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

Option : matériaux en génie civil

Analyse de l'influence des caractéristiques des granulats légers sur le comportement du béton

---

Présenté par

BOUMEDDIENE Ikram

BELLAZZOUZ Messaouda

Proposé et Dirigé par

Dr. BOUCHERIT Dalila

Promotion Septembre 2020

Remerciement

Le présent travail

A été réalisé au sein du laboratoire de génie civil

De Hall de Technologie de Médéa

Nahmed Allah qui nous a inspiré la force et la volonté d'achever ce modeste travail

Je remercie vivement, mon encadreuse Docteur BOUCHERIT DALILA au département de génie civil, qui a suivi et encadré ce travail, pour sa disponibilité, son assistance et ses conseils.

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

Et tous membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail

Notre profonde gratitude s'adresse à tout le personnel du département génie civil, et l'ensemble des enseignants

Et nous n'oublions certainement pas nos familles et nos collègues ainsi tous ceux qu'ont contribués de prés ou de loin, à la réalisation de ce travail nous leur dirons merci.

Dédicace

Avant tous, Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail.

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mes très chers parents, en témoignage et en gratitude de leur dévouement, de leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leur sacrifiées illimités, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but.

Merci mes parents

A mes frères : AYOUB et ZAKI

A mes copines : NADJET et AICHA et AMIRA

A toute la famille : BOUMEDIENE

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

A tous mes Amie, et mes collègues de master 2 ^{me} génie civil et surtout promo de matériaux de construction 2019 /2020.

IKRAM

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après mon DIEU pour leurs sacrifices :

A Mes chers parents que dieu les gardes et préserve.

A Ma chère grande mère que je la souhaite une longue vie.

A Ma sœur

A Mes frères

A toute la famille « BELLAZZOUZ» sans exception.

Je remercie mon amie et binôme IKRAM qui est contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Mes amies intimes

A Tous mes collègues de la 2ème.

Année génie civil.

MESSOUDA

ملخص

يركز هذا العمل على خصائص خرسانة الركام الخفيف الوزن. تعتمد خصائص هذه الخرسانات بشدة على خصائص ونسب الركام الموجودة في الخليط. لهذا السبب وضعنا كهدف تحليل تأثير خصائص ركام الطين الممدد على خصائص الخرسانة . تم اختيار ثلاث فئات من الخرسانة خفيفة الوزن باستخدام ثلاث أنواع من الركام الطيني المكلس (واحد مصنع والآخران تم تحضيرهما غي المختبر).

تتم مقارنة خصائص هذه الخرسانة بخصائص الخرسانة العادية.

Résumé

Ce travail porte sur les caractéristiques des bétons de granulats légers. Les caractéristiques de ces bétons dépendent fortement des propriétés et proportions de granulats présents dans la formulation. Pour cette raison nous avons fixé comme objectif ; analyse de l'influence des caractéristiques de granulats d'argile expansés sur les propriétés des bétons. Trois classes de bétons légers ont été testées à partir de trois types de granulats d'argile calcinés (une manufacturé et deux autres préparés au sein de laboratoire).

Les propriétés de ces bétons sont comparées avec ceux de béton ordinaire.

Abstract

This work focuses on the characteristics of lightweight aggregate concretes. The characteristics of these concretes strongly depend on the properties and proportions of aggregates present in the formulation. For this reason we have set as a goal; analysis of the influence of the characteristics of expanded clay aggregates on the properties of concrete. Three classes of lightweight concrete were tested using three types of calcined clay aggregates (one manufactured and two others prepared in the laboratory).

The properties of these concretes are compared with those of ordinary concrete.

Remerciement
Dédicace
Résumé
Sommaire
Liste des figures
Liste des tableaux
Notation et Abréviation
Introduction générale

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction.....1
I.2. Granulats légers.....1
I.2.1. Différents types de granulats légers.....2
I.2.1 .1. Les granulats légers naturels.....2
I.2.1.2. Granulats artificiels.....4
I.2.2. Absorption d'eau des granulats légers.....10
I.2.3. Composition chimique et minéralogique de granulats légers.....12
I.2.3.1. Granulats en argile expansée et schiste expansé.....12
I.2.3.2. Granulats en laitier expansé.....13
I.2.3.3. Pierre ponce et cendres volantes frittées.....13
I.2.3.4. Granulats de polystyrène expansé.....13
I.3. Bétons légers.....14
I.3.1. Définition.....14
I.3.2. Les types des bétons légers.....15
I.3.2.1 Béton cellulaire.....16
I.3.2.2. Le béton caverneux.....18
I.3.2.3 Béton a granulats légers.....19
I.3.3. Propriétés des bétons légers.....24
I.3.3.1. La porosité.....24

I.3.3.2. La légèreté.....25
I.3.3.3. La sensibilité à l'eau 25
I.3.3.4. La résistance à la compression des bétons légers.....26
I.3.3.5. Propriétés élastiques des bétons légers 26
I.3.3.6. La masse volumique 27
I.3.3.7. La durabilité 27
I.3.3.8. La rhéologie à l'état frais.....27
I.3.4. Le dosage.....28
I.3.4.1. Les Principes de dosage.....28
I.3.4.2. Les méthodes de dosage 28
I.3.5. Classification de béton léger 29
I.3.6. Domaine d'utilisation.....32
I.3.6.1. des bétons d'isolation pure, non porteurs 32
I.3.6.2. des bétons porteurs et isolants.....32
I.3.6.3. Des bétons légers de structure.....32
I.3.7. Les avantages des bétons légers 33
I.3.7.1. Avantages techniques 33
I.3.7.2. Avantages de Mises En Œuvre 33
I.3.7.3. Avantages Economiques.....33
I.3.8. Les inconvénients des bétons légers.....34
I.4. Conclusion 35

Chapitre II : Matériaux et essais expérimentales

II.1. Introduction 36
II.2. Caractéristiques des matériaux 37
II.2.1. Sable.....37
II.2.2. Gravier 41
II.2.3. Ciment.....44
II.2.4. Eau de gâchage 45
II.2.5. Super plastifiant.....46
II.2.6. Granulats léger d'argile expansée 46
II.2.6.1. granulats légers – Leca 47
II.2.6.2. Granulats d'argile préparés au de laboratoire 49
II.3 . Fabrication du béton.....57
II.3.1. Composition du béton.....58
II.3.1.1 . Béton de référence.....58
II.3.1.2. Bétons légers.....58
II.4. Malaxage 59
II .5 . Fabrication des éprouvettes 60
II.6. Méthodes d'essai sur béton.....62
II.6.1. Béton frais 62
II.6.1.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams 62
II.6.2. Béton durci 64
II.6.2.1. Résistance à la compression Rc-Norme NA 427 /1989 64
II.6.2.2. Essai de traction par flexion 64
II.6.2.3. Essais d'absorption d'eau par capillarité 65
II.6.2.4. La porosité 66
II.6.2.5. Conductivité thermique 66
II.6.2.6. Resistance au feu.....67
II.7. Conclusion.....69

Liste des figures

Figure I.1 : Pierre ponce ……...……3

Figure I.2 : Diatomite. ……...……..3

Figure I.3 : Pouzzolane……..…….....…..4

Figure I.4 : Argile expansée ……...……...5

Figure I.5 : Schiste expansé……...……6

Figure I.6 : Laitier Expansé……...……7

Figure I.7 : Laitier Bouleté……..…….. 7

Figure I.8 : Billes De Polystyrène……...…….. 9

Figure I.9 : Cendre volante…….....…10

Figure I.10 : Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés bouletés (Arg.) et de cendres volantes frittées (CV); granulats 4/8 mm, densité apparente ρ_g, d'après ZHANG & Gjørv……. 1 1

Figure I . 1 1 : Taux d'absorption en fonction du temps des granulats d'argile expansés bouletés (Arg.) et de cendres volantes frittées (CV); granulats 4/8 mm, densitée apparente ρ_g, d'après ZHANG & Gjørv……..…….....…..11

Figure I. 12 : Les types des bétons légers. …….....15

Figure I.13 : Représentation schématique des différents types de bétons légers……..16

Figure I.14 : Béton cellulaire…..……....17

Figure I.15 : Béton caverneux……..…….……18

Figure I.16 : Le béton de granulats léger…….…… ..20

Figure 1.17 : Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton. **[JOHN L.CLARKE, 1993].** ……...……....21

Figure I .18 : Béton de perlite..…….…..... .23

Figure I.19 : Béton de polystyrène expansé……..……23

Figure I.20 : Béton d'argile expansée…….……..….. 24

Liste des figures

Figure I.21 : Variation de la porosité en fonction de la composition de béton……..…... 25

Figure I.22 : Courbe de résistance en compression des bétons en fonction de l'âge…....26

Figure I. 23 : Variation de la masse volumique à l'état frai en fonction de la composition de béton…….……...…. ..27

Figure I.24 : Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours……..…….....30

Figure II. 1 : sable d'Oued-Souf……37

Figure II.2 : Essai d'équivalent de sable……39

Figure II.3 : Essai masse volumique……...40

Figure II. 4 : Gravie 3/8…….... 41

Figure II. 5 : Gravie 8/15……..…….41

Figure II. 6: Analyse granulométrique des granulats (GN 3/8, GN 8/15 et sable)- méthode de Dreux.G……..……42

Figure II. 7 : La machine de Los Angeles. ……..…..… 43

Figure II.8 : Le sac de ciment……..…44

Figure II .9 : Type de super plastifiant utilisé « SIKA TEMPO 12 »…….…....46

Figure II .10 : Granulats légers-Leca (8/16 mm)…….……46

Figure II .11 : Granulats légers – Leca……....47

Figure II .12 : Absorption des granulats Leca avant et après 24h…….……...48

Figure II .13 : Analyse granulométrique de granulats d'argile expansée- Leca……..…49

Figure II .14 : Roche d'argile verte……..……..50

Figure II .15 : Concasseur……..….50

Figure II .16 : Los angles…….....51

Figure 17: Organigramme des étapes à suivre lors de la préparation de la poudre d'argile……..……..52

Liste des figures

Figure II .18 : schéma des étapes de fabrication granulats d'argile expansée……..…..53

Figure II .19 : Préparation de l'argile avec poudre……..…….54

Figure II.20 : Préparation de l'argile avec papier…….……..55

Figure II.21 : Façonnage et séchage granulats d'argiles préparés…….….55

Figure II .22 : Four……..…...….56

Figure II .23 : Granulats d'argile préparés…….…....….56

Figure II .24 : Granulats préparés type 1.....56

Figure II .25 : Granulats préparés type 2……..…..….56

Figure II.26 : Le malaxage des bétons au laboratoire……..….....60

Figure II. 27 : Fabrication des éprouvettes…….....61

Figure II.28 : La conservation des éprouvettes……...61

Figure II. 29 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. …….....62

Figure II. 30 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams…….…….63

Figure II. 31 : Résistance à la compression sur cube…….…….……64

Figure II. 32 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction…….…….……...64

Figure II. 33 : Principe de l'essai d'absorption d'eau par succion capillaire…..…….…….65

Figure II. 34 : Variables étudiée…….…….……68

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition chimique des granulats d'argile et schiste expansés……12

Tableau I.2 : Composition chimique des granulats en laitier expansé……13

Tableau I. 3 : Composition chimique de la pierre ponce et de cendres volantes frittées……13

Tableau I. 4 : Les propriétés comparées des bétonscellulaires……17

Tableau I. 5 : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité……...29

Tableau I. 6 : Classification des bétons légers en Fonction De la densité ……...…..29

Tableau II.1 : Types de béton réalisé……36

Tableau II.2 : Analyse granulométrique sable selon la **Norme NF EN 933-1**……38

Tableau II.3 : Propriétés physiques de sable ……40

Tableau II.4 : Analyse granulométrique de gravie, fraction 3/8……..41

Tableau II.5 : Analyse granulométrique de gravie, fraction 8 /15……42

Tableau II.6 : Propriétés physiques des graviers……..43

Tableau II.7 : Analyse chimique du ciment et composition du clinker……..…..45

Tableau II.8 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé……45

Tableau II.9 : Propriétés physiques des granulats d'argile expansée Leca…….48

Tableau II.10 : Propriétés physiques des granulats d'argile préparés…….....57

Tableau II.11 : Composition d'un 1 m^3 de béton de granulats légers…….. 58

Tableau II.12 : Consistance du béton suivant l'essai d'affaissement au cône d'Abrams…….……63

Tableau II.13 : Caractéristiques de béton à l'état frais.....63

Notation et Abréviation

SiO_2 : Silice.

Al_2O_3 : Alumine.

Fe_2O_3 : Oxyde de fer.

CaO : La chaux.

MgO : Oxyde de magnésium.

SO_3 : Trioxyde de soufre.

S : Soufre.

FeO : Oxyde de fer.

MnO : Oxyde de manganèse.

K_2O^+ : Oxyde de potassium.

Na_2O : Oxyde de sodium.

ACCP : L'Association canadienne du ciment Portland.

BO : Béton ordinaire.

BL-LC : Béton léger de LECA.

BL-AP : Béton léger d'argile préparé.

LA : Coefficient de Los Angeles.

λ : La conductivité thermique.

PH : potentiel hydrogène.

CPJ : Ciment portland composé.

E/C : Eau / Ciment.

SP : Super plastifiant.

BL (LC-12,5) : Béton léger avec argile expansée LECA (12,5 %).

BL (LC-25) : Béton léger avec argile expansée LECA (25 %).

BL (LC-50) : Béton léger avec argile expansée LECA (50 %).

BL (AP-12,5) : Béton léger avec argile préparé (50 %).

BL (AP-25) : Béton léger avec argile préparé (25 %).

BL (AP-50) : Béton léger avec argile préparé (50 %).

Rc : Résistance à la compression.

R_f : Résistance à la flexion.

Rt : Résistance à la traction.

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

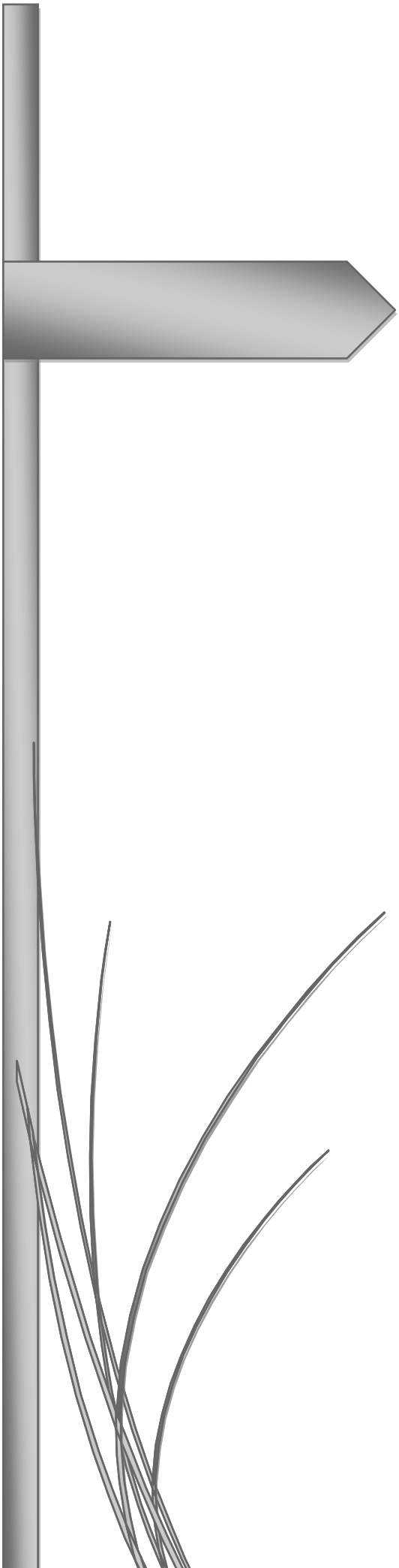
Msec : La masse d'éprouvette sèche.

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

ε : La porosité.

LC : Granulats légers LECA.

AP : Argile préparé.



Introduction Générale

Introduction générale

Les bétons légers ont une faible conductivité thermique et une bonne isolation acoustique. Par conséquent, ils peuvent apporter une solution technique très intéressante au problème d'isolation thermique et acoustique dans les bâtiments. Ces bétons sont normalement réalisés par trois manières : en employant les granulats légers, l'aération ou le gaz, ou en faisant une réduction de la partie fine du granulat. Dans chacun des trois cas la réduction de la densité du béton est réalisée par une augmentation des vides d'air dans le béton. Pour notre étude on a choisi les bétons légers confectionnés à partir de granulats légers artificiels.

Les bétons de granulats légers sont utilisés depuis de nombreuses années. A tel point que la première construction connue a été édifiée plus de 2000 ans en arrière à partir de roches volcaniques, il s'agit du Colisée de Rome. La production industrielle et la commercialisation des granulats légers ont commencé au début du XIXe siècle après l'invention du four rotatif. L'un des premiers emplois des granulats légers a été pour le renforcement des coques de navires et des barges aux USA à partir de 1918. Aujourd'hui les granulats légers sont largement utilisés à travers le monde comme une alternative plus légère et durable au béton classique de structure. Les applications typiques sont les ponts, les dalles, les corps flottants, les extensions de balcon, les immeubles de grande hauteur et les constructions légères.

Les granulats légers apportent de nombreuses caractéristiques innovantes dans les produits en béton. A titre d'exemple, la structure interne expansée permet de conférer aux éléments de construction de bonnes caractéristiques d'isolation. Les éléments préfabriqués et les bétons prêt à l'emploi se déclinent en une large gamme de résistance et de densité en œuvre allant jusqu'à des résistances à la compression de 70 MPa. Ce granulat est utilisé aujourd'hui dans un grand nombre de construction et application à travers le monde telles que :

DALLES : Le béton est allégé pour augmenter la portée des poutres en dallage dans les bâtiments et faciliter la manutention et le levage des éléments préfabriqués.

FONDATIONS : L'allègement du béton et donc des structures permet de donner lieu à des fondations plus simples et par conséquent génère des économies dès le dimensionnement.

PONTS : Le béton allégé permet des portées plus longues, des profils plus large, par conséquent des fondations moins sollicitées et par extension des coûts maîtrisés.

STRUCTURES MARITIMES : Les bétons allégés apportent une réduction du poids mort et par conséquent de meilleures propriétés de flottabilité pour tous les types de structures immergées ou partiellement immergées y compris plates-formes, bateaux, quais, etc

EXTENSIONS : Tous les types d'extensions peuvent être allégés, ce qui simplifie le processus de rénovation/construction.

REHABILITATION : Réduire les charges sur la structure pour la rénovation des ponts, le renforcement des dalles et d'autres structures.

Les caractéristiques mécaniques des bétons de granulats légers dépendent fortement des propriétés et proportions de granulats présents dans la formulation. Pour cette raison nous avons fixé comme objectif ; analyse de l'influence des propriétés de ces granulats sur le comportement mécanique des bétons légers en suivant une approche expérimentale après notre choix de granulat léger qui est l'argile expansée.

Le programme expérimental s'appuyé sur les caractéristiques de la matrice cimentaire et le pourcentage des granulats légers ou nous avons fixé 4 proportions (0, 12.5, 25, 50%) ainsi le type de granulats (granulats manufacturé de Leca, deux autres préparés dans le laboratoire) afin d'avoir ses effets sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons.

Le présent travail sera présenté sous deux chapitres :

Le premier est consacré à la recherche bibliographique. Il présente une revue sur les granulats légers dont la partie importante est consacré au granulat d'argile expansé, et béton léger.

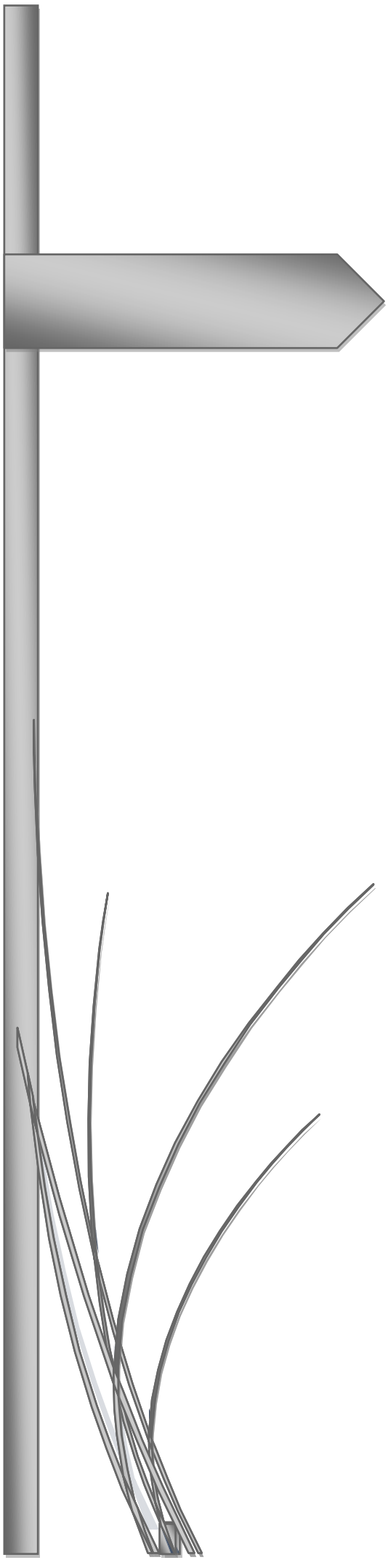
Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, dans laquelle nous exposant au premier lieu les caractéristiques des matériaux utilisés, les procédures de confection des mélanges, les étapes de préparations de granulats légers ainsi que les différents essais effectués sur les bétons.

Vu qu'on n'a pas des résultats, à cause des essais non réalisé à l'état durci (fermeture de Hall) nous avons clôturé ce travail par des conclusions générales sur les deux chapitres présentés.

Chapitre I

Bétons légers

Etude 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]**

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.

I.2. Granulats légers

Les granulats légers sont des matériaux poreux. Avant de présenter ces matériaux, nous allons définir deux grandeurs qui caractérisent leur légèreté : la masse volumique en vrac et la masse volumique réelle. La masse volumique en vrac désigne le rapport de la masse de granulat léger sec pour remplir de façon aléatoire un récipient sur le volume du récipient.

La masse volumique réelle exprime le rapport d'une masse donnée de granulat léger sec sur le volume qu'elle occupe dans l'eau. **[4]**

Selon la norme NF EN 206-1/CN, **[5]** les granulats utilisés dans le domaine de la construction peuvent être subdivisés en trois catégories :

- le granulat léger : granulat d'origine minérale ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle inférieure ou égale à 2000 kg/m^3.
- le granulat courant : granulat minéral et granulaire ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle comprise entre 2000 et 3000 kg/m^3.
- Le granulat lourd : granulat minéral et granulaire ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle supérieure ou égale à 3 000 kg/m^3. **[4]**

I.2.1. Différents types de granulats légers

Les bétons de granulats légers sont généralement classés suivant l'origine du granulat utilisé, ainsi on distingue 4 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 expansée.

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

I.2.1 .1. Les granulats légers naturels

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

A. Pierre ponce

La pierre ponce est un matériau naturel d'origine volcanique, on trouve dans sa composition chimique une proportion élevé de trois minéraux qui sont : la silice, l'alumine et l'alcali. Elle se forme par brusque refroidissement de roches en fusion. Ses éléments sont arrondis (grains avec diamètre maximale de 10 à 20 mm). Elle est de couleur grisâtre, d'une grande porosité et d'une faible densité (peut flotter sur l'eau). **[6]**

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



Figure I.1 : Pierre ponce **[7]**

B. Diatomite

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse constituée essentiellement de squelettes de Diatomées (algues unicellulaires). Les matériaux dianoématiques bruts font l'objet d'un traitement en usine, qui comprend principalement le broyage, le séchage, la sélection granulométrique, la calcination et l'activation (calcination avec ajout d'un agent fanant). **[8]**



Figure I.2 : Diatomite. **[9]**

C. Pouzzolane naturelle

La pouzzolane provient de la cristallisation de magma volcanique refroidi assez lentement (scorie, lave mousseuse, crasse volcanique). La roche s'exploite en carrière. Elle est parfois lavée, concassée et criblée. La pouzzolane est colorée en rouge brun, en noire ou en teinte intermédiaire. C'est une roche silicoalumineuse (par EX : SiO_2=50%, Al_2O_3=20%, Fe_2O_3=10%). Sa densité est un peu plus élevée que celle de la ponce, de l'ordre de 700 à 900

kg/m^3, Les bétons confectionnés de la pouzzolane sont peu plus denses et plus résistants que les bétons de ponce. **[10]**



Figure I.3 : Pouzzolane. **[11]**

I.2.1.2. Granulats artificiels

Des granulats légers peuvent être également produits artificiellement, soit à partir de matières premières naturelles comme l'argile, le schiste, l'ardoise, soit à partir de sous-produits comme les laitiers, les cendres volantes frittés ou encire l'EPS (Polystyrène Expansé). **[12]**

Les granulats artificiels sont les granulats d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des modifications thermiques ou autres. **[13]**

A. Argile expansée

L'argile expansée est certainement actuellement le matériau le plus fabriqué dans le monde. Le principe de la fabrication est connu depuis le dépôt en 1917 du brevet américain de hayde (pour l'argile et aussi pour le schiste expansé). La production industrielle a commencé vers 1928 et actuellement dans le monde il existe plusieurs centaines d'usines. **[6]**

A.1. Composition et origine

Les argiles ne sont pas toutes susceptibles de gonfler sous l'effet de la chaleur. En effet, seules les argiles contenant de la pyrite, de l'hématite ou de la dolomie sont réactives. A la fin du processus d'expansion, on obtient des particules de forme généralement arrondie, présentant une peau brune rougeâtre enveloppant une texture alvéolaire noirâtre. **[6]**

A.2. Méthode de fabrication

Certaines argiles ont la propriété de gonfler sous l'action de fortes températures de l'ordre de 1000 °C. Ce gonflement est associé à un dégagement de gaz lié au ramollissement de la matière. **[6]**

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

Au refroidissement, on obtient un granulat léger, dur, à texture cellulaire. Par concassage, on obtient des granulats de tailles variées et dont la masse volumique apparente varie entre 300 et 1000 kg/m3. **[6]**

Les bétons confectionnés à partir d'argile expansée ont une bonne résistance à la compression de l'ordre de 30 à 35 MPa avec des masses volumiques se situant autour de 1650 kg/m 3 et 1200 kg/m 3 pour les bétons légers de structure et les bétons légers isolants respectivement. **[6]**



Figure I.4 : Argile expansée **[11]**

B. Schistes expansés

B.1. Composition et origine

Les schistes servant à la fabrication des granulats légers peuvent provenir de diverses origines, soit de schistes naturels (schistes carbonifères, houillers et bitumineux), ou de schistes plus classiques, en provenance de carrière ou encore d'ardoise. **[10]**

B.2. Méthode de fabrication

Le procédé de fabrication des granulats légers à partir de schistes est similaire au procédé par expansion. D'abord, on procède au broyage des matières premières pour réduire la taille des particules de schiste à un diamètre maximal de 800 µm. Ensuite, on mélange cette poudre à 10 % d'eau pour obtenir une pâte que l'on va extruder aux environs de 80°C sous forme de coudes. Les nodules extrudés de 5 à 15 mm sont ensuite séchés et expansés au four à une température de 1300 à 1450 °C.

L'expansion est d'autant plus importante que la température est élevée. Par exempte, la masse volumique en vrac est d'environ 1000 kg/m^3 à 1300 °C comparativement à 380 kg/m^3 pour une température de 1450 °C. **[14]**

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



Figure I.5 : Schiste expansé. **[8]**

C. Laitier

Le laitier est un sous-produit de la fabrication de la fonte dans les hauts- fourneaux. Des usines sidérurgiques. Plusieurs traitements permettent d'obtenir des granulats légers à partir du laitier en fusion. **[6]**

- **Le laitier expansé**

Le laitier s'expansé en se refroidissant dans une fosse au fond dont laquelle on envoie des jets d'eau sous pression. La roche obtenue a une structure alvéolaire. Elle est concassée et criblée, la densité des granulats varie de 600 à 900 kg/m^3. **[6]**

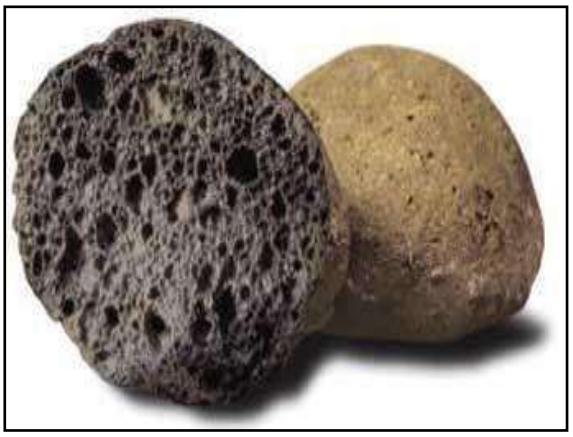


Figure I.6. Laitier expansé. **[15]**

❖ **Le laitier Bouleté**

Le laitier bouleté est obtenu à partir du laitier liquide par dispersion mécanique dans l'air grâce à un tambour rotatif. Le laitier prend la forme de boulettes de 1 à 20 mm, de structure vitreuse extérieurement vitreux, les granulats les plus gros ont un cœur cristallisé.

La densité des grains de 4/ 10 mm varie entre 800 et 900kg/m3. **[6]**



Figure I.7 : Laitier Bouleté. **[15]**

C.1. Composition et origine

La composition chimique des laitiers est en grande partie constituée de silice, d'alumine et de chaux. Ils sont obtenus lors de la production de la fonte dans les hauts fourneaux. **[6]**

C.2. Méthode de fabrication

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

900 kg/m^3. **[6]**

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

D. Polystyrène expansé

Le polystyrène est un matériau alvéolaire rigide. Peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique de bâtiment et l'emballage des produits industrielles ou alimentaires **[16].**

D.1. Composition et origine

La matière première servant à la formation des billes de polystyrène est constituée de granules de polystyrène non expansé renfermant un pyrogène. **[6]**

D.2. Méthode de fabrication

Le pyrogène, sous l'action de la chaleur passe à l'état gazeux et provoque ainsi une expansion. Ce matériau alvéolaire rigide est d'une masse volumique très faible (10 à 40 kg/m^3). **[6]** et donc ses bétons (béton léger et isolant thermique) ont des masses volumiques aussi faibles (300 à 800 kg/m^3). **[17]**

Les bétons confectionnés à partir de polystyrène ont une masse volumique aussi faible de 550 à 800 kg/m^3 et une résistance à la compression de l'ordre de 2,0 à 4,0 MPa. **[6]**



Figure I.8. Billes De Polystyrène. **[15]**

E. Cendre volante

Les cendres volantes résultent de la combustion du charbon dans les centrales thermiques; elles sont récupérées au moyen de séparateurs pneumatiques et électrostatiques puis humidifiées pour faciliter la manutention. Les cendres volantes sont une poudre fine constituée principalement de particules vitreuses sous forme sphériques. Les compositions chimiques des cendres volantes dépendent des impuretés contenues dans le charbon utilisé. **[18]**

E.1. Composition et origine

Les cendres volantes sont constituées principalement de silice (50 %) et d'alumine (32 %). Ce sont des sous-produits récupérés de la combustion du charbon pulvérisé aux environs de 1500°c. **[6]**

E.2. Méthode de fabrication

Les cendres volantes, humidifiées avec de l'eau puis malaxées, par la suite être bouletées. Ces boulettes sont ensuite envoyées dans le four pour le frittage (four à grille horizontale) à des températures allant de 1200 à 1300°C. Ce frittage permet de souder les particules de cendre et crée de petits espaces d'air entre elles. Ainsi, nous obtenons les granulats appelés cendres volantes frittées avec une masse volumique apparente d'environ 800 kg/m^3. **[6]**

Les bétons contenant les cendres volantes frittées ont une bonne résistance à la compression et une masse volumique acceptable. **,** elles se situent autourde1850 kg/m^3 pour les bétons légers structuraux. **[6]**



Figure I.9. Cendre volante. **[8]**

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

I. 2.2. 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 détermine surtout leurs propriétés d'absorption (taux d'absorption et absorption totale). Les données de la littérature montrent que l'absorption d'eau des granulats légers manufacturés initialement secs varie généralement entre 10 et 20 % après 24 heures d'immersion. Cependant, le taux d'absorption initial est très élevé : plus de 50 % de l'absorption est souvent complétée dès les toutes premières minutes. **[19-20]** comme Les (**figures I.10** et **I.11**) le montre :

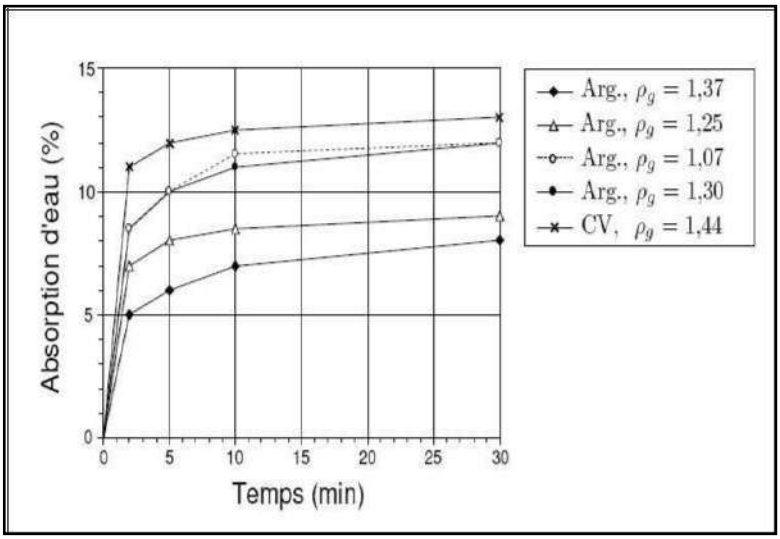


Figure I.10. Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés bouletés (Arg.) et de cendres volantes frittées (CV); granulats 4/8 mm, densité apparente ρ_g, d'après ZHANG & Gjørv. **[20]**

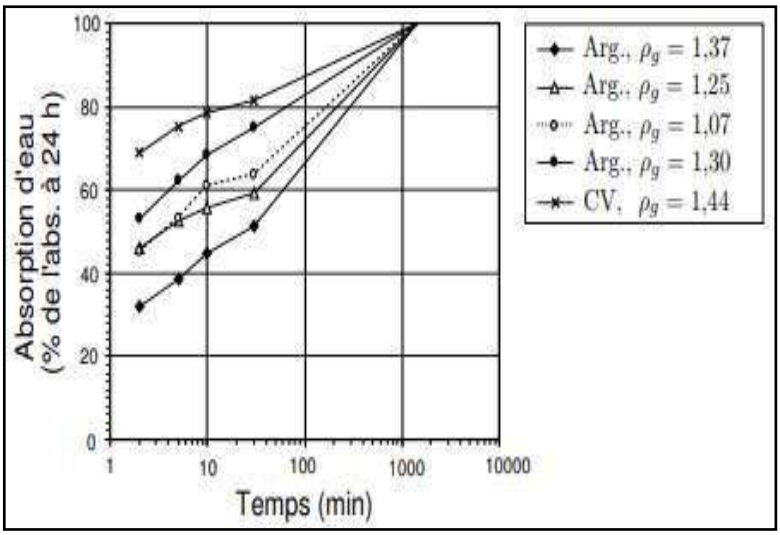


Figure I.11. Taux d'absorption en fonction du temps des granulats d'argile expansés bouletés (Arg.) et de cendres volantes frittées (CV); granulats 4/8 mm, densitée apparente ρ_g, d'après ZHANG & Gjørv. **[20]**

Par ailleurs, la porosité des granulats manufacturés 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. La porosité peut également dépendre du préformage avant l'expansion. Les cendres volantes frittées, sont les plus absorbantes comparativement à l'argile expansée ; étant donné l'interconnexion plus élevée entre les pores.

Lorsqu'on fabrique un béton avec des granulats légers, une quantité importante d'eau de gâchage peut être absorbée par les granulats. Cette absorption d'eau dépend toutefois de l'interconnexion des pores dans les granulats, du degré de saturation initial des granulats et du rapport eau/ciment de la matrice cimentaire. L'effet sur l'ensemble du matériau peut se traduire par une perte rapide de maniabilité, mais peut aussi contribuer à améliorer la microstructure de la matrice cimentaire aux interfaces pâte-granulats par un effet de filtration. **[21-22]** D'ailleurs, l'eau absorbée par les granulats constitue une réserve pour l'hydratation subséquente de la matrice cimentaire. **[23-24]**

Certains moyens tels que le pré mouillage ou l'utilisation d'un traitement de surface visant à réduire l'absorption des granulats s'avèrent très efficaces pour diminuer la perte de maniabilité des bétons légers. La paraffine et la pâte de ciment ont entre autres été utilisés. **[25-26]**

I.2.3. Composition chimique et minéralogique de granulats légers

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

I.2.3.1. Granulats en argile expansée et schiste expansé

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

Tableau I.1: Composition chimique des granulats d'argile et schiste expansés **[27]**

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

En ce qui concerne la minéralogie, les granulats d'argile et de schiste expansés sont principalement constitués de quartz, les autres silicates ayant un faible taux de cristallisation. **[28, 29]**

I.2.3.2. Granulats en laitier expansé

Le laitier utilisé comme base de granulats légers doit satisfaire aux spécifications de la norme NF P18-302. **[30]** Ils sont composés à part égale d'environ 80% de silice et de chaux.

Leur composition chimique est présentée dans le Tableau I.2.

Tableau I.2 : Composition chimique des granulats en laitier expansé. **[27]**

CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	S	SO_3
38 -48 %	29 - 38%	13 - 24%	≤ 6 %	≤ 4 %	≤ 2 %	≤ 2%	≤ 0,5 %

I.2.3.3. Pierre ponce et cendres volantes frittées

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

Tableau I.3 : Composition chimique de la pierre ponce et de cendres volantes frittées. **[31]**

	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	CaO	K_2O + Na_2O	SO_3
Pierre ponce	69 %	18 %	1,0 %	2,0 %	3,0 %	5,0 %	1,8 %
Cendre volante	49,5 %	30,2 %	2,4 %	9,5 %	4,6%	3,0 %	0,9 %

I.2.3.4. Granulats de polystyrène expansé

Le polystyrène est un polymère thermoplastique linéaire à squelette aliphatique obtenue par polymérisation du motif homopolymère de styrène. **[32]**

I.3. Bétons légers

Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux développés par des ingénieurs. Ses caractéristiques spécifiques suggèrent de nouvelles applications architecturales. Ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet, la masse volumique d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 kg/m^3, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 kg/m^3. La technologie de ces nouveaux bétons peut être profitable pour la construction notamment dans les pays en voie de développement. Son faible poids, sa résistance et ses autres propriétés le rendent pertinent à utiliser dans des conditions de mise en chantier plus spécifiques. De plus, l'utilisation d'un béton de masse volumique faible peut permettre de construire sur un sol de faible capacité portante. **[33]**

I.3.1. 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 nouvelles application, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique.

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 (inférieure à 1800 Kg/m^3). **[10]**

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

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.

I.3.2.Les types des bétons légers

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

1) Les particularités en matière de formulation des bétons légers,
2) La source des constituants spécifiques à la confection de bétons légers dont les matériaux légers naturels, artificiels et recyclés.

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

- soit dans les granulats ;
- soit dans la pâte de ciment ;
- ou entre les gros granulats par élimination de granulats fins

Ceci produit trois types de dénominations pour ces bétons soient les bétons cellulaires ; Les bétons sans fines (caverneux) ; Les bétons de granulats légers (argiles expansé……)

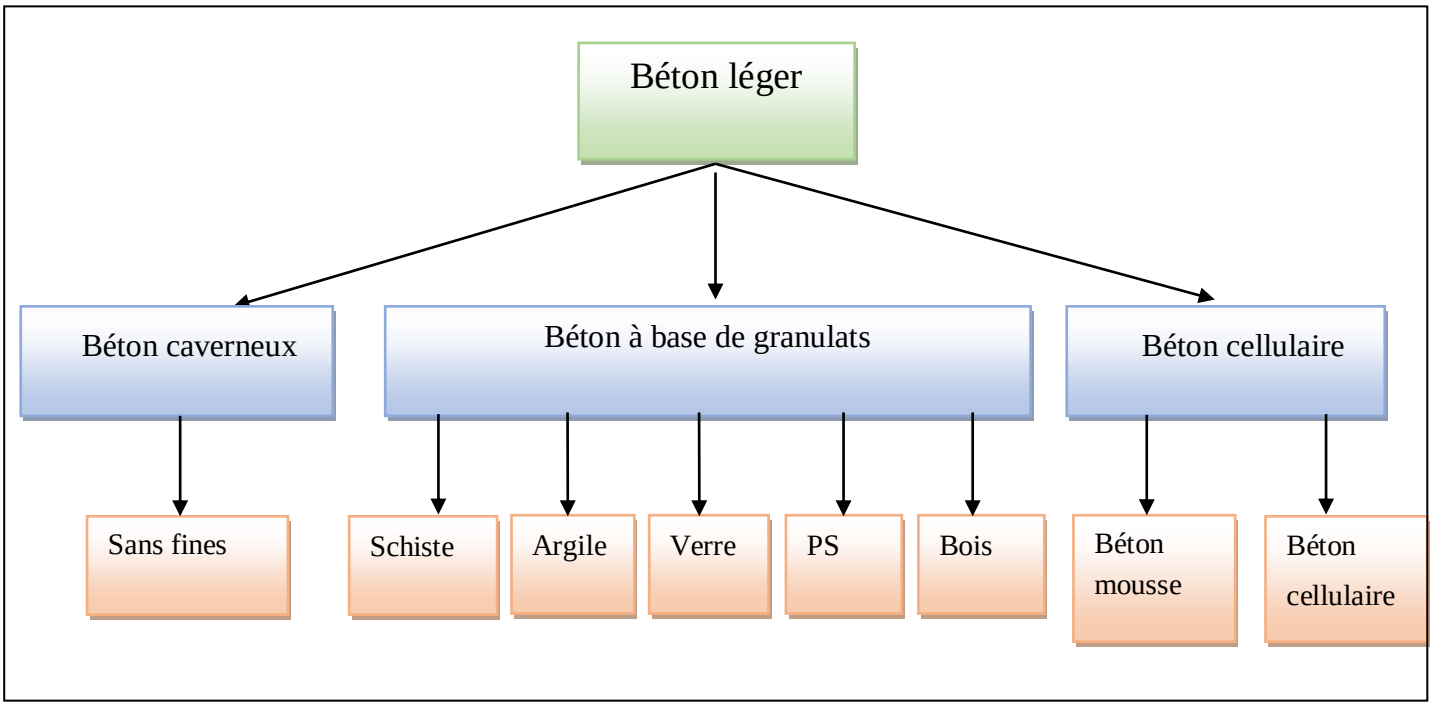


Figure I. 12 : Les types des bétons légers. **[34]**

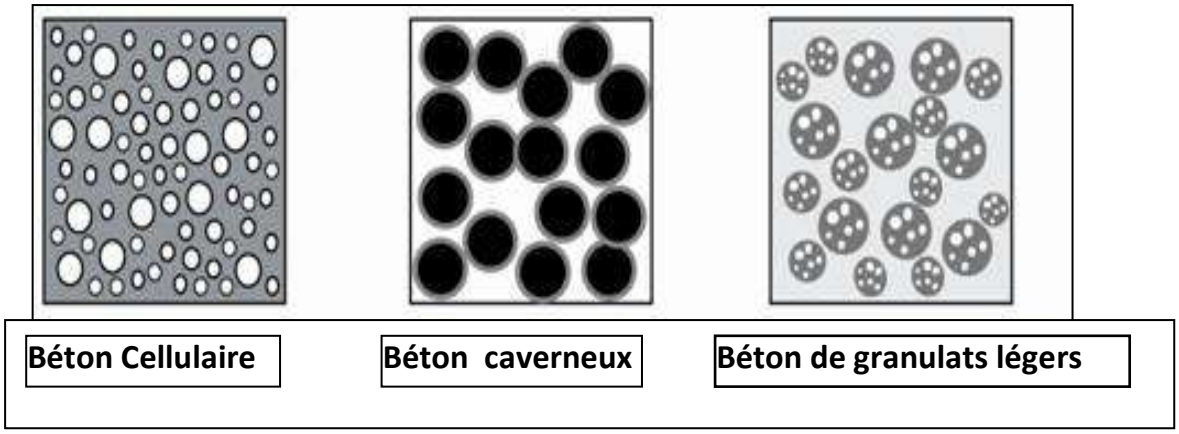


Figure I.13 : Représentation schématique des différents types de bétons légers. **[35]**

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

I.3.2.1 Béton cellulaire

Le béton cellulaire est issu de longues recherches, entamées il y a plus de 150 ans. A cette époque, zernikov étudie des mortiers à base de chaux vive et de sable portés à haute température. [**36]**

Les bétons cellulaires sont en général des mortiers remplis de petites bulles d'air. Ces mortiers sont des mélanges de sables (granulats à base de silice ou légers) et de ciment portland. Les bulles sont créées à l'intérieur de la pâte grâce aux agents moussants qui sont utilisés dans le béton pour produire un volume d'air important. On cite parmi Ces agents, la poudre d'aluminium ou soit par gâchage avec de l'eau savonneuse. La poudre d'aluminium réagit chimiquement avec le ciment et l'eau lors du malaxage pour donner, d'une part, un sel et, d'autre part, de l'hydrogène qui compose ainsi les petites bulles. Ces processus demandent une grande précision et des calculs de dosage précis; ils doivent être réalisés en atelier, et non pas sur le chantier. **[6]**

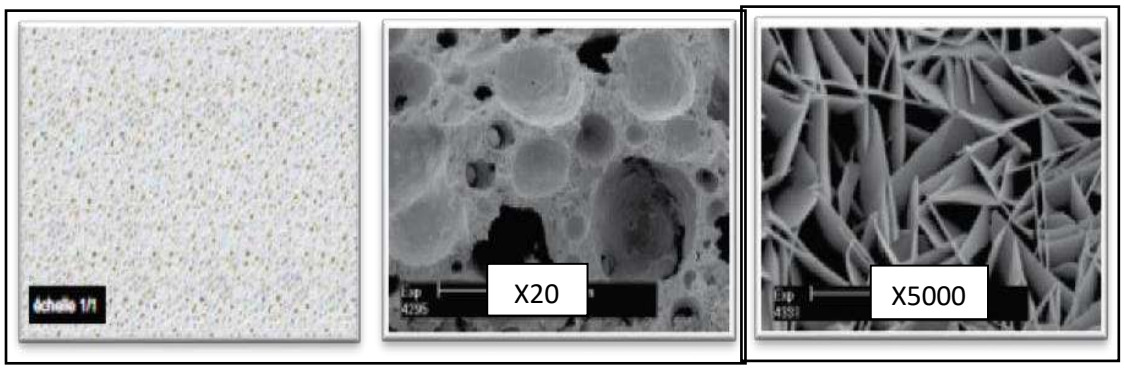


Figure I.14 : Béton cellulaire. **[15]**

Tableau I.4 : Les propriétés comparées des bétons cellulaires. **[10]**

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

Les résistances et le module d'élasticité augmentent en fonction de l'augmentation de la masse volumique du béton (Tableau I.4). En conséquence, il est possible d'obtenir une masse volumique souhaitée pour une résistance spécifique. Il est à noter que la résistance en flexion peut être améliorée par l'ajout d'armature ou de microfibres, celles-ci reprennent les efforts de flexion, et aide à contrôler la microfissuration lors de l'application d'une charge. **[10]**

Le béton léger « cellulaire ou aéré » s'avère être le béton le plus susceptible de remplir les objectifs du système de plancher projeté. Le béton cellulaire est un matériau moulable, malléable, léger, durable et relativement résistant. Ce sont toutes des propriétés que les auteurs Agustin et al. (1990) démontrent comme étant des propriétés à rechercher pour

l'habitation à faible coût. Le béton cellulaire non traité à l'autoclave, nécessite peu d'outillage spécialisé et peut être assemblé sans trop de machinerie. **[35]**

Les bétons cellulaires ont généralement une masse volumique et une résistance à la compression extrêmement faibles. L'utilisation la plus courante des bétons cellulaires se limite au béton de remplissage dans des murs, plafonds, planchers ou comme matériaux de remblai. **[10]**

I.3.2.2. Le béton caverneux

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

Un béton ne contenant pas de sable produit une agglomération de gros granulats dont les particules sont recouvertes par un film de pâte de ciment d'une épaisseur de 1 à 3 mm. Cette substitution crée à l'intérieur du béton de larges cavités (pores), responsables de la diminution de la masse volumique et de la baisse de résistance à la compression. **[10]** La pâte de ciment ne remplit pas la totalité des vides interstitiels, et de l'air reste contenu entre les granulats ; ce béton Très poreux en raison de la présence dans sa masse de vides dus. Ils sont drainants et sont fabriqués avec un minimum d'eau pour éviter le lavage de la pâte de ciment sur les granulats. **[35]**

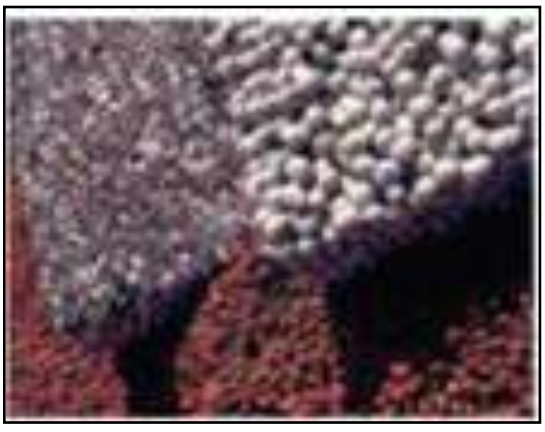


Figure I.15 Béton caverneux. **[35]**

A. Les principales propriétés du béton caverneux

- Une résistance à la compression entre 1.5 Mpa et 14 Mpa.
- La résistance en flexion est habituellement égale à 30 % de la résistance en compression, c'est-à-dire supérieure à celle du béton ordinaire. **[37]**
- Le retrait est considérablement plus faible que celui d'un béton de densité normale

- Ce béton est très résistant au gel.
- Une masse volumique inférieure à 1800 Kg/m^3.
- Sa forte absorption d'eau le rend cependant inutilisable dans les fondations et dans les situations où il peut se saturer en eau. **[38]**

B. Utilisation du béton caverneux

Leur utilisation n'est généralement pas associée à la recherche de la légèreté du produit, mais bien davantage pour les particularités économiques occasionnées par la faible teneur en ciment. On les utilise principalement dans la confection de murs porteurs de bâtiments domestiques et dans les panneaux de remplissage de cadres de structure. Ainsi pour des ouvrages requérant des propriétés drainantes, tels les puits de captage des eaux de ruissellement, confection des éléments architecturaux. **[10]**

I.3.2.3 Béton a granulats légers

A. Historique

L'utilisation des granulats légers date de l'époque romaine qui se situe entre 27 avant J. C. et 476 après J. C. Plusieurs édifices pour ne citer que la Panthéon et le Colisée de Rome sont réalisés en partie en béton léger (BREMNER et AL. 1994) **[39].**Par exemple, le dôme du panthéon d'une portée d'environ 43 mètres a été réalisé avec des matériaux de densités variables dont un contenant de la pierre ponce. Après le déclin de l'empire Romain, l'utilisation des granulats légers naturels tels que la pierre ponce, la pouzzolane, la diatomite etc., a été ralentie jusqu'à l'avènement des granulats légers artificiels tels que l'argile expansée, l'ardoise expansée, cendre volant fritée etc., au XXIème siècle.

Historiquement, l'ingénieur HAYDE STEPHEN est le premier à fabriquer des granulats légers par l'application d'un traitement thermique sur un matériau expansible (ARNOULD et VIRLOGEUX 1986) et (TANG et AL. 2011). **[40.41]** Il déposa un brevet en 1918 pour la technique d'expansion de l'argile. De l'ardoise et du schiste à partir d'un four rotatif. C'est le début de la production et de la commercialisation des granulats légers artificiels. Les granulats légers artificiels s'est développé au début des années 1970 avec l'implantation de la première usine en 1964 à WATTEN dans le nord. Selon (CHEN et AL 2012), **[42]** les granulats légers sont aujourd'hui présents dans différents domaines tels que le bâtiment (béton préfabriqué et béton prêt à l'emploi), les travaux public (remblai), l'horticulture (grainage de jardin), du traitement des eaux (filtre ou lit bactérien). Certains sont peu résistants voire faibles tandis

que d'autres sont résistance et durs.

B. Définition

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

Les comportements physiques et mécaniques des bétons de granulas légers sont dictés par le type de granulats légers utilisés, et par leurs propriétés physiques et mécaniques d'une part, et d'autre part par la nature de la matrice utilisée. Selon les exigences demandées et selon le béton utilisé, le choix du type de granulats et de la nature de la matrice s'avère important. **[43]**



Figure I.16 : Le béton de granulats léger. **[35]**

C. Composition du béton à granulats léger

Les bétons de granulats légers sont fabriqués avec des granulats à faible masse volumique tel que l'argile expansée, le schiste expansé, le laitier expansé, la pierre ponce, le polystyrène expansé, le liège ou la vermiculite

Les granulats légers absorbent une grande quantité d'eau, ce qui constitue une grande difficulté du point de vue de la plasticité et de l'ouvrabilité des bétons. Le dosage en eau est donc un problème et ne peut pas être pris à la légère. **[11]**

D. Caractéristiques et propriété du béton à granulats léger

- **Résistances :** La résistance des bétons de granulats légers en compression est inférieure à celle des bétons classiques réalisés avec des granulats denses.

Cette résistance décroît proportionnellement avec la densité du béton. Cependant, avec de bons granulats et du sable naturel ainsi qu'une augmentation du dosage du ciment, des résistances de même catégorie que ceux des bétons peuvent être atteints. La résistance en traction est également plus faible.

- **Ouvrabilité :** L'ouvrabilité est également difficile, toujours à cause des granulats qui absorbent l'eau. Pour y remédier, on peut avoir recours à certains adjuvants comme les entraîneurs d'air ou les plastifiants.
- **Fluage :** Leur déformation instantanée est le double des bétons courants.
- **Retrait :** Leur retrait est plus important mais est également plus tardif du fait de la déshydratation des mortiers qui est retardée par les granulats absorbant l'eau.
- **Conductivité thermique :** C'est l'atout majeur des bétons de granulats légers. En effet, par la présence des bulles d'air intercalées dans l'épaisseur du béton, le béton de granulats légers est un excellent isolant thermique mais également un bon isolant acoustique. **[11]**

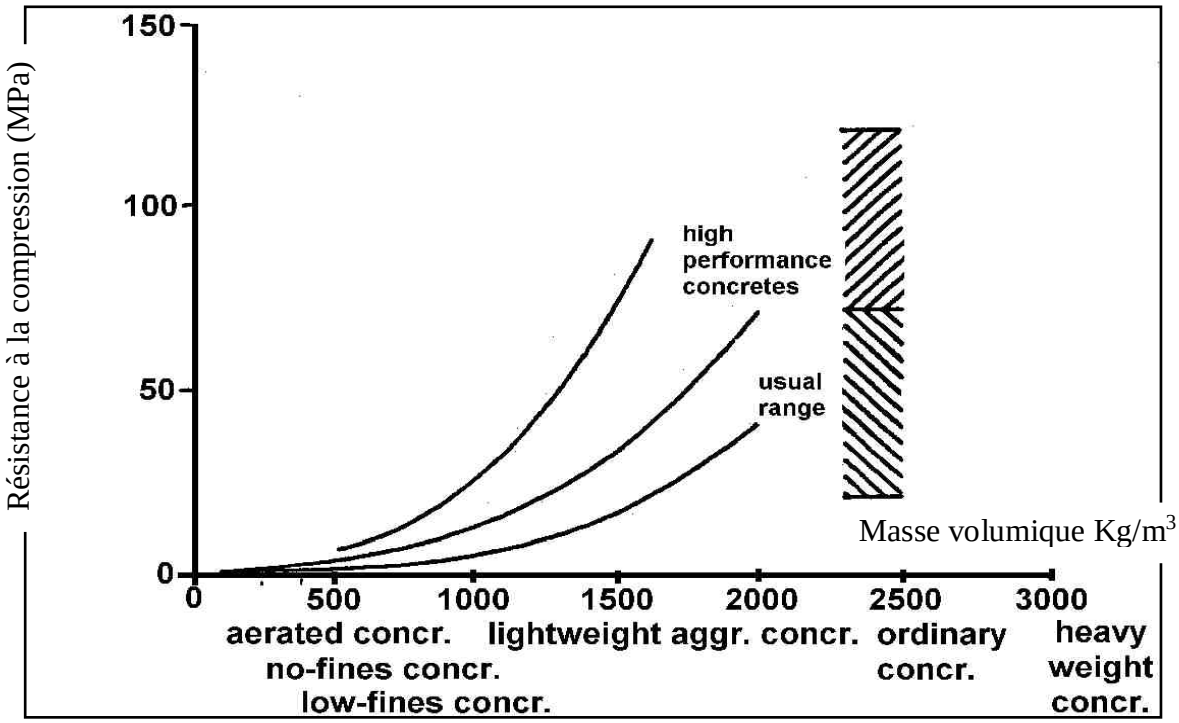


Figure 1.17 : Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton. **[JOHN L.CLARKE, 1993]. [44]**

E. Utilisation du béton à granulats léger

Les bétons de granulats légers se trouvent de nombreuses applications dans le domaine du bâtiment et des ouvrages d'art. Ils sont utilisés notamment pour alléger les structures telles que les poutres, les poteaux, les planchers, les tabliers de ponts etc.

Les bétons légers sont également connus pour améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments ou l'absorption acoustique des écrans acoustiques protégeant les riverains des nuisances sonores. Ils sont utilisés dans les structures préfabriquées ou réalisées sur chantier. Dans l'industrie du béton, cette famille de bétons est utilisée pour les produits de structure destinés aux bâtiments ou aux ouvrages de génie civil qu'ils soient en béton armé ou précontraint.

Les bétons légers pour les produits de structure présentent des masses volumiques réelles sèches comprises entre 1 200 et 2 000 kg/m3 et des résistances à la compression comprises entre 25 et 80 Mpa. **[4]**

E. 1. Les bétons de granulats légers naturels

Il s'agit des bétons fabriqués avec de la ponce ou de la pouzzolane (matériaux volcaniques naturels de structures très poreuse obtenus par concassage granulats léger). Ces matériaux sont relativement peu connus en Algérie, leur emploi reste donc sans domaine d'application, mais il n'est pas exclu, que dans l'avenir, certaines de leurs propriétés les rendent plus avantageux pour certaines réalisations. **[6]**

E. 2. Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique

Ce sont les bétons fabriqués avec des granulats d'argile, de schiste, d'ardoise, de perlite expansée, de polystyrène expansé ou de vermiculite exfoliée**. [6]**

- Le béton de perlite est utilisé comme enduit isolant, chape de planche, pente de terrasse...etc. Il présente une excellente résistance aux agents chimiques et un bon comportement au feu. **[15]**



Figure I .18 : Béton de perlite. **[15]**

- Le béton de polystyrène est utilisé pour les murs extérieurs et les hourdis de planchers. **[15]**



Figure I.19 : Béton de polystyrène expansé. **[15]**

- Le béton d'argile expansé est l'un des matériaux de construction les plus prometteurs. L'argile expansée apporte ses qualités exceptionnelles d'isolant thermique et acoustique, d'allègement des structures et de solutions pratiques de mise en œuvre pour tous les travaux, de construction neuve comme de rénovation, ce qui en fait un matériau à forte valeur ajoutée ; une réponse aux défis d'aujourd'hui: construire mieux et respectueusement pour l'environnement. **[45]**

Le béton d'argile expansée est utilisé pour les dalles et les fondations et les ponts.



Figure I.20 : Béton d'argile expansée. **[15]**

E.3. Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial

Il s'agit des bétons réalisés avec du mâchefer, sous-produit de la combustion du charbon ou des ordures ménagères. Ce matériau est en très nette régression et on l'utilise que pour la fabrication de parpaings. **[6]**

E.4. Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux

Ce sont des bétons confectionnés à partir des granulats légers issus de très nombreux déchets industriels comme le laitier de haut fourneau du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR que l'on expansé sur les lieux de production, les cendres volantes que l'on peut fritter ou le verre que l'on peut également expansé. **[46]**

I.3.3. Propriétés des bétons légers

I.3.3.1. La porosité

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

Les granulats possèdent une porosité intrinsèque a due à la présence de l'air intra-particule. Compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de la dizaine de µm), la porosité du granulat sera qualifiée de porosité microscopique. **[47]**

Agoumimelcha. A **[15]** dans sa recherche sur les granulats obtenus par recyclage des boues de barrage ont obtenu les résultats suivants :

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

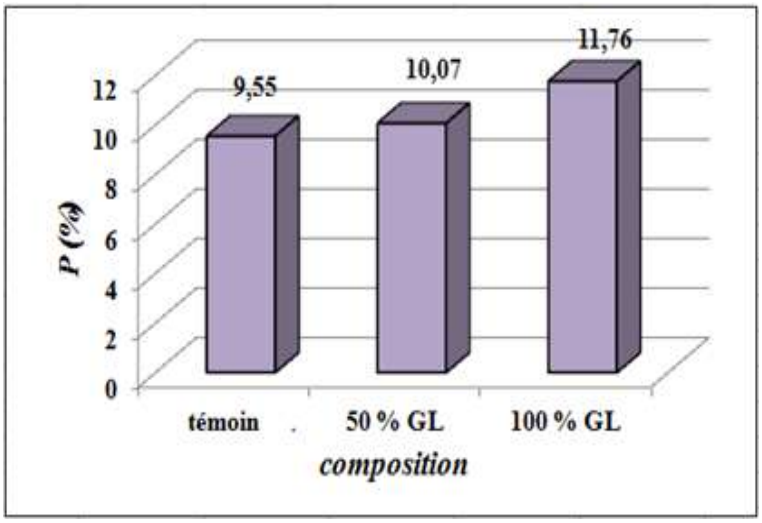


Figure I.21 : Variation de la porosité en fonction de la composition de béton. **[15]**

I.3.3.2. 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). **[48]** L'intérêt est d'avoir un matériau facile à mettre en œuvre lorsqu'il est vendu manufacturés sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction**. [20]**

I.3.3.3. La sensibilité à l'eau

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

La perméabilité représente la faculté qu'a un matériau de laisser un fluide s'écouler en son sein, sous l'effet d'un gradient de pression.

Cette propriété de perméabilité n'existe donc que si le matériau possède une porosité non négligeable et que celle-ci est connectée. En revanche, un matériau peut être très poreux (le béton cellulaire) et peu perméabilité car les pores, non relies entre eux, ne constituent pas des

chemins continus, dans lesquels le fluide peut s'écouler. Porosité et perméabilité sont doc liées mais la première n'applique pas forcément le deuxième. **[47]**

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

A la différence du béton traditionnel, la rupture en compression d'un béton léger se produit en général par cassure des granulats légers, dans des plans qui coupent le plus grand nombre possible de granulats légers la rupture des éprouvettes est ainsi caractérisée par un ou plusieurs plans parallèles au chargement et par le fendage des granulats. Les principaux facteurs ayant une influence sur la résistance en compression des bétons de granulats légers sont des caractéristiques des granulats et la composition du béton. **[47]**

SENE.L **[49]** dans sa recherche sur les bétons à granulats légers à base d'argile expansée et à base de coquillages ont obtenu les résultats suivants :

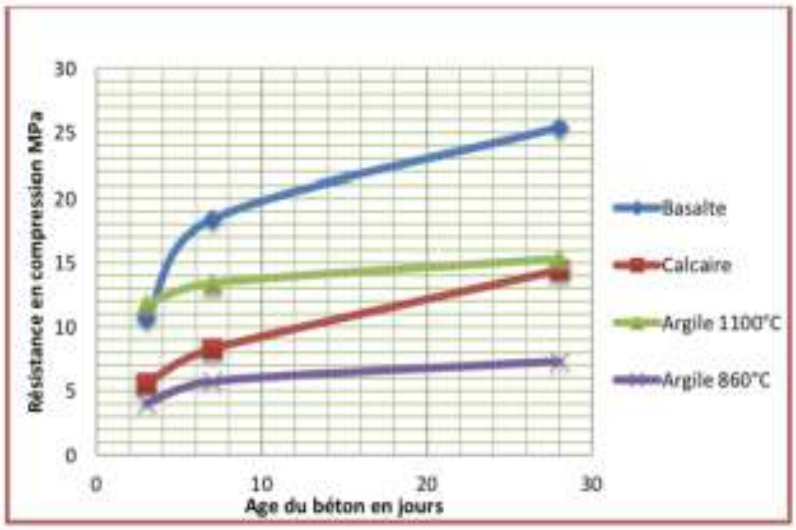


Figure I.22 : Courbe de résistance en compression des bétons en fonction de l'âge **[49]**

I.3.3.5. Propriétés élastiques des bétons légers

Le module d'Young d'un béton léger est évidement inférieur à celui du béton traditionnel en raison de sa faible masse volumique. Généralement, le module d'Young d'un béton léger est considère comme valant 0.5 à 0.75 de celui d'un béton traditionnel de même résistance. Une plus faible rigidité peut être parfois souhaitable pour les structures soumises à une sollicitation dynamique ou pour des structures en coques. Un faible module d'Young peut être à l'origine de désordre dans les structures en béton précontraint suite à une relaxation des câbles de précontrainte et à la chute de tension qui en découle. **[47]**

I.3.3.6. La masse volumique

La masse volumique du béton léger représente l'une des caractéristiques les plus importantes. La réduction de la masse volumique est rendue possible en changeant le type de granulat et en faisant varier les proportions des différents constituants. **[6]**

Les résultats de Agoumimelcha.A **[15]** dans sa mémoire sur les granulats obtenus par recyclage des boues de barrage approuve ses constatations (Figure I.23) :

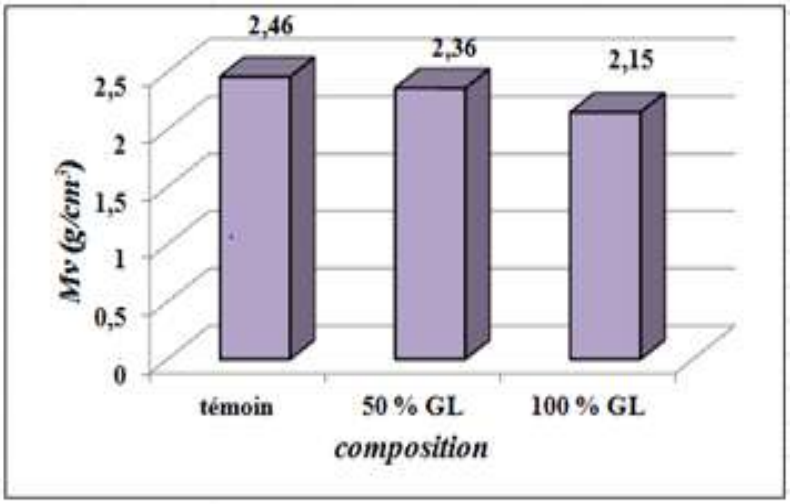


Figure I. 23 : Variation de la masse volumique à l'état frai en fonction de la composition de béton. **[15]**

I.3.3.7. La durabilité

Les conditions d'exposition conditionnent souvent la conception du béton. En effet, les cycles de gel-dégel en présence ou non des sels fondants représentent un aspect critique de la durabilité des bétons légers exposés aux intempéries. Il est important de faire la distinction entre les deux types d'attaque par le gel, avec ou sans sels fondants, puisque les mécanismes de détériorations sont différents. **[10]**

I.3.3.8. La rhéologie à l'état frais

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

On qualifie la rhéologie du béton à l'état frais en fonction de l'énergie nécessaire à la mise en place par rapport à la qualité recherchée du fini.

En conséquence, les paramètres dont on doit tenir compte lors du dosage relativement à la rhéologie du béton léger à l'état frais sont : les méthodes de moulage et de mise en place, la

qualité de la finition et la dimension des granulats et des coffrages. **[10]**

I.3.4. Le dosage

Parmi les propriétés mécaniques, on retrouve la résistance à la compression, à la flexion et à la traction. Ces propriétés sont des paramètres secondaires dans la conception d'un béton ultra-léger puisque leur importance est relativement mineure pour ce type de béton. Toutefois, on ne peut les négliger puisque tous les bétons, peu importe l'application, nécessitent un minimum de résistance mécanique. **[10]**

I.3.4.1. Les Principes de dosage

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

On peut, a priori, admettre que le béton est constitué essentiellement de deux phases : la pâte de ciment hydraté et les granulats. **[10]**

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

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

I.3.4.2. Les méthodes de dosage

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

De façon générale, toutes les méthodes de dosage conçu pour les bétons conventionnels s'appliquent au cas d'un béton léger moyennant quelques modifications, Les méthodes de dosage sont nombreuses. Dans la majorité des cas, elles proposent de fixer initialement un rapport E/L correspondant à la résistance à la compression recherchée. Par la suite, les autres paramètres sont établis à partir de concepts empiriques issus de l'expérience et diffusés sous forme d'abaques. **[10]**

I.3.5. Classification de béton léger

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

- De la masse volumique sèche, désignée par γbs.
- la résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

La norme EN 206 **[50]** classes les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, Fonction de leur masse en Kg/m^3 **[14]** (Tableau I.5). La nouvelle version de la norme EN 206 **[50]** classes les bétons suivant les fourchettes de masse volumiques indiquées dans le (Tableau I.6)

Tableau I.5 : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité. **[38]**

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

Tableau I.6 : Classification des bétons légers en Fonction De la densité. **[14]**

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

Une autre classification pour béton léger basée sur la masse volumique est logique, puisque la masse volumique et la résistance sont étroitement liées, ce qui explique pourquoi la norme ACI 213R -87 **[51]** classifie les bétons en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m3) en trois catégories :

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

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

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

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

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

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

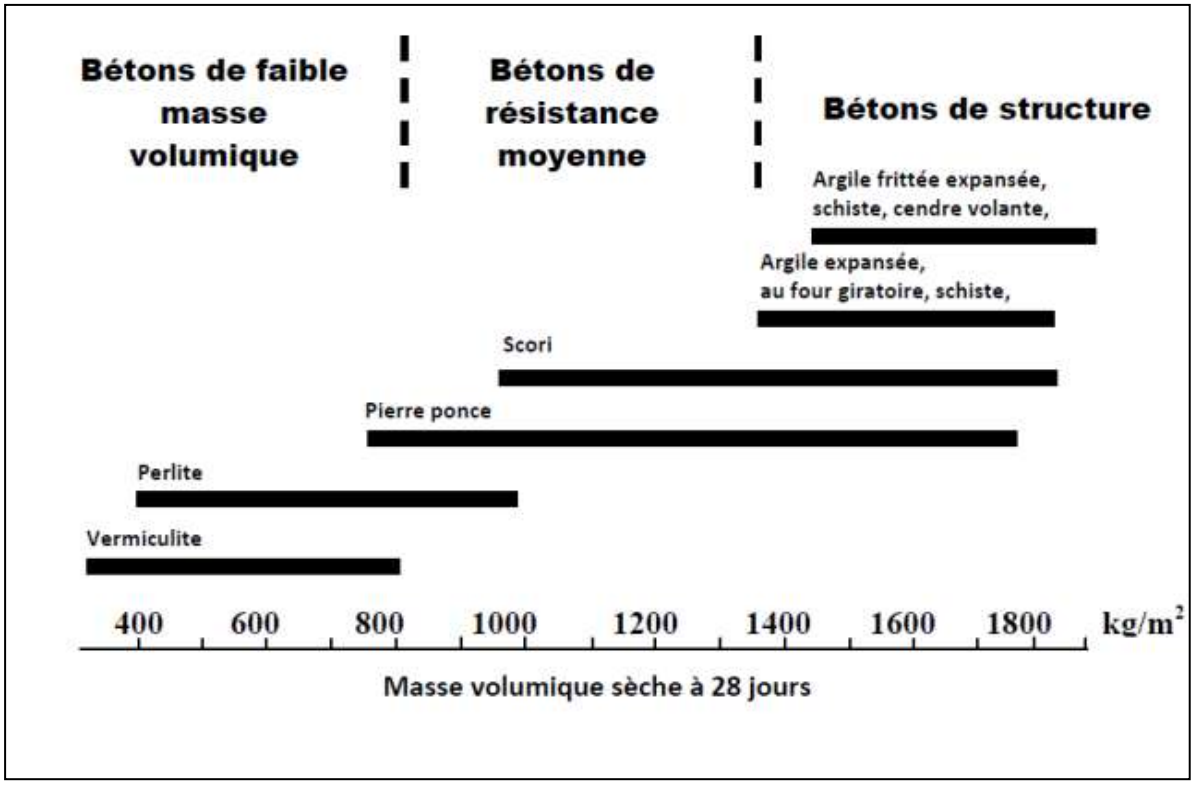


Figure I.24 : Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours. **[38]**

❖ **Classification suivant la nature de l'ouvrage**

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

✓ **Le béton léger structural**

L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP) définit le béton léger structural comme un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 15 Mpa dont la masse volumique est inférieure à 1850 kg/m^3. **[35]** 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. **[10]**

✓ **Le béton léger architectural**

Tout comme pour le béton léger structural, l'ACCP définit un béton léger architectural comme étant un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours comprise entre 0,7 et 7 Mpa et dont la masse volumique varie entre 240 à 1440 kg/m^3. **[10]**

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.

I.3.6. Domaine d'utilisation

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

I.3.6.1. des bétons d'isolation pure, non porteurs

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 :

- 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.3.6.2. des bétons porteurs et isolants

Leur masse volumique varie de 1000 à 1300 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.3.6.3. Des bétons légers de structure

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

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

- Surélévation d'immeubles existants ;
- Restauration d'anciens immeubles.

I.3.7. Les avantages des bétons légers

I.3.7.1. Avantages techniques

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

I.3.7.2. Avantages de Mises En Œuvre

- Exécution simple et rapide : accessibilité sur chantier entre 24 et 48 h après coulage, selon l'épaisseur.
- Maniabilité : pompable sur de longues distances et de grandes hauteurs, il est facile à mettre en œuvre, notamment en forte épaisseur.
- Coffrages plus légers
- Les pièces de béton léger sont aussi plus faciles à manipuler et à déplacer, en raison de leur relative légèreté (transport possible de pièces plus grandes).

I.3.7.3. Avantages Economiques

- une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau. **[38]**
- le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations. **[38]**
- économie sur le ferraillage des éléments.
- le plus faible volume de béton utilisé, il est aussi possible d'économiser sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire.

I.3.8. Les inconvénients des bétons légers

- Le béton léger a des résistances mécaniques inférieures à celles d'un béton ordinaire. **[38]**
- Le module élastique est aussi plus faible, donc la résistance à la déformation, la flèche et le point de rupture du matériau sont plus faibles
- Il est à noter que pour l'utilisation d'un béton à granulats légers (granulats expansés) le prix des granulats est plus élevé, donc le prix par mètre cube de béton léger est plus élevé que celui des bétons ordinaires,
- Le béton léger est un matériau fragile. Par ailleurs, la mise en œuvre sur le chantier doit être plus délicate en raison de la fragilité du matériau, surtout pour les pièces de grandes dimensions.

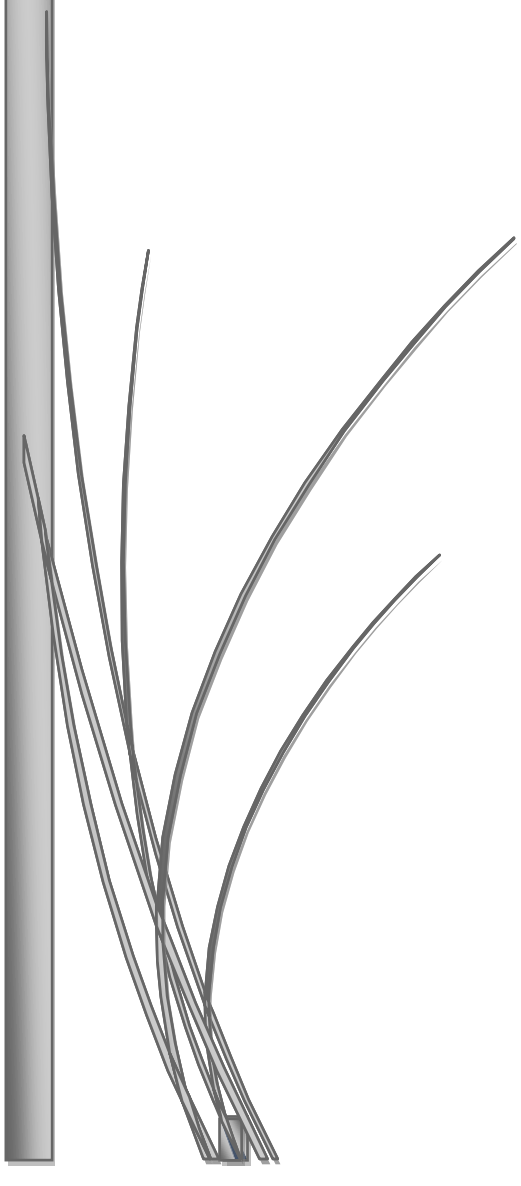
I.4. Conclusion

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

- Sous l'appellation "Béton léger" il existe une grande famille de matériaux très différents.
- D'un point de vue générale et simple, le béton léger est réalisé on diminue la masse volumique par le remplacement d'une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :
  - Dans les granulats.
  - Dans la pâte de ciment.
  - Entre les gros granulats par élimination de granulats fins.
- Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
- On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.
- Ce béton utilisé dans plusieurs domaines, notamment l'isolation thermique et acoustique, mais la résistance à la compression est faible par apport le béton ordinaire.

Chapitre II

Matériaux et essais expérimentales



II.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons étudies avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette
- Les dosages en sable, gravier, ciment, eau, super plastifiant

La caractérisation des bétons à l'état frais, et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai.

La caractérisation des matériaux s'est faite sur trois types de béton comme nous les avons montrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.1 : Types de béton réalisé.

BO	Béton ordinaire
BL-LC	Béton de granulats léger : (Leca)
BL-AP	Béton de granulats léger préparés : (Argile calcinée)

Cette étude permet la comparaison des résultats obtenus après la réalisation d'essais sur béton frais et sur béton durci, les différents essais fais au cours de ce travail sont :

- Les essais à l'état frais pour évaluer :
  - Consistance : Affaissement au cône d'Abrams.
- les essais à l'état durci pour déterminer :
  - Résistance à la compression mesurée sur éprouvettes cubiques (10x10x10) cm^3 à 28 et 56 jours.
  - Résistance à la traction par flexion mesurée sur éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm^3 à 28, 56 jours.

- Module d'élasticité dynamique sur éprouvettes cubiques (10x10x10) cm^3 à 28 jours.
- Absorption d'eau par capillarité.
- Porosité.
- Conductivité thermique.
- Résistance au feu.

II.2. Caractéristiques des matériaux

II.2.1. Sable

Le sable utilisé dans notre travail est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf situé à 500 Km au de Sud Est d'Alger, sa classe granulaire est 0/5. La Figure suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé.



Figure II. 1 : sable d'Oued-Souf.

L'analyse granulométrique du sable est présentée dans les Tableaux II.2 :

Tableau II.2 : Analyse granulométrique sable selon la **Norme NF EN 933-1**. **[52]**

Tamis (mm)	Rc (g)	Rc %	Tamisa %
5	0	0	100
4	1	0,1	99,9
3,15	6	0,6	99,4
2	35,7	3,57	96,53
1,25	97,8	9,78	90,22
0,63	405	40,5	59,5
0,315	825,3	82,53	17,47
0,2	944,7	94,47	5,53
0,16	969,9	96,99	3,01
0,1	997,4	99,74	0,26
0,063	999	99,9	0,1
Fond	999,5	99,95	0,05

- **Equivalent de sable selon la norme NF EN 993-8**. **[55]**

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

Cet essai, est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables utilisés pour la composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines continues dans le sable, 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 :

$$E_{SV} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right) 100 \qquad E_S = \left(\frac{H'_1}{H_2}\right) 100$$

Avec :

- Es: équivalent de sable mesuré au piston.
- Esv : équivalent de sable mesuré visuellement.
- H_1 : hauteur du sable propre seulement.
- H'_1 : hauteur du sable propre seulement au piston.
- H_2 : hauteur du sable propre et élément fins.



Figure II.2 : Essai d'équivalent de sable.

- **Masse volumique**

Les masses volumiques apparente et absolue du sable utilisé ont été mesuré d'après la norme **NF EN 1097-3 [54]** et la norme **NF EN 1097-6**. **[53]**



Figure II.3 : Essai masse volumique.

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

Tableau II.3 : Propriétés physiques de sable

Caractéristiques	Type de sable	Normes
Provenance	Sable d'Oued –Souf	/
Classe granulaire	0 /5	/
Module de finesse	2,3	NF EN 933-1 **[52]**
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2,63	NF EN 1097-6 **[53]**
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1,55	NF EN 1097-3 **[54]**
La porosité (%)	40	NF EN 1097-3 **[54]**
La compacité (%)	60	NF EN 1097-3 **[54]**
Equivalent de sable (%)	A vue = 83,14	NF EN 933-8 **[55]**
	A piston = 97,37	
Taux d'absorption d'eau (%)	0,44	NF EN 1097-6 **[53]**

II.2.2. Gravier

Il provient de la carrière de MON GUORNO de la région de berrouaguia (médéa), Algérie, avec deux fractions granulaires de 3/8 mm et 8/15 mm .Les Figures suivante donnent un aperçu sur la nature de gravier utilisée.



Figure II. 4 : Gravie 3/8.



Figure II. 5 : Gravie 8/15.

Les propriétés physiques et l'analyse granulométrique de gravie sont présentées dans les tableaux II.4, II.5 et II.6.

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

Tamis, (mm)	Refus cumulés		Tamisât (%)
	(g)	(%)	
10	12,3	0,62	99,38
8	304,6	15,23	84,77
6,3	902,7	45,13	54,87
5	1206,7	60,33	39,67
2,5	1919,5	95,95	4,03
2	1963,8	98,19	1,81
1,6	1981,7	99,08	0,92
0,5	1986,9	99,34	0,66

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

Tamis, (mm)	Refus cumulés		Tamisât (%)
	(g)	(%)	
16	120	7	93
12,5	861,3	28,71	71,29
10	1737,4	57,91	42,09
8	2593,3	86,44	13,56
6,3	2933,3	97,77	2,23
5	2974,7	99,15	0,85
2,5	2990,8	99,69	0,31

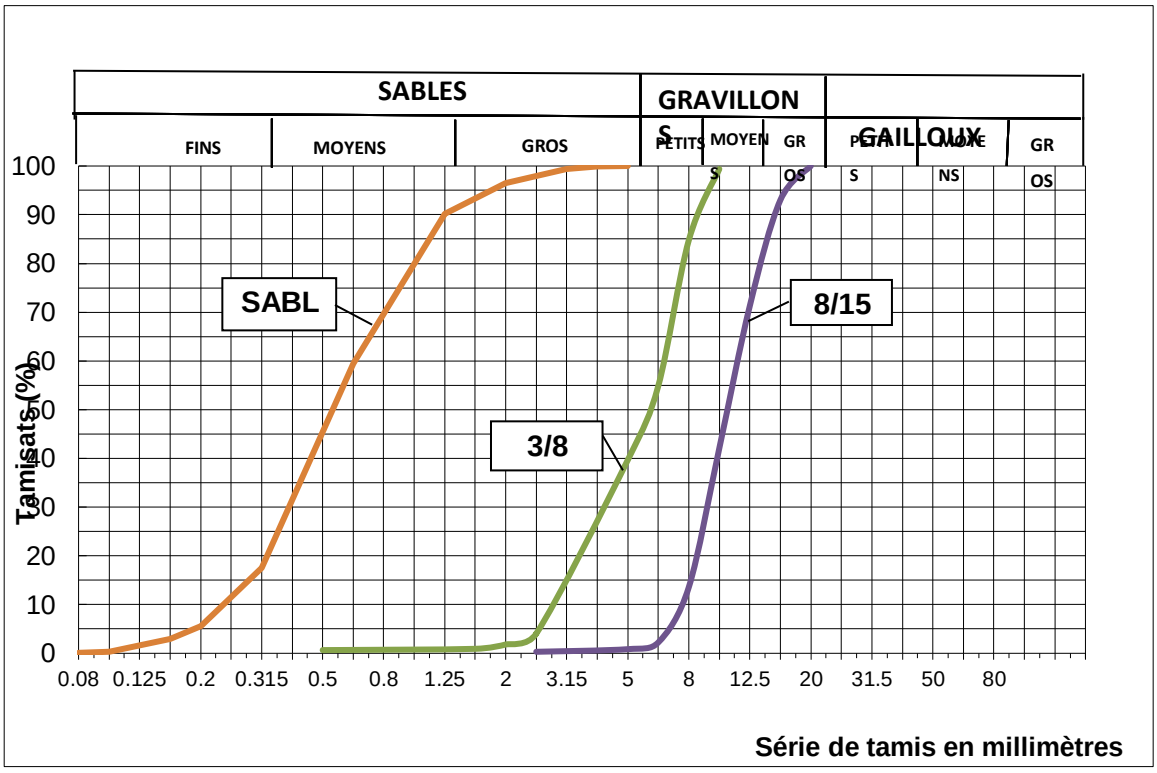


Figure II. 6: Analyse granulométrique des granulats (GN 3/8, GN 8/15 et sable)- méthode de Dreux.G

- **La dureté**

La dureté des granulats utilisés a été contrôlée par l'essai de Los- Angeles conformément à la norme **NA EN 458**. **[57]**

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

$$LA = ((m1 - m2) / m1)) \times 100\ \%$$

Avec :

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

m2 : la masse du refus à 1.6mm [g]



Figure II. 7 : La machine de Los Angeles.

Tableau II.6 : Propriétés physiques des graviers.

Caractéristiques	Type de Gravier		Normes
Provenance	**Mon Guorno**	**Mon Guorno**	/
Classe granulaire	3/8	8/15	/
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2,41	2,58	NF EN 1097-6 **[53]**
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1,21	1,31	NF EN 1097-3 **[54]**
LA	25,86	17,28	NA EN 458 **[56]**

II.2.3. Ciment

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5R produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE à M'sila en Algérie dont l'ajout est le calcaire. 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 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'aluminium (Al $_2$O3) et le fer (Fe_2O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C. En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442 **[57]**



Figure II.8 : Le sac de ciment.

Le ciment utilisé a une résistance caractéristique minimale 42.5 MPa à 28 jours. La fiche technique présentée dans l'annexe A regroupe les caractéristiques de ce ciment.

Tableau II.7 : Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment					**Composition hypothétique du clincker**	
Perte au feu (%)	Résidus Insolubles (%)	Teneur en Sulfates SO_3 (%)	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Teneur en Chlorures (%)	Silicates Tricalciques C_3S (%)	Aluminates Tricalciques C_3A (%)
7.00-9.50	1.50-3.00	2.00-2.50	1.90-2.30	0.01-0.03	58.00-64.00	6.00-8.00

Tableau II.8 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé.

Masse volumique absolue kg/m^3	ρ_s =3100
Masse volumique apparente kg/m^3	ρ_a =1030.05
Consistance normale	E/C= 0.28
Début de prise h	DP =11.45
Fin de prise h	FP =15.20
Surface spécifique Blaine cm^2/g	SSB=3700

II.2.4. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau du robinet de notre laboratoire sans passer par l'analyse chimique de cette eau. Sa température était comprise entre 10 et 22°C.

II.2.5. Super plastifiant

Pour cette étude, nous avons utilisé un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération et de forme liquide brun clair, d'un PH égal à 6± 1, de densité 1,06 ± fabriqué par la société SIKA et commercialisé sous le nom suivant : VISCOCRETE TEMPO 12 sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment, (Annexe B).



Figure II .9 : Type de super plastifiant utilisé

« SIKA TEMPO 12 ».

II.2.6. Granulats léger d'argile expansée

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé deux types de granulats légers ; granulats légers manufacturé de la part de Leca (Figure II.10) et granulats légers préparés dans le laboratoire, les deux type sont des d'argiles expansées calcinés.



Figure II .10 : Granulats légers-Leca (8/16 mm).

II.2.6.1. granulats légers – Leca

Les granulats légers utilisés dans notre étude ont été fournis par la société LECA, son siège social et son unité de production sont situés au pays de la Turquie. Ce type de granulat est une argile expansée à teneur en chaux pauvre, qui a séchée, expansée et cuit dans un four rotatif. Le four façonne des granules d'argile et la température portée à 1150 °C va vaporiser les matières organiques au cœur de la granule.

Le gaz génère l'expansion des granules donnant alors une porosité élevée et des propriétés d'allègement. Cette structure poreuse est durcie sur l'extérieur et donne une coque de céramique dure atteignant une résistance à la compression élevée. Cette coque est partiellement ouverte et permet à l'eau de pénétrer dans la structure.



Figure II .11 : Granulats légers – Leca.

- **Identification**
  - Forme de granulat : rond
  - Classe granulaire : 8-16 mm (pour notre étude)
  - Couleur : gris brun
- **Performances**
  - Les granulats Leca absorbent l'eau entre 5-10% en masse après une heure puis jusqu'à 50% lorsqu'immergés dans l'eau .

- une masse volumique comprise entre 400 et 550 kg/m^3.
- La densité des particules est alors autour de 800 kg/ m^3.

- **Absorption**

Le coefficient d'absorption est défini par le rapport de l'augmentation de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24h à la masse sèche de l'échantillon**,** utilisé ont été mesuré d'après la norme **NF EN 1097-6** . **[53]**

,



Figure II .12 : Absorption des granulats Leca avant et après 24h.

Les propriétés physiques des granulats d'argile expansée Leca utilisé de classe 8/16 sont présentées aux Tableaux II.9

Tableau II.9 : Propriétés physiques des granulats d'argile expansée Leca.

caractéristique	Granulats Leca (8/16 mm)
Masse volumique apparente, Kg /m^3	550
Coefficient d'absorption, (%)	10,2
Conductivité thermique (λ) (w/mk)	0.09 - 0.121
PH	6,5-7,5

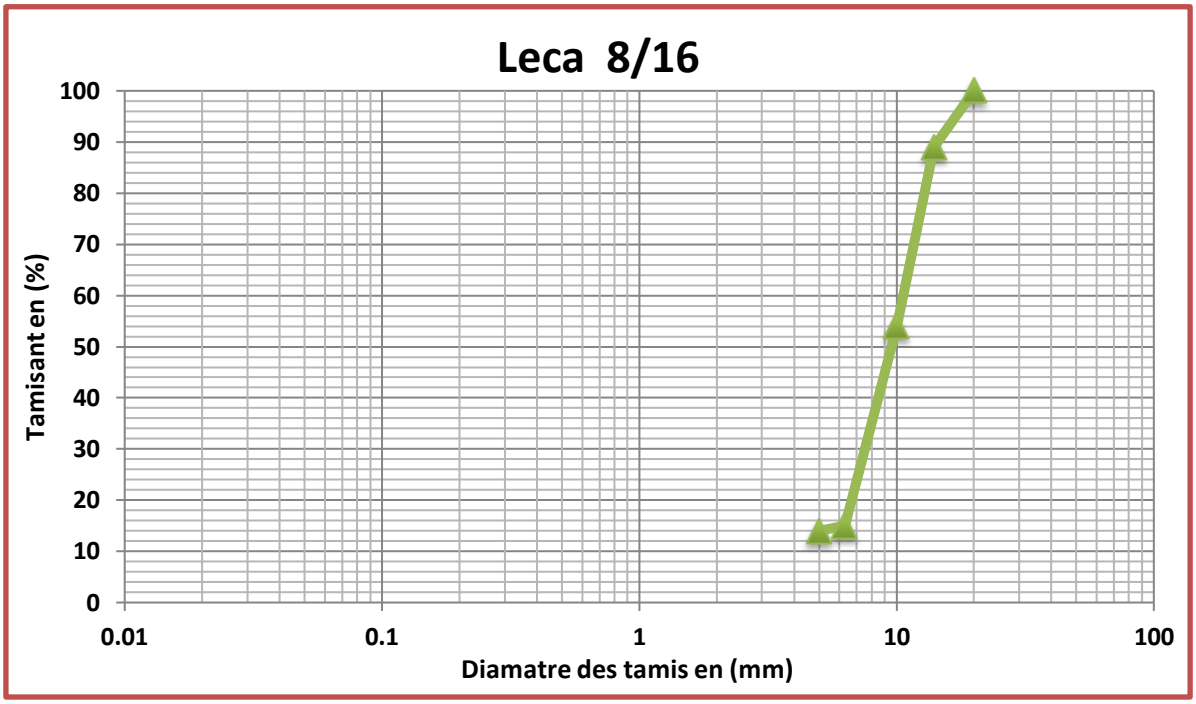


Figure II .13 : Analyse granulométrique de granulats d'argile expansée- Leca.

II.2.6.2. Granulats d'argile préparés au de laboratoire

- **Partie expérimentale**

A. Préparation mécanique de l'argile à expansée

Comme tous les échantillons utilisés lors de la conception des divers matériaux, on doit aussi passer par la phase de préparation des argiles avant de fabriquer les granulats d'argile expansée. En effet, cette étape consiste à diminuer la granulométrie de l'argile. De ce fait, on utilise alors plusieurs machines dont leurs fonctionnalités sont très différentes. On obtient à la fin de cette étape une poudre d'argile.

A.1. Echantillon

Le type d'argile a été prélevé de wilaya de MEDEA dans la région de TABLAT pour notre étude.



Figure II .14 : Roche d'argile verte.

A.2. Matériels utilisés

Le broyage est une technique qui consiste à rendre tous types de matières premières en poudre. En effet, plusieurs méthodes peuvent l'utiliser mais dans notre cas, on a utilisé les machines suivantes :

1) **La machine de concassage**

Qui permet de diminuer la taille de l'argile bien séchée vers 2,5 mm à peu près.



Figure II .15 : Concasseur.

2) **La machine à los angles**

L'utilisation de Los Angeles a pour but de proyer finement l'argile concassée. Pour le broyage, le réglage a été fixé par défaut c'est-à-dire 500 tours. Lorsque l'appareil se met en marche avec le matériau à l'intérieur, le choc entre les particules du matériau et les billes favorisent la fragmentation de ces derniers, et au fur et à mesure que le tambour tourne sur lui-même nous obtenons des particules de plus en plus fines. Pour faire passer la poudre d'argile au tamis de 0,1 mm.



Figure II .16 : Los angles.

A.3. Schéma des étapes de préparation mécanique de l'argile

Elles sont résumées sur dans l'organigramme suivant.

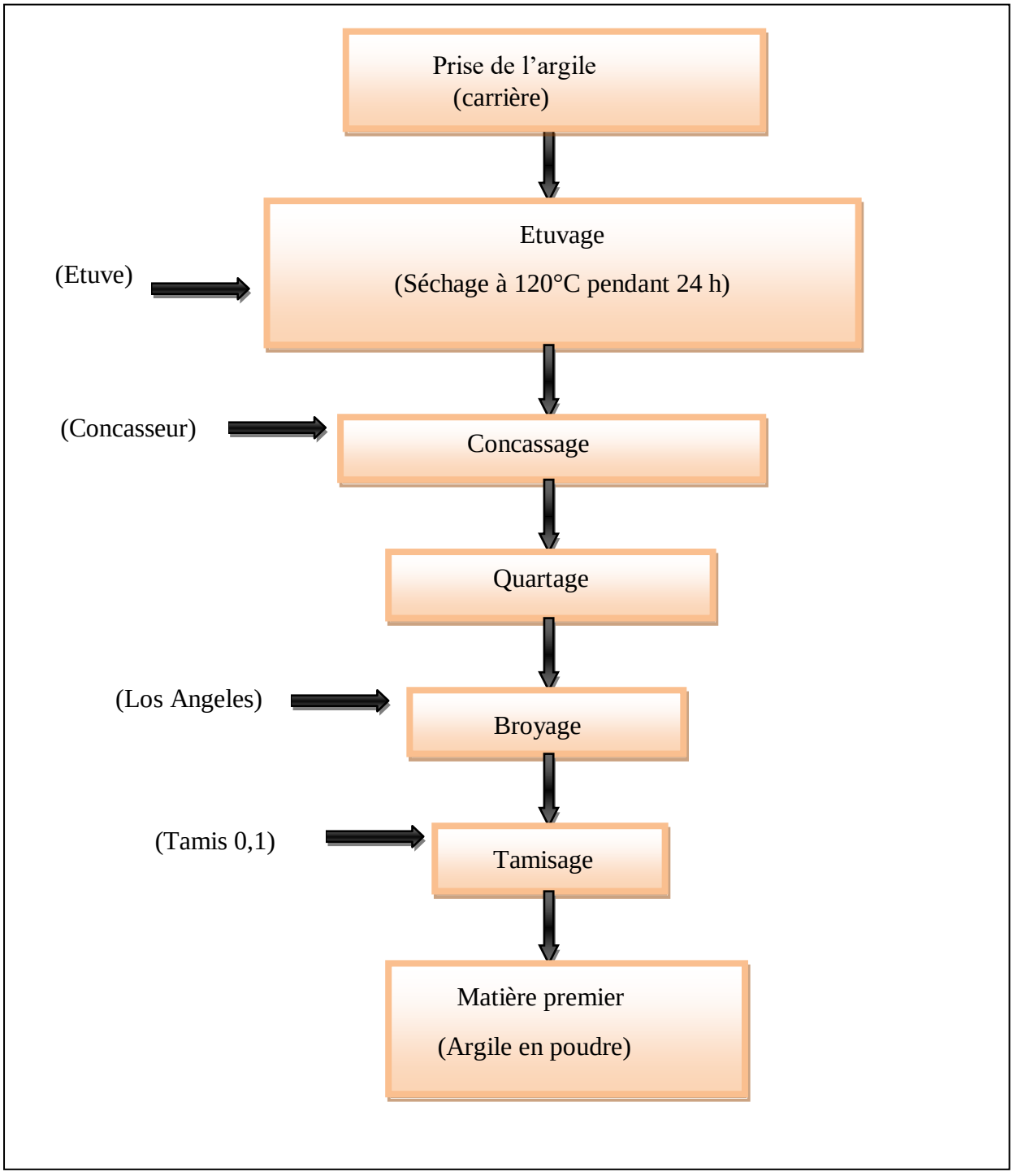


Figure 17: Organigramme des étapes à suivre lors de la préparation de la poudre d'argile.

A.4. Procédé de production de l'argile expansée

Schéma des étapes de fabrication des granulats d'argiles expansée.

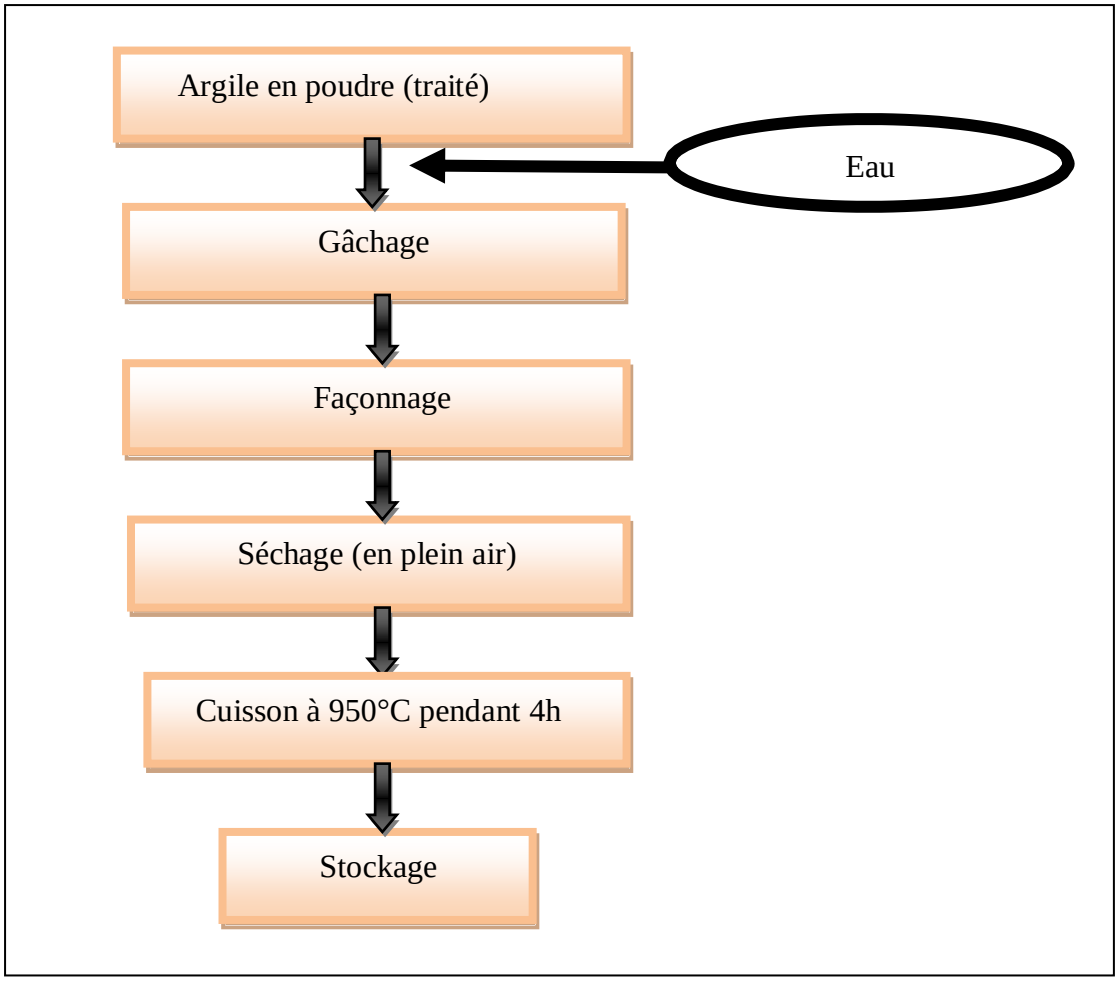


Figure II .18 : schéma des étapes de fabrication granulats d'argile expansée.

- **Préparation de la matière première**

Après avoir concassé et broyé les argiles extraites dans la carrière de TABLAT, on va faire plusieurs essais lors de la production des granulats d'argiles expansée afin de faire l'étude comparative la densité et résistance sur les produits ainsi obtenus.

Essais N°1 : Argile broyée à granulométrie inferieure à 1mm traitée avec poudre, et ciment, le mode de traitement effectuée est comme suit :

- 900 g argile + 100g ciment +40g poudre+500g l'eau.

Essais N°2 : Argile concassée à 2,5 mm et broyé seulement, obtenu les échantillons supérieur à 1 mm traitée avec poudre, le mode de traitement effectuée est comme suit :

- 1000 g argile + 40 g poudre +800g l'eau.

Essais N°3 : Argile broyée à granulométrie inferieure à 1mm traitée avec papier et ciment, le mode de traitement effectuée est comme suit :

- 900 g argile+ 100 g ciment + 40 g papier+ 500 g l'eau.

Essais N°4 : Argile broyée à granulométrie inferieure à 1mm traitée avec papier, le mode de traitement effectuée est comme suit :

- 1000 g argile + 40 g papier+500 g l'eau.

- **Gâchage de l'argile en poudre**

Lorsque les poudres d'argiles et des autres ajouts sont bien homogénéisées, on passe au gâchage Une certaine masse de poudre d'argile est introduite dans le malaxeur, puis on la fait tourner et au fur et à mesure en ajoutant de l'eau de façon interrompue. Le malaxage dure 10 à 15 mn avec des temps d'arrêts réguliers allant jusqu'à 1 mn pour permettre de racler le malaxeur évitant ainsi que des particules se fixent sur les parois du malaxeur. Au final, le produit obtenu est liquide.

Préparation de l'argile avec poudre et papier sont présenté dans les figures II.19 et II.20



Figure II .19 : Préparation de l'argile avec poudre.



Figure II.20 : Préparation de l'argile avec papier.

- **Le façonnage et séchage granulats d'argiles**

Cette étape s'appelle « Façonnage » ou bien « Moulage » dans les domaines industriels, On utilise différentes méthodes comme la mise en forme de cette argile expansée est faite artisanalement à main, alors on appelle cette étape « Modelage » ou utilise les moulages à sous pression dans un moule.

Dans notre cas, nous façonnons la pate d'argile en moules de fer jusqu'à ce qu'ils forment un moule Puis, on les sèche en plein air pendant 2 à 3 jours, on casse alors ce morceau d'argile en plusieurs petits morceau dont la forme ressemble à gravier dont son diamètre compris entre 8 mm et 20 mm.



Figure II.21 : Façonnage et séchage granulats d'argiles préparés.

- **Cuisson**

Les petits morceaux d'argile, est amenée dans un four électrique, pour la cuisson, pendant 4 heures de temps dont la température utilisée est 950°C.

Lors de la cuisson, on met ces petits morceaux d'argiles sur une tuile réfractaire afin d'éviter l'accolement avec ce four, On augmente la température allant de 25°C vers 950°C pendant 2 h 30 min, puis on passe l'échantillon à 950°C pendant 4 heures. Après, on les refroidit avant de le retirer.



Figure II .22 : Four.





Figure II .23 : Granulats d'argile préparés.

Après calcination nous avons remarqué que les granulats préparé de papier ont une faible résistance, ce qui nous a permet de choisis les deux type de granulats préparés de poudre dans la fabrication du béton. Les deux granulats choisis présenté dans les figures II.24 et II.25



Figure II .24 : Granulats préparés type 1.



Figure II .25 : Granulats préparés type 2.

Les propriétés physiques des granulats d'argile préparés type 1 sont présentées aux Tableaux II.10 et les propriétés physiques des granulats d'argile préparés 2 non réalisé (fermeture de Hall).

Tableau II.10 : Propriétés physiques des granulats d'argile préparés.

Caractéristique	Granulats d'argile préparés type 1
Masse volumique absolue, Kg /m^3	1,77
Coefficient d'absorption, (%)	

II.3. Fabrication du béton

Lorsqu'on mélange du ciment, du sable, du gravier et de l'eau, on obtient un béton. Mais on peut obtenir une infinité de bétons, en faisant varier les proportions des constituants ; et il est certain que parmi ces bétons, tant par leur nature propre qu'en raison du travail à exécuter, certains seront franchement mauvais, d'autres seront acceptables, d'autres enfin (les moins nombreux) seront bons. **[58]**

Les méthodes d'études de composition de bétons ont donc pour but, à partir de constituants données, de déterminer la composition d'un bon béton en vue d'un travail déterminé. **[58]**

Le choix des constituants d'un béton et de leurs proportions est aussi appelé « formulation d'un béton ». **[38]**

La méthode de formulation du béton choisie pour notre étude est-celle de Dreux-Gorisse,

Cette méthode permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié.

II.3.1. Composition du béton

Dans le cadre de ce programme expérimental, nous avons considéré trois types de béton : (1) un béton de référence sans ajouts de granulats d'argile expansée et (2) un béton léger à base de granulats d'argile expansée Leca et (3) un béton léger à base de granulats d'argile expansée calcinée. Nous avons utilisé la méthode de Dreux-Gorisse pour la formulation du béton de référence. Les bétons légers sont obtenus par des substitutions volumiques des granulats de MON GUORNO par les granulats d'argile.

II.3.1.1. Béton de référence

Le béton de référence étudié est un béton ordinaire ayant une ouvrabilité plastique et une résistance mécanique minimale visée à 28 jours égale à 25 MPa.

II.3.1.2. Bétons légers

Les formulations préconisées pour les bétons à base d'argile sont le résultat de substitutions volumiques de 12,5%, 25%, 50% de gravier par les granulats d'argile de même taille. Les compostions à différents taux de remplacement sont regroupés dans le Tableau II.11.

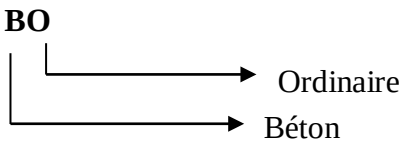
Tableau II.11 : Composition d'un 1 m^3 de béton de granulats légers.

Composant (kg/ m^3)	Ciment	Sable	Graviers 3/8	Graviers 8/15	Granulats légers	Eau	SP	E/C
BO	450	566	314	790	0	164	4,5	0,45
BL (LC-12,5)			314	691,25	21,05		4,5	
BL (LC-25)			314	592,5	42,10		4,5	
BL (LC-50)			314	395	84,20		4,5	
BL (AP-12,5)			314	691,25	67,74		4,5	
BL (AP-25)			314	592,5	135,49		4,5	
BL (AP-50)			314	395	270,98		4,5	

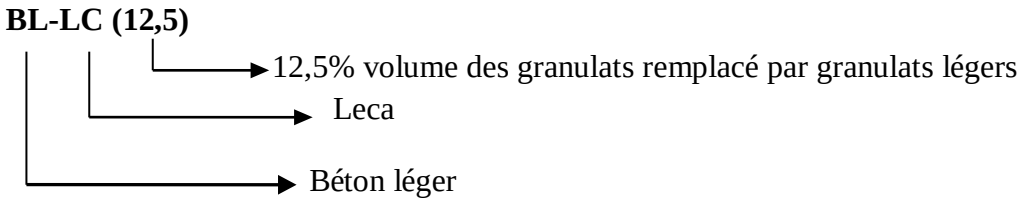
- **Désignation des bétons**

Les différents composites de béton avec ou sans granulats d'argile désignés de la façon suivante :

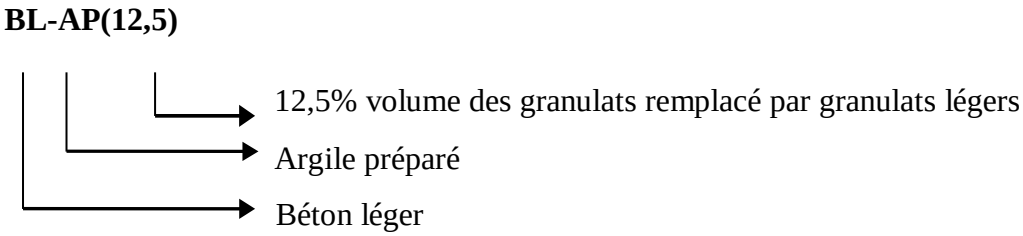
a) Béton sans granulats d'argile



b) Béton léger à base bille d'argile expansée leca (12,5 %, 25%,50%)



c) Béton léger à base de granulats d'argile expansée calciné (12,5%, 25%, 50%)



II.4. 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 56 L. pour la confection des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm^3 et prismatique (7x7x28) cm^3. Les étapes suivis sont :

- Malaxer le sable, ciment et gravier (3/8 et 8/15) et granulats léger pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange.
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau)

- Ajouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau)
- Malaxer le mélange pendant 5 minutes.



Figure II.26 : Le malaxage des bétons au laboratoire.

II .5 . Fabrication des éprouvettes

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes et un maintien de 30 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule.

A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422. **[59]** La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.

Dans notre étude on a confectionné trois éprouvettes cubiques (10×10×10) cm^3 pour l'essai de compression, trois éprouvettes prismatiques (7×7×28) cm^3 pour l'essai de traction par flexion (c'est pour chaque béton).



Figure II. 27 : Fabrication des éprouvettes.

Conservation

Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées puis enveloppées dans du papier aluminium dès leur démoulage durant 7 jours après le démoulage, afin de garantir les conditions d'hydratation du béton. Après cette période on enlève le papier d'aluminium et on conserve les éprouvettes à une température ambiante jusqu'au moment des essais.



Figure II.28 : La conservation des éprouvettes.

II.6. Méthodes d'essai sur béton

II.6.1. Béton frais

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

Cet essai sert à déterminer la consistance des bétons c-à-d. caractérisé par une valeur numérique.

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.

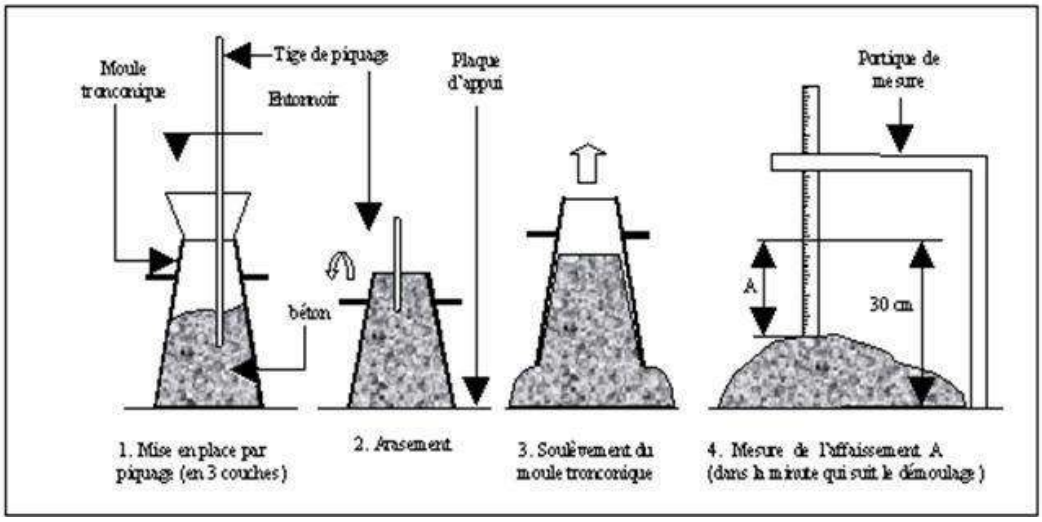


Figure II. 29 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. **[60]**

Selon la norme NFP 18-451, **[61]** 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.



Figure II. 30 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Tableau II.12 : Consistance du béton suivant l'essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Affaissement au cône *Af*	**Consistance**	**Désignation (Norme NF P 18-305) [62]**	**Classe (Norme ENV 206) [63]**
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	**FL**	**S4**

Tableau II.13 : Caractéristiques de béton à l'état frais.

Mélange	BO	BL-LC	BL-AP
Affaissement (cm)	14	09	03

II.6.2. Béton durci

II.6.2.1. Résistance à la compression Rc-Norme NA 427 /1989

Selon la norme NA 427 /1989, **[64]** 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^3.

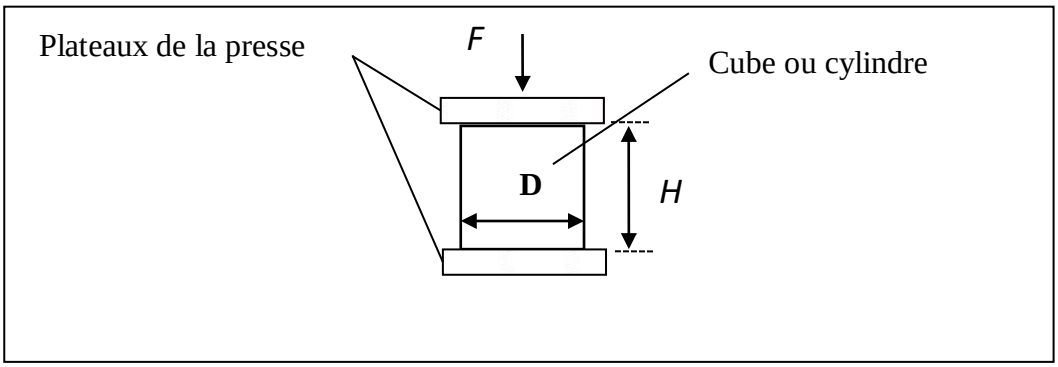


Figure II. 31 : Résistance à la compression sur cube.

II.6.2.2. Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1], **[65]** c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure II .32), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7×7×28) cm à 28 jours.

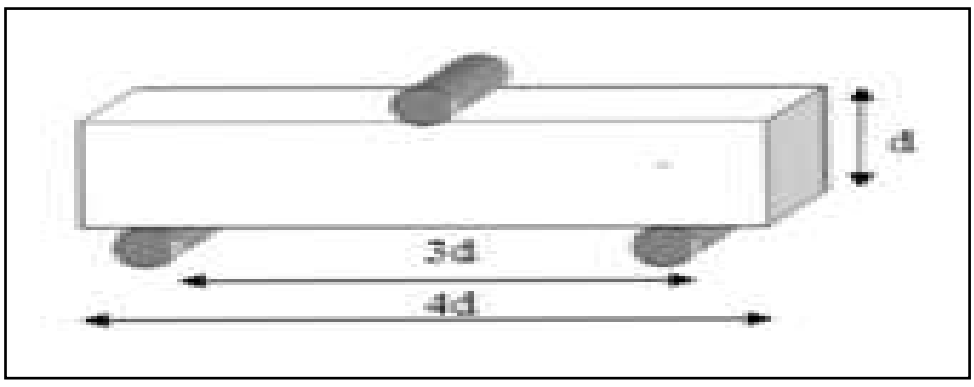


Figure II. 32 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction.

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

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

Avec :

M : Moment de flexion au point d'application de la charge :

$$M = F_f\ L\ /4$$

I : Moment d'inertie de la section transversale :

$$I = a^4/12$$

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

$$v = a/2$$

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

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

II.6.2.3. 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 éprouvettes au cours du temps. La nappe d'eau est maintenue à niveau constant par un trop-plein (Figure II.33), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), la différence de poids représente la quantité l'eau absorbé ; (mi-m0) [NE 13057]. **[66]**

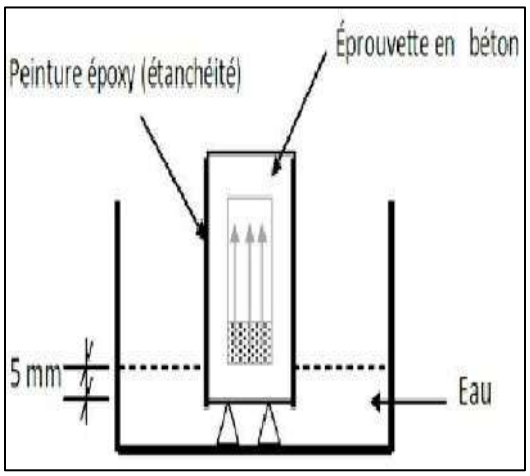


Figure II. 33 : Principe de l'essai d'absorption d'eau par succion capillaire.

II.6.2.4. La porosité

À la fin de la cure, les éprouvettes sont séchées dans une étuve ventilée à 40 ± 5 °C jusqu'à poids constant ; elles sont ensuite plongées dans l'eau, jusqu'à poids constant.

L'éprouvette est passée ensuite à imbibition sous vide et, après saturation, une pesée sous eau (M eau) et une autre dans l'air (M air) sont réalisées. Ensuite, l'éprouvette est séchée dans une étuve ventilée à 105 ± 5 °C jusqu'à poids constant et à nouveau, une mesure de masse (Msec) est réalisée selon la recommandation L'AFPC- AFREM.

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

$$\text{Ɛ}(\%)=\frac{Mair-Msec}{Mair-Meau}\times 100$$

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.

II.6.2.5. 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. [67]**

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

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induit.

II.6.2.6. Resistance au feu

Préparation de demi prisme des éprouvette cubique (10*10*10) cm^3 pour le traitement thermique ; elles sont exposées à l'aire libre au laboratoire pendant 6jours puis étuvées à 105°C Durant 2 heures.

Ensuite, elles sont divisées en trois séries, et chauffées dans un four à moufle à une des températures ; 200 °C ,400°C ,600°C, avec une vitesse de chauffage égale à 10°C /min maintenues la température constant dans le four pendant une heure conformément à la norme ISO 834. **[68]**

Tous les demi-prismes d'éprouvette sont ensuit refroidis en l'air (en dehors du four) pendant 24 heure puis écraser pour déterminer la résistance en compression .pour chaque température des mesure de pertes de masse ont été effectuée .le degré de déshydratation (perte de masse(٪)) est évalue par la relation suivant :

$$[\text{Perte de masse}]\ (\%) = [(M1-M2)/M1] \times 100$$

Avec

M1, M2 : les masses des éprouvettes avant et après le chauffage respectivement

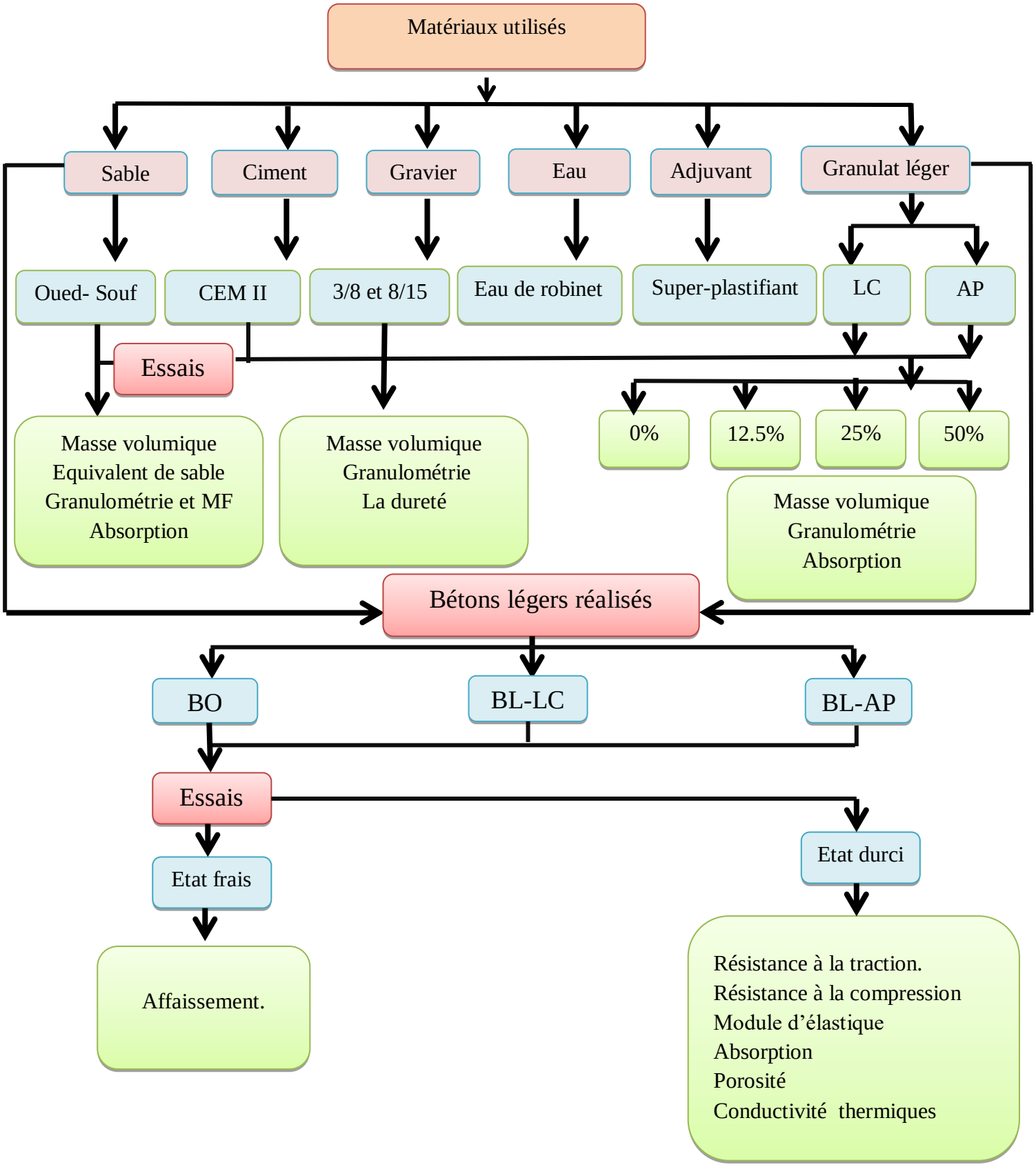
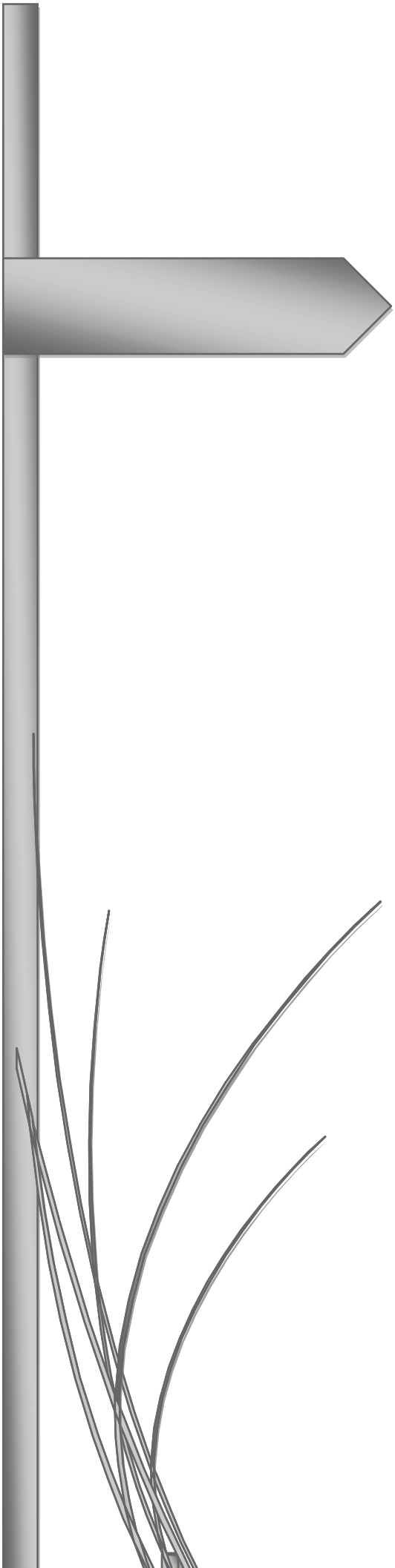


Figure II. 34 : Variables étudiée

II.7. Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiant). Et pour fabrique les bétons légers nous avons utilisé type d'argile disponible sur le nature (Région de Médéa), et un type de granulat léger de Leca de la Turquie.

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur un béton ordinaire et bétons légers, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (Essai d'affaissement au cône d'Abrams). Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction par flexion), les propriétés physiques ; absorption d'eau, porosité, et thermique ; conductivité thermique, et résistance au feu). Pour évaluer l'influence des caractéristiques de granulats légers sur la qualité du béton léger.



Conclusion Générale

Conclusions générales

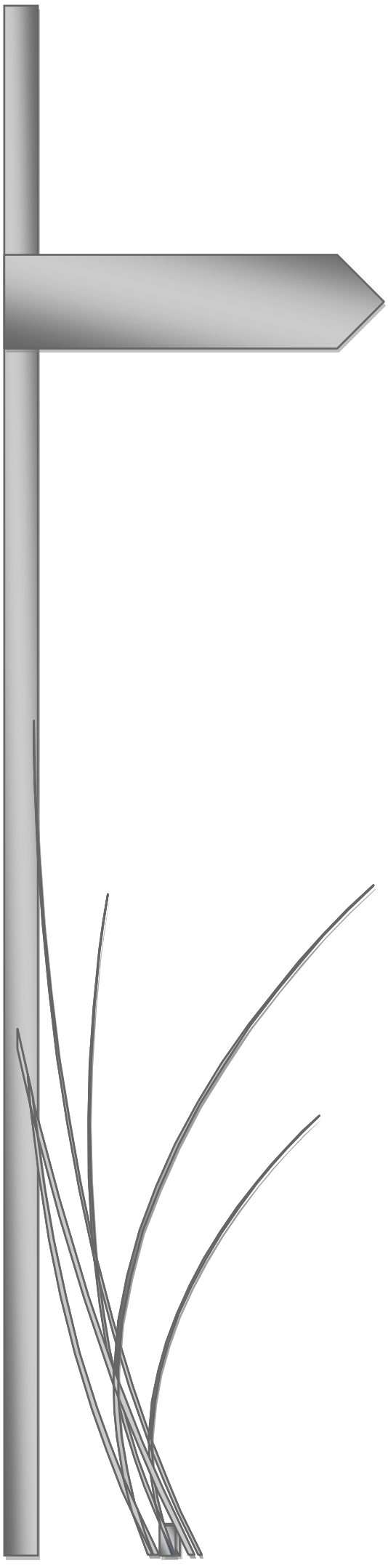
Afin d'utiliser des matériaux dans la construction de bâtiments, il est nécessaire de s'assurer qu'ils ont des propriétés mécaniques suffisantes. L'étude présentée dans ce travail se concentre sur les propriétés physiques et mécaniques de granulats d'argile calcinée. Ces granulats sont ensuite utilisés dans la fabrication de divers bétons en étudiant son effet sur les propriétés physiques, mécaniques et thermique (ouvrabilité, résistance à la compression, absorption et conductivité thermique). Cette étude nécessite l'utilisation de plusieurs protocoles expérimentaux spécifiques, tels que ceux utilisés pour fabriquer les granulats d'argile légers, ce qui nous a pris beaucoup de temps pour obtenir les qualités requises.

Dans le premier chapitre on a fait une recherche sur les granulats légers et leurs résistances physiques et mécaniques, on a conclu que les granulats légers ont une grande capacité d'absorption d'eau et une bonne isolation thermique, mais une faible densité et une faible résistance à la compression.

En effet, de nombreux travaux de recherche ont montré que les performances mécaniques des bétons de granulats légers pouvaient être suffisantes pour qu'on les utilise comme béton de structure. Nous citons le schiste expansé et d'argile expansée, possédant de plus faibles masses volumiques (1500- 1600 kg/m3) et conservant des performances mécaniques compatibles avec une utilisation comme béton de structure.

Afin d'optimiser le couple résistance/légèreté, ce travail expérimental porte à la fois sur l'étude des propriétés mécaniques et du comportement thermique des bétons de granulats légers en fonction de la nature et de la fraction volumique de granulats.

On ce qui concerne la nature, nous avons choisis les granulats de LECA qui porte les caractéristiques souhaité, et en parallèle nous avons fabriqué deux type de granulats d'argile calciné au sein de laboratoire. Dont l'objectif est d'étudier la possibilité de minimiser le coût et l'énergie de production des granulats légers à base d'argile. Les résultats montrent que pour les granulés d'argile préparés, la meilleure température de cuisson est celle de 950°C qui est faible de celle de LECA (1400°C).



Références

Bibliographiques

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] Latifou Bello «Méthodologie de formulation des Bétons Auto-Plaçant Légers » 2015.

[5] NF EN 206-1/CN : Béton

Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité Décembre 2012, Afnor.

[6] Mémoire de Génie Civil Biskra : ≪ Formulation et caractérisation des bétons légers ≫, 2010, réalisé par HERIHIRI Ouided.

[7] Yang KE: «Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites». Thèse de doctorat en Génie civil. Université Cergy-Pontoise. 2008.

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

[9] UNAL O., UYGUNOGLU T., YILDIZ A., Investigation of properties of low- strength lightweight concrete for thermal insulation, Building and Environment, 42, P584-590, 2007.

[10] M.CONTANT, Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux. Projet d'appliction présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Edition. Montréal 14 Avril 2000.

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

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

[13]

http://www.gramme.be/unite9/pmwikiOLD/index.php?n=BETON0607.LesBet onsLegersA GranulatsNaturelsEtArtificiels

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

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

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

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

[18]

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

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

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

[21] G. FAGERLUND, Frost resistance of concrete with porous aggregate, Report of cement and concrete institute in Sweden, 1978.

[22] J. PUNKKI, O.E. GJØRV, P.J.M MONTEIRO, Microstructure of high-strength lightweight aggregate concrete, 4th International Symposium on utilization of high- strength/high-performanceconcrete, pages 1281–1287, Paris, 1996.

[23] A. BENTUR, S.-i IGARASHI, K. KOVLER, Prevention of autogenous shrink- age in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates, Cement and Concrete Research, 31:1587–1591, 2001.

[24] D.P. BENTZ, K.A. SNYDER, Protected paste volume in concrete; Extension to internal curing using saturated lightweight fine aggregate, Cement and Concrete Research, 29(11):1863–1867, 1999.

[25] Y. ASAI, Y. ITOH, S. KANTE, M. SAKAI, H. SAEKI, Study on the charac- teristics of high-strength lightweight concrete for icy waters, Proceedings of the 4th International Offshore and Polar Engineering Conference, volume 4, pages 363–368, Osaka, Japan, April 1994.

[26] S. LINSEL,H.GARRECHT,H.S.MÜLLER, Production and properties of high- performance lightweight concrete, Proceedingsofthe5thInternationalSymposium on Utilization of High Strength / High Performance Concrete, pages 1210–1218, Sandefjord, Norway, June 1999.

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

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

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

[30] NF-P18-302 : Granulats-Laitier cristallisé de haut-fourneau, Décembre 1991.

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

[32] Mémoire de Génie Civil Ain-Temouchent : Etude de l'influence des granulats

pouzzolaniques sur les caractéristiques mécaniques des bétons légers, 2017-2018, réalisé par BENZINA Ahlem et HACHEM Nafissa.

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

[34] 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.

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

[36] SFBC «Mémento du béton cellulaire » Eyrolles juin 2005 France.

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

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

[39] Bremner T. W., Holm T. A. and Stepanova V. F. (1994). Lightweight concrete: A proven material for two millennia Proceedings of Advances in Cement and Concrete, Universtity of New Hampshire, Durham, S.C pp. 37-41.

[40] Arnould M. et Virlogeux M. (1986)

Granulats et Bétons Légers Édition 1986, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

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

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

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

[44] JOHN L, CLARKE «Structural lightweight Aggregate Concrete» Edited by Chief Structural Engineer British Cement Association Crowthorne First Edition 1993.

[45] http://www.leca-system.fr/fr/lacuteargile-expansee

[46] BENKHALFA: «contribution a l'étude des bétons légers d'argile expansée pour des éléments armés préfabriqués».Thèse de magistère. Université d'Annaba. 1988.

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

[48] NF P 14-306: Blocs en béton cellulaire autoclave pour murs et cloisons.

AFNOR ,1986 ,16P .

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

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

[51] ACI 213R -87: Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, Detroit, Michigan, 1999.

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

[53] 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.

[54] 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

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

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

[57] NA 442 ; Normes Algérienne : « Ciment –Composition, Specifications Et criteres De Conformite Des Ciments Courants», 1994, 2000.

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

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

[60] http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_six_exp.html

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

[62] NF P 18-305 : «Béton prêt à l'emploi » AFNOR, Paris.

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

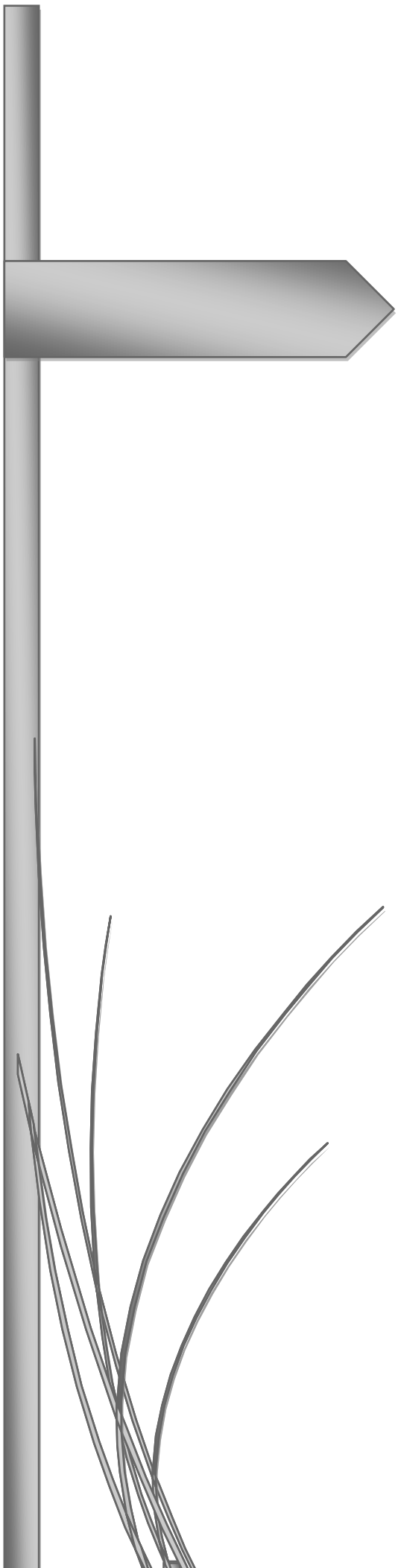
[64] NA 427/1989: «Béton-Détermination De La Resistance A La Compression Des Eprouvettes »,1989 .

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

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

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

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



Annexes

Annexe A : Fiche technique du ciment



Ciment

MATINE

Ciment pour béton exigeant

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression Rc 28≥ 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments élancés, tunnels, barrages et ponts

Nous pouvons utiliser les proportions moyennes mentionnées ci-dessous dans le cas de l'absence d'une formulation étudiée.



Remarque : Ces dosages ne sont donnés qu'à titre indicatif, les résultats de ces formulations peuvent varier selon la nature des matériaux utilisés et les conditions de mise en oeuvre.

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42.5 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 conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets 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 du **VISCOCRETE TEMPO12**

Construction

Notice technique
Edition juin 2017
Numéro 1.20
Version n°106. 2017
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

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

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.

Présentation
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

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

Caractères généraux
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :
- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.



Agréments, essais de laboratoire
- PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

Caractéristiques

Aspect	Liquide brun clair
Conditionnement	■ Fûts de 230 kg ■ CP de 1000 L ■ Vrac
Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Conservation	1 an en emballage intact

Données techniques

densité	1,06 ± 0,01
pH	6 ± 1
Teneur en Na_2O Eq.	≤ 1 %
Extrait sec	30,2 ± 1,3 %