant ou de technique de fabrication. La première était le béton-gaz autoclavé, auquel on a ajouté un agent gonflant. La seconde était un béton léger fabriqué avec des agrégats légers (ex. fibres de bois ou argile expansée). Venait ensuite le béton léger cellulaire fabriqué avec de la pierre volcanique ou poreuse comme de la pierre ponce ou des scories. Enfin, le béton mousse était obtenu par injection de mousse synthétique ou par mélange mécanique au fouet. Du fait de son mode de production et processus de durcissement spécifiques, le béton léger était généralement produit dans un environnement industriel contrôlé, sous forme d'éléments préfabriqués tels que blocs, panneaux, dalles ou poutres. Toutefois, certains agrégats légers ou certains types de béton prêts à l'emploi pouvaient aussi être utilisés pour du béton coulé sur place. Grâce à de vastes campagnes publicitaires, mais aussi grâce à la facilité avec laquelle les produits en béton léger pouvaient être mis en œuvre dans la construction traditionnelle belge, des éléments préfabriqués en béton léger furent très rapidement appliqués à grande échelle dans les constructions résidentielles bruxelloises et des alentours [1].

La popularité du béton léger durant l'après-guerre était étroitement liée aux bénéfices importants apportés par ses caractéristiques. Comme son nom l'indique, le béton léger se caractérise par une très faible densité. Du fait de cette propriété, ce dernier se définit aussi par une conductivité thermique très faible. En outre, le matériau est solide, résistant au feu et à l'humidité, facile et rapide à manipuler sur chantier sans équipement lourd. De plus, sa capacité portante et la production industrialisée d'éléments préfabriqués en béton léger rendirent le matériau très attrayant pour une large gamme d'applications allant de la construction de logements à l'érection d'usines. Chaque fabricant de béton léger développa sa propre gamme de produits aux caractéristiques, compositions et dimensions spécifiques. D'autre part, l'utilisation de ce matériau n'avait pas d'implication notable sur le design architectural (contrairement aux systèmes « fermés » de préfabrication lourde en béton), car les différents types de béton léger étaient généralement faciles à mettre en œuvre, produits en éléments de petite taille et faciles à ajuster (en sciant ou en découpant, sauf bien entendu si ces éléments étaient renforcés de barres d'acier).

Par conséquent, il était très facile d'y encastrer des conduites au cours de la construction. Malgré tout, le béton léger présentait aussi des inconvénients, par exemple : les dégâts liés aux impacts mécaniques, une plus haute sensibilité à la rouille pour les armatures, de médiocres propriétés d'isolation acoustique, une capacité portante inférieure à celle du béton ordinaire, et enfin, une plus haute sensibilité au gel. Les propriétés précises dépendaient bien sûr fortement du mélange spécifique et de la technique de fabrication utilisée [2].

I.2. LES BETONS LEGERS

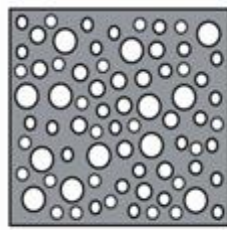
Bien que connus depuis plus d'un demi-siècle, les bétons légers ont été relativement peu employés. Toutefois, la crise du logement liée au manque considérable en matériaux de construction ainsi que la consommation d'énergie de chauffage et de rafraîchissement des locaux qui ne cesse d'augmenter, ont provoqué un regain d'intérêt pour l'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels. Leur transformation en bétons légers demeure l'une des solutions les plus économiques afin d'y pallier à ces problèmes. Les Bétons Légers sont des bétons constitués de granulats de faible densité [3].

La masse volumique apparente des bétons traditionnels fabriqués avec des granulats rigides est comprise entre 2200 et 2600 kg/m³. Et la masse volumique apparente sèche des bétons légers est inférieure à 1800 Kg/m³ [**RILEM (1970)**]. D'autres auteurs adoptent des définitions un peu différentes : l'**American Concrete Institute (1970)** limite la masse volumique apparente des bétons légers à 1800 Kg/m³ après séchage à l'air pendant 28 jours. La norme **DIN 1042 (1972)**, en Allemagne, limite la masse volumique apparente d'un béton léger à 2000 Kg/m³.

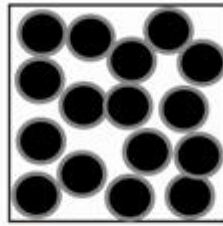
La masse volumique du béton est généralement diminuée en remplaçant une partie du matériau solide par de l'air.

L'incorporation de l'air dans le béton peut avoir lieu dans les trois endroits suivants :

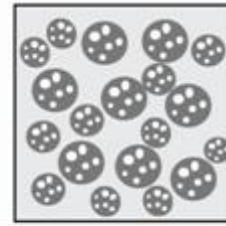
- dans la matrice : le béton, dans ce cas, est appelé « béton cellulaire ». Les bulles d'air sont créées, lors du malaxage, soit par réaction chimique, soit par action physique.
- entre les gros granulats: le béton, dans ce cas, est appelé « béton caverneux » (ou sans fines, c.-à-d sans sable).
- dans les granulats : le béton, dans ce cas, est appelé « béton de granulats légers ».



Béton cellulaire



Béton caverneux



Béton de granulats légers

I.3.LES TYPES DE BETON LEGER

Chaque types de béton léger possédait ses propres ingrédients, même s'il existait des similitudes dans les « recettes de base » pour chaque catégorie ou type de béton léger.

béton-gaz autoclavé En ce qui concerne la première catégorie de béton léger, appelé béton-gaz autoclavé (ou béton cellulaire autoclavé), l'ingrédient additionnel était un agent gonflant. L'utilisation de la poudre d'aluminium comme agent gonflant : après avoir préparé les ingrédients secs (nettoyés, pulvérisés, calibrés et mélangés), de la poudre d'aluminium et de l'eau étaient ajoutées juste avant de verser le mélange dans le moule. La poudre d'aluminium provoquait une réaction chimique moussante, entraînant une augmentation du volume et générant un matériau poreux avec des bulles d'air non communicantes. La quantité totale de poudre d'aluminium influençait la densité finale du béton. Le mélange était laissé sécher et prendre dans le moule, puis on retirait ce dernier, les éléments en béton étaient alors sciés en morceaux et placés dans l'autoclave. Les pièces y étaient mises sous pression de vapeur pour finaliser la réaction chimique et donner au matériau toute sa résistance.

Agrégats légers Dans la seconde catégorie de béton léger, à savoir le béton d'agrégats légers, la différence entre les marques était plus explicite, selon le type d'agrégats utilisés, principalement des fibres de bois ou de l'argile expansée ou d'autres produits en terre cuite.

La recette de base du béton léger aux fibres de bois consistait à mélanger du ciment (le plus souvent du ciment Portland) et de l'eau avec des fragments propres de bois minéralisé.

Le traitement chimique de ces fibres les rendait résistantes à l'humidité, aux produits chimiques et autres organismes nuisibles (pourriture, mildiou, champignons); le produit final était également résistant aux intempéries et au feu [1].

I.4. CLASSIFICATION DES BETONS LEGRS

Puisque l'augmentation du volume d'air dans le béton s'accompagne d'une diminution de la résistance du matériau, le guide ACI 213R-87 distingue alors trois catégories de bétons légers, classées selon la masse volumique du matériau durci (**Tableau**).

Classification	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Rc (MPa)
Béton léger de structure	1350-1900	> 17
Béton léger de résistance modérée	800-1350	7 – 17
Béton de faible résistance	300-800	< 7

Tableau I-1: Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87

Selon leur utilisation dans les structures, les bétons légers peuvent être classés en fonction de leurs masses volumiques apparentes comme suit :

- **Des bétons de remplissage** : leur masse volumique apparente est comprise entre 300 et 1000 kg/m³, leurs résistances en compression sont souvent faibles et leurs caractéristiques thermiques sont bonnes [4].
- **Des bétons porteurs isolants** : leur masse volumique apparente est comprise entre 1000 et 1400 kg/m³, leurs résistances mécaniques sont nettement meilleures que celles des précédents et leurs caractéristiques thermiques sont acceptables. On les utilise généralement pour des éléments préfabriqués.
- **Des bétons de structure** : Leur masse volumique est comprise entre 1400 et 1800 kg/m³. Ils sont destinés à la constitution des structures grâce à leurs résistances mécaniques qui peuvent être du même ordre que celles des bétons ordinaires. Leur pouvoir isolant est relativement faible [3].

I.5. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BETONS LEGERS

Les bétons légers sont des bétons à haute porosité et dont la masse volumique se situe dans les limites de 500 à 1800 kg/m³.

Les bétons légers se subdivisent en groupes suivants :

- Bétons d'isolation thermique (calorifuge) 500 kg/m³
- Bétons calorifuge et porteur = 500+1400 kg/m³
- Bétons porteur (construction) = 1400+1800 kg/m³

a → bétons légers à agrégats légers et poreux

b → bétons à gros pores (sans sable)

Du point de vue de leur destination, les bétons légers se subdivisent en :

- a. Béton d'isolation thermique (calorifuge) dont la masse volumique est 500 kg/m^3 et la résistance mécanique à la compression est variable entre 10 et 35 kgt/cm^2 .
- b. Béton calorifuge et porteur dont la masse volumique est variable entre 500 et 1400 kg/m^3 et la résistance mécanique à la compression entre 35 et 100 kgt/cm^2 .
- c. Béton porteur (de construction) dont la masse volumique est variable entre 1400 et 1800 kg/m^3 et la résistance à la compression entre 150 et 400 kgt/cm^2 .

Grace aux particularités des agrégats, les bétons légers à agrégats poreux se distinguent des bétons lourds ordinaires : la masse volumique des agrégats poreux est inférieure à celle des agrégats compacts, leur résistance est sensiblement plus faible, souvent inférieure à la classe de résistance de bétons ; la surface des agrégats légers est rugueuse et fort développée.

Ces qualités des agrégats légers influent largement sur les propriétés de leur mélange ainsi que les propriétés principales d'un béton léger [5].

I.6. LES AVANTAGES DU BETON LEGER

I.6.1. LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS PAR RAPPORT AU BETON

ORDINAIRE

Selon CIMEbeton (2000), le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments. Les pièces de bétons légers sont donc plus légères, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations (Neville, 2000). De plus, on note une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau (Neville, 2000). Étant donné le plus faible volume de béton utilisé, il est aussi possible d'économiser sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire.

Les auteurs (Hart 2001, Neville 2000 et Picon 1997) notent les excellentes qualités de finition d'une pièce en béton léger, en raison, surtout de sa fabrication en usine. Les pièces de béton léger sont aussi plus faciles à manipuler et à déplacer, en raison de leur relative légèreté (CIMEbeton, 2000) [6].

Le béton léger, par la présence d'un réseau de bulles d'air dans sa formulation, a des propriétés d'isolation thermique et acoustique. Comme dans le cas des autres bétons légers, la conductivité thermique varie en fonction de la masse volumique. Il faut rappeler que la conductivité thermique augmente de façon linéaire avec la teneur en humidité.

I.6.2. LES INCONVENIENTS MAJEURS DES BETONS LEGERS PAR RAPPORT AU BETON ORDINAIRE

Les auteurs (Neville 2000 et CIMebeton 2000) présentent, dans leurs ouvrages, les inconvénients du béton léger. Le béton léger a des résistances mécaniques inférieures à celles d'un béton ordinaire (Neville, 2000). Le module élastique est aussi plus faible, donc la résistance à la déformation, la flèche et le point de rupture du matériau sont plus faibles. Il est à noter que pour l'utilisation d'un béton à granulats légers (granulats expansés) le prix des granulats est plus élevé, donc le prix par mètre cube de béton léger est plus élevé que celui des bétons ordinaires. Le béton léger est un matériau fragile. Par ailleurs, la mise en œuvre sur le chantier doit être plus délicate en raison de la fragilité du matériau, surtout pour les pièces de grandes dimensions.

I.7.DIFFERENCE ENTRE BETONS CLASSIQUES ET BETONS LEGERS

Malgré leurs bonnes qualités, les bétons classiques ont toujours présenté des inconvénients à savoir :

- Le poids propre des éléments de béton très élevés qui peuvent présenter un grand pourcentage de charge de structure.
- Exigence d'un sol de forte capacité de portance.
- Mise en œuvre assez délicate (coffrage et coulage).
- Caractéristiques thermiques et phoniques médiocres.

En revanche l'utilisation d'un béton de faible masse volumique peut être bénéfique en terme :

- D'éléments porteurs de faible section.
- Mise en œuvre facile et par conséquent une productivité élevée.
- Permet de construire sur des sols de faible capacité de portance.
- Procure une meilleure isolation thermique et phonique.

La faible masse volumique des bétons légers provient de leur porosité élevée.

Cette porosité peut être localisée dans trois endroits :

- Au sein des granulats : c'est le cas des bétons de granulats légers.
- Dans la pâte de ciment : c'est le cas des bétons cellulaires.
- Entre les gros granulats par suppression des granulats fins : c'est le cas des bétons cavernes.

I.8.DOMAINE D'UTILISATION DES BETONS LEGERS

Selon leur résistance, les bétons légers sont utilisés soit comme :

- **Béton de structure** : c'est le cas des bétons légers de haute performance, les bétons au laitier expansé, à l'argile frittée Expansée, aux cendres volantes. ...etc.
- **Isolant porteur** : c'est le cas des bétons à la pierre ponce, béton à l'argile expansé...etc.
- **Isolants** : leur résistance est faible, dans cette catégorie on peut citer : Les bétons cellulaires.

- Dans la construction on les utilise comme :

- Bloc de maçonnerie
- Panneau préfabriqué.
- Mur antibruit.
- Bardage.
- Ouvrage extérieur.
- Élément de cave.
- Entrevous et hourdis.
- Les pavés.

On retrouve le béton léger dans diverses applications :

- **Fondation** : On peut retrouver du béton léger dans les fondations. En effet, ce dernier étant moins lourd que le béton classique, il peut être placé sur une structure demandant une résistance moins élevée à la charge. Ceci peut être un avantage car la structure est donc plus facile à mettre en place et par conséquent, des économies sont faites [7].
- **Rénovation** : Ce béton étant plus léger qu'un béton classique, cela permet donc de réaliser des rénovations sans avoir à renforcer au préalable la structure sur laquelle on souhaite l'appliquer [8].
- **Isolation** : Le béton léger a comme particularité d'être à la fois un bon isolant thermique et phonique. De ce fait, il est très utilisé lors de la conception de mur ou de dalle.

- **Chape** : Le béton léger peut aussi être utilisé afin de concevoir une chape sèche, qui est d'ailleurs considérée comme un bon isolant phonique et thermique [9].

Il s'utilise pour toutes les étapes de la construction, en intérieur comme en extérieur (murs, cloisons, plafonds,...), du gros œuvre extérieur aux divers aménagements et finitions intérieurs.

CHAPITRE II

UTILISATION DES DÉCHETS

DANS LE GÉNIE CIVIL

II.1-Introduction

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

Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, cas des déchets de démolition par exemple, et l'utilisation de granulats faits à partir de ces déchets demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé.

L'usage de granulats de brique pour la fabrication du béton est jugé, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

II.2-DÉFINITIONS

Plusieurs définitions des déchets ont été proposées, ces dernières années.

Le terme « déchet » désigne :

Un déchet est la quantité perdue dans l'usage d'un produit .ce qui en reste après son utilisation [10].

Selon l'article n°1 de la loi Française n° 75-633 du 15 juillet 1975,tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [11].

Et selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001,tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [12].

II. 3 – PRODUCTION DES DÉCHETS

II. 3.1 – SOURCES DE PRODUCTION DES DÉCHETS

Les sources de production des déchets ou de matières indésirables peuvent être classées en catégories et suivant les modalités de collecte :

- Résidentielles.
- Industrielles, commerciales et institutionnelles(ICI).
- Construction et demolition (CD).

II.3.2 – SOURCES DE DÉCHETS UTILISÉS EN GÉNIE CIVIL

Deux principales sources de production de déchets utilisés dans le domaine de génie civil qu'on les rencontre généralement. Les déchets de construction et de démolition (C&D) et les sous-produits de l'industrie.

II. 3.2.1 – Déchets de construction et de démolition

a) Production

Les déchets de construction et de démolition (C&D) qui sont à la fois lourds et volumineux, à travers le monde entier, ne cessent de se produire en des quantités énormes.

En Algérie, les déchets de construction et de démolition, qui sont généralement classés parmi les déchets industriels, restent inconnus et sont estimés approximativement à des millions de tonnes par an [15].

b) Répartition

Les travaux de construction, de rénovation et de démolition produisent des tas de matériaux de construction : béton, béton armé, briques, pierre de taille, plâtre, bois, métaux, verre, matières plastiques, céramiques, papiers, etc. Ces tas sont plus ou moins composite suivant la nature des ouvrages et l'âge de leur construction.

Les quantités de déchets de chantiers et de démolition se répartissent approximativement selon la Figure II-1 suivante :

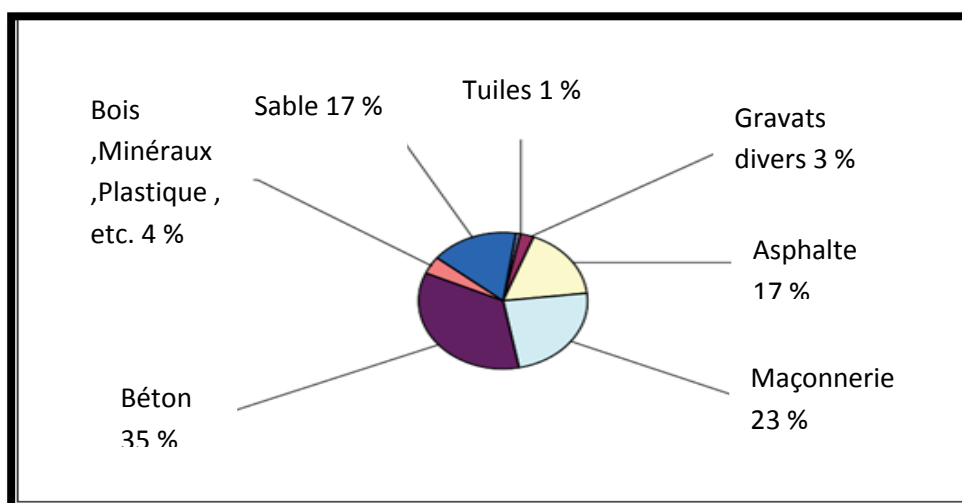


Figure II-1 Répartition des Quantités de Déchets de Chantiers ou de Démolition par Type

II.3.2.2 – Sous-produits de l'industrie

L'industrie constitue la source principale de sous-produits et de déchets utilisés dans le domaine de génie civil. Des quantités énormes qui se produisent sans cesse et qui augmentent toujours, des grandes surfaces de terrain immobilisées par les déchets stockés et de la réduction des disponibilités de terrain, ainsi que de la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

Le génie civil se considère comme un domaine d'utilisation des déchets industriels, a une importance pratique et économique immédiate, car de nombreux produits secondaires et déchets résiduels peuvent remplacer des matières premières naturelles ainsi qu'une large gamme de matériaux de construction.

Parmi les sous-produits et déchets utilisés en génie civil :

- a. Les laitiers de haut fourneau
- b. Les cendres volantes
- c. Le mâchefer
- d. La terre cuite

Par commodité, quoi qu'il en soit et suite à l'axe de notre recherche qui s'intéresse aux déchets de briques, nous les classeront parmi les sous-produits de l'industrie.

En Algérie, la brique est le plus fréquemment utilisée comme élément de maçonnerie dans le secteur du bâtiment. Vu le développement économique de l'Algérie qui s'est engagée en domaine de construction et dans le cadre de valorisation d'utilisation des matériaux locaux, en 1989, l'état algérien a encouragé l'industrie de fabrication des produits rouges.

II.4 – DÉCHETS DANS LE GÉNIE CIVIL

Dans le cadre de travaux de génie civil, on distingue trois catégories principales de déchets : les déchets inertes, les déchets banals et les déchets dangereux.

II.4.1– DÉCHETS INERTES

Les déchets inertes sont les déchets les plus stables. En cas de stockage en décharge, ils ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante et ne présentent pas de danger pour l'homme et l'environnement.

Selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001, déchets inertes tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement .

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve : et sans mélange

- Béton
- Briques
- Parpaings
- Tuiles et céramiques
- Terres et granulats non pollués

Il n'existe pas de définition légale pour cette catégorie. Toutefois, dans l'acception courante, ce sont des déchets :

- générés par les entreprises (commerce, artisanat, industrie, service) et administration
- non inertes mais ne représentant aucun caractère toxique
- pouvant être assimilés aux ordures ménagères car ils contiennent dans des proportions plus importantes les mêmes composants que les OM.

Les déchets banals comprennent : les emballages (palettes, cartons, plastiques, bois,...), les déchets de cantine et d'entretien des locaux, les loupés et chutes de fabrication [11].

II.4.2– DÉCHETS DANGEREUX

Les déchets dangereux ou les déchets industriels spéciaux (DIS) sont des déchets qui présentent un caractère polluant ou toxique et nécessitent d'être éliminés dans une filière spécifique. En citant par exemple : pots de peinture, tubes de colle, certains déchets d'amiante, néons, etc.

Matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.

On appelle « briquillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites).

On appelle « chamotte » : terre cuite broyée ou concassée.

II.5 – DÉCHETS DE BRIQUE : RECYCLAGE ET NORMES

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des débris de briques de terre cuite qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres.

D'une part, techniquement, les débris de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des granulats de débris de briques.

Les débris de briques ont été très employés dans les pays d'Europe qui ont été très ravagés, à la fin de la seconde guerre mondiale, comme la République Fédérale Allemande par exemple. Des tas de décombres de villes dont les débris de briques générés, se trouvent en quantités énormes. Vu la désorganisation des moyens de production, il était difficile de se procurer des matériaux de construction.

En conséquence, des débris de briques ont été utilisés pour produire des granulats et des normes ont été élaborées telles que :

- **DIN4155:** Corps creux et parpaings en T en béton de débris de briques.
- **DIN4158:** Hourdis creux de planchers en béton léger pour planchers nervurés en béton armé.
- **DIN4161:** Parpaings de béton de briques.
- **DIN4162:** Carreaux de cloisons en béton de débris de briques.
- **DIN4163:** Béton de débris de brique : conditions de fabrication et d'emploi.

II.6– PROPRIÉTÉS DES BÉTONS DES DÉCHETS DE BRIQUE

Les briques concassées sont utilisées largement au Bangladesh pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante.

Et l'usage du concassé de briques comme granulat est d'intérêt particulier dans les pays tel que l'Inde et le Pakistan.

Les résultats des essais du béton de granulats de brique concassée sont favorablement comparables avec ceux du béton normal, obtenus par l'ACI.

Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes propriétés du béton de granulats de brique.

Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de brique concassée, résultantes des essais et des recherches sont :

- Les briques concassées, provenant des briques et tuiles, possèdent des résistances propres de 100 à 300 kg/cm².
- L'absorption de brique concassée est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, à saturer les granulats de la brique concassée avant tout mélange pour empêcher le raidissement du béton. Dans la pratique et suite aux implications économiques, cette condition peut être accomplie en vaporisant simplement le stock du granulats avec l'eau au lieu de l'immersion totale du granulats pendant 30 min [10].
- La masse volumique apparente du béton de brique concassée varie de 2000 à 2080 kg/m³. Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal [13].
- La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulats normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de brique concassée [10].
- Pour les bétons de granulats de brique concassée, le rapport eau – ciment optimum est 0,55 ; bien que si la haute ouvrabilité est exigée, alors les mélanges puissent être faits avec un rapport eau – ciment jusqu'à 0,7 [10].
- La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 MPa.
- L'utilisation du granulats grossier de brique concassée peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % pour une diminution de quelques 20 % de la résistance, par rapport à un béton normal.
- Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [12].
- Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton [14].

II.7 – UTILISATIONS DES BÉTONS DES DÉCHETS DE BRIQUE

Les débris de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger :

- De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m³, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm², présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas.
- Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg/m³, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm², une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm², des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm/m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur (Z environ 0,25 kcal/m⁰c pour 1050 kg/ m³).
- mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de débris de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée.
- Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage.
- Le béton de débris de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité [12].
- Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager.
- Le béton à base de briques concassées présente, particulièrement, une bonne résistance au feu [12]. Les bétons classiques, confectionnés avec des ciments courants, en général, ne résistent pas à des températures supérieures à 3000 C.
- Les bétons réfracteurs sont des bétons confectionnés avec du ciment alumineux et qui sont non armés, capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques, à l'abrasion et aux chocs thermiques répétés.

- Les granulats à base de brique concassée conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées, carreaux de cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de fours...

II.8 – UTILISATIONS LOCALES

À nos jours, la très grande majorité des déchets inertes est éliminée en mélange, en particulier ceux du secteur du bâtiment, ce qui limite les possibilités de valorisation. Par ailleurs, les déchets de brique de l'industrie sont eux aussi éliminés dans des décharges qui sont parfois sauvages sans valorisation significative.

Des tas de débris de brique gênants dont le détenteur se défait, trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles sous une forme assez dépourvue d'orthodoxie scientifique. Parmi les exutoires utilisés comme remède de la situation vivante et d'après les sources des briqueteries :

- Plates formes en béton
- Chapes en mortier du ciment
- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture
- Refection de planchers anciens,
- Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique,
- Remblaiement des fouilles et de site, etc.

II.9 –CONCLUSION

Notre recherche dans les déchets, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers (dits inertes) dans le domaine de génie civil, plus particulièrement, comme granulats, ce qui permettrait de réduire d'autant les extractions de granulats tout en prolongeant la vie des décharges qu'ils contribuent actuellement à saturer.

Les déchets inertes donc, peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers de travaux publics ou encore comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de brique, qui peuvent être utilisés comme granulats pour la fabrication du béton et qui sont jugés, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

En général, les granulats de la brique concassée produisent des bétons d'une résistance acceptable. Le granulat de la brique concassée peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité. Selon Devenny et Khallaf [12], c'est possible d'avoir des bétons de haute résistance qui peut dépasser la résistance moyenne ciblée. Les granulats de la brique doivent être choisis correctement avant d'être utilisés dans la production de béton.

En effet, Devenny et Khallaf [12], ont trouvé que la résistance des granulats de la brique concassée est fonction de la résistance de la brique originale, ce qui représente un avantage au préalable, dans le choix de type de brique à utiliser et qui serait convenable comme granulat dans la production de béton.

Des essais effectués sur des bétons de débris de brique ont montré que, pour des bétons de masse volumique apparente de l'ordre de 2000 kg /m³, on avait des résistances à la compression à celle des bétons normaux.

Il faut dire, cependant, que ces bétons ne peuvent être appelés «bétons légers».

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE III

CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

III. 1 – INTRODUCTION

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature.

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes, normes françaises et les modes opératoires en vigueur.

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région de M'sila. les matériaux utilisés sont :

- 1. Le sable de dune fin d'origine silicique
- 2. deux fractions de graviers roulés (3/8,8/16) : le gravier est d'origine calcaire
- 3. Le ciment de CPJ - CEM II/B 42,5
- 4. déchets de briques (deux fractions de granulats recycle 3/8 ; 8/16 et sable 0/5)
- 5. poudre d'aluminium
- 6. Eau de gâchage : c'est l'eau potable

III. 2 – MATÉRIAUX UTILISÉS

III. 2.1 – CIMENT

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [16].

Le ciment employé lors de l'étude est un ciment portland composée CPJ - CEM II/B 42,5 ; de classe commerciale **42.5 MP** ; Mais sa résistance moyenne à **28 jours** (classe vrais), est estimé a **45 MP**.

Le ciment MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442,EN 197-1.

III .2.1.1- COMPOSITION CHIMIQUE

Eléments	Perte au feu	Résidus insolubles	Sulfates SO3	Oxyde de magnésium Mg	chlorures	Equivalent en alcalis
Teneur(%)	7.50-12.00	0.7-2	2.00-2.70	1.00-2.20	0.01-0.05	0.3-0.75

Tableau III-1 : compositions chimiques de ciment

III .2.1.2- COMPOSITION MINIRALOGIQUE

Elements	C3S	C2S	C3A	C4AF
Tenure (%)	58-46	12-18	6-8	10-12

Tableau III-2 : compositions minéralogiques de ciment

III .2.1.3- PROPRIETES PHYSIQUES

Consistance normale de la pate de ciment(%)	Finesse de Blaine (NA231)	Retrait à 28 j en (3M/m)	Expansion en (mm)
25-28.50	4150-5250	<1000	0.3-2.5
Temps de prise à 20 °c (NA230)			
Début de prise (min)		140-195	
Fin de prise (min)		195-290	
Résistance à la compression (NA234)			
02 Jours (MP)		≥ 10.0	
28Jours(MP)		> 42.5	

Tableau III-3 : propriétés physiques de ciment

III. 2.2 – GRANULATS

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé deux types de granulats, l’un est naturel (Photo III-1) et l’autre recyclé (Photo III-2) :



Photo (III- 1) : Granulats Naturels



photo (III-2) : Granulats Recyclés

- Les granulats naturels sont :

- Le sable naturel de classe granulaire (0/5) :

Le sable utilisé provient des abords de l'oued Maître. Cet oued est situé entre les collines de Boussaâda, entre lesquelles souffle un vent provenant du sud chargé de grains fins. L'avance du désert a permis donc, au fil des ans le dépôt du sable dans l'oued, qui par suit a assuré son transport et son étalement. Ainsi plusieurs profondeurs de plusieurs mètres le long de l'oued Maître. Nous pouvons dire que ce sable est d'origine éduenne.

- Le gravillon naturel de classe granulaire (3/8)
- Le gravillon naturel de classe granulaire (8/15)

Les granulats recyclés sont obtenus par concassage manuellement au niveau de laboratoire puis broyés jusqu'à la fraction (3/8) ;(8/16) ; et sable (0/5)

- Le sable recyclé de brique concassée de classe granulaire (0/5)
- Le gravillon recyclé de brique concassée de classe granulaire (3/8)
- Le gravillon recyclé de brique concassée de classe granulaire (8/16)

III. 2.3 – EAU DE GACHAGE

L'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, l'évolution des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion.

Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage du béton, à moins qu'elles ne contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose. En effet, l'eau potable est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai.

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire.

III .2.4- LA POUDRE D'ALUMINIUM

La poudre d'aluminium joue un rôle important dans la création des pores dans la masse du béton, par sa réaction avec l'hydroxyde de calcium.

L'utilisation de la poudre d'aluminium comme agent gonflant : après avoir préparé les ingrédients secs, de la poudre d'aluminium et de l'eau étaient ajoutées juste avant de verser le mélange dans le moule ; Le béton peut être comparé à la cuisson d'un pain : la poudre d'aluminium remplit la même fonction que la levure en augmentant le volume du mélange [5].

III. 3 – ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES GRANULATS

Une série d'essais d'identification a été effectuée sur le matériau granulat utilisé, naturel et recyclé, sable et gravillon, Ces essais vont nous renseigner sur la qualité des granulats et sur la possibilité d'utiliser ces granulats dans la réalisation des ouvrages en béton.

Essays		SN	SR	GN	GR
Analyse granulométrique		X	X	X	X
Module de finesse		X	X		
Masses volumiques	atp	X	X	X	X
	abs	X	X	X	X
Absorption dead		X	X	X	X
Equivalent de sable		X	X		
Porosity				X	X
Los Angeles				X	X

Tableau III-4:Essais Effectués SUR Les Granulats

III. 3.2 – ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE

L'analyse Granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. On trace ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

L'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne NF EN 933 -1.

En utilisant les tamis préconisés par la norme européenne NF EN 933 – 2.

Ainsi que les tamis nécessaires à la couverture des dimensions comprises entre :

- 0,08 mm et 2D Pour les sables,
- 0,63d et 2D Pour les gravillons.

Les résultats de cette analyse sont donnés sur des tableaux, et représentés graphiquement dans la Figure suivante :

Sable N 0/5	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Rufus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
2.5	150	150	7.5	92.5
1.25	124	274	13.7	86.3
0.63	166	440	22	78
0.315	948	1388	69.4	30.6
0.125	588	1976	98.8	1.2
0.08	20	1996	99.8	0.2
fond	4	2000	100	0

Tableau III-5: Analyse granulométrique du sable normale

▪ **Module de finesse:**

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis (0.125, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5). Il est donné par la relation suivante:

$$Mf = \Sigma RC / 100$$

$$Mf = 2.114 \text{ (sable fin)}$$

▪ **Analyse granulométrique des granulats normales :**

Fraction	Tamis mm	Refuse partiel (g)	Refuse cumuli (g)	Refuse cumuli (%)	Tamisât (%)
3/8	8	10	10	0.31	99.69
	6.3	1051	1061	33.15	66.85
	5	1087	2.148	67.12	32.88
	4	867	3.015	94.21	5.79
	3.15	142	3.157	98.65	1.35
	2.5	30	3.187	99.59	0.41
	fond	9	3196	99.87	0.13
8/16	16	25	25	1.67	98.33
	12.5	149	174	11.6	88.4
	10	512	686	45.73	54.27
	8	723	1409	93.93	6.07
	6.3	84	1493	99.53	0.47
	2.5	4	1497	99.8	0.2
	fond	3	1500	100	0

Tableau III-6 :Analyse granulométrique du GN (3/8) et (8/16)

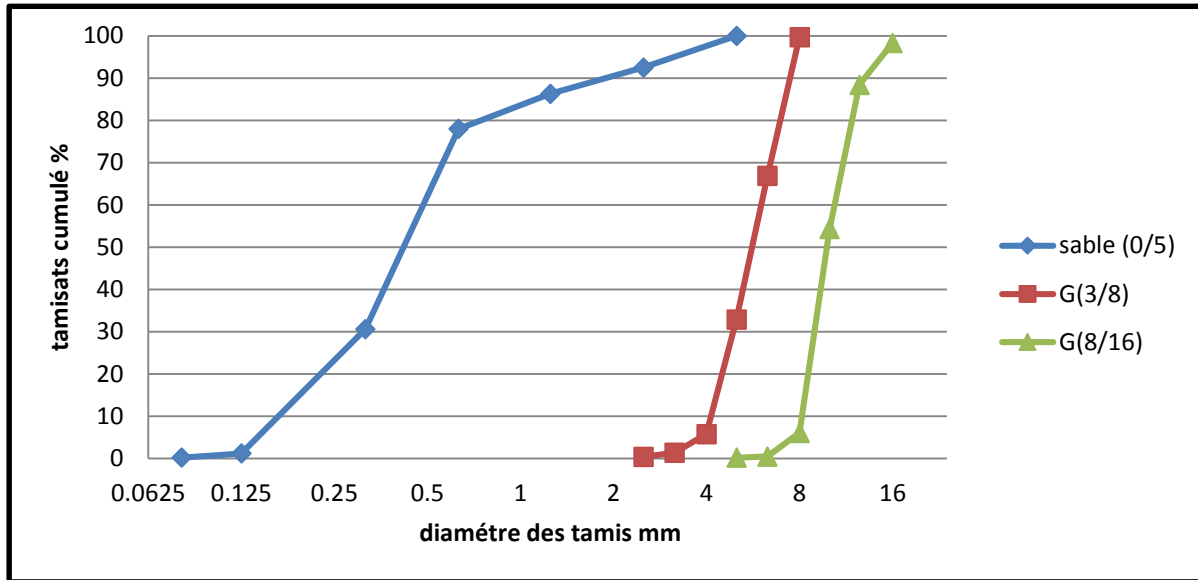


Figure III-1 : courbe granulométrique de granulats utilisé (0/5);(3/8);(8/16)

▪ Analyse granulométrique du sable recycle :

Sable R 0/5	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
2.5	63	63	3.15	96.85
12.25	186	249	12.45	87.55
0.63	110	359	17.95	82.05
0.315	174	533	26.65	73.35
0.125	885	1418	70.9	29.1
0.08	505	1923	96.15	3.85
fond	75	1998	99.9	0.1
	touts	2000		

Tableau III-7 : Analyse granulométrique du sable recycle

Module de finesse:

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis (0.125, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5).

Il est donné par la relation suivante:

$$Mf = \Sigma RC / 100$$

$$Mf = 1.31$$

▪ Analyse granulométrique du GR (3/8) et (8/16)

Rfaction	Tamis mm	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
3/8	8	0	0	0	100
	6.3	365	365	22.81	77.19
	5	430	795	49.68	50.32
	4	425	1220	76.25	23.75
	3.15	289	1509	94.31	5.69
	2.5	60	1569	98.06	1.94
	fond	29	1598	99.87	0.13
8/16	16	0	0	0	100
	12.5	399	399	24.93	75.07
	10	799	1198	74.87	25.13
	8	357	1555	97.18	2.82
	6.3	24	1579	98.68	1.32
	fond	21	1600	100	0

Tableau III-8:Analyse granulométrique du GR (3/8) et (8/16)

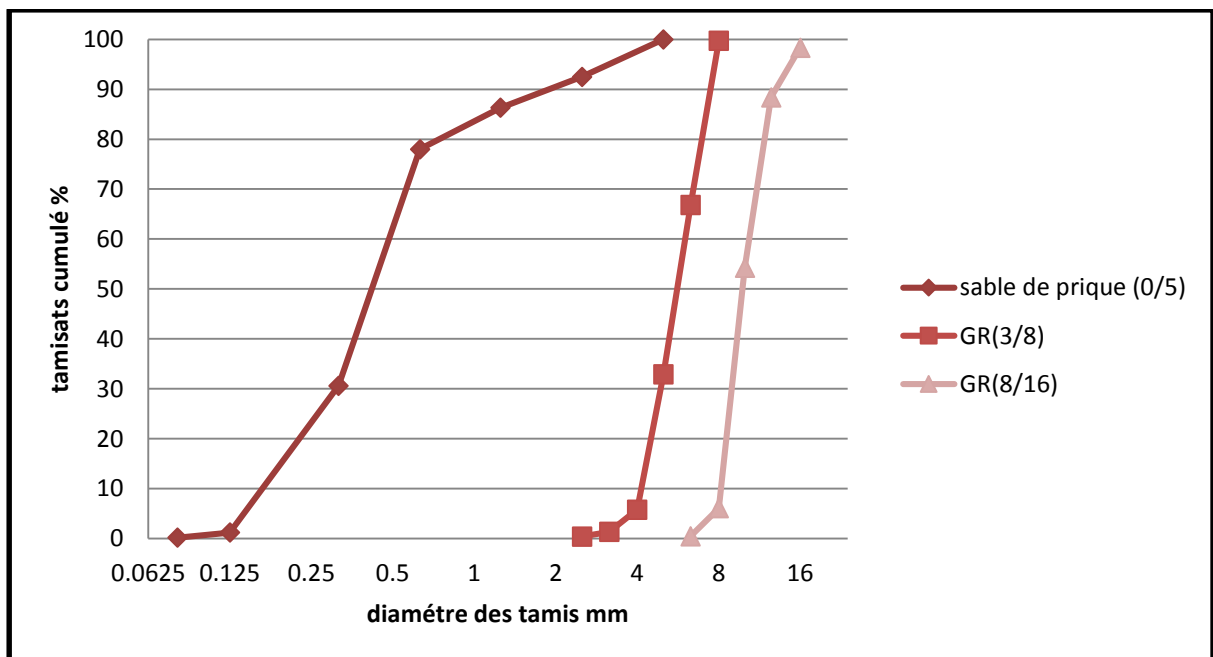


Figure III-2 : courbe granulométrique de granulats recyclé (0/5);(3/8);(8/16)

III. 3.3 – MASSES VOLUMIQUES DES GRANULATS

III. 3.3.1 – Masses volumiques apparentes

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

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

M étant la masse du granulat remplissant un récipient de volume V.

Les masses volumiques apparentes des sables ont été déterminées conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 1097 - 3.

Par contre, les masses volumiques apparentes des gravillons ont été déterminées conformément au mode opératoire de détermination du poids apparent de gros agrégats (Photo A1-1).

III. 3.3.2 – Masses volumiques absolues

les masses volumiques absolues des gravillons ont été déterminées conformément au mode opératoire de la méthode de l'éprouvette graduée (Photo A1-2).

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

Masse volumique kg/m ³	Sable (0/5)		Gravillon (3/8)		Gravillon (8/16)	
	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé
Masse volumique apparente	1.43	1.22	1.49	1.04	1.51	1.07
Masse volumique absolue	2.7	2.4	2.60	2.14	2.60	2.14

Tableau III-9 : Masses Volumiques des Granulats

- Les valeurs des masses volumiques apparentes sont respectivement les plus faibles. Par contre, celles des masses volumiques absolues sont respectivement les plus grandes pour l'ensemble des granulats, ce qui est logique.
- L'aspect léger des granulats de brique concassée par rapport aux granulats naturels est bien apparent et qui est du à la porosité des grains de la brique concassée [18].
- Les masses volumiques apparentes des granulats recyclés sont inférieures à celles des granulats naturels, ce qui représente un avantage économique en poids du béton.

III. 3.4 – ABSORPTION D’EAU

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

Coefficient d’absorption d’eau en(%)	Sable (0/5)		Gravillon (3/8)		Gravillon (8/16)	
	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé	Naturel	Recyclé
(Ab) (%)	-	29.81	1.1	8.31	0.81	7.52

Tableau III-10: Coefficient d’Absorption d’Eau des Granulats (Ab)

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

III. 3.6 – ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES SABLES

III. 3.6.1 – Équivalent de sable

L’essai d’équivalent de sable a pour objet de contrôler la propreté du sable d’éléments fins et de poussières. Il a été effectué conformément à la norme française P 18 - 598, pour le sable naturel et la norme française P 18 - 597, pour le sable recyclé.

Le Tableau III-11 suivant indique les résultats des essais :

Équivalent de sable	SN (0/5)	SR (0/5)
(ESV)	51.84	71.05
(ESP)	54.80	56.81

Tableau III -11: Équivalents de Sable

- **Equivalent de sable** : ESV=51.84% et ESP=54.80% ; $ESV \leq 65$, $ESP \leq 60$ c’est un Sable argileux d’où risque de retrait ou de gonflement ; ne doit pas être utilisé dans la confection de bétons de qualité.

III. 3.7 – ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES GRAVILLONS

III. 3.7.1 – Porosité

L’essai de porosité des gravillons a été effectué conformément à la norme française P 18 - 554. Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Porosité	GN		GR	
	(3/8)	(8/16)	(3/8)	(8/16)
(n)en(%)	43.2	41.9	51.44	50.04

Tableau III-12 : Porosité des Gravillons (n)

- On remarque que le gravillon recyclé est beaucoup plus poreux que le gravillon naturel. Ceci confirme la légèreté du granulat recyclé due à sa porosité élevée et que les granulats recyclés en brique concassée sont beaucoup plus absorbants que les granulats naturels.

III.3.7.2- Compacité et Indice de vide :

- **Compacité :** $C = \rho_{app} / \rho_{abs}$
- **Indice de vide :** $I = p/c$

	GN		GR	
	(3/8)	(8/16)	(3/8)	(8/16)
Compacité (%)	56.8	58.1	48.55	49.99
Indice de vide	0.76	0.72	1.05	1

Tableau III-13 : Compacité et Indice de vide

III . 3.7.3 – Los Angeles

L'essai Los Angeles a été effectué conformément à la norme française P 18 - 573. Il consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation du matériau testé de classe granulaire (8/16), soumis aux chocs d'une charge de 11 boulets par la mise en rotation du cylindre de la machine Los Angeles (Photo A1-3) de 500 tours.

Le coefficient Los Angeles (LA) est le pourcentage du rapport de la masse m par le 5 kg du matériau testé :

$$LA = 100m/5000$$

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

Coefficient Los Angeles	GN	GR
	(8/16)	(8/16)
(LA) en (%)	38	65

Tableau III-14: Coefficient Los Angeles (LA)

- D'après les résultats obtenus, On remarque que le gravillon naturel roulé présente une bonne qualité qui le permet d'être utilisé dans le béton ordinaire, Alors que la valeur de LA de gravier recyclé de brique montre que ce type de gravier est loin d'être utilisé dans un béton ordinaire mais il est accepté et peut-être préférable d'être un élément de constituant d'un béton léger dont la résistance mécanique n'est pas un facteur important.
- On note ici le coefficient Los Angeles est d'autant plus élevé que le granulat est moins bon. Et selon la norme française P 18 - 557, La résistance mécanique des roches est directement liée à leur porosité et la nature de matrice.

III. 4 – CONCLUSION

L'analyse des résultats des caractéristiques des différents matériaux étudiés dans ce chapitre nous conduit à faire les remarques suivantes :

- Le sable recyclé est un sable friable qu'il faut éviter dans les bétons soumis à l'usure. Il favorise la perméabilité et l'augmentation de l'air occlus dans les bétons par sa granulométrie grossière.
- Les gravillons recyclés présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons courants.

Cependant, ils ont une faible résistance mécanique qui peut diminuer fortement la résistance globale du béton.

En conclusion, des différents mélanges seront confectionnés à base de ces matériaux afin d'apprécier les caractéristiques des granulats en brique concassée ainsi que leur influence sur les performances du béton.

CHAPITRE IV

FORMULATION DES BÉTONS ET ESSAIS

IV.1. Détermination de la composition du béton :

IV.1.1. « Méthode de Dreux Gorisse » :

Pour déterminer les dosages correspondants à chaque constituant du béton, nous avons opté pour la méthode de Dreux Gorisse. Cette méthode a l'avantage de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition d'un béton. Les différentes étapes de cette méthode sont comme suit :

a. Résistance souhaitée du béton :

La résistance nominale à 28 jours : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

b. Consistance désirée :

Pour avoir un béton plastique la norme NF P18-451 préconise un affaissement au cône d'Abrams de 6 à 9 centimètres, on prend une moyenne de 6cm.

c. Dosage en ciment et en eau :

Le ciment utilisé est le CPJ42.5, sa résistance moyenne c_{28} est estimée à 45 MPa.

Les granulats sont de qualité courante et de dimension à 16 mm ; le coefficient granulaire G est tiré du tableau [tab(1)] [A3] : $G=0.45$;

On aura un rapport C/E : $C/E = (28.75/0.45 \cdot 45) + 0.5$ $C/E = 1.91$

Le dosage en ciment : en fonction du rapport C/E et de l'affaissement A

$$\begin{cases} \frac{C}{E} = 1.91 \\ A = 6 \end{cases} \Rightarrow C = 350 + 33.33 \text{ Kg/m}^3 \Rightarrow C = 383.33 \text{ Kg/m}^3$$

On obtient alors le dosage en eau : $E = C/1.91 = 383.33/1.91 = 200.69 \text{ Kg/m}^3$

Correction sur le dosage en eau : $D=16 \text{ mm} \Rightarrow (+4\%)$

$$E = 200.69 \cdot 1.04 \Rightarrow E = 208.71 \text{ Kg/m}^3$$

d. Dosage des granulats :

Après avoir tracé la courbe granulométrique (Figure III.1), on trace la courbe de référence (optimale) OAB (Figure IV.2).

L'origine O de la courbe a pour coordonnées : **(0.08, 0)**

Le point de brisure A a pour coordonnées :

Abscisse : $D/2 = 16/2 = 8 \text{ mm}$; Ordonnée : $y=50 - \sqrt{D+K} + K_s + K_p$

- $K : [\text{tab}(2)][A_3] \quad K=-2$
- K_s : ajustement pour les sables de granularité un peu grossière: $FM=2.114$
- $K_s=6*2.114-15=-2.316$
- $K_p = 0$ si béton non pompable

$Y=50-4-2-2.316=41.68 \quad A(8 ; 41.68)$

Le point B a pour coordonnées : (16, 100)

$A(8 ; 41.68), B(16 ; 100), O(0.08 ; 0)$

- Les lignes de partage s'obtiennent en joignant :

Le point 95% de la courbe de sable 0-5 au point 5% de la courbe de gravier 3-8

Le point 95% de la courbe de sable 3-8 au point 5% de la courbe de gravier 8-16

Les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe de référence OAB donnent les pourcentages des granulats indiqués dans le tableau ci-dessous :

Granulats	Sable (0-5)	Gravier (3-8)	Gravier (8-16)
%des granulats	34	8	58

Tableau IV-1: Pourcentage des granulats naturels.

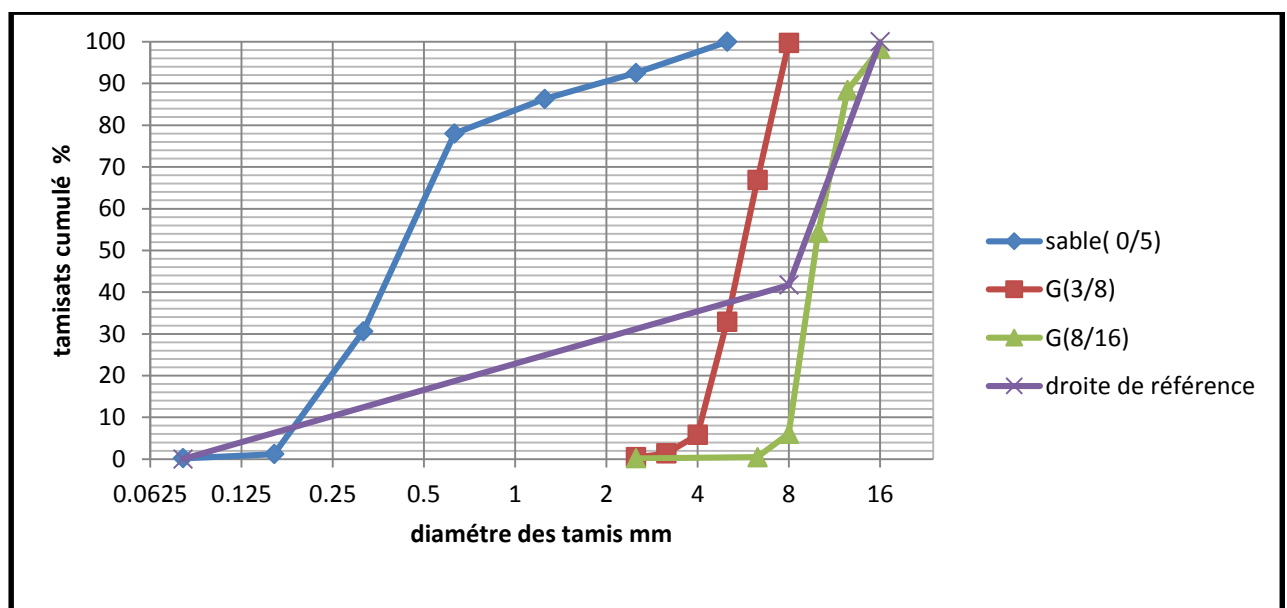


Figure IV-1 : Courbe granulométrique optimale.

- Les volumes et masses des matériaux utilisés pour 1m³ de béton témoin sont calculés ci-après :

- Le volume du ciment : $V_c = C/\rho_c = 383.33/3.1 = 123.65 \text{ L/m}^3$

- Le volume des granulats : $V_g = 1000 \cdot \gamma - V_c = 1000 \cdot 0,820 - 123.65 = 696.35 \text{ L/m}^3$

Avec :

- « γ » coefficient de compacité du béton témoin « γ » est donné par le (tableau (2)) [A3]

$$\gamma = 0.820$$

D'où les volumes et les masses des granulats sont donnés par les tableaux suivants :

Granulats	Sable (0-5)	Gravier 1 (3-8)	Gravier 2 (8-16)
Volume [L/m ³]	34%* 696.35=236.75	8%*696.35=55.708	58%* 696.35=403.883

Tableau IV-2: Volume des granulats naturels

- Masse volumique abs de sable=2.60
- Masse volumique abs de gravier =2.65

Finalement, les dosages en masse pour un 1 m³ de béton sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Matériaux	Sable	Gravier (3/8)	Gravier (8/16)	Ciment	Eau
Poids [Kg]	615	148	1070	383.33	209
Volume[L]	137	56	404	124	209
E/C	0.5				
Affaissement(cm)	6				
La densité théorique du béton frais est de 2425 kg /m³					

Tableau IV-3 : Dosage pour 1m³ de béton léger témoin

- **Remarque** : estimé le dosage en ciment a 400 kg/m^3
- La quantité de poudre d'aluminium égale a 5% de la quantité de ciment
- Les compositions optimales de 1m^3 des bétons des 4 types qui serviront à la confection des éprouvettes pour essais, sont données dans le Tableau suivant :

Constituants	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Sable Normal (0/5)	462	308	154	-
Gravillon Normal (3/8)	111	74	37	-
Gravillon Normal (8/16)	803	535	267	-
Sable Recyclé (0/5)	154	308	462	615
Gravillon Recyclé (3/8)	37	74	111	148
Gravillon Recyclé (8/16)	267	535	803	1070
Ciment	400	400	400	400
Eau efficace (E)	209	209	209	209
Eau ajoutée	80 L	103L	160L	208 L
Poudre d'aluminium	20 (kg/m^3)			
E / C	0.5			
Affaissement	6			

Tableau IV-4 : composition optimale de 1 m^3 des bétons en kg/m^3

- **Béton (type-1)** : béton avec 25% de granulats de brique concassée
- **Béton (type-2)** : béton avec 50% de granulats de brique concassée
- **Béton (type-3)** : béton avec 75% de granulats de brique concassée
- **Béton (type-4)** : béton avec 100% de granulats de brique concassée

IV.2-CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES

IV.2-1-MOULES POUR ÉPROUVETTES

- Eprouvettes cubiques ($10*10*10$) cm en béton témoin
- 9 éprouvettes cubiques : $V_t = (0.1*0.1*0.1)*9 = 0.009\text{m}^3$
- majoration de 25% : $V_{T+25\%} = 0.009*1.25 \rightarrow V_T = 0.01125 \text{ m}^3$

	Sable	Gravier(3/8)	Gravier(8/16)	Ciment	Eau
M [Kg]	6.92	1.66	12.04	4.31	2.350

Tableau IV-5 : Quantités pour 9 éprouvettes de béton témoin.

La préparation des mélanges a été effectuée suivant un dosage pondéral des granulats et conformément à la norme française NF P18 - 404, qui consiste à :

- Introduire, en premier lieu, dans un malaxeur à béton, (Photo A2-1) les Constituants dans l'ordre suivant (gravillons, liant, sable),

- Malaxer a sec les éléments de l'ordre de 1 min,
- Ajouter la poudre d'aluminium
- Ajouter l'eau de gâchage et poursuivre le malaxage pendant 2 min.

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

On mélange et on homogénéise la gâchée exécutée et on en prélève la quantité voulue pour le remplissage des moules en deux couches pour les moules cubiques. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage, par table vibrante (PhotoA2-2), pour chaque couche du béton introduite.

IV. 3.3- CONSERVATION DES ÉPROUVETTES

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

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai.

La conservation des éprouvettes dans l'eau ou dans l'air libre a été faite selon le type d'essai.

IV. 4- ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES BÉTONS

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton fait avec granulat en brique concassée et comparer ceux-ci aux propriétés de béton ordinaire.

Le Tableau V-6, ci-dessous, nous indique les types d'essais effectués sur les bétons, aux différents échéances d'âges ainsi que le mode de conservation des éprouvettes jusqu'au moment de l'essai et selon le type de test.

Types d'essais	Mode de conservation		Age (jours)
	Eau	Air	
affaissement			Avant coulage
Masse volumique (béton frais)			Avant coulage
Air occlus			Avant coulage
Masse volumique (béton durci)		X	Après 28 j
compression	X		Après 28 j
Absorption capillaire		X	Après 28 j
Absorption par immersion		X	Après 28 j

Tableau IV-6 : Essais Effectués sur les Bétons

Les essais ont été effectués au moyen des trois éprouvettes par nature d'essais aux différentes échéances d'âges.

IV. 4.1- ESSAI D'AFFAISSEMENT

L'ouvrabilité des différents bétons composés a été appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams (Photo A2-3).

L'essai d'affaissement (Slump-Test) a été effectué conformément à la norme européenne NF EN12350 - 2.

IV. 4.2-MASSE VOLUMIQUE DU BÉTON FRAIS

La masse volumique du béton frais a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne NF EN12350 - 6.

Elle a été déterminée lors des essais d'étude et correction de la formule des mélanges par la mise en place du béton frais dans un récipient rigide de volume $V=8L$ et de masse M_1 , puis pesé l'ensemble soit la masse M_2 .

$$D = (M_2 - M_1) / V \quad (\text{kg/m}^3)$$

Les résultats obtenus dans le Tableau V-7.

IV. 4.3- MESURE DE L'AIR OCCLUS

La mise en place du béton enferme toujours une certaine quantité d'air appelée « air occlus ». L'air occlus, c'est donc les vides d'air dans le béton qui ne sont pas intentionnellement créés.

La mesure de l'air occlus, a été faite, par la méthode du manomètre, conformément au mode opératoire de la norme allemande DIN 1048, à l'aide d'un aéromètre à béton de 8 litres de volume (Photo A2-4).

La mesure se fait par introduction à ras bords de la quantité de béton frais (en trois couches serrées à l'aide d'une table vibrante) dans un réservoir, injection de l'eau par l'un de deux robinets de couvercle, qui enferme soigneusement le réservoir, jusqu'à ce que l'eau sorte par l'autre robinet ; pompage de l'air dans la sas à l'aide d'une petite pompe manuelle jusqu'à ce que l'aiguille de manomètre atteigne le niveau de pression initiale et enfin, une fois les deux robinets sont fermés, enfoncer le bouton vert pour commencer le test. La valeur lue sur le manomètre est égale au pourcentage apparent de l'air occlus. Les résultats sont donnés sur le Tableau V-7.

Désignations	B-O	Type.1	Type.2	Type.3	Type.4
Masse Volumique (kg/ m^3)	2387	2256	2134	2051	2007
Air occlus (%)	1.32	2.9	4.5	4.85	5.3

Tableau IV-7: Masse Volumique et Air Occlus des Bétons Frais

IV. 4.4 - MASSE VOLUMIQUE DU BÉTON DURCI

Selon la norme européenne NF EN 206 -1, un béton de masse volumique normale, c'est un béton dont la masse volumique après séchage à l'étuve est supérieure à 2000 Kg/m³ mais inférieure ou égale à 2600 kg/m³.

La masse volumique du béton durci a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne NF EN 12390 - 7.

Elle a été déterminée, à l'âge de 28 jours, sur une éprouvette cubique (10x10x10 cm) de masse (m) constante après séchage à l'étuve et de volume (V). La masse volumique du béton durci mesurée en moyenne des trois éprouvettes est donnée par la formule suivante:

$$D = m/v \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Désignation	B-O	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Masse Volumique (kg / m ³)	2285	1800	1676	1632	1558

Tableau IV-8 : Masses Volumiques des Bétons Durcis

IV. 4.5 – ESSAI DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

L'essai de résistance à la compression du béton a été effectué conformément à la norme européenne NF EN 12390 - 3, par application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique, dans le sens perpendiculaire à l'axe de coulage, jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression (Photo A2-5).

La résistance à la compression du béton, à l'âge déterminé, est égale à la moyenne arithmétique, exprimée à 0,5 MP près, des valeurs mesurées sur chacune des trois éprouvettes cubiques de 10 cm d'arête. Les résultats sont donnés sur le Tableau IV-9.

Désignations	B-O	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	
28j	Rc (MPa)	30.32	13.83	13.31	14.33	19.45
	(%)	100	46	44	47	64

Tableau IV-9 : Résistance à la Compression des Bétons sur Cube

IV. 4.9 – ESSAI D'ABSORPTION CAPILLAIRE

Les essais d'absorption capillaire sont également intéressants et faciles à effectuer. Ils renseignent globalement sur la structure et sur l'importance du réseau capillaire. Ils sont aussi utilisés en complément d'autres essais pour caractériser la durabilité du béton.

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480 - 5. Il consiste à déterminer le taux d'absorption par remontée capillaire, due à la force de succion, d'une éprouvette cubique de béton posée à sa base sur de petits supports de telle manière que seuls les 2 à 5 premiers millimètres du bas de l'éprouvette soient immergés.

On mesure alors l'augmentation de la masse de l'éprouvette en fonction du temps (jusqu'à 24h). À chaque échéance, l'éprouvette cubique (10x10x10cm) séchée préalablement à l'étuve jusqu'à masse constante, est sortie du récipient, essuyée légèrement puis pesée (M_j) et replacée dans le récipient.

Pour une échéance donnée, l'absorption capillaire « C_A » est exprimée en grammes par millimètre carré, par la formule suivante :

$$C_A = \frac{M_j - M_0}{S} \text{ (g/mm}^2\text{)}$$

Avec:

- M_0 : masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en grammes.
- M_j : masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes.
- S : section de la base de l'éprouvette en millimètre carré.

Les résultats obtenus à chaque échéance sur trois éprouvettes de chaque type du béton sont exprimés sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées. Ils sont donnés sur le Tableau IV-10 et la Figure V-9 du chapitre V suivant.

		Absorption d'eau par capillarité en grammes							
B \ T	T	5	10min	20	30	60	180min	360 min	1440 min
B-O		2	3	6	7	9	13	14	23
Type-1		2	4	6	7	9	20	21	35
Type-2		5	6	9	10	13	21	23	40
Type-3		2	3	4	5	6	15	28	43
Type-4		9	11	13	15	17	29	30	44

Tableau IV-10 : Absorption d'Eau par Remontée Capillaire des Bétons

IV.4.10 – ESSAI D'ABSORPTION PAR IMMERSION

L'absorption se mesure habituellement en faisant sécher une éprouvette à masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de masse exprimée en pourcentage de la masse sèche.

L'essai d'absorption par immersion a été effectué, effectivement, en séchant des éprouvettes cubiques (10x10x10 cm) du béton à l'étuve jusqu'à masse constante, ensuite en les immergeant totalement dans l'eau pendant 24h à la pression atmosphérique (c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau). L'essai a pour but de déterminer la porosité du béton à base de brique concassée.

La porosité du béton est définie par la formule suivante :

$$\text{Porosité} = (M_a - M_s / \mu_w \times V) \times 100 (\%)$$

Avec :

- M_a : masse de l'éprouvette saturée d'eau,
- M_s : masse sèche de l'éprouvette,
- μ_w : masse volumique de l'eau,
- V : volume de l'éprouvette.

Les résultats obtenus sur trois éprouvettes de chaque type du béton sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées. Ils sont donnés sur le Tableau IV-11 et sur la Figure V-10 :

Designations	B-O	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Porosité (%)	5.41	7.86	10.44	12.68	14.15

Tableau IV-11 : Porosité des Bétons

CHAPITRE V

ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

V.1 –INTRODUCTION

Dans le présent chapitre, sont exposés les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les bétons, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre IV. Une analyse et une discussion des résultats, suivis d'une comparaison avec ceux reproduits dans la littérature, seront également présentées dans ce chapitre.

V. 2 – BÉTON FRAIS

V.2.1 – CONSISTANCES DES BÉTONS FRAIS

Afin de faciliter la comparaison des bétons entre eux, tous les bétons ont été fabriqués à ouvrabilité constante appréciée par un affaissement au cône d'abrams de l'ordre de 6 cm de la classe de consistance des bétons plastiques.

Le Tableau V-1 ainsi que la Figure V-1 suivants nous donne une indication sur les quantités d'eau totales réellement utilisées dans les mélanges ainsi que les quantités réelles ajoutées aux mélanges (compte tenu du pourcentage élevé d'absorption d'eau de granulats à base de brique concassée). Un affaissement de l'ordre de 6 cm est maintenu constant pour les différents mélanges avec un rapport eau/ ciment de (0,5).

D'après le Tableau V-1 et la Figure V-1 suivants, on remarque que :

- La quantité d'eau ajoutée au béton entièrement en brique concassée est de 99 % de celle de l'eau efficace.

Designations	B-O	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Ciment (C)	400	400 kg	400 kg	400 kg	400 kg
Eau efficace	209 l	209 l	209 l	209 l	209 l
Eau ajoutée	0	80 l	103 l	160 l	208 l
Eau totale	209 l	289 l	312 l	369 l	417 l
E / C	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Affaissement	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm

Tableau V-1 : Eaux Totales et Eaux Ajoutées aux Mélanges

ainsi que l'Affaissement des Bétons

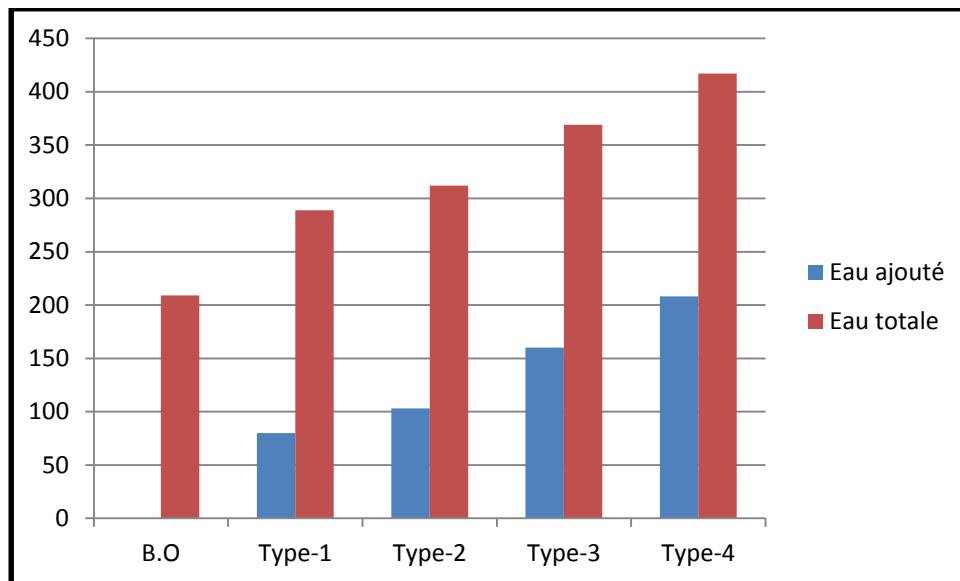


Figure V-1 : Eaux Totales et Eaux Ajoutées aux Mélanges (en Litres)

V.2.2 – DENSITÉ ET MISE EN PLACE DES BÉTONS FRAIS

Les Figures V-2 et V-3 suivantes montre que la densité du béton frais diminue successivement par substitution successive des granulats naturels par les granulats recyclés et que le pourcentage de l'air occlus augmente dans le béton.

La quantité d'air occlus varie dans un béton courant entre 1 et 2,5 %. En effet, la résistance du béton est influencée par le volume de tous les vides contenus dans le béton [17]. Et que 1 % d'air compte comme 10 kg d'eau et cela suffit à montrer que le volume d'air ne doit jamais être négligé.

La poudre d'aluminium provoquait une réaction chimique moussante, entraînant une augmentation du volume et générant un matériau poreux avec des bulles d'air non communicantes. La quantité totale de poudre d'aluminium influençait la densité finale du béton

En effet, la poudre d'aluminium va permettre au béton de « lever », comme une pâte à gâteau et d'emprisonner de l'air, sous forme de petites bulles, des cellules, qui vont lui conférer ses qualités isolantes.

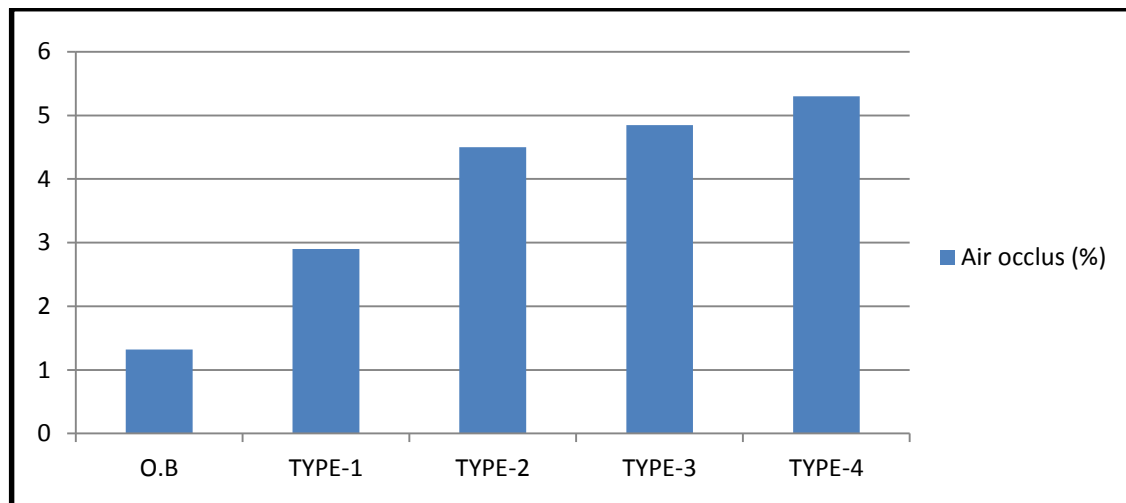


Figure V-2 : L'air Occlus des Bétons Frais

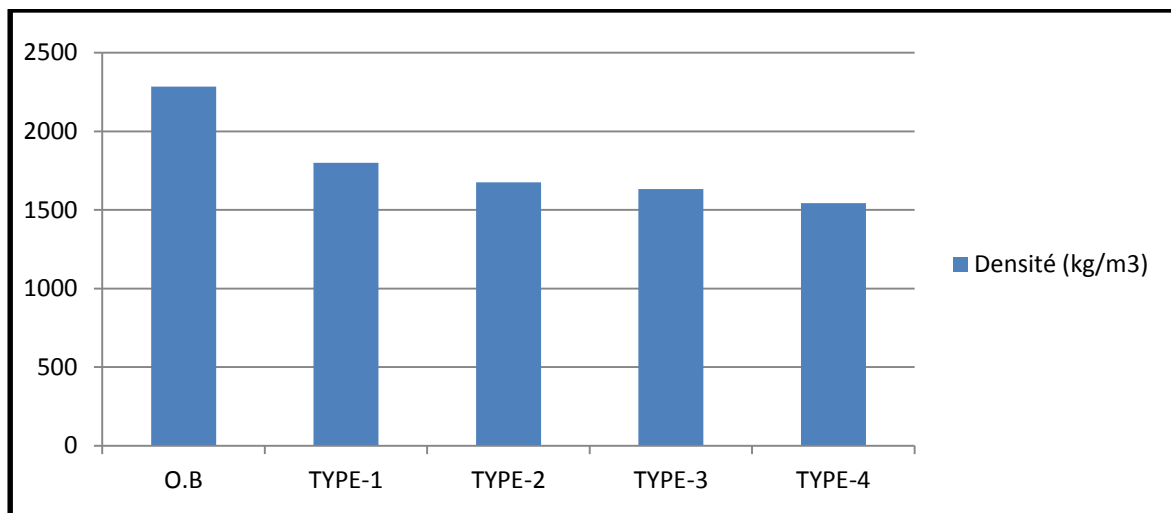


Figure V-3 : Densité des bétons frais

V. 3 – BÉTON DURCI

V. 3.2 – DENSITÉ ET HOMOGENÉITÉ

Lors des essais de compression, l'aspect interne des éprouvettes écrasées montre que les bétons à base de déchets de brique présentent une homogénéité convenable et comparable à celle de béton ordinaire.

Le Tableau IV-8 et la Figure V-4 suivante montrent que la densité des bétons à base de déchets de brique est nettement très inférieure à celle du béton ordinaire. Cette diminution de densité est due à la faible densité des granulats à base de déchets de brique et qu'elle diminue par l'augmentation du dosage en granulat de brique concassée. Selon Neville [17], pour un dosage constant en granulat, la masse volumique du béton augmente avec la masse volumique du granulat.

Les types des bétons confectionnés à base de déchets de brique ont une masse volumique après séchage à l'étuve inférieure à 2000 kg/m^3 , donc on peut dire qu'ils sont des « bétons légers » d'après la norme européenne NF EN 206 -1.

La masse volumique du béton entièrement en brique concassée est presque de 33 % inférieure à celle du béton ordinaire, ce qui représente le même pourcentage entre les masses volumiques apparentes des granulats recyclés et celles des granulats naturelles.

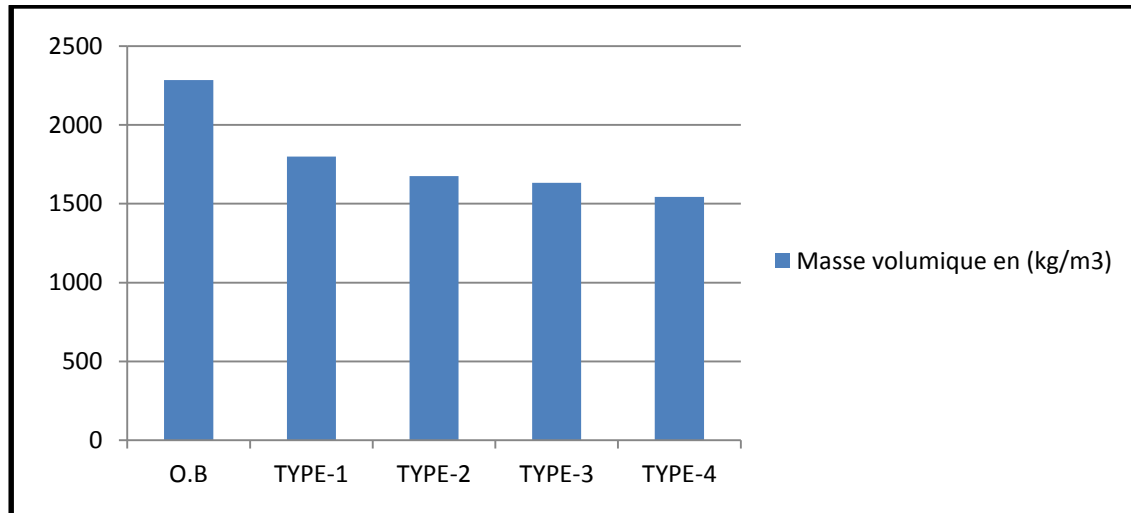


Figure V-4 : Masses Volumiques des Bétons Durcis en (kg/m^3)

V. 3.3 – RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

V. 3.3.1 – Évolution de la résistance à la compression

On remarque que l'augmentation de la résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique, se fait de la même manière que le béton ordinaire. Ceci est dû à la confection de tous les bétons avec un rapport eau / ciment constant. la relation entre la résistance du béton et le rapport eau / ciment n'est valable que pour un type de ciment (c'est-à-dire une hydratation identique du ciment) et un âge donné et suppose également que le béton a été mûri dans des conditions humides.

On remarque pour un âge donné, d'après le Tableau IV-9 que :

- La résistance des bétons à base de déchets de briques est inférieure à la moitié de celle du béton ordinaire.
- Le béton entièrement en brique concassée (type-4) a des résistances, comparables avec celles des autres types des bétons avec granulats de briques.
- L'emploi du sable naturel avec les gravillons recyclés n'apporte qu'une faible amélioration dans la résistance. le sable naturel augmente sensiblement la résistance du béton léger sans trop nuire à l'isolation thermique.

V. 3.3.2 – Facteurs agissant sur la résistance

Pour un ciment donné et des granulats acceptables, la résistance qui peut se développer dans un béton maniable confectionné dans des conditions identiques de malaxage, de mise en œuvre, de conservation et d'essai est influencée par :

- Le rapport massique entre le ciment et l'eau de gâchage.
- Le rapport massique entre le ciment et les granulats.
- La granulométrie, la texture, la forme, la résistance et la dureté des granulats.
- La dimension maximale des granulats.
- le rapport eau / ciment est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton complètement compacté. Lors de la confection des mélanges et après une recherche, le sable naturel alluvionnaire choisi, a été jugé acceptable, dont les caractéristiques sont présentées au chapitre IV. Ce sable pauvre en éléments fins a engendré un béton raide non cohérent.

Les granulats concassés ont, en générale, une surface rugueuse et de forme angulaire, ce qui assure une meilleure adhérence au mortier de ciment et par conséquent, une meilleure résistance du béton. Selon Devenny et Khalaf [12], une bonne adhérence peut être assurée entre les granulats de brique et la pâte du ciment le fait que les granulats de brique sont très anguleux, ils ont une grande surface pour ce lier avec la pâte. Et ont trouvé que la nature anguleuse de la matière écrasée en brique et sa texture de la surface sont généralement favorables. Neville [17], explique que la propriété importante du béton léger est la bonne adhérence entre les granulats et la pâte de ciment hydraté.

V. 3.3.3 – Relation entre résistance à la compression et densité

Le Tableau V-2 et la Figure V-5 suivante montrent que la masse volumique des bétons diminue par substitution successive des granulats naturels par des granulats recyclés à faible densité et en conséquence la résistance diminue. La résistance du béton diminue donc avec la diminution de sa masse volumique. Devenny et Khalaf [12], ont trouvé que la plus haute résistance du béton est atteinte par la présence de la plus importante densité des granulats de brique. Plus un béton sera dense plus sa résistance sera élevée.

La comité américaine 213 de l'ACI a défini les bétons de structure à base de granulats légers, par leur résistance à la compression qui doit être supérieure à 175 kg/cm^2 et leur densité après séchage à l'air pendant 28 jours qui doit être inférieure à 1850 kg / m^3 . Cela conduit à dire qu'on peut utiliser le béton confectionné entièrement en brique concassée comme béton léger.

Designations	B-O	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Masse Volumique à l'Air (kg /m ³)	2374	1892	1782	1688	1553
Masse Volumique À l'Étuve (kg/m ³)	2285	1800	1676	1632	1543
Rc (MPa)	30.32	13.83	13.31	14.33	19.45

Tableau V-2: Résistances à la Compression et Masses Volumiques des Bétons

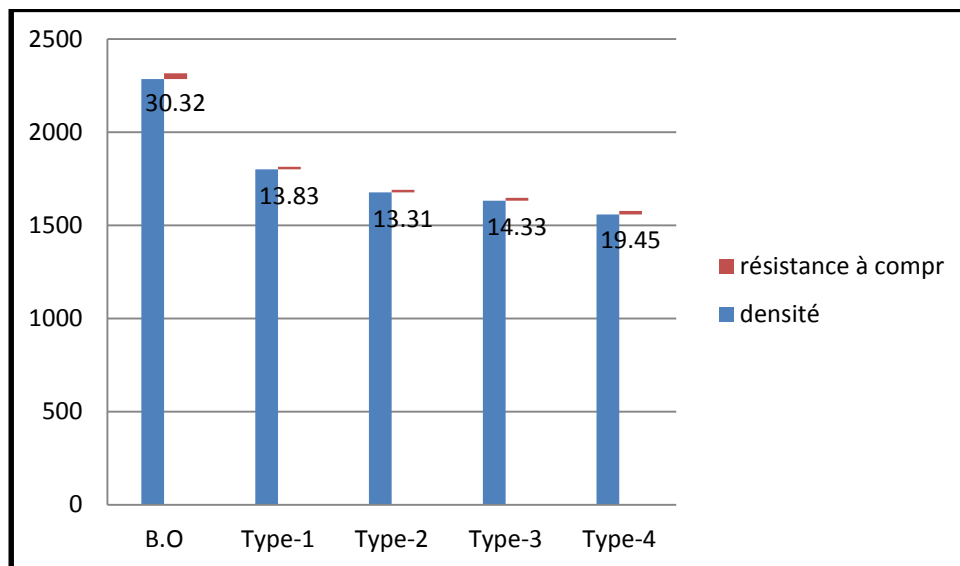


Figure V-5 : Résistances à la Compression et Densités des Bétons

V.3.4 – ABSORPTION CAPILLAIRE

La Figure V-9 suivante, nous montre l'évolution de l'absorption d'eau par capillarité des différents bétons et on constate ce qui suit :

- Le béton « témoin » est le moins absorbant de l'eau par succion capillaire. Par contre, le béton entièrement en brique concassée est le plus absorbant.
- Le béton ordinaire avec sable recyclé de brique concassée est plus absorbant que le béton de brique concassée avec sable naturel. Cette absorption est due à la porosité de la pâte de ciment qui représente la seule phase continue dans le béton. La pâte de ciment est plus poreuse en présence de sable de brique concassée.
- L'absorption capillaire du béton entièrement en brique concassée représente presque le double de celle du béton « témoin ».

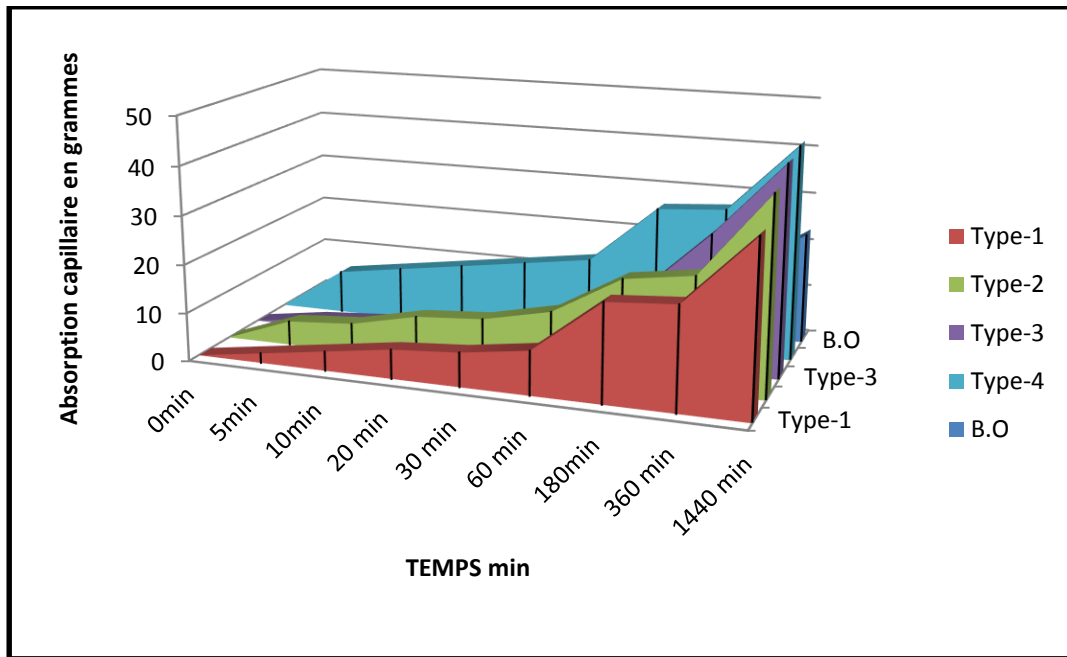


Figure V-6 : Absorption D'eaux par Capillarité des bétons en grammes

V.3.5 – COMPACTITÉ ET POROSITÉ DESBÉTONS

Les résultats d'essai d'absorption d'eau par immersion mentionnés au Tableau IV-11 et la Figure V-7, ont donné une idée sur la compacité et la porosité des différents bétons confectionnés. L'analyse de ces résultats a conduit de conclure ce qui suit :

- La porosité d'un béton augmente (compacité diminue) par remplacement successive des granulats en granulats de brique concassée.
- En conséquence, la compacité d'un béton dépend de type des granulats utilisés.
- La résistance d'un béton croît avec sa compacité.
- Le béton entièrement en brique concassée est plus poreux, donc plus perméable.
- Le béton avec sable et granulats recyclé de brique concassée est relativement plus poreux que le béton avec sable et granulats naturel. Ceci est dû à la pâte du mortier de ciment qui est plus poreuse en présence de sable recyclé.
- La porosité du béton ordinaire mesurée correspond à celle d'un bon béton, Par contre la porosité du béton entièrement en brique concassée correspond à celle d'un mauvais béton.

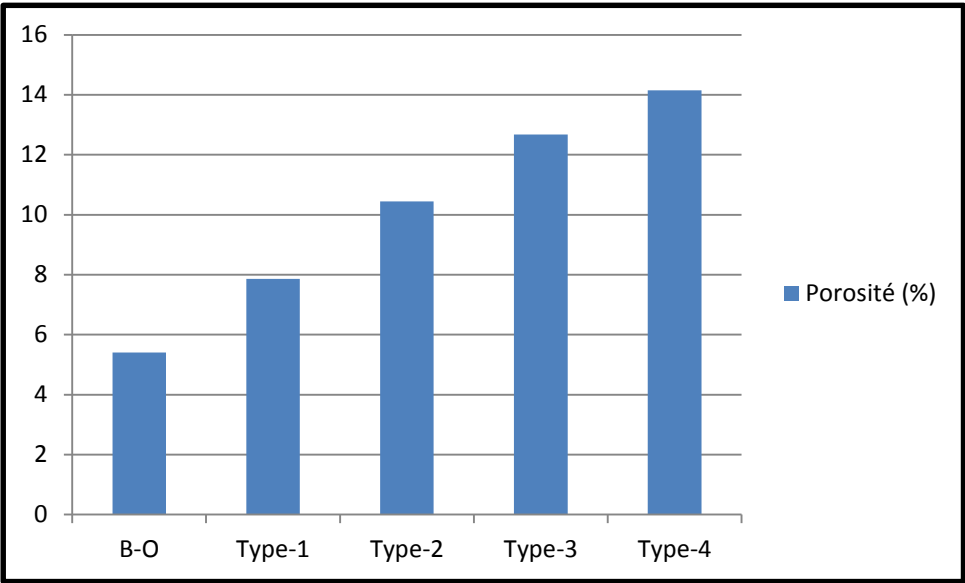


Figure V-7 : Porosité des Bétons en (%)

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

1- CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude des caractéristiques et les propriétés des bétons à base de déchets de brique ces granulats ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le recyclage des déchets inertes pour produire des granulats contribue à limiter :
 - * La mise en décharge de ces déchets.
 - * Le déficit en granulats de la région.
 - * Les transports des granulats vierges, et les transports de déchets (en sens inverse).
- Le recyclage des déchets de brique comme granulats est moins onéreux et ne demande pas pour son élaboration un matériel ou des stations spéciales comme celles conçues à l'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction.
- Des recherches antérieures ont montré que :
 - * Il est possible de valoriser les déchets de brique comme granulats pour la fabrication du béton.
 - * Les granulats de la brique concassée produisent, en général, des bétons dont la résistance est acceptable avec une réduction en poids appréciable.
 - * Le granulats de la brique concassée peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité.
 - * La résistance du béton est en fonction de la densité des granulats de brique. Plus la densité des granulats est importante plus la résistance du béton est grande.
 - * Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel.
 - * Les granulats à base de brique concassée conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de fours ...etc.
 - * Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton.

Conclusion Générale

- La masse volumique apparente des granulats recyclés expérimentés est de l'ordre de 33% inférieure à celle des granulats naturels, ce qui représente un avantage économique en poids du béton.
- Le sable recyclé obtenu, est un sable friable, qui est déconseillé aux cas d'usure. Il favorise aussi la perméabilité et l'augmentation de l'air occlus dans le béton.
- Les gravillons recyclés obtenus, présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons courants. Cependant, ils ont une faible résistance mécanique qui contribue à la diminution de la résistance globale du béton.
- La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulat normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de brique concassée.
- La quantité d'eau ajoutée aux mélanges à base de granulats de déchets de brique représente le coefficient d'absorption d'eau de ces granulats.
- Le pourcentage de l'air occlus dans le béton est d'autant plus élevé que le pourcentage des granulats en brique concassée augmente.
- L'aspect extérieur de couleur rouge éclairée des bétons confectionnés avec des sables de brique concassée peut offrir une voie nouvelle dans le domaine des bétons apparents.
- les bétons à base de déchets de brique confectionnés, présentent une homogénéité convenable et comparable à celle des bétons ordinaires.
- La masse volumique apparente du béton de brique concassée avec sable naturel est approximativement de 20 % inférieure à celle du béton normal.
- les bétons à base de déchets de brique obtenus sont des « bétons légers », d'après la norme européenne [NF EN 206 -1].
- Le rapport de la masse volumique du béton ordinaire sur celle du béton entièrement en brique concassée est proportionnel au rapport de la masse volumique apparente des granulats naturels sur celle des granulats recyclés, ce qui représente l'avantage de pouvoir au préalable choisir les granulats recyclés en fonction du poids du béton désiré.
- La résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique chute au fur et à mesure par substitution successive des granulats naturels par les granulats recyclés. Elle est de l'ordre de la moitié de celle du béton ordinaire.

Conclusion Générale

- Le béton ordinaire avec le sable recyclé de brique concassée est plus absorbant que le béton de brique concassée avec le sable naturel. Cette absorption est due à la porosité de la pâte de ciment (surtout en présence de sable de brique concassée) qui représente la seule phase continue dans le béton.
- L'absorption capillaire du béton entièrement en brique concassée est presque le double de celle du béton ordinaire.
- La porosité du béton augmente (compacité diminue) par substitution successive des granulats naturels par les granulats de brique concassée.
- Le béton entièrement en brique concassée est plus poreux, en conséquence plus perméable. Selon Gorisse, la porosité de ce béton correspond à celle d'un mauvais béton. Par contre, la porosité du béton avec granulats recyclés de brique concassée correspondent à celle d'un béton satisfaisant.

Enfin, les recherches antérieures ont montré que l'utilisation du granulat grossier de brique concassée peut produire un béton de structure de haute résistance avec, une économie de poids et une diminution de la résistance, par rapport à un béton normal.

Par ailleurs, les bétons confectionnés dans cette étude, à base de granulats de déchets de brique, ont donné des résultats satisfaisants et comparables à ceux trouvés dans les recherches antérieures, malgré la défaillance mécanique de ces granulats. Selon l'ACI [American Concrete Institute], un défaut de résistance des grains peut ne pas empêcher l'utilisation d'un granulat dans un béton de structure.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] " Béton léger", VUB – Matériaux de construction d'après guerre,
www.materiauxdeconstructiondapresguerre.be/material/lightweight-concrete.
- [2] YANG Ke, "Caractérisation Du Comportement Mécanique Des Bétons De Granulats Légers Expérience Et Modélisation", Thèse De Doctorat En Génie Civil, De L'université De Gergy-Pontoise, 2008.
- [3] Madani BEDERINA, " Caractérisation Mécanique Et Physique Des Bétons De Sables A Base De Déchets De Bois", Thèse De Doctorat En Génie Civil, De L'université De Laghouat, 25 Avril 2007.
- [4] www.infociments.fr/béton/types/autres-bétons/béton-leger.
- [5] R.Belouettar, "Amélioration Des Propriétés Physico-mécaniques Des Bétons Cellulaires Autoclaves", Thèse Magister En Génie Civil, Université De Annaba, Juin 1988.
- [6] Collection mémoires et thèses électroniques, "chapitre 3:technologie des bétons", Université Laval, www.these.ulaval.ca/archimed/fichiers/23933/ch04.html.
- [7] "Béton léger", TECHNICH-Rapport technique / domaine du bâtiment - génie-civil Contenu, Janvier 2014.
- [8] www.guidebeton.com/béton-leger.
- [9] www.tradisol.com/béton-leger.htm.
- [10] Beddar.Miloud, " Cour Valorisation Des Déchets", Master 2 Génie Civil, Université De M'sila, 2015.

- [11] MAHAMEDI Halima Saadia, "Valorisation Des Déchets Pneumatiques Dans Les Matériaux De Génie Civil", Mémoire Magister En Génie Civil, Université De M'sila.
- [12] BARKAT Abderezzak, "valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton", Mémoire MAGISTER en Génie Civil , 2006.
- [13] Debieb F, " Valorisation des Déchets de Briques et Béton de Démolition Comme Agrégats de Béton", Mémoire de Magister en Génie Civil – Université de Blida, 1999.
- [14] S. Kenai • F. Debieb, "Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés ", Article Rilem, 2010.
- [15] ZEGHICHI Leila, "Étude Des Bétons Basiques A Base Des Différents Granulats", Thèse Doctorat En Sciences En Génie Civil, Université Mohammed Khider – Biskra.
- [16] "Ch1:Les Ciments", Cour Ciment Et Béton, <https://www.lafarge.fr/fabrication-du-ciment>.
- [17] A. M. Neville, " Properties of concrete ", Fifth Edition , 2011.
- [18] MOHELLEBI Samira Née BOUAZIZ, "Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites", Thèse De Doctorat En Génie Civil ,2014.

ANNEXES



Photo A1-1: Récipients de Mesure de la densité Apparente des Granulats



Photo A1-2: Éprouvette Graduée + Récipient



Photo A1-3 :Appareil pour Essai Los Angeles



Photo A1-4: Tamis A Mailles Carrées

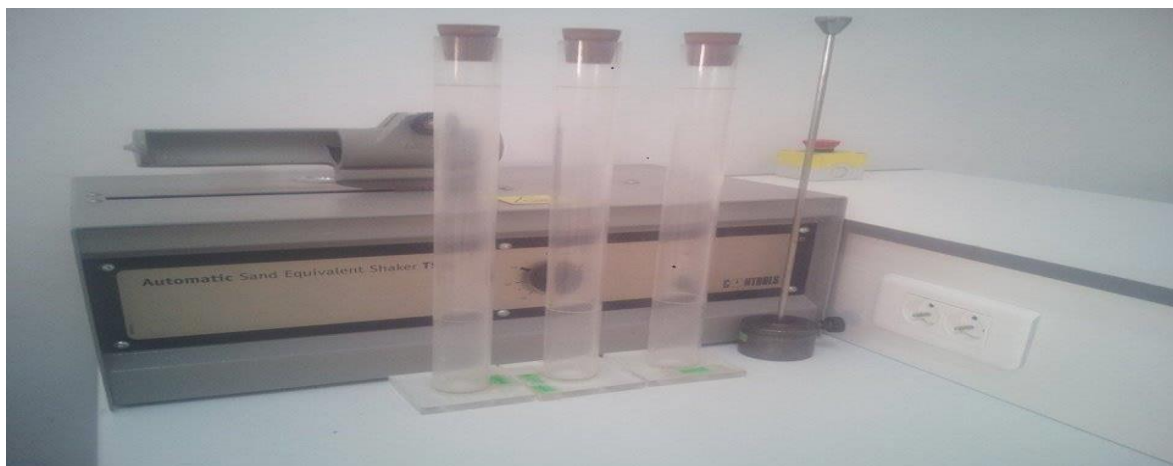


Photo A1-5: Appareillage D'équivalent De Sable



Photo A2-1 : malaxeur A béton



Photo A2-2 :Table de vibrante



Photo A2-3: Appareillage De Slump – Test



Photo A2-4: Aéromètre A Béton De 8 L



Photo A2-5: Machine D'essai De Compression



Photo A2-6: Moules Et Eprouvettes Utilises
A2

ABAQUES DREUX- GEURISSE

**ABAQUES ET TABLEUX
METHODE C.E.S DREUX-GORISSE**

ESTI GC

I- DOSAGE EN CIMENT ET EAU

$f_c' = f_{c28} + B$ (MPa)

$f_c' = \alpha_c \cdot G \cdot (C/E - 0,5)$

Avec :

f_c' : résistance visée à 28 jours
C: dosage du ciment en kg/m³ de béton
E: dosage de l'eau en kg/m³ de béton
 α_c : Classe vraie du ciment en MPa
G : coefficient granulaire

Valeurs approximatives du coefficient Granulaire G

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fine D ≤ 12,5	Moyens 20 ≤ D ≤ 31,5	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Pessable	0,35	0,40	0,45

Graphique indiquant Approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

Correction sur le dosage en eau

Diamètre en mm	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
Correction en %	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

II- DOSAGE EN POURCENTAGE DES GRANULATS

A- COURBE GRANULAIRE DE REFERENCE

Origine Q (tamis 0,063 :0%)

Point de brisure A (tamis X_A : Y_A%)

Avec :

$X_A = D/2$ si $D \leq 20$
 $X_A =$ milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$
 $Y_A = 50 - \sqrt{1,25D} + K + K_1 + K_2$

K₁, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment. Voir tableau ci-contre

Format des granulats	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400#	-2	0	+4	-2	-6	-4
350	0	+2	0	0	-4	-2
300	+2	+4	0	+2	-2	0
250	+4	+6	+2	+4	0	+2
200	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	+8	+10	+6	+8	+4	+6

K₂, ajustement pour les sables de granularité un peu grossière: FM > 2,8
 $K_2 = 5,4 \cdot FM - 15$ (FM: module de finesse du sable)

K₁, ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.
 $K_1 = 0$ si béton non pompable
 $5 \leq K_1 \leq 10$ si béton pompable.

Extrémité B (tamis D ; 100%)

B- LIGNE DE PARTAGE

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5% de la courbe granulaire du plus gros granulats.

III- DOSAGE EN MASSE DES GRANULATS

Coefficient de compacité :

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,760	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,765	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
Ferme	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé : -0,01
- sable et gravier concassé : -0,03

Si C= 350kg/m³, $\gamma = \gamma - \frac{C-350}{5000}$

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO²) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al²O³) et le fer (Fe²O³). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro-cristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformant à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94.

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets de construction qui nécessitent de hautes résistances mécaniques mais qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .etc.) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de dessalement,. .etc.) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)

Hamman Dalaa, M'sila (ACC)
Tel: +213.35.50.78.20
Fax: +213.35.55.70.30

Direction générale

33, Rue des Pins, Hydra, Alger
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax: +213 (0) 21 48 16 71

Ciment Blanc Algérien (SPA)

Usine Oggaz (CIBA)
BP 67, 29350, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98



MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO ₃ (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates tricalciques C3S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C2S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C3A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C4AF (%):	10,00 – 12,00

Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5

Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min)	140 - 195
Fin de prise (min)	195 - 290

Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Algerian Cement Company (SPA)

Hammam Daliaa, M'sila (ACC)
Tel: +213.35.50.78.20
Fax: +213.35.55.70.30

Direction générale

33, Rue des Pins, Hydra, Alger
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Ciment Blanc Algérien (SPA)

Usine Oggaz (CIBA)
BP 67, 29350, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 68 98

LAFARGE
لافارج

RESUME

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction. Les granulats représentent 75% du volume du béton. À cet effet, il est opportun d'étudier la possibilité de valorisation des déchets de brique, comme substituant des granulats naturels.

L'objectif principal est d'étudier les caractéristiques physico mécaniques des granulats à base de déchets de brique, ainsi que les propriétés des bétons à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser, dans certains domaines de la construction, comme granulats artificiels plus légers que les granulats courants.

L'étude a été portée sur trois classes granulaires : sable (0/5), gravillon (3/8) et gravillon (8/16) des granulats de la brique concassée ainsi que des granulats naturels.

Le gravier et le sable naturel sont remplacés partiellement (25, 50, 75 et 100%) par le mélange de gros et fins granulats à base de brique concassée. Par comparaison avec un béton à base de 100% de granulats naturels, et l'utilisation de poudre d'aluminium pour obtenir un béton de « lever » et d'emprisonner de l'air sous forme de petites bulles.

Les propriétés des bétons à base de déchets de brique à l'état frais et durci sont analysées et comparées à celles du béton ordinaire.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer des bétons à base de déchets de brique malgré la défaillance mécanique de ces granulats. La résistance à la compression de ces bétons est acceptable et comparable à celle du béton ordinaire avec réduction en poids du béton appréciable. Cependant, ils ont une porosité et une absorption capillaire assez importantes que le béton ordinaire.

Mots clés :béton léger ,déchets de brique ,masse volumique ,absorption capillaire, porosité.

ABSTRACT

The concrete material is the most used in the construction field. The aggregates represent 75% of the concrete volume. Therefore, it is appropriate to study the possibility of valorization of the brick waste as substituting the natural aggregates.

The main objective is to study the mechanical physical properties of aggregates based brick waste and the properties of concrete based on these aggregates, in order to use them in some areas of construction, such as artificial aggregates more lighter than the current aggregate.

The study has been carried out on three granular classes: sand (0/5), gravel (3/8) and gravel (8/16) of the crushed brick as aggregate as well the natural aggregates.

Either coarse aggregates, fine aggregates were partially replaced (25, 50, 75 and 100%) with crushed concrete and brick aggregates. Compared with concrete base 100% natural aggregates, and use of aluminium powder for a concrete "lift" and trap air in the form of small bubbles

The results of this study showed that it is possible to use in the concrete the brick waste aggregates in spite of the mechanical failing of these aggregates. The concrete compressive strength is acceptable and comparable to the ordinary concrete with perceptible reduction of the weight concrete. However, they have a rather important a porosity and capillary absorption than ordinary concrete.

Keywords: lightweight, concrete, brick waste, density, capillary absorption, porosity.

ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استعمالا في ميدان البناء , تمثل الحبيبات 75 % من حجم الخرسانة , لذا فمن المناسب دراسة إمكانية تئمين بقايا الأجرور و ذلك كبديل للحبيبات الطبيعية .
الهدف الرئيسي لهذا البحث يكمن في دراسة المميزات الفيزيائية والميكانيكية بحبيبات بقايا الاجور , وكذا دراسة خصائص الخرسانة المستعملة لهذه الحبيبات . وذلك من اجل استعمال هذه الأخيرة في بعض ميادين البناء كحبيبات اصطناعية اقل وزنا من الحبيبات العادية .
الدراسة المخبرية لحبيبات الاجور وكذا الحبيبات الطبيعية قد تم القيام بها بثلاثة أقسام من الحبيبات :الرمل (5/0) ,الحصى (8/3),الحصى (16/8) . تم استبدال الرمل والحصى الطبيعي جزئيا (25%,50%,75%,100%) ببقايا الاجور المجروش . ومقارنتها مع خرسانة 100% حبيبات طبيعية, واستخدم مسحوق الألمنيوم للحصول على خرسانة مرتفعة وهواء مضغوط في شكل فقاعات صغيرة .
كما تم دراسة خصائص الخرسانة المستعملة لبقايا الاجور ومقارنتها مع خصائص الخرسانة العادية وهذا في حالة صنعها وأثناء نضجها .
إن نتائج هذه الدراسة أظهرت إمكانية استعمال بقايا الاجور في الخرسانة وهذا بالرغم من ضعف خصائصها الميكانيكية كما تم التحصل على مقاومة الانضغاط جد مقبولة لهذه الخرسانة مقارنة بالخرسانة العادية مع خفة في الوزن , كما انه تم تسجيل نسبة المسامية على مستوى هذه الخرسانة وكذا تصاعد المياه بالامتصاص جد مرتفعة مقارنة بالخرسانة العادية .
الكلمات الدالة : الخرسانة خفيفة الوزن ,بقايا الأجرور , الكتلة الحجمية , تصاعد المياه بالامتصاص ,المسامية .