REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux en génie civile

Thème :

Etude des propriétés physico-mécaniques des composites écologiques applications sur les bétons allégés par les billes de PSE et les grains de liège

Présenté par
Zitouni Mohamed
Kherrar Ouarda

Proposé et Dirigé par
Herihiri Ouided

Promotion Juin 2019

Remerciement

Nahmed Allah qui nous a inspiré la patience et la capacité d'achever ce travail.

Je remercie vivement mon encadreuse Pro : HERIHIRI OUIDED.

Je remercie aussi les responsables du laboratoire de génie civil pour leur aide.

Notre profonde gratitude s'adresse à tout le personnel du département du Génie civile et l'ensemble des enseignants qui en font partie.

Et nous n'oublions certainement pas nos parents nos amis ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

Dédicace

Je dédié ce lapidaire travail :
À mes très chers parents qui m'ont de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soute nu durant toute ma vie, et Mon père qui a sacrifié toute sa vie.
Merci mes parents
À mes très chers frères et sœurs. À tous mes amis et mes collègues.
En fin, je remercie mon binôme OUARDA qui a Contribué bué à la réalisation de ce Modeste travail.

Mohamed

Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère Mère e t à mon cher Père RAHIMAHO Allah, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifié es illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.

A mon frère : ABD ELHAMIDE

A ma sœurs : IMANE

A mes grand-mère : ZAHWA ET grand père : LAMOURI RAHEMAHO ALLAH

A toute la famille : SEBESI-KHERRAR

Je remercie mon binôme MOHAMED qui a contribué à la Réalisation de ce modeste travail.

A tous mes Amie, et mes collègues,

A tout la promotion de G.C 2019

OuARDA

ملخـــص

فـــي مجـــال البنـــاء ، تركـــز الأبحـــاث الحاليـــة علـــى إنتـــاج المـــواد البيئيـــة والاقتصـــادية مـــن أجـــل تحقيـــق التنميـــة المســـتدامة. تلبـــي الخرســـانة الخفيفـــة المتطلبات الاقتصادية والإيكولوجية.

إيكولوجيـــا مـــن خـــلال المحافظـــة علـــى الركـــام الطبيعـــي أمـــام الطلـــب القـــوي فـــي مجـــال البنـــاء. فيمـــا يتعلـــق بالاقتصـــاد ، فـــإن خفيـــة بعـــض عناصـــر البنـــاء ســـيؤدي إلـــى نقـــص الـــوزن الـــذاتي لهـــذه الأخيـــرة، وبالتـــالي تحســـن فـــي التصميم من ناحية. من ناحية أخرى الحد من استهلاك الطاقة.

تهـــدف دراســـتنا إلـــى صـــياغة وتوصـــيف الخرســـانة الخفيفـــة ، هـــذه الخفيـــة تحقـــق مـــن خـــلال اســـتبدال الركـــام العـــادي بالركـــام الخفيـــف. المتمثـــل فـــي: كريـــات البوليســـترين الموســـع وحبيبـــات الفلـــين. تكشـــف النتـــائج التـــي تـــم الحصـــول عليهـــا عـــن الفائـــدة الملحوظـــة بخصـــوص اســـتخدام الركـــام الخفيـــف، علـــى وجـــه الخصـــوص فـــي تحســـين الأداء الحـــراري للمركبـــات المنتجـــة. رغـــم أنـــه تـــم تســـجيل انخفـــاض كبيـــر فـــي القـــوة الميكانيكيـــة كلمـــا كانـــت نســـبة الركـــام الخفيف كبيرة.

الكلمـــات المفتاحيـــة : الخرســـانة الخفيفـــة، كريـــات البوليســـترين الموســـع، حبيبات الفلين، الخواص الفيزيوميكانيكية و التوصيل الحراري.

Résumé

Dans le domaine de la construction, les recherches actuelles visent la production des matériaux écologiques et économiques afin de parvenir au développement durable. Le béton de granulats légers répond aux doubles exigences économiques et écologiques

Ecologiquement par la conservation des granulats conventionnels devant la forte demande dans le domaine de construction. En ce qui concerne l'économie, l'allégement de certains éléments de construction va entraîner un gain de poids, alors une amélioration de la conception d'une part. D'autre part c'est la réduction de la consommation énergétique.

Notre étude a pour objectif, la formulation et la caractérisation d'un béton léger, l'allégement réalisé à travers la substitution de granulats ordinaires par des granulats légers. Ces granulats sont : les billes de polystyrène expansé et les grains de liège. Les résultats obtenus révèlent l'intérêt remarquable de la spécificité d'allégement des granulats légers, notamment, dans l'amélioration des performances thermiques des composites élaborés. Néanmoins, il a été enregistré une chute considérable de la résistance mécanique en fonction du dosage en granulats légers.

Mots Clés: Béton léger, polystyrène expansé, grains de liège, propriétés physico-mécaniques et conductivité thermique

Abstract

In the field of construction, current research focuses on the production of environmentally friendly and economical materials in order to achieve sustainable development. Light aggregate concrete meets dual economic and ecological requirements.

Ecologically by conserving conventional aggregates in the face of high demand in the construction industry. As far as the economy is concerned, the lightening of certain construction elements will lead to a weight gain, so an improvement in the design on the one hand. On the other hand, it is the reduction of energy consumption.

The objective of our study is the formulation and characterization of a lightweight concrete, the lightening achieved through the substitution of ordinary aggregates with light aggregates. These aggregates are: expanded polystyrene beads and cork grains. The results obtained reveal the remarkable value of lightweight aggregates in improving the thermal performance of the composites. Nevertheless, there has been a considerable drop in mechanical strength as a function of the light aggregate assay.

Keywords : Lightweight concrete, Polystyrene beads, The grains of cork, physico-mechanical properties and thermal conductivity.

Sommaire

Remerciement

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Revue bibliographique sur les bétons légers

I.1. Introduction…… 16
I.2. Granulats légers.....16
I.2. 1. Porosité et densité des bétons et granulats légers 16
I.2. 2. Fabrication des granulats légers.....17
I.2. 3. Absorption d'eau des granulats légers :.....18
I.2.4. Différents types de granulats légers disponibles sur le marché :.....19
I.3 bétons légers…….. 22
I.3.1. Les propriétés des bétons légers 24
I.3.1.1. La porosité 24
I.3.1. 2. La légèreté 24
I.3.1. 3. La sensibilité à l'eau 25
I.3.1.4.La résistance à la compression des bétons légers 25
I.3.1.5. Propriétés élastiques des bétons légers.....26
I.3.1.6. La masse volumique 27
I.3.1.7. La durabilité.....27
I.3.1.8. La rhéologie à l'état frais 27
I.3.2.Le dosage 28
I.3.2.1. Les Principes de dosage.....28
I.3.2.2. Les méthodes de dosage 28
I.3.3. Classification du béton léger.....29
I.3.4.La nature de l'ouvrage 30
I.3.4.1. Le béton léger structural 30
I.3.4.2.Le béton léger architectural 31
I.3.5.Domaine d'utilisation.....31
I.3.5.1des bétons d'isolation pure, non porteurs 31
I.3.5.2.des bétons porteurs et isolants 31
I.3.5.3.des bétons légers de structure 32
I.4. Conclusion …….32

Chapitre II : Matériaux et Essais

II.1. Introduction ……..35
II.2 Matériaux utilisés.....35
II.2.1 Les sables.....35
II.2.2 Polystyrène expansé 38
II.2.3 Gravier.....39
II.2.4 Granulats de liège 8/16.....41
II.2.5 Ciment 42
II.2.6 Eau de gâchage 43
II.2.7 : Confection des éprouvettes.....43
II.3.Formulations ……...43
II.3.1. Méthode de Dreux-Gorisse.....43
II.4.Essais ……...44
II.5. Confection des éprouvettes.....44
II.5.2Mode opératoire.....45
II.6.Méthodes d'essai sur béton.....46
II.6.1. Béton frais.....46
II.6.1.1.Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....46
II.6.2. Béton durci : 47
II.6.2.1. La masse volumique :.....47
II.6.2.2.Résistance à la compression Rc : 48
II.6.2.3.Vitesse des ondes soniques, NF EN 12504-4.....49
II.6.2.4.Essais d'absorption d'eau par capillarité.....49
II.6.2.5 La conductivité thermique [92].....50
II.6.2.6 La porosité [83].....51
II.7.Désignation des bétons.....51

Chapitre III : résultats et interprétations

III.1.intruduction …….....53
III.2.1. L'ouvrabilité du béton.....53
III.2.2.Masse volumique à l'état durci 54
III.2.3. Résistance à la compression.....55
III.2.4.Vitesse des ondes soniques 56
III.2.5. Porosité.....57
III.2.6. Absorption capillaire.....58
III.2.8. Classification des composites.....60
Conclusion générale
Référence bibliographie
Annexe

Liste des tableaux

Chapitre I : Revue bibliographique sur les bétons légers

Tableau I. 1.Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [1]. 29
Tableau I. 2.Classification des bétons légers en Fonction De la densité [11]. 29

Chapitre II : Matériaux et Essais

Tableau II. 1: Analyse granulométrique sable de bougezoul (Norme NF EN 933-1).....36
Tableau II. 2. Analyse granulométrique sable de concassage (Norme NF) EN 933-1). 37
Tableau II. 3.Caractéristiques physiques des sables.....38
Tableau II. 4.propriétés physiques de gravie.....40
Tableau II. 5.Analyse granulométrique de gravie, fraction 3/8.....40
Tableau II. 6.Analyse granulométrique de gravie, fraction 8/16.....40

Liste des figures

Chapitre I : Revue bibliographique sur les bétons légers.

Figure I. 1Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après short et kinniburgh.....16
Figure I. 2Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés(Arg) et de cendres volantes frittées (Cv), granulats 4/8 mm, densité apparente ρg ; d'après Zhang &Gjorv.....18
Figure I. 3.Les argiles expansées.[15].....19
Figure I. 4.Schistes expansés. [15].....19
Figure I. 5.Laitier expansé.[15].....20
Figure I. 6 .Pierre ponce.[15].....20
Figure I. 7.Pouzzolane.[15].....20
Figure I. 8 Perlite. [15].....21
Figure I. 9 Vermiculite.[15].....21
Figure I. 10.Billes De Polystyrène. [16].....21
Figure I. 11. Granulats De Liège. [17].....22
Figure I. 12.Les types des bétons légers [20].....23
Figure I. 13Variation de la porosité en fonction de la composition de béton [26].....24
Figure I. 14. Evolution de la masse volumique en fonction de dosage en liège.[28].....25
Figure I. 15.Histogramme de comparaison des contraintes maximales de compression uni-axiale pour éprouvettes sèches à base de billes de polypropylène enrobées et non enrobées [20].....26
Figure I. 16Courbe de contrainte – déformation pour les cylindres en béton léger ;[Bouaziz .s & Ait Tahar .k][24.....26
Figure I. 17.Variation de la masse volumique à l'état frai en fonction de la composition de béton[26].....27

Chapitre II : Matériaux et Essais

Figure II. 1.sable de bougezoul 35
Figure II. 2 sable de concassage. 36
Figure II. 3La courbe granulométrique des sables utilisé. 37
Figure II. 4Les billes de polystyrène PSE. 39
Figure II. 6 Gravie 8/15. 39
Figure II. 5Gravie 3/8. 39
Figure II. 7: Analyse granulométrique des granulats (GN 3/8, GN 8/15 et sable)-méthode de Dreux.G 41
Figure II. 8Granulats de liège 8/16. 41
Figure II. 9Ciment CPJ - CEM II/B 42,5 42
Figure II. 10.Présentation des éprouvettes. 44
Figure II. 11 béton à base des granulats de liège et polystyrène expansé 45
Figure II. 12Le malaxage des bétons au laboratoire. 45
Figure II. 13Essai d'affaissement au cône d'Abrams. 46
Figure II. 14Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. 46
Figure II. 15.La balance. 47
Figure II. 16.Essai de compression sur cube de (10x10x10) cm. 48
Figure II. 17.Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. 48
Figure II. 18.l'éprouvette après la compression. 48
Figure II. 19.La mesure de vitesse des ondes à l'aide d'ultrason. 49
Figure II. 20Absorption d'eau par succion capillaire. 50
Figure II. 21.Le CT-METRE. 50
Figure II. 23.Mesure de la porosité accessible à l'eau. 51

Chapitre III : Résultats et Interprétation

Figure III. 1.Variation de l'affaissement en fonction de la composition de béton. 53
Figure III. 2.Variation de la masse volumique à l'état durci en fonction de la composition de béton 54
Figure III. 3.Variation de la résistance à la compression en fonction de la composition de béton. 55
Figure III. 4. Variation de la vitesse des ondes soniques en fonction de la composition de béton 56
Figure III. 5.Variation de la porosité en fonction de la composition de béton. 57
Figure III. 6. Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton. 58
Figure III. 7. Variation de la conductivité thermique en fonction de la composition de béton 59

Liste des Notation

Rc : La résistance a compression.
BT : béton témoin.
B (PSE-25) (L-25) : béton avec polystyrène expansé et liège (25 %)
B (PSE-50) (L-50) : béton avec polystyrène expansé et liège (50 %)
B (PSE-75) (L-75) : béton avec polystyrène expansé et liège (75 %)
B (PSE-100) (L-100) : béton avec polystyrène expansé et liège (100%)
CPJ : Ciment **- CEM II/B 42,5**
WA : taux d'absorption

λ : La conductivité thermique

ε : La porosité

Introduction Générale

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allégement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique. En effet, le gain de poids, qui peut être plus ou moins important selon le type de béton, entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges et conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre.

Une des voies d'allégement et l'amélioration du pouvoir d'isolation envisageables pour le béton est le remplacement d'une fraction des granulats habituels, qui constituent environ les 3/4 de la masse du béton, par des granulats plus légers, naturels ou artificiels.

L'objet de notre travail est de réaliser, caractériser un béton léger composite, obtenu en substituant une fraction optimale des granulats naturels par des granulats léger artificiel ou naturelle (les billes de polystyrène et les grains de liège).

Le travail est réparti sur trois chapitres :

Dans le premier chapitre sont présentés les travaux intéressant les bétons légers et l'état actuel des connaissances dans le domaine.

Le second chapitre est consacré à la procédure d'essai qui consiste à présenter les caractéristiques des matériaux utilisés, l'analyse granulométrique, la technique d'utilisation des billes de polystyrène et grains de liège dans le béton ainsi que la confection des éprouvettes de béton témoin.

Le troisième chapitre est dédié à la présentation la discussion et l'interprétation des résultats des différents essais réalisés (compression uni axiale des éprouvettes et traction par flexion, ….). La caractérisation du comportement mécanique a été effectuée par approche expérimental au niveau du laboratoire pédagogique béton du département de génie civil de l'université Yahia farés de Médéa.

La conclusion permet enfin, de récapituler les principaux résultats obtenus lors de l'élaboration, les résultats des essais réalisés.

Chapitre I

Revue Bibliographique

I.1. Introduction

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allégement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique. On retrouve ainsi, le verre expansé [Tasserie 1991] [1], le polystyrène [Vénuat 1983] [2]ou encore les granulats de bois [Ouadi 1991] [3].

I.2. Granulats légers

Les bétons de granulats légers sont généralement classés suivant l'origine du granulat utilisé, ainsi on distingue 04 types :

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

I.2. 1. Porosité et densité des bétons et granulats 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 (bétons de granulats légers). La figure I.2 illustre ces trois types de béton [Short et Kinniburgh, light weight concrete, CR books, 1968] [4] .

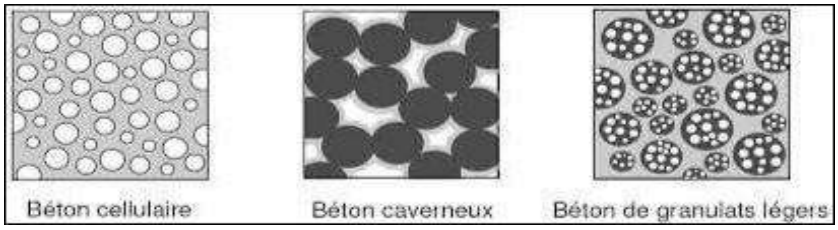


Figure I. 1Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après short et kinniburgh

Les granulats allégés par expansion ou frittage, reste utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les USA, aussi bien dans la France ; ils ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressantes. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P18-309) et le laitier expansé (NF P18-307) ; d'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m^3 selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Un gain de poids intéressant puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m^3.

Les granulats très légers sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers de masse volumique variable entre 20 et 100 kg/m^3 ; ils permettent de réaliser des bétons de 300 à 600 kg/m^3 ; on voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles ou rechargement sur planchers peu résistants.

I.2. 2. Fabrication des granulats légers

Les procédés de fabrication usuels des granulats légers artificiels à base de matières premières naturelles (argile, schiste, ardoise) ou de sous produits industriels (laitiers, cendres volantes) ; sont l'expansion en four rotatif ou la cuisson sur grilles [Arnould et Virlogeux, granulats et bétons légers, 1986, presse de l'école nationale des ponts et chaussées][5]. L'expansion est alors générée par la formation d'un gaz à l'intérieur du matériau en fusion (entre 1000 et 1300°c) ; la structure poreuse est alors conservée par le refroidissement rapide du matériau. Ces granulats peuvent être obtenus par le concassage des masses expansées ou par préformage vant l'expansion (moulage et déchiquetage de l'argile, pulvérisation des schistes et de l'ardoise, frittage des cendres volantes). Le moulage et le frittage permettent d'obtenir des granulats de forme sphérique (granulat bouleté ou roulé).

Le laitier liquidé à 1450°c, est fabriqué sans opération de concassage ni préformage ; il est alors projeté dans l'atmosphère au moyen d'un tambour rotatif tandis que des jets d'eau assurent l'expansion des particules en fusion [Malhotra 1989] [6].Ces granulats manufacturés sont à l'heure actuelle les meilleurs granulats pour la fabrication des bétons légers de structure. On préfère toutefois les granulats roulés aux granulats concassés car leur forme arrondie et leur plus faible absorption d'eau améliorent les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons légers [Ke ,Beaucour ,Ortola , Dumontet, Cabrillac, 2009, comportement mécanique des bétons de granulats légers][7][8][9].

I.2. 3. Absorption d'eau des granulats légers

Les granulats légers sont caractérisés par une très grande porosité (entre 25 et 75% du volume apparent). La taille et la distribution des pores influencent la résistance des granulats, mais déterminent surtout leurs propriétés d'absorption (taux d'absorption et absorption totale). Les données de la littérature montrent que le taux d'absorption d'eau des granulats légers artificiels est très élevé, plus de 50% de l'absorption dès les toutes premières minutes [Zhang &Gjorv;1990] [10] voir figure I.2 ci-dessous.

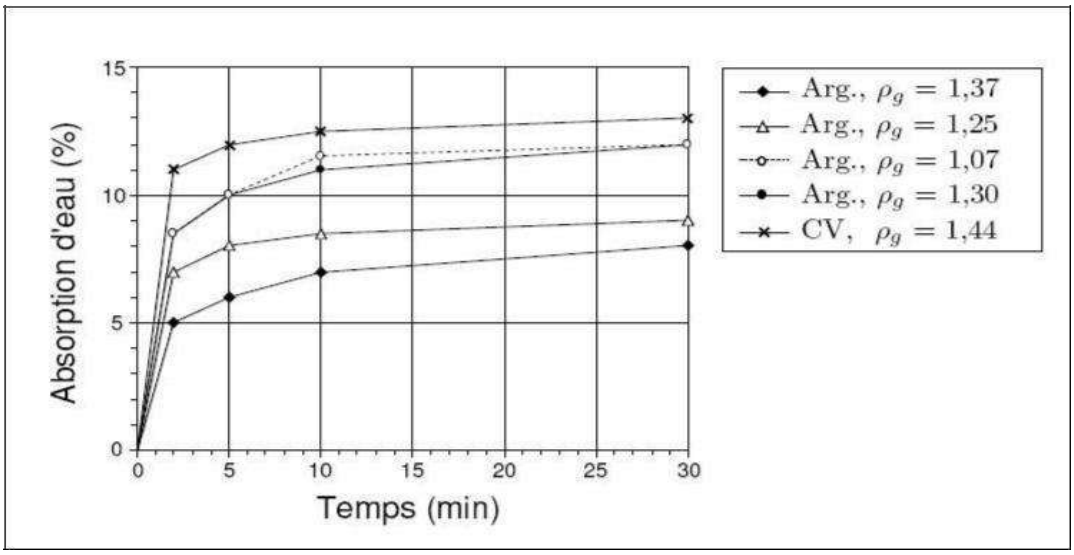


Figure I. 2Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés(Arg) et de cendres volantes frittées (Cv), granulats 4/8 mm, densité apparente ρg ; d'après Zhang &Gjorv

Par ailleurs, la porosité des granulats légers varie proportionnellement à la taille des grains. Par conséquent, plus la taille des granulats diminue, moins ils sont poreux et plus leur densité apparente augmente. Les cendres volantes frittées, sont les plus absorbantes comparativement à l'argile expansée ; étant donné l'interconnexion plus élevée entre les pores. Le problème qui se pose lorsqu'on fabrique un béton avec des granulats légers est qu'une quantité importante d'eau de gâchage peut être absorbée par les granulats légers. L'effet sur l'ensemble du matériau peut se traduire par une perte rapide de maniabilité [Arnould et Virlogeux 1986] [5]. Certains moyens tel que le pré mouillage ou l'utilisation d'un traitement de surface visant à réduire l'absorption d'eau des granulats s'avèrent très efficaces pour diminuer la perte de maniabilité des bétons légers [Bederina, Marmoret,Mezreb ,Khenfer, Bali et Quéneudec ; béton bois 2007][11].

Différents travaux ont été mené pour régler ce problème d'absorption d'eau des granulats légers ; voir la possibilité technique d'introduire des granulats caoutchouteux dans le béton ou bien des polymères, comme le polystyrène expansé ; grâce à leur forme, les perles de polystyrène expansé n'absorbent presque pas l'eau de gâchage ; mais en raison de leur poids très léger et de leur surface hydrophobe, le béton de polystyrène expansé est prédisposé à la ségrégation lors de la mise en coffrage du béton ; une méthode de pré mélange semblable à la technique « enveloppant sable »a été étudiée par[Bing Chen et Juanyu Liu 2004][12] ; cette recherche a montré qu'en remplaçant partiellement des granulats ordinaires p ar les perles de polystyrène expansé, on aboutit à un béton léger de masse volumique comprise entre 800 et 1800 kg/m^3 et une force de compression variant de 10 à 25 MPa .

D'autres recherches dans le domaine des nouveaux matériaux de construction ont montré que l'introduction de particules de caoutchouc issues de l'industrie de récupération (déchiquetage des tubes inutilisables en PVC) réduit l'absorption d'eau du composite [13] [14].

I.2.4. Différents types de granulats légers disponibles sur le marché

- Les argiles expansées

Ce sont des granulats qui disposent d'une faible densité et qui sont prêts à l'emploi. Ils ne nécessitent aucun broyage ou concassage. Son élément constitutif est une argile grasse. Elle est introduite humide dans un four et en ressort après séchage sous forme de nodule (une grosseur anormale de forme généralement arrondie) dont la surface est lisse et légèrement vitrifiée. Les argiles expansées sont rarement utilisées dans la confection du béton du fait de leur coût de production exorbitant [15].



Figure I. 3.Les argiles expansées.[15]

- Schistes expansés

C'est une variante d'argile expansée que l'on obtient par cuisson de schistes appropriés.[15]



Figure I. 4.Schistes expansés. [15]

- Laitier expansé

Il est obtenu par l'insufflation d'air dans le laitier en fusion. Après cette étape, le concassage offre des granulats de diverses dimensions. Ils sont assez rares sur le marché.[15]



Figure I. 5.Laitier expansé.[15]

- Pierre ponce

C'est une lave volcanique alvéolée de couleur grise. On obtient des granulats après concassage de cette dernière.[15]



Figure I. 6 .Pierre ponce.[15]

- Pouzzolane

C'est une roche naturelle constituée par les projections volcaniques. Elle est assez abondante.[15]



Figure I. 7.Pouzzolane.[15]

- Perlite

Sous forme de petits grains arrondis et creux, on les obtient par le traitement chimique d'une lave volcanique.[15]



Figure I. 8 Perlite. [15]

- Vermiculite

Sous forme de petits parallélépipèdes, elles sont obtenues par la cuisson suivi d'un refroidissement brusque des silicates.[15]



Figure I. 9 Vermiculite.[15]

- Billes de polystyrène

a. Composition et origine

La matière première servant à la formation des billes de polystyrène est constituée de granules de polystyrène non expansé renfermant un porogène.

b. Méthode de fabrication

Le pyrogène, sous l'action de la chaleur, passe à l'état gazeux, ce qui provoque l'expansion. Une fois expansées, les perles peuvent avoir atteint plusieurs fois leur diamètre initial, de 0,4

à 2 mm (Cormon, 1973). Le polystyrène présente une masse volumique parmi les plus faibles (10 à 40 kg/m3) en considération aux autres matériaux étudiés (ACI, 1986). [16]



Figure I. 10.Billes De Polystyrène. [16]

- Granulats De Liège

Ce type de granulat est obtenu à partir des chaines de lièges, en passant par le concassement de celles-ci et puis le liège est torréfie dans des autos claves vers 350°c sa densité sèche varie entre 65 et 120 kg/m3. Le domaine d'utilisation des granulats de liège est bien la confection de chapes et de planchers. [17]



Figure I. 11. Granulats De Liège. [17]

I.3 bétons légers

Le béton léger offre comme avantages sa faible densité et son pouvoir isolant élevé et comme inconvénients sa plus faible résistance et son coût plus élevé. Grâce au développement de la production industrielle des granulats légers, on a pu améliorer ces propriétés fondamentales, notamment l'important rapport résistance/densité. Ainsi aujourd'hui, les bétons légers conservent un très bon pouvoir isolant en ayant malgré cela des résistances appréciables.

Si pour des objets déterminés, on examine les quatre propriétés déjà mentionnées, à savoir : résistance, densité, pouvoir isolant et coût, on constate bien souvent qu'il y a avantage à utiliser le béton léger comme béton de construction. Ce qui est déterminant dans cette étude, c'est surtout la diminution du poids propre des éléments de construction, ainsi que les simplifications qui résultent du fait que la construction comporte en elle-même une excellente isolation. Les granulats légers artificiels modernes sont fabriqués à partir de grains de schiste ou d'argile plastique. Soumis à la chaleur, ces matériaux gonflent, ce qui leur confère une structure fortement poreuse. Dans cet état, ils sont soumis à une cuisson qui les solidifie. C'est pourquoi ces matériaux légers sont désignés après leur traitement par schistes expansés et argiles expansées.

- **Définition**

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelle

application, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m3, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m3.[18]

D'après ce que n'a vu précédemment les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 Kg/m3.

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m^3. [19]

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

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

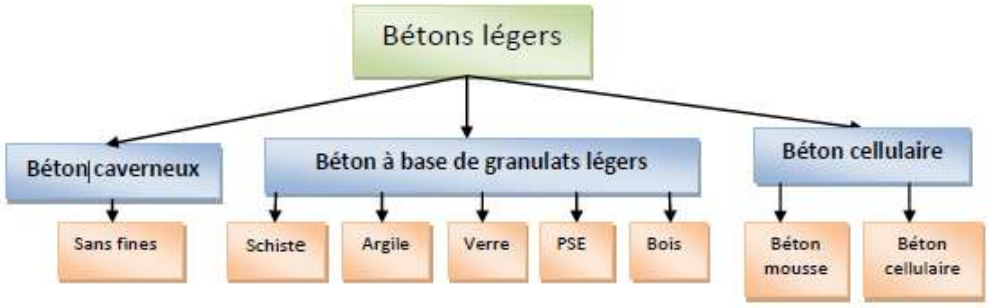


Figure I. 12.Les types des bétons légers [20]

I.3.1. Les propriétés des bétons légers

I.3.1.1. La porosité

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

Les granulats possèdent une porosité intrinsèque a due à la présence de l'air intra-particule. Compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de la dizaine de µm), la porosité du granulat sera qualifiée de porosité microscopique. [21]

Agoumimelcha.A dans sa recherche ont obtenu les résultats suivants :

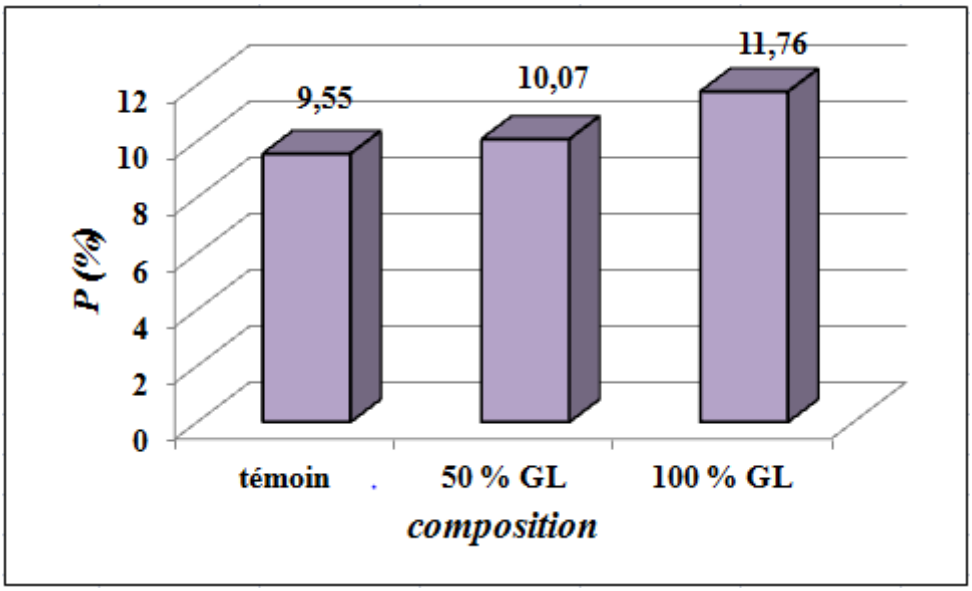


Figure I. 13Variation de la porosité en fonction de la composition de béton [26].

I.3.1. 2. La légèreté

L'emploi de granulats légers a pour première conséquence une diminution de 20 à 30 % De la masse volumique de bétons. A titre de comparaison, la masse volumique d'un béton hydraulique est de l'ordre de 2300 kg/m^3 alors qu'elle se situé autour de 1600 kg/ m^3 pour un béton d'argile expansée, entre 600 et 900 kg/m^3 pour un béton de bois et qu'elle varie entre 350 et 650 kg/m^3 pour un béton cellulaire (norme NF P 14-306). L'intérêt est d'avoir un matériau facile un mettre en œuvre lorsqu'il est vendu manufacturés sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction.[10]

Laoud. B (2013) dans ces recherches Obtenu les résultats suivants :

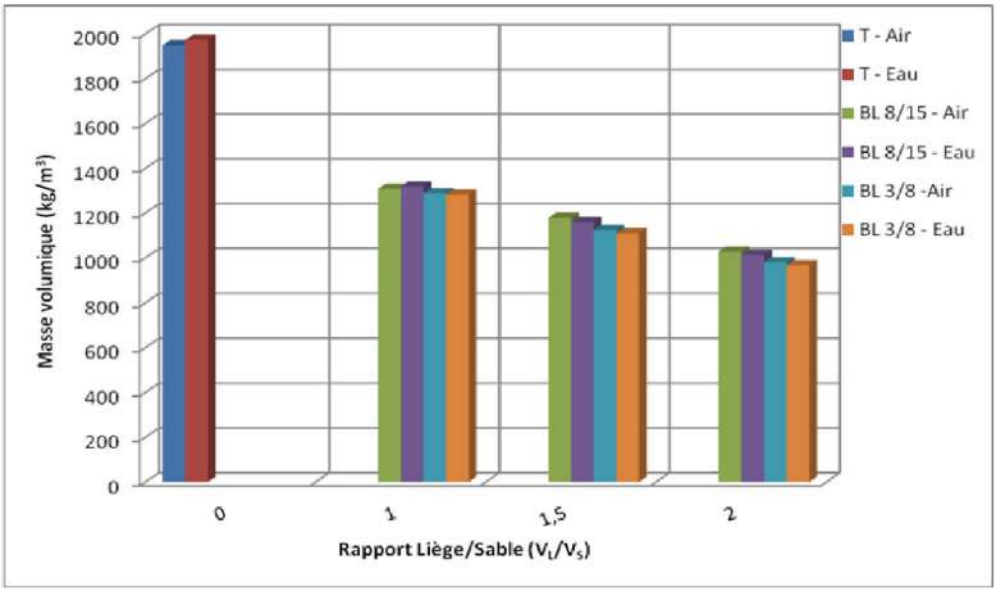


Figure I. 14. Evolution de la masse volumique en fonction de dosage en liège.[28]

I.3.1. 3. La sensibilité à l'eau

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

La perméabilité représente la faculté qu'a un matériau de laisser un fluide s'écouler en son sein, sous l'effet d'un gradient de pression. Cette propriété de perméabilité n'existe donc que si le matériau possède une porosité non négligeable et que celle-ci est connectée. En revanche, un matériau peut être très poreux (le béton cellulaire) et peu perméabilité car les pores, non relies entre eux, ne constituent pas des chemins continus, dans lesquels le fluide peut s'écouler. Porosité et perméabilité sont doc liés mais la première n'applique pas forcément le deuxième. [21]

I.3.1.4.La résistance à la compression des bétons légers

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

sont des caractéristiques des granulats et la composition du béton. [21]. M^me Mohellebi.S dans son recherche de granulats composites Obtenu les résultats suivants :

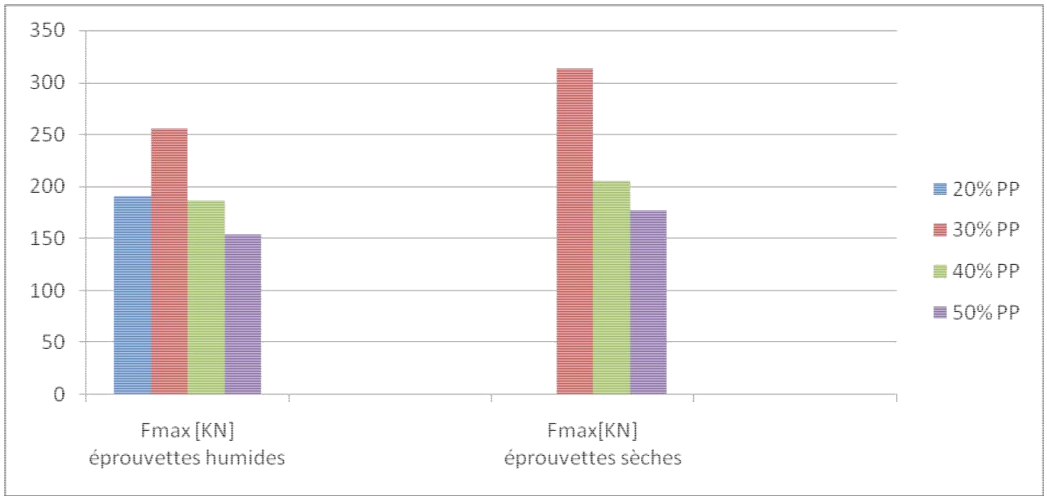


Figure I. 15.Histogramme de comparaison des contraintes maximales de compression uni-axiale pour éprouvettes sèches à base de billes de polypropylène enrobées et non enrobées [20].

I.3.1.5. Propriétés élastiques des bétons légers

Le module d'Young d'un béton léger est évidement inferieur à celui du béton traditionnel en raison de sa faible masse volumique. Généralement Le module d'Young d'un béton léger est considère comme valant 0.5 à 0.75 de celui d'un béton traditionnel de même résistance. Une plus faible rigidité peut être parfois souhaitable pour les structures soumises à une sollicitation dynamique ou pour des structures en coques. Un faible module d'Young peut être à l'origine de désordre dans les structures en béton précontraint suite à une relaxation des câbles de précontrainte et à la chute de tension qui en découle. [21]

M^me Mohellebi.S dans son recherche Obtenu les résultats suivants :

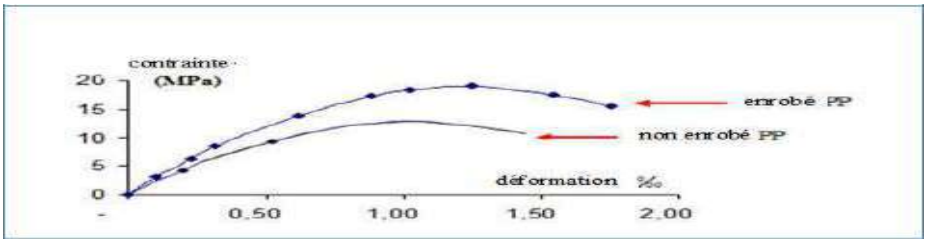


Figure I. 16Courbe de contrainte – déformation pour les cylindres en béton léger ;[Bouaziz .s & Ait Tahar .k][24

I.3.1.6. La masse volumique

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

Agoumimelcha.A dans sa recherche ont obtenu les résultats suivants :

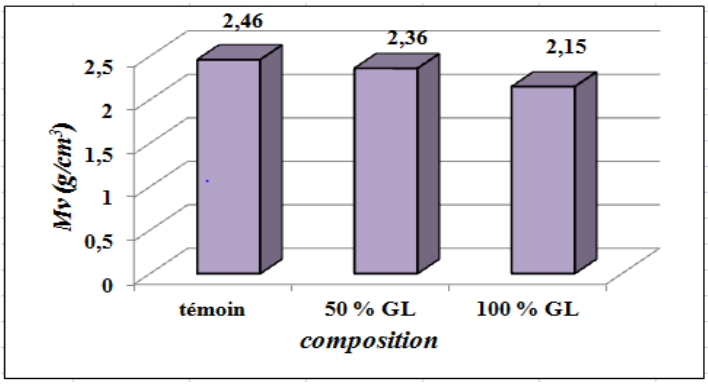


Figure I. 17.Variation de la masse volumique à l'état frai en fonction de la composition de béton[26]

I.3.1.7. La durabilité

Les conditions d'exposition conditionnent souvent la conception du béton. En effet, les cycles de gel-dégel en présence ou non des sels fondants représentent un aspect critique de la durabilité des bétons légers exposés aux intempéries. Il est important de faire la distinction entre les deux types d'attaque par le gel, avec ou sans sels fondants, puisque les mécanismes de détériorations sont différents. [19]

I.3.1.8. La rhéologie à l'état frais

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

On qualifie la rhéologie du béton à l'état frais en fonction de l'énergie nécessaire à la mise en place par rapport à la qualité recherchée du fini. En conséquence, les paramètres dont on doit tenir compte lors du dosage relativement à la rhéologie du béton léger à l'état frais sont : les méthodes de moulage et de mise en place, la qualité de la finition et la dimension des granulats et des coffrages. [19]

I.3.2.Le dosage

Le dosage est consiste essentiellement à déterminer la proportion des constituants de manière à produire le béton répondant aux qualités du béton recherchées. Cependant, ce dosage n'est pas aléatoire puisque l'obtention des qualités recherchées repose sur des principes (qualité de la pâte, type de granulat, rhéologie, etc.) Une fois ces principes établis, on peut identifier la méthode de dosage qui correspond le mieux aux matériaux utilisés et aux conditions d'application. [19]

I.3.2.1. Les Principes de dosage

Le principe de dosage d'un béton repose sur des concepts fondamentaux reliés au comportement du béton à l'état frais et durci. L'étude sommaire de ces concepts va permettre, d'une part, de mieux comprendre les mécanismes du comportement interne du béton et. D'autre part, aider à la compréhension des concepts menant à la formulation d'un béton léger durable.

On peut, a priori, admettre que le béton est constitué essentiellement de deux phases : la pâte de ciment hydraté et les granulats. [19]

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

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

I.3.2.2. Les méthodes de dosage

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

De façon générale, toutes les méthodes de dosage conçu pour les bétons conventionnels s'appliquent au cas d'un béton léger moyennant quelques modifications, Les méthodes de dosage sont nombreuses. Dans la majorité des cas, elles proposent de fixer initialement un rapport E/L correspondant à la résistance à la compression recherchée. Par la suite, les autres paramètres sont établis à partir de concepts empiriques issus de l'expérience et diffusés sous forme d'abaques. [19]

I.3.3. Classification du béton léger

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

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

La norme EN 206 classes les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, Fonction de leur masse en Kg/m3. [22]

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

Tableau I. 1.Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [1].

Classe de densité	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Kg/m^3	901 à 1000	1001 à 1200	1201 à 1400	1401 à 1600	1601 à 1800	1801 à 2000

Une autre classification pour béton léger basée sur la masse volumique est logique, puisque la masse volumique et la résistance sont étroitement liées, ce qui explique pourquoi la norme ACI 213R -8713.141 classifie les bétons en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m3) en trois catégories :

Tableau I. 2.Classification des bétons légers en Fonction De la densité [11].

Classe de Masse Volumique	LC1.0	LC1.2	LC1.4	LC1.6	LC1.8	LC2.0
Kg/m^3	>800 et ≤ 1000	>1000 et ≤ 1200	>1200 et ≤ 1400	>1400 et ≤ 1600	>1600 et ≤ 1800	>1800 et ≤ 2000

- Le béton léger de structure :1350–1900 kg/m3

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

- Le béton léger de faible masse volumique :300–800 kg/m3

  A une masse volumique comprise entre 300 et 800 kg/m3 n'est pas utilisé pour des applications structurales, mais surtout comme isolant thermique, Rc< 7 MPa.

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

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

Masse volumique sèche à 28 jours

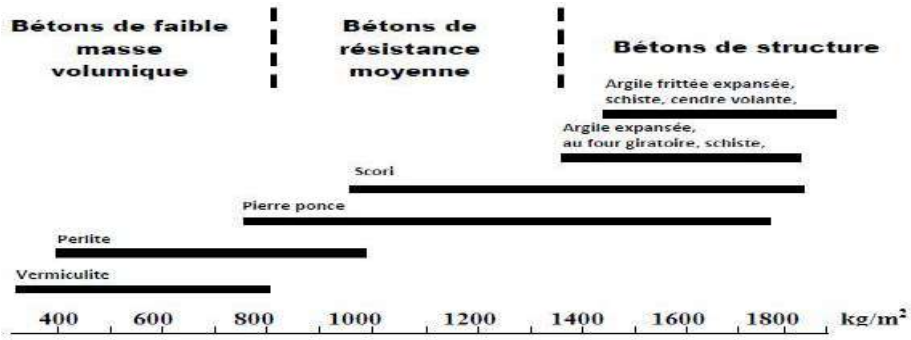


Figure I.18.masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours .[18]

I.3.4.La nature de l'ouvrage

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

- le béton léger structural.
- le béton léger architectural.

On présente de façon sommaire les distinctions entre ces deux familles :

I.3.4.1. Le béton léger structural

L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP) définit le béton léger structural comme un béton ayant une résistance a la compression à 28 jours supérieure à 1 5 MPa dont la masse volumique est inférieure à 1 850 kg/m3 [23]. Dans la catégorie des bétons légers structuraux, la diminution du poids spécifique du béton provient essentiellement de l'utilisation de granulats ayant des densités nettement inférieures à celles des granulats usuels.

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

Le béton léger structural est utilisé pour répondre à des exigences structurales spécifiques. Ainsi, on utilise du béton léger lorsque la capacité portante du sol ne permet pas l'érection d'une structure conventionnelle ; pour construire un bâtiment de grande hauteur pour lequel la diminution de poids est particulièrement intéressante compte tenu de la capacité portante du sol ; pour construire des plates-formes de forage dont la diminution de masse facilitent le transport dans les zones à faible tirant d'eau. Règle générale, cette

réduction de poids peut entraîner des économies substantielles dans la réalisation d'ouvrage. [19]

I.3.4.2.Le béton léger architectural

Tout comme pour le béton léger structural, l'ACCP définit un béton léger architectural comme étant un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours comprise entre 0,7 et 7 MPa et dont la masse volumique varie entre 240 à 1440 kg/m3. [19]

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

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

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

I.3.5.Domaine d'utilisation

I.3.5.1des bétons d'isolation pure, non porteurs

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

- en forme de pente isolante pour toiture-terrasse.
- en isolation de sols sur terre plein.
- 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.3.5.2.des 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 :

- 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.3.5.3.des bétons légers de structure

Ils ont une masse volumique de 1 700 à 1 800 kg/m3 et leur résistance caractéristique à la compression dépasse 20 MPa. Les granulats légers doivent répondre à un certain nombre de critères concernant le pourcentage de grains cassés, la masse volumique (en vrac ou des grains), le coefficient d'absorption d'eau, la résistance à la compression des grains, la composition chimique, la propreté, la granularité.

Ces bétons sont utilisés pour :

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

I.4. Conclusion

En résumé, nous abordons, à travers la bibliographie, d'abord des problèmes liés aux choix du matériau utilisés et aux méthodes d'allégie le béton. Nous précisons que :

- Sous l'appellation "Béton léger" il existe une grande famille de matériaux très différents.
- Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
- On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.
- Le béton léger à utiliser dans plusieurs domaines, notamment l'isolation thermique et acoustique, sa résistance à la compression est faible par rapport le béton ordinaire.

Chapitre II

Matériaux et Essais

II.1. Introduction

La connaissance de comportement rhéologique et mécanique des matériaux et leurs diverses propriétés ; physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, permet de faire un choix répondant à leur destination. Par ailleurs, il est essentiel que ces matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes. Ainsi, pour évaluer ces propriétés, on doit choisir des moyens adéquats afin de parvenir à un meilleur contrôle.

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, les procédures des malaxages pour confectionner nos mélanges ; ainsi que les différents essais expérimentaux pour les caractériser à l'état frais et durci. Et on va présenter aussi les compositions des différents mélanges utilisés dans le cadre de cette étude

II.2 Matériaux utilisés

II.2.1 Les sables

Deux types de sable sont utilisés et sont comme suit :

a) Sable de BOUGHEZOUL :

Le sable utilisé dans cette étude provient de BOUGHEZOUL de la région de MEDEA, située à 170 km au sud d'Alger



Figure II. 1.sable de bougezoul

Tableau II. 1: Analyse granulométrique sable de bougezoul (Norme NF EN 933-1).

tamis	poids refus(g)	refus cumulé (g)	refus (%)	tamisât (%)	refus (%)
5	0	0	0	100	0
4	7.7	7.7	0.58577406	99.4142259	0.58577406
3.15	14.6	22.3	1.69646253	98.3035375	1.69646253
2	24.5	46.8	3.56028908	96.4397109	3.56028908
1.25	38.6	85.4	6.49676683	93.5032332	6.49676683
0.63	139.9	225.3	17.1395968	82.8604032	17.1395968
0.315	371.6	596.9	45.4089007	54.5910993	45.4089007
0.2	591.5	1188.4	90.4069989	9.59300114	90.4069989
0.16	62.2	1250.6	95.1388361	4.86116394	95.1388361
0.1	47.2	1297.8	98.729555	1.27044504	98.729555
0.08	9.9	1307.7	99.482693	0.51730696	99.482693
0	6.8	1314.5	100	0	100

b) Sable de concassage :

Le deuxième sable utilisé est un sable concassé provient de la région de BOUIRA, située à 90 km au sud d'Alger.



Figure II. 2 .sable de concassage.

Tableau II. 2. Analyse granulométrique sable de concassage (Norme NF) EN 933-1).

tamis	poids refus(g)	refus cumulé (g)	refus (%)	tamisât (%)
5	21.8	21.8	1.17634362	98.8236564
4	18.9	40.7	2.19620117	97.8037988
3.15	41	81.7	4.40859055	95.5914095
2	569.1	650.8	35.1176344	64.8823656
1.25	468.8	1119.6	60.4144183	39.5855817
0.63	535.2	1654.8	89.2941938	10.7058062
0.315	75.5	1730.3	93.3682279	6.63177207
0.2	85.9	1816.2	98.0034535	1.99654651
0.16	20.7	1836.9	99.1204403	0.87955968
0.1	12.4	1849.3	99.7895532	0.21044679
0.08	3.9	1853.2	100	0
0	0	1853.2	100	0

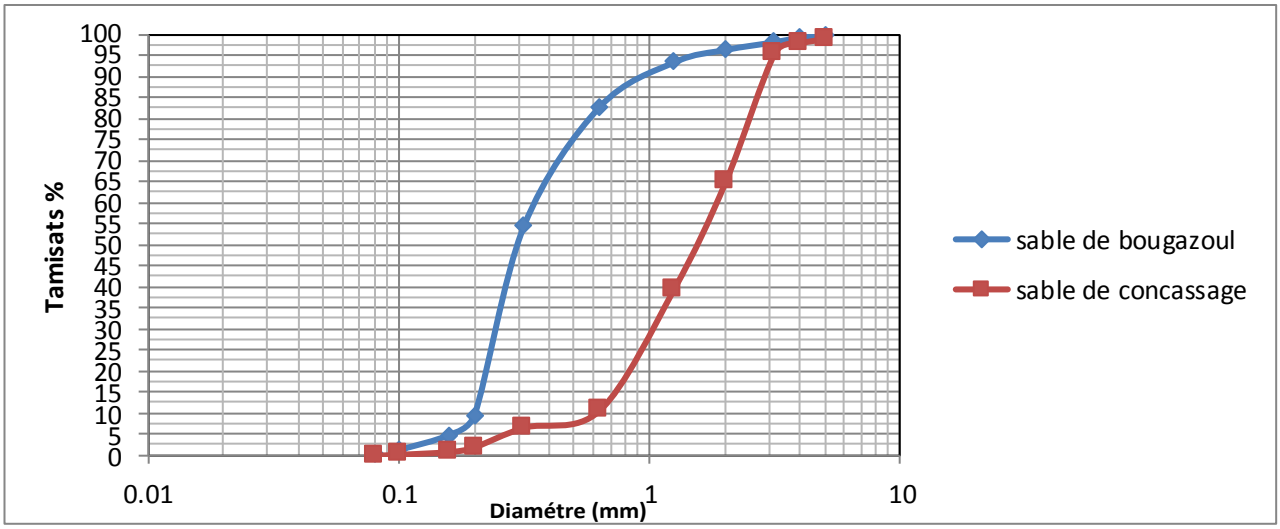


Figure II. 3La courbe granulométrique des sables utilisé.

Tableau II. 3.Caractéristiques physiques des sables.

caractéristiques	Sable de BOUGHEZOUL	Sable de Concassage	Normes
Module de finesse	1.66	3.63	NF EN 933-1 [85]
Masse volumique absolue (Kg/ m3)	2.62	2.66	NF EN 1097-6 [86]
Masse volumique apparente (Kg/m3)	1.49	1.40	NF EN 1097-3 [87]
Equivalent de sable (%)	76.27	75.00	NF EN 933-8 [88]
Taux d'absorption d'eau (%)	0.015	0.2	NF EN 1097-6 [89]

Mf1 (sable de bougezoule)= 1.66 <2.2 …….sable fin.

Mf2 (sable de concassage)= 3.63>2.8…….sable grossie

Correction de sable :

$$\begin{cases} S1(\%) = \frac{Mf2-Mf}{Mf2-Mf1}X100 \\ S2(\%) = \frac{Mf-Mf1}{Mf2-Mf1}X100 \end{cases}$$

$$\begin{cases} S1(\%) = 42.13 \\ S2(\%) = 57.86 \end{cases}$$

Pour obtenir un sable normalisé de module de finesse 2.8 ont utilisé ou cour de formulation 42.13 % de sable de bougezoule et 57.86% de sable de concassage

II.2.2 Polystyrène expansé

Les billes de polystyrènes expansés utilisés dans notre étude ont été fournies par la société



Figure II. 4.Les billes de polystyrène PSE.

L'EPE/Spa SOFATPO est une filiale du groupe EAGR (Entreprise Nationale de Génie Rural), son siège social et son unité de production sont situés au niveau de la zone industrielle de Oued Smar, Algérie.

Le polystyrène expansé est obtenu par polymérisation du produit de base qui est le STYRENE (granulé translucide).

Ces granulats se présente sous forme de billes sphériques de petit diamètre (1 à 2 mm), contenant 98% d'air et peu de consommateur de matière première, le polystyrène ne contient ni gaz CFC, ni HFC, ni HCFC.

- La densité : la masse volumique apparente ρ_{app} = 20 Kg/m^3 et la masse volumique absolue ρ_{abs} = 26 Kg/m^3 .
- Absorption d'eau par immersion : en raison de sa structure à cellules fermées, le polystyrène est caractérisé par sa faible absorption de l'eau.
- Tenue à la chaleur : le polystyrène expansé se ramollit à partir d'une température 90°C.

II.2.3 Gravier

De nature calcaire, elle provient de la carrière de MON GUORNO de la région de berrouaguia (Médéa), Algérie, avec deux fractions granulaires de 3/8 mm et 8/16 mmLes caractéristiques physiques et l'analyse granulométrique de gravie sont présentées aux TableauxII.4, II.5 et II.6.



Figure II. 5Gravie 3/8.



Figure II. 6 Gravie 8/16.

Tableau II. 4.propriétés physiques de gravie.

Propriétés	Gravier		Observations
	Fraction 3/8	Fraction 8/16	
Masse volumique absolue, kg/m^3	2.257	2.585	
Masse volumique apparente, kg/m^3	1.380	1.350	
Coefficient d'absorption, (%)			
Coefficient Los Angeles, (%)	19.92	26.50	Dure

Tableau II. 5.Analyse granulométrique de gravie, fraction 3/8.

Tamis, (mm)	Refus cumulés		Tamisât (%)
	(g)	(%)	
8	1.99	0.095	99.90
6.3	199.1	9.95	90.05
5	689.9	34.49	65.505
4	1253.4	62.56	37.34
3.15	1641.5	82.07	17.925
2.5	1895.5	94.975	5.025
1	1989.3	99.465	0.535

Tableau II. 6.Analyse granulométrique de gravie, fraction 8/16

Tamis, (mm)	Refus cumulés		Tamisât (%)
	(g)	(%)	
16	5	0.16	99.83
12.5	569.6	18.98	81.01
10	1989.5	66.31	33.68
8	2678.5	89.28	10.71
6.3	2954.9	98.496	1.503
5	2991.0	99.7	0.3

.

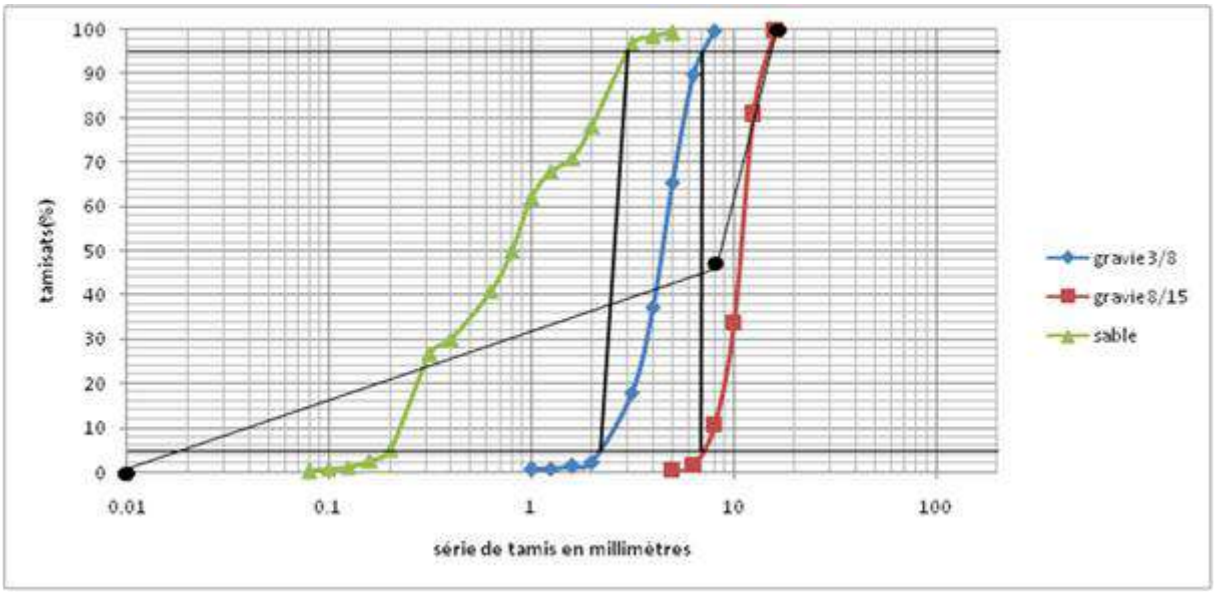


Figure II. 7: Analyse granulométrique des granulats (GN 3/8, GN 8/16 et sable)-méthode de Dreux.G

II.2.4 Granulats de liège 8/16

Les granulats de liège utilisés dans notre étude ont été fournis par la société JLE EPE Jijel liège étanchéité SPA, son siège social et son unité de production sont situés au niveau de la route de Bejaïa BP Jijel 18000 Algérie.



Figure II. 8.Granulats de liège 8/16.

Ce type de granulat est obtenu à partir des chaines de lièges, en passant par le concassement de celles-ci et puis le liège est torréfié dans des autos claves vers 350°c sa densité sèche varie entre 65 et 140 kg/m3.

- La densité : la masse volumique apparente ρ_{app} = 130 Kg/m^3 et la masse volumique absolue ρ_{abs} = 138 Kg/m$^{3.}$
- **Coefficient d'absorption : WA (%)** =33 %.

II.2.5 Ciment

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

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



Figure II. 9Ciment CPJ - CEM II/B 42,5

Caractéristiques techniques :

- Analyses chimiques [27] :

	Valeur
Perte au feu (%)(NA5042) (%)	10.0±2
Teneur en Sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en Oxyde de Magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05

- Composition minéralogique du Clinker (Bogue) [27] :

	Valeur
C3S (%)	60± 3
C3A (%)	7.5± 1

- Propriétés physiques [27] :

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant méthode de blaine (cm²/g) (NA231)	3700-5200
Retrait à 28 jours (µm)	<1000
Expansion (mm)	≤3.0

- Tems de prise à 20° (NA 230) [27] :

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (mm)	230±50

- Résistance à la compression [27] :

	Valeur
2 jours (Mpa)	≥10.0
28 jours (Mpa)	≥42.5

II.2.6 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du béton est celle du robinet de laboratoire de génie civil de l'université de MEDEA. Associé au ciment, l'eau remplit deux fonctions : D'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte.

II.2.7 : Confection des éprouvettes

Après homogénéisation du matériau frais, celui-ci est mis en place par vibration, sur table vibrante, dans des moules de dimensions choisies conformément à la norme NF P.18-400 [13].

Pour chaque essai et une composition donnée, trois échantillons ont été préparés et conservés avant et après démoulage en salle de conservation à température et hygrométrie contrôlées (20±2°C, HR=98%), pendant 28 jours. Avant les essais physico-mécaniques et thermique, les échantillons ont été séchés jusqu'à masse constante dans une étuve à 105±2°C. Pour les essais de retrait et de Variation Dimensionnelle Extrêmes, les échantillons ont été munis à leurs extrémités de plots métalliques.

II.3.Formulations

II.3.1. Méthode de Dreux-Gorisse

Cette méthode permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu prés adaptée au béton étudié. Toutefois, seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvette permettront d'ajuster au mieux la composition définitive en fonction des qualités souhaitées et des matériaux utilisés.

II.4.Essais

Deux types d'essais sont :

- les essais à l'état frais pour évaluer :
  - Consistance : Affaissement au cône d'Abrams.
- les essais à l'état durci pour déterminer :
  - La masse volumique.
  - Résistance à la compression Rc .
  - Vitesse des ondes soniques.
  - Essais d'absorption d'eau par capillarité.
  - La conductivité thermique.
  - La porosité.

II.5. confection des éprouvettes

La méthode de formulation du béton choisie pour notre étude est-elle de Dreux-Gorisse L'allégement du béton réalisé par la substitution volumique des pourcentages en sable par les billes de polystyrène expansé et en gravier par les grains de liège. On a va varier le remplacement Volumique en PSE de 25% ; 50% ; 75% et 100% pour le remplacement du gravier par le liège de 25% ;50 % ; 75% ; 100%.



Figure II. 10.Présentation des éprouvettes

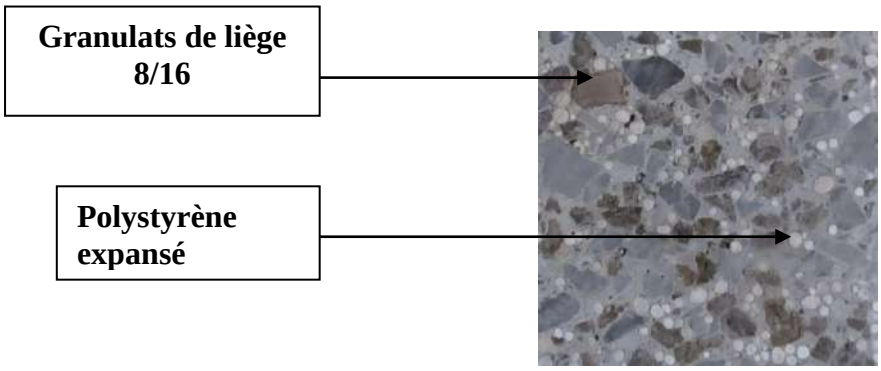


Figure II. 11 béton à base des granulats de liège et polystyrène expansé

II.5.2.Mode opératoire

Le malaxage des bétons au laboratoire a été effectué dans un malaxeur à cuve verticale Tournante d'une capacité de 56 L pour confection des éprouvettes de 16X32, et à l'aide d'un Malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 L pour la confection des éprouvettes de 4X4X16. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. La même procédure De gâchage a été utilisée pour toutes les séries de béton :

- Introduction du sable, du ciment et les deux classe des graviers (3/8 et 8/16) ; liégé (8/16) ; puis un malaxage à sec pendant 1 minute
- Ajout de l'eau de gâchage puis un malaxage pendant 2 minutes.
- Continuer à malaxer en introduisant le polystyrène expansé PSE jusqu'à 5 min



Figure II. 12Le malaxage des bétons au laboratoire.

II.6.Méthodes d'essai sur béton

II.6.1. Béton frais

II.6.1.1.Essai d'affaissement au cône d'Abrams



Figure II. 13.Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Cet essai sert à déterminer la consistance des bétons c-à-d. caractérisé par une valeur numérique la plus ou moins grande difficulté rencontrée dans la mise en œuvre (malaxage, transport et mise en place) des bétons.

L'appareil de mesure de l'affaissement est composé d'un moule en acier de forme tronconique et sans fond, une tige de piquage, d'un portique de mesure, et d'une surface d'appui.

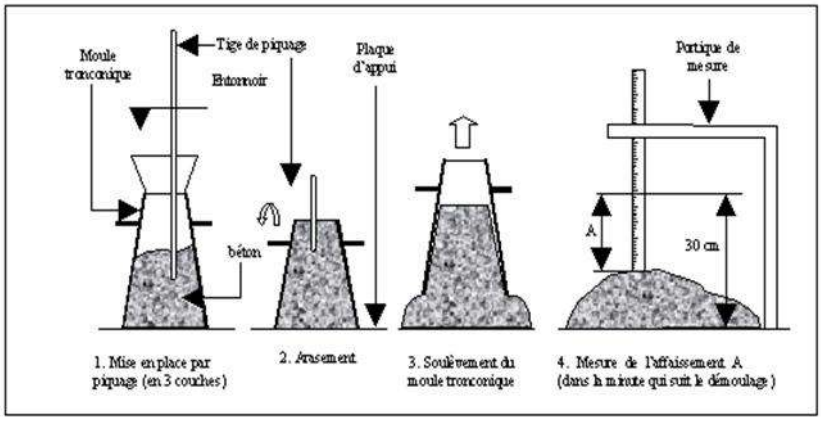


Figure II. 14.Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

(http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_six_exp.html)

Selon la norme NFP 18-451, après avoir huilé le moule, il est fixé sur la surface d'appui légèrement humidifiée. Le béton est ensuite introduit dans le premier tiers du moule, et vibré en appliquant 25 coups de tige. L'opération est recommencée pour le deuxième tiers du moule, le béton est de nouveau vibré 25 fois avec la tige en pénétrant la couche précédente. Le dernier tiers du moule est remplit généreusement et piqué 25 fois puis araser en faisant

rouler la tige sur le dessus du moule. Le cône de béton est délicatement démoulé, celui-ci s'affaisse sous son propre poids selon sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté *A,* et dont la lecture est procédé dans la minute en mesurant la distance entre le point haut du béton et le portique de mesure.

Suivant la valeur de son affaissement *Af* un béton peut être ferme, plastique, très plastique ou fluide.

Tableau II.7 : Consistance du béton suivant l'essai d'affaissement au cône d'Abrams (Dupain et al., 1995)

Affaissement au cône *Af*	Consistance	Désignation (Norme NF P 18-305)	Classe (Norme ENV 206)
De 1 à 4 cm	Ferme	F	S1
De 5 à 9cm	Plastique	P	S2
De 10 à 15 cm	Très Plastique	TP	S3
Supérieur à 16 cm	Fluide	F	S4

II.6.2. Béton durci

II.6.2.1. La masse volumique

La masse volumique du béton léger a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 [53], à l'aide d'une balance à 0.01 g près, et mesure des dimensions des échantillons, à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de 0,01 mm. Pour chaque composition, la masse volumique sèche apparente représente la moyenne de trois



Figure II. 15.La balance.

II.6.2.2.Résistance à la compression Rc



Figure II. 16.Essai de compression sur cube de (10x10x10) cm.

Selon la norme NF P 18-406 l'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de béton de forme cylindrique (16 x 32) à une charge axiale croissante de compression jusqu'à la rupture, entre les plateaux d'une presse ; et cela pour déterminer la résistance à la compression Rc (en MPa), qui est le rapport entre la charge de rupture *F* (en N) et la section transversale *S* (en mm²) de l'éprouvette.

$$Rc = F / S$$

Dans notre travail la résistance à la compression est mesurée sur éprouvettes de forme cubique de 10x10x10 cm.

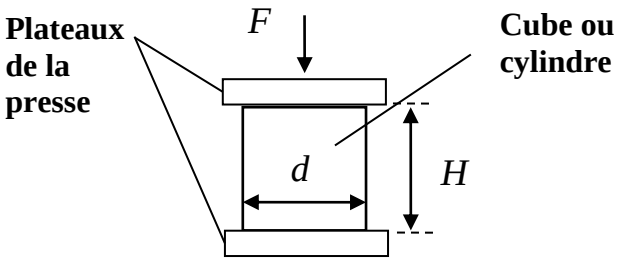


Figure II. 17.Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.



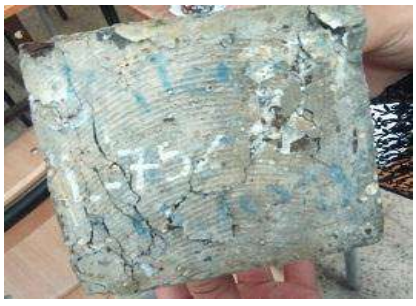


Figure II. 18.l'éprouvette après la compression.

II.6.2.3.Vitesse des ondes soniques, NF EN 12504-4

La vitesse de propagation des ondes sonores a été évalue selon la norme NF EN 12504-4. Le principe du méthode, consiste de générer un train d'ondes longitudinales produit par un transducteur électro-acoustique maintenu au contact d'une surface du béton soumis à l'essai. Après avoir parcouru une longueur connue dans le béton, le train de vibrations est converti en signal électrique par un deuxième transducteur, et des compteurs électroniques de mesure du temps permettent de mesurer le temps de parcours de l'impulsion.



Figure II. 19.La mesure de vitesse des ondes à l'aide d'ultrason.

$$V = \frac{L}{T}$$

Où :

V : est la vitesse de propagation du son, en km/s ;

L : est la longueur de parcours, en mm ;

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en µs.

II.6.2.4.Essais d'absorption d'eau par capillarité

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend les éprouvettes de béton (cubiques 10×10x10 cm) déjà sécher et on le pesé (m_0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau de profondeur et de suivre l'évolution de la masse de ces éprouvette au cours du temps. La nappe d'eau est maintenue à niveau constant par un trop-plein (Photo. II.6), pendant chaque intervalle de temps (60s, 5min, 10min, 20min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (mim0) (ASTM C1585 – 11).

Les essais sont réalisés dans les conditions de laboratoire (T= 20 ± 2°C).

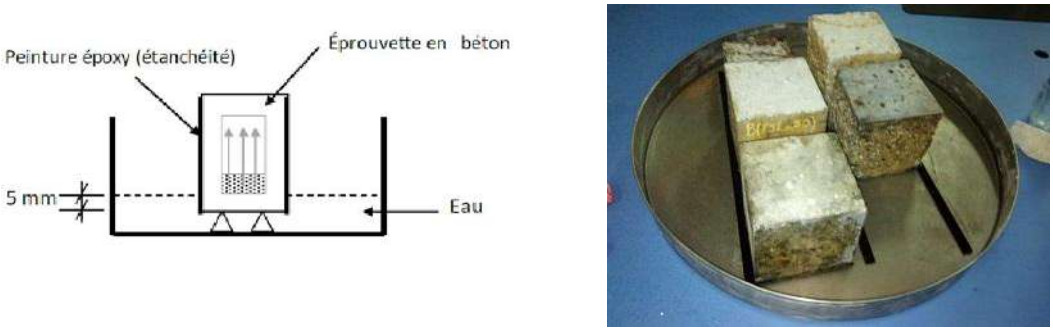


Figure II. 20.Absorption d'eau par succion capillaire.

II.6.2.5 La conductivité thermique [92]

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 mesuré à l'aide d'un CT Mètre conformément la Norme ISO 8497-1 [92].

CT METRE Norme de référence NF EN 993-15 [71]

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

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



Figure II. 21.Le CT-METRE.

II.6.2.6 La porosité [83]

La porosité accessible à l'eau Ɛ, exprimé en pourcentage en volume, est donnée par

L'équation :

$$\varepsilon = \frac{Ma - Ms'}{Ma - Me'} \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

Ma: La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'ai

Ms′: La masse d'éprouvette sec

Me: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau





Figure II. 22.Mesure de la porosité accessible à l'eau.

II.7.Désignation des bétons

Les différents composites de béton avec ou sans polystyrène et ajouts minéraux sont désignés de la façon suivante :

a) Bétons sans polystyrène, ni liège

BT
- Témoin
- Béton

b) Bétons avec de polystyrène expansé et liège (25%, 50%, 75% et 100%)

B (PSE-25) (LI-25 →)Liège 25%
- 25%
- Polystyrène expansé
- Béton

Chapitre III

Résultats et interprétation

III .Introduction

Dans ce chapitre sont présentés les résultats obtenus pour les différents essais réalisés, sur le béton frais et durci. L'objectif de l'étude expérimentale consiste en la formulation et la caractérisation physico-mécanique des bétons de granulats légers. L'allègement du béton a été effectué par la substitution volumique des granulats usuels par les billes de PSE et de lièges.

III.2. Résultats et interprétation

III.2.1. L'ouvrabilité du béton

D'après la figure.III.1, on remarque une augmentation de l'affaissement des bétons B (PSE-25…100) (L-25…100) par rapport au béton témoin. Cette augmentation due à utilisation des granulats léger (les billes de polystyrènes expansé et Granulats de liège 8/16) qui diminue la viscosité alors augmenté la fluidité donc l'affaissement augmenté.

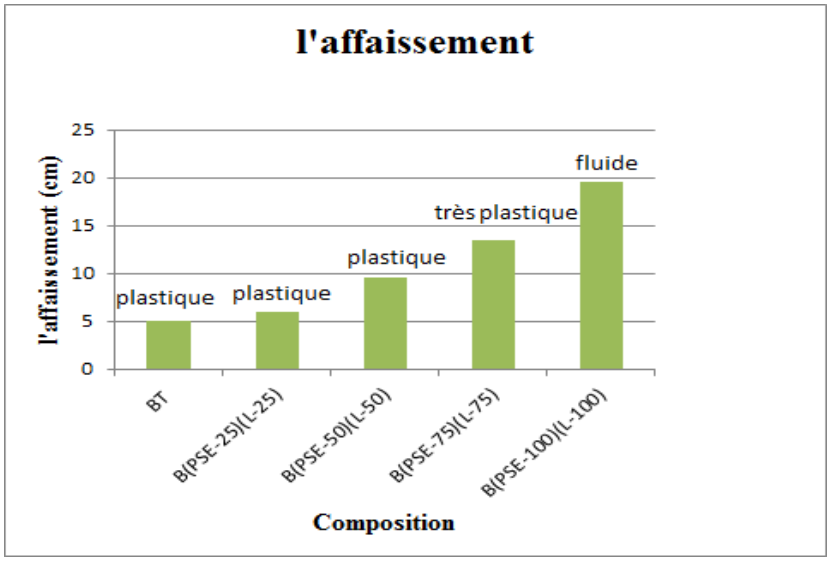


Figure III. 1.Variation de l'affaissement en fonction de la composition de béton.

III.2.2.Masse volumique à l'état durci

La figure III.2, montre une diminution logique de la masse volumique des bétons de B (P SE-25…100) (L-25…100) par rapport au béton témoin. Cette diminution est de :

- 13% pour le béton de B (PSE-25) (L-25) ;
- 32% pour le béton de B (PSE-50) (L-50) ;
- 56% pour le béton de B (PSE-75) (L-75) ;
- 86% pour le béton de B (PSE-100) (L-100).

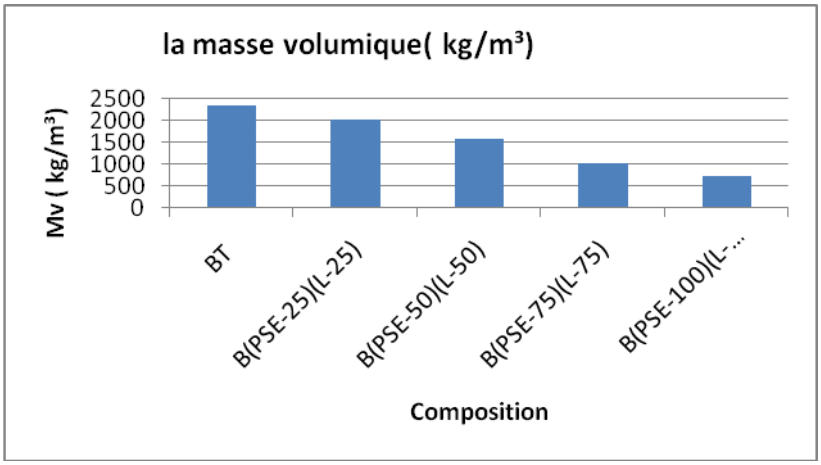


Figure III. 2.Variation de la masse volumique à l'état durci en fonction de la composition de béton

Cette diminution est due à la faible masse volumique de polystyrène expansé et des granulats de liège 8/16 incorporés par substitution par rapport à celle du gravier 8/16 et le sable utilisé. Les résultats obtenus sont logiques et permettent de classer chaque composition en fonction de son utilisation.

Laoud.B dans ses recherches sur la caractérisation mécanique et physique d'un béton léger à base de sable calcaire et des granulats de liège en 2013 a également conclu que la masse volumique diminue considérablement par l'incorporation de granulats de liège.

Ainsi, Belal. F et al, dans leur mémoire d'étude sur l'effet des ajouts minéraux dans la composition du béton allégé par les billes de PSE, confirme que la substitution du sable par le PSE diminue la masse volumique, néanmoins leur pourcentage de diminution faible en comparant avec nos résultats, qui est d'ordre 85%.

III.2.3. Résistance à la compression

Selon la figure.III.3, on remarque une baisse de la résistance à la compression des bétons B (PSE-25…100) (L-25…100) par rapport au béton témoin. Cette diminution est de :

- 37% pour le béton de B (PSE-25) (L-25).
- 80% pour le béton de B (PSE-50) (L-50).
- 91% pour le béton de B (PSE-75) (L-75).
- 94% pour le béton de B (PSE-100) (L-100).

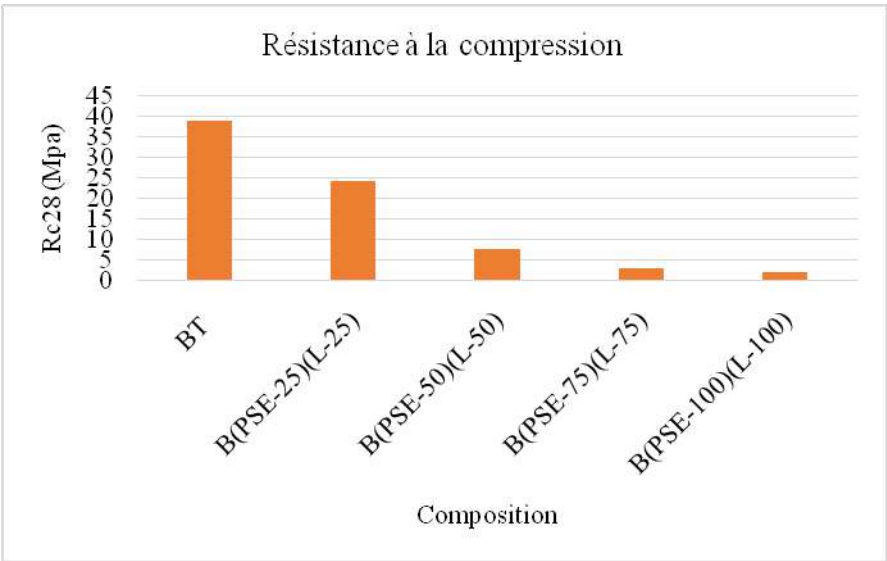


Figure III. 3.Variation de la résistance à la compression en fonction de la composition de béton.

Cette diminution est due probablement au plus de porosité représentée cette composition par rapport au béton témoin et béton à base des granulats léger (granulats de (liège8/16 et les billes de polystyrènes expansés). Les résultats obtenus sont normaux et permettent de classer chaque composition en fonction de son utilisation. Nous résultats concorde avec ceux d'autres chercheurs, Agoumimelcha. A et al, Laoud. B et Mohellebi. S.

III.2.4.Vitesse des ondes soniques

D'après la figure.III.4, on remarque une diminution de la vitesse des ondes soniques des bétons de B (PSE-25…100) (L-25…100) par rapport au béton témoin. Cette diminution est de :

- 15 % pour le béton de B (PSE-25) (L-25).
- 49 % pour le béton de B (PSE-50) (L-50).
- 75 % pour le béton de B (PSE-75) (L-75).
- 79 % pour le béton de B (PSE-100) (L-100).

L'augmentation de pourcentage des granulats léger (liège8/16 et les billes de polystyrènes expansés) accompagnée par l'augmentation des porosités ceci à justifier donc la diminution de la vitesse des ondes sonique.

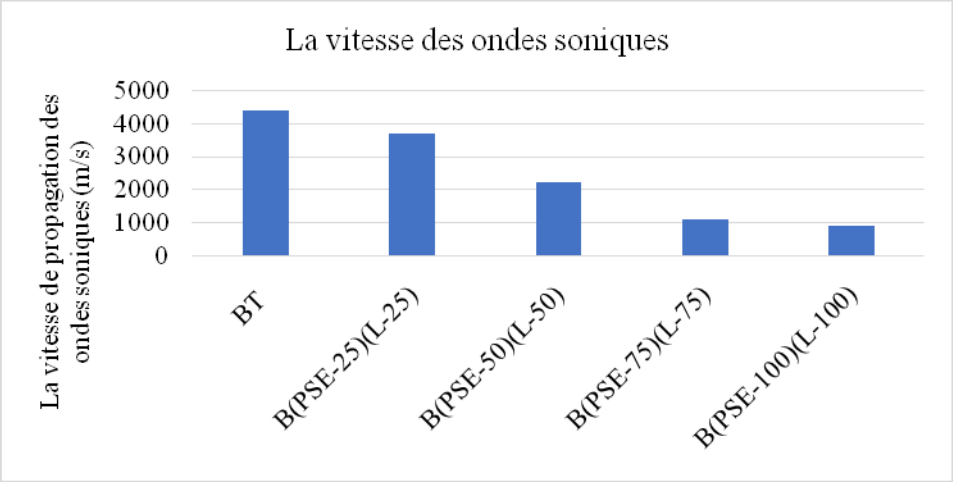


Figure III. 4. Variation de la vitesse des ondes soniques en fonction de la composition de béton

III.2.5. Porosité

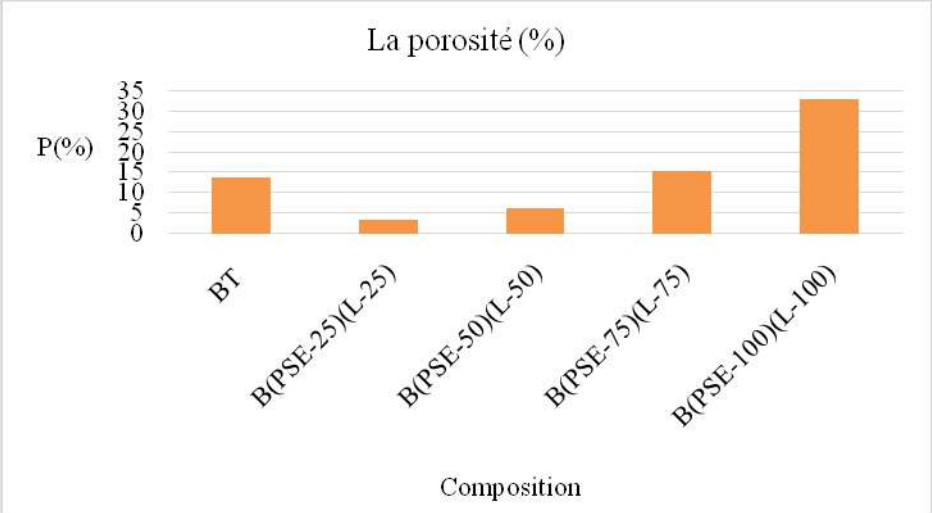


Figure III. 5.Variation de la porosité en fonction de la composition de béton.

A travers la figure.III.5, on remarque :

A. Une diminution de la porosité des bétons de B (PSE-25) (L-25) et B(PSE-50) (L-50) par rapport au béton témoin. Cette diminution est de :

- 75% pour le béton de B (PSE-25) (L-25).
- 55% pour le béton de B (PSE-50) (L-50).

Cette diminution due aux billes de polystyrènes expansés qui comblent les pores dans le composite et les ferment pour empêcher le passage de l'eau, ainsi l'absorption de l'eau des billes de polystyrènes expansés est nul.

B. Une augmentation de la porosité des bétons de B(PSE-75) (L-75) et de B(PSE-100) (L-100) par rapport au béton témoin. L'augmentation est de :

- 12% pour le béton de B(PSE-50) (L-50).
- 138% pour le béton de B(PSE-100) (L-100).

Cette augmentation de la porosité des deux bétons est liée la faible compacité des mélanges et à la porosité importante des granulats légers (Granulats de liège8/16) incorporés par substitution par rapport à celle du gravier 8/16 avec une teneure de 75 et de 100% de liège. Donc, une augmentation de structure cellulaire de béton. Ces résultats sont confirmés par les chercheurs Agoumimelcha. A et al, LAOUD.B.

III.2.6. Absorption capillaire

D'après la figure.III.7 on remarque une augmentation de l'absorption des bétons de B (PSE-25…100) (L-25…100) par rapport au béton témoin. Cette augmentation est due au taux d'absorption élevé des granulats de liège 8/15 (WA=33%) et la mauvaise adhérence pate – granulat de PSE.

Le résultat obtenu montre que l'absorption de béton témoin est moins importante que le béton avec des granulats léger (granulats de liège8/16 et les billes de polystyrènes expansés) équivalent à ce qu'obtenu par Laoud.B dans ses recherches

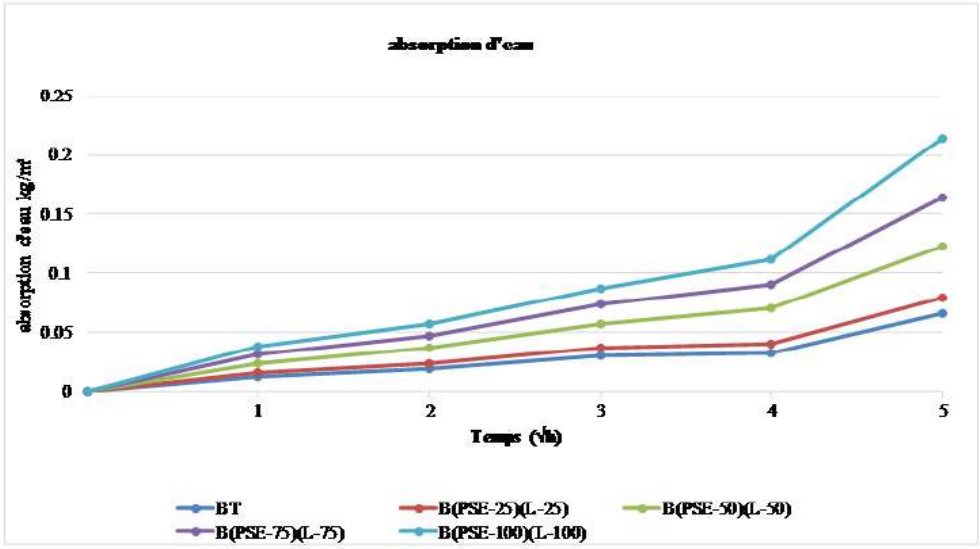


Figure III. 6. Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton.

III.2.7. La conductivité thermique a l'état humide et sec

Le remplacement du sable et du gravier par des billes de polystyrène et du liège dans le but d'améliorer les propriétés thermiques. Nous avons étudié les critères thermiques des composites à l'état sec et humide :

a) La conductivité thermique a l'état sec :

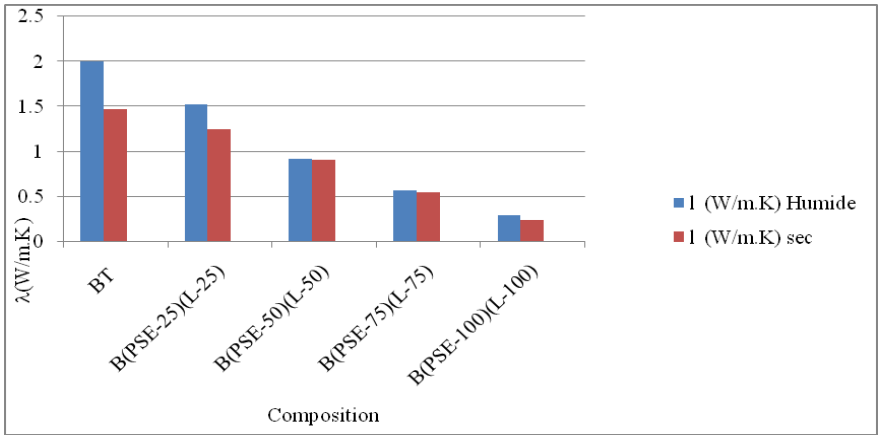


Figure III. 7. Variation de la conductivité thermique en fonction de la composition de béton

D'après la figure III.8, on constate que la diminution de (λ) est inversement proportionnelle au dosage de granulats B(PSE-25...100) (L-25…100).

La conductivité thermique la plus faible est de 0,248 W/(m.k) pour la substitution maximum en PSE et liège (100%), donc les billes de polystyrène et les granulats de lièges ont permis de diminuer de 83% la conductivité thermique par rapport au béton témoin. C.-à-d que l'augmentation du taux de granulats léger (Les billes de polystyrènes expansés et Granulats de liège 8/16) permet d'avoir une isolation thermique meilleure parce que la conductivité thermique de billes de polystyrènes expansés et les granulats de liège 8/16 est très faible : Les billes de polystyrènes expansés (λ =0,036W/m.K) et Granulats de liège 8/15 (λ =0,04W/m.K). Alors, plus la teneur des granulats légers (PSE et liège) est élevée, plus la baisse de la conductivité thermique est importante.

b) La conductivité thermique a l'état humide :

Le procédé de mesure de la conductivité thermique à l'état saturé est le même qu'à l'état sec, En effet, selon la figure III.8, on a constaté une augmentation remarquable par rapport à l'état sec à cause de l'eau, car il est un bon conducteur à la chaleur.

L'évolution de la conductivité thermique à saturation en fonction de la teneur en granulats légers (PSE et liège) reste la même.

Laoud. B (2013), a étudié l'effet des granulats de liège sur la conductivité thermique du béton de sable. Ses résultats ont montré l'effet bénéfique de l'utilisation du liège pour l'amélioration des caractéristiques thermiques des matériaux élaboré. Ainsi, Belal. F et

Djelide. R dans leur investigation, ont mentionné la diminution de la conductivité du béton léger à base de polystyrène expansé dans le sens de l'augmentation de la substitution du sable par les perles de PSE. Ce qui est similaire avec nos résultats.

III.2.8. Classification des composites

Classification des composites selon les trois caractères de base :

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

En examinant la figure III. 1, nous pouvons faire une classification qui est reporté sur le tableau III.8, donc en distinguant trois classes de béton léger en fonction du taux de teneur en granulats légers (PSE&L), toute en respectant celle de NEVILLE.

Tableau III.1. Classification de béton léger

Critères de classification	Les classes de béton léger		
	Béton de structure (PSE & L) (25%)	Béton semi porteur (PSE & L)(50%)	Béton non porteur (PSE & L) (75-100%)
Rc28 (Mpa)	24.2	7.71	2.12-3.17
La masse volumique(kg/m^3)	2006.6	1582.3	735.8-1007.9
λ(W/m.K) sec	1.456	0.909	0.248-0.55

♦ Conclusion

Ce chapitre a été consacré à présenter et interpréter les résultats des essais rhéologique, mécaniques et thermiques à l'état frais et durci des bétons légers élaborés. A la lumière de ces résultats trouvés, on peut conclure que :

- Une augmentation de l'ouvrabilité des bétons élaborés est constatée en passant du béton témoin au béton léger. Cette augmentation est plus importante en augmentant le taux de substitution en granulats légers.
- Les séries de masse volumique dans lesquelles varient ces bétons légers sont 2006 à 735 kg/m3 pour les teneurs de PSE et de liège allant de 0 à 100%, soit une réduction d'ordre 68%.
- Une baisse de la résistance à la compression des bétons légers par rapport a béton témoins de l'ordre de 94%.
- Une diminution de la vitesse des ondes soniques avec l'augmentation de la quantité des granulats de l'ordre 74 %.

- La conductivité thermique du béton est décroissante lorsque la quantité des granulats légers est croissante est varié entre 1.456 à 0.248 W/m.K.

- La porosité du béton léger est proportionnelle au taux de substitution de granulats légers introduits dans les échantillons est varie entre 3 % a 32 %
- Une augmentation de l'absorption capillaire des bétons élaborés est constatée en passant du béton témoin au béton léger. Cette augmentation est plus importante en augmentant le taux de substitution en granulats légers.

Conclusion générale

Par ce travail nous avons essayé de couvrir deux principaux volets, le premier écologique, et le deuxième technologique en élaborant un granulat artificiel léger permettant de donner au béton une bonne isolation thermique tout en préservant ces résistances mécaniques.

L'utilisation des granulats légers et la formulation des différentes compositions de béton léger sont données lieu à les constatations et les conclusions suivantes :

- L'ouvrabilité de différentes compositions de béton léger est située entre 6cm à 19.5 cm
- La masse volumique du béton est inversement proportionnelle au taux de substitution de granulats légers introduits dans les échantillons. Avec une réduction d'ordre 68 %
- L'allègement du béton par l'ajout de liège et de polystyrène expansé diminue considérablement la conductivité thermique c'est-à-dire améliore l'isolation thermique,
- Par sa porosité importante le béton allégé avec les granulats de liège expansé 8/16 et de PSE successible à atteindre le poids très léger γ= 735 kg/m^3.
- L'augmentation du pourcentage de liège et de polystyrène est inversement proportionnelle aux résistances mécaniques (compression).
- La conductivité thermique du béton élaboré est proportionnelle avec la masse volumique apparente.

Références bibliographiques

[1] Tasserie .M ; Bideau .D ; Optimisation Physicochimique d'un matériau expansé ; Université de Rennes 1, Rennes, France ; thèse de doctorat ; sciences des matériaux ; 1991.

[2] Venuat. M; Du béton mousse au béton de polystyrène ; 1983

[3] Ouadi R. ; Thèse de doctorat en Sciences appliquées « *Conception d'un panneau sandwich isolant-porteur»* ;; 1991, Villeurbanne, INSA

[4] Short A, KinniburghW; Béton léger; Livres CR; 1968.

[5] Arnould .M Et Virlogeux .M. *« Granulats et bétons légers »* Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1986

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

[7] Ke .Y, Beaucour .Al, Ortola .S, Dumontet .H , Cabrillac .R ; Comportement mécaniquedes bétons de granulats légers : *« étude expérimentale et modélisation ; 24ème rencontre AUGCMontpellier »;* juin 2006.

[8] Ke .Y, Beaucour. Al, Ortola .S, Dumontet .H; «Influence de la fraction volumique et des caractéristiques du béton à granulats légers sur les propriétés mécaniques du béton»,Matériaux de construction et de construction, vol. 23 décembre 2009, p. 2821-2828.

[9] Ke .Y, Ortola .S, Beaucour. Al, Dumontet .H, «Identification des caractéristiques de microstructure dans les bétons à granulats légers par modélisation micromécanique, y compris la zone de transition interfaciale (ITZ)», Recherche sur le ciment et le béton, vol. 40, 2010, p. 1590-1600.

[10] Zhang .M-H &Gjorv .O-E; Caractéristiques des granulats lightweight pour une résistance élevée béton, ACI Materials Journal; 88 (2): 150-158; 1990.

[11] Bederina .M, Marmoret .L, Mezreb .K, Khenfer .M-M, Bali .A et Queneudec .M; Effet de l'ajout de copeaux de bois sur la conductivité thermique des bétons de sable: étude expérimentale et modélisation; matériaux de construction et de construction; 21: 662 à 668; 2007.

[12] CHEN B et LIU J; Propriétés du béton léger de polystyrène expansé renforcé avec de la fibre d'acier; recherche sur le ciment et le béton; volume 34: N ° 12, P59-63; 2004.

[13] Benazzouk .A, Douzane .O, Langlet .T, Mezreb .K, Roucoult .J-M et Queneudec .M; Propriétés physico-mécaniques et absorption d'eau d'un composite de ciment contenant déchets de caoutchouc déchiquetés; recherche sur les composites de ciment et de béton; vol29: N ° 10, P732-740 ; 2007.

[14] Benazzouk .A, Douzane .O, Mezreb .K, Laidoudi .Bet Queneudec .M; Thermique conductivité des composites de ciment contenant des particules de déchets de caoutchouc: étude expérimentale et modélisation; matériaux de construction et de construction; vol22, P573-579; 2008.

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

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

[19] M.CONTANT: «Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000.

[20] Thèse doctorat : « *Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites»* 29 Mai 2014. Réalisé par M^{me}MOHELLEBI Samira.

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

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

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

[24]Auriault .Jl; «*Modélisation du compactage à chaud de la poudre métallique par homogénéisation; Mécanique des matériaux»,* volume 13, numéro 3, juillet 1992, pages 247–255.

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

[27] la fiche technique de ciment CPJ-CEM II /B 42.5 de LAFRAGE

[28] Brahim LAOUD : article « *Caractérisation mécanique et physique d'un béton léger à base de sable calcaire et des granulats de liège»* en 2013.

Annexes



Figure.1. Fiche technique de ciment

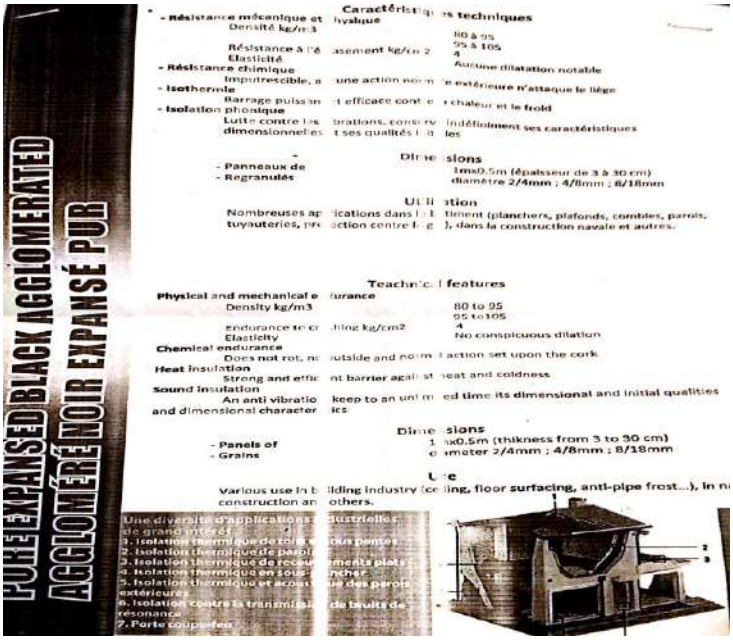


Figure.2.fiche technique de liège expansé

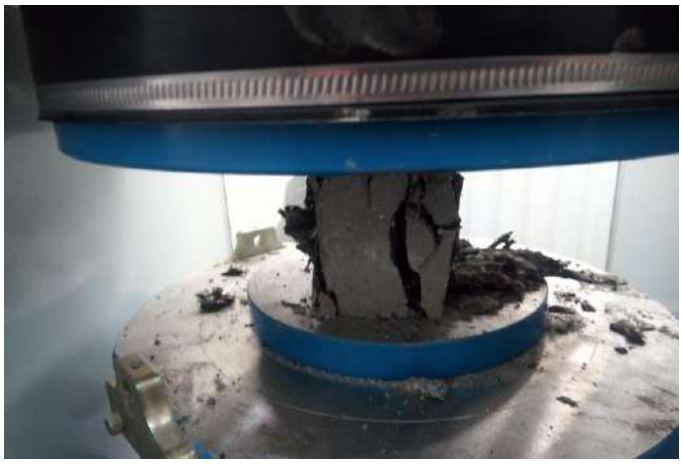


Figure.3 éprouvette de 10*10*10 après l écrasement.



Figure.4. Le CT-METRE

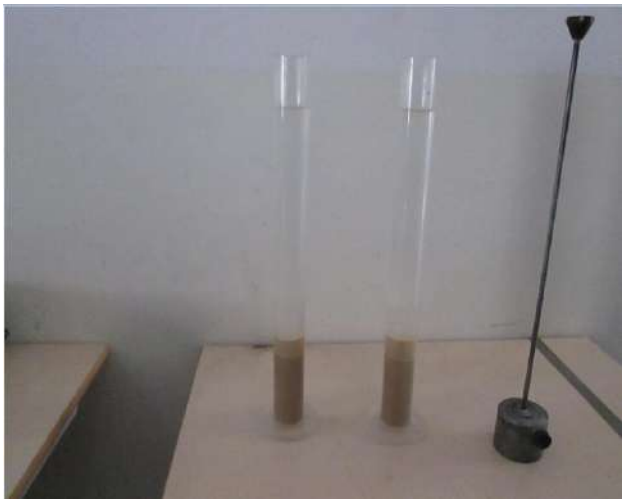


Figure.5. Essais d'équivalent de sable

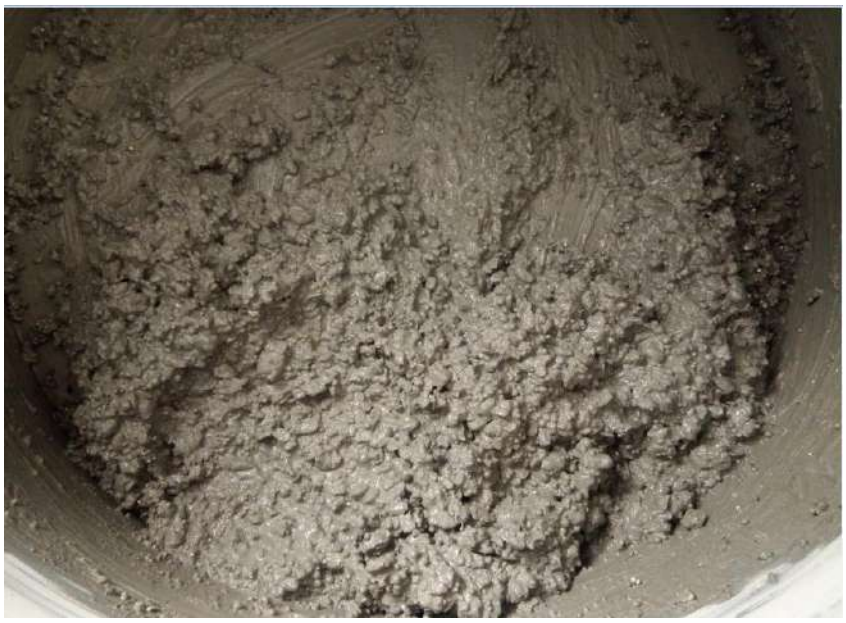


Figure.6.malaxage de béton .