REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DU DR. YAHIA FARES MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire De Fin D'études De Master

Filières : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie civil

Thème

Elaboration d'un matériau cimentaire à base des granulats recyclés et granulats légers

Présenté Par

FARAH Faouzi et ABANE Ahmed Zine Eddine

Proposé Et Dirigé Par

Dr. BOUCHERIT Dalila

Promotion juin -2024

REMERCIEMENT

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Madame Boucherit Dalila, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Un grand merci à Mr.Skander Zakaria, pour son aide pratique et sa vision scientifique.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique surtout (Kawtare, Loubna, Nadir).

Nous sommes grées au membre de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury de notre travail.

Nous leur expriment nos profondes reconnaissances pour leur lecture critique et éclairante sur ce travail de recherche.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Tous les mots ne peuvent pas exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que :

Je dédie cette mémoire de master :

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,, À cette source de tendresse, de patience et de générosité A la chandelle qui allume ma vie,,,

À ma mère «Assia» !

À mes frères, «Abderrahmane» « Ramzi» Et ma sœurs« Nesrine »

Et à toute ma famille. À mon binôme «Farah Faouzi» Et nous

n'oublions certainement pas nos amis surtout « Zino, Wail, Zouhir, Bouzid, Rokaya » ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

ABANE Ahmed Zine Eddine

Dédicace

En signe de respect et reconnaissance je dédie ce modeste travail à :

➢ *A mes chers parents pour l'amour qu'ils m'ont donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.*

➢ *A mes frères et ma sœur pour tous les sacrifices qu'ils n'ont cessé de m'apporter tout au long de mes années d'études. Que dieu leur apporte le bonheur, les aide à réaliser tous leurs vœux et leur offre un avenir.*

➢ *A mon binôme "Zinou" pour sa patience et ses efforts.*

➢ *A mes amis leurs encouragements et soutiens qu'ils ont consentis à mon égard*

FARAH Faouzi

ملخص

هذه الأطروحة مكرسة لدراسة صياغة وتوصيف الخرسانة الخفيفة الهيكلية. يندرج هذا النوع من الخرسانات ضمن مجموعة الخرسانات المبتكرة. ما يميز الخرسانة الخفيفة الهيكلية عن الخرسانة العادية هو كثافتها المنخفضة وتوصيلها الحراري والصوتي المنخفض. استخدام الخرسانة الخفيفة يساهم في تقليل وزن عناصر التحميل في البناء. لدراستنا، اخترنا الخرسانات الخفيفة المصنوعة من الركام الخفيف الاصطناعي مثل كريات الطين المتوسع و البوليستيرين، بهدف المساهمة في البحث حول مختلف الركامات مع التركيز على تقليل استهالك الركامات التقليدية والحفاظ على الموارد الطبيعية. استخدمنا ركامات معاد تدويرها من الطوب بالإضافة إلى الركامات الطبيعية اﻷكثر شيوًعا، واستخدمنا البوزولانا كحصى من الفئة بمقاس 15/8أظهرت النتائج المتحصل عليها إمكانية تطوير مجموعة جديدة من الخرسانة الخفيفة الهيكلية باستخدام الركامات المعاد تدويرها (من نفايات الطوب) والركامات الخفيفة (الطين المتوسع و/أو البوليستيرين)، والتي تتمتع بخصائص فعلية وحرارية جيدة، بالإضافة إلى قوة ميكانيكية مقبولة.

Résumé

Ce mémoire est consacré à l'étude de la formulation et la caractérisation des bétons légers de structure. Ce type des bétons fait partie de la gamme des bétons innovants.

Ce qui distingue le béton léger de structure du béton ordinaire est sa faible masse volumique, faible conductivité thermique et acoustique. L'utilisation d'un béton de masse volumique faible contribue à la réduction du poids des éléments résistant de la construction.

Pour notre étude on a choisi les bétons légers confectionnés à partir de granulats légers artificiels tels que les billes d'argile expansé et le polystyrène, et pour apporter notre contribution dans la recherche sur les différents granulats et visant la réduction de la consommation des granulats usuels et la conservation des ressources naturelles, nous avons utilisé les granulats recyclés de brique. Plus de granulats naturels courants, nous avons utilisés la pouzzolane comme gravier de de classe 8/15.

Les résultats obtenus montrent la possibilité d'élaboration d'une nouvelle gamme de béton léger structural à base de granulats d'argile expansé et/ou le polystyrène de bonne caractéristique physique et thermique et de résistance mécaniques acceptable.

Abstract

This paper is devoted to the study of the formulation and characterization of light concrete structures. This type of concrete is part of the range of innovative concrete.

What distinguishes light concrete from ordinary concrete is its low volume mass, low thermal and acoustic conductivity. The use of low-volume concrete contributes to the reduction of the weight of the durable elements of the construction.

For our study we chose light concrete made from artificial light grains such as expanded clay balls and polystyrene, and to make our contribution in the research on the different grains and aimed at reducing the consumption of usual granules and the conservation of natural resources, we used recycled brick granules. More common natural granules, we used pouzzolane as grade 8/15 gravel.

The results obtained show the possibility of developing a new range of structural light concrete based on expanded clay granules and/or polystyrene with good physical and thermal characteristics and acceptable mechanical strength.

Table des matières

REMERCIEMENT

Dédicace

Résumé

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique 4

I.1.Introduction 4

I.2. Granulats légers 4

I.2.1. Différents types de granulats légers 5

I.2.1.1. Les granulats légers naturels 5

I.2.1.2. Granulats légers artificiels 9

I.3. Granulats recyclés 13

I.3.1 Déchet dans le génie civil. 13

I.3.1.1. Déchet inerte 13

I.3.1.2. Déchet dangereux 14

I.4. Déchet de brique 15

I.5. Bétons légers 16

I.5.1. Les différents Types de bétons légers 16

I.5.1.1. Le béton cellulaire 17

I.5.1.2. Le béton caverneux 17

I.5.1.3. Le béton de granulats légers 18

I.5.2. Propriétés des bétons légers (Béton à granulats légers) 19

I.5.2.1. La rhéologie à l'état frais 19

I.5.2.2. La masse volumique 20

I.5.2.3. La porosité 20

I.5.2.4. La sensibilité à l'eau 21

I.5.2.5. La résistance à la compression 21
I.5.2.6. Conductivité thermique 22
I.5.2.7. La durabilité 23
I.5.3. Classification de béton léger 23
I.5.3.1. Classification suivant la masse volumique 23
I.5.3.2. Classification des bétons légers en fonction de la résistance 24
I.5.3.3. Classification des bétons légers en fonction de la nature de l'ouvrage 25
I.5.4. Domaine d'utilisation de béton léger 25
I.5.4.1. Bétons d'isolation pure, non porteurs 25
I.5.4.2. Bétons porteurs et isolants 26
I.5.4.3.Bétons légers de structure 26
I.5.5. Les inconvénients des bétons légers 29
I.6. Les caractéristiques du béton léger de structure 30

CHAPITRE II

MATERIAUX ET ESSAIS EXPERIMENTALES 34
II.1.Introduction 34
II.2.1. Ciment 34
II.2.2.Sable 35
II.2.3. Polystyrène 36
II.2.4. Gravier 36
II.2.5.Préparation des granulats de brique 38
II.2.6.Eau de gâchage 39
II.2.7. Superplastifiant 39
II.2.7.1.Caractéristique le medaflow 145 39
II.3. Caractérisation des matéraiux 40
II.3.1. Essai de Blaine (Finesse de ciment) 40
II.3.2.Equivalent de sable selon la norme NF EN 993 - 8. 40

II.3.3. Masses volumique des granulats 41
II.3.3.1. Masses volumiques apparentes NF EN 1097 41
II.3.3.2. Masses volumiques absolues 41
II.3.4.Analyse granulométrique des granulats (NF P 18-560) 42
II.3.5. Essai d'absorption d'eau 43
II.3.6. Los Angeles P 18 – 573 44
II.4. Formulation du béton 46
II.4.1. Composition du béton. 47
II.4.2. Malaxage 47
II.4.3. Confection et conservation des éprouvettes 48
II.4.4.Masse volumique des bétons 49
II.5. La résistance à la compression -Norme NA 427 /1989 49
II.6. Essais de traction par flexion norme NFP 18-406 50
II.7. Essai ultrasonique 50
Essais d'absorptiond'eauparcapillarité[NE 13057] 51
Essai de porosité 51
Conductivité thermique. 52
Résistance au feu. 53

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS 57
Introduction 57
Formulation des bétons 57
Ouvrabilité des bétons 58
Masse volumiques des bétons durcis 60
Résistance à la compression 60
Résistance à la traction 61
Vitesse de propagation d'onde ultrasonique 62

La porosité 63
Absorption 64
Conductivité thermique 65
Perte en masse 66
Résistance au feu 68
CONCLUSION 70
REFERENCE 71
ANNEXES 75

List de tableaux

Tableau I.1: classification des bétons légers en fonction de la densité..... 24

Tableau I.2: Classification des bétons légers en fonction de la de masse volumiques..... 24

Tableau I.3: classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87..... 24

Tableau I.4: Classification des bétons légers selon l'utilisation dans la construction (RILEM,1970)..... 25

Tableau II.1: L'analyse chimique du ciment et composition ménéralogique du clinker.... 35

Tableau II.2 : Propriétés physiques de sable..... 45

Tableau II.3: Les caractéristiques physiques de gravier..... 46

Tableau III.1: composition granulométrique des bétons..... 57

Tableau III.2: composition des bétons..... 58

Tableau III.3: résistances aux feux..... 68

List des figures

Figure I.1: argile expansée 6
Figure I.2: schiste expansé 6
Figure I.3: La perlite 7
Figure I. 4: La vermiculite 7
Figure I.5: La pouzzolane 8
Figure I.6: Les cendres volantes 8
Figure I.7: Pierre ponce 9
Figure I.8: Les billes de verre expansé (verre cellulaire) 10
Figure I.9: Le polystyrène extrudé 10
Figure I.10: Les granules de polyéthylène expancées 11
Figure I.11: Les granules de polyéthylène 11
Figure I.12: La perlite expansée agglomérée 12
Figure I.13: Les granulats en laitier expansé 12
Figure I.14: Les cendres volantes frittées 13
Figure I.15: Composition des déchets du bâtiment 14
Figure I.16: Répartition des quantités de déchets de chantiers ou de démolition 15
Figure I.17: Déchets de brique de fabrication déposés aux alentours de la briquèterie 16
Figure I.18: Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après Short & Kinniburgh 17
Figure I.19: Le béton cellulaire 17
Figure I.20: Le béton caverneux 18
Figure I.21: Les bétons de granulats légers 19
Figure I.22: Variation de la porosité en fonction de la composition de béton 21

Figure I.23: Relation entre la résistance en compression à 28 jours et la densité du béton frais d'un mélange avec des granulats légers 22
Figure I.24: Conductivité thermique en fonction de la masse volumique 23
Figure I.25: Structures porteuses 27
Figure I.26: Rénovation en utilisant le béton léger 27
Figure I.27: Béton léger pour isoation 27
Figure I.28: Bâtiments écologiques 28
Figure I.29: Construction de murs et structures légères 28
Figure I.30: Le bâtiment de la TWA au Kennedy International Aéroport 28
Figure I.31: Les tours Marina de 60 étages à Chicago 29
Figure I.32: Structures préfabriquées 29
Figure II 1: Sac du ciment 35
Figure II 2: Sable de laghouat 36
Figure II 3: Sable de brique 36
Figure II 4: Polystyrène 36
Figure II 5: Graviers naturels; a- classe 3/8, b- classe 8/15 37
Figure II 6: Pouzzolane classe 8/15 37
Figure II 7: Argile expansé ; a- classe 3/8, b- classe 8/15 37
Figure II 8: Gravier de brique; a- classe 3/8, b- classe 8/15 38
Figure II 9: Protocole de préparation de granulats de brique 38
Figure II 10: medeflow 145 39
Figure II 11: Essai d'équivalent de sable 40
Figure II 12: le récipient de mesure la masse 41
Figure II 13: Pycnomètre 41
Figure II 14: Essais de tamisage 42
Figure II 15: Analyse granulométrique des sables 42

Figure II 16: Analyse granulométrique des graviers 43
Figure II 17: absorption d'eau 44
Figure II 18: des granulats sec et autre après l'ajout de l'eau 47
Figure II 19: Le malaxage des bétons au laboratoire 48
Figure II 20: conservation des éprouvettes 48
Figure II 21: Mesure de masse 49
Figure II 22: dispositif de l'essai la résistance à la compression 49
Figure II 23: dispositif de l'essai de traction par flexion 50
Figure II 24: Appareillage ultrasonique utilisé 50
Figure II 25 : Principe de l'essai d'absorption d'eau par succion capillaire 51
Figure II 26: essai de porosité et schéma de pesée hydrostatique 52
Figure II 27: Essai de conductivité thermique 53
Figure II 28: Essai de Résistance au feu 54
Figure III 1: Mesure d'affaissements de béton 59
Figure III 2: Résultats d'essai d'affaissement des bétons 59
Figure III 3: Les masse volumiques des bétons mesurés à 7 et 28 jours 60
Figure III 4: la résistance à la compression des bétons 61
Figure III 5: Les résistance à la traction des bétons 62
Figure III 6: Vitesse de propagation d'onde ultrasonique 63
Figure III 7: Variation de la porosité en fonction de la composition de béton 64
Figure III 8: Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton 65
Figure III 9: La conductivité thermique des bétons 66
Figure III 10: La perte en masse des bétons sous différentes températures de calcination 67
Figure III 11: Variation de la perte en masse de chaque béton en fonction de la température de calcination 67

Figure III 12: Résistance à la compression des bétons mesurées après calcination sousdifférentes températures 69

Liste des notions

B1 : béton ordinaire

B2, B3, B4, B5, B6 : béton à base des granulats légers et granulats recyclés

B6s : béton sec

B6h : béton humide

CPJ : Ciment Portland Composée

E/C : Rapport eau sur ciment

Rt : Résistance à la traction

Rc : Résistance à la compression

SP : Super plastifiant

NA : Norme Algérienne

NE : Norme Européenne

NF : Norme française

Mf : Module de finesse

E : Quantité d'eau

Ab : coefficient d'absorption des granulats

LA : Los Angeles

ES : Equivalent de sable

Esv : équivalent de sable mesuré visuellement

ρ: masse volumique

CT : conductivité thermique

R7j : Résistance à 7 jours

R28j : Résistance à 28 jours

ε : porosité totale (%)

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.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton léger se distingue du béton ordinaire par sa faible densité. Alors que le béton ordinaire affiche une masse volumique variant entre 2200 et 2600 kg/m³, celle du béton léger se situe entre 300 et 1850 kg/m³. L'utilisation de ce type de béton contribue à alléger le poids des structures construites avec tout en maintenant leur résistance et durabilité, ce qui permet des économies de matériaux et d'énergie lors de la construction. permettant ainsi de réduire les dimensions des éléments porteurs. Cette réduction des dimensions entraîne également une diminution des charges transmises au sol par les fondations, ce qui facilite la construction sur des sols à capacité portante limitée. Cette technologie présente un intérêt particulier pour les pays en développement.

Les bétons légers se distinguent également par leur faible conductivité thermique et leur bonne isolation acoustique. Ils constituent donc une solution technique prometteuse pour l'isolation thermique et acoustique des bâtiments. Le processus de fabrication de ces bétons peut se faire de trois manières principales : l'utilisation de granulats légers, l'introduction d'air ou de gaz, ou la réduction de la partie fine des granulats. Dans chaque cas, la densité du béton est réduite en augmentant les vides d'air présents dans le mélange.

L'utilisation des granulats recyclés dans la fabrication du béton répond à deux objectifs essentiels : la protection des sources naturelles et la préservation de l'environnement. En intégrant des matériaux issus de la démolition et du recyclage, on réduit la dépendance aux granulats vierges, contribuant ainsi à la conservation des carrières de sable et de gravier. Cette démarche permet de limiter l'extraction des ressources naturelles, souvent associée à des impacts environnementaux négatifs tels que la dégradation des paysages et la perte de biodiversité. Par ailleurs, l'emploi de granulats recyclés diminue la quantité de déchets de construction envoyés en décharge, favorisant un cycle de vie plus circulaire des matériaux de construction. En réduisant l'empreinte carbone liée à l'extraction et au transport des granulats naturels, cette pratique participe activement à la lutte contre le changement climatique. Ainsi, l'adoption de granulats recyclés dans le béton s'inscrit dans une stratégie de développement durable, conciliant les impératifs de construction et les enjeux écologiques.

Introduction Générale

L’objectif de notre étude vise à formuler un béton léger de structure à base de granulats légers et granulats recyclés. Pour cela, nous allons procéder dans le premier chapitre de

notre mémoire, par présenter les Granulats légers ; Nous détaillons les différents types utilisés dans un béton léger, puis nous jetons un coup d'œil sur le déchet en génie civil en particulier le déchet de briquées. Puis nous présentons les différents types de béton léger, ses caractéristiques et son utilisation. A la fin nous donnons une importance au béton léger de structure.

Le deuxième chapitre sera réservé à la présentation des matériaux utilisés dans la fabrication des bétons, ainsi que les essais de caractérisation des matériaux utilisés, et les essais réalisés sur les bétons formulés.

Le troisième chapitre regroupe les résultats des essais réalisés sur bétons, nous citons ; l’ouvrabilité, les densités, les résistances mécaniques, l’absorption, la porosité, conductivité thermique, vitesse de propagation d’onde ultrasonique, perte en masse ainsi que la résistance au feu.

Ce travail se termine par une conclusion générale rassemblant des résultats et une présentation des perspectives à envisager lors d’études complémentaires.

Chapitre I

Synthèse bibliographique



SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Les granulats jouent un rôle essentiel dans la formulation du béton, tant du point de vue de ses propriétés mécaniques que de sa durabilité. C'est un composant majeur du béton, les granulats représentent une proportion significative de sa composition. Leur sélection et leur dosage appropriés sont cruciaux pour garantir la qualité et les performances souhaitées du béton.

Selon leur provenance, les granulats sont soit naturels, artificiels ou recyclés. Les premiers sont issus de roches meubles (alluvions fluviales ou marines) ou massives (roches éruptives, calcaires, métamorphiques) et n'ont subi aucun traitement mis à part celui mécanique. D'où ils peuvent être obtenus par concassage, criblage, broyage et lavage. Les seconds, de transformation thermique de roche, de minerais, de sous-produits industriels (laitiers, scories, etc.). Et enfin les derniers, de traitement de matériaux inorganiques précédemment utilisés dans la construction (béton de démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers ou encore des structures de chaussés).

Dans ce chapitre, nous accordons une importance particulière aux granulats légers et aux granulats recyclés pour la fabrication d'un béton léger structurel à base de ces matériaux.

I.2. Granulats légers

Les granulats légers sont des matériaux granulaires utilisés dans la fabrication du béton et d'autres produits de construction, caractérisés par leur faible densité par rapport aux granulats traditionnels. Ils peuvent être naturels, tels que la pierre ponce et la pouzzolane, ou manufacturés, comme l'argile expansée, le schiste expansé et les billes de polystyrène expansé. Grâce à leur légèreté, ces granulats permettent de produire des bétons et mortiers allégés, offrant des avantages tels que la réduction du poids des structures, l'amélioration des propriétés isolantes thermiques et acoustiques, ainsi qu'une meilleure maniabilité. Les granulats légers sont particulièrement prisés dans les applications où le poids est un facteur critique, comme les structures préfabriquées, les toitures et les planchers, ainsi que dans les travaux de réhabilitation et d'agrandissement de bâtiments. [1]

Les granulats légers sont caractérisés par plusieurs propriétés distinctives qui les différencient des granulats traditionnels. Voici quelques-unes des principales caractéristiques des granulats légers :

- **Faible densité :** Les granulats légers ont une densité plus faible que les granulats traditionnels (masse volumique réelle inférieure ou égale à 2000 Kg/m^3), ce qui les rend particulièrement adaptés à la production de béton léger.
- **Isolation thermique :** En raison de leur structure poreuse, les granulats légers offrent une bonne isolation thermique, ce qui peut être avantageux dans certaines applications de construction.
- **Poids léger :** En raison de leur faible densité, les granulats légers sont plus légers que les granulats traditionnels, ce qui peut réduire le poids total des structures en béton et faciliter leur manipulation et leur transport.
- **Bonne résistance à l'écrasement :** Bien que les granulats légers aient une densité plus faible, ils peuvent encore offrir une résistance suffisante à l'écrasement, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans des applications structurelles.
- **Réduction du poids mort :** L'utilisation de granulats légers dans les structures en béton peut réduire le poids mort de la structure, ce qui peut être avantageux dans les projets nécessitant une conception légère.
- **Réduction de la fissuration :** Les granulats légers peuvent aider à réduire le risque de fissuration dans le béton en raison de leur capacité à absorber une partie de l'eau de gâchage et à réduire les contraintes internes.

Ces caractéristiques font des granulats légers un choix attrayant pour une variété d'applications de construction, notamment les structures nécessitant une isolation thermique, une réduction du poids total et une résistance adéquate. [2]

I.2.1. Différents types de granulats légers

Les granulats légers peuvent être classés en deux grandes familles : les granulats légers naturels et les granulats légers artificiels, chacun présentant des caractéristiques spécifiques en termes de structure et de légèreté.

I.2.1.1. Les granulats légers naturels

Les granulats légers naturels sont des matériaux provenant de roches d'origine volcanique ou sédimentaire qui présentent une structure alvéolée. Ces granulats sont obtenus après diverses transformations mécaniques telles que le concassage et le criblage des roches. Ils se distinguent par leur légèreté et sont utilisés dans la construction pour des applications variées.

Historiquement, l'utilisation de granulats légers remonte à l'époque romaine, où des édifices tels que le Panthéon et le Colisée de Rome ont été partiellement construits en béton léger contenant des granulats légers naturels comme la pierre ponce. [3]

A. Argile expansée : L'argile expansée est produite en chauffant de l'argile à des températures élevées (obtenue par expansion à chaud d'un minéral argileux), ce qui provoque l'expansion de ses particules. Ce matériau léger est utilisé comme granulat dans la fabrication de bétons légers. [3]



Figure I.1: argile expansée

B. Schiste expansé : Le schiste expansé est un matériau léger fabriqué à partir de schiste naturel par chauffage à haute température. Il est largement utilisé comme granulat léger dans les bétons légers. [3]



Figure I.2: schiste expansé

C. Perlite : La perlite est un minéral volcanique qui est chauffé à des températures élevées, ce qui provoque son expansion. Elle est utilisée comme granulat léger dans diverses applications, y compris les bétons légers. [3]



Figure I.3: La perlite

D. Vermiculite : La vermiculite est un minéral argileux qui subit un processus d'exfoliation thermique pour produire des granules légers. Elle est utilisée comme granulat dans les bétons légers pour améliorer leurs propriétés thermiques et acoustiques. [3]



Figure I. 4: La vermiculite

E. Pouzzolane : La pouzzolane est une roche volcanique, sa masse volumique variée d'une région à autre, légère qui est souvent utilisée comme granulat dans les bétons légers. Il existe deux types de pouzzolanes. Elle offre une bonne isolation thermique et une résistance mécanique adéquate. [3]



Figure I.5: La pouzzolane

F. Cendres volantes : Les cendres volantes sont des résidus provenant de la combustion du charbon dans les centrales électriques. Elles sont souvent utilisées comme un type de granulat léger dans certains bétons légers, contribuant ainsi à réduire le poids global du matériau. [3]



Figure I.6: Les cendres volantes

G. Pierre ponce : La pierre ponce, quant à elle, est un matériau volcanique léger et poreux qui peut également être utilisé comme granulat léger dans les bétons. Elle présente une faible masse volumique et de bonnes propriétés d'isolation thermique. [3]



Figure I.7: Pierre ponce

I.2.1.2. Granulats légers artificiels

Les granulats artificiels sont des matériaux granulaires qui proviennent de la transformation thermique des roches ou de la démolition d'ouvrages, contrairement aux granulats naturels qui sont issus de gisements alluvionnaires ou de carrières. Ils sont obtenus par transformation thermique des roches, comme le laitier de haut fourneau cela leur confère des propriétés spécifiques en termes de résistance mécanique et de tenue au gel. Ils peuvent également provenir du recyclage de bétons légers de démolition ces granulats recyclés sont particulièrement adaptés pour des usages spécifiques comme le renforcement de la résistance à l'usure de dallages industriels.

-La production des granulats artificiels fait appel à des technologies bien maîtrisées comme le concassage, le triage et le lavage afin d'obtenir les caractéristiques géométriques et de propreté requises.

Ces granulats légers artificiels offrent une alternative aux granulats naturels et sont largement utilisés dans l'industrie de la construction pour produire des bétons légers avec différentes caractéristiques et performances. [4]

Voici quelques exemples de granulats légers artificiels :

A. **Billes de verre expansé** : Les billes de verre expansé sont fabriquées en chauffant des billes de verre à des températures élevées, ce qui provoque leur expansion. Elles sont utilisées comme granulat léger dans les bétons légers pour leur résistance chimique, leur inertie et leur faible conductivité thermique. [4]



Figure I.8: Les billes de verre expansé (verre cellulaire)

B. Granules de polystyrène extrudé (XPS) : Le polystyrène extrudé est fabriqué en extrudant du polystyrène liquide à travers une matrice. Les granules de polystyrène extrudé sont souvent utilisées comme granulat léger dans les bétons légers pour leur légèreté, leur résistance à l'humidité et leur durabilité. [4]



Figure I.9: Le polystyrène extrudé

C. Granulats de polystyrène expansé

Les granulats de polystyrène expansé sont des granules de forme sphérique ou plate utilisés pour constituer des bétons légers et isolants thermiques. Ces granulats ont une masse volumique très basse, généralement entre 300 et 800 kg/m³. Ils sont fabriqués à partir de granules de polystyrène expansé expansés sous l'action de la chaleur et enrobés pour améliorer leur adhérence au ciment. Ces matériaux permettent de formuler des bétons présentant une excellente conductivité thermique et une faible masse volumique. Les granulats de polystyrène expansé sont destinés à des applications nécessitant une isolation thermique efficace et une légèreté structurelle. [4]



Figure I.10: Les granules de polyéthylène

D. Granules de polyéthylène (PE) : Les granules de polyéthylène sont fabriquées à partir de polyéthylène recyclé ou vierge. Elles sont utilisées comme granulat léger dans certains bétons légers pour leur faible densité, leur résistance à l'humidité et leur durabilité. [4]



Figure I.11: Les granules de polyéthylène

E. Perlite expansée agglomérée : La perlite expansée agglomérée est produite en agglomérant des granules de perlite expansée avec un liant. Elle est utilisée comme granulat léger dans certains bétons légers pour ses propriétés isolantes et sa résistance aux températures élevées. [4]



Figure I.12: La perlite expansée agglomérée

F. Granulats en laitier expansé : Les granulats en laitier expansé sont des matériaux utilisés dans la formulation de bétons légers pour diverses applications. Le laitier expansé est défini comme un granulat alvéolaire de nature cristalline provenant du refroidissement du laitier à l'air, en présence d'une quantité d'eau limitée. Ce matériau peut se présenter sous différentes formes selon les procédés de fabrication tels que par expansion, mise en granules ou refroidissement par air. [4]



Figure I.13: Les granulats en laitier expansé

G. Cendres volantes frittées : Les cendres volantes frittées sont obtenues par la combustion de charbon pulvérisé à haute température (environ 1500°C) dans les centrales thermiques. Elles sont composées principalement de silice et d'alumine, et peuvent être humidifiées et bouletées avant d'être frittées à haute température pour former des granulats légers de bonne performance mécanique. [4]



Figure I.14: Les cendres volantes frittées

I.3. Granulats recyclés

I.3.1 Déchet dans le génie civil.

Un déchet est une substance indésirable qui est rejetée, ou une substance ou un produit qui doit être éliminé car il a été endommagé, ou contaminé [5].

Les sources des matériaux recyclés proviennent des déchets de construction et de démolition. Ces déchets de chantier peuvent être constitués de résidus des procédés de production et de transformation comme les déchets chimiques d'emballages ou autres. C'est pourquoi il est indispensable de distinguer les différentes catégories des déchets industriels [6].

Il existe une diversité de déchets générés par une gamme de processus. Chacun de ces types de déchets nécessite des approches de gestion distinctes.

I.3.1.1. Déchet inerte

Ces déchets sont principalement générés par les chantiers de bâtiment, les travaux publics ou l'industrie de transformation des matériaux de construction [7].

Les déchets inertes sont des matériaux qui ne subissent pas de transformation physique, chimique ou biologique significative lorsqu'ils sont exposés à l'environnement. Contrairement aux déchets organiques qui se décomposent et aux déchets dangereux qui peuvent présenter des risques pour la santé ou l'environnement, les déchets inertes ne réagissent pas de manière néfaste avec leur environnement [7].

Voici quelques exemples courants de déchets inertes :

- **Débris de construction et de démolition :** Cela inclut des matériaux tels que le béton, la brique, le plâtre, la céramique, le verre, le bois non traité, les métaux non dangereux, etc.
- **Terre et roches :** Cela comprend la terre excavée lors de projets de construction, les roches, le gravier, le sable, etc.

- **Matériaux inertes manufacturés :** Certains produits manufacturés peuvent être considérés comme des déchets inertes, comme certains types de plastiques non recyclables, le verre, les matériaux céramiques, etc.

Ces déchets inertes sont souvent générés lors de projets de construction, de démolition, de rénovation, de terrassement, etc. Étant donné leur nature non réactive, ils sont généralement considérés comme moins problématiques que d'autres types de déchets et peuvent souvent être recyclés ou réutilisés de manière appropriée. Par exemple, le béton et les briques peuvent être concassés et recyclés comme agrégats dans de nouveaux projets de construction, tandis que la terre excavée peut être utilisée pour remblayer des zones ou pour la construction de talus. En encourageant le recyclage et la réutilisation des déchets inertes, on peut réduire la quantité de déchets envoyés aux décharges et promouvoir une utilisation plus durable des ressources.

I.3.1.2. Déchet dangereux :

Ces déchets sont traités selon un procédé différent et contiennent des substances nocives pour l'homme et l'environnement, et leur stockage et leur traitement sont soumis à une réglementation stricte [7].

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets. La Figure I.15 et I.16 montrent la composition des déchets

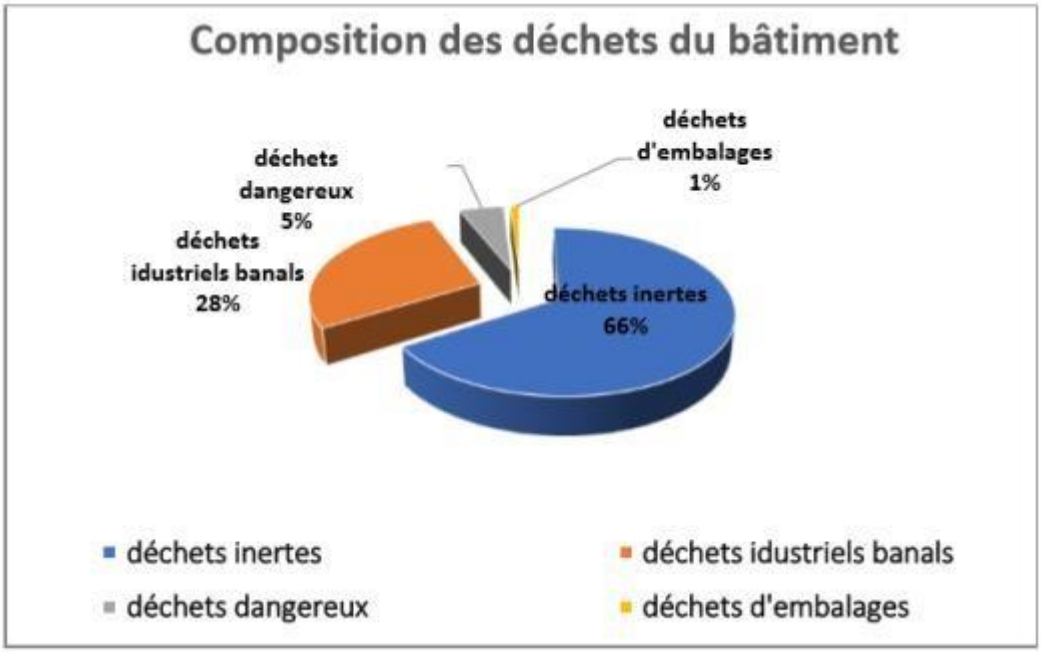


Figure I.15: Composition des déchets du bâtiment en Algérie 2017 **[8]**

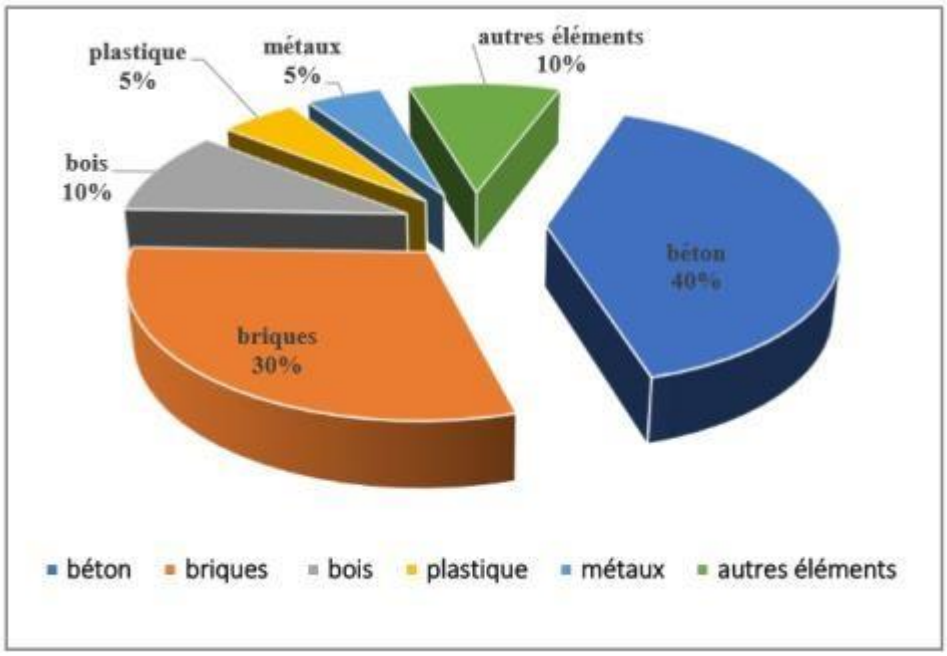


Figure I.16: Répartition des quantités de déchets de chantiers ou de démolition en Algérie 2017 **[8]**

I.4. Déchet de brique

Les briques sont l'un des plus anciens matériaux de construction, ils sont des produits céramiques dont les argiles sont la matière première et parfois en ajoutant des additifs.

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 [9].

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.

Les briques ont généralement une forme parallélépipède rectangle [8]. La production de la brique génère des déchets de production comme le montre la figure I.17



Figure I.17: Déchets de brique de fabrication déposés aux alentours de la briquèterie **[10]**

I.5. Bétons légers

Le béton léger est un matériau de construction utilisé dans de nombreux projets. Il est principalement composé de ciment, d'eau et d'agrégats légers, tels que des billes d'argile expansée ou des granulats de schiste expansé. Le béton léger présente de nombreux avantages, notamment sa faible densité, sa résistance élevée, son isolation thermique et acoustique, sa facilité de mise en œuvre et sa durabilité. Ce matériau est largement utilisé dans la construction résidentielle, commerciale et industrielle, ainsi que dans des projets spécifiques tels que les ponts et viaducs, les bâtiments écologiques et les structures préfabriquées. [11]

I.5.1. Les différents Types de bétons légers

On diminue la masse volumique du béton en remplaçant une certaine quantité de matériau solide par de l'air. Les trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton sont : dans la matrice (béton cellulaire), entre les gros granulats (béton caverneux ou sans fines, c.-à-d. sans sable) et dans les granulats (béton de granulats légers). La figure I.1 illustre ces trois types de béton. Evidemment, il est possible d'effectuer des combinaisons comme un béton léger de type caverneux fabriqué en utilisant des granulats légers. L'augmentation du volume d'air, ou des vides, s'accompagne d'une diminution de la résistance du matériau. Les bétons légers peuvent être utilisés dans les structures lorsque leur résistance est élevée ou bien constituer une isolation particulière efficace lorsqu'ils sont légers. [11]

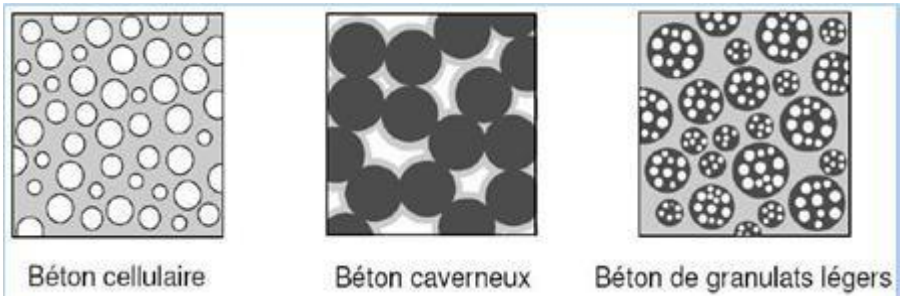


Figure I.18: Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après Short & Kinniburgh

I.5.1.1. Le béton cellulaire

Est un matériau de construction 100 % naturel, sain et à faible impact sur l'environnement. Il est destiné au gros œuvre sous la forme d'un système constructif complet : blocs pour murs extérieurs et de refends, planchers et toiture. Utilisé tout aussi bien par des auto constructeurs et des artisans que prescrit par des maîtres d'œuvre, il est accessible à tous, séduit les amateurs de maison saine et concilie béton et nature... [11]



Figure I.19: Le béton cellulaire

I.5.1.2. Le béton caverneux

(Densité de 400 à 900 kg/m3 et résistance à la compression de 4 à 8 MPa), ils comportent une forte proportion de granulats légers pour 1 m3 de béton, 150 à 300 kg de ciment pour 1000 litres de granulats légers. On les utilise pour leur qualité isolante. Ils sont destinés au remplissage de plancher ou aux dalles sur terre-plein lorsque la hauteur à rattraper est importante. On les recouvre d'une chape de mortier ou de béton armé. [11]



Figure I.20: Le béton caverneux

I.5.1.3. Le béton de granulats légers

Plus de sa légèreté (masse volumique de 1500 à 1900 kg/m^3), ces bétons permettent ainsi une plus grande souplesse quant à la conception des ouvrages et induisent plusieurs économies. En effet, la réduction de la charge morte sur les structures permet entre autres d'utiliser des portées plus longues ou de diminuer les sections des éléments porteurs, de réduire la quantité d'acier d'armature et même les dimensions des fondations. Utilisés en préfabrication, les bétons légers permettent aussi de diminuer les coûts de transport et d'installation. En plus, le béton léger présente une bonne isolation thermique par rapport au béton normale. Toutes ces caractéristiques expliquent l'intérêt grandissant que l'on porte au béton léger, notamment pour la réhabilitation. Les résistances des bétons légers décroissent avec la densité qui peut descendre jusqu'à 400 kg/m3. Du point de vue thermique, il existe une corrélation directe entre la densité, la résistance à la compression et la conductivité thermique (qui caractérise le pouvoir isolant). En effet, la résistance à la compression et la conductivité thermique varient en même temps que la densité. Lorsque celle-ci diminue, les résistances mécaniques deviennent plus faibles ainsi que la conductivité thermique, ce qui augmente le pouvoir isolant (plus d'air est piégé dans le béton). [11]



Figure I.21: Les bétons de granulats légers

I.5.2. Propriétés des bétons légers (Béton à granulats légers)

Les bétons légers présentent des caractéristiques spécifiques en termes de porosité et se caractérisé par sa faible masse volumique, ce qui les distingue des bétons classiques. Cette légèreté leur confère des avantages significatifs, tels que des propriétés d'isolation thermique et acoustique importantes et aussi sa sensibilité à l'eau et la résistance à la compression. [12]

I.5.2.1. La rhéologie à l'état frais

La rhéologie à l'état frais du béton léger est un aspect crucial qui définit la relation entre la contrainte et la déformation du matériau. Plusieurs paramètres influencent cette rhéologie, tels que la matrice cimentaire, le pourcentage de granulat léger, les caractéristiques de formulation des bétons légers, et le rapport Eau/Ciment (E/C)

La rhéologie à l'état frais du béton léger est étudiée pour comprendre son comportement mécanique et rhéologique, essentiel pour son utilisation dans diverses applications telles que l'isolation thermique et acoustique

Les granulats légers sont connus par leur forte absorption d'eau qui constitue un impact sur la maniabilité, la résistance et le mûrissement des bétons. Cependant ces derniers dépendent aussi de l'état des granulats utilisés saturés en surface ou bien secs.

Pour les granulats saturés séchés en surface, ils n'affectent pratiquement pas sur la maniabilité. Alors l'eau absorbée n'est pas à prendre en compte dans le rapport eau/ciment du béton. Par ailleurs, lorsque l'hydratation du ciment fait chuter l'humidité relative dans les pores capillaires

de la pâte de ciment durci, l'eau présente dans les granulats migre vers ces capillaires, rendant possible une hydratation supplémentaire. Ce que fait que les bétons de granulats léger sont moins sensibles à un mûrissement humide incorrect qu'un béton ordinaire**.**

Par contre dans le cas de granulats utilisés secs, l'absorption d'eau des granulats diminue la maniabilité. De plus, si le béton est vibré avant que l'absorption par les granulats légers secs ne soit terminée, des vides dus à la dessiccation se développent et, à moins que le béton ne soit revirés résistance sera moins élevée.

I.5.2.2. La masse volumique

Un béton est considéré comme léger lorsque sa masse volumique est inférieure à 2000 kg/m³. Cette caractéristique est obtenue en ajoutant des éléments allégés tels que des billes de polystyrène, ou des granulats légers à porosité élevée ou à faible masse volumique dans sa composition. La densité du béton varie en fonction des matériaux utilisés, du dosage de sable, de gravier, de ciment, et d'autres éléments.

La masse volumique légère du béton léger lui confère plusieurs avantages, notamment une meilleure adaptabilité aux combles, une excellente isolation thermique et phonique, une forte maniabilité, une mise en place aisée et rapide

En outre, le béton léger offre une plus grande déformabilité et une meilleure résistance thermique par rapport aux bétons classiques, ce qui en fait un matériau idéal pour diverses applications de construction, de rénovation et d'isolation.

I.5.2.3. La porosité

La porosité des bétons légers est un élément crucial qui influence leur résistance et durabilité. Les bétons légers présentent une haute porosité, ce qui peut impacter leur perméabilité à l'eau et leur durabilité. Malgré la porosité élevée des granulats légers utilisés dans ces bétons, cela n'affecte pas nécessairement leur perméabilité à l'eau ni leur durabilité en général en raison de la non-continuité des pores. La présence de bulles d'air dans ces bétons réduit la quantité d'eau absorbée, ce qui peut être bénéfique pour leur performance. La maîtrise de l'absorption d'eau du béton léger est essentielle pour garantir sa durabilité et limiter les risques liés à la porosité.la porosité des bétons légers, bien que élevée, peut être gérée pour assurer des propriétés mécaniques et durables satisfaisantes. [12]

Agoumimelcha. A [14] 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.22).

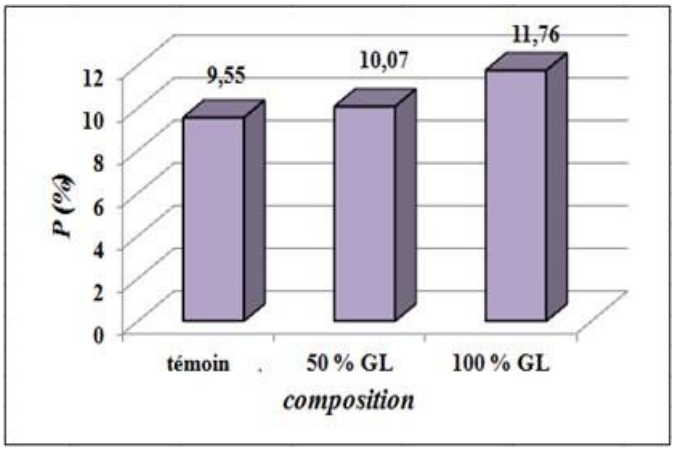


Figure I.22: Variation de la porosité en fonction de la composition de béton **[14]**

I.5.2.4. La sensibilité à l'eau

La sensibilité à l'eau du béton léger est une caractéristique importante de ce type de matériau. Le béton léger, en raison de sa composition qui inclut des granulats poreux et perméables, permet des transferts hydriques sous forme liquide et sous forme gazeuse. Cela signifie que le béton léger est très sensible à l'eau, ce qui peut influencer son comportement dans des conditions d'humidité élevée ou de submersion prolongée

Cette sensibilité à l'eau peut affecter la résistance et la durabilité du béton, ce qui est important à prendre en compte lors de la conception et de la mise en œuvre de structures qui utilisent ce type de béton [12]

I.5.2.5. La résistance à la compression

La résistance à la compression des bétons légers varie en fonction de divers facteurs tels que la masse volumique et les matériaux utilisés. Selon les sources consultées, la résistance à la compression du béton léger peut atteindre jusqu'à 130 MPa et plus, dépendant des propriétés du béton et des granulats utilisés. Par exemple, un béton léger à haute résistance peut avoir une masse volumique de 1200 kg/m3 et une résistance de 30 MPa. De plus, des études montrent que la résistance à la compression des bétons légers peut être influencée par des traitements spécifiques, comme l'ajout de chaux qui peut améliorer la cinétique de développement de la résistance [12]

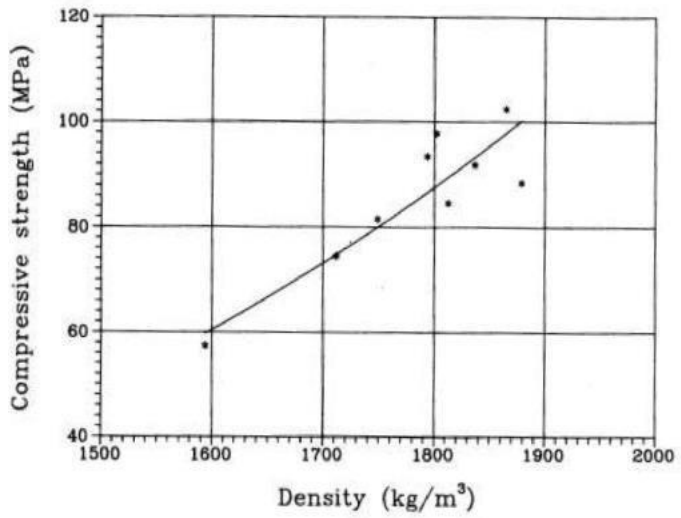


Figure I.23: Relation entre la résistance en compression à 28 jours et la densité du béton frais d'un mélange avec des granulats légers

I.5.2.6. Conductivité thermique :

Le béton léger se caractérise par sa faible conductibilité thermique en comparaison avec un béton de masse volumique usuelle. Les bétons légers, dits isolants, avec des masses volumiques après séchage à l'étuve entre 800 et 1000 kg/m3 sont non seulement compacts et de bonne capacité portante, mais présentent aussi des propriétés d'isolation thermique. Ils permettent de réaliser des murs monolithiques en béton de parement, sans doublage ni isolation périphérique additionnelle. Néanmoins, de tels murs sans isolation thermique supplémentaire nécessiteraient des épaisseurs importantes (environ 1.50 m) pour satisfaire les exigences d'isolation thermique ($u \approx 0.15$). La masse volumique sèche du béton isolant ne peut être atteinte qu'avec des entraîneurs d'air spéciaux ou des agents moussants employés pour les bétons moussants [13].

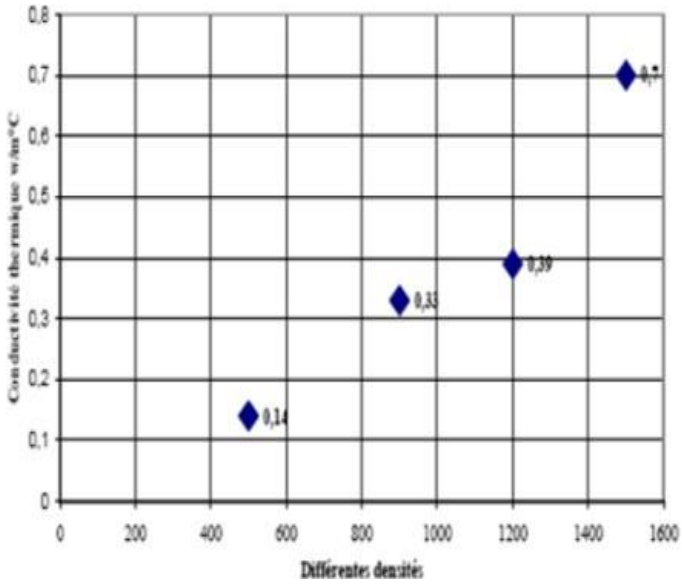


Figure I.24: Conductivité thermique en fonction de la masse volumique

I.5.2.7. La durabilité

La durabilité du béton léger est un aspect crucial qui a été étudié en profondeur. Les recherches indiquent que l'utilisation de granulats légers n'affecte pas la durabilité à long terme du béton, car la porosité des granulats légers est généralement bien gérée

. Le béton léger se distingue du béton ordinaire par sa masse volumique réduite, obtenue grâce à l'ajout de granulats légers à porosité élevée ou à faible masse volumique, ce qui contribue à sa durabilité

. De plus, malgré certaines baisses de performances, le béton de granulats légers à base de coques de noix de palme reste intéressant pour diverses applications, offrant une résistance admissible pour la construction de certaines structures en béton armé [13]**.**

I.8.3. 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
- De la résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

I.5.3.1. Classification suivant la masse volumique

La norme EN 206[39] classe les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, En fonction de leur masse en Kg/m^3 [15]

Tableau I.1: classification des bétons légers en fonction de la densité [16]

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**

La nouvelle version de la norme EN 206[39] classe les bétons suivant les fourchettes de masse volumiques indiquées dans le tableau ci- dessous :

Tableau I.2: Classification des bétons légers en fonction de la de masse volumiques **[16]**

Classes de masses volumiques	**LC 1.0**	**LC 1.2**	**LC 1.4**	**LC 1.6**	**LC 1.8**	**LC 2.0**
Kg/m3	**>800 et ≤1000**	**>1000 et ≤1200**	**>1200 et ≤1400**	**>1400 et ≤1600**	**>1600 et ≤1800**	**>1800 et ≤2100**

I.5.3.2. Classification des bétons légers en fonction de la résistance

On retrouve une autre classification qui se base essentiellement sur la masse volumique puisqu'elle est étroitement liée avec la résistance, ce qui explique pourquoi la norme ACI 213R [40]

-8713.141 classifie les bétons en fonction de la masse volumique (entre 300 et 1900 kg/m3) en trois catégories comme indiqué dans le (tableau I-2) :

Tableau I.3: classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87

Classification	**ρ (kg/m^3)**	**Rc (MPa)**
Béton léger de structure	1350 - 1900	> 17
Béton léger de résistance modérée	800 - 1350	7 - 17
Béton de faible résistance	300 - 800	< 7

I.5.3.3. Classification des bétons légers en fonction de la nature de l'ouvrage :

Kass J.L et Compbell D, en Australie [41], ont adopté une classification fonctionnelle des bétons légers selon leur utilisation dans la construction. Cette classification a été recommandée par la suite par les RILEM qu'on retrouve dans le (tableau I-3) (RILEM, 1970)[41] :

Tableau I.4: Classification des bétons légers selon l'utilisation dans la construction (RILEM, 1970)

Type de béton léger	De construction	De construction et d'isolation	D'isolation
Masse volumique (kg/m^3)	< 1800	Non précisée	Non précisée
Résistance à la compression (MPa)	> 15	> 3,5	> 0,5
Conductivité thermique (W/m.K)		< 0,75	< 0,30

I.5.4. 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 ;

I.5.4.1. Bétons d'isolation pure, non porteurs

Les bétons d'isolation pure, non porteurs, sont des matériaux utilisés dans la construction pour leur capacité à isoler thermiquement et acoustiquement un bâtiment. Contrairement aux bétons traditionnels qui sont utilisés pour leur résistance structurale, ces bétons sont conçus principalement pour leurs propriétés isolantes. Ils sont souvent utilisés dans des applications où la résistance mécanique n'est pas la principale préoccupation, comme dans les murs extérieurs des bâtiments, les dalles de plancher, ou même comme matériau de remplissage dans les espaces creux pour améliorer l'isolation.

Ces bétons sont généralement légers, ce qui les rend faciles à manipuler et à installer. Ils sont souvent composés de matériaux poreux ou d'agrégats légers, comme de la perlite, de la vermiculite, des billes de polystyrène expansé ou d'autres matériaux similaires. Ces matériaux légers permettent de réduire la conductivité thermique du béton, améliorant ainsi son efficacité en tant qu'isolant.

En résumé, les bétons d'isolation pure, non porteurs, offrent une solution efficace pour améliorer l'isolation thermique et acoustique d'un bâtiment sans compromettre sa structure. Leur masse

volumique est faible (600 kg/m^3) de même que leur résistance à la compression (de 1,5 à 5 MPa). Ces bétons sont utilisés principalement [18]:

- 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.4.4.2. Bétons porteurs et isolants

Leur masse volumique varie de 1 000 à 1 300 kg/m^3 et leur résistance à la compression est de l'ordre de 15 à 20 MPa. Ces bétons peuvent être employés pour réaliser [18] :

- 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.5.4.3.Bétons légers de structure :

Ils ont une masse volumique inférieure à 2000 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 [18].

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 ;

Les bétons légers de structure sont des matériaux de construction utilisés dans diverses applications où la réduction du poids est un facteur critique.



Figure I.25: structures porteuses



Figure I.26: rénovation en utilisant le béton léger



Figure I.27: Béton léger pour isolation



Figure I.28: Bâtiments écologiques



Figure I.29: Construction de murs et structures légères



Figure I.30: Le bâtiment de la TWA au Kennedy International Aéroport



Figure I.31: Les tours Marina de 60 étages à Chicago



Figure I.32: Structures préfabriquées

I.5.5. Les inconvénients des bétons légers :

Les bétons légers présentent plusieurs inconvénients notamment [18] :

- **Faible résistance mécanique** : Les bétons légers ont généralement une résistance mécanique plus faible que les bétons conventionnels, ce qui peut limiter leur utilisation dans des applications où une résistance élevée est nécessaire.

- **Moindre durabilité** : En raison de leur composition moins dense, les bétons légers peuvent être plus sensibles aux dommages causés par les intempéries, l'abrasion et d'autres facteurs environnementaux, ce qui peut réduire leur durabilité à long terme.

- **Absorption d'eau :** Les bétons légers peuvent avoir une plus grande capacité d'absorption d'eau par rapport aux bétons conventionnels, ce qui peut entraîner des problèmes de gonflement et de fissuration dans des conditions humides.

- **Coût potentiellement plus élevé :** Les matériaux utilisés pour fabriquer des bétons légers, tels que les agrégats légers ou les agents de remplissage, peuvent être plus coûteux que les matériaux utilisés dans les bétons conventionnels, ce qui peut entraîner des coûts de production plus élevés.

- **Complexité de la fabrication** : La fabrication de bétons légers peut nécessiter des techniques et des équipements spécifiques, ce qui peut rendre le processus plus complexe et nécessiter une expertise supplémentaire**.**

- **Limitations d'application :** En raison de leurs propriétés spécifiques, les bétons légers peuvent ne pas convenir à toutes les applications de construction, ce qui peut limiter leur utilisation dans certains projets.

- **Rétrécissement potentiel** : Les bétons légers peuvent avoir un taux de rétrécissement plus élevé lors du durcissement, ce qui peut entraîner des problèmes de fissuration et de déformation si cela n'est pas correctement pris en compte lors de la conception et de la mise en œuvre.

I.6. Les caractéristiques du béton léger de structure :

Le béton léger de structure, en intégrant des granulats légers, étend considérablement le domaine d'utilisation du béton léger tout en améliorant ses propriétés. Ce type de béton combine les avantages des matériaux traditionnels avec les bénéfices apportés par la légèreté, permettant son utilisation dans une variété d'applications structurelles.

le béton léger de structure élargit les possibilités d'utilisation du béton léger en offrant des solutions optimales pour des applications où la réduction de poids, l'isolation, et la flexibilité de conception sont essentielles, tout en maintenant les exigences de résistance et de durabilité requises pour les structures modernes. Voici les principaux avantages de ce béton :

- **Réduction du poids total de la structure :** Les bétons légers de structure ont une densité inférieure à 2 en comparaison à celle des bétons classiques (2 ,2 à 2,5), ce qui permet de

réduire le poids total des structures construites avec ces matériaux. Cela peut être particulièrement avantageux dans les structures où la charge morte est un facteur critique, comme les ponts, les bâtiments à plusieurs étages et les structures à grande portée.

- **Amélioration de l'efficacité énergétique :** En raison de leur poids réduit, les structures construites avec des bétons légers de structure peuvent nécessiter moins de matériaux de support, ce qui peut réduire les besoins en énergie pour la construction et potentiellement réduire les coûts à long terme liés au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage.
- **Isolation thermique améliorée :** Les bétons légers de structure ont souvent une conductivité thermique plus faible que les bétons conventionnels, ce qui peut améliorer l'isolation thermique des structures et réduire les pertes de chaleur, contribuant ainsi à des bâtiments plus éco énergétiques.
- **Polyvalence dans la conception :** Les bétons légers de structure offrent une grande flexibilité dans la conception des structures en raison de leur poids réduit, permettant la réalisation de formes complexes et l'optimisation de la distribution des charges, ce qui peut conduire à des conceptions architecturales innovantes et esthétiquement attrayantes.
- **Amélioration de l'acoustique :** Les bétons légers peuvent offrir une meilleure isolation acoustique que les bétons conventionnels, réduisant ainsi la transmission du bruit à travers les structures et améliorant le confort acoustique à l'intérieur des bâtiments.
- **Meilleure résistance aux cycles de gel-dégel :** Certains bétons légers sont formulés pour résister aux cycles de gel-dégel, ce qui les rend adaptés aux applications dans des environnements sujets à des variations de température extrêmes, tels que les climats froids.

- **Compatibilité avec les techniques de construction avancées :** Les bétons légers peuvent être utilisés avec diverses techniques de construction avancées, telles que les méthodes de construction préfabriquées et la construction modulaire, ce qui peut offrir des avantages en termes de qualité, de rapidité d'exécution et de réduction des coûts globaux du projet.

- **Réduction des coûts de transport** : Étant moins denses, les bétons légers peuvent réduire les coûts de transport par rapport aux bétons conventionnels, car ils nécessitent moins de matériaux pour atteindre le même volume, ce qui peut être particulièrement avantageux sur de longues distances.

- **Facilité de manipulation et d'installation :** En raison de leur poids plus léger, les bétons légers peuvent être plus faciles à manipuler et à installer sur le chantier, ce qui peut réduire les coûts de main-d'œuvre et accélérer le processus de construction.

Chapitre II

Matériaux et Essais expérimentales



MATÉRIAUX ET ESSAIS EXPÉRIMENTALES

INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. On présente en première partie les matéraiux utilisés dans la composition des bétons, les essaisréalisés sur ses matériaux suit par les resusltats obtenus apartir de ses essais. Dans la deuxième partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons suite par la présentation des essais réalisés sur les bétons en savoir :

- A l'état frai : Essai de l'ouvrabilité à l'aide de cone d'abrams en mesurant l'affaissement
- A l'état durci nous mesurons ; la densité, la vitesse de propagation d'onde ultrasonique, les résistances à la compression et à la traction, la condictivité thermique, l'absorption, la porosité et la résistanse au feu ainsi la perte à feu (perte en masse).

II.2. Les matériaux utilisés :

Pour fabriquer le béton, nous avons utilisé des matériaux, lesquels ont été soumis à des tests expérimentaux au laboratoire de génie civil, tout en respectant les recommandations des normes en vigueur.

II.2.1. Ciment :

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/B (Mâtine) (Figure II.1**)** est un ciment Portland artificiel dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme **NA442[19]**. Le tableau II.1 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment(**Annexe A**).

Tableau II.1: L'analyse chimique du ciment et composition minéralogique du clinker

Composition chimique	Perte au feu(%)(NA5042)7.00-9.50	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA5042)	1.50-3.00
	TeneurensulfatesSO3 (%) (NA5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique	Silicates tricalciquesC3S(%)	58.00-64.00
	AluminatestricalciquesC3A(%)	6.00-8.00



Figure II 1: ciment MATINE

II.2.2.Sable :

Nous avons utilisé trois types de sable ;

- Naturel ; qui est composé de deux sables naturels ; (50% sable fin de oued souf et 50% sable moyen de Laghouate) (Figure II.2), leurs propriété sont représentées dans le TableauII.2
- Recyclés ; c'est un sable de brique dont une grande quantité est obtenue lors de preparation de gravier de brique 3/8 et 8/15 (Figure II.3).



Figure II 2 : Sable de laghouat



Figure II 3: Sable de brique

II.2.3. Polystyrène :

POLYS BETO est constitué de billes de polystyrène de diamètres variant entre 1,5 et 4 mm traitées en surface par un agent tensioactif spécifique. Ce traitement assure aux billes une intégration et une répartition homogènes dans le mortier ou béton qu'on souhaite alléger en se substituant aux sables courants ou légers.



Figure II 4: Polystyrène

II.2.4. Gravier :

Plusieurs type de gravier ont été introduit dans la formulation des bétons ;

- Gravier naturel avec deux classes granulométriques : 3/8 et 8/15.
- Gravier de pouzzolane avec une seule classse granulométriques : 8/15
- Gravier de brique avec deux classes granulométriques : 3/8 et 8/15.
- Gravier d'argile exponcé avec deux classes granulométriques : 3/8 et 8/15.
-



Figure II 5: Graviers naturels; a- classe 3/8, b- classe 8/15



Figure II 6: Pouzzolane classe 8/15



Figure II 7: Argile expansé ; a- classe 3/8, b- classe 8/15



Figure II 8: Gravier de brique; a- classe 3/8, b- classe 8/15

II.2.5.Préparation des granulats de brique

Les granulats recyclés sont obtenus par concassage ;

premièrement manuellement au niveau de laboratoire, puis dans los-angeles. A la sortie de cette dernière nous avons passé le resutats de concassage sur trois tamés (4, 10 et 16 mm) pour obtenir les trois classes granulométriques ; 0/4, 3/8 et 8/15.une fraction du sable de brique a été obtenu lors de preparation de gravier de brique, et le reste est obtenu par concassage du brique à l'aide d'un concasseur puis broyage dans losangeles.



Figure II 9: Protocole de préparation de granulats de brique

II.2.6.Eau de gâchage

L'eau utilisée pour mélanger le béton est l'eau du robinet, réputée potable, sans impuretés nuisibles au béton et conforme à la norme [NF EN -1008][20].

II.2.7. Superplastifiant

Dans notre étude, nous avons utilisé un seul type d'adjuvant appelé Meda flow 145, c' est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité. Le MEDAFLOW 145 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.En plus de sa fonction principale de superplastifiant, permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.Le MEDAFLOW 145 ne présente pas d'effet retardateur.



Figure II 10: medeflow 145

Caractéristique le medaflow 145 : (voir Annexe B)

- Forme ⟹ Liquide
- Couleur ⟹ brais claire
- pH ⟹ 5 - 6
- densité ⟹ 1.065 ± 0.015
- teneur en chlore ⟹ < 1 g / L
- extrait sec ⟹ 30 ± 1.5 %

II.3. Caractérisation des matéraiux :

II.3.1. Essai de Blaine (Finesse de ciment) :

La finesse du ciment est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476] **[21]**. Les résultats de mesure donnent :

Masse volumique absolue (kg/ m³) : 3150

Surface spécifique Blaine (cm²/g) : 3211,73

II.3.2.Equivalent de sable selon la norme NF EN 993 - 8. [22]

Cet essai, est utilisé de manière courantepour évaluer la propreté des sables utilisés pourla composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans lesable, une procédure normalisés permet de définir un coefficient d'équivalant de sable qui quantifie la propreté du sable. L'équivalent 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 11: Essai d'équivalent de sable

II.3.3. Masses volumique des granulats :

II.3.3.1. Masses volumiques apparentes NF EN 1097 - 3[23].:

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

$$\rho = M / V \quad (kg/m3)$$

M étant la masse du granulat remplissant un récipient de volume V (Figure II.12).

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



Figure II 12: le récipient de mesure la masse

II.3.3.2. Masses volumiques absolues :

Cet essai consiste à mettre dans une pycnomètre un volume d'eau de 200 ml (Figure II.13) puis on verse 100 g du matériau dedans et par le biais de l'équation suivante on calcul la masse volumique absolue:

$\rho_{abs} = M / (V2-V1)$ (kg/ m3)

Les résultats de deux essais sont résumés dans le tableau II.2 et II.3



Figure II 13: Pycnomètre

II.3.4.Analyse granulométrique des granulats (NF P 18-560) [24]:

L'analyse granulométrique de tous les granulats sont présentés dans les Figure II.14.



Figure II 14: Essais de tamisage

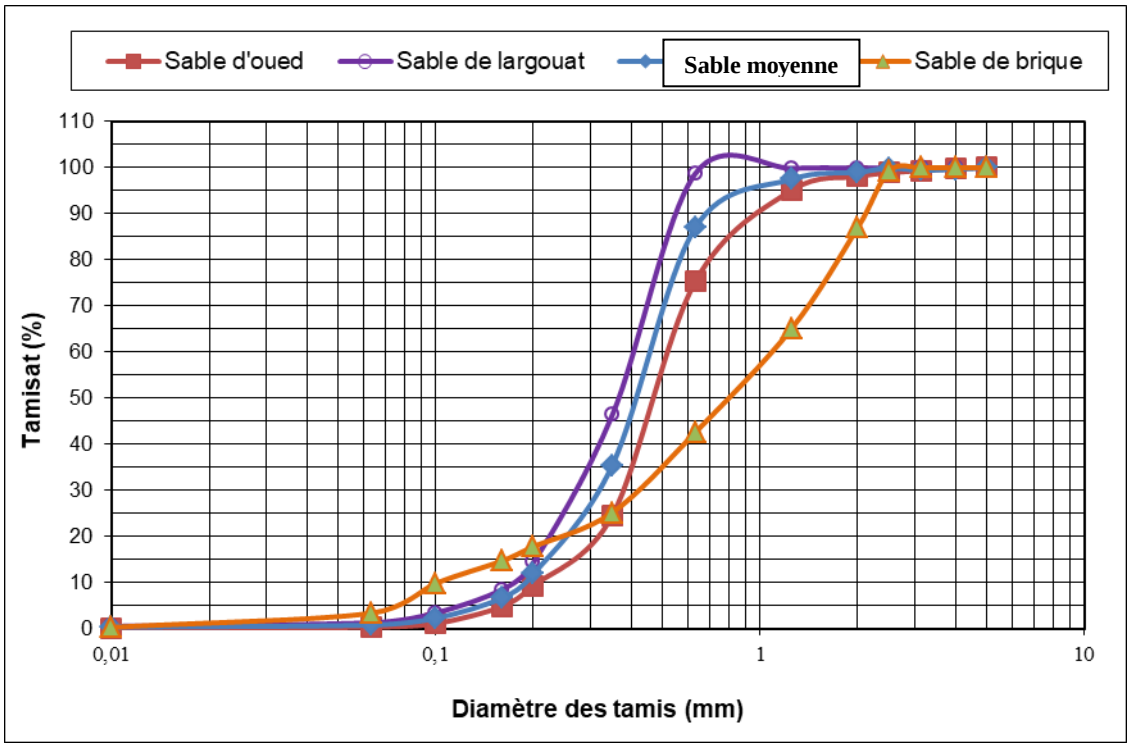


Figure II 15: Analyse granulométrique des sables

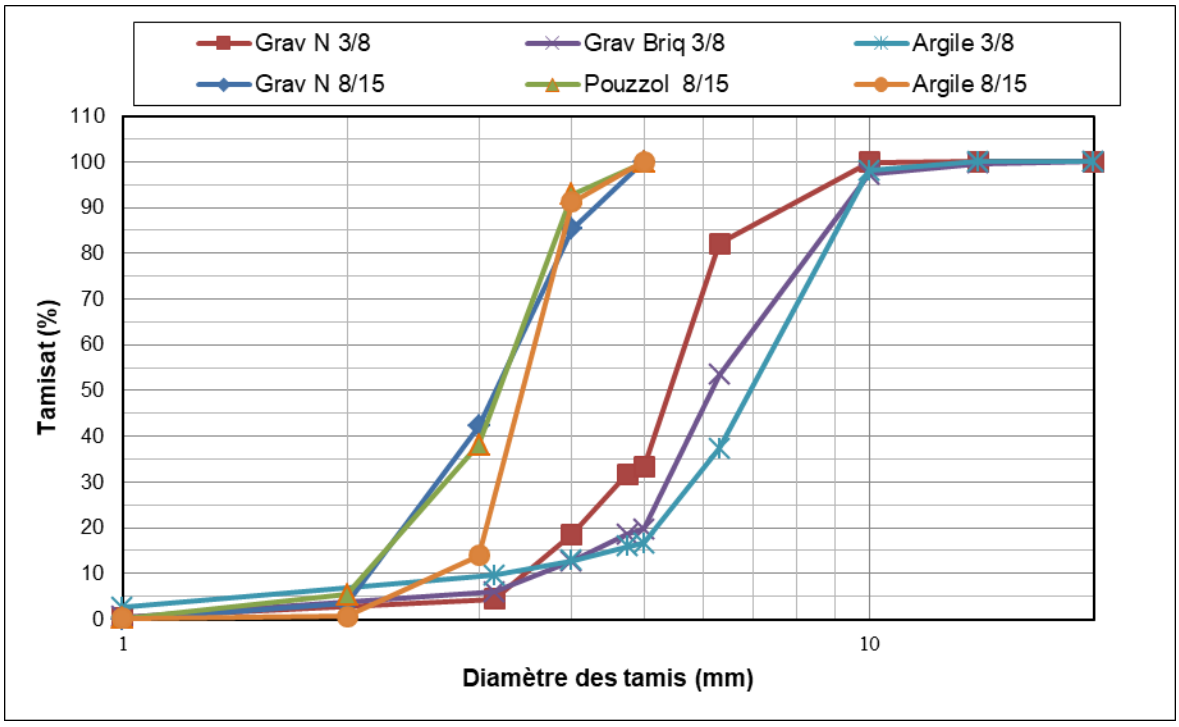


Figure II 16: Analyse granulométrique des graviers

II.3.5. Essai d'absorption d'eau [25]:

L'absorption est une propriété importante pour la maitrise de la rhéologie des composites cimentaires. Une partie du volume de l'eau de gâchage, est absorbée par les granulats, en particulier si ses granulats sont stockés dans une atmosphère. Les mesures du coefficient d'absorption (Ab) selon la norme NF P 18-555 [25], consiste à réaliser des pesées hydrostatiques des granulats. Il est préférable de prendre en compte l'absorption d'eau mesurée durant la première heure qui suit l'immersion. Le coefficient d'absorption est calculé à partir de la formule:

$$Ab = 100\ (Ma-Ms)/Ms$$

Ab : coefficient d'absorption des granulats

Ma : masse de l'échantillon après immersion de 24 h

Ms : masse de l'échantillon sec.



Figure II 17: absorption d'eau

II.3.6. Los Angeles P 18 – 573 [26] :

L'essai Los Angeles a été effectué conformément à la norme française P 18 - 573. Il consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation du matériau testé de classe granulaire (8/15), soumis aux chocs d'une charge de 11 boulets par la mise en rotation du cylindre de la machine Los Angeles de 500 tours.

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

$$LA = 100m/5000$$

Avec :

M : la masse du matériau soumis à l'essai

m : la masse d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite au cours de l'essai

A partir du coefficient LA les granulats sont qualifiés comme suit :

- LA< 15 tres bon
- 15≤LA<20 bon à moyen
- 20≤LA<30 moyen à faible
- LA≥ 30 médiocre

Les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau II.3

Tableau II.2: propriétés physiques de sable

Caractéristiques	Type de sable			Normes
Provenance	Sable 1 Oued souf	Sable 2 laghouat	Sable de brique concassé	
Classe granulaire	0 /5	0 /5	0 /5	
Module de finesse	2.01	1.46	2.53	NF EN 933-1 **[27]**
Masse volumique absolue(g/cm^3)	2.63	2.85	2.21	NF EN 1097-6 **[28]**
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.56	1.35	1.63	NF EN 1907-3 **[29]**
Equivalent de sable (%)	81.16	65	75	NF EN 933-8 **[30]**
Tauxd'absorptiond'eau (%)	2.5	2.1	14.6	NF EN 1097-6 **[28]**

Tableau II.3: Les caractéristiques physiques de gravier

Caractéristiques	Type de Gravier							
Provenance	Normal		Brique concassé		Argile expansé		pouzzolane	/
Classe granulaire	3/8	8/15	3/8	8/15	3/8	8/15	8/15	/
Masse volumique Absolue (g/cm3)	2.76	2.65	2.29	2.32	0.89	1.32	2.29	NF EN 1097-6 **[28]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.23	1.12	1.74	1.80	0.64	0.57	0.873	NF EN 1097-3 **[29]**
LA (%)	21.88		31.24		28.22	45.1	21.54	NA EN 458 **[31]**
Tauxd'absorption d'eau (%)	0.55		14.6		17.2	17.1	14.6	NF EN 1097-6 **[28]**

II.4. Formulation du béton.

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

Les méthodes 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. Le choix des constituants d'un béton et de leurs proportions est aussi appelé «formulation d'un béton [17] ».

II.4.1. Composition du béton.

La composition du béton léger structural demande la pris en compte de deux facteurs important ; d'une part une densité inférieur 20 KN/m^3, et d'autre part une résistance ≥ 20 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 = 0.4, ce qui nécessite l'ajout d'un super-plastifiant pour assurer l'ouvrabilité du béton.

Donc nous avons considéré plusieurs bétons dont la différence réside dans le pourcentage des granulats recyclés et lègers remplacés, le tableau II.4 présente les différentes mélanges étudiés:

II.4.2. Malaxage.

La séquence de malaxage et la composition du béton ont un rôle important pour avoir une hydratation correcte, ce qui conduit à un béton performant et durable. Le malaxage des bétons élaborés au laboratoire a été effectué dans un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 32 L. Une fois que toutes les quantités seront calculées et pesées, dans un malaxeur (Figure II.19) on procède à un malaxage sec du granulat et du ciment et de polystyrène pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange. Puis on ajoute 60 à 70% de l'eau de gâchage avec un débit régulier dans les 60 secondes suivantes. Durant la minute suivante, on introduit régulièrement le super plastifiant avec l'eau restante (30 à 40%) (après les avoir mélangés). Lemalaxage est continu pendant 5 autres minutes.



Figure II 18: des granulats sec et autre après l'ajout de l'eau



Figure II 19: Le malaxage des bétons au laboratoire

II.4.3. Confection et conservation des éprouvettes

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes et un maintien de 10 minutes, le béton estprêt à l'emploi. Le béton est coulé dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage. Les moules ont été conservés 24 heures à une température ambiante.A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 **[32].**La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.Une fois le démoulage est effectué, les éprouvettes des bétons B1, B2, B3, B4, B5 et B6hsont conservées dans l'eau, et les éprouvettes du béton B6S sont couvrées dans le papier de sélophane jusqu'a la date d'écrasement (7 et 28 jours).

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

- Cubiques 10x10x10 cm : pour mesurer la densité, la résistance mécanique à la compression, vitesse de propagation d'onde ultrasonique.
- Prismatiques 7x7x28 cm : pour mesurer la résistance à la traction, absorption,résistance au feu, perte en masse, conductivité thermique et la porosité.



Figure II 20: conservation des éprouvettes

II.4.4.Masse volumique des bétons

La masse volumique du béton est une propriété physique qui caractérise la quantité de matière contenue dans une unité de volume. Elle est exprimée en kg/m³ et varie en fonction de la composition du béton, notamment la quantité de ciment, les granulats, et l'eau utilisés.

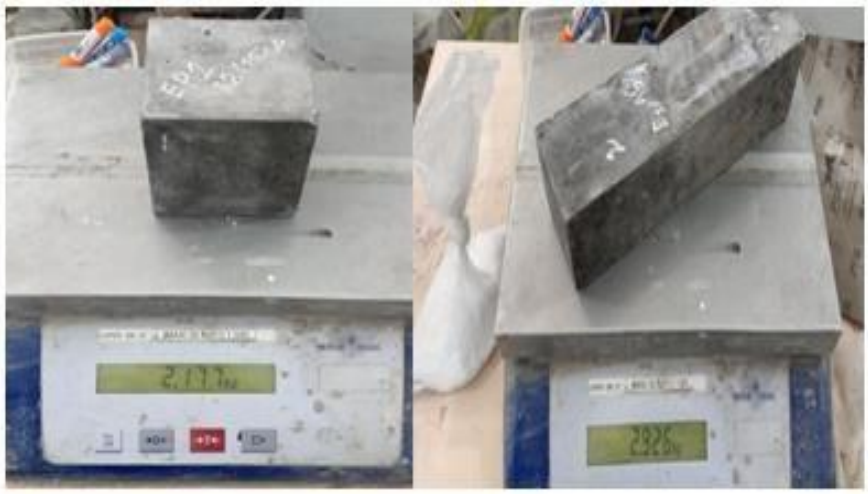


Figure II 21: Mesure de masse

II.5. La résistance à la compression -Norme NA 427 /1989[33]

Le principe de l'essai, selon la norme NA 427 /1989, est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.



Figure II 22: dispositif de l'essai la résistance à la compression

II.6. Essais de traction par flexion norme NFP 18-406[34]

Pour effectuer nos essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7 x 7 x 28 cm3).La résistance à la traction provient de la moyenne des résultats sur deuxéprouvettes. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement.



Figure II 23: dispositif de l'essai de traction par flexion

II.7. Essai ultrasonique

Le principe de la méthode des ultra-sons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasonique traversant le béton. Sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage. L'essai ultrasonique peut être effectué sur des éprouvettes de laboratoires, comme sur des ouvrages en béton terminés.

L'équipement nécessaire pour réaliser cet essai est composé d'un générateur d'impulsions électriques équipé d'un émetteur. D'un récepteur et d'un dispositif de chronométrage permettent de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion générée par l'émetteur et la détection de son arrivée par le récepteur.



Figure II 24: Appareillage ultrasonique utilisé

Essais d'absorptiond'eauparcapillarité[NE 13057] [35].

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend les éprouvettes de béton(morceaux prismatiques de section 7x7 cm^2) déjà sécher et on les pesées (m0). Les surfaces latérales des échantillons sont couvré par une nape deverné pour assurer l'absorption unidirectionnele. après on les introduire dans un bacremplir de 1 cm d'eau de profondeur et de suivre la variation de la masse de ces éprouvettesau 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).

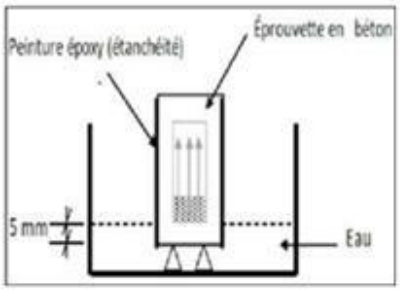




Figure II 25 : Principe de l'essai d'absorption d'eau par succion capillaire

Essai de porosité :

C'est le rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent suivant les recommandations de l'AFREM [**36]**. Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent :

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.25) et il est pesé complètement immergé dans l'eau.

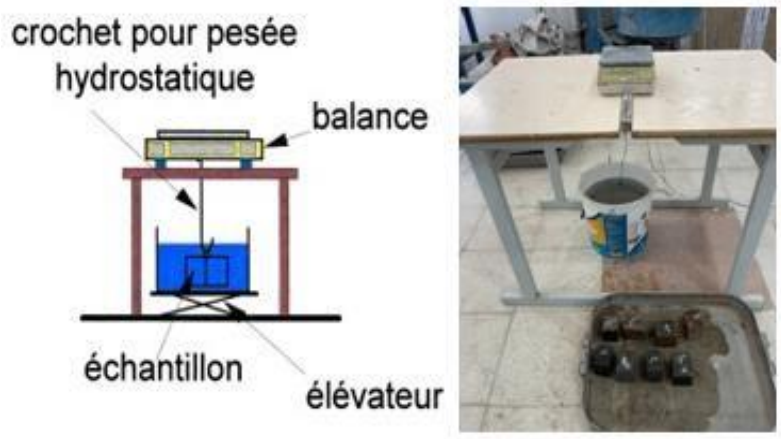


Figure II 26: essai de porosité et schéma de pesée hydrostatique

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. [37].

C'est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évalueravec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériauxtels 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.

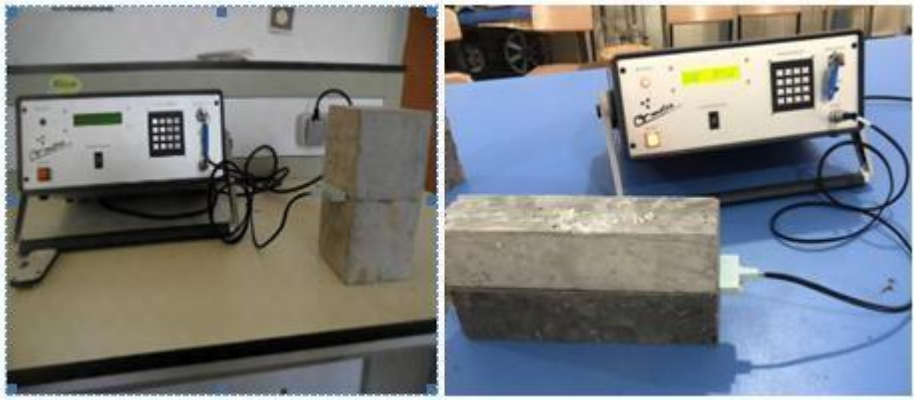


Figure II 27: Essai de conductivité thermique

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 24 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 norme ISO 834**[38].** Tous les éprouvette sont ensuit refroidis en l'air (en dehors du four)pendant 24 heure puis écrasées pour déterminerla résistance en compression. Il est a noté que toutes les éprouvettes ont été pesées avant et aprés calcination 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 28: Essai de Résistance au feu

Chapitre III

Résultats et discussions

CHAPITRE III
RESULTATS ET DISCUSSIONS

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 seront également présentées dans ce chapitre.

Formulation des bétons

Les bétons utilisés dans cette recherche sont formulés selon la méthode de Dreux-gorisse avec quelques modifications concernant la quantité de différents type de granulats et le rapport eau/ciment. 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 les proportions et le type de granulats recyclés et les granulats légers remplacés dans le béton pour déterminer la formulation recherchée.

Les bétons préparés ont les mêmes proportions volumiques des granulats, la différence réside dans le type de granulats (naturel, recyclés, et légers) la quantité d'eau ajoutée. Le détail de composition de différents bétons testés sont groupés dans les tableaux 8 et 9.

Tableau III.1 : composition granulométrique des bétons

Désignation	Composition granulométrique des bétons
B1	granulats naturel 100%
B2	Gravier 3/8 et 8/15 (100% naturel) + Sable (85% brique + 15% polystyrène)
B3	Gravier 8/15 (50% brique + 50% pouzzolane) + gravier 3/8 (100% argile) + Sable (100% brique)
B4	Gravier 8/15 (50% brique + 50% pouzzolane) + gravier 3/8 (100% argile) + Sable (85% brique + 15% polystyrène)
B5-	Gravier 8/15 (70% brique + 30% Argile) + gravier 3/8 (100% Argile) + Sable (30% brique+ 70% naturel)
B6-	Gravier 8/15 (30% brique + 40% Argile+ 30% naturel) + gravier 3/8 (50% brique + 50% Argile) + Sable (35% brique+ 50% naturel +15% polystyrène)

Tableau III.2: composition des bétons

	Bétons					
Les constituons (g)	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Ciment	**460**	**460**	**460**	**460**	**460**	**460**
Eau fixé	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**
Eau ajouté	**184**	**184**	**124.2**	**124.2**	**62.5**	**62.5**
Eau totale	**184**	**184**	**308.2**	**308.2**	**246.5**	**246.5**
Super plastifiant	**4.6**	**4.6**	**4.6**	**4.6**	**4.6**	**4.6**
Sable naturel	**614**	**521.9**	**0**	**0**	**307**	**307**
Sable de brique	**0**	**0**	**537**	**440.3**	**160.39**	**187.9**
Gravie 3/8 normal	**368**	**368**	**0**	**0**	**184**	**184**
Gravier 3/8 Brique	**0**	**0**	**0**	**0**	**160.9**	**112.6**
Gravier 3/8 Argile	**0**	**0**	**176**	**176**	**176**	**88**
Gravier 8/15 normal	**796**	**796**	**0**	**0**	**0**	**238.8**
Gravier 8/15 Brique	**0**	**0**	**343.9**	**343.9**	**206.4**	**481.5**
Gravier 8/15 pouzzolane	**0**	**0**	**343.9**	**343.9**	**0**	**0**
Gravier 8/15 Argile	**0**	**0**	**0**	**0**	**80.2**	**106.9**
Polystyrène (%)	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**

Ouvrabilité des bétons

Dans la fabrication de béton témoin (B1) nous avons fixé un rapport E/C =0,4 pour assurer une bonne résistance, et on a fixé un dosage en SP à 1% de dosage du ciment. La quantité d'eau dans les autres bétons est variable selon le type et le dosage des granulats recyclés et/ou légers. Il n'est donc pas possible de comparer le béton témoin B1 avec les autres bétons en même temps. Mais il est possible de comparer entre les bétons qui ont même quantité d'eau ajouté, tels que B1 avec B2 et B3 avec B4.

L'ajout de polystyrène dans le Béton B2 a conduit à une augmentation de l'affaissement. Les bétons B3 et B4 demande une quantité élevée d'eau à cause de l'absorption par le sable de brique sec qui a remplacé 100% le sable naturel, les autres granulats (brique 8/15, pouzzolane, argile 3/8) remplacé le gravier naturel avaient été déjà saturé.



Figure III 1: Mesure d'affaissements de béton

L'affaissement des bétons B5 et B6 diminue à cause de la diminution de la quantité d'eau ajouté aux mélanges.

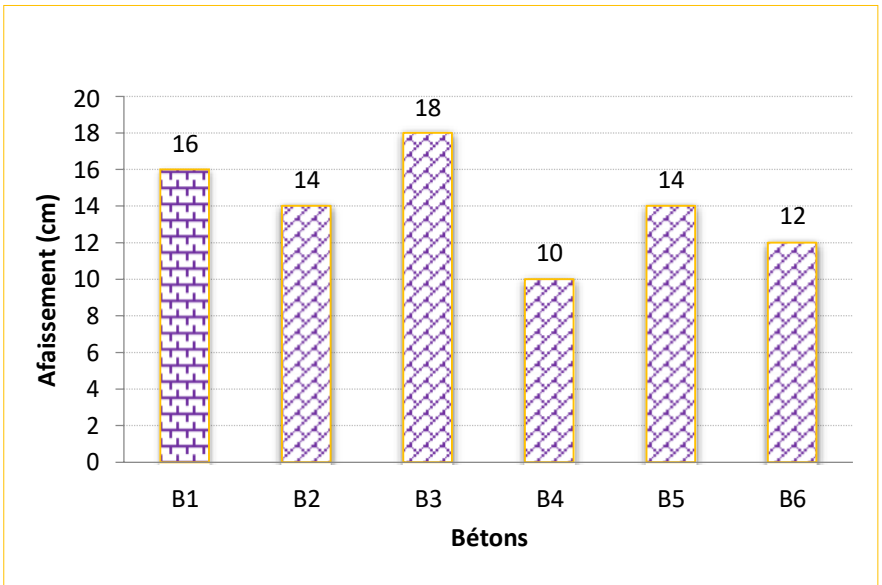


Figure III 2: Résultats d'essai d'affaissement des bétons

Masse volumiques des bétons durcis

L'introduction des matériaux légers dans la composition du béton entraîne une diminution de la masse volumique du béton durci qui varie en fonction de la quantité et la densité de granulats. Les différentes valeurs de la masse volumique des bétons sont présentées dans la Figure 3.3.

Le remplacement de 15 % de volume de sable par du polystyrène provoque une diminution de la masse de béton B2 de 10,8 %. Le remplacement de granulats naturel par des granulats de faible densité donne des bétons légers de densités inférieurs à 1,9 kg/m3.

Les bétons les plus légers sont : B5 et B6. Il est à noter que le béton B6 contient une fraction de granulats naturels. Cela indique que l'obtention de légèreté dépend du volume et du type des granulats légers ainsi que de la quantité d'eau de malaxage.

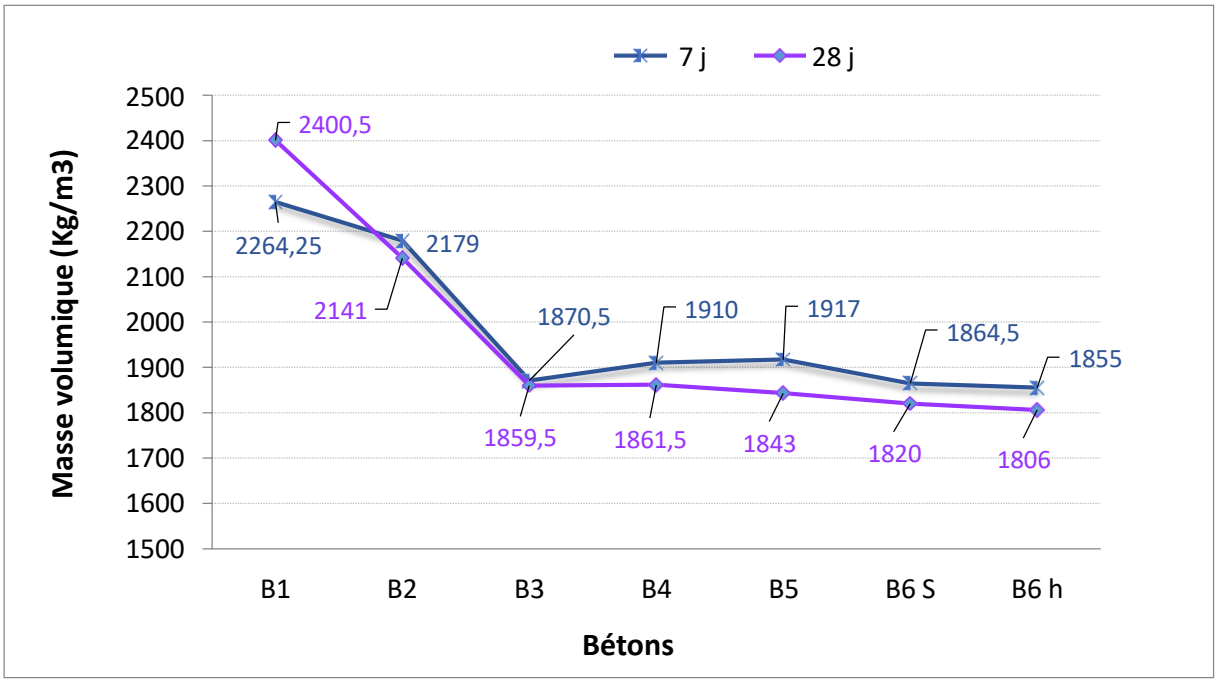


Figure III 3: Les masses volumiques des bétons mesurés à 7 et 28 jours

Résistance à la compression

Les résultats d'essai d'écrasement axial des éprouvettes cubique à l'âge de 7 et 28 jours sont présentés dans la Figure 3.4.

La résistance à la compression est généralement considérée comme la propriété la plus importante du béton. C'est un indicateur de la qualité du béton et est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée.

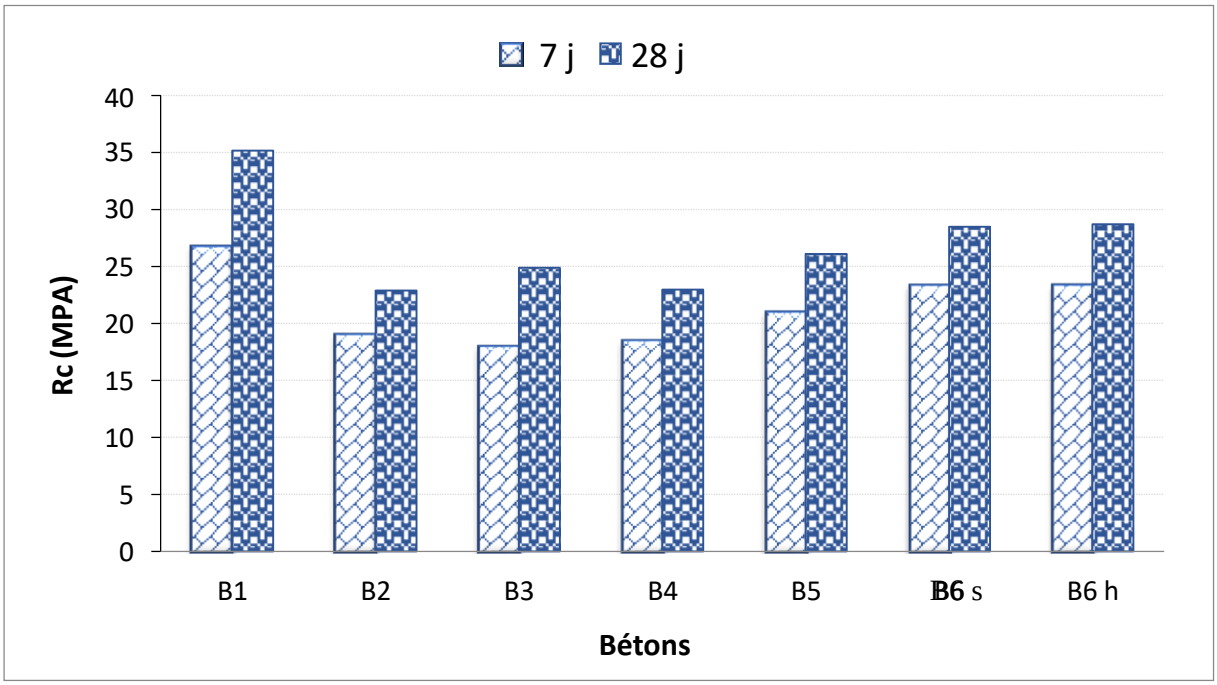


Figure III 4: la résistance à la compression des bétons

La substitution de 15 % de sable normal par polystyrène provoque une chute de résistance de 35% dans les bétons (à 28 jours) contenants des granulats naturels, cette chute diminue jusqu'à 7,6% dans la présence des granulats recyclés et légers (B4 par rapport à B3).

Les deux bétons B2 et B4 ont des rapports E/C différents ; 0,4 et 0,67 respectivement, mais ils ont les mêmes résistances. Cela, implique que le sable de brique de béton B4 à absorber 32.5% d'eau, et la présence de granulats naturels ou recyclés de faible densité et de bonne résistance (brique) n'a pas un effet négatif sur la qualité du béton.

Le béton B5 et B6 ont des résistances plus élevées par rapport aux autres bétons légers, sachant que les densités de ces bétons sont les plus faibles ; 1,84 et 1.8 respectivement.

Résistance à la traction

La résistance à la traction est également une propriété importante, surtout pour la conception structurelle et l'évaluation des fissures potentielles.

La comparaison entre les résistances des six bétons présentées par la Figure 3.5 montre que le remplacement d'une fraction volumique de sable par du polystyrène (B2 par rapport à B1, B4 par rapport à B3, et B6 par rapport à B5) et l'augmentation du rapport E/C (B3, B4) réduit la résistance à la traction. Et que la substitution de granulats naturels par granulats de brique

améliore la résistance à la traction du béton. En plus, il semble que la conservation des éprouvettes dans l'eau ou dans le papier de cellophane donne même résultats (B6).

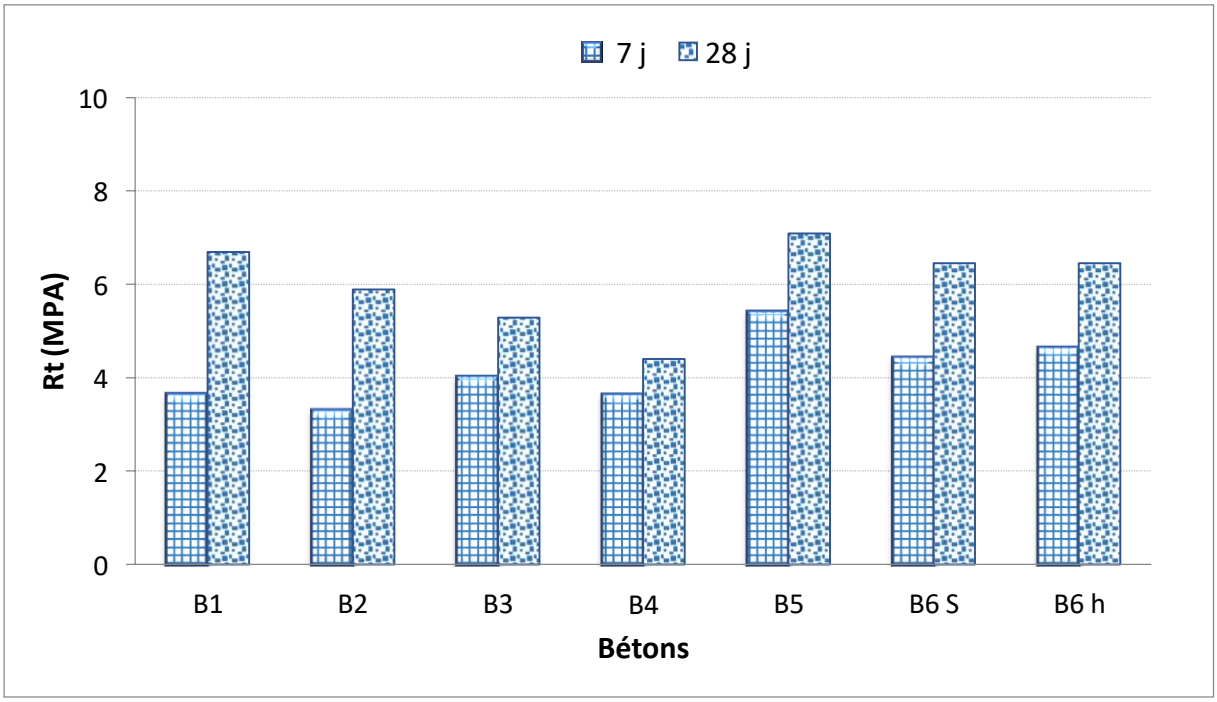


Figure III 5: Les résistances à la traction des bétons

Vitesse de propagation d'onde ultrasonique

La vitesse de propagation d'onde ultrasonique varie d'un béton à autre, elle déponde de plusieurs propriétés lies à la structure de la pâte de ciment, le volume et la qualité de granulats et l'eau dans la pâte. Les vitesses obtenues sur les bétons B1 et B2 sont plus élevées par rapport aux autres bétons. Par contre les plus faibles vitesses sont obtenues sur les bétons (B3 et B4) qui ont un rapport E/C élevé et composé de granulats de brique et d'argile.

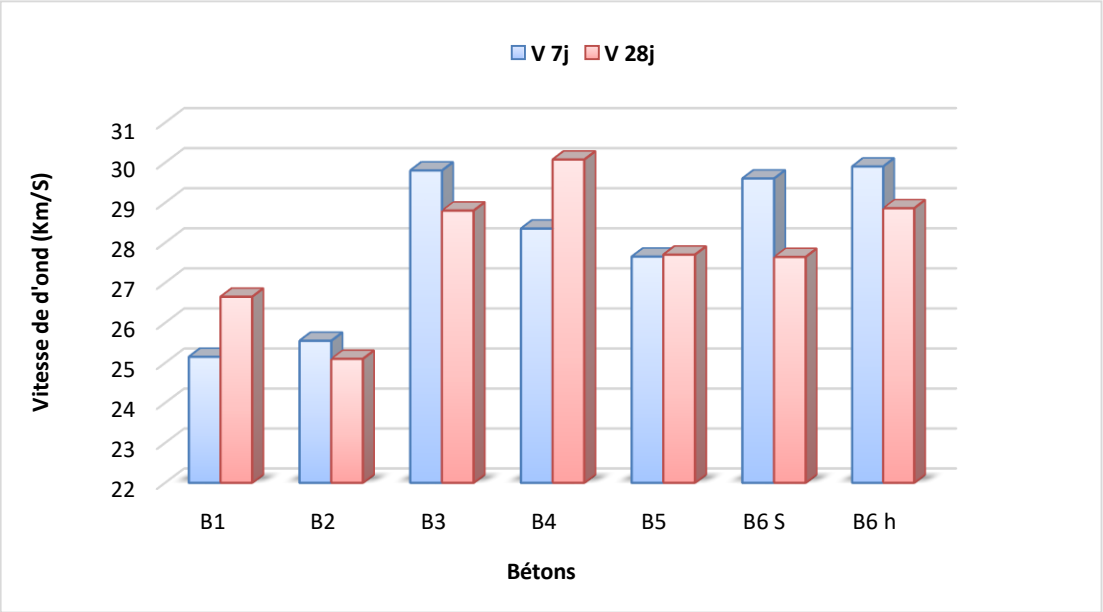


Figure III 6: Vitesse de propagation d'onde ultrasonique

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.

Les résultats de l'essai de porosité présentés dans la Figure 3.7 montrent que la substitution de 15% de volume de sable naturel par de polystyrène augmente la porosité du béton de 26,14% à 34,19%. Alors que le remplacement de la totalité de volume de gravier naturel classe 8/15 par 50% de pouzzolane et 50% de gravier de brique et le remplacement du gravier classe 3/8 naturel par argile provoque une diminution de la porosité d'environ 75%. Sachant que le rapport E/C est augmenté de 0,4 (B2) à 0,67 (B3). Cela peut être impliqué que le béton été saturé d'eau à cause de la saturation de sable de brique.

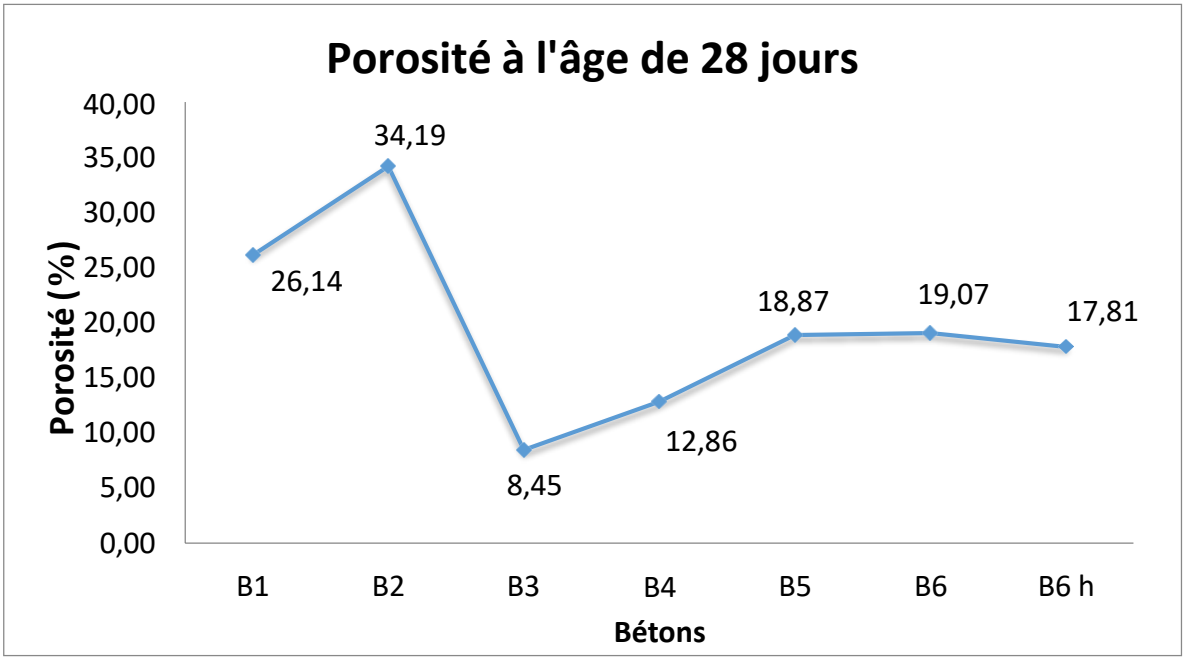


Figure III 7: Variation de la porosité en fonction de la composition de béton

Absorption

Les résultats du 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 3.8 .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.

Cette variété de l'absorption est due à la porosité capillaire de la pâte et les granulats.

Le plus faible degré d'absorption est observé sur les bétons composé de granulats naturel (B1 et B2), suivaient des bétons composés de 100% d'argile classe 3/8 (B3, B4 et B5). Entre ses trois bétons le degré d'absorption est inversement proportionnel au dosage de sable de brique. Pour le béton B6, la différence de dégréée d'absorption par rapport au béton témoin été importante. Il semble que la conservation humide favorise le degré d'absorption plus que la cure sec.

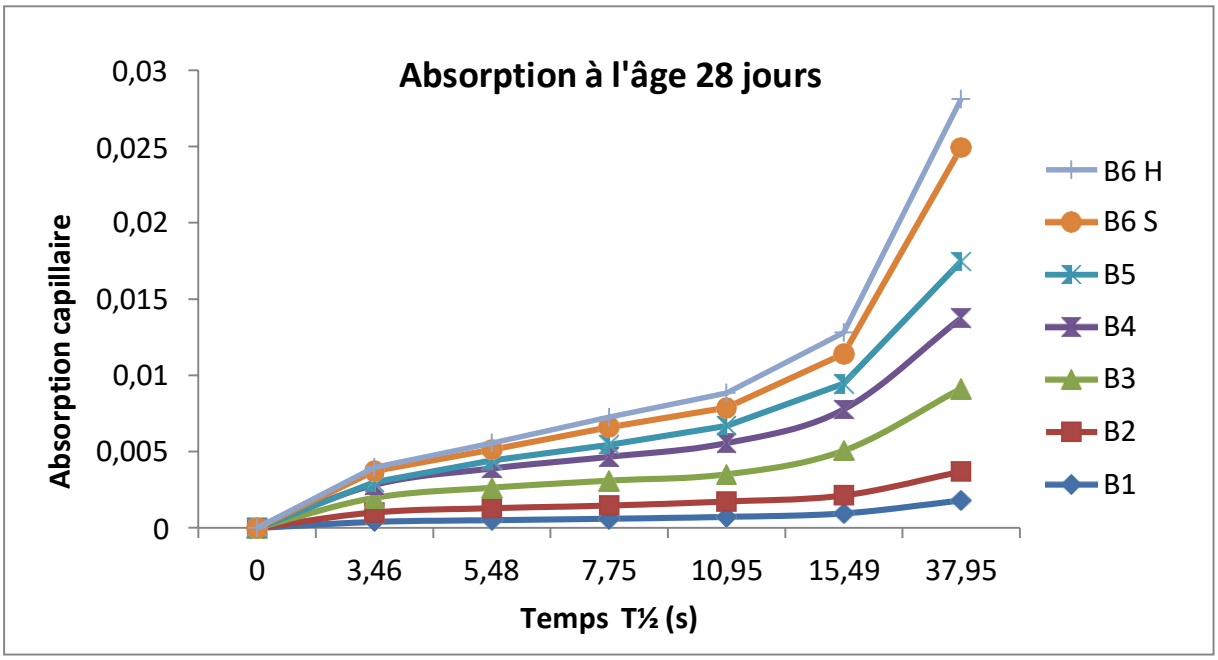


Figure III 8: Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton

Conductivité thermique

La conductivité thermique du béton dépend de la conductivité thermique des composants du béton. D'après les résultats présentés dans la Figure 3.9 on constate que la diminution de la conductivité thermique (λ) est inversement proportionnelle au dosage de granulats légers et les granulats recyclés (λ (Brique ; pouzzolane ; polystyrène ; argile) = (0.84 ; 0.2 ; 0.045 ; 0.84), c.-à-d. que l'augmentation du Taux de granulats poreux minimise la conductivité thermique. En plus la conservation du béton dans l'eau améliore l'isolation thermique. Donc de point de vue isolation thermique ; les bétons B3 et B6h sont les meilleures suivaient par les bétons B4 et B5.

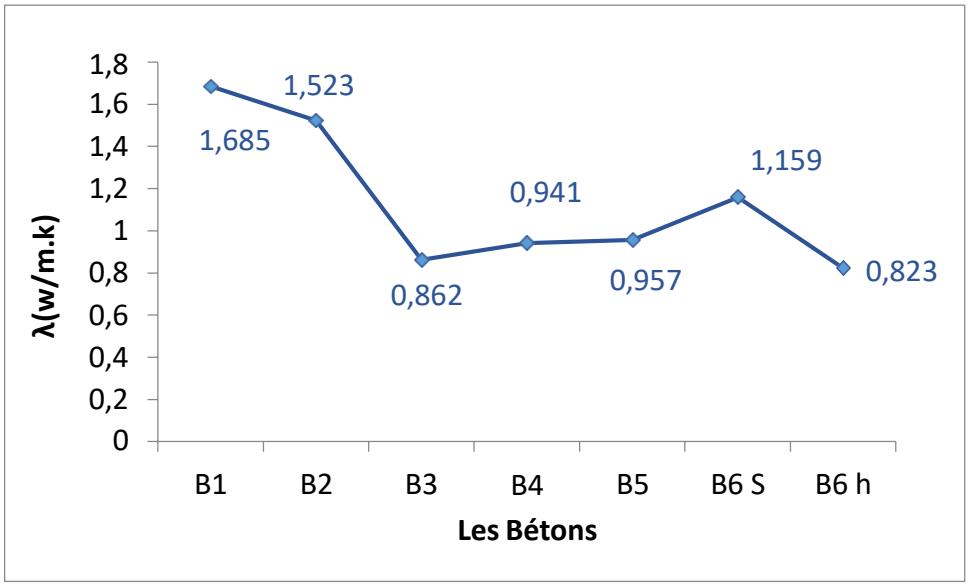


Figure III 9: La conductivité thermique des bétons

Perte en masse

La perte en masse est la différence entre les masses avant et après calcination estimé en pourcentage de la masse initiale.

Le développement de la perte en masse des bétons est présenté dans les deux figures 3.10 et 3.11, dont la première, la variation de la perte en masse obtenue sous quatre températures de calcination est présentée pour chaque béton. Dans le deuxième graphe, la perte en masse de chaque béton est tracée en fonction de la température de calcination.

A travers l'histogramme illustré dans la Figure 3.10, on remarque que les plus faibles pertes sont observées sur le béton B1 sous température 200°C et 400°C. Pour une température de 600°C la différence entre les pertes en masse n'est pas importante. Par contre à 800°C, nous avons remarqué que le béton B2 à perdue 18.75% de sa masse, suivi par le béton B1 de 17.33. Les plus faibles valeurs sont obtenues sur les bétons composés de brique et d'argile et conservé dans l'eau. A travers ces résultats nous pouvons conclure que la présence de granulats poreux saturés réduit la perte en masse sous l'effet de l'élévation de la température, et cela par réduction des fissures causées par dessiccation des matériaux.

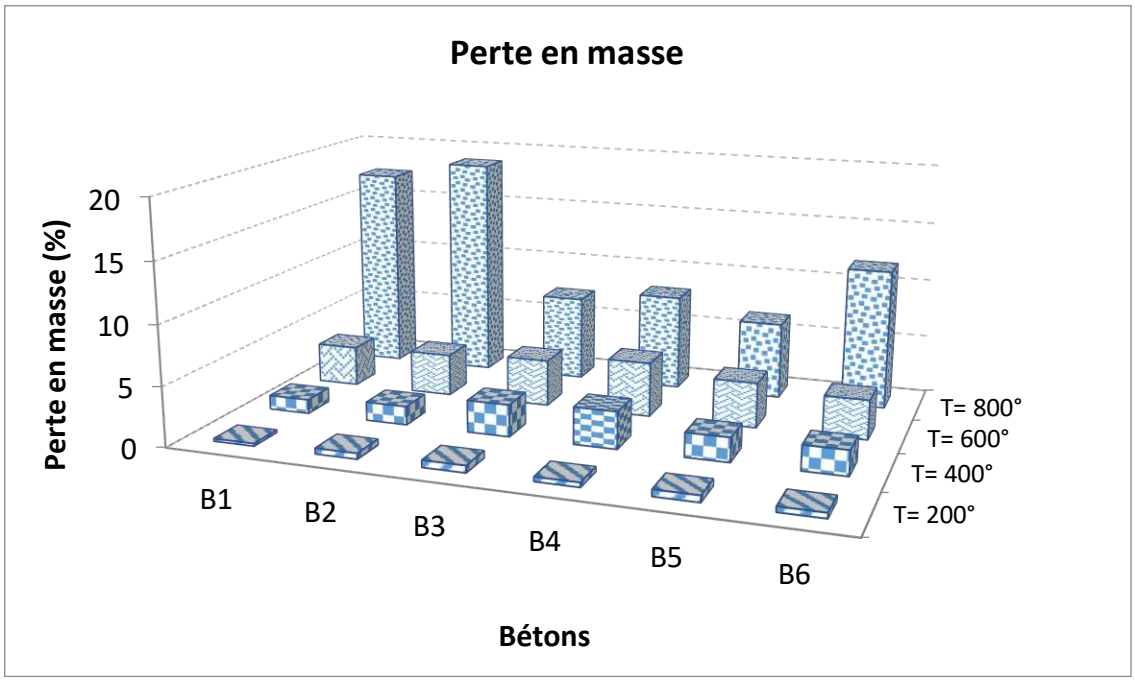


Figure III.10: La perte en masse des bétons sous différentes températures de calcination

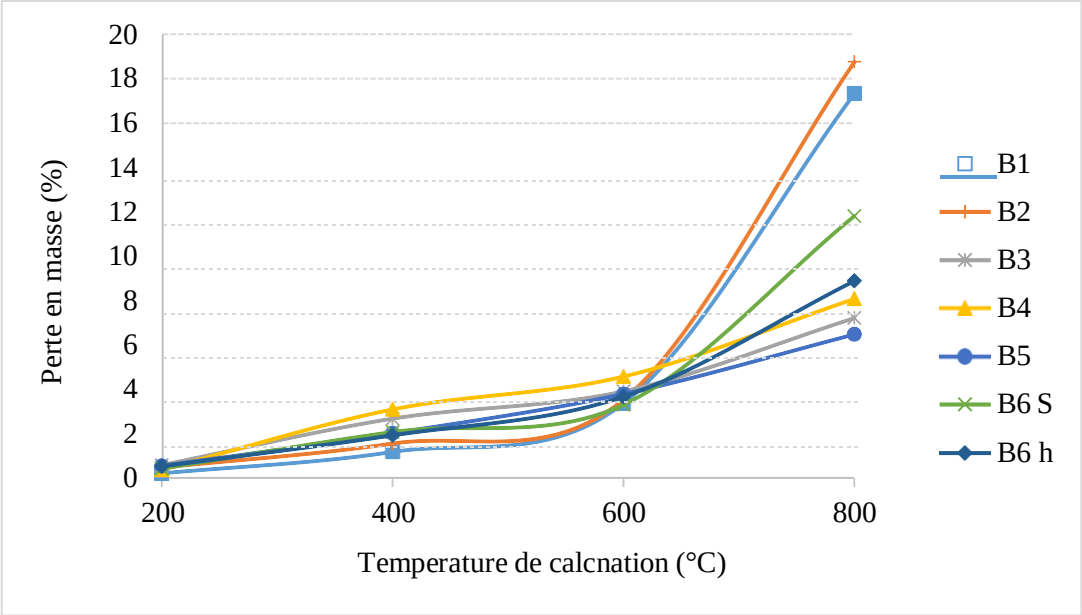


Figure III.11: Variation de la perte en masse de chaque béton en fonction de la température de calcination

Résistance au feu

A travers les résultats d'écrasement des éprouvettes calcinées sous différentes températures présentés sur le tableau 10 et par la Figure 3.12. On remarque que l'élévation de la température jusqu'à 400°C provoque une augmentation de la résistance à compression de tous les bétons à l'exception du béton B6 conservé dans l'eau où la résistance diminue avec l'augmentation de la température de four. Lorsque la température augmente à 600°C, seule les deux bétons B2 et B3 qui ont perdues beaucoup de résistance (50%) en comparaison avec le reste des bétons.

Tableau III.3: résistance au feu

BETONS	200 C °	400 C °	600 C °	800 C °
B1 (MPa)	**23,665**	**38,68**	**30,82**	**5,46**
B2 (MPa)	**17,485**	**26,67**	**16,92**	**0,99**
B3 (MPa)	**23,145**	**25,91**	**12,02**	**8,3**
B4 (MPa)	**24,7**	**30,74**	**25,47**	**9,2**
B5 (MPa)	**30,97**	**31,11**	**27,48**	**9,39**
B6 S (MPa)	**35,2**	**40,7**	**22,89**	**8,35**
B6 h (MPa)	**36,87**	**26,33**	**24,25**	**10,76**

Lorsque la température de four dépasse 600°C on remarque une dégradation des propriétés mécaniques de tous les bétons. Le degré de dégradation varie d'un béton à autre.

La comparaison entre les six bétons montre que l'excès d'eau, la présence de polystyrène ont un effet négative sur la résistance au feu. Par contre la présence de granulats d'argile et de brique améliore cette résistance.

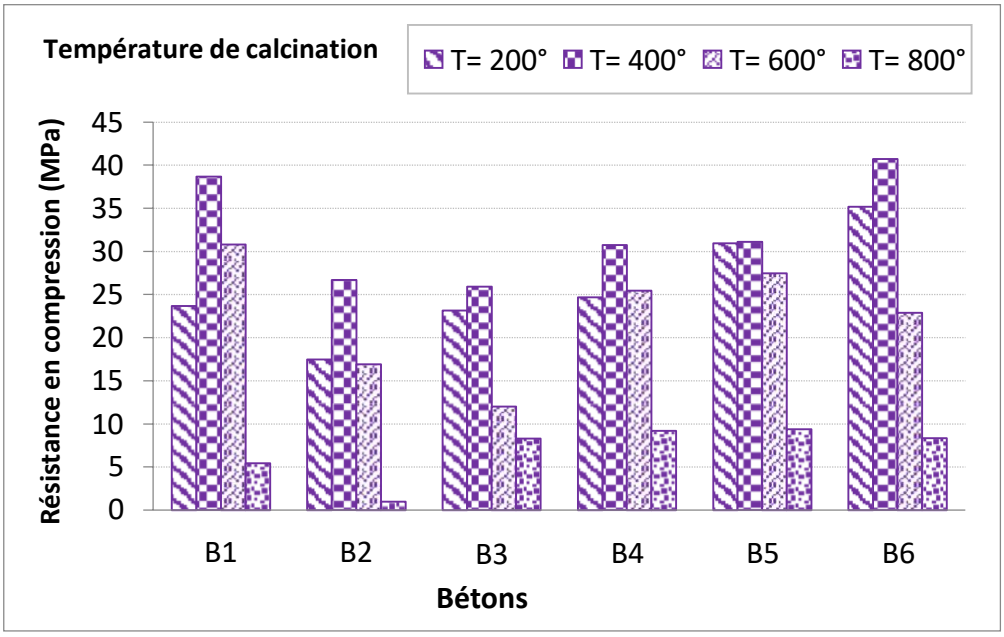


Figure III.12: Résistance à la compression des bétons mesurés après calcination sous différentes températures

Conclusion

CONCLUSION

Notre étude expérimentale a été de formuler un béton à base des granulats recyclés et granulats légers, et analyser leurs effets sur les propriétés physiques, rhéologique, mécaniques ainsi que la durabilité.

Il s'agit de montrer les potentialités de valoriser le déchet de brique, en vue de développement d'un matériau léger de construction mécaniquement et thermiquement performant, et répondant aux exigences d'économie d'énergie et de développement durable.

Afin d'atteindre cet objectif, on a subdivisé ce travail en deux volets : le premier écologique, par la récupération de déchet encombrant et menaçant l'environnement. Le deuxième volet consiste en l'allègement de la pâte optimale par l'incorporation de différentes proportions des granulats de d'argile expansé et de polystyrène en vue d'améliorer les performances d'isolation thermiques sans réduction notable des propriétés physique et mécanique du béton.

Les résultats de cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- L'ajout de polystyrène dans le Béton B2 a conduit à une augmentation de l'affaissement.
- La substitution du sable naturel par le sable recyclé de brique provoque une perte d'ouvrabilité. Plus le taux de substitution augmente et plus la perte de fluidité augmente aussi.
- Les bétons les plus légers sont : les bétons contiennent une fraction de granulats naturels.
- Le béton B5 et B6 ont des résistances plus élevées par rapport aux autres bétons légers, sachant que les densités de ces bétons sont les plus faibles ; 1,84 et 1.8 respectivement.
- la substitution de granulats naturels par granulats de brique améliore la résistance à la traction du béton.
- Les vitesses obtenues sur les bétons B1 et B2 sont plus élevées par rapport aux autres bétons.
- la substitution de 15% de volume de sable naturel par de polystyrène augmente la porosité du béton de 26,14% à 34,19%.
- Le plus faible degré d'absorption est observé sur les bétons composé de granulats naturel (B1 et B2), suivaient des bétons composés de 100% d'argile classe 3/8 (B3, B4 et B5).

Conclusion

- le point de vue isolation thermique ; les bétons B3 et B6h sont les meilleures suivaient par les bétons B4 et B5.
- les plus faibles pertes sont observées sur le béton B1 sous température 200°C et 400°C.
- la présence de polystyrène ont un effet négative sur la résistance au feu. . Par contre la présence de granulats d'argile et de brique améliore cette résistance.

La formulation d'un béton léger de structure demande :

- le choix d'une combinaison de granulats pour assurer la légèreté et la résistance.
- Utilisation de granulats recyclés pour améliorer la légèreté sans réduction notable de la résistance
- Minimiser le rapport E/C
- Utilisation des super plastifiants.
- Chois d'un bon liant pour augmenter la résistance

Références Bibliographiques

Référence

Référence

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

[2] https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/techniques-du-batiment-construire-en-beton-arme-43805210/les-granulats-legers-tba1112/les-principaux-granulats-legers-sl5631343.html

[3] https://www.infociments.fr/betons/caracteristiques-et-types-de-granulats

[4] https://www.lafarge.fr/granulats-legers

[5] F. Debieb, "valorisation des déchets de briques de démolition comme agrégats de béton , Mémoire de Magister," Université Saad Dahleb Blida, 2000.

[6] A. Grondin, " Valorisation des granulats recyclés de béton: étude des caractéristiques physiques et mécaniques des bétons de granulats recyclés de béton. Thèse de Doctorat," INSA de strasbourg, 2011.

[7] M. Oumaza and I. Temar, "Comportement d'un mortier autoplaçant à base de fines de déchet de brique, Mémoire de Master," Université Saad Dahleb Blida, 2020.

[8] N. Bourmatte, "Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, Thèse de Doctorat," Université Des Frères Mentouri Constantine, 2017.

(C & D) ; construction et démolition

[9] Utilisation des granulats de verre dans la fabrication des bétons architecturaux "cas des briques en bétons"

[10] M. Si-Ahmed, "Formulation et comportement d'un béton fluide à base de granulats recyclés de brique, Thèse De Doctorat," Université Saad Dahleb Blida, 2018.

[11] http://www.guidebeton.com/beton-leger

[12] http://thesis.univ-biskra.dz/2652/1/M%C3%A9moire_GC_2010.pdf

[13] Les propriétés du béton léger - Matériauthèque

[14] Variation de la porosité en fonction de la composition de béton

Référence

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

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

[17] Compositions de béton: Application de la méthode Faury

[18] Laidi Wissam et Ben Yahia Nesrine 'Elaboration d'un composite à base de granulat léger ''Thèse de Master, Université Dr. Yahia Farés de Médéa

[19] [NA442]. Normes Algérienne : "Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants", 1994, 2000.

[20] [NF EN -1008] "Eau de gâchage pour bétons Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton", (2003) Indice de classement : P 18-211.

[21]. [NF P 15-476] ; Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments Détermination de la finesse », Aout 1990

[22]. **NF EN 993 – 8** , 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR

[23] 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.

[24] (NF P 18-560), "Granulats - Analyse granulométrique par tamisage", AFNOR, (1990)

[25] NF P 18-555 "Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables", AFNOR, (1990)

[26] P 18 – 573 "Granulats - Essai Los-Angeles", AFNOR, (1990).

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

Référence

[28] 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.

[29] NF EN 1907-3 , "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie3: Détermination de la Masse volumique apparente", AFNOR, (1996)

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

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

[32] NF P18-422 : «Bétons-Mise en place par aiguille vibrante», Décembre 1981

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

[34] NFP 18-406 Essai de traction par flexion

[35] [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.

[36] Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « Durabilité des bétons », Toulouse, France.

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

[38] ISO 834 Essai de résistance au feu - Éléments de construction - Partie 1: Exigences Générales, 1999

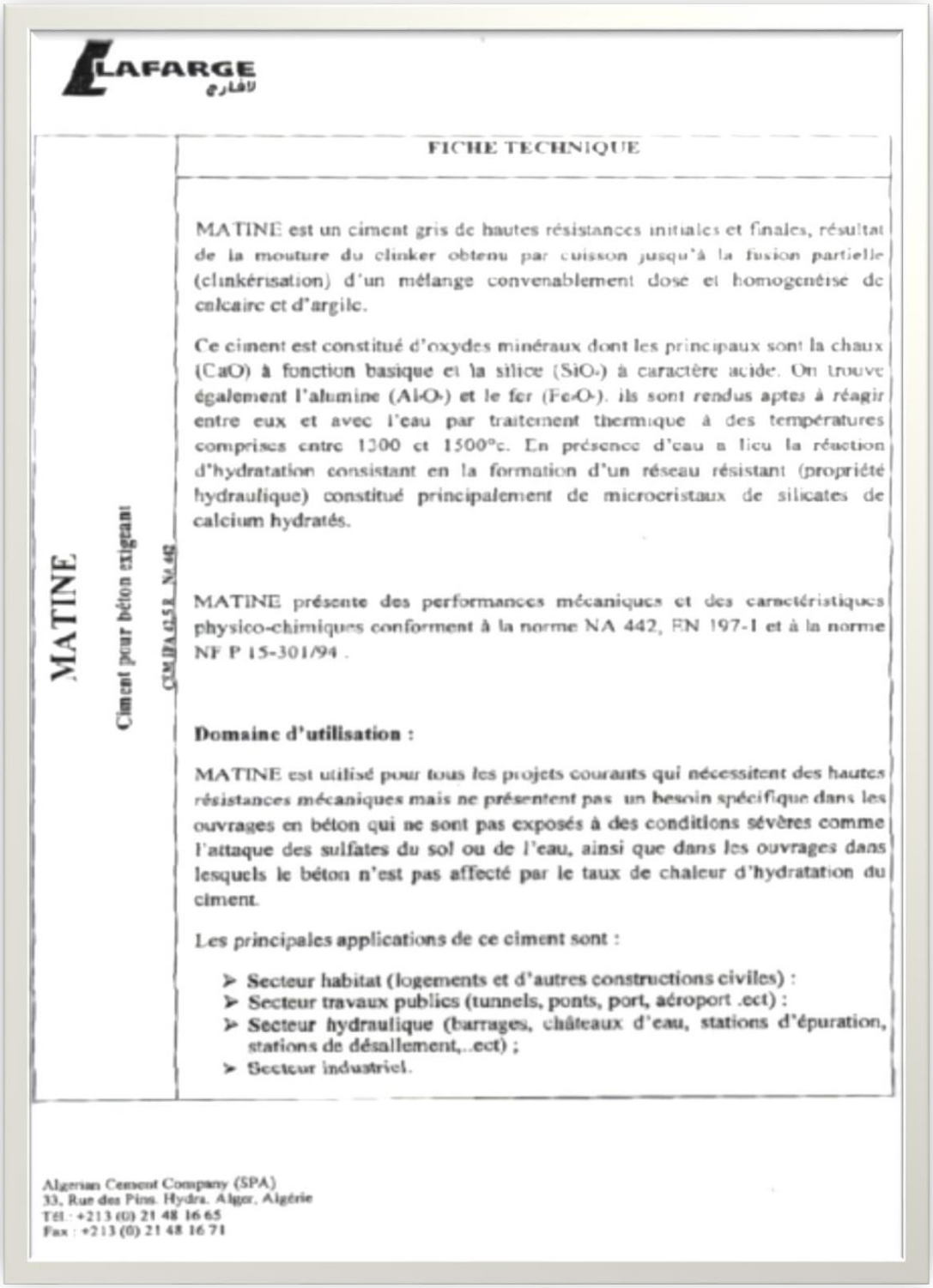
[39] La norme EN 206 Présentation de la nouvelle norme béton NF EN 206-1 - PILES

[40] la norme ACI 213R Guide pour le béton de structure à base de granulats légers, T.A.C Approval Draft, American Concrète, Institue ACI commette 213.

[41] Kass J.L et Compbell D, en Australie

Annexes

Annexe A : Fiche technique de ciment



LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A-L 52,5 R - NA 442

FICHE TECHNIQUE

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 microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes 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 courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas 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 .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

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

Annexe B : Fiche technique de medaflow145

NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 145

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

Super plastifiant–Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.
Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... brai clair
- pH ..... 5 – 6
- Densité ..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec ..... 30±1.5%

PROPRIETES ET EFFETS

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

Sur béton frais :

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

Sur béton durci :

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

DOMAINES D'APPLICATION

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR** .

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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

Délai de conservation :

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

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

قرانيتكس
GRANITEX

Zone industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

86