

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Génie Des Matériaux

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme Master

Spécialité : Génie de matériaux

Option : Sciences des Matériaux pour la Construction Durable

THEME

**Formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulats
obtenus par recyclage des boues de barrage.**

Réalisé Par :

AGOUMIMELCHA Ahmed

OUANNOUGHI Billal

Sujet Proposé et suivi par :

M^{me} RABEHI

2016/2017

remerciment

Nous remercions dieu de nous avoir donné la volonté et le courage pour accomplir
ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier cordialement et sincèrement

Nos chers parents et nos chères familles Agoumimelcha et Ouannoughi.

Nos vifs remerciements s'adressent à m^{me} RABEHI, notre promotrice pour nous
avoir proposé ce sujet et nous donner l'opportunité d'approfondir nos
connaissances et notre expérience dans un domaine aussi passionnant.

Nous tenons à remercier également les membres du jury pour avoir accepté de juger
notre travail.

A monsieur sous-directeur de groupe CITEM qui a accepté d'exercé un stage ou
sein de l'entre prise et toute l'équipe des ingénieurs de laboratoire « liants et
béton »qui nous ont donné des conseils et suggestions nécessaires.

Et pour être sûr de n'oublier personne, nous sommes reconnaissants, à tous ceux
qui de prêt ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements et
leurs amitiés, à la réalisation de ce travail.

Aahmed et O.billal

DEDICACE

**AU NOM DE DIEU LE TOUT - PUISSANT, LE
TOUT - COPATISSANT, JE DÉDIE CE TRAVAIL
À L'ESPRIT DE MA MÈRE, À MON PÈRE, À
MES FRÈRES (AZIZ ET KAMEL), À MES
SŒURS, À TOUTE LA FAMILLE
AGOUMIMELCHA, AINSI QUE MES AMIS POUR
LEURS ENCOURAGEMENTS ILLIMITÉS.**

MERCI À TOUS.

AGOUMIMELCHA AHMED - 2017

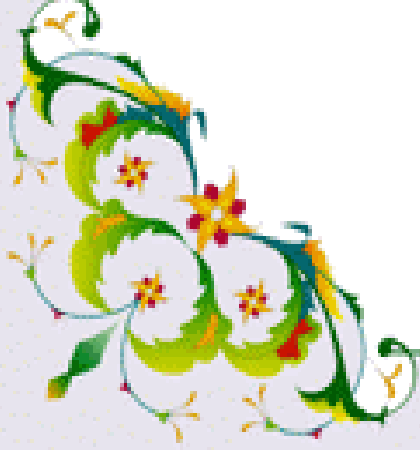


DEDICACES



C'est avec un immense plaisir, un cœur ouvert et une joie incommensurable, que je dédie mon travail à mes très chers parents qui m'ont soutenu tous au long de ma vie et de mon parcours universitaire, à mes frères et sœurs, ainsi qu' à toute ma famille.

A toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apporté un soutien et prodigué leurs encouragements. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et mes remerciements.



Bilal 2017



sommaire

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : béton léger

I.1 Introduction-----	1
I.2. Définition béton léger -----	1
I.3.Type des bétons légers-----	2
I.3.1.Le béton cellulaire-----	3
I.3.2 Le béton caverneux-----	4
I.3.3. Les bétons de granulats légers -----	5
I.3.3.1. béton de perlite -----	5
I.3.3.1.1. domaine d'utilisation-----	6
I.3.3.2. béton de perles de polystyrène-----	6
I.3.3.2.1 domaine d'utilisation-----	6
I.3.3.3. le béton d'argile expansé -----	6
I.4.Les propriétés des bétons légers-----	7
I.4.1.la porosité-----	7
I.4.2. la légèreté -----	7
I.4.3. La sensibilité à l'eau-----	7
I.4.4. La résistance à la compression des bétons légers -----	8
I.4.5. Propriétés élastiques des bétons légers -----	8
I.4.6. La masse volumique-----	8
I.4.7. La durabilité -----	8
I.4.8. La rhéologie à l'état frais-----	8
I.5.Le dosage -----	9
I.5.1. Les Principes de dosage-----	9
I.5.2. Les méthodes de dosage -----	9
I.6.Classification du béton léger-----	10
I.7.La nature de l'ouvrage -----	11

I.7.1. Le béton léger structural -----	11
I.7.2. Le béton léger architectural -----	12
I.8.Domaine d'utilisation -----	12
I.8.1. des bétons d'isolation pure, non porteurs -----	12
I.8.2. des bétons porteurs et isolants -----	13
I.8.3. des bétons légers de structure -----	13
I.9.Les avantages des bétons légers -----	13
I.9.1. Avantages techniques -----	13
I.9.2. Avantages de Mises En Œuvre -----	14
I.9.3. Avantages Economiques -----	14
I.10.Désavantages du béton léger -----	14
I.11.Mise en place d'un béton léger standard -----	15
I.11.1. Production -----	15
I.11.2. Ségrégation -----	15
I.11.3. Compactage -----	15
I.11.4. Cure -----	15
I.11.5. Retrait -----	15
I.11.6. Hydrofugation -----	15
I.11.7. Transport et pompage -----	16
I.12.La conclusion -----	16

Chapitre II : granulats légers

II.1.Introduction-----	18
II.2.Granulats légers pour bétons de structure-----	18
II.2.1.Granulats Naturels-----	19
II.2.1.1.Granulats Minéraux -----	19
II.2.1.1.1.Pierre Ponce -----	19
II.2.1.1.2. Pouzzolane-----	21
II.2.1.2. Granulats végétaux -----	22
II.2.1.2.1. Copeaux De Bois (pin, sapin, bouleau)-----	22
II.2.1.2.2. Granulats De Liège -----	22
II.2. 2. Granulats Obtenus Par Traitements -----	22
II.2. 2.1. Mâchefer -----	23
II.2.2.2. Le Laitier-----	23

II.2.2.2.1. Le Laitier Expansé -----	23
II.2.2.2.2. Le Laitier Bouleté -----	24
II.2.2.3. Cendres Volantes Frittées Et Expansées -----	25
II.2.2.4. Vermiculite -----	27
II.2.2.5. Perlite -----	29
II.2.3. Granulats Fabriqués Spécialement : (granulats artificiels) -----	30
II.2.3.1. Argile Expansées -----	30
II.2.3.2. Schiste expansé -----	32
II.2.3.3. Billes de polystyrène -----	33
II.2.4. Les Matériaux Légers De Recyclage-----	34
II.2.4.1. Les plastique-----	35
II.2.4.2. Les caoutchoucs-----	37
II.3. Conclusion -----	37

Chapitre III : vase de barrage

III.1. Introduction -----	38
III.2.Causes et Origine de L'envasement -----	38
III.3.Problématique de l'envasement des barrages -----	40
III.3.1.La réduction de la capacité -----	40
III.3.2.La sécurité de l'ouvrage -----	40
III.3.3.Obturation des organes de vidange -----	41
III.3.4.Envasement des canaux d'irrigation -----	41
III.3.5.Dégradation de la qualité de l'eau-----	41
III.4.Définition de la vase-----	42
III.4.1. La définition proposée par Migniot -----	42
III.5. Composition des vases-----	43
III.5.1. Structure physico-chimique des vases -----	43
III.5.2. Rhéologie des vases -----	44
III.6. Valorisation des vases-----	45
III.7.Barrage de keddara-----	45
III.8.Conclusion-----	46

Chapitre IV : partie pratique

IV.1. Introduction et but de sujet-----	47
IV.2. Matière première-----	48
IV.2.1. Composition chimique-----	48
IV.2.2. Composition minéralogique-----	48
IV.3. Processus de la fabrication des granulats légers (vase + polystyrène) -----	50
IV.4. Etapes de préparation des granulats-----	50
IV.4.1. Récupération de la vase-----	50
IV.4.2. Broyage -----	51
IV.4.3. Tamisage-----	51
IV.4.4. Mélange-----	52
IV.4.5. Homogénéisation -----	52
IV.4.6. Séchage -----	52
IV.4.7. Traitement thermique -----	53
IV.5. Elaboration des granulats-----	53
IV.6. Régime thermique d'élaboration des granulats légers-----	54
IV.7. Matériaux utilisés-----	55
IV.7.1. Granulats-----	55
IV.7.1.1. Sable -----	55
IV.7.1.2. Gravier-----	56
IV.7.1.3. Granulats légers-----	59
IV.7.2. Caractéristiques de ciment utilisé-----	62
IV.7.3. Eau de gâchage -----	63
IV.7.4. Caractéristiques de l'adjuvant utilisé (MEDAFLOW 145)-----	63
IV.8. Formulation et caractérisation de béton -----	65
IV.8.1. Formulation d'un béton par méthode de Dreux- gorisse-----	65
IV.8.1.1. Calcul de la composition-----	65
IV.8.2. Béton témoin -----	69
IV.8.2.1. Composition d'un mètre cube de béton-----	69
IV.8.2.2. Caractéristiques de béton frais -----	70
IV.8.2.3. Caractéristiques de béton durci-----	70
IV.8.3. Béton avec 50% de gravier léger -----	72

IV.8.3.1.Composition d'un mètre cube de béton-----	72
IV.8.3.2.Caractéristiques de béton frais -----	72
IV.8.3.3.Caractéristiques de béton durci-----	72
IV.8.4.béton 100% de gravier léger -----	74
IV.8.4.1.Composition d'un mètre cube de béton-----	74
IV.8.4.2.Caractéristiques de béton frais -----	74
IV.8.4.3.Caractéristiques de béton durci -----	74
IV.9.Récapitulation des résultats -----	76
IV.9.1. Masse volumique à l'état frai-----	76
IV.9.2. Masse volumique à l'état durci -----	77
IV.9.3 .Porosité-----	78
IV.9.4 .Absorption -----	79
IV.9.5 : Résistance à la compression-----	80
IV.9.6 : Résistance à la flexion -----	81
IV.9.7. Conductivité thermique-----	82
IV.10.Conclusion -----	82

Conclusion général et recommandation

Bibliographie

Liste des figures

Figure I.2 : Classification des bétons légers-----	03
Figure I.3 : représentation schismatique des différents types de béton léger-----	04
Figure I.3.1 : béton cellulaire-----	04
Figure I.3.2 : le béton léger caverneux-----	04
Figure I.3.3 : Le béton de granulats léger-----	05
Figure I.3.3.1 : béton de perlite expansé-----	06
Figure I.3.3.2 : béton de perles de polystyrène-----	06
Figure I.3.3.3 : le béton d'argile expansé-----	07
Figure I.6.1 : la masse volumique sèche De béton léger-----	10
Figure I.6.2 : la résistance à la compression à l'âge de 28 jours de béton léger-----	10
Figure I.9.1.1 : les avantages techniques de béton léger-----	14
Figure II.2.1.1.1.1 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de pierre ponce en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C , 65 % d'humidité relative) -----	20
Figure II.2.1.1.1.2 : Pierre De Ponce-----	21
Figure II.2.1.1.2 : Granulats De Pouzzolane-----	21
Figure II.2.1.2.1 : Copeaux De Bois-----	22
Figure II.2.1.2.2 : Granulats De Liège-----	22
Figure II.2.2.1 : Granulats De Mâchefer-----	23
Figure II.2.2.2.1 : Laitier Expansé-----	23
Figure II.2.2.2.2 : Laitier Bouleté-----	24

Figure II.2.2.2.2.1 : la variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de laitier expansé en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité) -----	25
Figure II.2.2.3.1 : la variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de cendres volantes frittées et expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité) -----	27
Figure II.2.2.3.2 : granulats de cendres volantes-----	27
Figure II.2.2.4 : Granulats De Vermiculite -----	29
Figure II.2.2.5 : Granulats De Perlite-----	30
Figure II.2.3.1.1 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir d'argile expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) -----	31
Figure II.2.3.1.2 : Granulats D'argile Expansée -----	32
Figure II.2.3.2.1 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de schistes expansées en fonction de sa masse volumique (dans de conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) -----	33
Figure II.2.3.2.2 : Granulats De Schistes Expansé-----	33
Figure II.2.3.3 : Billes De Polystyrène-----	34
Figure II.2.4.1 : Granulats De Plastique-----	35
Figure II.2.4.2 : Granulats De Caoutchoucs-----	37
Figure III.1 : Dépôt de vase-----	38
Figure III.2 : Processus sédimentaires-----	39
Figure III.3.1 : Envasement du barrage de Keddara-----	40
Figure III.3. 2 : Importance de l'envasement des barrages Algériens (de Mardja Sidi Abed Ghilizane ANB, 2001) -----	40

Figure III.4.1 : Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986)	
cite par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C-----	42
Figure III.5.1 : Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires-----	43
Figure III.6.1 : Récipients à base de la vase barrage lakhel (bouira) -----	44
Figure III.6.2 : Briques à base de la vase du barrage lakhel (bouira) -----	44
Figure III.7.1 : Digue du barrage Keddara-----	45
Figure III.7.2 : Photos satellite de la cuvette du barrage Keddara-----	46
Figure IV.2.2 : Diagramme de l'analyse minéralogique (DRX) -----	49
Figure IV.4.1.1 : Barrage de keddara-----	51
Figure IV.4.1.2 : Vase du barrage de keddara-----	51
Figure IV.4.2.1 : Vase de barrage après le séchage-----	51
Figure IV.4.2.2 : Broyeur à mâchoire -----	51
Figure IV.4.3.1 : Vase après le broyage-----	52
Figure IV.4.3.2 : Tamis de 0.1 mm-----	52
Figure IV.4.4 : Mélange (vase + polystyrène) -----	52
Figure IV.4.6 : Séchage des granulats-----	53
Figure IV.4.7 : Four de traitement thermique-----	53
Figure. IV.5 : granulats légers élaborés -----	54
Figure IV.6 : Régime thermique opté pour l'élaboration des granulats légers-----	55
Figure IV.7.1 : Courbe granulométrique-----	58
Figure IV.7.1.3 : Diagramme d'analyse minéralogique (DRX) -----	61
Figure IV.7.4 : MEDAFLOW 145-----	63
Figure IV.8.1.1.1 : la courbe granulométrique-----	68
Figure IV.8.1.1.2 : Malaxeur-----	69
Figure IV.8.2.2.1 : Essai d'affaissement-----	70
Figure IV.8.2.2.2 : Masse volumique-----	70

Figure IV.8.2.3.1 : Essai de flexion (témoin) -----	70
Figure IV.8.2.3.2 : Essai de Compression (témoin) -----	70
Figure IV.8.2.3.3 : Face de l'éprouvette prismatique de béton témoin -----	71
Figure IV.8.2.3.4 : CT METRE-----	71
Figure IV.8.2.3.5 : Éprouvettes de béton témoin pour l'essai d'isolation thermique -----	71
Figure IV.8.3.3.1 : Essai de flexion (50% LG) -----	72
Figure IV.8.3.3.2 : Essai de compression (50% LG) -----	72
Figure IV.8.3.3.2 : Face de l'éprouvette prismatique de béton avec 50 % GL -----	73
Figure IV.8.3.3.3. Éprouvettes de béton 50% LG pour l'essai d'isolation thermique-----	73
Figure IV.8.4.3.1 : Essai de flexion (100% LG) -----	74
Figure IV.8.4.3.2 : Essai de compression (100% LG) -----	74
Figure IV.8.4.3.3 : Face de l'éprouvette prismatique de béton avec 100 % GL-----	75
Figure IV.8.4.3.4. Éprouvettes de béton 100% GL pour l'essai d'isolation thermique -----	75
Figure .IV.9.1 : Variation de la masse volumique à l'état frais en fonction de la composition de béton -----	76
Figure. IV.9.2 : Variation de la masse volumique à l'état durci en fonction de la composition de béton-----	77
Figure .IV.9.3 : Variation de la porosité en fonction de la composition de béton-----	78
Figure .IV.9.4 : Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton-----	79
Figure .IV.9.5 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la composition de béton -----	80
Figure .IV.9.6 : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la composition de béton - -----	81
Figure IV.9.7 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la composition de béton -----	82

Liste des tableaux

Tableau I.3.1 : Les propriétés comparées des bétons cellulaires-----	03
Tableau I.3.2 : caractéristiques de béton léger caveux -----	04
Tableau I.3.3 : caractéristiques de béton de granulats léger-----	05
Tableau I.6.1: Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité-----	10
Tableau I.6.2: Classification des bétons légers en Fonction De la densité-----	10
Tableau II.2.1.1.1: Propriétés du béton léger confectionné à partir de pierre ponce-----	21
Tableau II.2.2.2.2: Propriétés du béton léger confectionné à partir de laitier-----	25
Tableau II.2.2.3 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de cendres volantes frittées expansées-----	27
Tableau II.2.2.4 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de vermiculite-----	28
Tableau II.2.2.5 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de perlite-----	30
Tableau II.2.3.1: Propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile expansée-----	31
Tableau II.2.3.2: Propriétés du béton léger confectionné à partir de Schistes expansées -----	32
Tableau II.2.3.3 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de billes de polystyrène---	34
Tableau III.3.5 : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie (2004) -----	41
Tableau III.4.1: Les plus simples définitions des facies d'après Allen -----	43
Tableau IV. 2.1 : Composition chimique-----	48
Tableau IV.2.2 : Composition minéralogique-----	48
Tableau IV.5 : Matériaux utilisés-----	53
Tableau IV.7.1.1.1 : Caractéristiques physiques-----	55
Tableau IV.7.1.1.2 : Analyse granulométrique (Norme NF EN 933-1) -----	56
Tableau IV.7.1.2.1 : Caractéristiques physiques-----	56

Tableau IV.7.1.2.2 : Caractéristiques mécaniques-----	57
Tableau IV.7.1.2.3 : Analyse granulométrique (Norme NF EN 933-1) -----	57
Tableau IV.7.1.2.4 : coefficient d'aplatissement (NF EN 933-3) -----	57
Tableau IV.7.1.3.1 : Caractéristiques physiques -----	59
Tableau IV.7.1.3.2 : Analyse granulométrique (Norme NF EN 933-1) -----	59
Tableau IV.7.1.3.3 : Composition chimique des granulats élaborés-----	60
Tableau IV.7.1.3.4 : Composition minéralogique- -----	60
Tableau IV.7.2.1 : Caractéristiques physiques-----	62
Tableau IV.7.2.2 : Caractéristiques mécaniques-----	62
Tableau IV.7.2.3 : Caractéristique chimiques-----	63
Tableau IV.7.2.4 : Caractéristiques minéralogiques-----	64
Tableau IV.8.2.1 : Composition d'un mètre cube de béton témoin -----	69
Tableau IV.8.2.2: Caractéristiques de béton frais-----	70
Tableau IV.8.2.3.1 : Caractéristiques mécaniques-----	70
Tableau IV.8.2.3.2 : Caractéristiques physiques et thermiques-----	70
Tableau IV.8.3.1 : Composition d'un mètre cube de béton 50% de gravier léger-----	72
Tableau IV.8.3.2.1: Caractéristiques de béton frais -----	72
Tableau IV.8.3.3.1 : Caractéristiques mécaniques-----	72
Tableau IV.8.3.3.2 : Caractéristiques physiques et thermiques-----	73
Tableau IV.8.4.1 : Composition d'un mètre cube de béton 100 % de gravier léger -----	74
Tableau IV.8.4.2: Caractéristiques de béton frais-----	74
Tableau IV.8.4.3.1 : Caractéristiques mécaniques-----	74
Tableau IV.8.4.3.2 : Caractéristiques physiques et thermiques-----	75
Tableau. IV.9.1 : Masses volumiques à l'état frai -----	76
Tableau. IV.9.2 : Masses volumiques à l'état durci -----	77

Tableau. IV.9.3 : Porosité du béton -----	78
Tableau. IV.9.4 : Absorption du béton-----	79
Tableau .IV.9.5 : Résistance à la compression-----	80
Tableau IV.9.6 : Résistance à la flexion -----	81
Tableau. IV.9.7 : Conductivité thermique -----	82

Résumé

Dans une optique de développement durable, l'étude présentée met en évidence les difficultés de la lutte contre l'envasement des retenues et l'épuisement de ressources naturelles et propose des voies de valorisation des vases issues du dragage, dans la formulation de béton.

Notre travail vise principalement la récupération de la boue des barrages pour l'élaboration de granulats destinés aux bétons légers. Après traitement de la vase et obtention des granulats, ces derniers sont incorporés dans le béton à différentes teneurs en substitution des granulats naturels.

Les résultats obtenus montrent que la méthode et les conditions de préparation des granulats légers a été efficace et elle donnée des caractéristiques intéressantes de point de vue masse volumique, résistance mécanique et conductivité thermique.

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est le plus connu des matériaux de construction, il est largement utilisé dans la quasi-totalité des projets de construction, cependant, il a une masse volumique élevée d'où la mise en place de fondations importantes pour supporter le poids de constructions. Par sa masse synonyme d'une certaine inertie, il bloque la transmission des sons par vibration acoustique et ralentit le transfert de la chaleur. Cet effet tampon compense en partie le fait que le béton soit un matériau conducteur.

Globalement, le béton est donc performant du point de vue mécanique, mais il est moins intéressant du point de vue de l'isolation thermique.

De nouveaux matériaux sont alors apparus, rassemblés sous l'appellation de béton léger. Ces matériaux font référence à des bétons de masse volumique plus faible ($\rho \leq 2000 \text{ kg/m}^3$) que celle des bétons ordinaires et vise particulièrement une meilleure isolation thermique et ces matériaux sont obtenus par substitution des graviers par des granulats légers.

Les premiers granulats légers utilisés pour la réalisation de béton ont été les granulats naturels issus de roche volcanique comme «la pierre ponce» puis les granulats légers artificiels ont été fabriqués dans les années 1910, aux États-Unis à partir d'une matière naturelle comme l'argile, le schiste, l'ardoise...etc., soit des sous-produits industriels comme les laitiers, les cendres volantes frites. Dans les années 70 l'utilisation de ces granulats pour réaliser des bétons s'est largement développée aux États-Unis, au Japon et dans divers pays d'Europe en raison des avantages spécifiques.

De nouveaux matériaux sont alors apparus rassemblés sous l'appellation « béton isolants ».

Ces matériaux font référence à des bétons légers classiques de masse volumique plus faible et peuvent présenter une meilleure isolation thermique et, ou encore une meilleure tenue au gel et une bonne résistance au feu.

Ces matériaux sont obtenus par substitution des gravillons traditionnels qui peuvent être remplacés par des granulats légers.

Les objectifs de ce travail sont multiples. Le premier consiste à récupérer un déchet encombrant et son recyclage dans le domaine de construction et d'élaborer et caractériser des granulats légers à base de vase de barrage, le second objectif concerne la confection et la caractérisation d'un béton léger et isolant à base des granulats élaborés.

Introduction générale

La lutte contre le gaspillage d'énergie et d'argent dans le secteur de bâtiment passe par la confection d'un matériau durable, répondant aux exigences actuelles et futures, qui répondent à toutes les constructions nouvelles pour faire face aux problèmes de notre environnement.

Ce travail s'étale sur plusieurs chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une bibliographie sur les bétons légers et leurs différentes classes caractéristiques.
- Le deuxième concerne les différents granulats légers utilisés pour alléger le béton.
- Le troisième chapitre traite une bibliographie sur le phénomène d'envasement et les vases récupérées.
- Le quatrième chapitre comporte les résultats d'essais réalisés soit sur la matière première, les granulats élaborés ainsi que les éprouvettes confectionnées ainsi que les interprétations et discussion.
- Le manuscrit est clôturé par une conclusion générale.

Partie théorique

chapitre I : béton léger

I.1 Introduction

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

Si pour des objets déterminés, on examine les quatre propriétés déjà mentionnées, à savoir: résistance, densité, pouvoir isolant et coût, on constate bien souvent qu'il y a avantage à utiliser le béton léger comme béton de construction. Ce qui est déterminant dans cette étude, c'est surtout la diminution du poids propre des éléments de construction, ainsi que les simplifications qui résultent du fait que la construction comporte en elle-même une excellente isolation.

Les granulats légers artificiels modernes sont fabriqués à partir de grains de schiste ou d'argile plastique. Soumis à la chaleur, ces matériaux gonflent, ce qui leur confère une structure fortement poreuse. Dans cet état, ils sont soumis à une cuisson qui les solidifie. C'est pourquoi ces matériaux légers sont désignés après leur traitement par schistes expansés et argiles expansées.

I.2. Définition béton léger

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. En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m³, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m³. [1]

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

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m³. [2]

Ces bétons à des fins d'isolation et d'allégement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues, Donc les bétons légers de construction affectés par leurs

masses volumiques et ces résistances variées. Bien utilisés, ces deux facteurs permettent d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction.

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

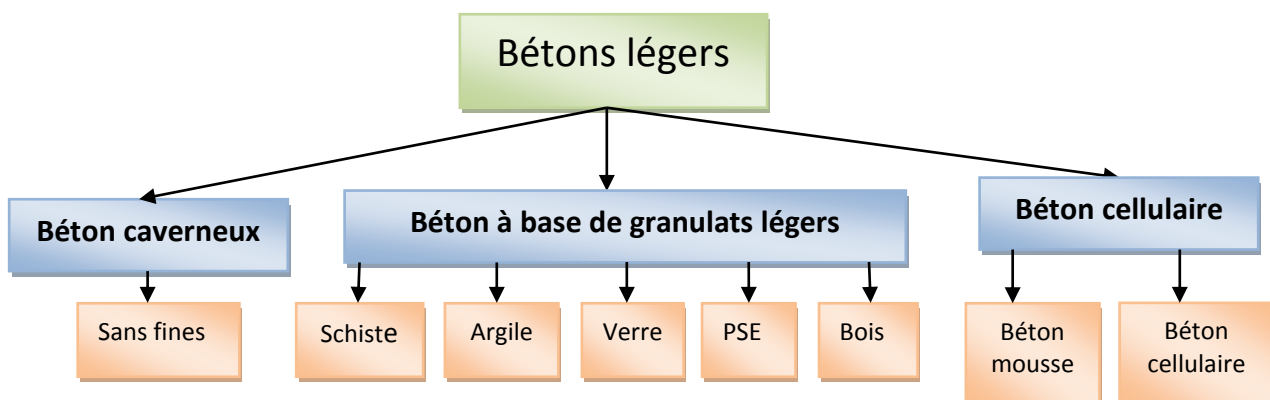


Figure I.2 : Classification des bétons légers [3]

I.3.Type des bétons légers

Pour développer 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 remplaçant 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 :

- 1- les bétons cellulaires.
- 2- les bétons sans fines (caverneux).
- 3 - les bétons de granulats légers (argile expansé...).

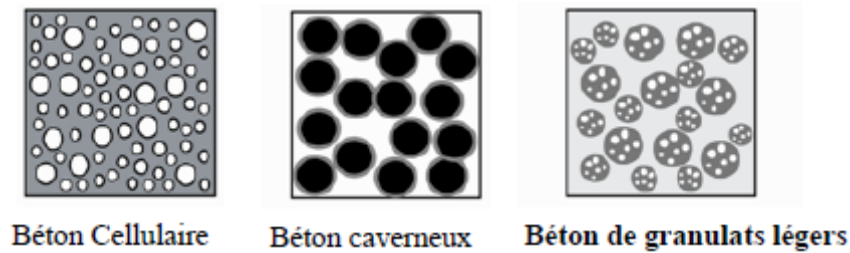


Figure I.3 : représentation schématique des différents types de béton léger [4]

I.3.1.Le béton cellulaire

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

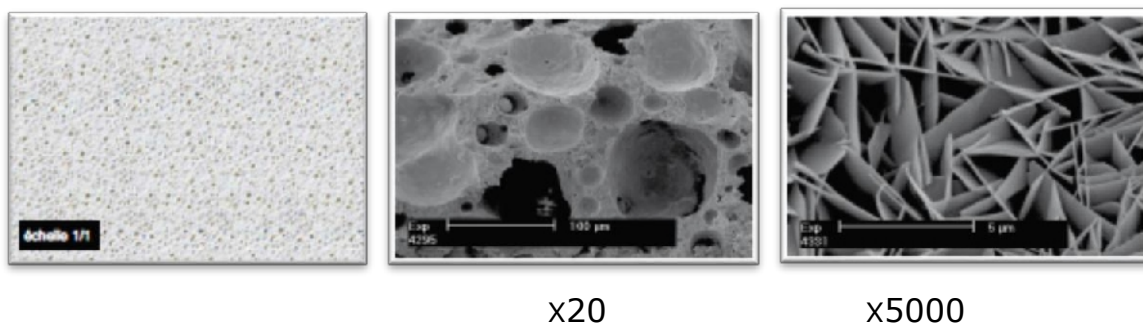


Figure I.3.1: béton cellulaire

Tableau I.3.1 : Les propriétés comparées des bétons cellulaires [2]

Masse volumique sèche	Résistance en compression	Résistance en flexion	Module d'élasticité	Conductivité thermique
kg/m ³	MPa	MPa	GPa	Jm/m ² s°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 (voir tableau 1). 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 microfibras, celles-ci reprennent les efforts de flexion, et aide à contrôler la microfissuration lors de l'application d'une charge. [2]

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 Agustín 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. [4]

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. [2]

I.3.2 Le béton caverneux

Béton léger et très poreux en raison de la présence dans sa masse de vides dus à l'absence de sable ou d'éléments fins. Il est obtenu à partir de gros granulats (courants ou légers) humidifiés et enrobés dans une pâte de ciment ou un mortier, et se met en place par couches épaisses (au moins 50 cm) et piquage. Il est utilisé comme béton de remplissage ou pour s'opposer aux remontées capillaires. [5]

Tableau I.3.2 : caractéristiques de béton léger caverneux [6]

<i>Types de bétons spéciaux</i>	<i>Propriétés, caractéristiques particulières</i>	<i>Utilisation, domaines d'application privilégiés</i>
<i>Bétons légers caverneux</i> - béton caverneux de granulats légers - béton de bois - béton de liège	- masse volumique réduite - perméabilité à l'eau et à l'air - absorption acoustique	- allègement et drainage - absorption des bruits, réduction des bruits d'impact (écrans acoustiques, chapes flottantes, etc.)



Figure I.3.2 : le béton léger caverneux

I.3.3. Les bétons de granulats légers

Les bétons de granulats légers 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. [7]



Figure I.3.3 : Le béton de granulats léger

Tableau I.3.3 : caractéristiques de béton de granulats léger [6]

<i>Types de bétons spéciaux</i>	<i>Propriétés, caractéristiques particulières</i>	<i>Utilisation, domaines d'application privilégiés</i>
<i>Bétons de granulats légers</i>	- masse volumique réduite (entre 1 000 et 1 800 kg/m³) - bonne résistance mécanique	- allègement des produits et des ouvrages - isolation thermique et phonique

I.3.3.1. béton de perlite

Le béton de perlite est fabriqué avec des granulats de perlite expansée du ciment et de sable de rivière en fonction de la résistance à la compression désirée, il présente une excellente résistance aux agents chimiques avec un bon comportement au feu incombustible. [8]



Figure I.3.3.1 : béton de perlite expansé

I.3.3.1.1. domaine d'utilisation

- Utilise comme enduits isolants
- Chape de planche
- Comme pente de terrasse

I.3.3.2. béton de perles de polystyrène

Le béton de perles polystyrène est un béton de ciment dont les granulats sont constitués par des granulats de polystyrène expansé celle-ci sont obtenu par expansion sous effet de la chaleur du pyrogène contenu dans des billes de polystyrène. [8]



Figure I.3.3.2 : béton de perles de polystyrène

I.3.3.2.1 domaine d'utilisation

- Murs extérieure
- Hourdis de plancher

I.3.3.3. le béton d'argile expansé

Le béton d'argile expansé est l'un des matériaux de construction les plus prometteurs. Ce béton contient sur du granulat léger appelé argile expansé , l'argile expansée apporte ses qualités exceptionnelles d'isolant thermique et acoustique, d'allègement des structures rapportées 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 de l'environnement. [9]



Figure I.3.3.3 : le béton d'argile expansé

I.4. Les propriétés des bétons légers

I.4.1. 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 due à la présence de l'air intraparticule. 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. [10]

I.4.2. 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 situe autour de 1600 kg/m^3 pour un béton d'argile expansée, entre 600 et 900 kg/m^3 pour un béton de bois et qu'elle varie entre 350 et 650 kg/m^3 pour un béton cellulaire (norme NF P 14-306). L'intérêt est d'avoir un matériau facile à mettre en œuvre lorsqu'il est vendu manufacturé sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction. [10]

I.4.3. La sensibilité à l'eau

Les granulats, poreux et perméables, 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 perméable car les pores, non reliés entre eux, ne constituent pas des chemins continus, dans lesquels le fluide peut s'écouler. Porosité et perméabilité sont donc liées mais la première n'implique pas forcément la deuxième. [10]

I.4.4. 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. [10]

I.4.5. Propriétés élastiques des bétons légers

Le module d'Young d'un béton léger est évidemment inférieur à celui du béton traditionnel en raison de sa faible masse volumique. Généralement Le module d'Young d'un béton léger est considéré 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. [10]

I.4.6. La masse volumique

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

I.4.7. 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. [2]

I.4.8. 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. [2]

I.5.Le dosage

Le dosage est consiste essentiellement à déterminer la proportion des constituants de manière à produire le béton répondant aux qualités du béton recherchées. Cependant, ce dosage n'est pas aléatoire puisque l'obtention des qualités recherchées repose sur des principes (qualité de la pâte, type de granulat, rhéologie, etc.) Une fois ces principes établis, on peut identifier la méthode de dosage qui correspond le mieux aux matériaux utilisés et aux conditions d'application. [2]

I.5.1. 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. [2]

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.5.2. 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. [2]

I.6. Classification du béton léger

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

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



Figure I.6.1: la masse volumique sèche De béton léger



Figure I.6.2 : la résistance à la compression à l'âge de 28 jours de béton léger

La norme EN 206 classe les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, Fonction de leur masse en Kg/m³. [11]

Tableau I.6.1: Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [1]

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

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

Tableau I.6.2: Classification des bétons légers en Fonction De la densité [11]

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

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^{13.141} classe 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/m³**

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

❖ **le béton léger de faible masse volumique : 300 – 800 kg/m³**

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

❖ **le béton de résistance moyenne se situe entre les deux :**

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

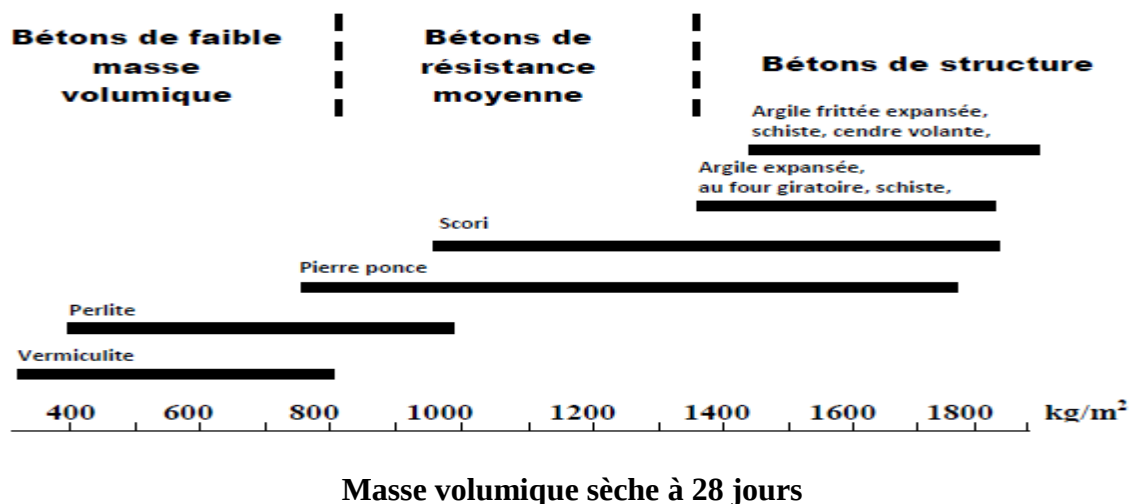


Figure I.6.3 : masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [1]

I.7. La nature de l'ouvrage

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

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

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

I.7.1. 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/m³ [4]. 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 ponce, 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. [2]

1.7.2. Le béton léger architectural

Tout comme pour le béton léger structural, l'ACCP définit un béton léger architectural comme étant un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours comprise entre 0,7 et 7 MPa et dont la masse volumique varie entre 240 à 1440 kg/m³. [2]

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

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

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

1.8.Domaine d'utilisation

1.8.1. des bétons d'isolation pure, non porteurs

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

- en forme de pente isolante pour toiture-terrasse.
- en isolation de sols sur 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.8.2. des bétons porteurs et isolants

Leur masse volumique varie de 1 000 à 1 300 kg/m³ 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.8.3. des bétons légers de structure

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

Ces bétons sont utilisés pour :

- ✓ Ouvrage où 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.9. Les avantages des bétons légers

Le béton léger est utilisé pour plusieurs avantages, on peut les classer en trois catégories qui sont :

I.9.1. 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 classée 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.



Figure I.9.1.1 : les avantages techniques de béton léger

1.9.2. Avantages de Mises En Œuvre

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

1.9.3. Avantages Economiques

- une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau. [1]
- le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations. [1]
- économie sur le ferrailage 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.

1.10. Désavantages du béton léger

- Le prix est plus élevé à cause du dosage en ciment plus important.
- Les fournisseurs sont plus restreints selon le béton léger choisi.
- Le prix est plus élevé à cause de l'utilisation de granulats légers, malaxage du béton plus long.
- La mise en place est délicate car le béton est plus sensible.
- Il est difficile de le mettre en place avec une pompe à béton.
- Consommation d'eau plus importante, granulats à porosité importante.
- Le module d'élasticité E est inférieur à celui du béton normal. [12]

I.11.Mise en place d'un béton léger standard

I.11.1. Production

La mise en dépôt des granulats doit être mesurée régulièrement car ces derniers ont une grande porosité et de ce fait absorbe une grande quantité d'eau. Le mieux est de les entreposer à l'abri pour maintenir leur taux d'humidité. Ce dernier doit être pris en compte pour le calcul du E/C lors de la fabrication du béton léger.

I.11.2. Ségrégation

Si la consistance du béton léger est molle, ce dernier est exposé au problème de la ségrégation. Ce phénomène consiste à la remontée des granulats à la surface du béton lors de la mise en place. Afin d'éviter ce problème, des additions tels que les entraîneurs d'air ou les stabilisateurs peuvent être ajoutés lors de la fabrication pour améliorer la cohésion interne du béton.

I.11.3. Compactage

Lors de la vibration du béton léger, il faut faire très attention à ce que les granulats légers ne remontent pas à la surface. Le maniement de l'aiguille doit se faire ponctuellement (espace rapproché) mais de courte durée.

I.11.4. Cure

Le délai de décoffrage pour un béton léger est de minimum 5 jours. Ce dernier évite la fissuration à cause de la chaleur d'hydratation du ciment lors du durcissement du béton. Il est aussi conseillé de recouvrir immédiatement le béton décoffré à l'aide de natte thermique. Le béton léger frais ayant une forte chaleur d'hydratation, il est important d'adapter les éléments intérieurs et d'éviter les écarteurs avec des pieds en plastique.

I.11.5. Retrait

Le retrait du béton léger est plus important que celui du béton normal. Il est de l'ordre de .5 fois le facteur d'un béton normal pour les classes inférieures à du LC 16/18 et de 1.2 pour les classes supérieures à du LC 20/22.

I.11.6. Hydrofugation

Pour la protection du béton contre le transport capillaire, il est recommandé de faire une hydrofugation sur les éléments exposés aux intempéries.

I.11.7. Transport et pompage

Le béton léger est transporté de la même manière qu'un béton standard. Il n'engendre aucun traitement particulier, à part un éventuel malaxage avant sa sortie pour évacuer l'air. En ce qui concerne le pompage du béton léger, la haute pression de la pompe va forcer l'eau de la recette à pénétrer dans les ports des granulats légers. De ce fait, il sera moins maniable. Afin d'éviter ce phénomène, les granulats devront être pré mouillés (20 à 25% d'humidité supplémentaire). Dès lors, l'eau ne pourra plus entrer dans ces derniers vu qu'ils seront déjà saturés. [12]

I.12. Conclusion

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

- TM 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.
- Il convient de compléter notre bibliographie centrée sur le béton de granulats légers en notant l'importance des propriétés et les caractéristiques de chaque type de granulat.
- Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
- On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.
- Le béton utilisé dans plusieurs domaines, notamment l'isolation thermique et acoustique, et la résistance à la compression est faible par rapport au béton ordinaire.

chapitre II : granulats légers

II.1. Introduction

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 le Panthéon et le Colisée de Rome sont réalisés en partie en béton léger (Bremner et al. 1994). 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 volante fritee etc. au XX ième siècle. [7]

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). Il déposa un brevet en 1918 pour la technique d'expansion de l'argile, de l'ardoise et du schiste à partir d'un four rotatif. C'est le début de la production et de la commercialisation des granulats légers artificiels. Les granulats légers artificiels sont désormais utilisés aussi bien dans la construction civile que dans la construction navale comme l'illustre la Figure. En France, l'intérêt pour les granulats légers artificiels s'est développé au début des années 1970 avec l'implantation de la première usine en 1964 à Watten dans le nord. Selon (Chen et al. 2012), les granulats légers sont aujourd'hui présents dans différents domaines tels que le bâtiment (béton préfabriqué et béton prêt à l'emploi), les travaux publics (remblai), l'horticulture (grainage de jardin), du traitement des eaux (filtre ou lit bactérien). Certains sont peu résistants voire fiables tandis que d'autres sont résistants et durs. [7]

II.2. Granulats légers pour bétons de structure

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. [7]

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

- le granulats léger : granulats d'origine minérale ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle inférieure ou égale à $2\,000\text{ kg/m}^3$.
- le granulats courant : granulats minéraux et granulaires ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle comprise entre $2\,000$ et $3\,000\text{ kg/m}^3$.
- Le granulats lourd : granulats minéraux et granulaires ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle supérieure ou égale à $3\,000\text{ kg/m}^3$. [7]

La fabrication d'un béton léger repose essentiellement sur l'utilisation de granulats légers.

Leur utilisation dans le béton a pour but de diminuer de façon plus ou moins importante, selon les granulats légers choisis, la masse volumique. Par contre, cette réduction de la masse volumique a pour conséquence de diminuer la résistance à la compression.

Les granulats légers sont caractérisés par une structure poreuse, ce qui explique leur légèreté. Ils peuvent être d'origine naturelle ou artificielle dont la masse apparente est inférieure à $1\,000\text{ kg/m}^3$.

En pratique, les masses volumiques apparentes s'échelonnent entre 10 kg/m^3 (polystyrène expansé) et 900 kg/m^3 (granulats de pouzzolane, de laitier expansé), Alors que pour les granulats silico-calcaires habituels elles sont comprises entre 300 et $1\,600\text{ kg/m}^3$ (suivant la dimension et la forme des granulats).

Les granulats légers sont très nombreux et ils se différencient les uns des autres par leur origine, leur composition, leur forme, leur état de surface, leur structure, leur porosité, leur densité, leur résistance,.... [7]

II.2. 1. Granulats Naturels

II.2.1.1. Granulats Minéraux

II.2.1.1.1. Pierre Ponce

La pierre ponce est un matériau naturel d'origine volcanique, on trouve dans sa composition chimique une proportion élevée de trois minéraux qui sont : le silice, l'alumine et l'alcalis.

Elle se forme par brusque refroidissement de roches en fusion où il se présente sous l'aspect de grains assez arrondis dont le diamètre maximal est 10 à 20 mm suivant les carrières, de couleur grisâtre, d'une densité sèche et faible variant de 500 à 800 kg/m^3 due à la présence de bulles de gaz créées lors de sa formation et non pas à sa

fabrication car à cette étape la ponce ne subit aucune transformation particulière mise à part le concassage.

La ponce est assez friable et employée pour des bétons légers de structure et d'isolation ayant des résistances mécanique modestes ainsi que dans le cas d'enduits légers.

Citons comme exemple d'utilisation de la pierre ponce : le massif de d'Eifel en France et le dôme de du panthéon à Rome. [2]

• Propriétés du béton

Vu que la masse volumique de la ponce est faible cela nous indique une teneur excessive en vide et par conséquent les résistances à la compression du béton fabriqué avec de pierre ponce seront fortement limités disant faible. A moins d'utiliser une certaine quantité de sable plus dense (densité 2,30 à 2,65), les masses volumiques resteront relativement faibles. La figure II.2.1.1.1 montre la fourchette de résistance à la compression en fonction de la masse volumique apparente qu'il est possible d'obtenir. Les autres propriétés du béton contenant de la pierre ponce sont présentées dans le tableau II.2.1.1.1.

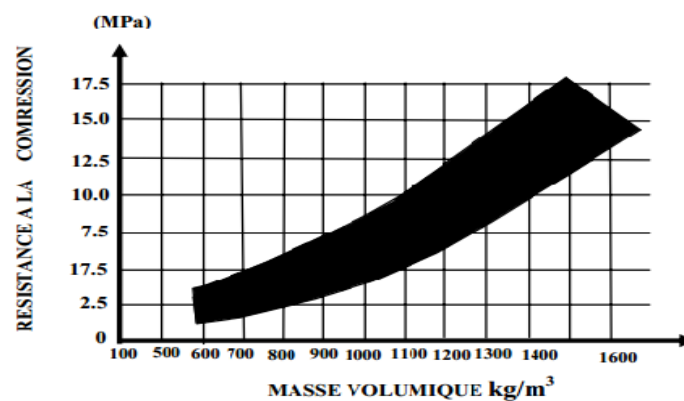


Figure II.2.1.1.1 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de pierre ponce en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C , 65 % d'humidité relative)

[2]

Tableau II.2.1.1.1: Propriétés du béton léger confectionné à partir de pierre ponce [2]

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Ponce	750 à 1400	3 à 20	0.5 à 1.5	2 à 10	1.0 à 1.5	8 à 9×10^{-6}	0.40

**Figure II.2.1.1.2 : Pierre De Ponce****II.2.1.1.2. Pouzzolane**

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 : $\text{SiO}_2 = 50\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10\%$). Sa densité est un peu plus élevée que celle de la ponce, de l'ordre de 700 à 900 kg/m³. les bétons confectionnés sont peu plus denses et plus résistants que les bétons de ponce. [2]

**Figure II.2.1.1.2 : Granulats De Pouzzolane**

II.2.1.2. Granulats végétaux

II.2.1.2.1. Copeaux De Bois (pin, sapin, bouleau)

Des morceaux de bois de 5 à 25mm obtenus par découpage et broyage seront déshydratés, traités chimiquement et stabilisés suivant deux méthodes différentes :

- l'élimination de la cellulose puis par une attaque acide suivis par le chlorure de calcium

et fini par lavage et séchage.

- l'ajout du silicate de soude. Les densités sèches s'échelonnent entre 250 et 400 kg/m³. le malaxage du béton préparé à l'aide de ce type de granulat ne devra pas être trop énergétique (pour ne pas défibrer et endommager le bois). [2]



Figure II.2.1.2.1 : Copeaux De Bois

II.2.1.2.2. Granulats De Liège

Ce type de granulat est obtenu à partir des chaines de lièges, en passant par le concassement de celles-ci et puis le liège est torréfié dans des autos claves vers 350°C sa densité sèche varie entre 65 et 120 kg/m³. Le domaine d'utilisation des granulats de liège est bien la confection de chapes et de planchers. [2]



Figure II.2.1.2.2 : Granulats De Liège

II.2. 2. Granulats Obtenus Par Traitements

Soit de déchets industriels, soit de matériaux naturels :

II.2. 2.1. Mâchefer

Le Mâchefer est un résidu de la combustion du charbon dans les foyers domestiques ou industriels. C'est un matériau de couleur foncée .dur, d'aspect fritté et scoriacé. Il ne doit pas contenir de produit nocif (chaux et magnésie sur cuites, sulfures et sulfates).

On utilise différentes classes granulométriques obtenues par un concassage des éléments les plus gros suivi d'un criblage il faut s'assurer que les mâcher fournis sont homogènes, stables et ne donneront pas lieu avec le ciment à des phénomènes d'expansion ou à des efflorescences. [2]



Figure II.2.2.1 : Granulats De Mâchefer

II.2.2.2. Le 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.

II.2.2.2.1. Le Laitier Expansé

le laitier s'expansé en se refroidissant dans une fosse au fond de laquelle on envoie des jets d'eau sous pression. La roche obtenue a une structure alvéolaire. Elle est concassé et criblée la densité des granulats varies de 600 à 900 kg/m³.



Figure II.2.2.2.1 : Laitier Expansé

II.2.2.2.2. 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 20mm, de structure vitreuse extérieurement vitreux, les granulats les plus gros ont un cœur cristallisé. Les granulats fins sont les gros granulats pour la confection de béton légers.

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



Figure II.2.2.2.2 : Laitier Bouleté

- **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.

- **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/m³.

- **Propriétés du béton**

La masse volumique des bétons fabriqués à partir de laitier expansé varie de 1000 à 1800 kg/m³, selon les propriétés du sable utilisé. La figure II.2.2.2.2 présente l'étendue des résultats obtenus par différents laboratoires quant à la variation de la résistance à la compression en fonction de sa masse volumique.

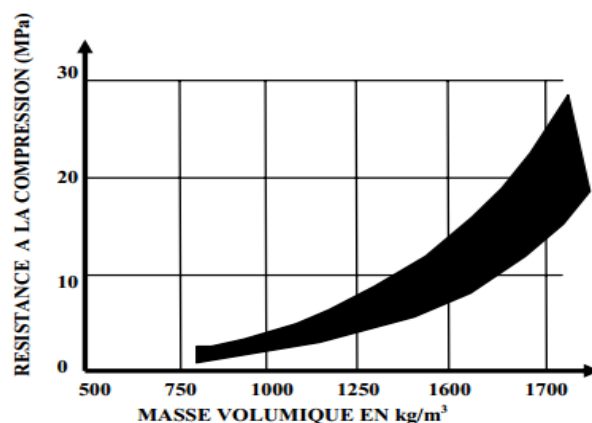


Figure II.2.2.2.2: la variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de laitier expansé en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité) [2]

Tableau II.2.2.2.2: Propriétés du béton léger confectionné à partir de laitier expansé

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa) (R_c/R_t)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Laitier expansé	1000 à 1800	3 à 25	3 à 7	5 à 20	0.4 à 06	8 à 12 x 10 ⁻⁶	0.30 à 0.45

II.2.2.3. Cendres Volantes Frittées Et Expansées

La cendre volante frittée est obtenue à partir de cendres volantes, résidus de la combustion du charbon pulvérisé utilisé dans les centrales thermiques. Les cendres sont séparées et recueillies dans des précipitateurs électrostatiques ou dans des collecteurs mécaniques. Elles se présentent sous la forme d'une poudre gris-noirâtre dont la dimension des grains varie de 1 à 200 μ . Ce sont des produits silico-alumineux (par EX : SiO₂ = 48%, Al₂O₃ = 32%, Fe₂O₃ = 8%).

Ces cendres peuvent être granulées avec de l'eau et les boulettes obtenues sont cuites dans des fours à grille horizontale (1200-1300°C) la densité de ces granulats varie de 650 à 680 kg/m³.

- **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. Elles sont constituées en grande partie d'une matière vitreuse, formée de billes creuses (sphérulites) ou pleines et de micro mâchefer de dimension généralement inférieure à 200 μ .

• Méthode de fabrication

La méthode de fabrication qui semble être la plus utilisée consiste au frittage de boulettes produites par un granulateur. L'agglomération des cendres volantes dans un granulateur est rendue possible grâce à leur propriété lorsqu'elles sont sous forme de poudre humide, de s'agglomérer sous forme de billes lorsqu'on les malaxe. Cet effet est créé par la tension superficielle entre l'eau et les particules très fines. Une fois les granules formés, de taille suffisante, ils sont envoyés vers le four pour le frittage. Le procédé de frittage consiste à souder entre elles les petites particules de cendre par fusion à haute température (1300 °C). à la sortie du four. On obtient un produit dont la masse volumique apparente avoisine les 800 kg/m³. Cette faible masse volumique s'explique du fait que l'opération de frittage permet de créer de petits espaces d'air entre les particules de cendre.

• Propriétés du béton

Les bétons fabriqués à partir des cendres volantes frittées présentent une bonne étendue de masse volumique et de résistance à la compression. À titre d'exemple il est possible de fabriquer du béton caverneux à partir de cendres volantes frittées dont la masse volumique est de 900 kg/m³. On peut également fabriquer un béton structural avec une masse volumique de 1850 kg/m³ en passant par des mélanges avec air entraîné pour la fabrication de panneaux isolants à 1350 kg/m³.

La figure II.2.2.3.1 définit la relation entre la masse volumique du béton et la résistance à la compression. Les autres propriétés du béton contenant des cendres volantes expansées sont présentées dans le tableau II.2.2.3.1.

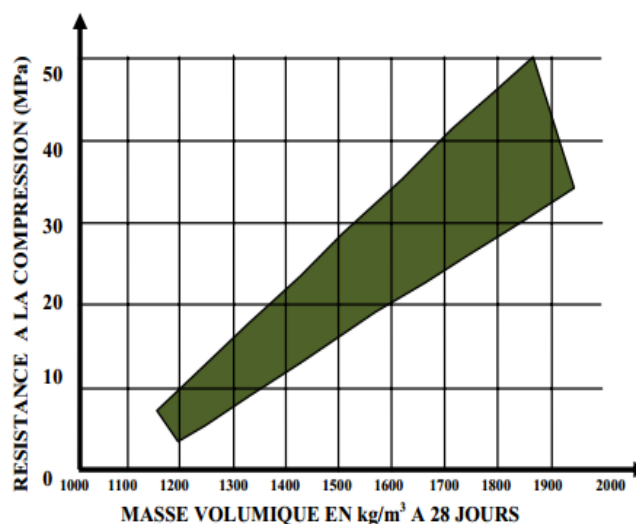


Figure II.2.2.3.1 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de cendres volantes Frittées et expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) [2]

Tableau II.2.2.3 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de cendres volantes frittées expansées [2]

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Cendres volantes	900 à 1850	5 à 45	2.5 à 3.0	20	0.3 à 0.7	8×10^{-6}	0.15 à 0.6



Figure II.2.2.3.2 : granulats de cendres volantes

II.2.2.4. Vermiculite

Les granulats de vermiculite sont obtenus par expansion dans de l'air chaud vers 900°C. Puis refroidissement brusque de paillettes de mica. Ils ont la forme de « mini- accordéons » de couleur jaune brillant, de 0,5 à 10mm de côté. La densité est comprise entre 70 et 130 kg/m³.

• Composition et origine

On associe la vermiculite à des micas ou à la famille des chlorites. Chimiquement, on la regroupe dans la famille des iminosilicates de fer et de magnésium comme les micas d'où ils proviennent par hydratation et pertes d'alcalis. La vermiculite est d'origine naturelle et on la traite à la chaleur pour obtenir des particules de 1 à 10 mm.

• Méthode de fabrication

Le minéral extrait est concassé et séché jusqu'à l'obtention d'une teneur en eau de 3 %. Par la suite, les granules sont chauffés à une température de 800 à 1100 °C pendant 2 minutes provoquant l'exfoliation, c'est-à-dire que, sous l'effet de la chaleur, les molécules d'eau séparant les lamelles se transforment en vapeur et provoquent ainsi l'expansion. Par suite de cette expansion, le volume des granules peut atteindre 30 à 30 fois son volume initial.

• Propriétés du béton

Les bétons confectionnés à partir de vermiculite présentent des résistances à la compression très faibles de l'ordre de 0,5 à 1,5 MPa avec des masses volumiques de 350 à 600 kg/m³ respectivement. Cette piètre performance mécanique explique pourquoi ce béton léger est utilisé avant tout pour ses propriétés thermiques plutôt que mécaniques (Cormon, 1973). Les autres propriétés du béton contenant de la vermiculite sont présentées dans le tableau II.2.2.4 [2].

Tableau II.2.2.4 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de vermiculite [2].

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Vermiculite	300 à 800	1 à 2	0.2 à 0.4	0.8 à 1.7	3.0 à 4.0	8×10^{-6}	0.20 à 0.30



Figure II.2.2.4 : Granulats De Vermiculite

II.2.2.5. Perlite

Les granulats de Perlite sont obtenus par chauffage rapide à 100°C puis refroidissement brusque d'une roche volcanique riche en silice. On obtient des micro-billes blanchâtres de 0,5 à 4 mm de diamètre. Leur densité est comprise entre 50 et 100 kg/m³ par traitement spécial ou obtient les perlites siliconés.

- **Composition et origine**

La perlite est une pierre volcanique de la famille des siliceux amorphes. Elle est composée principalement de silice (70 %) et de d'alumine (15 %).

- **Méthode de fabrication**

Cette pierre peut augmenter son volume de 20 fois lorsqu'elle est chauffée à des températures variant de 900 à 1100 °C. Une fois expansée et concassée, on obtient un granulat dont la masse volumique est aussi faible que 120 à 190 kg/m³ (ACI, 1986).

- **Propriétés du béton**

Les bétons contenant seulement de la perlite permettent d'obtenir des mélanges dont la masse volumique est aussi faible que 330 à 560 kg/m³ et dont les résistances à la compression varient de 0,7 à 3,1 MPa. En additionnant du sable au mélange. Les masses volumiques peuvent augmenter au-delà de 1000 kg/m³ et accroître ainsi les résistances à la compression de 6,2 à 17,3 MPa (Wilson, 1981).

Les autres propriétés du béton contenant de la perlite sont présentées dans le tableau II.2.2.5 [2]

Tableau II.2.2.5 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de perlite [2]

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Perlite	300 à 800	1 à 5	0.1 à 0.5	0.5 à 1.8	-	-	0.07 à 0.18

**Figure II.2.2.5 : Granulats De Perlite**

II.2.3. Granulats Fabriqués Spécialement : (granulats artificiels)

II.2.3.1. Argile Expandées

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. Il existe plusieurs procédés de fabrication. Les argiles sont traitées à 1150-1200 °C et le dégagement de certains gaz dans le matériau lui donne, au refroidissement, une structure interne alvéolaire (et une surface externe vitrifiée et dure). Après cuisson.

• 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.

• 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. Lors de la cuisson, une peau se forme par vitrification à la surface du matériau. A la suite du 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.

• Propriétés du béton

La figure II.2.3.1.1 montre la relation entre la résistance à la compression de bétons confectionnés à partir d'argiles expansées et leur masse volumique. Les résultats montrent que l'on peut obtenir des bétons de résistance tout à fait acceptable, de l'ordre de 30 à 35 MPa. Pour ce qui est des masses volumiques, elles se situent autour de 1650 kg/m³ pour les bétons légers structuraux comparativement à 1200 kg/m³ pour les bétons légers isolants. Les autres propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile expansée sont présentées dans le tableau II.2.3.1. [2]

Tableau II.2.3.1: Propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile expansée [2].

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa) (R_c/R_t)	E (5GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Argile expansée	600 à 1800	5 à 35	4 à 8	6 à 20	0.3 à 0.6	6 à 7×10^{-6}	0.20 à 0.75

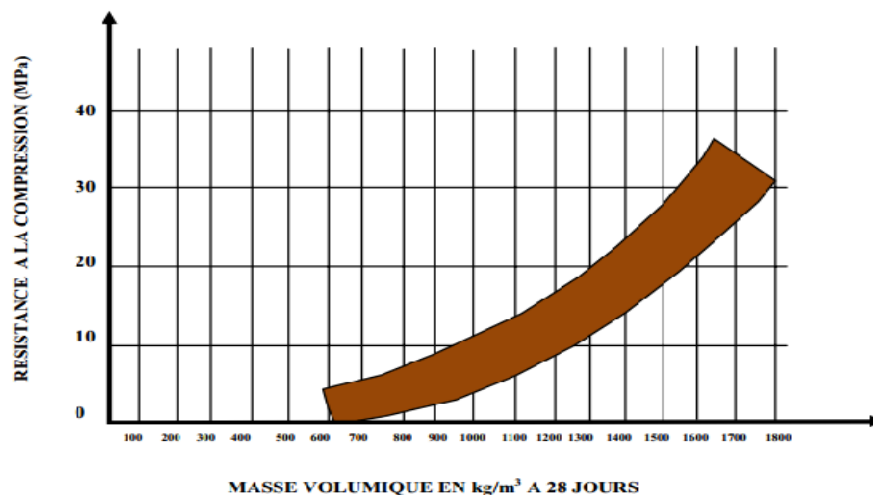


Figure II.2.3.1.1: Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir d'argile expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) [2]



Figure II.2.3.1.2 : Granulats D'argile Expansée

II.2.3.2. Schiste expansé

• 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. [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 exemple, 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. [11]

• Propriétés du béton

Les bétons légers confectionnés à partir de schistes expansés atteignent des masses volumiques parmi les plus élevées et, par le fait même, les meilleures résistances à la compression. Pour cette raison, ils sont majoritairement utilisés dans la conception de bétons structuraux. La figure II.2.3.2.1. Présente la fourchette de résistance à la compression en fonction des masses volumiques qu'il est possible d'obtenir avec des schistes expansés.

Les autres propriétés du béton contenant des schistes expansés sont présentées dans le tableau II.2.3.2. [2]

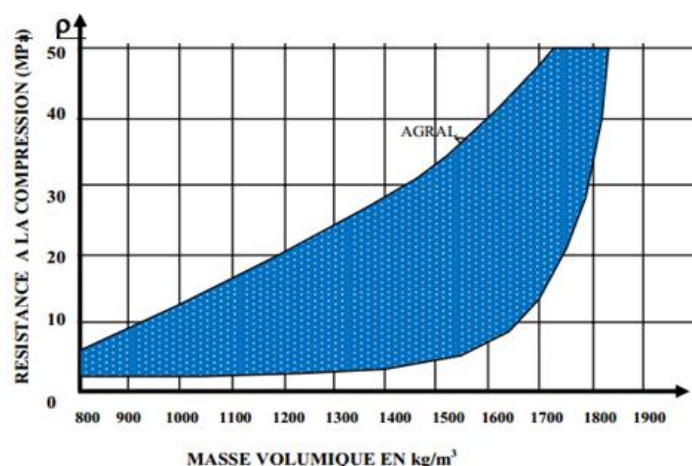


Figure II.2.3.2.1: Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de schistes expansées en fonction de sa masse volumique (dans de conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative). [2]

Tableau II.2.3.2: Propriétés du béton léger confectionné à partir de Schistes expansées

	ρ (Kg/m ³)	Fc(Mpa)	Traction (Mpa) (Rc/Rt)	E (5GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	Λ (kcal/mh°C)
Schiste expansée	800 à 1800	10 à 50	10 à 15	> 20	0.5 à 0.7	6 à $7 * 10^{-6}$	0.15 à 0.6



Figure II.2.3.2.2 : Granulats De Schistes Expansé

II.2.3.3. Billes de polystyrène

• Composition et origine

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

• Méthode de fabrication

Le pyrogène, sous l'action de la chaleur, passe à l'état gazeux, ce qui provoque l'expansion. Une fois expansées, les perles peuvent avoir atteint plusieurs fois leur diamètre initial, de 0,4 à 2 mm (Cormon, 1973). Le polystyrène présente une masse volumique parmi les plus faibles (10 à 40 kg/m³) en considération aux autres matériaux étudiés (ACI, 1986).



Figure II.2.3.3 : Billes De Polystyrène

• Propriétés du béton

Les bétons confectionnés à partir de polystyrène ont une masse volumique aussi faible que 550 à 800 kg/m³ selon que l'on emploie une portion de sable ou non. Ces bétons offrent de piètres performances mécaniques : une résistance à la compression de l'ordre de 2,0 à 4,0 MPa en fonction du pourcentage de sable utilisé. Il a été montré que la masse volumique de ces perles n'ont aucun apport quant aux caractéristiques mécaniques de ces bétons.

Les autres propriétés du béton contenant des billes de polystyrène sont présentées dans le tableau II.2.3.3.

Tableau II.2.3.3 : Propriétés du béton léger confectionné à partir de billes de polystyrène [2]

	ρ (Kg/m ³)	Fc(Mpa)	Traction (Mpa) (Rc/Rt)	E (5GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	Δ (kcal/mh°C)
Polystyrène	300	1	0.3		1.0		0.05
	à	à	à	2	à	10*10 ⁻⁶	à
	1000	10	1.5		2.0		0.25

II.2.4. Les Matériaux Légers De Recyclage

Un des objectifs principaux de ce travail de recherche est, non seulement de produire un béton ultra léger, mais également de lui incorporer des matériaux recyclés.

Les matériaux recyclés légers peuvent représenter une excellente source de granulats compte tenu du rejet quotidien d'une quantité importante de produits de consommation.

Le béton constitue donc un bon matériau pour la récupération puisqu'il est facile d'y incorporer des matériaux recyclés lors de sa fabrication. L'utilisation de matériaux recyclés dans le béton favoriserait, d'une part, la récupération des matériaux en circulation et, d'autre part, la protection des ressources naturelles. Le béton ainsi produit pourrait être utilisé pour fabriquer une multitude de produits de consommation et, par le fait même, redonner seconde vie à ces déchets. Toutefois, une expérimentation est nécessaire pour évaluer les performances de ces matériaux recyclés comme granulats sur les propriétés du béton à l'état frais et durci.

Il existe plusieurs types de matériaux recyclés. Cependant, compte tenu des critères de sélection établis (disponibilité, coût, masse volumique, résistance mécanique, etc.), deux matériaux retiennent particulièrement l'attention : les plastiques et les caoutchoucs. La documentation concernant l'ajout de ces matériaux dans le béton est passablement limitée et les paragraphes suivants en présentent les éléments pertinents. [2]

II.2.4.1. Les plastique



Figure II.2.4.1 : Granulats De Plastique

• Composition et origine

Il existe deux groupes de plastique : les thermodurcissables, dont le durcissement, obtenu si chaud, est irréversible, et les thermoplastiques, qui se ramollissent sous l'effet de la chaleur et durcissent au froid de façon réversible. Les matières plastiques occupent une place importante dans l'ensemble des produits de consommation. En 1996, près de 1 357 000 tonnes de plastique ont été consommées au Québec, dont 322 000 tonnes en produits d'emballage. De ce nombre, 52 000 tonnes proviennent des secteurs résidentiels et 270 000 tonnes de celui des industries (Recyc- Québec).

• Méthode de fabrication

Pour les thermoplastiques, la méthode consiste à réduire les produits récupérés en petites particules et de les faire fondre pour obtenir une toute nouvelle résine pouvant servir au moulage de nouveaux produits. Puisqu'il est impossible de les faire refondre, les thermodurcissables sont concassés en particules de dimension désirée et sont utilisés comme matériaux de remplissage.

• Propriétés du béton

La documentation sur le béton confectionné avec des granulats à base de matières plastiques se concentre sur les propriétés mécaniques du béton (Soroushian et coll, 1994). Ces recherches visent principalement à valider l'influence d'une substitution du granulat fin par une matière plastique et d'en vérifier l'incidence sur les propriétés du béton durci. Dans l'ensemble, l'ajout de matières plastiques contribue à diminuer le retrait au séchage du béton. Il semble que les particules de plastique puissent agir comme renfort permettant de freiner la microfissuration au sein de la pâte de ciment hydraté : les particules relativement plates, dont la dimension nominale est de 1 mm, forment un pont en travers des fissures. Une substitution de 20% du sable par des matières plastiques améliore la résistance à la flexion du béton d'un facteur de 4 à 5 comparativement au béton de contrôle et d'un facteur 8 lorsque ce pourcentage passe à 40 %. L'incorporation de matières plastiques s'est toutefois révélée néfaste quant à la résistance à la compression. Cette diminution de la résistance peut être attribuée, d'une part, à la diminution de la masse volumique et, d'autre part, à la faible rigidité des matières plastiques (module d'élasticité inférieur à 1 GPa). Cependant, si l'on considère la baisse de résistance du béton en relation avec la diminution de sa masse volumique, on constate une légère augmentation de la résistance spécifique de ce béton. Par ailleurs, on note un apport positif quant à la résistance aux impacts au-delà de la fissuration initiale. Cet effet s'explique de la même manière que pour le retrait de séchage, c'est-à-dire que les particules plastiques servent de pont à l'intérieur de la fissure. [2]

II.2.4.2. Les caoutchoucs



Figure II.2.4.2 : Granulats De Caoutchoucs

- **Composition et origine**

Les caoutchoucs peuvent être utilisés dans le béton comme matériaux de substitution à la masse granulaire. La plus grande source de caoutchouc susceptible d'être recyclée est sans contredit les résidus de pneu. Les pneus représentent une excellente source d'approvisionnement pour la fabrication des bétons. Les pneus sont composés d'un mélange très complexe d'élastomères, de fibres de textiles, et de fils d'acier. Parmi ces élastomères, on trouve en grande partie le styrène-butadiène incorporé pour ses propriétés de traction et de résistance à l'abrasion Lee et coll. (1998). De plus, le caoutchouc offre des caractéristiques intéressantes du point de vue de la densité et de l'élasticité.

- **Méthode de fabrication**

Le pneu est introduit dans un appareil qui, dans une première étape, retire la carcasse d'acier. Ensuite, le caoutchouc est déchiqueté en particules de différentes dimensions que l'on passe à travers une série de tamis. Le tamisage permet de classer les particules en différentes classes pour répondre aux diverses applications. [2]

II.3. Conclusion

Les granulats présentent des caractéristiques très différentes selon leur origine. Ces caractéristiques influant sur celles du béton, il importe de bien les connaître et de veiller au respect des spécifications.

chapitre III : vase de barrage

III.1. Introduction

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage.

La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments, transportée par l'écoulement, la matière solide tend à se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport quand le cour d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue, n'ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cour d'eau sont piégés .[13]

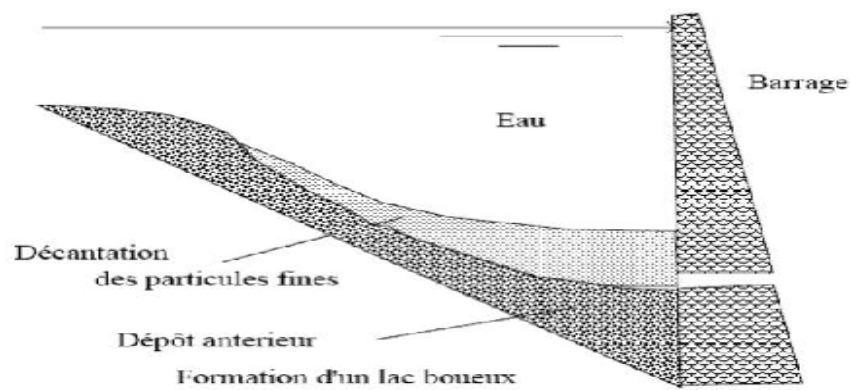


Figure III.1: Dépôt de vase [14]

Dans ce chapitre on s'intéressera au phénomène d'envasement dans le monde et en particulier en Algérie, ainsi qu'au transport solide, sa genèse, son mécanisme et les moyens de son estimation.

III.2.Causes et Origine de L'envasement [15]

L'envasement est un phénomène dont la dynamique est régulière et homogène. Les dépôts s'effectuent de façon linéaire le plus souvent homogène sur le fond des retenues. Cet envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion où les processus de ce phénomène ont des définitions diverses, suivant les auteurs. Nous avons retenu la définition qui combine l'arrachement (creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches), le transport et le dépôt de matériaux.

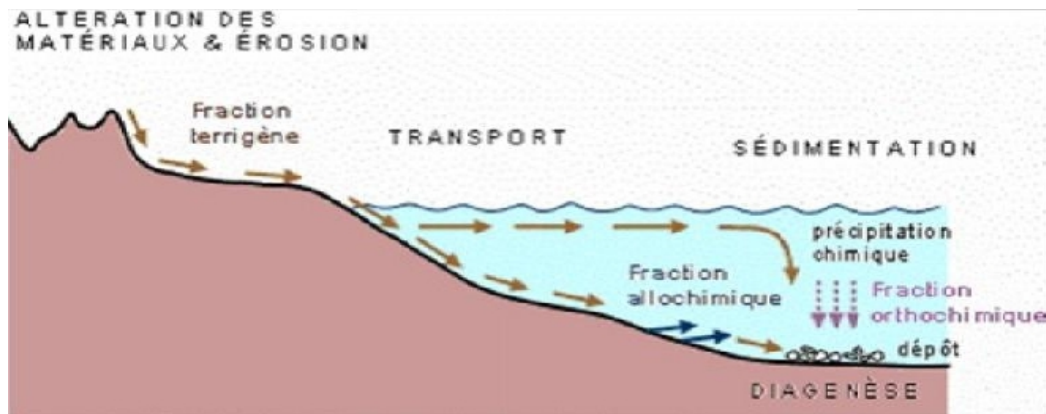


Figure III.2 : Processus sédimentaires [16]

L'origine de l'envasement se trouve dans le dépôt de particules solides, minérales et organiques sur le lit du cours d'eau. Elles sont transportées, par charriage, en suspension ou par ruissellement, pour se déposer dès que le débit du cours d'eau faible.

L'érosion, le transport de matériaux et la sédimentation constituent les trois termes de l'évolution géodynamique de la croûte terrestre conduisant à une pénélplanisation des reliefs montagneux sur l'ensemble du globe. Les agents de l'érosion qui sont principalement la pluie, le ruissellement et le vent, ainsi que des facteurs qui vont conditionner les quantités de particules arrachées: caractéristiques des pluies, des sols, de la végétation, de la topographie et enfin les activités humaines.

La définition de l'érosion suivant la trilogie «creusement, transport et accumulation des matériaux» conduit à imaginer un système fluvial idéal comprenant 3 zones:

2. La zone 2 : est celle des transferts des matériaux arrachés en zone 1 (cours d'eau).
3. La zone 3 : couvre les sites des dépôts de ces matériaux (retenues et estuaires).

Il ressort dans les processus de l'érosion que l'eau en est le principal agent moteur. Elle est la cause première de l'altération des roches qui donnent des particules, du détachement et de l'arrachement des agrégats. L'énergie cinétique développée par le ruissellement permet l'enlèvement des agrégats détachés, le creusement du sol et le transport des matériaux qui sont déposés où accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie.

III.3.Problématique de l'envasement des barrages

Le présent chapitre donne un aperçu traitant le phénomène d'envasement des barrages, ces causes, ces conséquences ainsi que les techniques modernes de lutte contre ce phénomène.

Ce problème d'envasement causé essentiellement aux forts taux d'érosion des bassins versants dont les particules solides sont drainées directement par des cours d'eaux, elles se déposent au fond de la retenue. Les conséquences de cette forte sédimentation sont extrêmement gênantes.

En Algérie, le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Les éléments de quantification concernant les taux et les concentrations d'érosion spécifique, issus des travaux de Demmak, Heusch (1982) donnent des chiffres allant de 20 à 500 tonnes/km²/an avec une turbidité comprise entre 16 et 28 g/l.

Ce phénomène entraîne l'envasement rapide de nombreuses retenues d'eau. Les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales voir la figure III.3.1 et III.3. 2.



Figure III.3.1 : Envasement du barrage de keddara



figure III.3. 2 : Importance de l'envasement des barrages Algériens (de Mardja Sidi Abed Ghilizane ANB, 2001)

A cet effet l'envasement pose d'énormes problèmes à savoir :

III.3.1.La réduction de la capacité

Chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.

III.3.2.La sécurité de l'ouvrage

L'indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir, l'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage, on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur. [17]

III.3.3. Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond.

III.3.4. Envasement des canaux d'irrigation

L'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées ceci pose le problème de comblement du réseau des canaux d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage.

III.3.5. Dégradation de la qualité de l'eau

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposant dans les réservoirs entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau. [18]

- ❖ Le tableau suivant résume l'état d'envasement de quelques barrages Algériens d'après plusieurs auteurs ainsi que les données de l'ANBT pour les six barrages du bassin des Côtiers Algérois.

Tableau III.3.5 : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie. (2004).

Barrage	Année de mise en service	Volume initial Hm^3	Envasement moyen annuel Hm^3	Perte de volume %
Oued El Fodda	1932	228	2,31	71
Ghrib	1939	280	3,2	72
Ighil Emda	1953	155	1,33	42
Boughezoul	1934	55	0,66	81
Derdeur	1984	110	1,05	25
Taksebt	2001	175	0,27	--
Keddara	1986	145,6	0,05	2,2
El Hamiz	1879	21	0,35	26
Bouroumi	1985	188	0,8	3,4
Meurad	1861	1,2	0,005	83,3
Boukerdane	1992	97	0,21	--

On voit que les barrages de notre zone d'étude enregistrent de faibles taux d'envasement sauf les petits barrages anciens comme Meurad, cela est du principalement du fait que ces ouvrages sont plus ou moins récents, malgré ça le problème d'envasement est à prendre au sérieux.

III.4.Définition de la vase

Le nom de vase (mot emprunte au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries).

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes. La Figure.I.4 donne un exemple de passage de remblai de l'autoroute A10 sur une épaisseur importante de la vase.

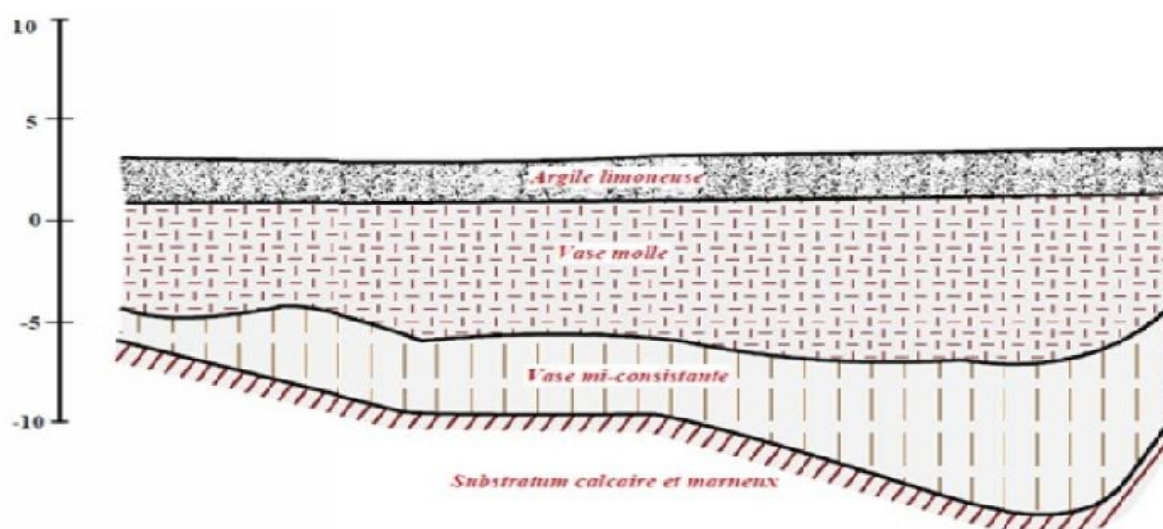


Figure III.4.1 : Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986) cite par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C

III.4.1. La définition proposée par Migniot [15]

«Les vase.s sont des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 microns mais peuvent contenir une quantité notable d'éléments sableux» : voir tableau (2). Les différentes classes de sédiments interviennent rarement seules.

On définit alors différents faciès lithologiques qui varient encore avec les auteurs et les pays.

Tableau III.4.1: Les plus simples définitions des facies d'après Allen (cite par Boutin, 2000)

Dénomination	Caractéristique
Sable	Plus de 80 % d'éléments supérieurs à 50 μm
Sable vaseux	De 20 à 80 % d'éléments supérieurs à 50 μm
Vase	Plus de 80 % d'éléments inférieurs à 50 μm

III.5. Composition des vases

III.5.1. Structure physico-chimique des vases

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases.

IL y a quatre éléments principaux constitues Les vases :

1. La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
2. La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
3. la fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques).
4. Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 μm , il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 μm . [19]

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie : voir figure III.5.1. [20]

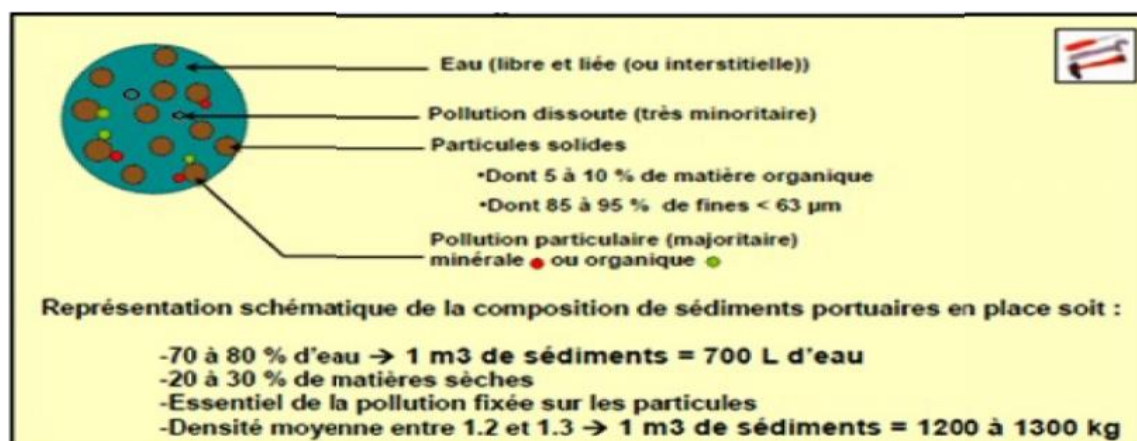


Figure III.5.1 : Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [19]

III.5.2. Rhéologie des vases [12]

L'étude rhéologique des vases permet de déterminer des paramètres importants pour préciser leur comportement sédimentaire sous une action hydrodynamique. L'un des paramètres définissant le mieux de caractère liquide, plastique ou solide, d'une vase, est la rigidité initiale.

Les vases à l'état liquide se comportent en écoulement laminaire comme des fluides dont les paramètres sont indépendants du temps de cisaillement. On peut utiliser les modèles rhéologiques à un, à deux ou à trois paramètres.

La loi d'écoulement s'écrit $\tau = F(G)$

τ : est la contrainte de cisaillement

G: la vitesse de déformation.

Les vases et d'autres mixtures homogènes sol/eau (argile-eau, silts-eau) sont des composés d'eau et de grains de sol dont les dimensions moyennes sont comprises entre environ 1 et 80 μm . Elles se comportent comme un ensemble si la concentration est élevée, et ayant dans ce cas des propriétés des corps viscoplastiques. Elles peuvent être transportées en régime laminaire, transitoire et turbulent. Par contre les mixtures hétérogènes contenant des particules grosses dont les dimensions moyennes sont supérieures à environ 80 μm . sable/eau, galet/eau, se comportent comme des systèmes biphasique et ne peuvent en général être transportées qu'en régime turbulent. Le cisaillement rhéologique ne dépendant pas du temps, leur comportement est influencé surtout par la concentration moyenne(C v).

Cv: la concentration moyenne

III.6. Valorisation des vases

En Algérie, l'exploitation de la vase pour la fabrication des matériaux de construction peut s'avérer utile vu le déficit en matériaux de construction que connaît le pays.

Une étude orientée vers l'utilisation de la vase pour la fabrication de la brique a été réalisée sur la vase de onze barrages algériens les plus envasés (B.Remini 2006) et a donné des résultats satisfaisants.

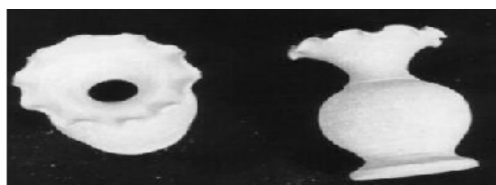


Figure III.6.1 : Récipients à base de la vase barrage lakhel (bouira)



figure III.6.2 : Briques à base de la vase du barrage lakhel (bouira)

La vase doit être considérée comme un produit bénéfique et non un simple rejet dont les difficultés de stockage posent un problème d'environnement. Valorisée, elle peut être une alternative aux coûts des opérations de dragage.

III.7.Barrage de keddara

Le barrage Keddara est situé dans la wilaya de Boumerdes à 8km au Sud de Boudouaou, il ferme la vallée de oued Boudouaou à 300m en aval de la confluence des oueds Keddara et El Haad. Le remplissage de la retenue dépend du pompage des eaux de Beni Amrane , des eaux de dérivation du barrage El Hamiz et des apports de son propre bassin versant.

La construction a débutée en 1982 pour s'achever en 1986, c'est un barrage en terre dont la hauteur de la digue est de 106m sur une longueur de 468m, il est destiné principalement à l'AEP de la ville d'Alger.

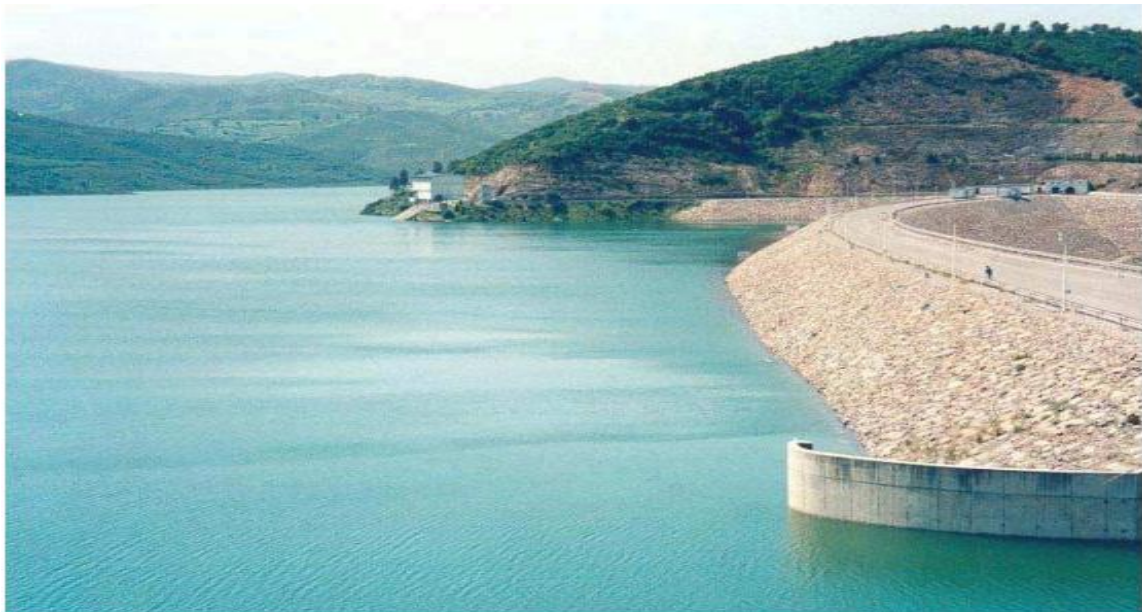


Figure III.7.1 : Digue du barrage Keddara.

Voici quelque caractéristique du barrage (source ANBT) :

- Capacité initiale : 145,6 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) :142,39 Hm³.
- Apport moyen annuel : 32,3 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,05 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 93 km².
- Pluie moyenne annuelle : 880 mm.

La photo satellite, prise par Google Arth, du lac du barrage montre une retenue en V allongée, car il est construit à la confluence de deux oueds.



Figure III.7.2 : Photos satellite de la cuvette du barrage Keddara.

III.8.Conclusion

On peut conclure, que le fond des barrages constitués de plusieurs éléments précipité qui sont générés par des facteurs internes et externes, dont elles peuvent être influencées négativement sur le barrage et l'eau qui contient. Mais ces précipités « la vase » peuvent être exploités dans plusieurs domaines et plus particulièrement dans les matériaux de construction qui rentrent dans la fabrication des produits rouges (brique, tuille...etc).

chapitre IV : partie pratique

IV.1. Introduction et but de sujet

Le béton est le plus connu des matériaux de construction, il est largement utilisé dans la quasi-totalité des projets de construction, cependant, il a une masse volumique élevée d'où la mise en place de fondations importantes pour supporter le poids de constructions. Par sa masse synonyme d'une certaine inertie, il bloque la transmission des sons par vibration acoustique et ralentit le transfert de la chaleur. Cet effet tampon compense en partie le fait que le béton soit un matériau conducteur.

Globalement, le béton est donc performant du point de vue mécanique, mais il est moins intéressant du point de vue de l'isolation thermique.

De nouveaux matériaux sont alors apparus, rassemblés sous l'appellation de béton léger. Ces matériaux font référence à des bétons de masse volumique plus faible ($\rho \leq 2000 \text{ kg/m}^3$) que celle des bétons ordinaire et vise particulièrement une meilleure isolation thermique et ces matériaux sont obtenue par substitution des graviers par des granulats légers.

De cet effet l'objectif principal de ce travail est de réaliser un béton léger, en utilisant des granulats ayant une masse volumique faible par rapport aux granulats ordinaires. Pour cela on a opté à l'élaboration de granulats poreux en recyclant la vase de barrage.

Par cette investigation expérimentale, on va essayer de toucher deux volets très importants :

Un volet technologique en réalisant un béton léger présentant une bonne isolation thermique et volet écologique par la récupération et le recyclage d'un déchet encombrant.

IV.2. Matière première

La vase de barrage qu'on a utilisé comme matière première, récupéré de BARRAGE DE KEDDARA WILLAYA DE BOUMERDES.

IV.2.1. Composition chimique

Sa composition chimique est indiquée dans le tableau ci – dessous

Tableau IV. 2.1 : Composition chimique

Constituants	Teneur en %
SiO ₂	56.05
Al ₂ O ₃	17.10
Fe ₂ O ₃	5.84
CaO	5.18
MgO	1.61
SO ₃	0.04
K ₂ O	2.62
Na ₂ O	0.75
P ₂ O ₅	0.12
TiO ₂	0.8
Perte au feu	9.89

IV .2.2.Composition minéralogique

Tableau IV.2.2 : Composition minéralogique

Minéraux présents	Composition minéralogique en %
Quartz	35
Calcite	09
Albite	06
Illite	22
Kaolinite	15
Chlorite	07
Minéraux ferrugineux + Autre	06

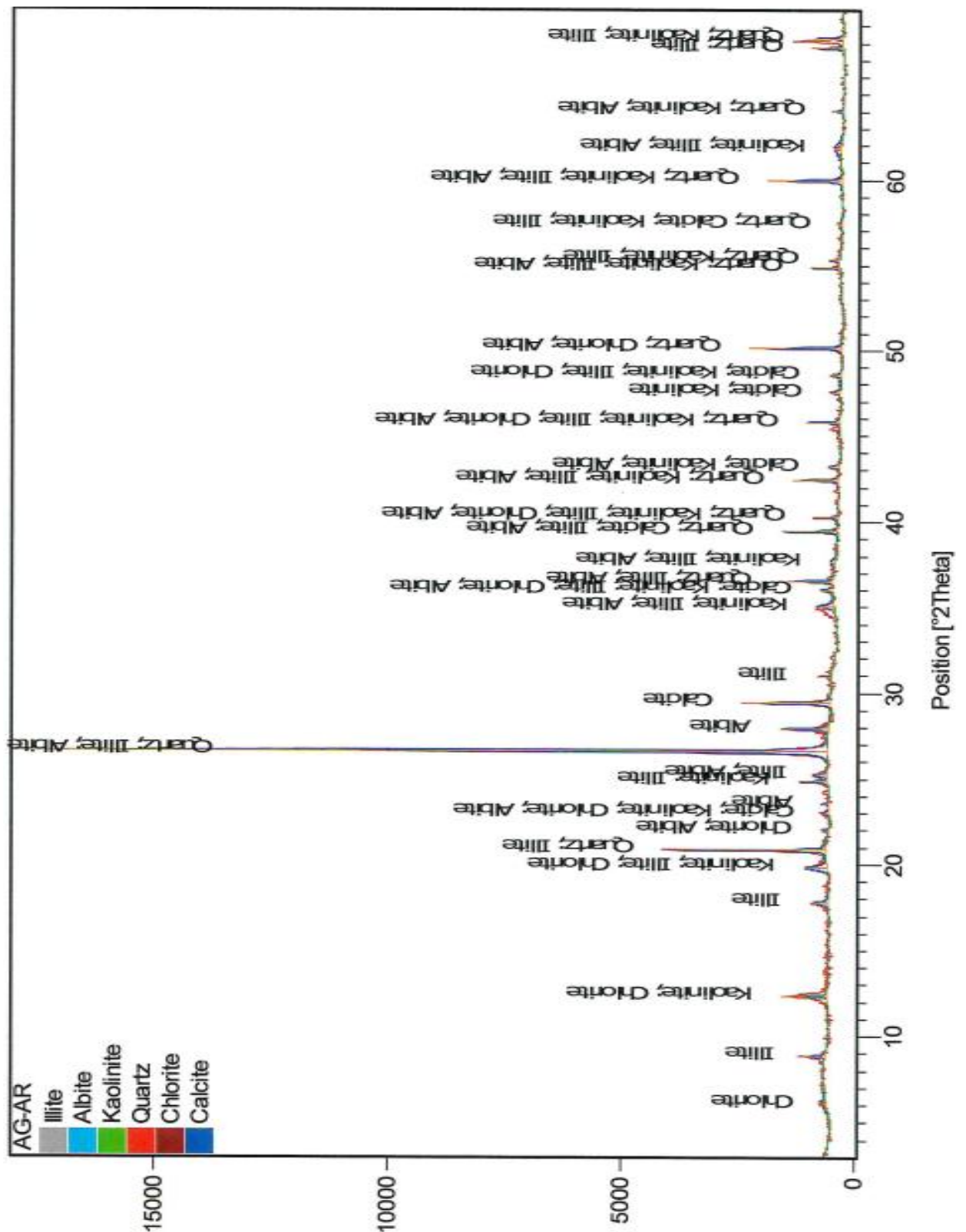
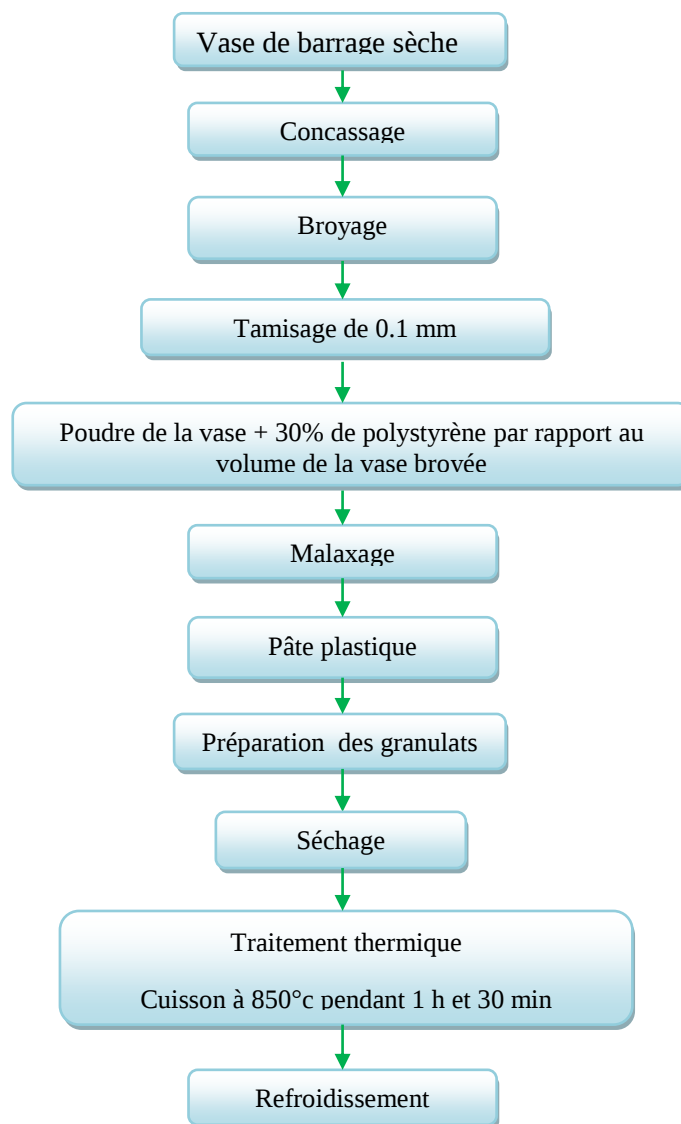


Figure IV.2.2 : Diagramme de l'analyse minéralogique (DRX)

Les résultats de l'analyse minéralogique indiquent que la vase présente une multitude de minéraux argileux.

IV.3. Processus de la fabrication des granulats légers (vase + polystyrène)



IV.4. Etapes de préparation des granulats

Pour la préparation de nos granulats on a suivi les étapes ci-dessous :

IV.4.1. Récupération de la vase

La vase utilisée comme matière première a été récupérée du barrage de keddara, l'échantillonnage s'est fait sur différentes régions du barrage.



Figure IV.4.1.1 : Barrage de keddara



Figure IV.4.1.2 : Vase du barrage de keddara

IV.4.2.Broyage

La matière est broyée à sec pendant un temps suffisamment long jusqu' à l'obtention d'une poudre très fine, qui aura également une bonne aptitude au compactage selon le procédé de mise en forme utilisée.



Figure IV.4.2.1 : Vase de barrage après le séchage



Figure IV.4.2.2 : Broyeur à mâchoire

VI.4.3.Tamisage

Après le stade de broyage, la matière un tamisage de 0.1 mm pour séparer les gros grains qui seront renvoyés au broyeur pour réduire leurs tailles selon un cycle fermé. Nous remarquons que la poudre du la vase passe entièrement à travers le tamis mais les poudre donnent des refus élevés qui seront rebroyés et tamisés à 0.1 mm pour toute la quantité utilisée dans la préparation de l'échantillon.



Figure IV.4.3.1 : Vase après le broyage



figure IV.4.3.2 : Tamis de 0.1 mm

IV.4.4.Mélange

On prend la poudre de vase +30 % de polystyrène par rapport au volume de la vase.



Figure IV.4.4: Mélange (vase + polystyrène)

IV.4.5.Homogénéisation

Cette étape a pour but d'avoir une répartition régulière et constante des grains de vase et de polystyrènes dans toute la masse du mélange.

Après homogénéisation du mélange, on ajoute une quantité d'eau jusqu'à où on obtient une pate plastique.

IV.4.6.Séchage

Les granulats obtenus, subissent un programme de séchage à 100°C pendant 24 heures dans l'étuve de séchage pour diminuer la quantité d'eau avant la cuisson et éviter toutes déformations du produit.



Figure IV.4.6 : Séchage des granulats

VI.4.7. Traitement thermique

Le traitement thermique est l'étape finale pour élaboration des granulats. Cette étape C'est l'étape qui peut obtenir la boue solide et une bonne rigidité, et la combustion le polystyrène dans les granulats qui permet la formation de vides à l'intérieur.



Figure IV.4.7: Four de traitement thermique

IV.5. Elaboration des granulats

Le tableau suivant présente les pourcentages de chaque constituant du mélange (vase + polystyrène + eau) utilisés pour l'élaboration des granulats poreux.

Tableau IV.5 : Matériaux utilisés

Matériaux	Pourcentages volumique (%)
Vase d'argile	100
Polystyrène	30% par apport à l'argile
L'eau	Jusqu'obtention d'une pâte plastique

❖ Préparation du mélange

On mélange la quantité de la poudre de vase avec 30% de polystyrène par rapport au volume total puis on ajoute l'eau jusqu'à avoir l'état plastique facile travailler.

On prépare ensuite des granulats sous forme de sphères avec un diamètre variable entre 3 et 15 mm, on laisse ces dernier sécher à l'air pendant 24 heure après on les met dans l'étuve de séchage à température 100°C durant 24 h, après le séchage on pose les granulats dans le four à température 850°C pendant 1h 30min, enfin on garde les granulats dans le four pour subir un refroidissement lent durant 24 h jusqu'à la température ambiante.



Figure. IV.5 : granulats légers élaborés.

IV.6. Régime thermique d'élaboration des granulats légers

Après l'optimisation de la température, les granulats subissent une cuisson jusqu'à 850°C suivant un diagramme thermique (fig.III.6) avec une vitesse moyenne de montée en température de 10°C /min, et un palier de cuisson de 1h et 30 min.

Après le maintien de la cuisson, les granulats seront refroidis lentement à l'intérieur du four jusqu'à la température ambiante.

A la sortie de four les granulats sont prêts à être étudiés.

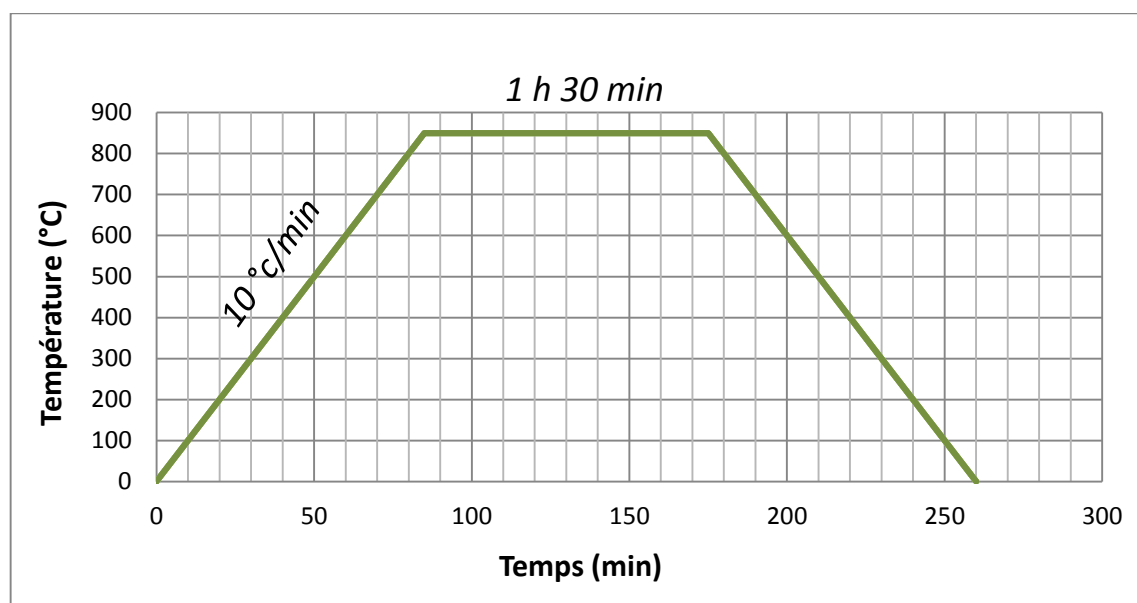


Figure IV.6 : Régime thermique opté pour l'élaboration des granulats légers.

IV.7. Matériaux utilisés

IV.7.1. Granulats

IV.7.1.1. Sable

- Sable utilisé (sable de taz malt wilaya Bejaïa)

Tableau IV.7.1.1.1 : Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Densité réelle	2.6	g/cm ³	Selon NF P18 555
Densité imbibée	2.7	g/cm ³	Selon NF P18 555
Humidité	4.7	%	Selon NF P18 555
Absorption	1.7	%	Selon NF P18 555
Le poids spécifique	2.76	%	Méthode d'ECHATLIEU
Equivalent de sable	67.9	%	NF EN 933-8
Blue de méthylène	1.7	g/Kg	NF EN 933-9
Friabilité de sable	40	%	NF P18-576

Tableau IV.7.1.1.2 : Analyse granulométrique (Norme NF EN 933-1)

Ouvertures Des tamis (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	<i>Pourcentage tamisats cumulés (%)</i>
6.3	0	0	100
5	40	7	93
4	78	13.6	86.4
3.15	115	20.1	79.9
2.5	171	29.8	70.2
2	211	36.8	63.2
1.25	306	53.4	46.6
1	339	59.2	40.8
0.63	423	73.8	26.2
0.5	461	80.5	19.5
0.315	510	89	11
0.25	524	91.4	8.6
0.125	547	95.5	4.5
0.08	551	96.2	3.8
0.063	552	96.3	3.7
FT	552	96.3	3.7
Module de finesse M_f			3.7

IV.7.1.2.Gravier

- Le gravier utilisé gravier concassé (8/15) de SETIF.

Tableau IV.7.1.2.1 : Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Densité réelle	2.67	g/cm ³	Selon NF P18 554
Densité imbibée	2.68	g/cm ³	Selon NF P18 554
Humidité	0.13	%	Selon NF P18 554
Porosité	0.62	%	Selon NF P18 554
Absorption	0.23	%	Selon NF P18 554
Poids spécifique	2.75	g/cm ³	Méthode d'ECHATIER
Densité apparente	1.38	g/cm ³	Selon NF EN 1097-6

Tableau IV.7.1.2.2 : Caractéristiques mécaniques

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Micro Deval	16	%	Selon NF 1097-1
Los Angeles	29	%	Selon NF 1097-2

Tableau IV.7.1.2.3 : Analyse granulométrique (Norme NF EN 933-1)

Ouvertures Des tamis (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisats cumulés (%)
20	0	0	100
16	641	21.4	78.6
12.5	1731	57.8	42.2
10	2513	83.9	16.1
8	2880	96.1	3.9
6.3	2964	98.9	0.1
0.063	2965	99.9	0
Fond de tamis	2965	99.9	0

Tableau IV.7.1.2.4 : coefficient d'aplatissement (NF EN 933-3)

Granulat élémentaire d _i / D _i (mm)	Masse(R _i) du granulat élémentaire d _i / D _i (g)	Ecartement nominal des fentes de la grille (mm)	Passant sur une grille à fentes (m _i) (g)
20	0	12.5	0
16	641	10	36
12.5	1090	8	116
10	782	6.3	63
8	367	5	22
6.3	84	4	2
$M_1 = \sum Ri =$	2964	$M_2 = \sum mi =$	239
$A = (M_2/M_1) \times 100 = 8 \%$			

Analyse granulométrique par tamisage NF EN 933-1
ENR. N° 0023/15

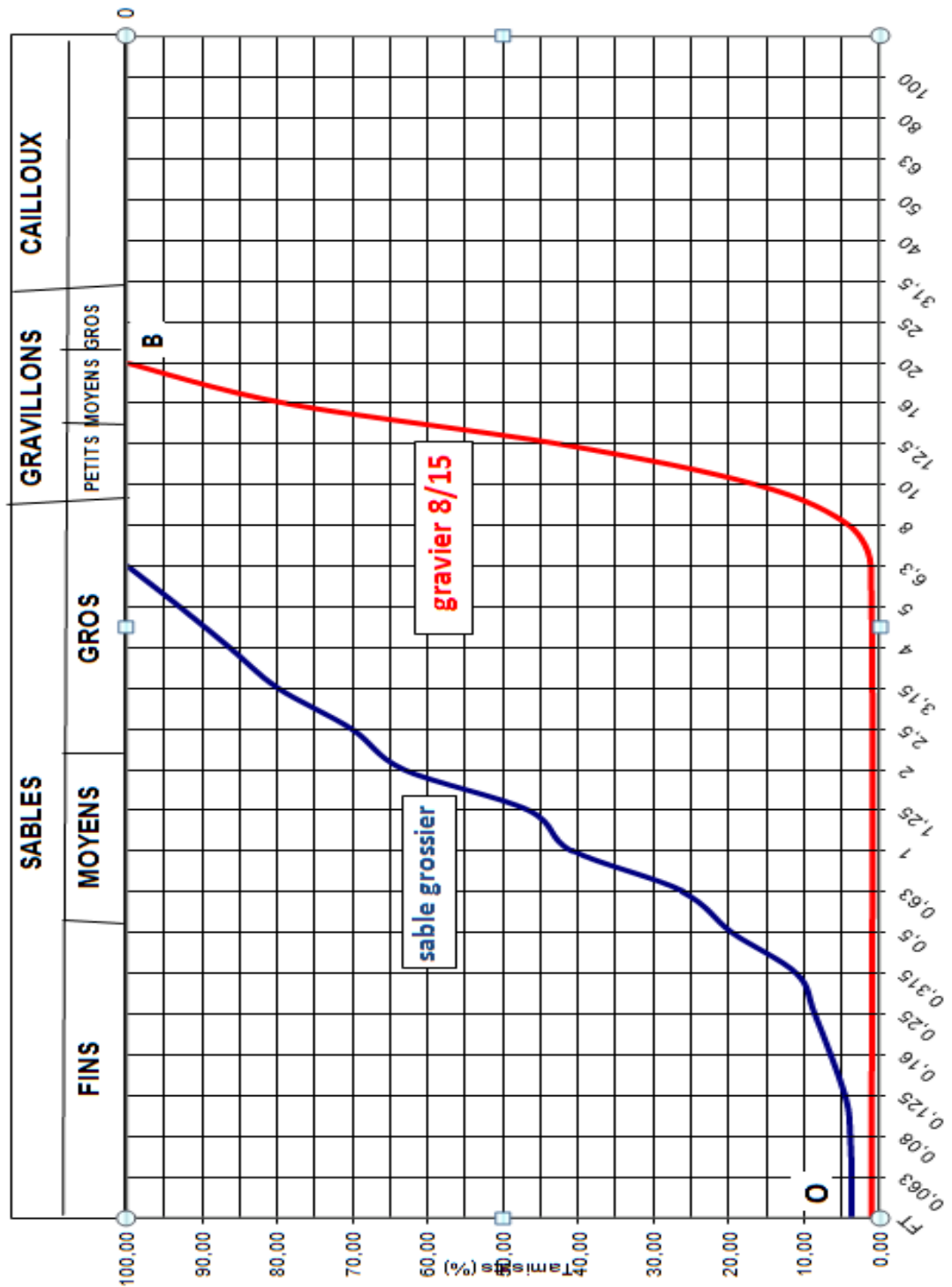


Figure IV.7.1 : Courbe granulométrique

IV.7.1.3.Granulats légers

➤ Les granulats légers utilisés, présentent les caractéristiques suivantes.

Tableau IV.7.1.3.1 : Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Densité réelle	1.47	g/cm ³	Selon NF P18 554
Densité imbibée	1.75	g/cm ³	Selon NF P18 554
Absorption	18.8	%	Selon NF P18 554
Humidité	0.31	%	Selon NF P18 554
Porosité	27.7	%	Selon NF P18 554
Densité apparente	0.9	g/cm ³	Selon NF EN 1097-6

Remarque

La masse volumique réelle de nos granulats est inférieure à 2000 kg/m³, donc selon la norme NF EN 206 nos granulats sont des granulats légers.

Tableau IV.7.1.3.2 : Analyse granulométrique (Norme NF EN 933-1)

Ouvertures Des tamis (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisats cumulés (%)
20	0	0	100
16	51	3	97
12.5	998	58.7	41.3
10	1556	91.5	8.5
8	1656	97.4	2.6
6.3	1697	99.8	0.2
5	1699	99.9	0.1
0.063	1700	100	0
Fond de tamis	1700	100	0

Tableau IV.7.1.3.3 : Composition chimique des granulats élaborés

Les constituants	Teneur en %
SiO ₂	60.09
Al ₂ O ₃	19.54
Fe ₂ O ₃	6.66
CaO	5
MgO	1.74
SO ₃	0.11
K ₂ O	3.23
Na ₂ O	0.77
P ₂ O ₅	0.14
TiO ₂	0.8
Perte au feu	0.91

Tableau IV.7.1.3.4 : Composition minéralogique

Minéraux présents	Composition minéralogique en %
Quartz	30
Biotite	0.9
Albite	0.7
Orthoclase	11
Kaolinite	28
Illite	0.8
Minéraux ferrugineux + Autre	0.7

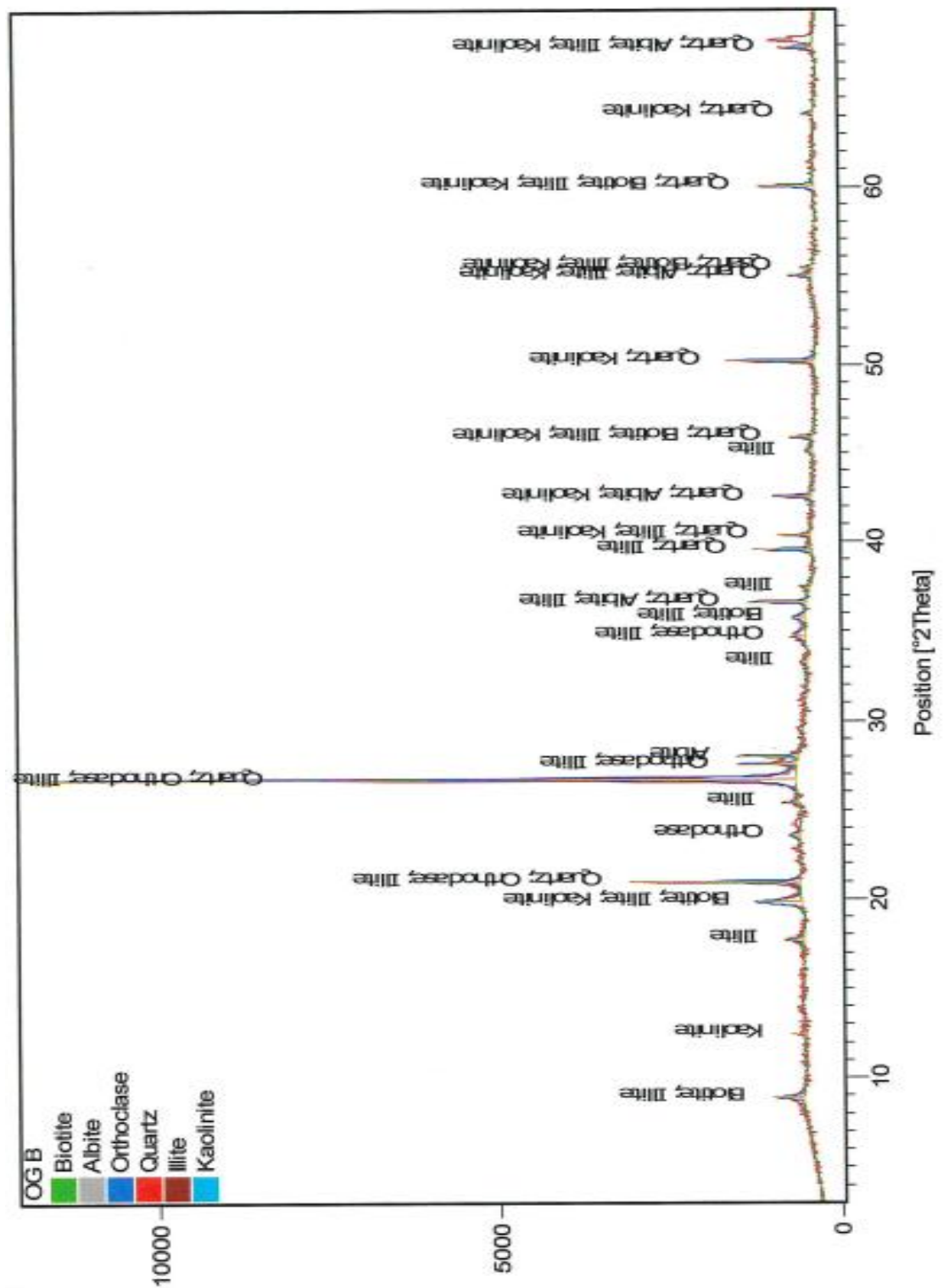


Figure IV.7.1.3 : Diagramme d'analyse minéralogique (DRX)

IV.7.2. Caractéristiques de ciment utilisé

➤ Le ciment utilisé est un CEM II -42.5 de la cimenterie d'AIN TOUTA- BATNA

Tableau IV.7.2.1 : Caractéristiques physiques

		Résultats
Consistance normalisée %	H ₂ O	27.8
Temps de prise (min)	Début	131
	Fin	205
Stabilité (mm)	Froid	-
	Chaud	0.0
Masse volumique absolue de ciment (g/cm ³)		3.12
Finesse suivant la méthode Blaine (cm ² /g)		4281

Tableau IV.7.2.2 : Caractéristiques mécaniques

Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02 jours	3.9	21.0
07 jours	5.9	33.3
28 jours	7.3	43.6

Tableau IV.7.2.3 : Caractéristique chimiques

Composition chimique	Teneur %	Composition chimique	Teneur %
SiO ₂	23.13	Na ₂ O	0.63
Al ₂ O ₃	6.79	SO ₃	1.98
Fe ₂ O ₃	4.68	CaO libre	1.082
CaO	56.65	Cl ⁻	0.041
MgO	1.78	Ins.	9.42
K ₂ O	0.77	P.F	2.940

Tableau IV.7.2.4 : Caractéristiques minéralogiques

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au clinker (%)
Clinker	C ₃ S	54
	C ₂ S	22
	C ₃ A	05
	C ₄ AF	13
	CaO _L	01
Régulateur de prise	Gypse	05
AJOUTS	Pouzzolane (P)	13

IV.7.3. Eau de gâchage

- L'eau utilisée est l'eau potable de ville de BOUMERDES.

IV.7.4. Caractéristiques de l'adjuvant utilisé (MEDAFLOW 145)

➤ Description

Le MEDAFLOW 145 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.

Le MEDAFLOW 145 permet d'obtenir des bétons et mortier de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.

Le MEDAFLOW 145 ne présente pas d'effet retardateur.

➤ Caractéristiques

- FormeLiquide
- Couleurbrun clair
- PH5 - 6
- Densité1.065 ± 0.015
- Teneur en chlore< 1g/L
- Extrait sec30 ± 1.5%



Figure IV.7.4 : MEDAFLOW 145

➤ Propriétés et effets

Grace à ses propriétés le MEDAFLOW 145 permet :

Sur béton frais

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité

- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci

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

➤ **Domaine d'application**

- Béton à hautes performances
- Béton auto - nivelant
- Béton précontraints
- Béton avec ferrailage dense

➤ **Dosage**

Plage de dosage recommandée

0.3 à 2.0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de effets recherchés.

➤ **Mode d'emploi**

Le MEDAFLOW 145 est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60 % de l'eau de gâchage ait déjà été introduit.

Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.

Par temps chaud, le MEDAFLOW 145 peut être combiné à un retardataire de prise MEDARETARD GR.

➤ **Conditionnement et stockage**

Le MEDAFLOW 145 est conditionné en bidons de 10 l et fut de 210 et 240 Kg. et cubitainer 1100 Kg.

➤ **Délai de conservation**

12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

IV.8. Formulation et caractérisation de béton

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

IV.8.1. Formulation d'un béton par méthode de Dreux-gorisse

IV.8.1.1. Calcul de la composition

On choisi :

$$F_{C28} = 25 \text{ Mpa}$$

F_{C28} : résistance à la compression à 28 jours

$$\text{Aff} = 12 \text{ cm (classe S3 10-15 cm)}$$

Aff : affaissement

$$F_c = F_{C28} + 15\%$$

$$F_c = 25 + 15\%$$

F_c : résistance à la compression

$$F_c = 28.75 \text{ Mpa}$$

➤ Formule de bolomey

$$F_c = G F_{CE} (C/E - 0.5)$$

$$F_{CE} = 43.6 \text{ Mpa}$$

Qualités des granulats sont bonnes, courantes :

$$G = 0.5$$

F_c : résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en Mpa

$$\frac{C}{E} = \frac{28.75}{0.5 \times 43.6} + 0.5$$

F_{CE} : classe vraie du ciment (à 28 jours) en Mpa

$$C/E = 1.8$$

C : dosage en ciment (en kg/m^3)

A partir de l'abaque

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour 1 m^3)

$$C = 380 \text{ kg/m}^3$$

G : coefficient granulaire

$$E = C/1.8 \implies$$

$$E = 211 \text{ kg/m}^3$$

- ❖ Trace la courbe granulaire de retirance (OAB), O (0 ; 0), B ($D_{\max}$; 100%).

A : Abscisse

$$X = D_{\max}/2 \longrightarrow X = 10$$

Ordonnée :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{\max}} + K + K_P + K_S$$

Vibration faible, sans pompage :

$$K = 1$$

$$K_P = 0$$

$$K_S = 6 \text{ Mf} - 15$$

$$K_S = 7.62$$

$$Y_A = 54.15$$

$$A (10 ; 54.15)$$

A la fin on obtient la courbe (OAB).

A partir de courbe (voir la figure IV.8.1.1.1) :

$$\% \text{ sable} = 50 \%$$

$$\% \text{ gravier} = 50 \%$$

➤ Coefficient de compacité (δ)

vibration faible

$$D_{\max} = 20 \text{ mm}$$

$$\delta = 0.810$$

Sable roulé et gravier concassé donc la correction est (-0.01) :

$$\delta = 0.8$$

➤ Dosage de ciment (c)

$$c = C/\rho_c \longrightarrow c = 380/3.12 \longrightarrow c = 122 \text{ l/m}^3$$

➤ Volume absolu des granulats

$$V = 1000 \delta - c \longrightarrow V = 1000(0.8) - 122 \longrightarrow V = 678 \text{ l/m}^3$$

➤ **Volume de chaque granulat**

$$\left. \begin{array}{l} V_s \geq 678 \times 50 \% \\ V_g \geq 678 \times 50 \% \end{array} \right\}$$

$$V_s = V_g = 339 \text{ l/m}^3$$

➤ **Les masses des granulats**

$$\left. \begin{array}{l} m_s = V_s \times \rho_s \\ m_g = V_g \times \rho_g \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} m_s = 339 \times 2.76 \\ m_g = 339 \times 275 \end{array} \right\}$$

$$m_s = 936 \text{ kg/m}^3$$

$$m_g = 932 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Le dosage de superplastifiant**

Le dosage de l'adjuvant est varié pour obtenir un béton de classe d'Affaissement S3 (les classe d'affaissement selon NF EN 206).

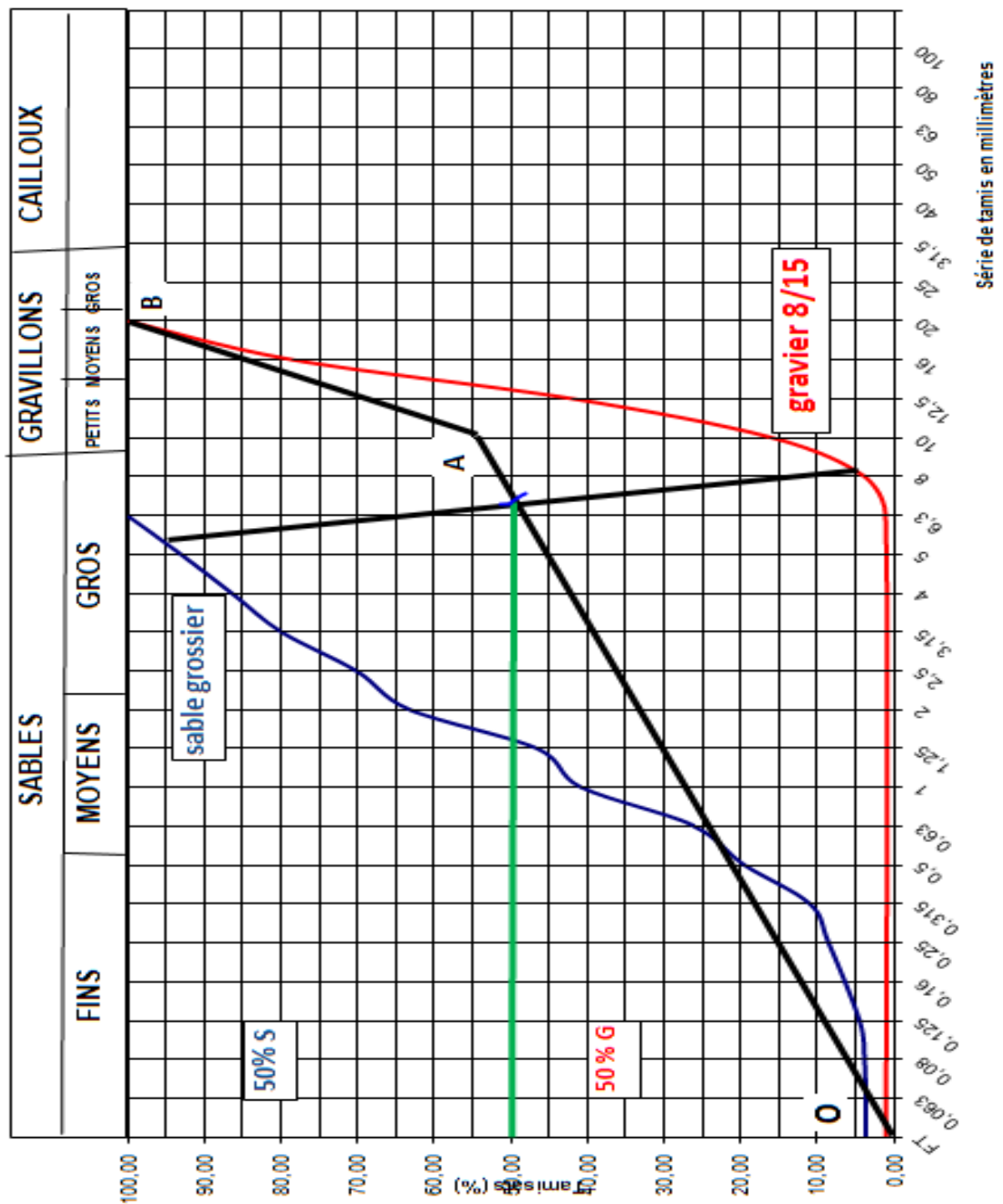


Figure IV.8.1.1.1 : la courbe granulométrique

A partir de la composition obtenue, on formule :

- 1- Un béton témoin avec 100 % de gravier 8/15.
- 2- Un béton avec une substitution de 50 % de volume de gravier 8/15 par le gravier léger.
- 3- Un béton avec une substitution de 100 % de volume de gravier 8/15 par le gravier léger.



Figure IV.8.1.1.2 : Malaxeur

IV.8.2. Béton témoin

IV.8.2.1. Composition d'un mètre cube de béton

Tableau IV.8.2.1 : Composition d'un mètre cube de béton témoin

Constituants	Masses kg/m ³
Sable	936
Gravier	932
Ciment	380
Eau	211
Superplastifiant	3.8

IV.8.2.2.Caractéristiques de béton frais

Tableau IV.8.2.2: Caractéristiques de béton frais

Essai	Résultat
Affaissement selon NF EN 12350-2	120 mm
Masse volumique Selon NF EN 12350-6	2.46 g/cm ³



Figure IV.8.2.2.1 : Essai d'affaissement



Figure IV.8.2.2.2 : Masse volumique

IV.8.2.3.Caractéristiques de béton durci

Tableau IV.8.2.3.1 : Caractéristiques mécaniques

Essai	Résultat (Mpa)
Resistance à la compression selon NF EN 12390-3	39.2
Resistance à la flexion Selon NF EN 12390-5	6.8



Figure IV.8.2.3.1 : Essai de flexion (témoin)

Figure IV.8.2.3.2 : Essai de
Compression (témoin)



Figure IV.8.2.3.3 : Face de l'éprouvette prismatique de béton témoin

Tableau IV.8.2.3.2 : Caractéristiques physiques et thermiques

Essai	Résultat	Unité
Masse volumique selon NF EN 12390-7	2.54	g/cm ³
Porosité Selon NF P 18 554	9.55	%
Absorption Selon NF P 18 554	4.00	%
Conductivité thermique	2.032	W/m. °c



Figure IV.8.2.3.4: CT METRE



Figure IV.8.2.3.5 : Éprouvettes de béton témoin pour l'essai d'isolation thermique

IV.8.3. Béton avec 50% de gravier léger

IV.8.3.1. Composition d'un mètre cube de béton

Tableau IV.8.3.1 : Composition d'un mètre cube de béton 50% de gravier léger

Constituants	Masses kg/m ³
Sable	936
Gravier	467
Gravier léger	257
Ciment	380
Eau	211
Superplastifiant	6.9

IV.8.3.2. Caractéristiques de béton frais

Tableau IV.8.3.2.1: Caractéristiques de béton frais

Essai	Résultat
Affaissement selon NF EN 12350-2	140 mm
Masse volumique Selon NF EN 12350-6	2.36 g/cm ³

IV.8.3.3. Caractéristiques de béton durci

Tableau IV.8.3.3.1 : Caractéristiques mécaniques

Essai	Résultat (Mpa)
Resistance à la compression selon NF EN 12390-3	41.0
Resistance à la flexion Selon NF EN 12390-5	7.3



Figure IV.8.3.3.1 : Essai de flexion (50% GL)

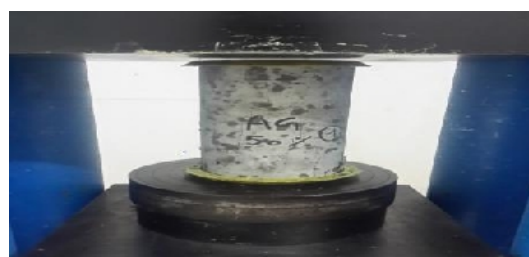


Figure IV.8.3.3.2 : Essai de compression (50% GL)



Figure IV.8.3.3.2 : Face de l'éprouvette prismatique de béton avec 50 % GL

Tableau IV.8.3.3.2 : Caractéristiques physiques et thermiques

Essai	Résultat	Unité
Masse volumique selon NF EN 12390-7	2.43	g/cm ³
Porosité Selon NF P 18 554	10.07	%
Absorption Selon NF P 18 554	4.55	%
Conductivité thermique	1.768	W/m. °C



Figure IV.8.3.3.3. Éprouvettes de béton 50% GL pour l'essai d'isolation thermique

IV.8.4.béton 100% de gravier léger**IV.8.4.1.Composition d'un mètre cube de béton****Tableau IV.8.4.1 : Composition d'un mètre cube de béton 100 % de gravier léger**

Constituants	Masses kg/m ³
Sable	936
Gravier léger	513
Ciment	380
Eau	211
Superplastifiant	22.8

IV.8.4.2.Caractéristiques de béton frais**Tableau IV.8.4.2: Caractéristiques de béton frais**

Essai	Résultat
Affaissement selon NF EN 12350-2	140 mm
Masse volumique Selon NF EN 12350-6	2.15 g/cm ³

IV.8.4.3.Caractéristiques de béton durci**Tableau IV.8.4.3.1 : Caractéristiques mécaniques**

Essai	Résultat (Mpa)
Resistance à la compression selon NF EN 12390-3	38.5
Resistance à la flexion Selon NF EN 12390-5	5.6

**Figure IV.8.4.3.1 : Essai de flexion (100% GL)****Figure IV.8.4.3.2 : Essai de compression (100% GL)**



Figure IV.8.4.3.3 : Face de l'éprouvette prismatique de béton avec 100 % GL

Tableau IV.8.4.3.2 : Caractéristiques physiques et thermiques

Essai	Résultat	Unité
Masse volumique selon NF EN 12390-7	2.30	g/cm ³
Porosité Selon NF P 18 554	11.76	%
Absorption Selon NF P 18 554	5.00	%
Conductivité thermique	1.450	W/m. °c



Figure IV.8.4.3.4. Éprouvettes de béton 100% GL pour l'essai d'isolation thermique

IV.9.Récapitulation des résultats

IV.9.1. Masse volumique à l'état frais

Tableau. IV.9.1 : Masses volumiques à l'état frais

Composition	Masse volumique (g/cm ³)
Témoin	2.46
50 % GL	2.36
100 % GL	2.15

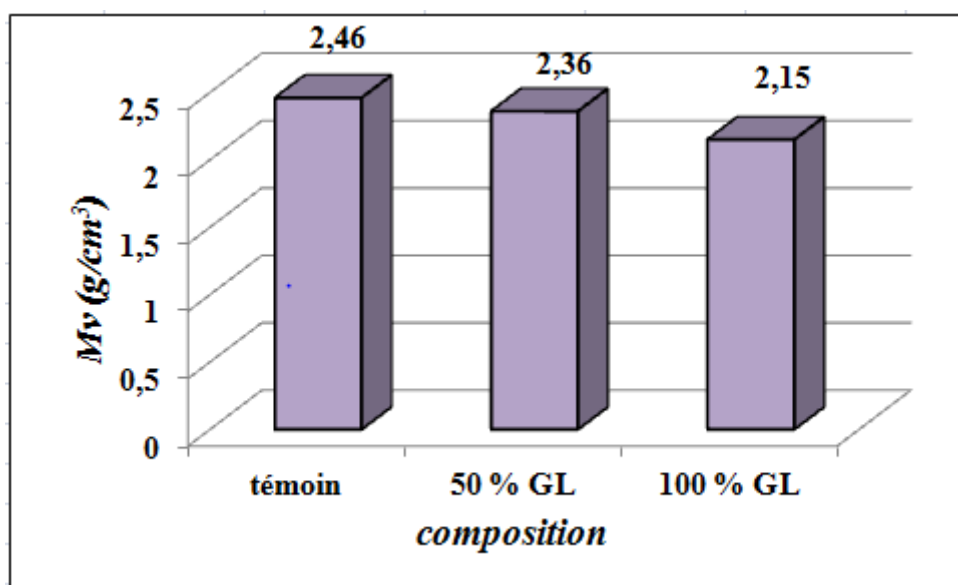


Figure .IV.9.1 : Variation de la masse volumique à l'état frais en fonction de la composition de béton

❖ Interprétation

D'après la figure IV.9.1, on remarque une diminution de la masse volumique des bétons de 50% et 100% de gravier léger par rapport au béton témoin. La diminution est de 4.07% pour le béton de 50% GL et de 12.60% pour le béton de 100% GL.

Cette diminution est due à la faible masse volumique des graviers légers incorporés par substitution par rapport à celle du gravier 8/15.

IV.9.2. Masse volumique à l'état durci

Tableau. IV.9.2 : Masses volumiques à l'état durci

Composition	Masse volumique (g/cm ³)
Témoin	2.54
50 % GL	2.43
100 % GL	2.30

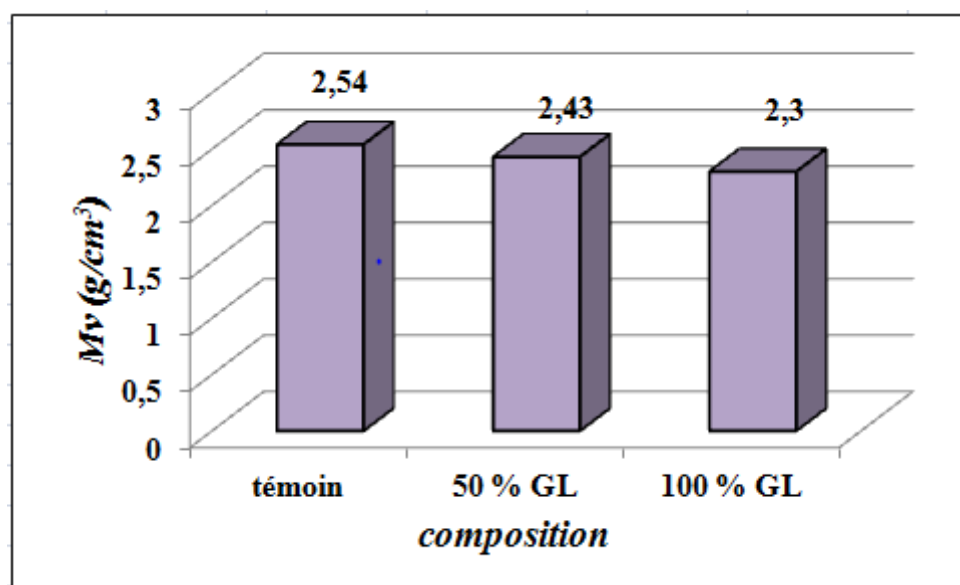


Figure. IV.9.2 : Variation de la masse volumique à l'état durci en fonction de la composition de béton

❖ Interprétation

D'après la figure IV.9.2, on remarque une diminution de la masse volumique des bétons de 50% et 100% de gravier léger par rapport au béton témoin. Cette diminution est de 4.33% pour le béton de 50% GL et de 9.45% pour le béton de 100% GL.

Comme à l'état frais, la diminution est due à la faible masse volumique des graviers légers incorporés par substitution par rapport à celle du gravier 8/15.

IV.9.3 .Porosité

Tableau. IV.9.3 : Porosité du béton

Composition	P (%)
Témoin	9.55
50 % GL	10.7
100 % GL	11.76

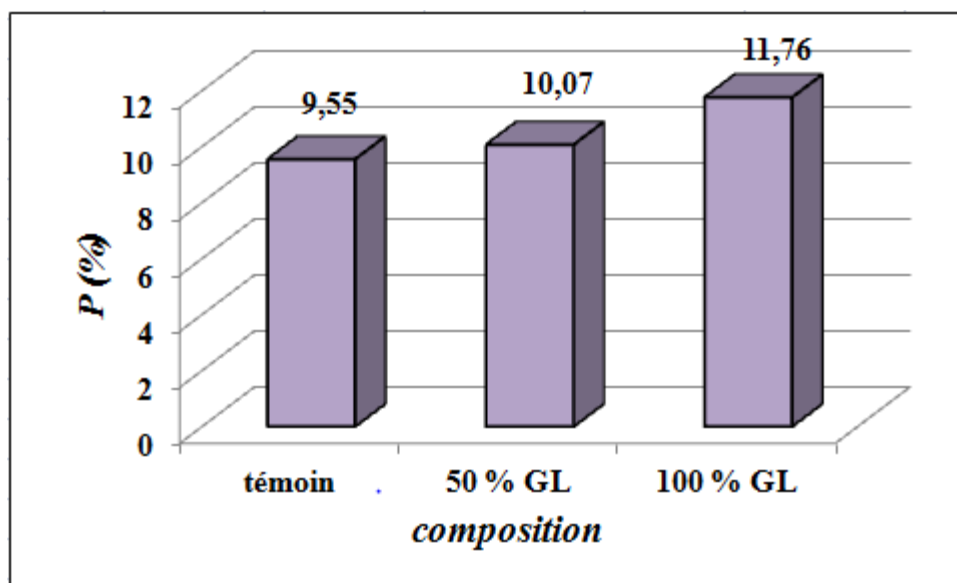


Figure .IV.9.3 : Variation de la porosité en fonction de la composition de béton

❖ *Interprétation*

D'après la figure IV.9.3, on remarque une augmentation de la porosité des bétons de 50% et 100% de gravier léger par rapport au béton témoin. L'augmentation est de 5.45% pour le béton de 50% GL et de 23.14% pour le béton de 100% GL.

Cette augmentation est due à la porosité importante des graviers légers incorporés par substitution par rapport à celle du gravier 8/15 (27.7%) et qui résulte une augmentation de structure cellulaire de béton et donc automatiquement la porosité augmente en fonction du taux de granulats légers.

IV.9.4 .Absorption

Tableau. IV.9.4 : Absorption du béton

Composition	Ab (%)
Témoin	4.00
50 % GL	4.55
100 % GL	5.00

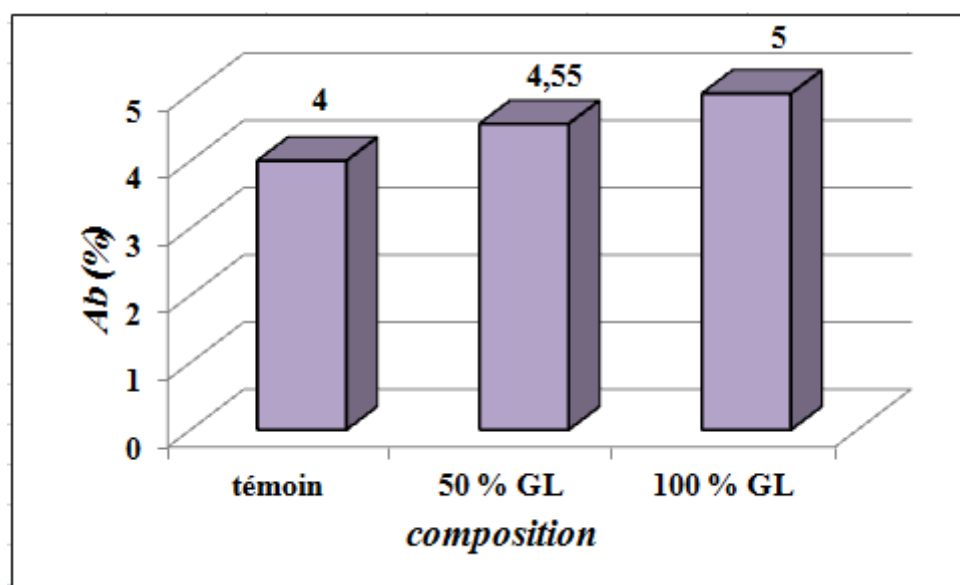


Figure .IV.9.4 : Variation de l'absorption en fonction de la composition de béton

❖ *Interprétation*

D'après la figure IV.9.4, on remarque une augmentation de l'absorption des bétons de 50% et 100% de gravier léger par rapport au béton témoin. L'augmentation est de 13.75% pour le béton de 50% GL et de 25% pour le béton de 100% GL.

Cette augmentation est due à l'augmentation de la porosité des deux bétons et qui due à la porosité importante des graviers légers incorporés par substitution par rapport à celle du gravier 8/15 (27.7%) et qui résulte une augmentation de structure cellulaire de béton et donc automatiquement le taux d'absorption d'eau augmente en fonction du taux de granulats légers.

IV.9.5 : Résistance à la compression

Tableau .IV.9.5 : Résistance à la compression

Composition	Rc (MPa)
Témoin	39.2
50 % GL	41.0
100 % GL	38.5

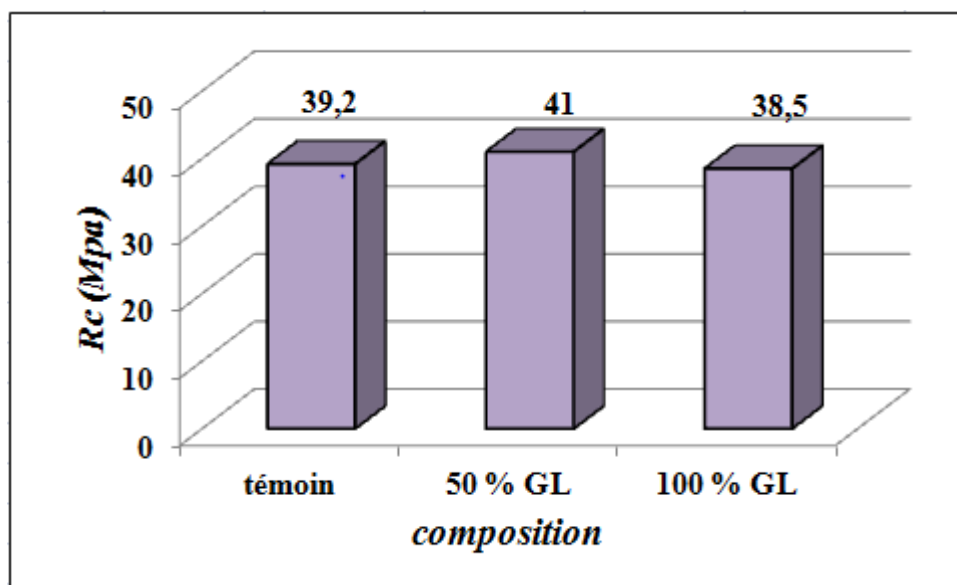


Figure .IV.9.5 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la composition de béton

❖ *Interprétation*

D'après la figure .IV.9.5, on constate :

- 1^{er} lieu une légère augmentation de résistance à la compression pour le béton à GL 50% qui est d'ordre de 4.39%. Cette amélioration est due probablement à la bonne adhérence liant-granulats que présentent les compositions à base de granulats légers.
- 2^{ème} lieu une très légère diminution de cette résistance pour le béton à GL 100% qui est d'ordre de 1.79%. Cette légère diminution est due probablement au plus de porosité représentée cette composition par rapport au béton témoin et béton à GL50%.

IV.9.6 : Résistance à la flexion

Tableau IV.9.6 : Résistance à la flexion

Composition	Rf (MPa)
Témoin	6.8
50 % GL	7.3
100 % GL	5.6

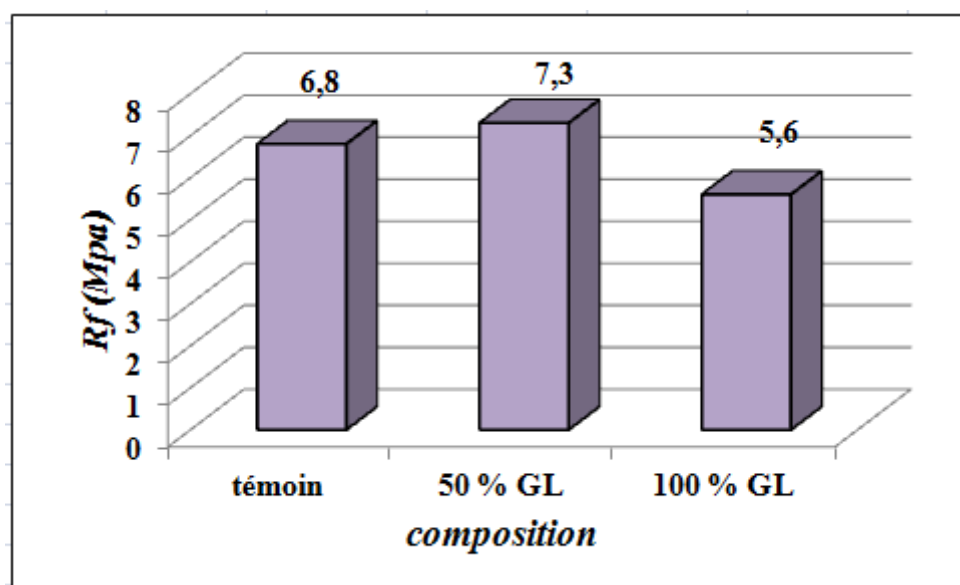


Figure .IV.9.6 : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la composition de béton

❖ *Interprétation*

D'après la figure .IV.9.6, on constate :

- 1^{er} lieu une augmentation de résistance à la compression pour le béton à GL 50% qui est d'ordre de 7.35%. Cette amélioration est due probablement à la bonne adhérence liant- granulats que présentent les compositions à base de granulats légers.
- 2^{ème} lieu une diminution de cette résistance pour le béton à GL 100% qui est d'ordre de 17.65%. Cette diminution est due probablement au plus de porosité représentée cette composition par rapport au béton témoin et béton à GL50%.

IV.9.7. Conductivité thermique

Tableau. IV.9.7 : Conductivité thermique

Composition	Conductivité thermique (W/m .°c)
Témoin	2.032
50 % GL	1.768
100 % GL	1.450

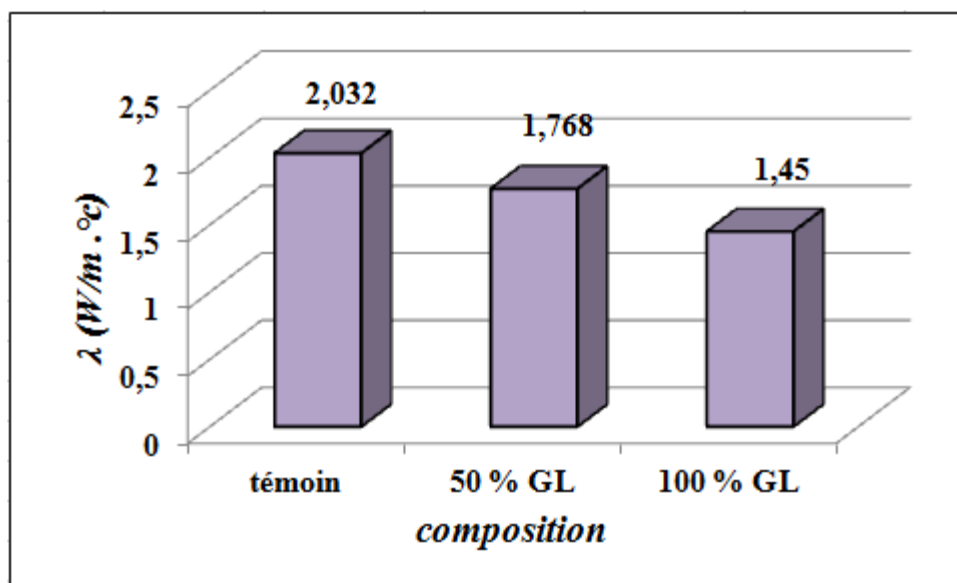


Figure IV.9.7 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la composition de béton

❖ **Interprétation**

D'après la figure IV.9.7, on constate que la diminution de (λ) est inversement proportionnelle au dosage de granulats (50 % GL, 100 % GL), c.-à-d. que l'augmentation du taux de granulats léger permet d'avoir une isolation thermique meilleure ce qui peut être expliqué par l'augmentation du volume de structure cellulaire provoquée par l'ajout de granulats léger.

IV.10.Conclusion

En général, les bétons confectionné à base des granulats légers (remplacent des gravillons habituels) offre une masse volumique très inférieure à celle d'un béton classique pour presque les mêmes caractéristiques mécaniques (surtout pour béton à 50% de gravillons léger) ; ainsi que le béton élaboré possède un bon pouvoir isolant sur les plans thermiques.

Conclusion générale

Conclusion général

Par ce travail nous avons essayé de couvrir deux principaux volets le premier écologique, par la récupération d'un déchet encombrant et menaçant l'environnement, le deuxième technologique en élaborant un granulats artificiel léger permettant de donner au béton une bonne isolation thermique tout en préservant ces résistances mécaniques.

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

- ❖ La méthode et conditions de préparation des granulats légers à été efficace et elle a donné des caractéristiques valables :
 - ✓ Masse volumique (1.47 g/cm^3)
 - ✓ Porosité (27.7 %)
 - ✓ Taille de 8 à 15 mm
- ❖ L'ajout de polystyrène a permet d'avoir une bonne porosité des granulats légers.
- ❖ La masse volumique du béton est inversement proportionnelle au taux de substitution de granulats légers introduits dans les échantillons.
- ❖ La conductivité thermique du béton est décroissante lorsque la quantité des granulats légers est croissante
- ❖ Le béton léger a gardé les mêmes propriétés mécaniques par apport au béton témoin :
 - ✓ Résistance à la compression (38.5 Mpa)

Le gravier du béton témoin peut être remplacé par les granulats élaboré sans altérer les propriétés mécaniques

En fin, on déduit que la vase de barrage qui est considérée un déchet peut être exploitée pour la fabrication des granulats légers et l'utilisation de ces derniers dans la construction, toute en faisant face au problème d'épuisement en ressources naturelles que peut avoir l'Algérie au futur.

On recommande l'installation d'unité de récupération et d'élaboration de granulats légers juste à coté des barrages pour réduire d'un coté le taux d'envasement et d'augmenter notre réserve en granulats d'un autre coté.

Références bibliographiques

- [1] : **NEVILLE** : «*Propriétés des bétons*». Eyrolles. Paris, 2000.
- [2] : **M.CONTANT**: «*Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux*». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000.
- [3] : **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**.
- [4] : **M.SHINK** «*Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers*». Université Laval Québec Avril 2003.
- [5] : **Livre** : «*Dictionnaire Professionnel du BTP*» l'auteur : **J. Roy**, 1 janvier 1998.
- [6] : **Jean-Pierre lott** «*Le béton, matériau de structure d'expression architecturale* ».
- [7] : **Latifou Bello** «*Méthodologie de formulation des Bétons Auto-Plaçant Légers* » 2015.
- [8] : **Livre** : «*guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments* » ,1977 Eyrolles.
- [9] : <http://www.leca-system.fr/fr/lacuteargile-expensee>.
- [10] : **Thèse doctorat** «*caractérisation du comportement mécanique des bétons de granulats légers : expérience et modélisation* » 2008.
- [11] : **G. DREUX & J. FESTA** : «*Nouveau guide du béton et de ses constituants*». 8^{ème} Édition. Eyrolles. Mai 1998.
- [12] : «*Rapport technique / domaine du bâtiment - génie-civil*» **hauteur : Laura Vonlanthen , Janvier 2014**.
- [13] : **Chow V.T., 1964**. Handbook of Applied Hydrology. Mc-Graw Hill Book Company.
- [14] : **Remini W., Remini B., 2003**. La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord. Larhyss Journal, 2 : 45-54.
- [15] : **D. TESSIER** : Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles. Application à l'étude de 4 pâtes argileuses « calciques » en voie de dessiccation. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM. Laboratoire de géologie appliquée, 1975.
- [16] : **Patrice Deslauriers et Johan Couveignes** «*Le cycle de formation des roches : École Édouard-Montpetit, Montréal* » juin 2001 Science animée.

[17] : **OUMRANI .N** « *Influence des sédiments sur la stabilité d'un barrage en exploitation cas du barrage CHEURFAS II* » : mémoire de magister 2008-2009.

[18] : **REMINI B. AVENARD J. M. KETTAB A** « Livre de l'envasement des barrages pages 5 à 89 » **1997.**

[19] : **N. PROULHAC, K. LANN** « Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde .Bassin d'Arcachon, 2006.

[20] : **B. BEKHTI, M. ERRIH, M. SIDI ADDA:** Modélisation de la sédimentation dans les retenues de barrages en Algérie (barrage Es-Saada), Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 23, Numéro 1, 38-47, Janvier-Février-Mars 2012

[21] :