REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux En Génie Civil

Formulation d'un béton léger structural à base de granulats recyclés

---

Présenté par

Larbi Houria

Moulouad Hind

Proposé et Dirigé par

Boucherit Dalila

Promotion Juin 2021

Remerciement

Avant tout, nous remercions ***ALLAH*** *le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté, et la patience pour faire ce travail.*

Avant d'exposer les résultats de ce travail, nous tiendrons à présenter nos vifs remerciements notre encadreuse ***Docteur BOUCHERIT DALILA*** *au département de génie civil, qui a suivie et encadrés ce travail, pour sa disponibilité, son assistance et ses conseils.*

Je remercie aussi ***les responsables de laboratoire*** *génie civil qui nous ont aidé et fournit les moyens pour réaliser cette recherche.*

Et tous membres ***de jury*** *qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail*
Notre profonde gratitude s'adresse à tout le personnel du département génie civil .
Toutes les personnes ***d'Université Dr Yahia Fares de Médéa.***

DIDICAS

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste
Travail aux personnes les plus chères au monde
*Après **ALLAH** pour leurs sacrifices.*

À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance qui ma donne l'amoure la gentillesse le respect à moi- même c'est la reine de mon coeur.

À mon père qui a sacrifie toutes sa vie afin de me voir devenir ce que je suis.

Merci mes parents.

À jumeaux de spirituel mon cher frère : Bachire, Oussama, Abdo et Mes chères soeurs : Fatima, Nasira, Soumia, Hafidha, MAHDJOUBA et IMEN .

À mes enseignants et enseignantes et spécialement à Boucherit Dalila

À tout ma famille sans exception grande et petite.

À mon cher binôme Hind pour sa participation vive durant L'élaboration de ce travail et sa famille.

À Tous mes amies

À ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage.

À toute la promotion 2021de Génie civil.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Houria

DIDICAS

C'est avec un très grand honneur que je dédie
ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde
*après **ALLAH** pour leurs sacrifices.*
À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance
qui ma donne l'amoure la gentillesse le respect à moi- même
c'est la reine de mon coeur.
Mon père qui m'a guidé durant les moments les plus
pénibles de ce long chemin
À jumeaux de spirituel mon chers frères : Haythem ; Yazid ;
et Mes chères soeurs : Chifaa ;Hanaa ; Hadil; Rania .
Pour courages surtout dans mes études.

À mes enseignants et enseignantes et Spécialement à Bouchrit dalila
À tout ma famille sans exception grande et petite.
À mon cher binôme Houria pour sa participation vive durant
l'élaboration de ce travail et sa famille.
À Tous mes amies
À ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et
dont je rends un vibrant hommage.
À toute la promotion 2021de Génie civil.
À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

.

HIND

ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استخدامًا في مجال البناء. الركام يمثل 75٪ من حجم الخرسانة. ولهذه الغاية ، من الضروري دراسة إمكانية استعادة مخلفات الطوب كبديل للركام الطبيعي.

الهدف الرئيسي لهذا البحث هو دراسة تأثير الخصائص الفيزيائية الميكانيكية لحبيبات بقايا الاجور على خصائص الخرسانة المكونة من هذه الحبيبات. وذلك من اجل استعمال هذه الأخيرة في بعض ميادين البناء كحبيبات اصطناعية اقل وزنا من الحبيبات العادية.

أجريت الدراسة على ثلاث فئات حبيبية: الرمل (5/0) والحصى (8/3) والحصى (15/8). تم استبدال الحبيبات الطبيعية بحبيبات الاجور على عدة مراحل ؛ في الخليط الأول تم استبدال فقط 100٪ من حصى الآجر (8/3). ثم تابعنا باستبدال الحصى (15/8) جزئياً (50٪) ثم كلياً (100٪) ، وانتهينا باستبدال الرمل الطبيعي برمل الآجر بكسرين حجميين ؛ 50٪ ثم 100٪. بالتوازي مع ذلك ، تم تحضير الخرسانة بنسبة 100٪ من حبيبات الأجور المحمص.

تم تحليل خصائص الخرسانة المصنوعة من نفايات الأجور في الحالة الطازجة والمتصلبة ومقارنتها بالخرسانة المصنوعة من الحبيبات الطبيعية بنسبة 100٪. أظهرت نتائج هذه الدراسة إمكانية تصنيع الخرسانة من نفايات الآجر بالرغم من الضعف الميكانيكي الحبيبات. تعتبر مقاومة الانضغاط والشد والنار لهذه الخرسانة جيدة ومتفوقة على الخرسانة المرجعية مع انخفاض محسوس في وزن الخرسانة. ومع ذلك ، فهي تتمتع بمسامية عالية وامتصاص شعري أعلى من الخرسانة العادية

.الكلمات المفتاحية: الخرسانة خفيفة الوزن ، بقايا الأجور ، القوة ، الامتصاص الشعري ، المسامية.

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 l'influence des caractéristiques physico mécaniques des granulats à base de déchets de brique sur 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), gravier (3/8) et gravier (8/15). Le remplacement de granulats naturels par les granulats de brique a été faite sur plusieurs étapes ; dont le premier mélange on a substitué uniquement 100% de gravier de brique (3/8). Puis on a continué par remplacement le gravier (8/15) partiellement (50%) puis totalement (100%), et on a terminé par la substitution de sable naturel par le sable de brique avec deux fractions volumique ; 50% puis 100%. En parallèle on a préparé un béton de 100% de granulats de brique concassé calciné.

Les propriétés des bétons à base de déchets de brique à l'état frais et durci sont analysées et comparées à celles du béton témoin de 100% de granulats naturels. 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, a la traction et au feu de ces bétons sont bonnes et supérieures à celle du béton de référence avec réduction en poids du béton non négligeable. Cependant, ils ont une porosité et une absorption capillaire assez importantes que le béton témoin

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

ABSTRACT

Concrete is the most widely used material in the construction industry. Aggregates represent 75% of the volume of concrete. To this end, it is advisable to study the possibility of recovering brick waste, as a substitute for natural aggregates.

The main objective is to study the influence of the physico-mechanical characteristics of aggregates made from brick waste on the properties of concretes made from these aggregates. In order to be able to use them, in certain fields of construction, as artificial aggregates which are lighter than common aggregates. The study was carried out on three granular classes : sand (0/5), gravel (3/8) and gravel (8/15). The replacement of natural aggregates by brick aggregates was carried out in several stages ; of which the first mixture was substituted only 100% brick gravel (3/8). Then we continued by replacing the gravel (8/15) partially (50%) then totally (100%), and we finished by replacing natural sand with brick sand with two volume fractions ; 50% then 100%. In parallel, a concrete of 100% calcined crushed brick aggregates was prepared.

The properties of concrete made from waste brick in the fresh and hardned state are analyzed and compared to those of control concrete made from 100% natural aggregates. The results of this study showed that it is possible to manufacture concrete from waste brick despite the mechanical failure of these aggregates. The compressive, tensile and fire resistance of these concretes are good and superior to that of the reference concrete with a significant reduction in the weight of the concrete. However, they have a fairly high porosity and capillary absorption than the control concrete. Key words: lightweight concrete, brick waste, strength, capillary absorption, porosity.

Sommaire

Remerciement
Dédicace
Résumé
Sommaire
Liste des figures
Liste des tableaux
Notation
Introduction Générale

Chapitre I

Etude bibliographique

1. Introduction.....01

2. Granulats légers.....02

2.1. Différents types de granulats légers.....03

2.1 .1. Les granulats légers naturels.....03

2.1.2. Granulats artificiels 05

2.2. Composition chimique et minéralogique de granulats légers.....10

2.2.1. Granulats en argile expansée et schiste expansé.....10.

2.2.2. Granulats en laitier expansé 10

2.2.3. Pierre ponce et cendres volantes frittées.....11

2.2.4. Granulats de polystyrène expansé 11

3. Bétons légers.....11

3.1. Définition.....12

3.2. Les types des bétons légers 12

3.2.1 Béton cellulaire 13

3.2.2. Le béton caverneux.....14

3.2.3 Béton a granulats légers.....15

3.3. Propriétés des bétons légers 18

3.3.1. La porosité.....18

3.3.2. La légèreté.....18

3.3.3. La sensibilité à l'eau 19

3.3.4. La résistance à la compression des bétons légers…..19

3.3.5. Propriétés élastiques des bétons légers.....20

3.3.6. La masse volumique 20

3.3.7. La durabilité 21

3.3.8. La rhéologie à l'état frais.....21

3.4. Le dosage.....21

3.4.1. Les Principes de dosage.....22

3.4.2. Les méthodes de dosage 22

3.5. Classification de béton léger 22

3.5.1. Classification suivant la nature de l'ouvrage……24

4. Déchet dans le génie civil……..…….25

4.1. Déchet inerte…….25

4.2. Déchet dangereux…….26

5. Déchet de brique …….26

6. Domaine d'utilisation.....27

6.1. Bétons d'isolation pure, non porteurs…….27

6.2. Bétons porteurs et isolants.....27

6.3. Bétons légers de structure.....27

7. Les avantage des bétons légers 28

7.1. Avantages techniques 28

7.2. Avantages de Mises En Œuvre 28

7.3. Avantages Economiques.....28

8. Les inconvénients des bétons légers.....29

4. Conclusion 29

Chapitre II :

Matériaux et Essais

1. Introduction……..32

2. Caractéristiques des matériaux……32

2.1. Ciment……...32

2.2. Granulats…….....33

2.2.1. Sable……..34

2.2.2. Gravier……...38

2.3. Eau de gâchage ……43

2.4. Super plastifiant ……...….43

3. Formulation du béton ……...……45

3.1. Composition du béton ……...45

3.2. Malaxage ……46

3.3. Confection et conservation des éprouvettes……..47

4. Méthodes d'essai sur béton ……..48

4.1. Ouvrabilité ……....48

4.2. Essai de compression ……. 49

4.3. Essai de traction par flexion ……....50

4.4. Essai d’absorption d'eau par capillarité ……51

4.5. Essai de porosité accessible à l'eau des bétons ……..51

4.6. La conductivité thermique ……52

4.7. Résistance au feu ……..……53

5. Conclusion ……..……54

Chapitre III :

Interprétation des résultats

III. – Introduction…….……55

III.1.Formulation des bétons…….……55

III.2.Béton frais……..…57

III.2.1.Consistances des bétons frais…….57

III.2. Béton durci ……..58

III.2.1.Masse volumique……...…58

III.2.2.Résistance à la compression……..60

III.2.3.Résistance à la traction ……....62

III.2.4.La porosité ……63

III.2.5.Absorption……..65

III.2.6.Conductivité thermique ….....66

III.2.7.Résistance au feu……...67

III.3.Conclusion …… 69

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Listes des figures

Figure I.1 : Différents types de granulats……..……01

Figure I.2:colisée de Rome…..……..…….. 02

Figure I.3: Panthéon de Rome…… ……..02

Figure I.4: : Pierre ponce ……..…….04

Figure I.5 : Diatomite…….04

Figure I.6: Pouzzolane ……...05

Figure I.7: Argile expansée ……..…….. 06

Figure I.8: Schiste expansé ……..….07

Figure I.9 : Laitier expansé…….07

Figure I.10 : Laitier Bouleté……....08

Figure I.11 : Billes De Polystyrène……... 09

Figure I.12 : Cendre volante…… 10

Figure I. 13 : Les types des bétons légers ……..…… 13

Figure I.14 : Représentation schématique des différents types de bétons légers ……13

Figure I.15 : Béton cellulaire…….. 14

Figure I.16 : Béton caverneux ……..….. 15

Figure I.17 : Le béton de granulats léger…….16

Figure I .18: Béton de brique……...17

Figure I.19 : Béton de polystyrène expansé…….**17**

Figure I.20:Béton d'argile expansée. ……..17

Figure I.21: Variation de la porosité en fonction de la composition de béton ……18

Figure I.22 : Courbe de résistance en compression des bétons en fonction de l'âge ……....20

Figure I. 23 : Variation de la masse volumique à l'état frai en fonction de la composition de béton.……21

Figure I.24 : Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours…….……24

Figure II.1 : Le sac de ciment…….……33

Figure II.2 : Granulats naturels …….……. 34

Figure II.3 : Granulats de brique …….34

Figure II. 4 : sable d'Oued-Souf.…….34

Figure II. 5 : Préparation du sable de brique……35

Figure II. 6 : Sable de brique calciné……...36

Figure II. 7 : Analyse granulométrique des Sables…….36

Figure II.8 : Essai d'équivalent de sable……..…...37

Figure II.9 : Essai de masse volumique apparente. ……37

Figure II. 10 : Gravie 3/8. ……..…39

Figure II. 11: Gravie 8/15…….39

Figure II. 12: Gravie de brique concassé 8/15. ……39

Figure II. 13 : Gravie de brique concassé 3/8…….……39

Figure II.14 : Gravie de brique Calciné 8/15……..39

Figure II. 15: Gravie de brique Calciné 3/8……..39

Figure II. 16: Analyse granulométrique des graviers……..41

Figure II. 17 : La machine de Los Angeles……..……42

Figure II. 18 : Le super plastifiant……..…….44

Figure II .19 : Absorption des granulats Brique avant et après 24h…….....44

Figure II.20 : Le malaxage des bétons au laboratoire…….....47

Figure II. 21 : Fabrication des éprouvettes……47

Figure II.22: La conservation des éprouvettes……..48

Figure II. 23 : Principe de mesure de l'affaissement au cône d'Abrams…….……48

Figure II. 24 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams……..…49

Figure II. 25 : Résistance à la compression sur cube……..50

Figure II. 26 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction……..…50

Figure II. 27 : Principe de l'essai d'absorption d'eau par succion capillaire……..51

Figure II. 28: Schéma de pesée hydrostatique……..52

Figure II. 29 : Les éprouvettes cubiques (7*7*7) cm^3…….……53

Figure III.1 : affaissements des bétons…….…….57

Figure III.2: Variation de l'affaissements des bétons……..……58

Figure III.3 : La masse volumique des bétons mesurés à 28 jours…….……59

Figure III.4 : Essai de compression (BGCa)……...60

Figure III.5 : Essai de compression (BTm)…….61

Figure III.6 : Essai de compression (BG(S)100)…….61

Figure III.7: Variation de la résistance à la compression en fonction de la composition de béton……..62

Figure III.8 : Essai de traction ……...……62

Figure III.9: Variation de la résistance à la traction en fonction de la composition de béton .63

Figure III.10 : essais de porosité…….……64

Figure III.11: Variation de la porosité en fonction de la composition de béton…….....64

Figure III.12 : Essais d'absorption……..…65

Figure III.13: Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton…….....….65

Figure III.14: Variation de la conductivité thermique en fonction de la composition de Béton……66

Figure III.15 : les éprouvettes des bétons après leur passage au four à 200, 400, 600 et 800°C ……..……..……..…… 67

Figure III.16: Résistances à la compression des bétons mesurées après calcination sous Différentes températures……..….. 68

Liste des tableaux

Tableau I.1: Composition chimique des granulats d'argile et schiste expansés……..10

Tableau I.2 : Composition chimique des granulats en laitier expansé. ……..…11

Tableau I.3 : Composition chimique de la pierre ponce et de cendres volantes frittées…….11

Tableau I.4 : Propriétés comparées des bétons cellulaires ……..14

Tableau I.5 : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité……..…23

Tableau I.6 : Classification des bétons légers en Fonction De la masse volumique…..…..…23

Tableau II.1. Caractéristiques physico-mécanique du ciment CPA CEM II/B 42.5……...33

Tableau II.2 : Combinaison de deux déchets de briques concassés……33

Tableau II.3 : Propriétés physiques de sable……...……38

Tableau II.4 : Analysegranulométrique de gravie, fraction 3/8……...40

Tableau II.5 : Analysegranulométrique de gravie, fraction 8 /15……....40

Tableau II.6: Les caractéristiques physique de gravier……...…..43

Tableau II.7: Caractéristiques du Super plastifiant utilisé……...……43

Tableau II. 8: Coefficient d'absorpyion des granulats……...…….……45

Tableau II .9: Pourcentages de granulats des bétons étudiés et leurs désignations…… …46

Tableau II.10 : Consistance du béton suivant l'essai d'affaissement au cône d'Abrams…...49

TableauIII.1 : les formulations des bétons……..56

Tableau III.2 : Affaissements des bétons……...58

Tableau III. 3 : Masses volumiques des bétons durcis……...……..59

Tableau III. 4 : Résistance à la compression……..…….……61

Tableau III.5: Résistance à la traction……..63

Tableau III.6 : porosité de béton……...…..64

TableauIII.7 : Conductivité thermique des bétons……..……66

TableauIII. 8 : résistances aux feux……...…….……68

Notation et Abréviation

SiO2 : Silice.

Al2O3 : Alumine.

Fe2O3 : Oxyde de fer.

CaO : La chaux.

MgO : Oxyde de magnésium.

SO3 : Trioxyde de soufre.

S : Soufre.

FeO : Oxyde de fer.

MnO : Oxyde de manganèse.

K2O+ : Oxyde de potassium.

Na2O : Oxyde de sodium.

ACCP : L'Association canadienne du ciment Portland.

BO : Béton ordinaire.

LA : Coefficient de Los Angeles.

λ **:** La conductivité thermique.

PH : potentiel hydrogène.

CPJ : Ciment portland composé.

E/C : Eau / Ciment.

SP : Super plastifiant.

Rc : Résistance à la compression.

Rf : Résistance à la flexion.

Rt : Résistance à la traction.

Mair : La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air.

Msec : La masse d'éprouvette sèche.

Meau : La masse d'éprouvette immergée dans l'eau.

ε **:** La porosité.

Introduction Générale

Introduction Générale

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

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 calciné à 900°C pondent 4 heures , 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 [56].
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 ravagés, comme la République Fédérale Allemande par exemple.

Le présent travail a pour but de contribuer d'une part à La valorisation des déchets de briques, pour l'élaboration d'un éco-matériau léger en substituant une fraction optimale de granulats naturelle par granulats recyclés (brique concassé), et d'autre part de fabriquer un béton de bonne qualité. Donc l'objectif visé par ce travail est d'évaluer expérimentalement le béton à base de déchets de brique en comparaison avec le béton témoin de granulats naturel. Notre étude a été portée sur la composition des bétons à partir d'un mélange de granulats ternaire de sable (0/5), de gravillon (3/8) et de gravillon (8/15). La substitution des granulats a été faites sur plusieurs

béton, dont le premier nous avons remplacé uniquement le gravier 3/8, puis le gravier 8/15 en deux fraction volumique (50% et 100%) toujours avec 100% de gravier 3/8 recyclé, après on a remplacé le 50% de sable naturel et à la fin nous avons fabriqué deux bétons de 100 % de granulats de brique un des deux de brique calciné.

Le présent travail sera présenté sous trois chapitres : Le premier est consacré à la recherche bibliographique. Il présente une revue sur les bétons légers dont la partie importante est consacré au granulat léger.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, dans laquelle nous exposant au premier lieu les caractéristiques des matériaux utilisés, les procédures de confection des mélanges, puis on passe aux essais de caractérisation de **béton** (Essai d'affaissement au cône d'abrams **,**Essai de d'écrasement, Essai de traction par flexion, Essai d'absorption d'eau par capillarité, la porosité et la conductivité thermique, et la résistance au feu)**.**

Le troisième chapitre regroupe les résultats des essais réalisés sur les bétons, où nous présentant en premier lieu les différentes formulations préparées, puis on passe aux discutions de résultats obtenus.

A la fin nous clôturons ce travail par des conclusions générales qui regroupes les principales constations tirés de deuxième chapitre.

Chapitre I :
Etude Bibliographie

I.1 Introduction

Les granulats sont des matériaux inertes qui entrent dans la composition des bétons, des mortiers, de couches de fondation de base et de roulement des chaussées, des assises et des ballasts de voies ferrées. Utilisés en construction, ils composent l'ensemble des grains qui ont des diamètres compris entre 0 et 80 mm Selon leur provenance, les granulats sont soit naturels, artificiels ou recyclés.



Figure I.1: Différents types de granulats.

Les granulats représentent à peu près 70% du volume total d'un béton [**1**]. Leurs caractéristiques ont alors une influence significative sur celles des bétons : soit ils influent directement sur une propriété particulière du béton, soit sur le rapport E/C nécessaire pour obtenir la maniabilité voulue. Et donc, leur granulométrie, forme, texture, densité, absorption, résistance mécanique, résistance à l'abrasion, réactivité, propriété thermique et leur résistance au gel sont autant de caractéristiques qui influent directement sur la formulation du béton [1].

Dans le domaine de la construction, les granulats sont classés en trois catégories [1] :

- Les granulats légers : masse volumique réelle inférieure ou égale à 2000 Kg/m^3
- Les granulats courants : masse volumique réelle comprise entre 2000 et 3000 Kg/m^3
- Les granulats lourds : masse volumique réelle supérieure ou égale à 3000 Kg/m^3.

Dans le cadre de notre étude, il s'agit de béton à granulats légers, d'où nous allons nous limiter à ce type de granulats.

I.2. Granulats légers

Les granulats légers sont des matériaux poreux. Avant de présenter ces matériaux, nous allons définir deux grandeurs qui caractérisent leur légèreté : la masse volumique en vrac et la masse volumique réelle.

- La masse volumique en vrac désigne le rapport de la masse de granulat léger sec pour remplir de façon aléatoire un récipient sur le volume du récipient.
- La masse volumique réelle exprime le rapport d'une masse donnée de granulat léger sec sur le volume qu'elle occupe dans l'eau [2].

Historiquement, l'ingénieur HAYDE Stephen est le premier à fabriquer des granulats légers par l'application d'un traitement thermique sur un matériau expansible. Il déposa un brevet en 1918 pour la technique d'expansion de l'argile, de l'ardoise et du schiste à partir d'un four rotatif. C'est le début de la production et de la commercialisation des granulats légers artificiels. Les granulats légers artificiels sont désormais utilisés aussi bien dans la construction civile que dans la construction navale. En France, l'intérêt pour les granulats légers artificiels s'est développé au début des années 1970 avec l'implantation de la première usine en 1964 à Watten dans le nord. Selon Chen et al. 2012[2], les granulats légers sont aujourd'hui présents dans différents domaines tels que le bâtiment (béton préfabriqué et béton prêt à l'emploi), les travaux publics (remblai), l'horticulture (grainage de jardin), du traitement des eaux (filtre ou lit bactérien). Certains sont peu résistants voire fiables tandis que d'autres sont résistants et durs [5]. Plusieurs édifices pour ne citer que le Panthéon et le Colisée de Rome sont réalisés en partie en béton léger.



Figure I.2: colisée de Rome.



Figure I.3: Panthéon de Rome.

I.2.1 Différents types de granulats légers

Les granulats légers sont les moins utilisés des granulats et ce, partout dans les différents pays du monde. Ils se présentent sous la forme d'une structure poreuse (structure alvéolée) d'où leur légèreté (masse volumique réelle inférieure à 2000 Kg/m^3.

Les bétons de granulats légers sont généralement classés suivant l'origine du granulat utilisé, ainsi on distingue 4 types [3] :

- Les granulats légers naturels : la ponce ou la pouzzolane, matériaux volcaniques naturels de structures très poreuse.
- Les granulats légers ayant subi un traitement thermique : granulats d'argile, de schiste, d'ardoise ou de perlite expansée.
- Les granulats légers de matériaux artificiels : el mâchefer, sous-produit de la combustion de charbon ou des ordures ménagères.
- Les granulats légers de matériaux artificiels ayant subi des traitements spéciaux : granulats de nombreux déchets industriels, comme le laitier de haut fourneau que l'on peut expansée. [3]

En somme nous pouvons les regrouper en deux grandes familles à savoir les granulats légers naturels et les granulats légers artificiels.

I.2.1 .1. Les granulats légers naturels

Un certain nombre de granulats légers existe à l'état naturel, Parmi les granulats d'origine minérale naturellement poreux : la pierre ponce, diatomite, pouzzolane.

A. Pierre ponce

La pierre ponce est un matériau naturel d'origine volcanique, on trouve dans sa composition chimique une proportion élevé de trois minéraux qui sont : la silice, l'alumine et l'alcali. Elle se forme par brusque refroidissement de roches en fusion. Ses éléments sont arrondis (grains avec diamètre maximale de 10 à 20 mm). Elle est de couleur grisâtre, d'une grande porosité et d'une faible densité (peut flotter sur l'eau). [1]

La ponce est utilisée dans les bétons de structure et d'isolation. Cependant sa faible masse volumique conduit à une faible résistance à la compression du béton.



Figure I.4 : Pierre ponce

B. Diatomite

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse constituée essentiellement de squelettes de Diatomées (algues unicellulaires). Les matériaux dianoématiques bruts font l'objet d'un traitement en usine, qui comprend principalement le broyage, le séchage, la sélection granulométrique, la calcination et l'activation (calcination avec ajout d'un agent fanant) [4].



Figure I.5 : Diatomite.

C. Pouzzolane naturelle

La pouzzolane provient de la cristallisation de magma volcanique refroidi assez lentement (scorie, lave mousseuse, crasse volcanique). La roche s'exploite en carrière. Elle est parfois lavée, concassée et criblée. La pouzzolane est colorée en rouge brun, en noire ou en teinte intermédiaire. C'est une roche silico alumineuse (par EX : SiO2=50%, Al2O3=20%, Fe2O3=10%). Sa densité est un peu plus élevée que celle de la ponce, de l'ordre de 700 à 900kg/m^3, Les bétons confectionnés de la pouzzolane sont peu plus denses et plus résistants que les bétons de ponce. [5]



Figure I.6: Pouzzolane.

I.2.1.2. Granulats artificiels

Des granulats légers peuvent être également produits artificiellement, soit à partir de matières premières naturelles comme l'argile, le schiste, l'ardoise, soit à partir de sous-produits comme les laitiers, les cendres volantes frittés ou encire l'EPS (Polystyrène Expansé). [1]

Les granulats artificiels sont les granulats d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des modifications thermiques ou autres. [7]

A. Argile expansée

L'argile expansée est certainement actuellement le matériau le plus fabriqué dans le monde. Le principe de la fabrication est connu depuis le dépôt en 1917 du brevet américain de Hyde (pour l'argile et aussi pour le schiste expansé). La production industrielle a commencé vers 1928 et actuellement dans le monde il existe plusieurs centaines d'usines. [1]

A.1. Composition et origine

Les argiles ne sont pas toutes susceptibles de gonfler sous l'effet de la chaleur. En effet, seules les argiles contenant de la pyrite, de l'hématite ou de la dolomie sont réactives. A la fin du processus d'expansion, on obtient des particules de forme généralement arrondie, présentant une peau brune rougeâtre enveloppant une texture alvéolaire noirâtre. [1]

A.2. Méthode de fabrication

Certaines argiles ont la propriété de gonfler sous l'action de fortes températures de l'ordre de 1000 °C. Ce gonflement est associé à un dégagement de gaz lié au ramollissement de la matière [1].

Le gaz génère l'expansion des granules donnant alors une porosité élevée et des propriétés d'allègement. Cette structure poreuse est durcie sur l'extérieur et donne une coque de céramique dure atteignant une résistance à la compression élevée. Au refroidissement, on obtient un

granulat léger, dur, à texture cellulaire. Par concassage, on obtient des granulats de tailles variées et dont la masse volumique apparente varie entre 300 et 1000 kg/m^3 [1].

Les bétons confectionnés à partir d'argile expansée ont une bonne résistance à la compression de l'ordre de 30 à 35 MPa, avec des masses volumiques se situant autour de 1650 kg/m^3 et 1200 kg/m^3 pour les bétons légers de structure et les bétons légers isolants respectivement [1].



Figure I.7: Argile expansée.

B. Schistes expansés

B.1. Composition et origine

Les schistes servant à la fabrication des granulats légers peuvent provenir de diverses origines, soit de schistes naturels (schistes carbonifères, houillers et bitumineux), ou de schistes plus classiques, en provenance de carrière ou encore d'ardoise [5].

B.2. Méthode de fabrication

Le procédé de fabrication des granulats légers à partir de schistes est similaire au procédé par expansion. D'abord, on procède au broyage des matières premières pour réduire la taille des particules de schiste à un diamètre maximal de 800 µm. Ensuite, on mélange cette poudre à 10 % d'eau pour obtenir une pâte que l'on va extruder aux environs de 80°C sous forme de coudes. Les nodules extrudés de 5 à 15 mm sont ensuite séchés et expansés au four à une température de 1300 à 1450 °C. L'expansion est d'autant plus importante que la température est élevée. Par exempte, la masse volumique en vrac est d'environ 1000 kg/m^3 à 1300 °C comparativement à 380 kg/m^3 pour une température de 1450 °C [8].

Les bétons à base de schiste expansé ont les meilleures résistances à la compression d'où ils sont les plus utilisés dans les bétons de structure.



Figure I.8: Schiste expansé**.**

C. Laitier

Le laitier est un sous-produit de la fabrication de la fonte dans les hauts- fourneaux. Des usines sidérurgiques. Plusieurs traitements permettent d'obtenir des granulats légers à partir du laitier en fusion [1].

❖ Le laitier expansé

Le laitier s'expansé en se refroidissant dans une fosse au fond dont laquelle on envoie des jets d'eau sous pression. La roche obtenue a une structure alvéolaire. Elle est concassée et criblée, la densité des granulats varie de 600 à 900 kg/m^3 [1].

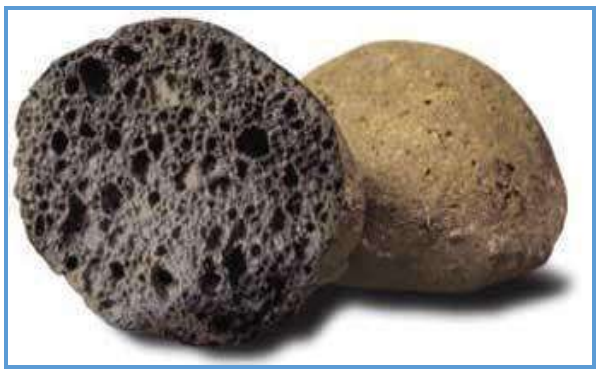


Figure I.9 : Laitier expansé**.**

❖ Le laitier Bouleté

Le laitier bouleté est obtenu à partir du laitier liquide par dispersion mécanique dans l'air grâce à un tambour rotatif. Le laitier prend la forme de boulettes de 1 à 20 mm, de structure vitreuse extérieurement vitreuse, les granulats les plus gros ont un cœur cristallisé. La densité des grains de 4/10 mm varie entre 800 et 900kg/m^3 [1].



Figure I.10 : Laitier Bouleté**.**

C.1. Composition et origine

La composition chimique des laitiers est en grande partie constituée de silice, d'alumine et de chaux. Ils sont obtenus lors de la production de la fonte dans les hauts fourneaux [1].

C.2. Méthode de fabrication

Le matériau en fusion qui surnage au-dessus de la fonte en fusion est solidifié par refroidissement rapide par injection d'air ou d'eau. L'eau injectée sous pression produit une forte expansion par vaporisation qui donne une structure alvéolaire. Le matériau encore incandescent est brusquement refroidi, ce qui produit une recristallisation partielle de la matière et une première dislocation. Ce refroidissement rapide donne naissance à des granulats alvéolaires poreux de nature cristalline. La masse volumique apparente du granulat ainsi obtenu se situe autour de900 kg/m^3 [1].

La masse volumique des bétons fabriqués à partir de laitier expansé varie de 1000 à 1800 kg/m^3**.**

D. Polystyrène expansé

Le polystyrène est un matériau alvéolaire rigide. Peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique de bâtiment et l'emballage des produits industrielles ou alimentaires [10].

D.1. Composition et origine

La matière première servant à la formation des billes de polystyrène est constituée de granules de polystyrène non expansé renfermant un pyrogène [1].

D.2. Méthode de fabrication

Le pyrogène, sous l'action de la chaleur passe à l'état gazeux et provoque ainsi une expansion. Ce matériau alvéolaire rigide est d'une masse volumique très faible (10 à 40 kg/m^3). [25] et donc ses bétons (béton léger et isolant thermique) ont des masses volumiques aussi faibles (300 à 800 kg/m^3). [11]

Les bétons confectionnés à partir de polystyrène ont une masse volumique aussi faible de 550 à 800 kg/m^3 et une résistance à la compression de l'ordre de 2,0 à 4,0 MPa. [1].



Figure I.10 : Laitier Bouleté**.**

E. Cendre volante

Les cendres volantes résultent de la combustion du charbon dans les centrales thermiques ; elles sont récupérées au moyen de séparateurs pneumatiques et électrostatiques puis humidifiées pour faciliter la manutention. Les cendres volantes ont une poudre fine constituée principalement de particules vitreuses sous forme sphériques. Les compositions chimiques des cendres volantes dépendent des impuretés contenues dans le charbon utilisé [9].

E.1. Composition et origine

Les cendres volantes sont constituées principalement de silice (50 %) et d'alumine (32 %). Ce sont des sous-produits récupérés de la combustion du charbon pulvérisé aux environs de 1500°C. [12]

E.2. Méthode de fabrication

Les cendres volantes, humidifiées avec de l'eau puis malaxées, par la suite être bouletées. Ces boulettes sont ensuite envoyées dans le four pour le frittage (four à grille horizontale) à des températures allant de 1200 à 1300°C. Ce frittage permet de souder les particules de cendre et crée de petits espaces d'air entre elles. Ainsi, nous obtenons les granulats appelés cendres volantes frittées avec une masse volumique apparente d'environ 800 kg/m^3. Les bétons contenant les cendres volantes frittées ont une bonne résistance à la compression et une masse volumique acceptable**,** elles se situent autourde1850 kg/m^3 pour les bétons légers structuraux. [1]



Figure I.12 : Cendre volante**.**

A côté de ces granulats légers étudiés, on note aussi d'autres types comme les granulats végétaux tels que les copeaux de bois et les granulats de liège mais aussi il y a les matériaux légers recyclés tel que les plastiques et les caoutchoucs.

I.2.2. Composition chimique et minéralogique de granulats légers

Selon leur nature, les granulats légers présentent des compositions chimiques et minéralogiques particulières.

I.2.2.1. Granulats en argile expansée et schiste expansé

Malgré l'utilisation de matières premières différentes, les granulats d'argile et schiste expansés, ont une composition chimique similaire. Ils sont composés de plus de 85 % de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. La composition chimique courante de ces granulats est présentée dans le Tableau I.1.

Tableau I.1: Composition chimique des granulats d'argile et schiste expansés [14]

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Alcalis	SO_3	S
50 - 65 %	**16 - 25 %**	**5 - 9 %**	**1 - 5 %**	**1,5 - 3,5 %**	**1,5 - 4,5 %**	**0 - 1,5 %**	**0 - 1,5 %**

En ce qui concerne la minéralogie, les granulats d'argile et de schiste expansés sont principalement constitués de quartz, les autres silicates ayant un faible taux de cristallisation. [15 ,16]

I.2.2.2. Granulats en laitier expansé

Le laitier utilisé comme base de granulats légers doit satisfaire aux spécifications de la norme NF P18-302 [23].Ils sont composés à part égale d'environ 80% de silice et de chaux. Leur composition chimique est présentée dans le Tableau I.2.

Tableau I.2 : Composition chimique des granulats en laitier expansé. **[14]**

SiO2	Al2O3	FeO	CaO	MgO	MnO	SO3	S
29 - 38%	13 - 24%	≤ 4 %	38 -48 %	≤ 6 %	≤ 2 %	≤ 0,5 %	≤ 0,5 %

I.2.2.3. Pierre ponce et cendres volantes frittées

Tableau I.3 donne un exemple de la composition chimique de la pierre ponce et des granulats de cendres volantes. La ponce est riche en silice, en alcalins et possède une teneur non négligeable en sulfoxinium. La cendre volante possède plus d'alumine que les autres types des granulats légers.

Tableau I.3 : Composition chimique de la pierre ponce et de cendres volantes frittées [17]**.**

	SiO2	Al2O3	MgO	Fe2O3	CaO	K2O + Na2O	SO3
Pierre ponce	69%	18%	1.0%	2.0%	3.0%	5.0%	1.8%
Cendre volante	49.5%	30.2%	2.4%	9.5%	4.6%	3.0%	0.9%

I.2.2.4. Granulats de polystyrène expansé

Le polystyrène est un polymère thermoplastique linéaire à squelette aliphatique obtenue par polymérisation du motif homopolymère de styrène [18].

I.3. LES BETONS LEGERS

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant.

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 [19].

I.3.1. Définition

Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelles application , ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique .En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600Kg/m^3 , tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et1 850Kg/m^3[A.NEVILLE,2000] [20].

Le béton léger se caractérise essentiellement par leur faible masse volumique, adaptable aux exigences, par leur excellent rapport poids/résistance et par leur bonne isolation thermique, leur résistance à la chaleur, leur résistance au gel ainsi que par leur insensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction][20].

Ces bétons peuvent être utilisés pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues, Donc les bétons légers de construction affectés par leurs masses volumiques et ces résistances variées. Bien utilisés, ces deux facteurs permettent d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction]

I.3.2.Les types des bétons légers

Pour fabriquer un béton léger, on doit prendre en considération deux aspects :

1) Les particularités en matière de formulation des bétons légers,

2) La source des constituants spécifiques à la confection de bétons légers dont les matériaux légers naturels, artificiels et recyclés.

Ces deux aspects sont reliés avec la masse volumique qui diminue en remplacent une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :

- dans la matrice : le béton, dans ce cas, est appelé **«** béton cellulaire ». Les bulles d'air sont créés, 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 »][21].

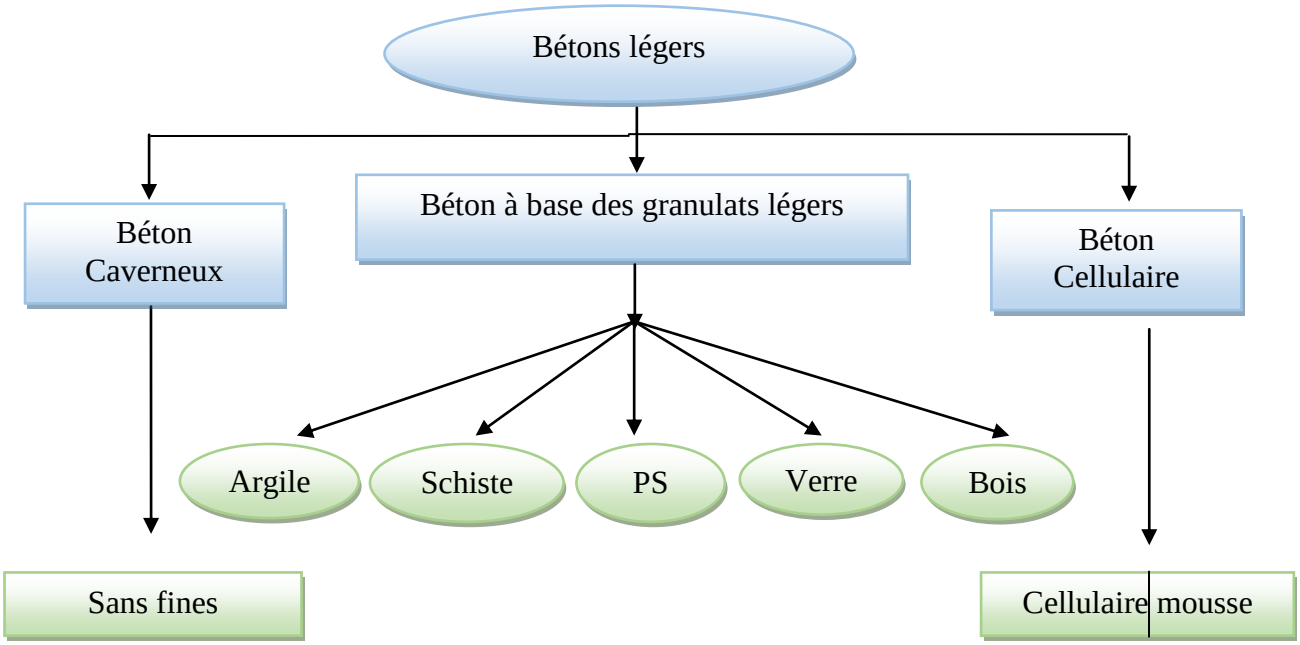


Figure I. 13 : Les types des bétons légers

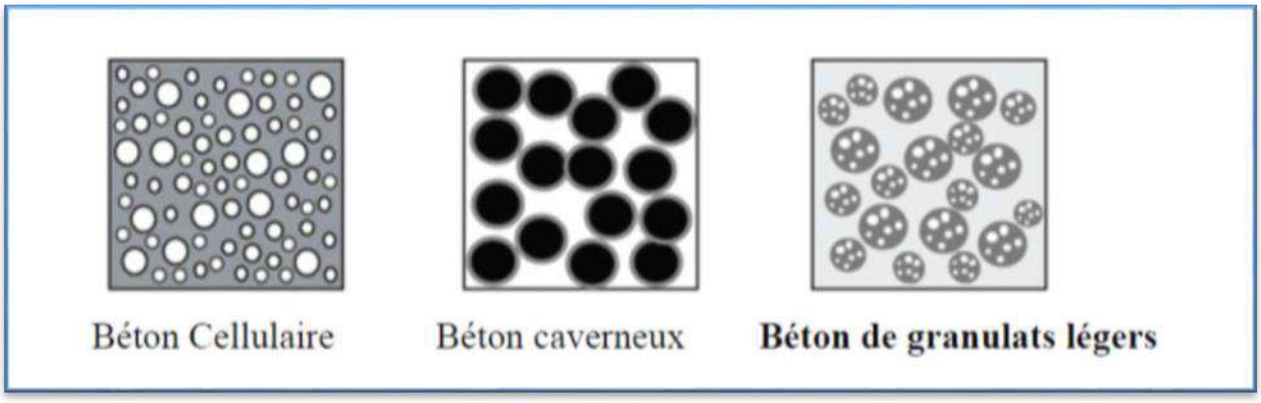


Figure I.14 : Représentation schématique des différents types de bétons légers.

I.3.2.1 Béton cellulaire

Les bétons cellulaires sont en général des mortiers remplis de petites bulles d'air. Ces mortiers sont des mélanges de sables (granulats à base de silice ou légers) et de ciment portland. Les bulles sont créées à l'intérieur de la pâte grâce aux agents moussants qui sont utilisés dans le béton pour produire un volume d'air important. On cite parmi Ces agents, la poudre d'aluminium ou soit par gâchage avec de l'eau savonneuse. La poudre d'aluminium réagit chimiquement avec le ciment et l'eau lors du malaxage pour donner, d'une part, un sel et, d'autre part, de l'hydrogène qui compose ainsi les petites bulles (Figure 1.15). Ces processus demandent une grande précision et des calculs de dosage précis ; ils doivent être réalisés en atelier, et non pas sur le chantier **[20].**

Tableau I.4 : Propriétés comparées des bétons cellulaires [M. CONTANT, 2000][20]

Masse volumique sèche	**Résistance en compression**	**Résistance en flexion**	**Module d'élasticité**	**Conductivité thermique**
kg/m^3	MPa	MPa	GPa	Jm/m^2s^oC
450	3.2	0.65	1.6	0.12
525	4.0	0.75	2.0	0.14
600	4.5	0.85	2.4	0.16
675	6.3	1.00	2.5	0.18
750	7.5	1.25	2.7	0.20

Les résistances et le module d'élasticité augmentent en fonction de l'augmentation de la masse volumique du béton (Tableau I.4). En conséquence, il est possible d'obtenir une masse volumique souhaitée pour une résistance spécifique. Il est à noter que la résistance en flexion peut être améliorée par l'ajout d'armature ou de microfibres, celles-ci reprennent les efforts de flexion, et aide à contrôler la microfissuration lors de l'application d'une charge [20].

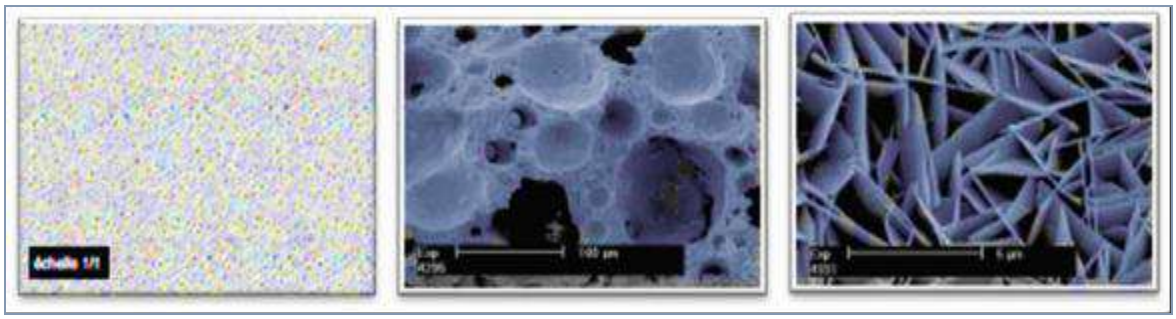


Figure I.15 : Béton cellulaire.

I.3.2.2. Le béton caverneux

On appelle béton caverneux tout béton à base de granulats normaux ou légers dans lequel on a supprimé en totalité ou en partie de sable ou d'éléments fins.

Un béton ne contenant pas de sable produit une agglomération de gros granulats dont les particules sont recouvertes par un film de pâte de ciment d'une épaisseur de 1 à 3 mm. Cette substitution crée à l'intérieur du béton de larges cavités (pores), responsables de la diminution de la masse volumique et de la baisse de résistance à la compression. [5] La pâte de ciment ne remplit pas la totalité des vides interstitiels, et de l'air reste contenu entre les granulats ; ce béton Très poreux en raison de la présence dans sa masse de vides. Ils sont drainants et sont fabriqués avec un minimum d'eau pour éviter le lavage de la pâte de ciment sur les granulats [22].

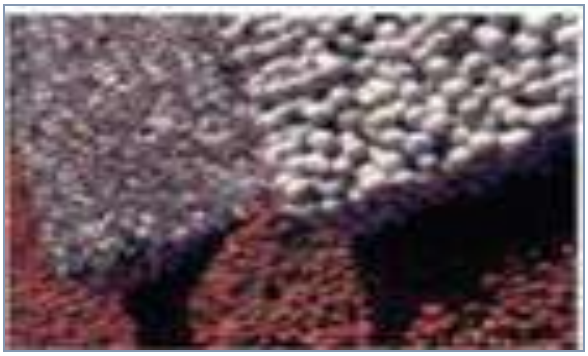


Figure I.16 : Béton caverneux**.**

Les principales propriétés du béton caverneux :

- Une résistance à la compression entre 1,5 MPa et 14 MPa.
- La résistance en flexion est habituellement égale à 30 % de la résistance en compression, c'est-à-dire supérieure à celle du béton ordinaire [23].
- Le retrait est considérablement plus faible que celui d'un béton de densité normale.
- Ce béton est très résistant au gel.
- Une masse volumique inférieure à 1800 Kg/m^3.
- Sa forte absorption d'eau le rend cependant inutilisable dans les fondations et dans les situations où il peut se saturer en eau [24].

I.3.2.3 Béton a granulats légers

A. Historique

L'utilisation des granulats légers date de l'époque romaine qui se situe entre 27 avant J. C. et 476 après J. C. Plusieurs édifices pour ne citer que la Panthéon et le Colisée de Rome sont réalisés en partie en béton léger (BREMNER et AL. 1994) [25].Par exemple, le dôme du panthéon d'une portée d'environ 43 mètres a été réalisé avec des matériaux de densités variables dont un contenant de la pierre ponce. Après le déclin de l'empire Romain, l'utilisation des granulats légers naturels tels que la pierre ponce, la pouzzolane, la diatomite etc., a été ralentie jusqu'à l'avènement des granulats légers artificiels tels que l'argile expansée, l'ardoise expansée, cendre volant fritée etc., au XXIème siècle.

Historiquement, l'ingénieur HAYDE STEPHEN est le premier à fabriquer des granulats légers par l'application d'un traitement thermique sur un matériau expansible (ARNOULD et VIRLOGEUX 1986) et (TANG et AL. 2011). [26.27] Il déposa un brevet en 1918 pour la technique d'expansion de l'argile. De l'ardoise et du schiste à partir d'un four rotatif. C'est le début de la production et de la commercialisation des granulats légers artificiels. Les granulats légers artificiels s'est développé au début des années 1970 avec l'implantation de la première usine en 1964 à WATTEN dans le nord. Selon (CHEN et AL 2012), [28] les granulats légers sont aujourd'hui présents dans différents domaines tels que le bâtiment (béton préfabriqué et béton prêt à l'emploi), les travaux public (remblai), l'horticulture (grainage de jardin), du traitement des eaux (filtre ou lit bactérien). Certains sont peu résistants voire faibles tandis que d'autres sont résistants et durs.

B. Définition

Ce sont des bétons dans lesquels des granulats normaux ont été remplacés par des granulats légers, ils peuvent être pleins ou caverneux, dans ce dernier cas, la granulométrie est fortement discontinue et les éléments fins sont partiellement ou totalement supprimés.

Les comportements physiques et mécaniques des bétons de granulas légers sont dictés par le type de granulats légers utilisés, et par leurs propriétés physiques et mécaniques d'une part, et d'autre part par la nature de la matrice utilisée. Selon les exigences demandées et selon le béton utilisé, le choix du type de granulats et de la nature de la matrice s'avère important [29].



Figure I.17 : Le béton de granulats léger.

C. Les bétons de granulats légers naturels

Il s'agit des bétons fabriqués avec de la ponce ou de la pouzzolane (matériaux volcaniques naturels de structures très poreuse obtenus par concassage granulats léger). Ces matériaux sont relativement peu connus en Algérie, leur emploi reste donc sans domaine d'application, mais il n'est pas exclu, que dans l'avenir, certaines de leurs propriétés les rendent plus avantageux pour certaines réalisations [30].

B. Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique

Ce sont les bétons fabriqués avec des granulats d'argile : brique, de schiste, d'ardoise, de perlite expansée, de polystyrène expansé ou de vermiculite exfoliée [1].



Figure I .18: Béton de brique

Le béton de polystyrène est utilisé pour les murs extérieurs et les hourdis de planchers [31].



Figure I.19 : Béton de polystyrène expansé.



Figure I.20: Béton d'argile expansée.

C. Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial.

Il s'agit des bétons réalisés avec du mâchefer, sous-produit de la combustion du charbon ou des ordures ménagères. Ce matériau est en très nette régression et on l'utilise que pour la fabrication de parpaings [20].

D. Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux

Ce sont des bétons confectionnés à partir des granulats légers issus de très nombreux déchets industriels comme le laitier de haut fourneau du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR que l'on expansé sur les lieux de production, les cendres volantes que l'on peut fritter ou le verre que l'on peut également expansé [20].

I.3.3. Propriétés des bétons légers

I.3.3.1. La porosité

Le béton est constitué de plusieurs éléments solides (granulat, liant) et de plusieurs familles de vides dont la taille varie de quelques dizaines d'Angstrom (Å) à quelques millimètres selon l'origine de ces porosités.

Les granulats possèdent une porosité intrinsèque a due à la présence de l'air intra-particule. Compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de la dizaine de µm), la porosité du granulat sera qualifiée de porosité microscopique [32].

Agoumimelcha. A [31] dans sa recherche sur les granulats obtenus par recyclage des boues de barrage ont obtenu les résultats suivants :

- la porosité du béton augmente avec l'augmentation de la quantité des granulats légers comme il est indiqué sur la (Figure I.21).

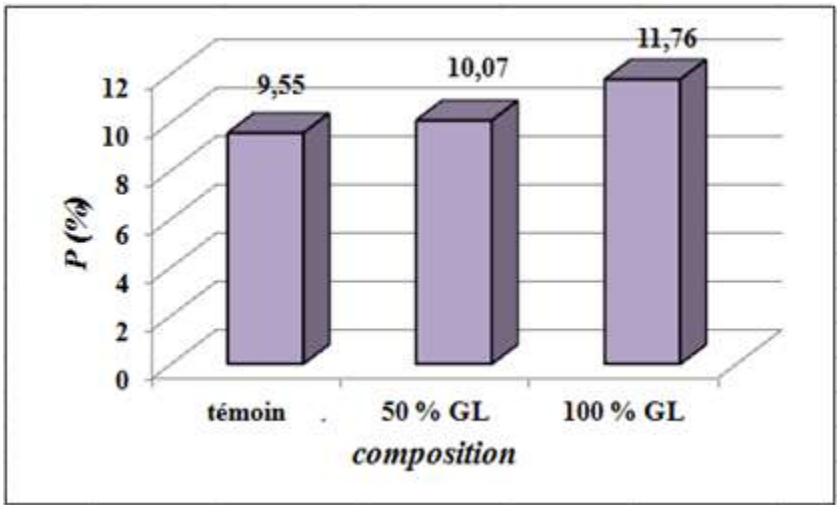


Figure I.21 : Variation de la porosité en fonction de la composition de béton**.**

I.3.3.2. La légèreté

L'emploi de granulats légers a pour première conséquence une diminution de 20 à30 % de la masse volumique de bétons. A titre de comparaison, la masse volumique d'un béton hydraulique est de l'ordre de 2300 kg/m^3 alors qu'elle se situé autour de 1600 kg/m^3 pour un béton d'argile expansée, entre 600 et 900 kg/m^3 pour un béton de bois et qu'elle varie entre 350 et 650 kg/m^3 pour un béton cellulaire (norme NF P 14-306) [35].L'intérêt est d'avoir un matériau facile à mettre en œuvre lorsqu'il est vendu manufacturés sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction [13].

I.3.3.3. La sensibilité à l'eau

Les granulats, poreux et perméable, permettant les transferts sous forme liquide et sous forme vapeur. Dans le cas d'eau liquide, on parle d'absorption et dans le cas d'eau vapeur, on parle de sorption-désorption.

La perméabilité représente la faculté qu'a un matériau de laisser un fluide s'écouler en son sein, sous l'effet d'un gradient de pression. Cette propriété de perméabilité n'existe donc que si le matériau possède une porosité non négligeable et que celle-ci est connectée. En revanche, un matériau peut être très poreux (le béton cellulaire) et peu perméabilité car les pores, non relies entre eux, ne constituent pas des chemins continus, dans lesquels le fluide peut s'écouler. Porosité et perméabilité sont doc liées mais la première n'applique pas forcément le deuxième **[32].**

I.3.3.4. La résistance à la compression des bétons légers

A la différence du béton traditionnel, la rupture en compression d'un béton léger se produit en général par cassure des granulats légers, dans des plans qui coupent le plus grand nombre possible de granulats légers la rupture des éprouvettes est ainsi caractérisée par un ou plusieurs plans parallèles au chargement et par le fendage des granulats. Les principaux facteurs ayant une influence sur la résistance en compression des bétons de granulats légers sont des caractéristiques des granulats et la composition du béton [32].

SENE.L [33] dans sa recherche sur les bétons à granulats légers à base d'argile expansée et à base de coquillages ont obtenu les résultats suivants :

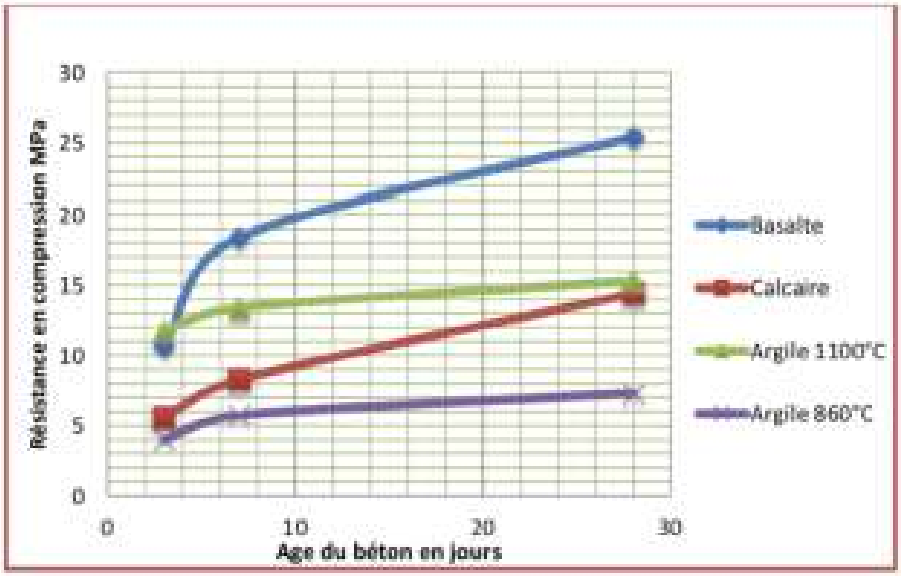


Figure I.22 : Courbe de résistance en compression des bétons en fonction de l'âge**.**

I.3.3.5. Propriétés élastiques des bétons légers

Le module d'Young d'un béton léger est évidement inférieur à celui du béton traditionnel en raison de sa faible masse volumique. Généralement, le module d'Young d'un béton léger est considère comme valant 0.5 à 0.75 de celui d'un béton traditionnel de même résistance. Une plus faible rigidité peut être parfois souhaitable pour les structures soumises à une sollicitation dynamique ou pour des structures en coques. Un faible module d'Young peut être à l'origine de désordre dans les structures en béton précontraint suite à une relaxation des câbles de précontrainte et à la chute de tension qui en découle [33].

I.3.3.6. La masse volumique

La masse volumique du béton léger représente l'une des caractéristiques les plus importantes. La réduction de la masse volumique est rendue possible en changeant le type de granulat et en faisant varier les proportions des différents constituants. [1]

Les résultats de Agoumimelcha.A [31] dans sa mémoire sur les granulats obtenus par recyclage des boues de barrage approuve ses remarques (Figure I.23) :

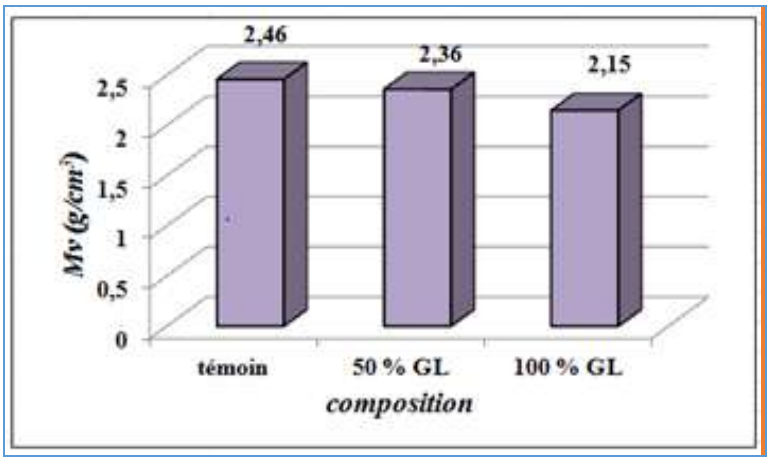


Figure I. 23 : Variation de la masse volumique à l'état frai en fonction de la composition de béton.

I.3.3.7. La durabilité

Les conditions d'exposition conditionnent souvent la conception du béton. En effet, les cycles de gel-dégel en présence ou non des sels fondants représentent un aspect critique de la durabilité des bétons légers exposés aux intempéries. Il est important de faire la distinction entre les deux types d'attaque par le gel, avec ou sans sels fondants, puisque les mécanismes de détériorations sont différents [5].

I.3.3.8. La rhéologie à l'état frais

La rhéologie du béton à l'état Frais définit la relation contrainte déformation du matériau en référence à ses propriétés d'élasticité, de plasticité et de viscosité.

On qualifie la rhéologie du béton à l'état frais en fonction de l'énergie nécessaire à la mise en place par rapport à la qualité recherchée du fini. En conséquence, les paramètres dont on doit tenir compte lors du dosage relativement à la rhéologie du béton léger à l'état frais sont : les méthodes de moulage et de mise en place, la qualité de la finition et la dimension des granulats et des coffrages [5].

I.3.4. Le dosage

Le dosage est consisté essentiellement à déterminer la proportion des constituants de manière à produire le béton répondant aux qualités du béton recherchées. Cependant, ce dosage n'est pas aléatoire puisque l'obtention des qualités recherchées repose sur des principes (qualité de la pâte, type de granulat, rhéologie, etc.) Une fois ces principes établis, on peut identifier la méthode de dosage qui correspond le mieux aux matériaux utilisés et aux conditions d'application [5].

I.3.4.1. Les Principes de dosage

Le principe de dosage d'un béton repose sur des concepts fondamentaux reliés au comportement du béton à l'état frais et durci. L'étude sommaire de ces concepts va permettre, d'une part, de mieux comprendre les mécanismes du comportement interne du béton et d'autre part, aider à la compréhension des concepts menant à la formulation d'un béton léger durable. On peut, a priori, admettre que le béton est constitué essentiellement de deux phases : la pâte de ciment hydraté et les granulats [5].

Les propriétés du béton varient essentiellement en fonction des matériaux utilisés et de leur dosage. Les principes de dosage font référence à quatre principaux facteurs :

- la qualité de la pâte de ciment hydraté.
- la qualité des granulats.
- la rhéologie recherchée.
- les propriétés mécaniques.

I.3.4.2. Les méthodes de dosage

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton léger qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton léger est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De façon générale, toutes les méthodes de dosage conçu pour les bétons conventionnels s'appliquent au cas d'un béton léger moyennant quelques modifications, Les méthodes de dosage sont nombreuses. Dans la majorité des cas, elles proposent de fixer initialement un rapport E/L correspondant à la résistance à la compression recherchée. Par la suite, les autres paramètres sont établis à partir de concepts empiriques issus de l'expérience et diffusés sous forme d'abaques **[5].**

I.3.5. Classification de béton léger

Un béton léger est défini par deux caractères de base, dont dépendent les autres caractères ou données nécessaires au calcul. Il s'agit :

- De la masse volumique sèche, désignée par γ_{bs}.
- la résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

La norme EN 206 [34] classes les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, Fonction de leur masse en Kg/m^3[8](Tableau I.5). La nouvelle version de la norme EN 206 [34] classes les bétons suivant les fourchettes de masse volumiques indiquéesdans le (Tableau I.6)

Tableau I.5 : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité **[**24].

Classe de densité	**1.0**	**1.2**	**1.4**	**1.6**	**1.8**	**2.0**
Kg/m3	**901 à 1000**	**1001 à 1200**	**1201 à 1400**	**1401 à 1600**	**1601 à 1800**	**1801 à 2000**

Tableau I.6 : Classification des bétons légers en Fonction De la masse volumique. **[8]**

Classe de Masse Volumique	**LC1.0**	**LC1.2**	**LC1.4**	**LC1.6**	**LC1.8**	**LC2.0**
Kg/m3	**>800 Et ≤ 1000**	**>1000 et ≤ 1200**	**>1200 Et ≤ 1400**	**>1400 Et ≤ 1600**	**>1600 Et ≤ 1800**	**>1800 Et ≤ 2000**

Une autre classification pour béton léger basée sur la masse volumique est logique, puisque la masse volumique et la résistance sont étroitement liées, ce qui explique pourquoi la norme ACI 213R -87 [1] classifie les bétons en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m3) en trois catégories :

- Le béton léger de structure : 1350 – 1900 kg/m^3 :

Dont la masse volumique est comprise entre 1350 et 1900 ce béton est utilisé pour des applications structurales et présente une résistance à la compression minimale de 17 Mpa.

- Le béton léger de faible masse volumique : 300 – 800 kg/m^3 :

A une masse volumique comprise entre 300 et 800 kg/m^3 n'est pas utilisé pour des applications structurales, mais surtout comme isolant thermique, Rc< 7 MPa.

- le béton de résistance moyenne se situe entre les deux :

Sa résistance à la compression est comprise entre 7 et 17 MPa.

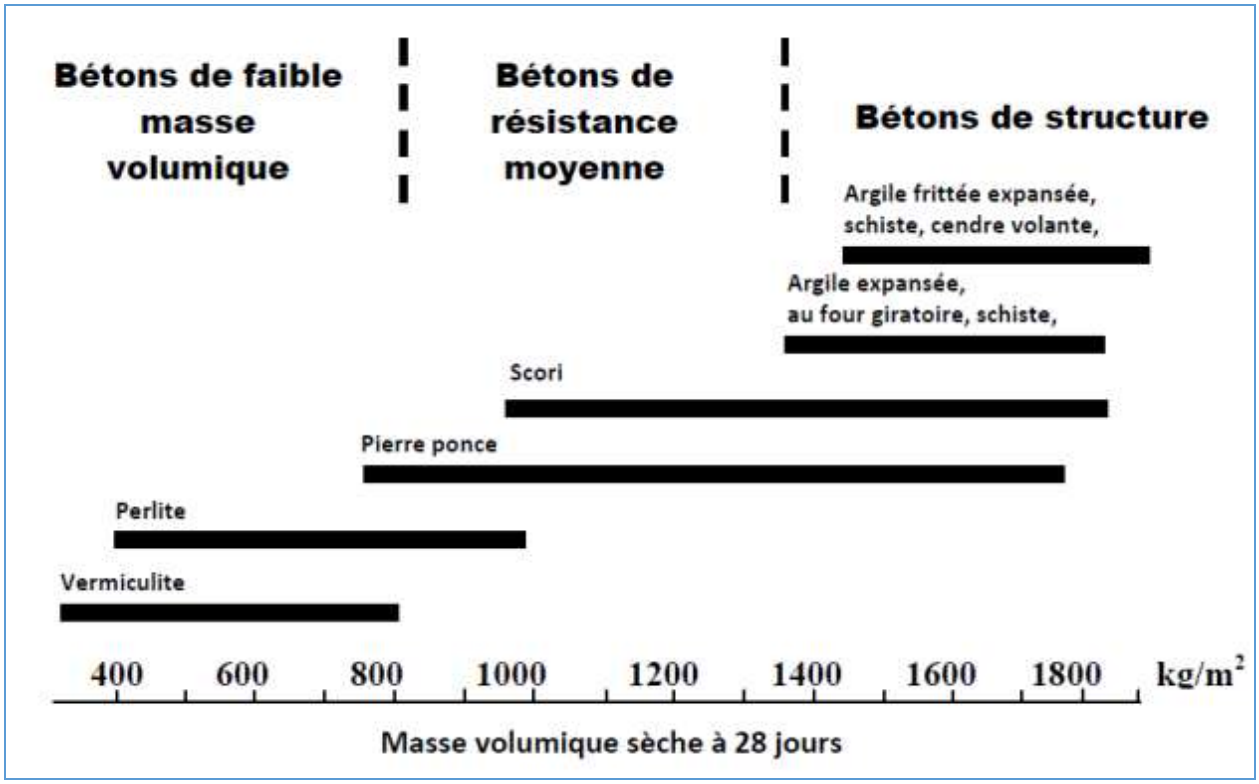


Figure I.24 : Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [20].

I.3.5.1. Classification suivant la nature de l'ouvrage

La formulation du béton est tributaire de la nature de l'ouvrage. A ce titre, il convient de distinguer deux grandes familles de béton léger : Le béton léger structural et le béton léger architectural.

- **.Le béton léger structural**

L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP) définit le béton léger structural comme un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 15 Mpa dont la masse volumique est inférieure à 1850 kg/m^3[22].Dans la catégorie des bétons légers structuraux, la diminution du poids spécifique du béton provient essentiellement de l'utilisation de granulats ayant des densités nettement inférieures à celles des granulats usuels.

Les laitiers de haut fourneau, les argiles et les schistes expansés, les cendres volantes, les pierres ponces, Les scories et le tuf constituent en grande partie les sources disponibles de matière première pour fabriquer des granulats légers destinés à la confection de bétons légers structuraux.

Le béton léger structural est utilisé pour répondre à des exigences structurales spécifiques. Ainsi, on utilise du béton léger lorsque la capacité portante du sol ne permet pas l'érection d'une structure conventionnelle ; pour construire un bâtiment de grande hauteur pour lequel la

diminution de poids est particulièrement intéressante compte tenu de la capacité portante du sol ; pour construire des plates-formes de forage dont la diminution de masse facilitent le transport dans les zones à faible tirant d'eau.

Règle générale, cette réduction de poids peut entraîner des économies substantielles dans la réalisation d'ouvrage. [5]

- **Le béton léger architectural**

Tout comme pour le béton léger structural, l'ACCP définit un béton léger architectural comme étant un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours comprise entre 0,7 et 7 MPa et dont la masse volumique varie entre 240 à 1440 kg/m^3**[5].**

On peut obtenir un béton de masse volumique aussi faible de trois façons :

- par l'utilisation de granulats ultralégers (la perlite, la vermiculite et les billes de polystyrène,…).
- par l'utilisation d'un agent moussant.
- par la confection d'un béton caverneux.

I.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. [1] .

I.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 [1].

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 [1].

I.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 « briquaillons » : 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. [1]

I.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 [1] :

•**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.

I.6 Domaine d'utilisation de béton léger

Les domaines d'utilisation préférentiels des bétons légers sont divers, on peut les divisés en trois domaines d'utilisation. [3]

I.6.1. des bétons d'isolation pure, non porteurs

Leur masse volumique est faible (600 kg/m3) de même que leur résistance à la compression (de 1,5 à 5 MPa). Ces bétons sont utilisés principalement :

- en forme de pente isolante pour toiture-terrasse.
- en isolation de sols sur terreplein.
- La préfabrication des éléments architecturaux.
- La protection d'étanchéité sur terrasse.
- chapes, planché, dalles d'isolation.
- Remplissage de vides et comblement de galeries et de canalisation.
- Le rattrapage de niveau.

I.6.2. des bétons porteurs et isolants

Leur masse volumique varie de 1000 à 1300 kg/m3 et leur résistance à la compression est de l'ordre de 15 à 20 MPa. Ces bétons peuvent être employés pour réaliser [3] :

- Des murs banchés ou préfabriqués.
- Des blocs à maçonner.
- Blocs, hourdis, panneaux préfabriqués, bardage.
- Les planchers des constructions métalliques à grandes surfaces.
- La protection incendie

I.6.3. Des bétons légers de structure

Ils ont une masse volumique de 1700 à 1800 kg/m^3 et leur résistance caractéristique à la compression dépasse 20 MPa. Les granulats légers doivent répondre à un certain nombre de critères concernant le pourcentage de grains cassés, la masse volumique (en vrac ou des grains), le coefficient d'absorption d'eau, la résistance à la compression des grains, la composition chimique, la propreté, la granularité. Ces bétons sont utilisés pour :

- Ouvrage ou le poids mort est important par rapport au poids total (Chargement compris) ; Immeuble de grande hauteur
- Portée importantes (poutres, voiles)
- Structures marines immeubles
- Surélévation d'immeubles existants
- Restauration d'anciens immeubles.

I.7. Les avantage des bétons légers

I.7.1. Avantages techniques

- Légèreté : plus léger qu'un béton classique, le béton léger a une densité de 0,4 à 1,2 en comparaison de 2 ,2 à 2,5 pour un béton classique.
- Isolant : Le béton léger a un pouvoir isolant thermique et phonique beaucoup plus important qu'un béton classique.
- Non inflammable : La chape en béton léger est classées M0 au test de réaction au feu à partir d'un certain dosage en ciment.
- Imputrescible *:* Le béton léger est un matériau à pH basique, constitué de ciment, de sables lavés et de perles de polystyrène expansé stabilisé.
- L'augmentation des propriétés d'isolation thermique et acoustique.
- les excellentes qualités de finition d'une pièce en béton léger. [3]

I.7.2. Avantages de Mises En Œuvre

- Exécution simple et rapide : accessibilité sur chantier entre 24 et 48 h après coulage, selon l'épaisseur.
- Maniabilité : pompable sur de longues distances et de grandes hauteurs, il est facile à mettre en œuvre, notamment en forte épaisseur.
- Coffrages plus légers

- Les pièces de béton léger sont aussi plus faciles à manipuler et à déplacer, en raison de leur relative légèreté (transport possible de pièces plus grandes) [1].

I.7.3. Avantages Economiques

- une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau **[24]**.
- le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations [24].
- économie sur le ferraillage des éléments.
- le plus faible volume de béton utilisé, il est aussi possible d'économiser sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire.

I.8. Les inconvénients des bétons légers

- Les auteurs (Neville 2000 et Cime béton 2000) [24] 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) [24]. 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.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité plusieurs points qu'on peut résumer comme suit :

- Sous l'appellation "Béton léger" il existe une grande famille de matériaux très différents.
- D'un point de vue générale et simple, le béton léger est réalisé on diminue la masse volumique par le remplacement d'une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :
  - ✓ Dans les granulats.
  - ✓ Dans la pâte de ciment.

- ✓ Entre les gros granulats par élimination de granulats fins.

- Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
- On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.
- Ce béton est utilisé dans plusieurs domaines.

Chapitre II :
Matériaux et essais expérimentales

II.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons étudiés, ainsi que les essais réalisés pour caractériser ces matériauxà savoir ;

- L'analyse granulométrique des granulats
- Les propriétés des granulats tels que ; la masse volumique, équivalent de sable, la dureté du gravier.
- Finesse de ciment

Comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir : la résistance à la compression et à la traction,et au feu, faible porosité, et faible conductivité thermique.

Les différents essais réalisés sur le béton au cours de ce travail sont **[3]**:

- ✓ L'ouvrabilité.
- ✓ Résistance à la compression mesurée sur éprouvettes cubiques (10x10x10) cm^3 à 07 et 28 jours.
- ✓ Résistance à la traction par flexion mesurée sur éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm^3 à 07, 28 jours.
- ✓ Résistance au feu
- ✓ Conductivité thermique
- ✓ La porosité.
- ✓ L'absorption.

II.2. Caractéristiques des matériaux

II.2.1. Ciment.

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, et 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 **[36].**

Le ciment utilisés lors de l'étude est un ciment portland composée CPJ - CEM II/B 42,5 ; de classe commerciale Mâtine **42.5** ;provient de la cimenterie LAFARGE**.**La composition chimique et les propriétés physiques sont présentées dans les tableaux II-1.



Figure II.1 : Le sac de ciment.

Tableau II.1. Caractéristiques physico-mécanique du ciment CPA CEM II/B 42.5.

Caractéristiques		**Valeur**	**Norme**
Finesse (m^2/Kg)		4150	NF EN 196-6 **[37].**
Masse volumique absolue (Kg/cm^3)		3100	
Consistance normale (%)		0.28	NF EN 196-3 **[38].**
Temps de prise (h)	Début	11.45	
	Fin	15.20	
Résistance à la compression(MPa)	28 j	≥ 42.5	NF EN 196-1 **[39].**

II.2.2.Granulats

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé trois types de granulats, le premier type est naturels , le deuxième est brique concassé, et le troisième aussi brique concassé mais calciné.



Figure II.2 : Granulats naturels



Figure II.3 : Granulats de brique

II.2.2.1.Sables

Dans la formulation des bétons nous avons utilisé trois type de sable ; dont le premier est un sable naturel de dune (Figure II.4) provient de la région de Oued-Soufsitué à 500 Km au de Sud Est d'Alger, sa classe granulaire est 0/5.Le deuxième et le troisième sont des sables recyclés, préparés de deux déchets de brique, ; le premier est un déchet de brique grossier extrait du déchet du concassage des morceaux de brique lors de réparation de gravier **3/8**, et le deuxième est un déchet de brique fin produit lors de préparation de gravier **8/15**(Figure II.12).

Pour avoir un sable recyclés de propriétés physiques identique à celles de sable normale utilisé, la combinaison des deux déchets a été faite en différents proportions pour chaque tamisas. Le tableau II.3 présentes le détail de cette combinaison.

Le troisième type de sable a été préparé de la même manière que le deuxième type (sable de brique) mais calciné à 900°C (Figure II.6).

- L'analyse granulométrique de différents sables est présentée dans la (Figure II.8).



Figure II. 4 : sable d'Oued-Souf

Tableau II.2 Combinaison de deux déchets de briques concassés

Tamis	Sable gros de Brique(g)	Sablefinde Brique (f)	Combinaison
5	0	0	100% f
4	0,5	0	100% f
3,15	0,8	0,3	100% f
2,5	3,7	1,8	100% f
2	280,9	20,9	100% f
1,25	747	54,3	100% f
0,63	791,7	345,2	25% g+75%f
0,4	792,7	462,4	50% g+50%f
0,315	796,3	533,3	36% g+33%f
0,2	796,7	642,3	85% g+15%f
0,16	797,1	695,6	85% g+15%f
0,1	797,7	770,6	85% g+15%f
0,08	797,9	790,5	85% g+15%f
0,063	798,3	795,5	85% g+15%f



Figure II. 5 : Préparation du sable de brique



Figure II. 6: Sable de brique calciné

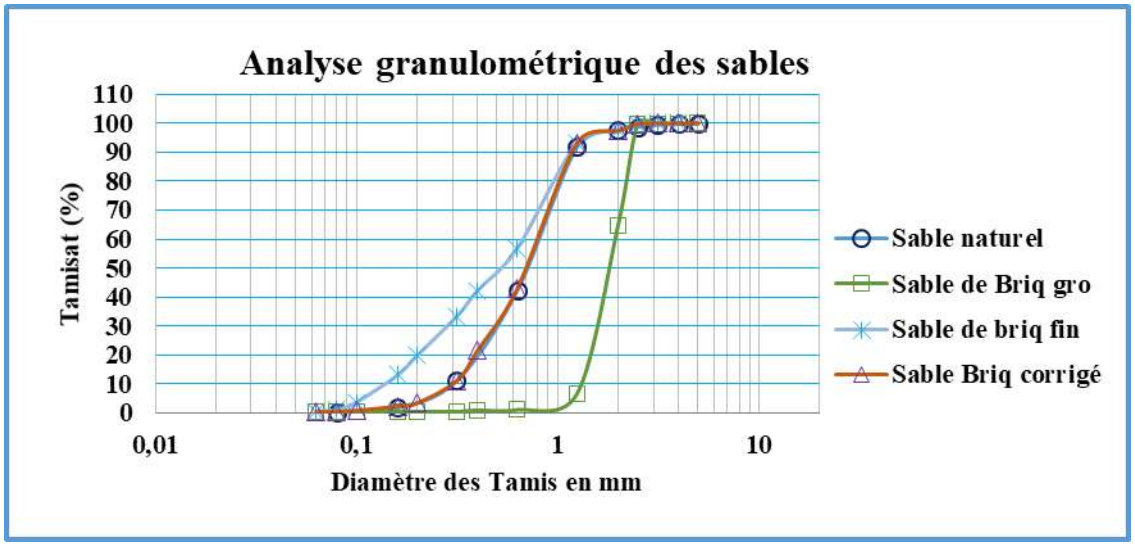


Figure II. 7: Analyse granulométrique des Sables

Equivalent de sable selon la norme NF EN 993-8. [40]

Le sable est un élément très essentiel qui joue un rôle très important dans la composition de béton. Donc il faut être très vigilent dans le choix du sable qui a des meilleures caractéristiques qui donnent un béton solide homogène.

Cet essai, est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables utilisés pour la composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable, une procédure normalisés permet de définir un coefficient d'équivalant de sable qui quantifie la propreté du sable.

Equivalent du sable est calculé suivant la formule ci-dessous :

Esv=(H1/H2)100 **Es=(H'1/H2)100**

Avec:

- Es: équivalent de sable mesuré au piston.
- Esv : équivalent de sable mesuré visuellement.
- H1: hauteur du sable propre seulement.
- H′1: hauteur du sable propre seulement au piston.
- H2: hauteur du sable propre et élément fins.

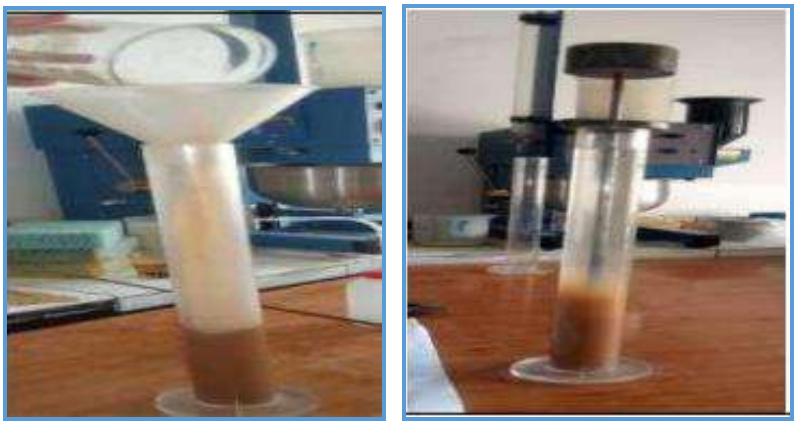


Figure II.8 : Essai d'équivalent de sable.

- **Masse volumique**

Les masses volumiques apparente et absolue des sables utilisés ont été mesuré d'après la norme **NF EN 1097-3 [41]** et la norme **NF EN 1097-6**. **[42]** respectivement.



Figure II.9 : Essai de masse volumique apparente.

Les propriétés physiques du sable sont présentées dans les Tableaux II.3 :

Tableau II.3 : Propriétés physiques de sable

Caractéristiques	Type de sable			Normes
Provenance	Sable d'Oued –Souf	Sable de brique concassé	Sable de brique calciné	/
Classe granulaire	0 /5	0 /5	0 /5	/
Module de finesse	2,36			NF EN 933-1 **[43]**
Masse volumique absolue (g/cm3)	2,6	2,38	2,3	NF EN 1097-6 **[42]**
Masse volumique apparente (g /cm3)	1,41	1,15	1,09	NF EN 1907-3 **[41]**
Equivalent de sable (%)	A vue = 85,89	A vue = 89,77	A vue = 84,23	NF EN 933-8 **[44]**
	A piston=91,3	A piston=90,9	A piston=90,38	NF EN 933-8 **[44]**
Tauxd'absorptiond'eau (%)	0,44	/	/	NF EN 1097-6 **[42]**

II.2.2.2.Gravier

Comme il a été mentionné auparavant, trois types de graviers sont utilisés, le premier naturel provient de la carrière de la région de SETIF (Figure II. 10) les deux autres sont des granulats préparés de concassage de brique normale et brique calciné à 900°C (Figure. II. 14) Pour trois

types, deux fractions granulaires de 3/8 mm et 8/15 mm



Figure II. 10 : Gravie 3/8.



Figure II. 11: Gravie 8/15.



Figure II. 12: Gravie de brique concassé **8/15**.



Figure II 13 : Gravie de brique concassé **3/8**.



Figure II.14 : Gravie de brique Calciné **8/15**.



Figure II. 15: Gravie de brique Calciné**3/8.**

Les proprieties physiques etl'analyse granulométrique de graviers ont présentées dans les tableaux, II.4 et II.5.

Tableau II.4: Analyse granulométrique de gravier, fraction 3/8.

Tamis,(mm)	**Refus cumulés (g)**	**Refus cumulé (%)**	**Tamisât (%)**
10	6,4	0,32	99,68
8	299	14,95	85,05
6,3	1160,3	58,015	41,985
5	1758,6	87,93	12,07
4	1974,1	98,705	1,295
3,15	1995,2	99,76	0,24
2,5	1997,9	99,895	0,105
2	1998,6	99,93	0,07

Tableau II.5 : Analyse granulométrique de gravier, fraction 8 /15

Tamis, (mm)	**Refus cumulés** (g)	**Refus cumulé (%)**	**Tamisa (%)**
16	24,4	1,21	98,79
12,5	420,2	21,03	78,97
10	1142,6	57,20	42,8
8	1594,5	79,82	20,18
6,3	1935,8	96,91	3,09
5	1986,6	99,45	0,55

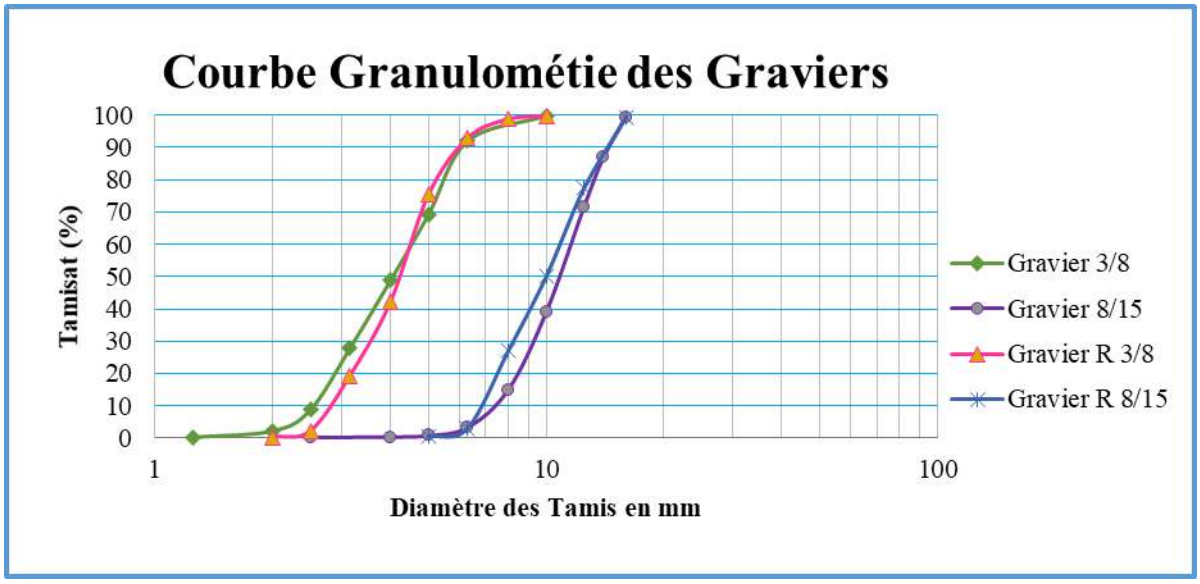


Figure II. 16: Analyse granulométrique des graviers

•La dureté.

La dureté des granulats utilisés a été contrôlée par l'essai de Los- Angeles conformément à la norme **NA EN 458**. **[45].**La dureté de gravier est estimé par un coefficient **LA** qui exprime le pourcentage de la masse des fin grains provient lors de concassage par rapport à la masse de gravier initiale.

Le coefficient L.A est calculé en utilisant la formule suivante :

LA = ((m1 – m2) / m1)) × 100 %

Avec :

m1 : la masse de la quantité de gravier avant l'essai [g].

m2 : la masse du refus à 1.6mm [g]



Figure II. 17: La machine de Los Angeles.

Tableau II.6: Les caractéristiques physique de gravier.

Caractéristiques	Type de Gravier						
Provenance	Normal		Brique concassé		Brique calciné		/
Classegranulaire	3/8	8/15	3/8	8/15	3/8	8/15	/
Masse volumiqueabsolue (g/cm3)	2,6	2,61	2,14	2,11	2,17	2,14	NF EN 1097-6 **[42]**
Masse volumique apparente (g /cm3)	1,38	1,39	1,04	1,08	0,95	1,03	NF EN 1097-3 **[41]**
LA		35,4		35		29,18	NA EN 458 **[45]**

II.2.3.Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la fabrication du béton est celle de la distribution générale considérée comme potable, exemple de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008**[98].**

II.2.4. Super plastifiant:

Le super plastifiant utilisé dans cette étude est un haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique fournie par la société SIKA et commercialisé sous le nom ((VISCOCRETE TEMPO 12)). Il confère au béton une longue rhéologie (≥12h). Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,2 à 3% du poids de liant et ses caractéristiques sont présentées dans le tableau 458.

Tableau II.7: Caractéristiques du Super plastifiant utilisé.

Forme	Couleur	Extrait Sec(%)	Densité	PH	Teneur en Na2O(%)
liquide	Brun clair à foncé	29+-1.5	1.06+-0.01	4.5+-1	<1



Figure II. 18 : Le super plastifiant.

•Absorption.

Le coefficient d'absorption est défini par le rapport de l'augmentation de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24h à la masse sèche de l'échantillon**,** les mesure sont été effectuées d'après la norme **NF EN 1097-6 [42]**



Figure II .19 : Absorption des granulats Brique avant et après 24h.

Le Tableau II.8, regroups les coefficients d'absorption des graviers utiliées. Il semble que les granulats de brique ont des degrés d'absortion plus élevées que ceux de granulats naturels utilisés. Et que la calcination de granulats a augmenté le coefficient d'absorption de 37% pour le gravier 3/8 et de 1 % pour le gravier de 8/15.

Tableau II.8: Coefficient d'absorption des granulats.

oefficientd'absorption d'eau en(%)	**Sable (0/5)**	**Gravier (3/8)**		**Gravier (8/15)**		
Naturel	**Naturel**	**Briquec oncasé**	**Briquecalciné**	**Naturel**	**Briquen ormal**	**Briquecalciné**
(Ab) (%)	**0,44**	**7**	**9,6**	**1**	**6.8**	**8.7**

II.3. Formulation du béton.

Lorsqu'on mélange du ciment, du sable, du gravier et de l'eau, on obtient un béton. Mais on peut obtenir une infinité de bétons, en faisant varier les proportions des constituants ; et il est certain que parmi ces bétons, tant par leur étonnature propre qu'en raison du travail à exécuter, certains seront franchement mauvais, d'autres seront acceptables, d'autres enfin seront bons. **[47].**

Les méthodes d'études de composition de bétons ont donc pour but, à partir de constituants données, de déterminer la composition d'un bon béton en vue d'un travail déterminé **[47].** Le choix des constituants d'un béton et de leurs proportions est aussi appelé « formulation d'un béton **[24]** ».

II 3.1. Composition du béton.

La composition du béton léger structural demande la pris en compte de deux facteurs important ; d'une part une densité ≤ 20 KN/m^3, et d'autre part une résistance ≥ 25 MPa. Cela nécessite le travail sur plusieurs proportions de granulats pour déterminer la formulation recherchée.

Pour déterminer les dosages des granulats, nous avons opté pour la méthode de Dreux Gorise. Cette méthode a l'avantage de définir d'une façonsimple et rapide une formule de composition d'un béton**.** Et pour avoir un béton de bonne résistance nous avons fixé un rapport E/C = 0.38, ce qui nécessite l'ajout d'un super-plastifiant pour que l'ouvrabilité du béton reste dans l'intervalle plastique – très plastique [7-15 cm]. Et d'une autre côté cela nous a permet de corriger les dosages des graviers 3/8 et 8/15 pour avoir un mélange homogène.

Donc nous avons considéré plusieurs types de béton dont la différence réside dans le pourcentage des granulats recyclés remplacés, le Tableau **II.9** présente les différentes pourcentages de granulats fixées dans les bétons étudiées et leurs désignations :

Tableau II .9: Pourcentages de granulats des bétons étudiés et leurs désignations :

désignations	**Composition granulométrique des bétons**
BTm	- Un béton témoin composé de 100% granulats naturel
BG-(3/8)* **100**	- Un béton composé de sable et de gravier 8/15 naturels et 100% de gravier 3/8 recyclé.
BG-(3/8) 100	-
BG-(8/15) 50	- Un béton composé de sable et 50% de gravier 8/15 naturels et 100% de gravier 3/8 et 50% de gravier 8/15 recyclés.
BG-(8/15) 100	- Un béton composé de sable naturels et 100% de gravier 3/8 et 8/15 recyclés.
BG- (S) 50	- Un béton composé de 50% de sable naturels et 100% de gravier de brique 3/8 et 8/15 et 50% de de sable recyclé.
BG- (S) 100	- Un béton composé de 100% de granulats recyclé.
BGCa	- Un béton de 100% de granulats recycle calciné (brique) (gravie et sable)

II.3.2. Malaxage.

La séquence de malaxage et la composition du béton ont un rôle important pour avoir unehydratation correcte, ce qui conduit à un béton performant et durable. Le malaxage des bétonsélaborés au laboratoire a été effectué dans un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 56 L. Une fois que toutes les quantités seront calculées et pesées, dans un malaxeur (Figure II.20) on procède à un malaxage sec du granulat et du ciment pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange. Puis on ajoute 70% de l'eau de gâchage avec un débit régulier dans les 60 secondes suivantes. Durant la minute suivante, on introduit régulièrement le

superplastifiant avec l'eau restante (30%) (après les avoir mélange). Le malaxage est continu pendant 5 autres minutes.



Figure II.20 : Le malaxage des bétons au laboratoire.

II.3.3. Confection et conservation des éprouvettes

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes et un maintien de 30 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage. Le coulage des éprouvettes dans les différents moules destinés aux essais à l'état durci est réalisé après vibration et compactage. Les moules ont été conservés 24 heures à une température ambiante après leur coulage. A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 **[48]** La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.une fois le démoulage effectué, les éprouvettes sont conservées dans l'eau durant 7 jours.

Les différentes formes d'échantillons préparés pour chaque béton sont les suivantes :

- Cubiques 10x10x10 cm : cinq éprouvettes pour la résistance mécanique à la compression
- Prismatiques 7x7x28 cm : cinq éprouvettes pour la résistance à la traction, résistance au feu, conductivité thermique et la porosité.



Figure II. 21 : Fabrication des éprouvettes.



Figure II.22 : La conservation des éprouvettes.

II.4. Méthodes d'essai sur béton

II.4.1. Ouvrabilité :

Cet essai sert à déterminer la consistance du béton. L'appareil de mesure de l'affaissement est composéd'unmouléeacierdéformerons conique et sans fond, une tige de piquage, d'un portique de mesure, et d'une surfaced'appui.

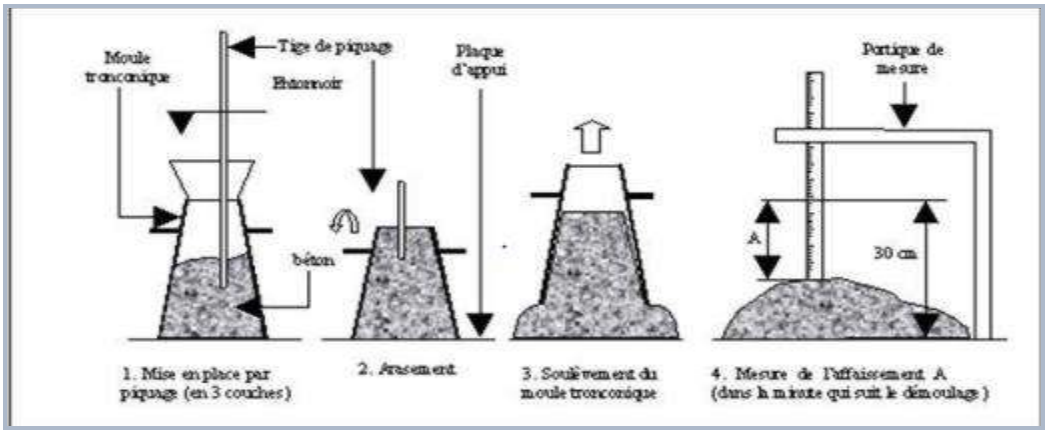


Figure II. 23: Principe de mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

Selon la norme NFP 18-451, **[49]**après avoir huilé le moule, il est fixé sur la surface d'appui légèrement humidifiée. Le béton est ensuite introduit dans le premier tiers du moule, et vibré en appliquant 25 coups de tige. L'opération est recommencée pour le deuxième tiers du moule, le béton est de nouveau vibré 25 fois avec la tige en pénétrant la couche précédente. Le dernier tiers du moule est remplit généreusement et piqué 25 fois puis araser en faisant rouler la tige sur le dessus du moule. Le cône de béton est délicatement démoulé, celui-ci s'affaisse sous son propre poids selon sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté *Af*, et dont la lecture est procédé dans la minute en mesurant la distance entre le point haut du béton et le portique de mesure.suivant la valeur de son affaissement *Af*inbéton peut être ferme, plastique, trèsplastique ou fluide**.**



Figure II. 24 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Tableau II.10 : Consistance du béton suivant l'essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Affaissement au cone ***Af***	**Consistance**	**Classe** **[50]**
De 5 à 9cm	Plastique	**S2**
De 10 à 15 cm	TrèsPlastique	**S3**
Supérieur à 16 cm	Surface plane	**S4**

II.4.2.Essai de compression Rc-Norme NA 427 /1989[51].

Les essais de résistance à la compression ont été effectués sur des éprouvettes cubiques (10×10×10) cm^3suivant la norme en vigueur **[51]**, à 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (figure II.25). L'éprouvette est placée et centrée entre les deux plateaux de la presse puis chargée progressivement jusqu'à la rupture.

$$Rc = F / S$$



Figure II. 25 : Résistance à la compression sur cube.

II.4.3 Essai de traction par flexion.[EN 196-1][52].

L'essai de résistance à la traction consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques reposant sur deux appuis à une charge croissante concentrée au milieu jusqu'à la rupture (Figure II. 26). La charge est appliquée à l'aide d'une presse à lecture digitale reliée à un système d'acquisition (PC) par lequel on introduit la vitesse de chargement (50 N/s)suivant la norme en vigueur **[108]**. La force à la rupture est donnée par le même système. La résistance à la traction est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux.

Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de (7×7×28) cm^3 à 7 et 28 jours.



Figure II. 26 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma t = (M / I)\, v$$

Avec :

M : Moment de flexion au point d'application de la charge : $M = F_f.L /4$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $I = a4 /12$

v: La distance de la fibre la plus éloignée / a l'axe de symétrie : $v = a/ 2$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma t = (1.5\ Ff.L) / a^3$$

II.4.4. Essais d'absorption d'eau par capillarité [NE13057][53].

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend les éprouvettes de béton(cubiques 10×10x10 cm) déjà sécher et on les pesées (m0), après on les introduire dans un

bac remplir de 1 cm d'eau de profondeur et de suivre la variation de la masse de ces éprouvettes au cours du temps. La nappe d'eau est maintenue à niveau constant, pendant chaque intervalle de temps (12min, 30min,1h, 2h,4h,24h), on remesure lesmorceaux (mi), la différence de poids représente la quantité l'eau absorbé ; (mi-m0).

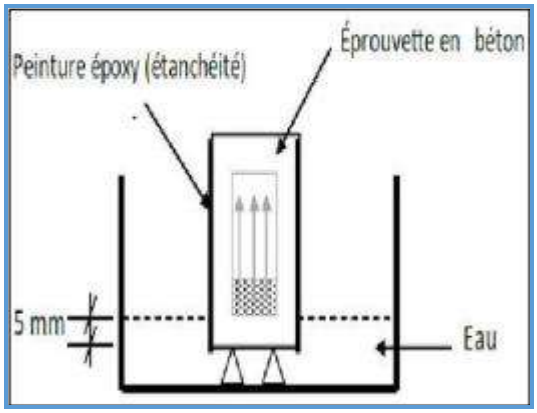


Figure II. 27 : Principe de l'essai d'absorption d'eau par succion capillaire.

II.4.5. Essai de porosité accessible :

C'est le rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent suivant les recommandations de l'AFREM. Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent :

$$\varepsilon(\%) = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} X100$$

Mair : La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air.

Msec : La masse d'éprouvette sèche.

Meau: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau.

Pour ce faire, deux échantillons de chaque béton ont été testés après 28 jours de maturation. Il s'agit de peser les échantillons sous différents états (sec et saturé). Dans un premier temps il faut s'assurer que les échantillons sont saturés en eau. Pour cela, les éprouvettes sont séchées dans une étuve jusqu'à poids constant, puis ont les places dans un dessiccateur à vide, sous une dépression de 25 mbar pendant 4 heures, puis on immerge les échantillons dans l'eau, toujours sous vide, pendant 20heures ± 1heures. Après quoi les éprouvettes subissent une pesée hydrostatique.

Pour déterminer M_{eau} un échantillon est suspendu à l'aide d'un fil du système de suspension de la balance hydrostatique (figure II.20)et il est pesé complètement immergé dans l'eau. La pesée doit être effectuée à 0.001g prés.

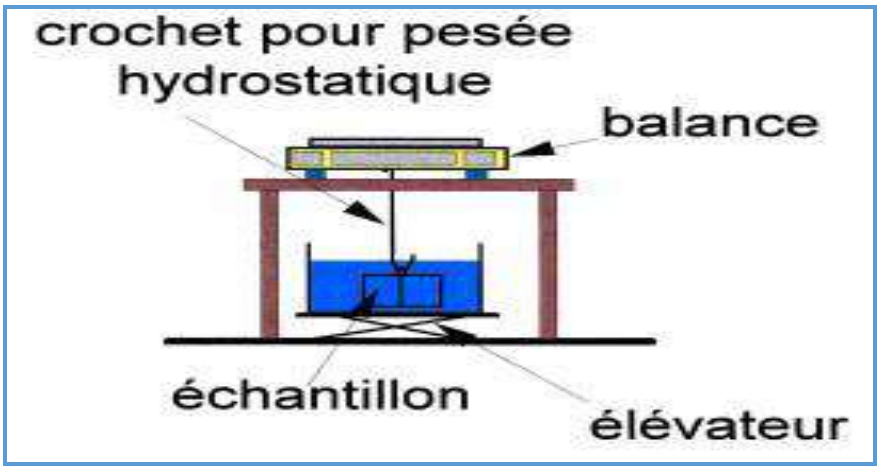


Figure II. 28: Schéma de pesée hydrostatique.

II.4.6. Conductivité thermique

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer la conductivité thermique des matériaux. Ces méthodes consistent à soumettre l'échantillon à un flux thermique et mesurer par la suite soit un profil de température soit un flux de chaleur. Dans notre cas les propriétés thermiques des déférents mélanges ont été mesurés à l'aide d'un CT Mètre.

•Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15. [54].

C'est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton.

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite

dans le matériau à tester et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induit.

II.4.7. Résistance au feu.

Cet essais a été réalisé sur les éprouvettes cubiques (7x7x7 cm^3)qui ont exposées à l'aire libre après la période de cure, puis étuvées à105°C durant 2 heures.Ensuite, elles sont divisées en quatre séries, et chauffées dans un four à moufle à une destempératures ; 200 °C ,400°C ,600°C ,800°C, avec une vitesse de chauffage égale à 10°C /min, chaque série des éprouvettes reste sous température constante pendant une heure conformément à la normeISO 834**[55].**Tous les éprouvette sont ensuit refroidis en l'air (en dehors du four)pendant 24 heure puis écraser pour déterminer la résistance en compression. Il est a noté que toutes les éprouvettes ont été pesées pour déterminer la perte en masse de chaque béton par la formule ci-dessous :

[Perte de masse] (%) = [(M1-M2)/ M1] x 100

AvecM1, M2 : les masses des éprouvettes avant et après calcination respectivement.



Figure II. 29 : Les éprouvettes cubiques (7*7*7) cm^3.

II.5. Conclusion.

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiant). Et pour fabrique les bétons légers nous avons utilisé les déchets de brique disponible sur le nature (Région de Médéa).Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons de différentes proportions de granulats recyclés .Pour évaluer l'influence des propriétés et du dosage des granulats recyclés utilisés sur la qualité du béton, nous avons présenté un protocole expérimental ; Où en premier lieu on a testé l'ouvrabilité. Ensuite, on a passé aux essais relatifs au domaine de structure et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction par flexion), les propriétés physiques (absorption d'eau, porosité), et les propriétés thermiques(conductivité thermique et résistance aufeu).

Chapitre III :
Interprétation Des Résultats

III.1. Introduction

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

Cette étape est consacrée à la formulation d'un béton par la méthode de Dreux-gorisse ainsi que la caractérisation rhéologique (l'affaissement), physico-mécanique (masse volumique, absorption, résistance à la compression et la résistance à traction par flexion) et caractéristique thermique (la conductivité) de béton formulé.

III.1. Formulation des bétons

Les bétons utilisés dans cette recherche sont formulés selon la méthode de Dreux-gorisse avec quelques modifications concernant la quantité des graviers 3/8 et 8/15, le rapport eau/ciment ainsi que dosage de super plastifiant.

La composition du béton léger structural demande la pris en compte de deux facteurs important qui sont la masse faible et la bonne résistance. Pour cela nous avons travaillez sur plusieurs proportions de granulats légers remplacés dans le béton pour déterminer la formulation recherchée.

Les bétons préparés ont les mêmes composants et les mêmes proportions volumiques de ces composants, la différence réside dans le type de granulats (naturel, recyclés, et calcinés) la quantité d'eau absorbée par les graviers recyclé et le calciné 3/8 et 8/15.Ledétail de composition de différents bétons testés sont groupés dans le tableau 3.1

TableauIII.1 : les formulations des bétons

1m³	Type des bétons							
Les constituons	**BTm**	**BG(3/8)100***	**BG(8/15)50**	**BG(3/8) 100**	**BG(8/15)100**	**BG(S)50**	**BG(S)100**	**BGCa**
Ciment	**460**	**460**	**460**	**460**	**460**	**460**	**460**	**460**
Eau absorbé	/	/	/	/	**132.08**	**86.31**	**123**	**123.08**
Eau ajouté	**0**	**0**	**73.38**	**105.54**	**0**	**15.92**	**26.53**	**41**
Eau totale	**175**	**175**	**248.38**	**280.54**	**278.16**	**277.23**	**324.53**	**339.08**
Super plastifiant	**7.82**	**7.82**	**7.82**	**7.82**	**7.82**	**7.82**	**7.82**	**7.82**
Sable normal	**614**	**614**	**614**	**614**	**614**	**307**	**0**	**0**
Sable recycle	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**252.69**	**505.38**	**488.38**
Gravie3/8 normal	**351**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Gravier3/8 recycle	**0**	**288.08**	**288.08**	**288.08**	**288.08**	**288.08**	**288.08**	**292.31**
Gravier8/15normal	**780.08**	**780.08**	**390.04**	**780.08**	**0**	**0**	**0**	**0**
Gravier8/15recycle	**0**	**0**	**315.30**	**0**	**630.61**	**630.61**	**630.61**	**639.54**

- **Clarification**
  - Eau absorbé : l'eau absorbé par les graviers recyclés et le calcinés 3/8 ,8/15 durant 24 heures avant la formulation de béton.
  - Les granulats recyclés (graviers et sable) utilisés dans la formulation de béton BGCa sont calcinée.

III.2. Consistances des bétons

Dans la fabrication de béton on a fixé un rapport E/C =0.38 pour assure une bonne résistance, mais en parallèle et pour avoir une bonne ouvrabilité on a travaillé sur le dosage de SP. Les consistances des bétons ont été obtenues par l'essai d'affaissement cône d'Abrams conformément à la norme européenne **NF EN12350 - 2.**Les résultats sont présentés dans le TableauIII.2 , les Figure III.1 et III.2.

	
BG (3/8)100*	**BG(S) 50**
	
BGCa	**BG(S) 100**

Figure III.1 : affaissements des bétons

Le tableauIII.2donne 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). Il été difficile de maintenu une ouvrabilité constante pour les différents mélanges avec un rapport eau/ ciment de (0,38) et un dosage en SP constants. Au début nous avons préparé les deux bétons BT et BG(3/8)100*avec granulats séchés, où les résultats d'essai d'ouvrabilité montre que le remplacement de gravier 3/8 par brique concassé provoque une diminution d'ouvrabilité de 50%. Ce qui nous a obligés de saturer les graviers recyclé utilisés dans tous les bétons. Donc la variation de consistance des bétons est due à la variation de volume de granulats saturé.

Tableau III.2 : Affaissements des bétons

Type des bétons	BTm	BG(3/8)100*	BG(3/8)100	BG(8/15)50	BG(8/15)100	BG(S)50	BG(S)100	BGCa
Affaissement (cm)	14	7	13.5	21	16	12	16	18

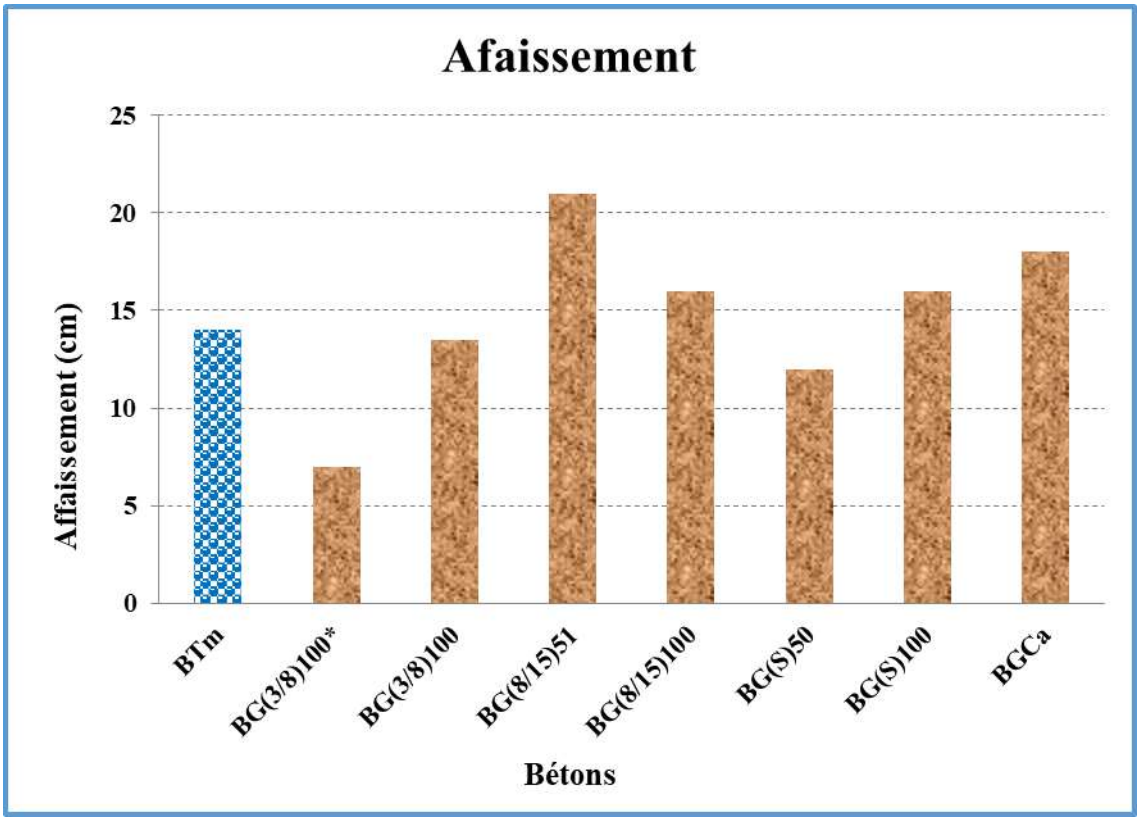


Figure III.2 : variation d'Affaissement des bétons.

III. 2 –Béton durci

III. 2 .1 Masse volumiques

Le tableau 3.2 et la Figure 3.2 montrent que la densité du béton durci diminue successivement par substitution successive des granulats naturels par les granulats recyclés. Cette diminution est de **2.02%**pour BG (3/8)100, **8.91%**pour BG(8/15)50,**9.71%** pour BG(8/15)100,**12.96%** pour BG(S)50,**16.19%** pour BG(S)100, ET **17 %**pour BGCa.

Tableau III. 3 : Masses volumiques des bétons durcis

BETONS	MASSE VOLUMIQUES g/cm³
BTm	**2.47**
BG(3/8)100*	**2.32**
BG(3/8)100	**2.42**
BG(8/15)50	**2.25**
BG(8/15)100	**2.23**
BG(8/15)100	**2.23**
BG(S)50	**2.15**
BG(S)100	**2.07**
BGCa	**2.05**

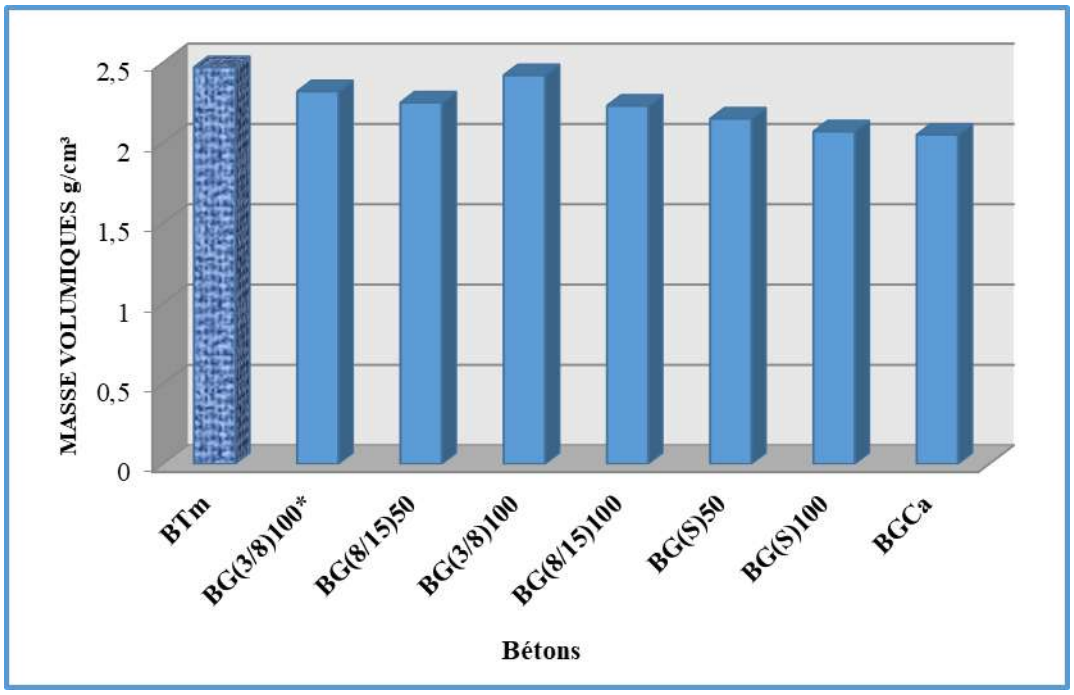


Figure III.3 : La masse volumique des bétons mesurés à 28 jours

III.2.2.Résistance à la compression

L'effet des granulats recyclés sur la résistance à la compression en fonction mesurées à l'âge de 7 et 28 jours est présenté par la Figure III.4 e et le TableauIII.4 Les résistances mécaniques progressent avec le volume de graviers recyclés saturés, cette augmentation est probablement due au développement de l'hydratation en fonction du temps sous l'effet de la quantité d'eau dans les granulats absorbé par la pâte de ciment. Car, malgré la quantité d'eau du béton BG(8/15)100été élevée, sa résistance est plus élevée que celle des Bétons BG (3/8)100 et BG (8/15)50.

Le remplacement du sable normal par sable de brique recyclé sèche a un effet négatif remarquable sur les résistances à 7 jours par rapport à 28 jours, où cet effet diminue et les résistances sont comparables celle des bétons témoins (BT) et les bétons de 50% de graviers recyclés (BG (8/15)50).

L'augmentation de la résistance du béton BG (3/8)100* est réellement due à la diminution de la quantité d'eau dans la pâte qui été absorbée par le gravier sèche remplacé, ce qui a conduit à la diminution du rapport E/C.

Lors de la fabrication du béton BG (3/8)100, nous avons augmenté le dosage en eau pour avoir même ouvrabilité que le béton témoin (BT). Mais cela a provoqué une diminution remarquable de la résistance.

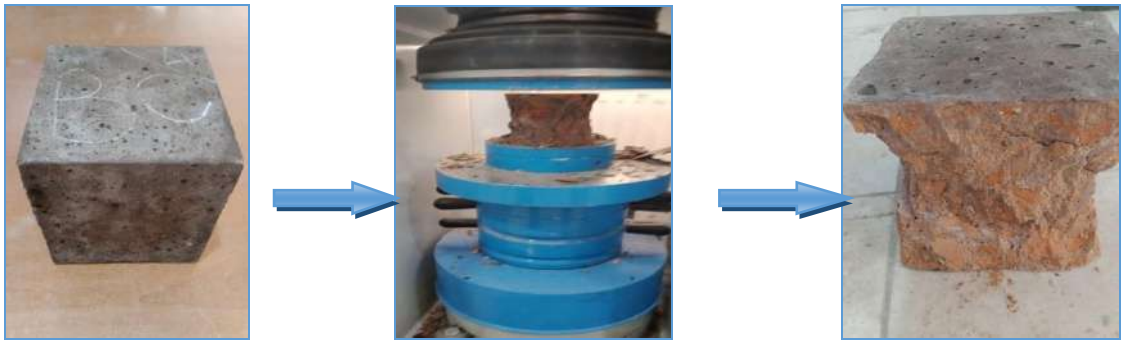


Figure III.4 : Essai de compression (BGCa).



Figure III.5 : Essai de compression(BTm).

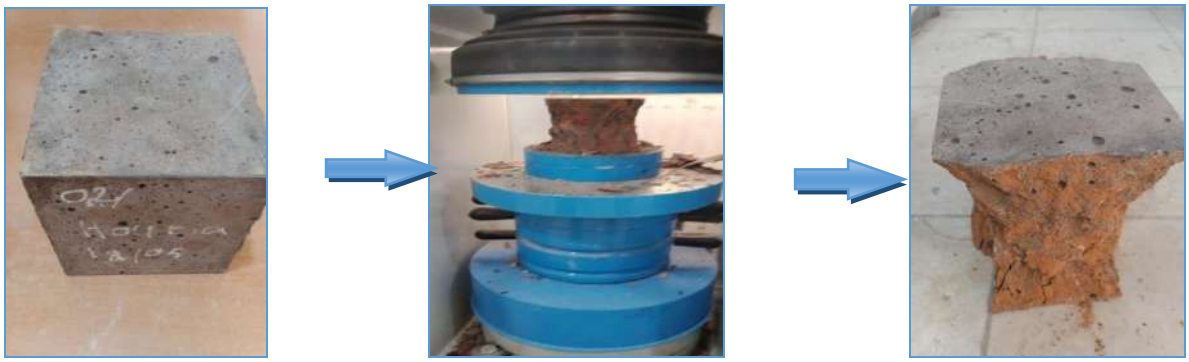
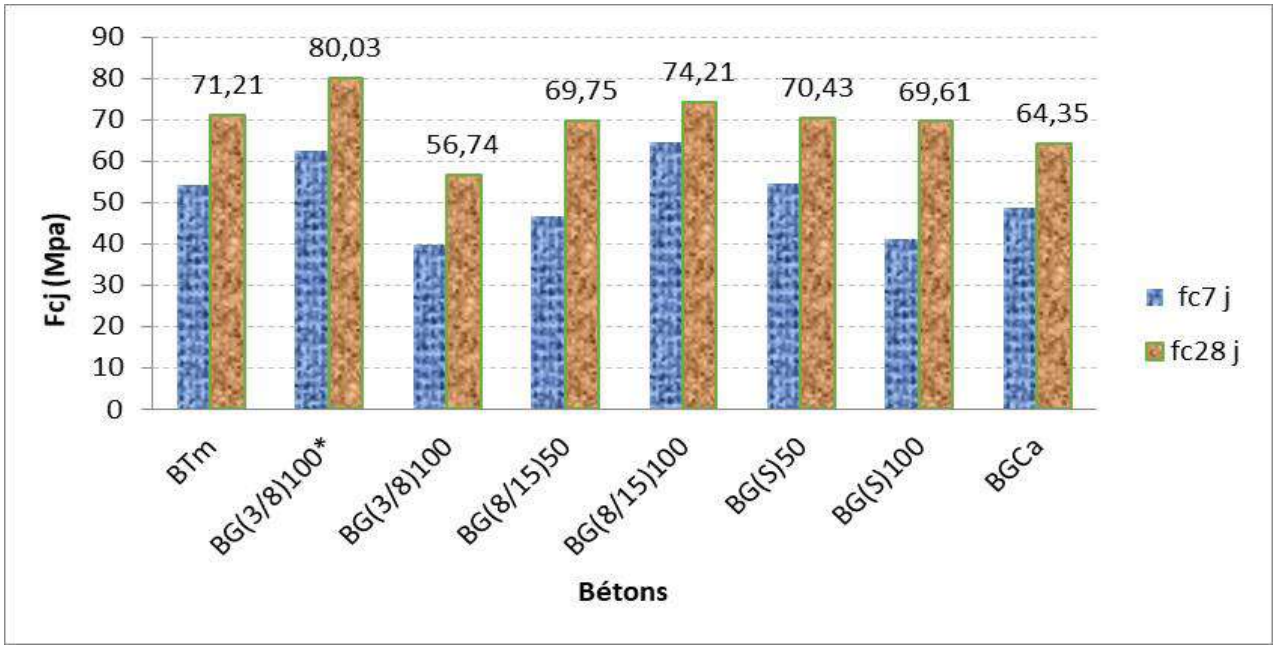


Figure III.6 :Essai de compression (BG(S) 100).

Tableau III. 4 : Résistance à la compression

Type des bétons	BTm	BG (3/8)100*	BG (3/8)100	BG (8/15)50	BG (8/15)100	BG(S) 50	BG(S) 100	BGCa
Resistances à la compression à7 jours	**54.22**	**62.4**	**39.79**	**46.6**	**64.41**	**54.57**	**41.14**	**48.67**
résistances à la compression à 28 jours	**71.21**	**80.03**	**56.74**	**69.75**	**74.21**	**70.43**	**69.61**	**64.35**



FigureIII.7 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la composition de béton.

III. 2.2Résistance à la traction

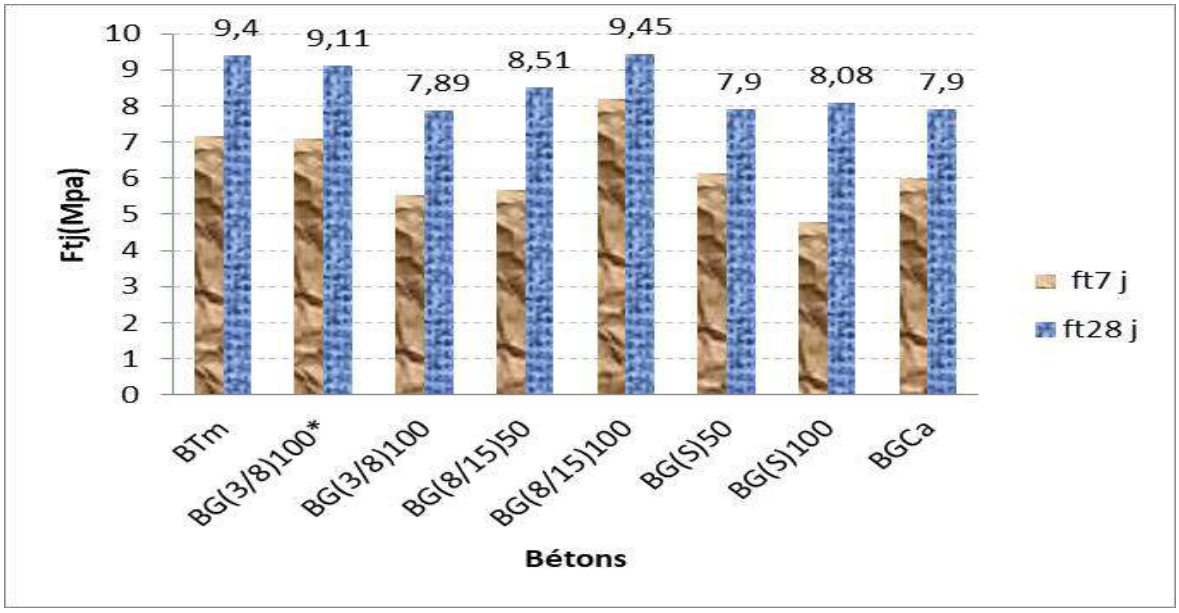
D'après les résultats de l'essai de traction par flexion présentés par le tableauIII.5 et la Figure III.8. Il semble que l'effet de granulats recyclés sur la résistance à la traction est semblable à celle de la résistance à la compression. En comparaison avec le béton témoin les bonnes valeurs sont obtenues sur le béton BG (3/8)100* préparé de granulats 3/8 sec, et le béton de 100%gravier. Ces deux bétons ont des quantités d'eau efficace plus faible par rapport aux autres bétons.



Figure III.8 : Essai de traction

Tableau III.5 : Résistance à la traction

Type des bétons	BTm	BG (3/8)100*	BG (3/8)100	BG (8/15)50	BG (8/15)100	BG(S) 50	BG(S) 100	BGCa
Resistances à traction à 7 jours	9.15	9.99	8.92	8.53	9.94	8.41	8.04	7.9
Resistances à traction à 28 jours	7.15	7.10	5.53	5.68	8.2	6..12	4.77	5.96



FigureIII.9 : Variation de la résistance à la traction en fonction de la composition de béton.

III.2.1 La porosité

La durabilité des bétons dépend beaucoup de la porosité, cette dernière conditionne l'intensité des interactions du béton avec les agents agressifs. Les pores à l'intérieur de l'ouvrage facilitent le processus d'endommagement, lequel s'initie généralement en surface.

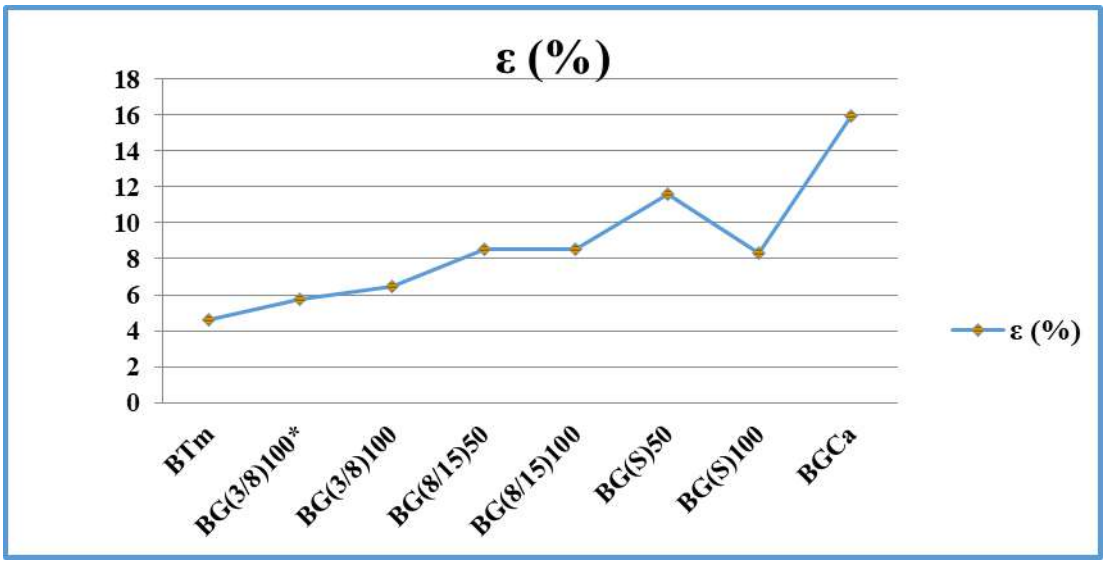
D'après la Figure 3.5, on remarque que la porosité des bétons augmente avec l'augmentation du pourcentage des granulats recycle substitués dans le béton.
Une augmentation de la porosité est aussi observée par le béton de granulats recyclés, et cela due à la porosité élevée des granulats recyclé après calcination.



Figure.10 :essais de porosité

Tableau III.6 : porosité de béton

Type de bétons	ε (%)
BTm	**4.63**
BG(3/8)100*	**5.73**
BG(3/8)100	**6.47**
BG(8/15)50	**8.56**
BG(8/15)100	**8.56**
BG(S)50	**11.57**
BG(S)100	**8.30**
BGCa	**15.97**



FigureIII.11 : Variation de la porosité en fonction de la composition de béton

III.2.6Absorption



Figure III.12 : Essais d'absorption.

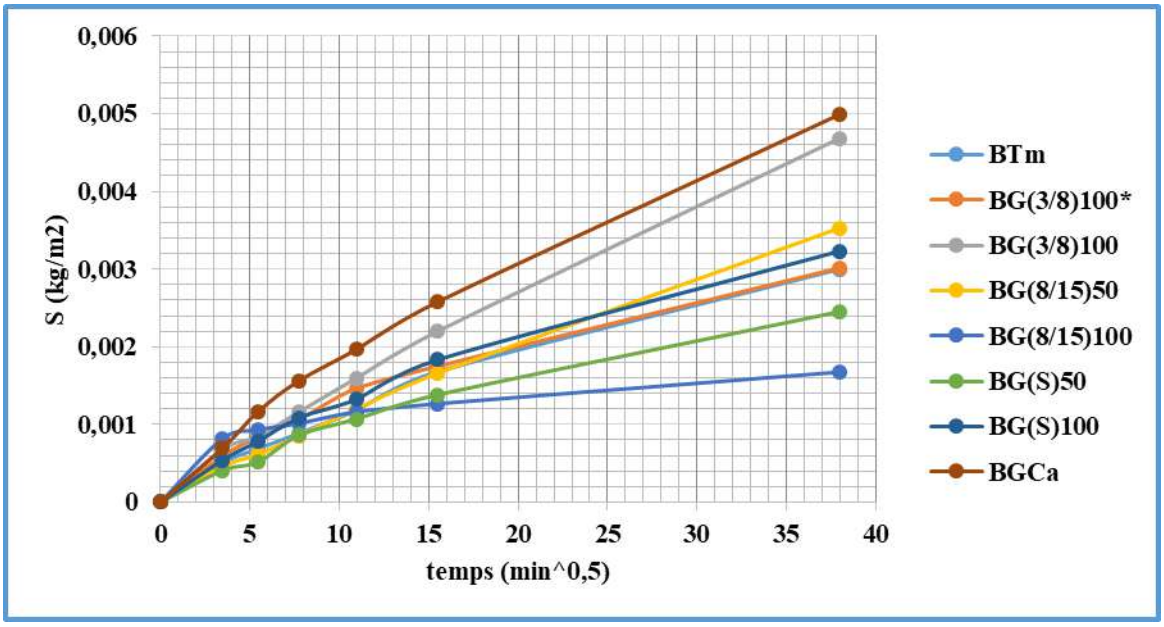


Figure III.13: Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton

Les résultats de la mesure des coefficients d'absorption capillaire en fonction de la racine carrée du temps, des bétons après l'âge de 28 jours, sont présentés sur la figure 3.6 .A l'issu de cette figure, on remarque que les courbes reliant le coefficient d'absorption à la racine carré du temps des différents bétons suivent la même allure mais avec différentes pentes. les bétons BG (3/8)100 et BGCA restent toujours les plus absorbants et le béton BG(8/15)100 le plus absorbant suivi par le béton BG(S)50.

Cette variété de l'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 granulat sèches (gravier 3/8 dans le béton de brique concassée BG (3/8)100 et le sable calciné dans le béton BGCA. L'absorption de ses granulats à l'eau de la pâte résulte une augmentation de structure cellulaire de béton et donc automatiquement le taux d'absorption d'eau augmente en fonction du taux de granulats recyclés légers.

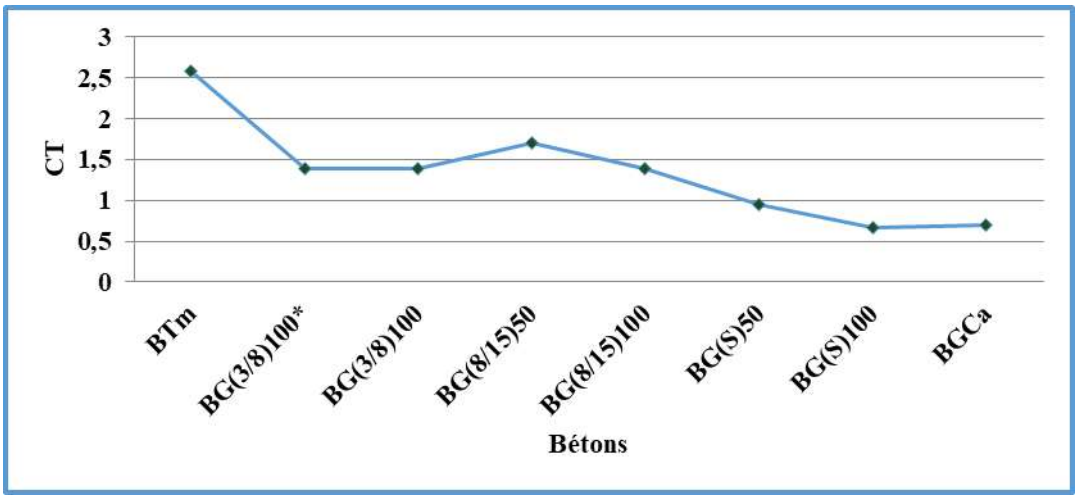
Pour le reste des bétons recyclés, la différence de dégréée d'absorption par rapport au béton témoin été faible car la quantité d'eau total dans le mélange été suffisante soit dans le gravier ou dans la pâte ce qui empêche l'augmentation des réseaux capillaires.

III.2.7. Conductivité thermique

D'après la figure III. on constate que la diminution de la conductivité thermique(λ) est inversement proportionnelle au dosage de granulats par rapport BT, c.-à-d. Que l'augmentation du Taux de granulats léger permet d'avoir une isolation thermique meilleure ce qui peut être expliqué par l'augmentation du volume de structure cellulaire provoquée par l'ajoute de granulats léger.

Tableau III.7 : Conductivité thermique des bétons

BETONS	Conductivité thermique
BTm	**2.576**
BG (3/8)100*	**1.3847**
BG (3/8)100	**1.3847**
BG (8/15)50	**1.6987**
BG (8/15)100	**1.3938**
BG(S) 50	**0.9413**
BG(S) 100	**0.6624**
BGCa	**0.6953**



FigureIII.14 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la composition de béton

III.2.8. Résistance au feu

A travers les résultats d'écrasement des éprouvettes calcinées sous différentes températures présentés sur la Figure 3.7. Lorsque la température de four dépasse 200°C on remarque une dégradation des propriétés mécaniques des bétons. Cette dégradation varie d'un béton à l'autre et devient.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a toujours un pic de résistance au 200 °C observé sur tous les bétons, où on enregistre toujours à cette température une augmentation de résistance en comparaison avec les résistances obtenues à 20% (f_{c28}). Au-delà du pic de résistance à 200°C, on note toujours une diminution quasi linéairement de la résistance à la compression. On comparaison avec le béton témoin, il semble que :

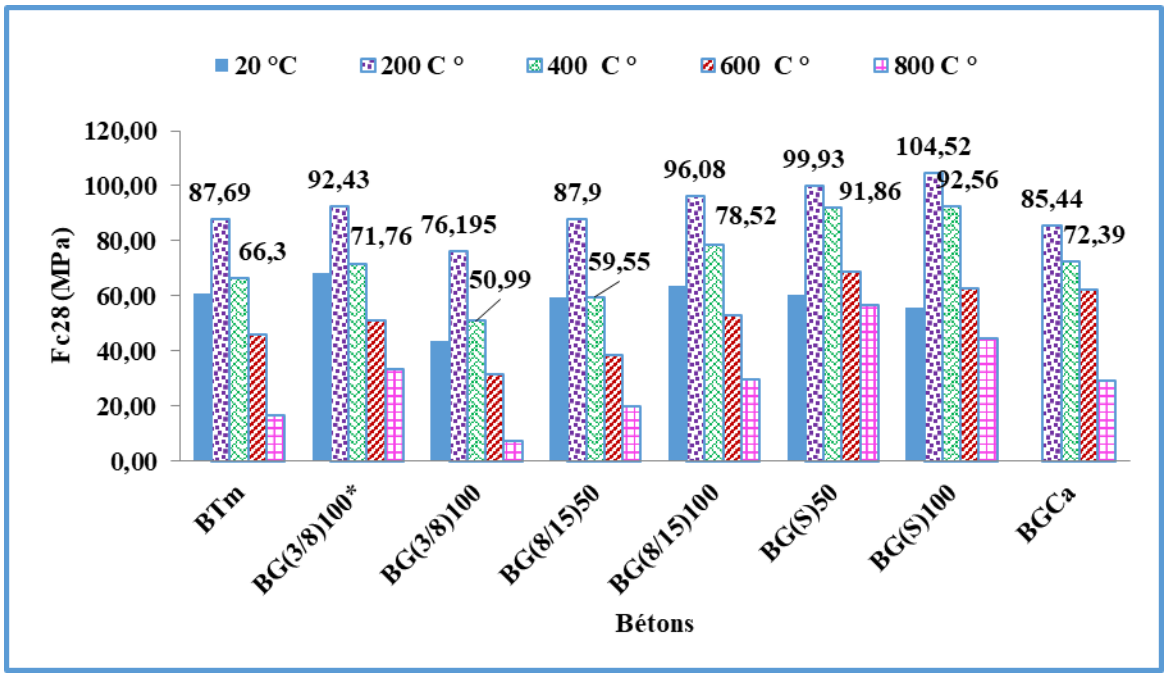
- le chauffage à 200°C améliore les résistances de tous les bétons sauf le béton BG (3/8)100 qui contient une quantité élevé d'eau et le béton de granulats calcinés BGCA.
- le béton de granulats recyclés non calcinés résiste bien eu feu, cette propriétés varie linéairement avec le pourcentage de brique contenue dans le béton.
- le béton continus plus de 80% de granulats recyclés résiste jusqu'à 600°C, sans réduction notable de la résistance par rapport à celle obtenue sans chauffage (20°C)



Figure III.15 : les éprouvettes des bétons après leur passage au four à 200, 400, 600 et 800°C

Tableau III. 8 : résistances aux feux

BETONS	200 C °	400 C °	600 C °	800 C °
BTm	87.69	66.3	46.15	16.75
BG(3/8)100*	92.43	71.76	51.16	33.27
BG(3/8)100	76.195	50.99	31.29	7.48
BG(8/15)50	87.9	59.55	38.56	20
BG(8/15)100	96.08	78.52	52.82	29.79
BG(S)50	99.93	91.86	68.71	56.69
BG(S)100	104.52	92.56	62.69	44.74
BGCa	85.44	72.39	62.13	29.15



FigureIII.16 : Résistances à la compression des bétons mesurées après calcination sous différentes températures.

Conclusion

En général, les bétons confectionnés à base de déchets de brique concassé et calciné, comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de granulats naturel, Les résistances mécaniques progressent avec le volume de graviers recyclés saturés, cette augmentation est probablement due au développement de l'hydratation en fonction du temps sous l'effet de la quantité d'eau dans les granulats absorbé par la pâte de ciment. Car, malgré la quantité d'eau du béton BG(8/15)100été élevée, sa résistance est plus élevée que celle des Bétons BG (3/8)100 et BG (8/15)50.

Le béton contenant des granulats de brique concassée n'est pas forcément plus perméable que le béton normal. La porosité et l'absorption du béton variée fonction de fraction granulaire et le dégrée de saturation de granulats.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude des caractéristiques et les propriétés des bétons à base de déchets de brique concassé et calciné 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 l'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction.

- Des recherches antérieures ont montré qu'il est possible de valoriser les déchets de brique comme granulats pour la fabrication du béton. Les granulats de la brique concassé produisent, en général, des bétons dont la résistance est acceptable avec une réduction en poids appréciable. Nos résultats montrent que le granulat de la brique concassée peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité avec faible densité.

- Le béton contenant de brique concassé comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de granulats 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 n'est pas forcément plus perméable que le béton normal. La porosité et l'absorption du béton variée fonction de fraction granulaire et le dégrée de saturation de granulats.

- L'aspect extérieur de couleur rouge éclairée des bétons confectionnés avec des sables de brique concassée ou bien calciné peut offrir une voie nouvelle dans le domaine des bétons apparents.

Références Bibliographique

[1]Mémoire de génie civil Biskra:" formulation et caractérisation des bétons léger "2010,réalisé par "HERIHIRI OUIDED" .

[2] Rapport d'étude et recherche: méthodologie de formulation de béton auto plaçant légers, Septembre 2015, réalisé par" Latifa BELLO".

[3] Mémoire 2020: Analyse de l'influence des caractéristiques des granulats légers sur le comportement du béton "BOUCHERIT DALILA".

[4] BRGM(1996) diatomite dans département du cantal :synthèse des données relatives au site de nouvialle et à l'existence de gisement régionaux potentiels Rapport BRGM R 39022-23 page.

[5] M.CONTANTE, confection des bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux. projetd'application présenté à l'école de technologie supérieure .l'université du Québec Edition .montréal 14.avril2 000

[6] LAUKAITIS.A, ZURAUSKAS. R, KERIENE.J, The effect of foam polystyrene granulates on cement composite porperties, Cement and Concrete Composites,27,P41-47, 2005.

[7]http://www.gramme.be/unite9/pmwikiOLD/index.php?n=BETON0607.LesBetonsLegersAGranulats Naturels Et Artificiels

[8] G. DREUX & J. FESTA : «Nouveau guide du béton et de ses constituants». 8ème Édition. Eyrolles. Mai 1998.

[9] http://dspace.univchlef.dz:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/718/Toufik%20BOUBE KEUR%20magister.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[10] SOTEHI. N, Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation, mémoire de thèse, université Constantine, 2010.

[11] https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/techniques-du-batiment-connaitre-les-materiaux-de-la-construction-43804210/les-betons-speciaux-tba1022/les-betons-de-schiste-expanse-sl10054888.html.

[12] R.N. SWAMY, G.H. LAMBERT, The microstructure of lytag aggregate, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 3(4):273– 282, November 1981.

[13] M.-H. ZHANG, O.E. GJØRV, Characteristics of lightweight aggregates for high-strength concrete, *ACI Materials Journal*, 88(2):150–158, 1990.

[14] ARNOULD M., VIRLOGEUX M., Granulats et bétons légers, Presses de ENPC, 1986.

[15] SARKAR S. L., CHANDRA S., BERMSSON L., Interdependence of microstructure and strength of structural lightweight aggregate concrete, *Cement and Concrete Composites,* 14, P239-248, 1992.

[16] LO T. Y., CUI H. Z., Spectrum analysis of the interfacial zone of lightweight aggregate concrete, *Materials Letters*, 58, P3089-3095, 2004.

[17] VAQUIER A., Influence de la cinétique de remplissage et de vidange des pores des granulats légers sur les propriété s du béton, Mémoire de thèse, Université Paul Sabatier de Toulouse, 1976.

[18] Mémoire de Génie Civil Ain-Temouchent : Etude de l'influence des granulats pouzzolaniques sur les caractéristiques mécaniques des bétons légers, 2017-2018, réalisé par BENZINA Ahlem et HACHEM Nafissa.

[19] ADEL. A, KEDDOU. A, Etude de la durabilité d'un béton léger renforcé par des fibres, mémoire centre universitaire Ain-Temouchent, 2016.

[20] Cours bétos innovants2-béton légers. "Pr Debieb.F" Université De Médéa .

[21] Thèse doctorat : « Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygromécaniques d'un béton léger à base de granulats composites» 29 Mai 2014. Réalisé par MmeMOHELLEBI Samira.

[22] M.SHINK «Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers». Université Laval Québec Avril 2003.

[23] Malhotra.V ; Matériaux complémentaires en cimentation pour le béton ; cendre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie ; Ottawa 1989.

[24] NEVILLE : «Propriétés des bétons». Eyrolles. Paris, 2000.

[25] Bremner T. W., Holm T. A. and Stepanova V. F. (1994). Lightweight concrete: A

proven material for two millennia Proceedings of Advances in Cement and Concrete, Universtity of New Hampshire, Durham, S.C pp. 37-41.

[26] Arnould M. et Virlogeux M. (1986)
Granulats et Bétons Légers Édition 1986, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

[27] Tang C. W., Chen H. J., Wang S. Y., Spaulding J. (2011) Production of synthetic lightweight aggregate using reservoir sediments for concrete and masonry Cement & Concrete Composites 33 (2011) 292-300.

[28] Chen H. J., Yang M. D., Tang C. W., Wang S. Y. (2012) Producing synthetic lightweight aggregates from reservoir sediments Construction and Building Materials 28 (2012) pp. 387-394.

[29] AHMED ZIREGUE, valorisation de coproduits industriels « Influence de différents facteurs d'allégement sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton à matrice calcaire-ciment », Université Amar Telidji De Laghouat2005.

[30] https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materielmateriaux/beton/granulats-legers

[31] Agoumimelcha.A: mémoire « Formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulats obtenus par recyclage des boues de barrage»2016/2017.

[32] Thèse doctorat « caractérisation du comportement mécanique des bétons de granulats légers : expérience et modélisation » 2008.

[33] SENE L, DIEYE K « Les bétons à granulats légers - Etudes des bétons à base d'argile expansée et à base de coquillages réalisées au Sénégal», Université 08 Mai 1945 de Guelma 2019.

[34] EN 206: Norme Européenne – Béton, Partie 1«Spécifications, performances, production et conformité» et dispositions nationales, AFNOR.

[35] NF P 14-306: Blocs en béton cellulaire autoclave pour murs et cloisons.
AFNOR ,1986 ,16P .

[36] "Ch1:Les Ciments", Cour Ciment Et Béton,htts://www.lafarge.fr/fabrication-du-ciment.

[37] NF EN 196-6 Décember 2018 Méthodes d'essai des cimants- Détermination de la finesse.

[38] September 2017 Méthode d'essai des ciments –Partie 3:détermination du temps de prise et de la stabilité.

[39] Septembre 2016 Méthode d'essai des ciments-parté1:détermination des résistances-Métodes d'essai des ciments.

[40] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[41] NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR

[42] NF EN 1097-6, 2001. « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[43] NF EN 933-1, 1997. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des Granulats. Partie 1:Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[44] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[45] NA 458 : «Granulats, Essai LOS-ANGELES» 1ère édition /1990.

[46] NF EN 1008, 2003,«Eau de gachage pour bétons specification d'échantillonnage, d'éssais et d'évaluation de l'aptitude à lemploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gachage pour béton »,AFNOR.

[47] Lanchon, R. (1977). Cours de laboratoire : granulats, bétons, sols. Paris : Des forges

[**48**] NF P 18-422 : «Bétons-Mise en place par aiguille vibrante», Décembre 1981

[49] NF-P 18-451 : Bétons-Essai d'affaissement, Décembre 1981.

[50] ENV 206: « Concrete-Performance, production, placing and compliance criteria », 1989.

[51] NA 427/1989: «Béton-Détermination De La Resistance A La Compression Des Eprouvettes »,1989 .

[52] Norme francaise, NF EN 196-1 « Méthodes des essais des ciments- partie 2 : analyse chimique des ciments », avril 2006, (indice de clacement : P15-471-1).

[53] NF 13057 NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai- détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

[54] NF EN 993-15 .Méthodes d'essai pour produits réfractaires façonnés denses - Partie 15 : détermination de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (parallèle) Octobre 2005.

[55] ISO 834-1, Essai de résistance au feu - Éléments de construction - Partie 1: Exigences générales. 1999

[56] Baddar .miloud ,"Cours valorization des déchets" Master 2génie civil université de Msila 2015.

Annexes

MATINE

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



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 (SiO^2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al^2O^3) et le fer (Fe^2O^3). 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 conforment 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)
Hammam 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

LAFARGE
لافارج

MATINE

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



Analyses et caractérisation

Analyses chimiques	
Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,(
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,(
Teneur en sulfates SO3 (%), (NA 5042):	2,00 – 2,7
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) :	1,00 – 2,3
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,(
Teneur équivalent en alcalis (%) :	0,3 – 0,7
Composition hypothétique du clinker (Bogue)	
Silicates tricalciques C3S (%) :	58 - 6
Silicates bicalciques C2S (%) :	12 - 1
Aluminates tricalciques C3A (%) :	6,00 – 8,(
Aluminoferrites tetracalciques C4AF (%) :	10,00 – 12,(
Propriétés physiques	
Consistance normale de la pâte de ciment (%) :	25 – 28,5
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231) :	4150 – 525
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 00
Expansion en mm	0,3 – 2,
Temps de prise à 20°C (NA 230)	
Début de prise (min)	140 - 19
Fin de prise (min)	195 - 29
Résistance à la compression (NA 234)	
02 jours (MPa)	≥ 10
28 jours (MPa)	≥ 42

Algerian Cement Company (SPA)
Hammam 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

LAFA

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

- Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

AGRÉMENTS / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.
PV CNERIB : DTEM/108/2017

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	• Fût de 230 kg • Cubi de 1100 kg • Vrac
Aspect / Couleur	Liquide brun clair à foncé
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Conditions de Stockage	A l' abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Densité	1,06 ± 0,01
Valeur pH	4,5 ± 1,0
Extrait Sec	29 ± 1,5%
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage de dosage : 0,2 à 3,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com