

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de génie civil

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Par

- **BENSALLOUA ABDENNOUR**
- **ALI BOUAOUINA OUSSAMA**

Intitulé

Conception d'un nouveau béton léger cellulaire pour concevoir des briques

Soutenu le : 09/07/2023

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Benouadah Abdelatif</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Noui Ammar</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Ahmed Abderraouf Belkadi</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Benammar Abdelhafid</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Bounegab Adel</i>	<i>MCA</i>	<i>Incubateur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2022/2023

Remerciement

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous tenons également à exprimer ma gratitude envers nos parents pour leur amour, leur soutien et leur encouragement constants. Nous sommes reconnaissants pour tout ce qu'ils ont fait pour nous tout au long de notre parcours académique.

Et nous remercions tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre encadreur Dr.Noui. Amar et Dr.Belkadi.Ahmed.Abderaouf pour leurs soutiens, leurs conseils judicieux et leurs grandes bienveillances durant l'élaboration de ce projet.

Nous saisons également cette opportunité pour remercier les membres de laboratoire de génie civil et génie mécanique de l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi de B.B.A.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département de génie civil. Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents Bensalloua Foudil et Laribi lila , que dieu les grande et les protégé pour leurs soutien moral et financier,

Pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères : Abde Imoughith, Abde Ighani, Adel, Athman, Omar

A mes sœurs : Chaima, Tanzil, Roumaissa, Hadjira, Halima, Sara

Mes amis : Dr. Yazid, Maza. Imen, Oussama, Khaled, Aymen

Tous ma famille Bensalloua et Laribi

Et Tous Mes amis

Mes encadreurs : Dr.Noui Amar, Dr.Belkadi Ahmed

Tous les enseignants qui m'ont dirigé vers la porte de la réussite.

Mes collègues

Tous les membres de Club Scientifique Génie Civil

A tous mes amis de la promotion 2eme master génie civil

2022/2023

Abdennour

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon père Ali bouaouina Djilali et a ma mère Nekhili Samia qui ont été toujours présents à mes cotés pour m'encourager et me soutenir.

Je n'oublierai jamais vos sacrifices

A mes professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours.

A mon frère Sohaib et mes sœurs Meriem et Aya, a tous les membres de la famille Alibouaouina et Nekhili, a tous mes amis et spécialement Akram, Aymen, Lotfi, Raouf et mon cousin Mahmoud, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon parcours.

A mes deux grandes mères Massouda et Oumssaad qui occupent une grande place dans mon cœur, toute ma gratitude pour votre éternel amour, que ce mémoire soit le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.

A mes deux grand père Mohammed et Yahya que leurs âmes reposent en paix.

A mon cher oncle NEKHILI ELDJEMAI que dieu l'accueille dans son vaste paradis, j'aurais aimé qu'il soit présent parmi nous ; mais je suis certain qu'il sera heureux pour moi la ou il est.

Oussama

Résumé

Ce mémoire de recherche se concentre sur l'étude comparative des performances des bétons cellulaires dans le domaine de la construction. Les bétons cellulaires sont des matériaux innovants dotés de propriétés uniques, tels que leur structure alvéolaire, leur légèreté, leur résistance mécanique et leur isolation thermique. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer et de comparer les caractéristiques mécaniques et thermiques de quatre types de bétons cellulaires : le béton cellulaire conventionnel, le béton cellulaire géopolymère, le béton cellulaire fibré et le béton cellulaire de mousse.

Plusieurs essais ont été réalisés en laboratoire pour collecter des données expérimentales précises sur chaque type de béton cellulaire. Les paramètres évalués comprennent la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la conductivité thermique et la chaleur spécifique. Les résultats obtenus permettent de dresser une comparaison approfondie des performances des bétons cellulaires étudiés.

Ainsi, les résultats expérimentaux montrent que le béton cellulaire géopolymère présente une résistance à la flexion très élevée par rapport aux autres bétons.

Mots clés : bétons légers, béton cellulaire, cellulaire géopolymère, béton cellulaire fibré, béton de mousse.

Abstract

This research dissertation focuses on the comparative study of the performance of cellular concretes in the field of construction. Cellular concretes are innovative materials with unique properties, such as their cellular structure, lightweight nature, mechanical strength, and thermal insulation. The primary objective of this study is to evaluate and compare the mechanical and thermal characteristics of four types of cellular concretes: conventional cellular concrete, geopolymer cellular concrete, fiber-reinforced cellular concrete, and foam cellular concrete.

Several laboratory tests have been conducted to collect precise experimental data on each type of cellular concrete. The evaluated parameters include compressive strength, flexural strength, thermal conductivity, and specific heat. The obtained results allow for a comprehensive comparison of the performance of the studied cellular concretes.

Thus, the experimental results show that geopolymer cellular concrete exhibits a very high flexural strength compared to the other concretes.

Keywords: lightweight concretes, cellular concrete, geopolymer cellular concrete, fiber-reinforced cellular concrete, foam concrete.

ملخص

تركز هذه المذكرة البحثية على الدراسة المقارنة أداء الخرسانة الخلوية في مجال البناء. الخرسانة الخلوية هي مواد مبتكرة تتمتع بخصائص فريدة، مثل هيكلها الخلوي وخفة وزنها وقوتها الميكانيكية وعزلها الحراري. الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تقييم ومقارنة الخصائص الميكانيكية والحرارية لأربعة أنواع من الخرسانة الخلوية: الخرسانة الخلوية التقليدية، الخرسانة الخلوية الجيوبوليميرية، الخرسانة الخلوية المدعمة بالألياف والخرسانة الخلوية المتراقصة.

تم إجراء عدة اختبارات مخبرية لجمع بيانات تجريبية دقيقة حول كل نوع من الخرسانة الخلوية. تشمل المعايير المقیمة قوة الضغط، وقوة الشثناء، والتوصيلية الحرارية، والحرارة النوعية. النتائج المحصل عليها تسمح بمقارنة شاملة أداء الخرسانة الخلوية المدروس بالتالي، نُظِرَ في النتائج التجريبية أن الخرسانة الخلوية الجيوبوليميرية تتمتع بمقاومة عالية جداً لانحناء مقارنة بالخرسانات الأخرى.

الكلمات الرئيسية: خرسانة خفيفة، خرسانة خلوية، خرسانة خلوية جيوبوليميرية، خرسانة خلوية مدعمة بالألياف، خرسانة الرغوة، توصيل الحرارة، مقاومة النضغاط، مقاومة الانحناء.

Table des matières

Introduction générale.....	12
CHAPITRE I.....	15
Introduction.....	16
I.1: Historique des bétons légers	16
I.1.1: L'émergence du béton léger après-guerre	17
I.2: Etat de l'art.....	18
I.2.1 : Bétons légers	18
CHAPITRE II.....	29
II.1. Historique.....	30
II.2. Définition	30
II.3. Composition	31
II.4. Fabrication.....	32
II.5. Principales utilisations.....	35
I.6. Avantage de béton cellulaire	36
I.7. Inconvénients de béton cellulaire	37
CHAPITRE III.....	39
III.1. Introduction.....	40
III.2. Matériaux et caractéristiques.....	40
III.2.1. Sable de dunes	40
III.2.2. Laitier de haut fourneau (LHF).....	41
III.2.3 Ciment	41
III.2.4 Chaux.....	42
III.2.5 Alumine	43
III.2.6 Fibres polypropylènes (FP).....	44
III.2.7 Soude caustique (NaOH)	45
III.2.8 Silicate de sodium liquide (NaSiO ₄)	46
III.3 La formulation du béton cellulaire.....	46
III.4 Malaxage de béton cellulaire	48
III.5 Essais et résultats	48
III.5.1 Résistance à la compression [BS EN 12390-3].....	48
III.5.2 Résistance à la traction par flexion	50
III.5.3 Conductivité thermique (λ)	52
III.5.4. Chaleur spécifique	54
Conclusion générale.....	57
Références Bibliographiques	59

Liste des figures

Figure 1 Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [3]	20
Figure 2 Représentation schématique des différents de bétons légers [7].....	21
Figure 3 Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton [20]	27
Figure 4 Mur en béton cellulaire	31
Figure 5 Composition de béton cellulaire [25]	32
Figure 6 Schéma de fabrication des blocs non armés [21]	35
Figure 7 Schéma de fabrication des éléments armés [21]	36
Figure 8 La granulométrie de sable de dunes.	40
Figure 9 La granulométrie laser du laitier de haut fourneau.....	41
Figure 10 La granulométrie laser de ciment.	42
Figure 11 . La granulométrie laser de la chaux.....	43
Figure 12 La granulométrie laser de la poudre d'alumine.....	44
Figure 13 Forme générale des fibres polypropylènes.	45
Figure 14 Silicate de sodium (NaOH).	46
Figure 15 La Proportion qui vise à la préparation d'un béton cellulaire	47
Figure 16 La Proportion qui vise à la préparation d'un béton cellulaire géopolymère	47
Figure 17 La Proportion qui vise à la préparation d'un béton cellulaire fibré	47
Figure 18 La Proportion qui vise à la préparation d'un béton cellulaire de mousse	48
Figure 19 La Structure du béton cellulaire	48
Figure 20 Résistances à la compression des bétons à 28 jours.	49
Figure 21 Résistance à la flexion des bétons à 28 jours	51
Figure 22 Appareil de mesure CT-Mètre.....	52
Figure 23 La conductivité thermique des différents bétons étudiés.	53
Figure 24 La chaleur spécifique des différents bétons étudiés.	54

Liste des tableaux

Tableau 1 Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [5].....	19
Tableau 2 Classification des bétons légers en Fonction De la densité [5].....	19
Tableau 3 Caractéristiques physiques du sable	40
Tableau 4 Caractéristiques physiques du laitier de haut fourneau.....	41
Tableau 5 Caractéristiques physiques de ciment.	42
Tableau 6 Caractéristiques physiques de la chaux.	43
Tableau 7 Caractéristiques physiques de la poudre d'alumine.....	44
Tableau 8 Caractéristiques générales de FP utilisée	45
Tableau 9 Composition chimique de la soude caustique.....	45
Tableau 10 Caractéristiques chimiques du silicate de sodium (NaOH).	46

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie de la construction, en tant que pilier fondamental du développement économique, est constamment à la recherche de nouvelles solutions pour répondre aux demandes croissantes de performances, de durabilité et d'efficacité énergétique. Face à ces défis, les chercheurs et les ingénieurs se tournent vers des matériaux innovants capables de répondre aux exigences techniques tout en respectant les considérations environnementales.

Parmi ces matériaux prometteurs, les bétons cellulaires ont émergé comme une solution remarquable. Les bétons cellulaires se distinguent par leurs propriétés uniques résultant de leur structure alvéolaire, dans laquelle des pores ou des cellules sont incorporés dans la matrice cimentaire. Ces cellules peuvent être obtenues en introduisant des gaz ou des agents moussants pendant le processus de fabrication, ce qui confère aux bétons cellulaires des caractéristiques spéciales et un large éventail d'applications potentielles.

Les bétons cellulaires offrent un équilibre remarquable entre légèreté, résistance mécanique adéquate et isolation thermique efficace. En raison de leur structure alvéolaire, ils présentent une densité plus faible que les bétons conventionnels, ce qui les rend plus légers. Cela a des avantages significatifs en termes de réduction des charges structurelles, d'amélioration de l'efficacité du transport et de facilité de mise en œuvre sur les chantiers.

En outre, les bétons cellulaires présentent une excellente isolation thermique en raison de la présence d'air ou de gaz emprisonné dans les cellules. Cette isolation thermique réduit les pertes de chaleur et améliore l'efficacité énergétique des structures construites avec ces matériaux. Cela permet de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation des bâtiments, contribuant ainsi à la préservation des ressources naturelles et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le potentiel d'application des bétons cellulaires est vaste et diversifié. Ils sont utilisés dans la construction résidentielle, commerciale et industrielle pour la réalisation de murs, de planchers, de toitures et d'éléments préfabriqués. Leur légèreté les rend particulièrement adaptés à la construction de structures à plusieurs étages, où la réduction des charges est un critère essentiel. De plus, leur isolation thermique en fait un choix attrayant pour les bâtiments à haute efficacité énergétique et les structures nécessitant une isolation acoustique.

Dans ce mémoire, nous nous attarderons sur l'étude de quatre types spécifiques de bétons cellulaires : le béton cellulaire conventionnel, le béton cellulaire géopolymère, le béton

cellulaire fibré et le béton cellulaire de mousse. Chaque type présente des variations dans les composants utilisés, les méthodes de fabrication et les propriétés résultantes. L'objectif est de comprendre comment ces variations influencent les performances mécaniques et thermiques des bétons cellulaires, afin de déterminer les avantages de chaque type dans différents contextes d'application.

Grâce à une série d'essais réalisés en laboratoire, nous collecterons des données expérimentales précises pour chaque type de béton cellulaire. L'analyse comparative de ces résultats nous permettra de tirer des conclusions éclairées sur les performances et les domaines d'application optimaux de chaque matériau. Ces conclusions pourront servir de référence aux professionnels du secteur de la construction, tels que les ingénieurs et les architectes, lors de la conception de structures durables et écoénergétiques.

En somme, ce mémoire de recherche vise à approfondir notre compréhension des bétons cellulaires en évaluant leurs performances mécaniques et thermiques. L'objectif est de fournir des informations précieuses pour la sélection et l'utilisation efficaces de ces matériaux dans des applications spécifiques. En contribuant à l'avancement des connaissances dans le domaine des matériaux de construction durables, ce travail aspire à favoriser le développement d'une industrie de la construction plus respectueuse de l'environnement et plus efficace sur le plan énergétique.

Ce mémoire s'articule autour de deux parties :

La première partie (chapitre I) est consacrée à une synthèse bibliographique

La deuxième partie (chapitre II.III) Présentation du béton cellulaire et une partie expérimentale consacrée au travail effectué

* Chapitre II Présentation du béton cellulaire

* Chapitre III contient les résultats de l'étude expérimentale : caractérisation physique et mécanique , ainsi que l'analyse et la discussion de ces résultats

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

Introduction

Bien que connus depuis plus d'un demi-siècle, les bétons légers ont été relativement peu employés. Toutefois, la crise du logement liée au manque considérable en matériaux de construction ainsi que la consommation d'énergie de chauffage et de rafraîchissement des locaux qui ne cessent d'augmenter, ont provoqué un regain d'intérêt pour l'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels. Leur transformation en bétons légers demeure l'une des solutions les plus économiques afin d'y pallier à ces problèmes. Les Bétons légers sont des bétons constitués de granulats de faible densité [1].

La masse volumique apparente des bétons traditionnels fabriqués avec des granulats rigides est comprise entre 2200 et 2600 kg/m³. Et la masse volumique apparente sèche des bétons légers est inférieure à 1800 Kg/m³ [RILEM (1970)]. D'autres auteurs adoptent des définitions un peu différentes : l'American Concrete Institute (1970) limite la masse volumique apparente des bétons légers à 1800 Kg/m³ après séchage à l'air pendant 28 jours. La norme DIN 1042 (1972), en Allemagne, limite la masse volumique apparente d'un béton léger à 2000Kg/m³.

I.1: Historique des bétons légers

Le béton léger est relativement nouveau dans l'industrie du béton. Il est apparu pour la première fois dans les années 1920, lorsque les ingénieurs ont commencé à rechercher des moyens de réduire le poids des structures en béton sans compromettre leur résistance.

Le béton léger a été développé pour répondre à ces besoins. Le premier type de béton léger est constitué principalement d'agrégats légers tels que des billes d'argile expansée, de la perlite, de la vermiculite ou du laitier.

Le béton léger a ensuite connu une forte croissance dans les années 1950 et 1960, en grande partie en raison de la demande accrue de structures légères et durables, et de l'essor des bâtiments préfabriqués.

Au cours des dernières décennies, de nouveaux types de béton léger ont été développés, notamment le béton à air occlus autoclave (BCCA) et le béton léger à base de polystyrène expansé (EPS). BCCA est un matériau de construction léger mais solide composé de ciment, de sable, d'eau, de poudre d'aluminium et d'agent moussant. D'autre part, le béton léger de polystyrène expansé est fabriqué en ajoutant des particules de polystyrène expansé au béton frais.

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

Le béton léger offre de nombreux avantages, notamment des économies de poids importantes, une meilleure isolation thermique et acoustique et une excellente résistance aux intempéries et aux produits chimiques. Il est utilisé dans une grande variété d'applications, y compris les toits, les murs de soutènement, les dalles, les ponts, les tunnels, les bâtiments industriels et les maisons unifamiliales

I.1.1: L'émergence du béton léger après-guerre

Parce que le béton est un matériau de construction relativement lourd, les expériences pour réduire son poids sans nuire à ses autres propriétés ont commencé à réussir au XXe siècle. Plusieurs types de béton léger ont été développés entre 1920 et 1930, notamment Durisol, Siporex, Argex et Ytong. Après avoir commencé à être largement utilisé en Suisse à la fin des années 1930, l'invention belge-norvégienne Durisol a ensuite gagné une énorme popularité dans de nombreuses autres nations européennes, y compris la Belgique.

Le béton-gaz autoclave de Siporex a été développée en Suède en 1935 et a commencé à être produite en masse en Belgique à partir de 1956/1957 par la SA. Siporex-Brabant (located in Leeuw-Saint-Pierre). Selon lui, le béton légèrement granulé Argex a été produit pour la première fois au Danemark en 1939 sous la marque internationale Leca.

La première production annuelle à Copenhague, qui était de 20 000 m³, a augmenté à un total de 6 millions de m³ par an dans 13 pays européens, dont la Belgique, en 1972.

Une autre illustration est Ytong, le type original et probablement le plus connu de béton-gaz autoclavé. L'architecte suédois Johan Axel Eriksson, professeur adjoint à l'Institut royal de technologie de Stockholm, est crédité de la création d'Ytong.

En novembre 1929, les blocs Yitong ont commencé à être produits industriellement - Yitong est l'abréviation de Yxhult, la première usine établie en Suède, et Betong en suédois signifie béton. Le matériau était très populaire en Suède à partir de 1935 et a connu une véritable expansion après la Seconde Guerre mondiale, devenant l'un des matériaux de construction les plus importants du pays. Le processus de fabrication a également été exporté vers d'autres pays, avec des licences vendues à la Norvège, l'Allemagne, la Grande-Bretagne, l'Espagne, la Pologne, Israël, le Canada, la Belgique ou encore le Japon. Une brochure des années 1960 et 1970 mentionne 34 usines dans 11 pays et des usines en construction dans quatre autres pays. Au lieu d'exporter le matériel lui-même, Yitong a décidé d'exporter la technologie et de déposer la marque, permettant ainsi de s'adapter à l'environnement local.

Par conséquent, si la recette originale comprend du schiste bitumineux, les producteurs locaux peuvent substituer d'autres matériaux (siliceux) tels que des cendres volantes ou des scories. Pour garantir la qualité, un laboratoire central de contrôle a été créé en Suède, tandis que

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

des ingénieurs et techniciens suédois visitaient des usines à l'étranger. En Belgique, la première usine Ytong est construite à Burcht (près d'Anvers) en 1954-1955. S.A. Ytobel y produit Ytong à partir de juin 1955. Ytobel, qui possède une licence Benelux, suit un procédé de fabrication suédois, utilisant des cendres volantes (provenant de la centrale électrique voisine de Schelle), du laitier de haut fourneau, de la chaux grasse, de la poudre d'aluminium et de l'eau comme matières premières.

Dès 1955, le journal *Bouwen en Wonen* prédisait dans un article de fond sur le béton que des développements vertigineux s'ensuivraient pour le Yitong en Belgique, le matériau ayant déjà fait ses preuves et affichant ses nombreux avantages. La croissance est indéniable : la production de l'usine d'Anvers triple en 1957. La S.A. Ytobel est ensuite intégrée à la société belge de production de ciment CBR (Cimenteries et Briqueteries Réunies). La Belgique suit la tendance des autres pays européens où l'Iton et le béton léger sont devenus très populaires après la Seconde Guerre mondiale [2].

I.2: Etat de l'art

I.2.1 : Bétons légers

I.2.1.1 : Définition

Le béton est un terme général qui désigne les matériaux de construction composites constitués de liants qui maintiennent les agrégats (sable, gravier) ensemble. Le béton léger fait partie du béton spécial, qui se caractérise par de nouvelles applications, et qui se distingue du béton ordinaire par sa faible densité. En effet, la masse du béton de densité normale varie entre 2200 et 2600 kg/m³, tandis que celle du béton léger fluctue entre 300 et 1850 kg/m³. [3]

Selon ce qui n'a pas été vu auparavant, le béton léger est un béton dont la masse volumique est inférieure à 1800 kg/m³.

Le béton léger est constitué en tout ou partie de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (résines époxy, mousses polyuréthanes...). En effet, la plupart de ces bétons ont une masse volumique inférieure par rapport au béton conventionnel de 2200 à 2600 kg/m³ [4]. Ces bétons sont utilisés pour l'isolation et l'éclairage ou les deux, il peut aussi être utilisé pour les éléments porteurs, à condition qu'il y ait un granulats permettant d'atteindre la résistance requise, ainsi le béton léger pour la construction est limité par sa densité et ces différentes résistances. S'ils sont utilisés correctement, ces deux facteurs peuvent conduire à des solutions optimisées dans tous les domaines de la construction au niveau de la construction et de la planification économique ainsi que de la physique du bâtiment. Ils nous permettent ainsi d'aller vers de nouveaux horizons architecturaux.

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

Enfin, les principales caractéristiques du béton léger sont une faible densité, une adaptabilité aux exigences, un excellent rapport poids/résistance ainsi qu'une bonne isolation thermique, une résistance à la chaleur et au feu, une résistance au gel et une insensibilité. Construction traditionnelle du champ d'attaque physique et chimique.

I.2.1.2 : Classification du béton léger

Le béton léger est défini par deux caractéristiques de base, qui dépendent d'autres caractéristiques ou données nécessaires au calcul. il s'agit de:

- Densité sèche, représentée par γ_{bs} .
- Résistance au stress à 28 jours.

La norme EN 206 répartit le béton léger dans les six catégories de densité suivantes en fonction de sa masse en Kg/m³ [5].

Tableau 1 Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [5]

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 norme EN 206 classes le béton selon les plages de masse volumique indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 Classification des bétons légers en Fonction De la masse volumique [5]

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

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

213R -8713.141 classifie les bétons en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m³) en trois catégories :

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

Ce béton a une densité comprise entre 1350 et 1900 et est utilisé pour des applications structurelles avec une résistance à la compression minimale de 17 MPa.

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

Une masse volumétrique comprise entre 300 et 800 kg/m³ n'est pas utilisée pour des applications structurelles, mais principalement utilisée comme isolant thermique avec un, $R_c < 7$ MPa.

❖ *Le béton de résistance moyenne se situe entre les deux*

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

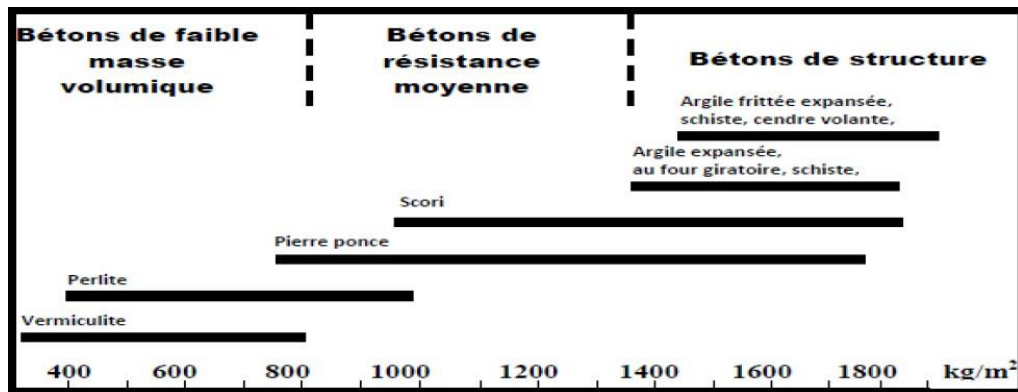


Figure 1 Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [3]

Selon leur utilisation dans les structures, les bétons légers peuvent être classés en fonction de leurs masses volumiques apparentes comme suit :

- *Des bétons de remplissage*

Leur masse volumique apparente est comprise entre 300 et 1000 kg/m³, la résistance à la compression est souvent faible et les caractéristiques thermiques sont bonnes [6].

- *Des bétons porteurs isolants*

Leur masse volumique apparente varie entre 1000 et 1400 kg/m³, leurs résistances mécaniques sont nettement meilleures que celles de leurs prédécesseurs, et leurs caractéristiques thermiques sont acceptables. Ils sont généralement utilisés pour les composants préfabriqués.

- *Des bétons de structure*

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

Leur masse volumétrique varie entre 1400 et 1800 kg/m³. Ils sont destinés à être utilisés dans la construction de structures en raison de leur résistance mécanique, qui peut être à égalité avec celle du béton ordinaire. Leur puissance isolante est plutôt faible [3].

I.2.1.3 : Types des bétons légers

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

- Les particularités en matière de formulation des bétons légers,
- 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 :

- Les bétons cellulaires.
- Les bétons sans fines (caverneux).
- Les bétons de granulats légers (argile expansé...).



Figure 2 Représentation schématique des différents de bétons légers [7]

I.2.1.3.1 : Béton cellulaire

I.2.1.3.1.1 : Définition

Le béton cellulaire est un produit à base de matières premières provenant exclusivement de matériaux Minéraux. C'est un produit que l'on classe dans la catégorie des matériaux de construction dits « propres », dans la mesure où 100 kg de matière suffisent à produire 1 m² de

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

maçonnerie de 25 cm d'épaisseur conforme aux réglementations en vigueur pour la construction de maisons individuelles. La fabrication de 1 m³ de béton cellulaire ne nécessite que 250 kWh.

I.2.1.3.1.2 : Fabrication

Les produits en béton à air occlus sont exclusivement fabriqués en usine. Les cellules de production sont automatisées. De l'entrée des matières premières à la sortie des composants sur palettes prêtes à être expédiées, tout est surveillé en permanence. Ce processus garantit la qualité et l'homogénéité du produit. Les produits en béton à air occlus se répartissent en deux catégories :

- Blocs, utilisés en maçonnerie (par exemple, construction d'habitations, petits collectifs).
- Éléments de renforcement tels que dalles, toitures, bardages, etc., principalement utilisés dans la construction de bâtiments industriels.

I.2.1.3.1.3 : Propriétés

▪ *Un matériau non polluant*

La fabrication du béton cellulaire ne dégage aucun produit polluant, que ce soit dans l'air, l'eau ou le sol. De plus, aucune ressource (matière première, eau, énergie) n'est gaspillée puisque le recyclage est effectué à chaque étape de la fabrication.

▪ *Un matériau moderne*

La fabrication du béton cellulaire a été industrialisée pour produire des matériaux de construction finis, dimensionnellement précis et faciles à mettre en œuvre.

▪ *Un matériau léger, solide et isolant*

Le béton poreux est rempli d'un grand nombre de bulles d'air emprisonnées dans les alvéoles, ce qui lui confère une légèreté, des capacités d'isolation thermique et acoustique, et une solidité qui permet de réaliser des structures variées.

▪ *Un matériau isotrope*

Quelle que soit l'orientation du produit ou les découpes, les propriétés physiques et mécaniques du matériau sont préservées. L'homogénéité de la structure est donc parfaite.

▪ *Conductivité thermique*

La conductivité thermique augmente avec l'augmentation de la teneur en humidité. Le nombre et la répartition des pores sont également des facteurs qui affectent les performances d'isolation thermique du béton poreux.

I.2.1.3.1.4 : Utilisation

Pour les parpaings non armés : murs porteurs, cloisons non porteuses, murs de refend, cloisons coupe-feu et tous petits travaux d'aménagement ou de restauration.

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

Pour éléments de renforcement : bardages, cloisons coupe-feu, toitures, sols, murs de maisons individuelles. [8]

I.2.1.3.1.5 : *Avantages et inconvénients*

➤ *Avantages*

- Le béton à air occlus est avant tout un matériau de construction léger. Ceci est pratique pendant le processus de fabrication ainsi que pendant l'expédition et la mise en œuvre. En effet, le béton cellulaire offre des propriétés de manipulation aisée.
- Le béton cellulaire est également un excellent isolant. Cette propriété est due à sa structure étanche à l'air. De plus, les microcellules d'air sont réparties de manière très homogène, de sorte que le béton cellulaire possède un revêtement isolant. Pour information, la conductivité thermique du béton cellulaire est très intéressante pour réduire l'effet des changements de température à l'intérieur et à l'extérieur.
- Le béton cellulaire est également facile à couper en raison de son poids léger, une simple scie à main suffira. Il est également facile à mettre en œuvre et vous pouvez réutiliser les restes. De plus, son utilisation nécessite très peu d'eau. Seul un joint fin suffit pour l'appariement des blocs.
- En raison du fait qu'aucun matériau liquide ou solide n'est gaspillé tout au long du processus, la méthode de fabrication du béton cellulaire est également respectueuse de l'environnement. Par conséquent, il n'y a aucun risque de polluer l'air, l'eau ou le sol.
- Pour continuer à discuter du mode de production, il est important de noter qu'il utilise très peu d'énergie et qu'une partie de celle-ci peut être recyclée.
- Le placement du béton cellulaire est très simple et rapide. En conséquence, il est possible de terminer un assemblage de mortier-et-tenon sur un mur d'une épaisseur de 20 cm en 3 m² par heure.
- Les fourmis et les insectes ne sont pas attirés par le béton cellulaire.
- De plus, le béton cellulaire est un matériau de construction inflammable.

➤ *Inconvénients*

- Le béton cellulaire est plus vulnérable aux fractures. Cela a un inconvénient par rapport aux briques et aux pavés, qui peuvent tous deux être utilisés pour construire des murs extérieurs pour les maisons.
- Le béton cellulose est également assez fragile. En raison de cela, il appelle à l'utilisation d'une cheville de fixation et d'un scellement renforcé. En outre, les systèmes de fixation ne doivent utiliser que des produits spécialisés en fibres de béton.

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

- Selon certaines études, le béton cellulaire peut également augmenter le risque de développer plusieurs maladies et la maladie d'Alzheimer. En fait, il est très concevable d'inhaler les particules de béton cellulaire libérées par ce matériau de construction.
- De plus, le béton cellulaire présente une isolation acoustique inadéquate et est occasionnellement imperméable à la vapeur d'eau. Les constructions en blocs de béton sont fréquemment exposées aux greniers de toit qui sont soulevés. [8]

I.2.1.3.2 : Béton caverneux

I.2.1.3.2.1 : Définition

Le béton caverneux ou béton drainant est un béton de ciment à structure ouverte permettant l'infiltration de l'eau de pluie. Le nom de ce béton provient des vides qu'il contient et qui ressemblent à des cavernes. Ces vides ont une ouverture allant de 10 à 30 mm [9].

I.2.1.3.2.2 : Composition

Avec peu ou pas de granules fins, le béton caverneux est fait de ciment, de granulés grossiers et d'eau. Une petite quantité de sable peut augmenter la résistance mécanique du béton. En ce qui concerne le volume de vide du squelette de granulés, la pâte est sous-dosée, mais elle est encore suffisante pour assurer l'adhésion des granules les uns aux autres. [10]

I.2.1.3.2.3 : Fabrication

Perte en béton, ou "malaxeur-transporteur" de chape pneumatique :

- Mettez un ou plusieurs sacs pleins dans le mélangeur en béton (l'empêchant de remplir jusqu'à 60 pour cent de sa capacité).
- Ajoutez progressivement 3 litres d'eau pour chaque sac.
- Moulez pendant environ 3 minutes pour obtenir un mélange homogène avec des grains de ciment brillamment colorés et bien récupérés.
- Le travail "malaxeur-transporteur" exige que la quantité d'eau soit augmentée proportionnellement à la distance de pompage. [11]

I.2.1.3.2.4 : Propriétés

- ✓ À séchage rapide : Il se mélange avec une petite quantité d'eau et sèche rapidement, même pour des épaisseurs substantielles, grâce à sa structure ouverte et à sa formulation basée sur l'argile dilatée hydrophobe appelée Laterlite Plus.
- ✓ La densité : entre 500 et 600 Kg/m³
- ✓ La porosité : entre 15 et 25 % du volume
- ✓ Une forte perméabilité : Sa perméabilité à l'eau sous une charge de 10 cm d'eau est supérieure à 5 litres par mètre carré par seconde.
- ✓ L'affaissement au cône d'Abrams nul.
- ✓ Super léger : Il pèse environ 600 kg/m³ en usage, ce qui est beaucoup moins que le béton conventionnel ou liquide et trois fois moins que les bétons structurels. Il réduit les coûts en

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

cours et est particulièrement recommandé pour la rénovation des sols existants, des plafonds en voûte ou des meubles dans les zones sismiques afin d'éviter d'autres frais.

- ✓ Isolant : Il intègre ou remplace l'isolation thermique des toits terrassés ou couverts, des planches et des voûtes, et réduit les ponts thermiques. Il est dix fois plus isolant que les systèmes conventionnels. Il améliore l'isolation acoustique grâce à sa structure poreuse.
- ✓ Conductivité thermique : 0,134 W/mK.
- ✓ Résistant stable et durable : Il maintient ses propriétés tout le temps tout en étant stable, indéformable et résistant à la compression (2,5 MPa). Le support idéal pour les canapés de qualité supérieure est celui-ci.
- ✓ Incombustible et résistant au feu : Il est 100% minéral, non combustible (Euroclass A1), résistant à la flamme et sûr même en cas d'explosion.
- ✓ Drainant : Il est extrêmement perméable à l'eau et peut être utilisé comme support, remplissage ou couche de drainage dans les carreaux ou sur le sol. [11]

I.2.1.3.2.5 : *Utilisation*

En raison de sa grande perméabilité à l'eau, le béton caverneux est utilisé pour paver les routes résidentielles et piétonnes, les parkings, les trottoirs et les étangs. [12]

I.2.1.3.2.6 : *Avantages et les inconvénients*

➤ *Avantages*

▪ *Sécurité*

-les risques d'inondation sont évités

-les chutes cassées par une glissade sur l'eau sont supprimées

-les effets d'éblouissements sont réduits, plutôt pratique quand on doit rentrer sa voiture au garage par temps de pluie.

▪ *Economique*

Parce qu'il permet à l'eau de passer, le béton drainant permet le remplissage des nappes phréatiques. Terminez la ruisselle à la surface de votre terrasse ou aux bords de votre piscine. Le cycle de l'eau est suivi, ce qui contribue à une bonne hydratation de votre sol. De plus, ce système vous permet de décongeler les réseaux d'égouts de votre ville.

▪ *Confort*

Grâce à sa haute perméabilité, dites adieu aux poudres d'eau sur la surface. Quand il pleut, mais aussi pendant la chaleur intense, le drainage du béton a des avantages : la ventilation naturelle fait baisser la température du sol, vous permettant de marcher à pieds nus même au soleil brûlant.

▪ *Résistance*

Puisqu'il s'agit de béton, le revêtement est résistant et durable dans le temps.

- *Personnalisable*

Vous pouvez personnaliser le drainage en béton jusqu'au joint de dilatation que vous choisissez d'installer, vous donnant la possibilité de décorer votre couverture. Vous disposez d'une large gamme d'options de couleur et de finition. [13]

- *Inconvénients*

Les principales limitations du béton caverneux sont :

- Dans le cas de fuite de substances nocives pour l'environnement, ils peuvent le traverser et atteindre le sol ;
- Les pores peuvent être bouchés par de l'argile ou par d'autres matières ;
- Les performances mécaniques sont généralement plus faibles que ceux d'un béton normal.

[14]

I.2.1.3.3 : Bétons de granulats légers

I.2.1.3.3.1 : Définition

Le béton de granulats légers est un béton léger contenant un pourcentage volumique important de granulats légers induisant une masse volumique inférieure à celle d'un béton normal. [16] La masse volumique de ce type de béton est comprises entre 800 – 2100 kg/m³. [17]

I.2.1.3.3.2 : Composition

Les granulés à faible volume de masse tels que l'argile élargie, le schiste élargi, le laitier élargi, le pierre ponce élargis, le polystyrène élagi, le liège ou la vermiculite sont utilisés pour faire du béton granulé léger. De grandes quantités d'eau sont absorbées par les granulés légers, ce qui pose un défi important pour la plasticité et la maniabilité du béton. Par conséquent, le dosage de l'eau est un problème et ne doit pas être pris à la légère. [18]

I.2.1.3.3.3 : Caractéristiques et propriété

- Résistances

Comparé au béton conventionnel fabriqué à partir de granulés denses, le béton léger a moins de résistance à la compression. Cette résistance diminue proportionnellement à la densité du béton. Cependant, des résistances équivalentes à celles du béton peuvent être obtenues avec de bons granulés, du sable naturel et une augmentation du dosage du ciment. De plus, il y a moins de résistance à la traction.

- Ouvrabilité

En outre, la manœuvrabilité est difficile en raison de l'absorption d'eau continue des granulés. On peut se tourner vers divers adjuvants tels que les compresseurs d'air ou les plastifiants pour traiter la condition.

- Fluage

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

Leur déformation instantanée est le double des bétons courants.

➤ Retrait

Leur retrait est plus important mais est également plus tardif du fait de la déshydratation des mortiers qui est retardée par les granulats absorbant l'eau.

➤ Conductivité thermique

C'est le principal inconvénient du béton de granulés légers. En fait, le béton en granulés légers sert de bon isolant thermique et acoustique car les bulles d'air sont dispersées à travers l'épaisseur du matériau. [19]

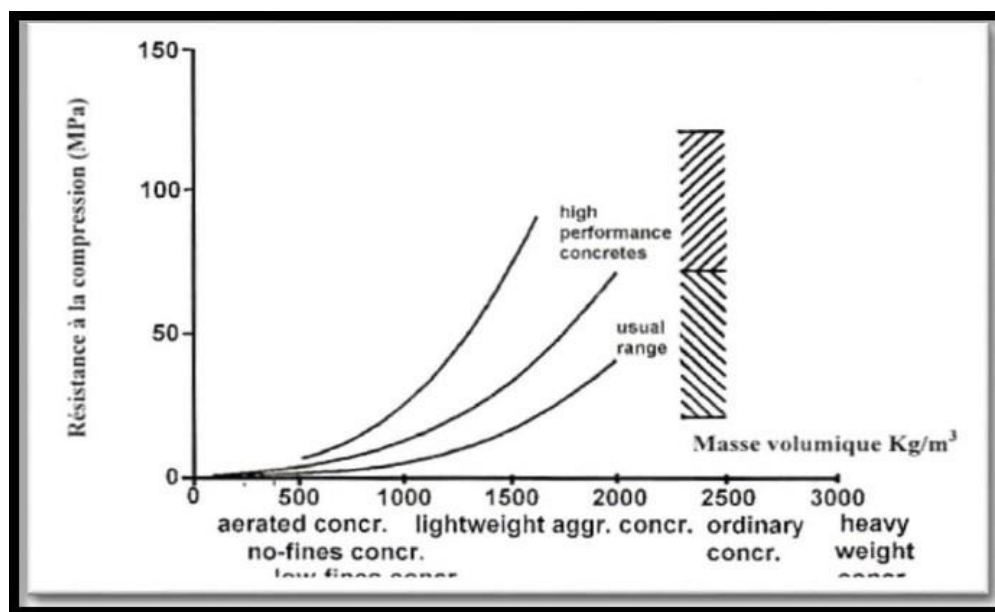


Figure 3 Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton [20]

1.2.1.3.3.5 : Utilisations

En raison de leur faible résistance à la compression, ils sont généralement utilisés pour créer du béton aggloméré, de l'isolant (tels que des carreaux, des planches, etc.), du bête sans charge, ou du béton avec des charges insignifiantes. Cependant, l'utilisation principale de ce type de béton est sans aucun doute la préfabrication car elle offre une économie de poids significative. La construction de poteaux, de poutres et de dalles ainsi que tous les autres projets nécessitant du béton peuvent être envisagés pour des bétons de vermiculite avec une résistance supérieure. Le béton granulaire léger est utilisé pour réparer les murs, alléger les problèmes structurels et isoler thermiquement les bâtiments. Parmi les exemples figurent les panneaux de pont [19].

I.3. Conclusion

En conclusion, bien que les bétons légers soient connus depuis plus d'un demi-siècle, leur utilisation a été relativement limitée. Cependant, la crise du logement due au manque important de matériaux de construction ainsi que la hausse de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation des bâtiments ont suscité un regain d'intérêt pour l'utilisation de matériaux locaux et de déchets industriels. La transformation de ces matériaux en bétons légers reste l'une des solutions les plus économiques pour faire face à ces problèmes.

Les bétons légers sont constitués de granulats de faible densité, et leur masse volumique apparente est inférieure à celle des bétons traditionnels fabriqués avec des granulats rigides.

CHAPITRE II

Présentation du béton cellulaire



II.1. Historique

En 1880, W. Michaelis a inventé le béton cellulaire en mettant en contact un mélange de chaux, de sable et d'eau avec de la vapeur d'eau saturée sous haute pression. Ce processus a donné naissance à des silicates de calcium hydratés hydrorésistants.

En 1889, E. Hoffmann a inventé l'expansion des mortiers, une technique qui permet d'augmenter le volume du matériau lorsqu'il durcit.

En 1924, J.-A. Eriksson, un Suédois, a commencé la production et la commercialisation du béton cellulaire. Il a utilisé un mélange de sable fin, de chaux et d'eau, auquel il a ajouté une petite quantité de poudre de métal. Trois ans plus tard, il a combiné ce processus avec l'utilisation de l'autoclave, tel que décrit dans le brevet de W. Michaelis.

Après 1945, une méthode de production en série d'éléments de béton cellulaire a été développée. Les produits sont fabriqués en coupant le matériau aux dimensions souhaitées à l'aide de fins fils d'acier très tendus, ce qui permet d'obtenir des produits finis de grande précision. Des éléments armés peuvent également être produits en plaçant des armatures métalliques protégées contre la corrosion dans le moule avant la coulée [20].

II.2. Définition

Le béton cellulaire est un matériau de construction à base de matières minérales présentes en abondance dans la nature, ses constituants sont : du sable fin, du ciment, de la chaux et d'un agent expansif tels que la poudre d'aluminium, agent moussant et l'entraîneur d'air [21].

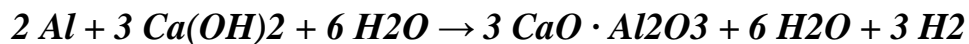
La fabrication du béton cellulaire est industrialisée et permet la production d'un matériau de construction fini aux dimensions précises aisé à mettre en œuvre. Un matériau léger, solide et isolant : le béton cellulaire est rempli d'une multitude de bulles d'air emprisonnées dans des cellules qui lui confèrent légèreté, pouvoir d'isolation thermique et acoustique, ainsi qu'une solidité permettant la réalisation de constructions d'une grande diversité. Un matériau isotrope : les propriétés physiques et mécaniques du matériau sont conservées quelles que soient l'orientation ou les découpes faites sur le produit. Ainsi l'homogénéité de la structure est parfaite. Ce matériau à la fois traditionnel et moderne, est adapté à la majorité des constructions, aussi bien pour l'habitat individuel ou collectif que pour les bâtiments industriels ou tertiaires [20].



Figure 4 Mur en béton cellulaire [36]

II.3. Composition

Effectivement, en présence d'eau et en milieu alcalin, la réaction chimique entre la poudre d'aluminium et les composés alcalins tels que la chaux peut être représentée comme suit :



Dans cette réaction, l'aluminium (Al) réagit avec l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂) et l'eau (H₂O) pour former du trioxyde de calcium-aluminium hydraté (CaO - Al₂O₃) et du dihydrogène (H₂). C'est la libération de dihydrogène qui génère des cellules dans le béton cellulaire [20].

Il convient de noter que cette réaction est un exemple spécifique de la réaction chimique qui peut se produire lors de l'utilisation de la poudre d'aluminium comme agent expansif dans la fabrication du béton cellulaire. Différents types d'agents expansifs peuvent être utilisés, et les réactions chimiques correspondantes peuvent varier [22].

L'objectif principal de l'ajout de la poudre d'aluminium est de créer des cellules dans le béton cellulaire, ce qui confère au matériau sa faible densité et ses propriétés isolantes.

Les proportions moyennes des matières premières utilisées dans la fabrication du béton cellulaire, telles que mentionnées, sont les suivantes :

- Environ 65% de sable de quartz siliceux : Le sable de quartz siliceux est la principale composante du béton cellulaire. Il fournit la structure et réagit avec la chaux pour former des silicates de calcium hydratés, qui contribuent à la création des cellules.
- Environ 20% de ciment : Le ciment est utilisé comme liant dans le béton cellulaire. Il réagit avec l'eau et la chaux pour former des composés qui participent à la solidification du matériau.



CHAPITRE II Présentation du béton cellulaire

- Environ 15% de chaux : La chaux est un autre liant essentiel dans la fabrication du béton cellulaire. Elle réagit avec l'eau et le sable pour former des silicates de calcium hydratés, qui agissent comme des agents de liaison et contribuent à la formation des cellules.
- Environ 0,05% de poudre d'aluminium : La poudre d'aluminium est utilisée en très faible quantité comme agent expansif. Elle réagit avec les composés alcalins présents dans le mélange pour libérer de l'hydrogène, qui génère les cellules dans le béton cellulaire.
- Environ 1% de gypse : Le gypse est ajouté pour réguler la prise du béton cellulaire. Il contrôle le temps de durcissement du matériau et contribue à améliorer sa résistance.
- Eau : L'eau est nécessaire pour l'hydratation des différents composants du béton cellulaire. Elle réagit avec le ciment, la chaux et la poudre d'aluminium, et facilite la formation des produits chimiques qui favorisent le durcissement et la création des cellules.

Il est important de noter que ces pourcentages peuvent varier légèrement en fonction des besoins spécifiques du projet et des normes de fabrication utilisées. De plus, la masse volumique souhaitée du béton cellulaire peut également influencer les proportions des matières premières utilisées [23].

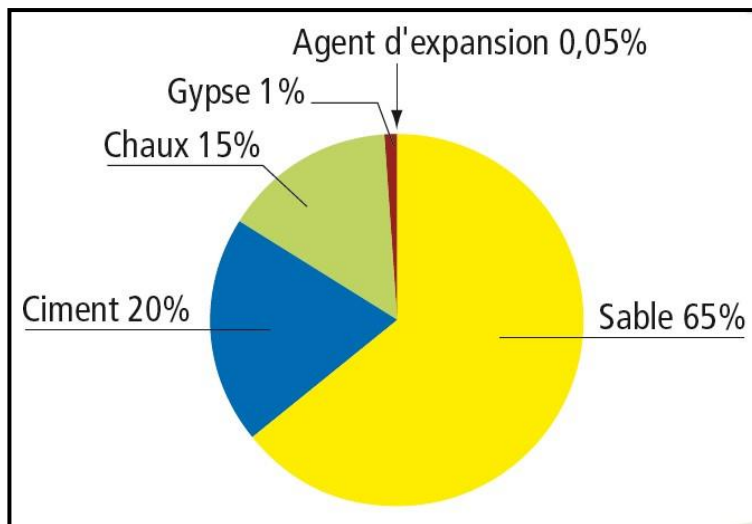


Figure 5 Composition de béton cellulaire [25]

II.4. Fabrication

Il semble que vous vous référiez à la fabrication de produits industrialisés, en particulier de béton cellulaire. Les produits industrialisés sont fabriqués en utilisant des matières premières stables et en automatisant le processus de fabrication. Le béton cellulaire est fabriqué dans des unités de production hautement spécialisées et bénéficie d'un contrôle permanent de la qualité, à la fois interne et externe, pour garantir des produits de haute qualité et constants.



CHAPITRE II Présentation du béton cellulaire

L'utilisation de matières premières stables signifie que les composants utilisés dans la fabrication du béton cellulaire sont sélectionnés pour leur qualité et leur uniformité. Cela permet d'obtenir des résultats constants et fiables dans la production.

L'automatisation de la fabrication signifie que les étapes du processus de production sont réalisées par des machines et des équipements spécialisés, ce qui réduit les erreurs humaines et améliore l'efficacité. L'automatisation permet également de maintenir des normes de production élevées et constantes.

Les unités de production hautement spécialisées sont des installations conçues spécifiquement pour la fabrication de béton cellulaire. Elles sont équipées de machines et de technologies avancées pour assurer une production efficace et de haute qualité.

Le contrôle permanent de la qualité, à la fois interne et externe, est essentiel pour garantir la conformité aux normes et aux spécifications. Des tests et des inspections sont effectués tout au long du processus de fabrication pour vérifier la qualité des produits. Ces contrôles peuvent être réalisés par le fabricant lui-même ainsi que par des organismes externes indépendants pour une assurance supplémentaire de la qualité.

En résumé, l'utilisation de matières premières stables, l'automatisation de la fabrication, les unités de production hautement spécialisées et le contrôle permanent de la qualité sont des éléments clés pour assurer une qualité constante et élevée dans la fabrication de produits industrialisés tels que le béton cellulaire [27].

❖ **Le processus de fabrication du béton cellulaire comprend plusieurs étapes**

- Préparation, dosage et malaxage des matières premières : Les matières premières telles que le sable, la chaux, le ciment, la poudre ou la pâte d'aluminium et l'eau sont préparées, dosées selon des proportions spécifiques, puis mélangées pour former une pâte homogène.
- Préparation des moules : Les moules utilisés pour donner forme au béton cellulaire sont préparés et prêts à recevoir la pâte.
- Coulée, levée et durcissement de la pâte : La pâte de béton cellulaire est versée dans les moules préparés. Pendant cette étape, l'agent d'expansion (poudre ou pâte d'aluminium) réagit avec les autres composants pour créer des bulles d'air dans la pâte, formant ainsi la structure alvéolaire caractéristique du béton cellulaire. La pâte est ensuite laissée à durcir pour obtenir la solidité requise.
- Découpage et profilage des produits : Une fois durci, le bloc de béton cellulaire est découpé en différentes dimensions selon les besoins. Les produits finis peuvent être profilés pour obtenir des formes spécifiques.



CHAPITRE II Présentation du béton cellulaire

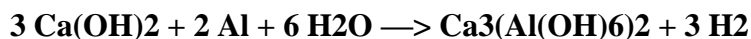
- Passage en autoclave : Les produits en béton cellulaire sont placés dans un autoclave où ils subissent un traitement sous pression d'environ 10 bars et une température d'environ 180°C pendant 10 à 12 heures. Ce processus permet d'améliorer les propriétés du béton cellulaire en favorisant la réaction chimique et en renforçant sa structure.
- Palettisation et houssage plastique : Une fois les produits sortis de l'autoclave et refroidis, ils sont palettisés pour faciliter le stockage et le transport. Ils sont ensuite recouverts d'une housse plastique de protection.

Le mode de fabrication en autoclave permet de reproduire la structure moléculaire de la tobermorite, un minéral naturel à la structure similaire au béton cellulaire. L'ajout de poudre ou de pâte d'aluminium dans la pâte permet de créer la structure alvéolaire caractéristique en agissant comme agent d'expansion [25].

Ce processus de fabrication en autoclave présente plusieurs avantages. Il permet aux usines de fonctionner en circuit fermé, ne rejetant aucune substance liquide ou solide polluante dans l'eau ou le sol. De plus, les déchets générés lors de la production sont valorisés à 90% et sont inertes. Seule de la vapeur d'eau est libérée dans l'atmosphère [26].

La fabrication du béton cellulaire nécessite également peu d'énergie, et une partie de celle-ci peut être recyclée pour chauffer les bureaux adjacents aux sites de production. De plus, l'eau utilisée dans le processus peut être réutilisée, ce qui contribue à la préservation des ressources [26].

Les réactions chimiques simplifiées, depuis le mélange des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, sont les suivantes :



$\text{Ca}_5\text{H}_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$ ou $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$ (appellation industrielle) - que les fines parois cellulaires sont empruntées leur grande solidité. Bien que les composants soient les mêmes, le béton cellulaire est un matériau entièrement différent du béton dans lequel, on le sait, le sable ne participe pas à la réaction chimique et donc à la formation des Cristaux. C'est le traitement thermique en autoclave qui confère au béton cellulaire ses propriétés définitives. La variation des masses volumiques s'obtient en adaptant, de façon minutieuse et rigoureuse, le dosage des matières premières. Chaque catégorie massique, possédant ses caractéristiques spécifiques [26].



II.5. Principales utilisations

Pour les blocs non armés : murs porteurs, cloisons non porteuses, murs de refend, cloisons coupe-feu et tous les petits travaux d'aménagement ou de réhabilitation, voir Figure 6.

Pour les éléments armés : le bardage, le compartimentage coupe-feu, les toitures, les planchers, les murs en maison individuelle, voir Figure 7 [20].

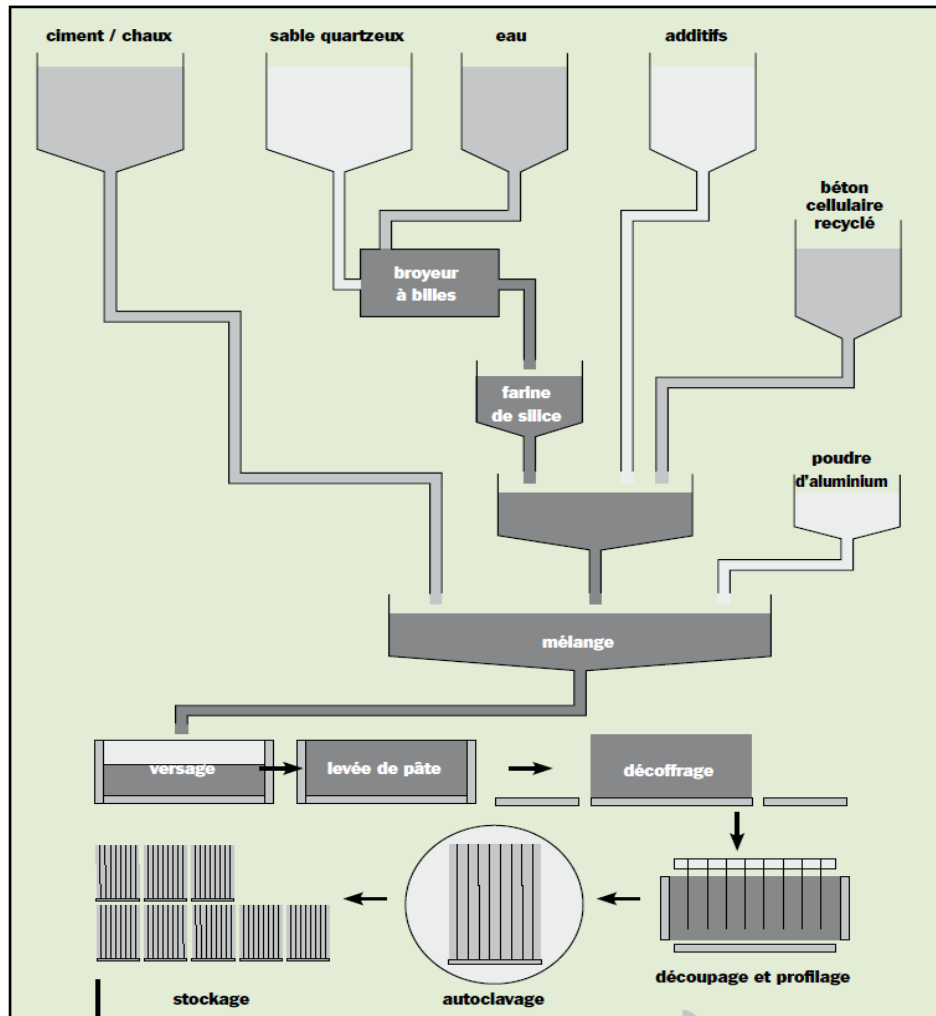


Figure 6 Schéma de fabrication des blocs non armés [21]



CHAPITRE II Présentation du béton cellulaire

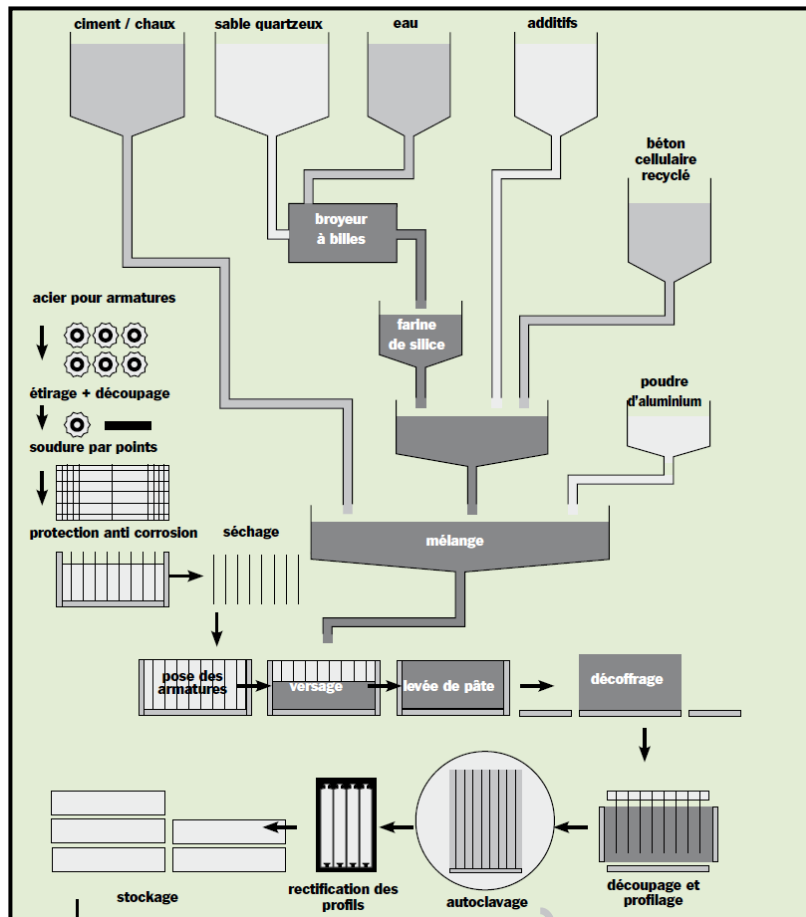


Figure 7 Schéma de fabrication des éléments armés [21]

I.6. Avantage de béton cellulaire

- **Isolation thermique élevée :** Le béton cellulaire a une structure alvéolaire qui lui confère d'excellentes propriétés d'isolation thermique. Il aide à réduire les pertes de chaleur en hiver et à maintenir une température confortable à l'intérieur des bâtiments. Cela peut entraîner des économies d'énergie significatives en réduisant les besoins de chauffage et de climatisation [28].
- **Isolation acoustique :** En raison de sa structure alvéolaire, le béton cellulaire offre également une bonne isolation acoustique. Il absorbe les vibrations sonores et réduit la propagation du bruit, ce qui contribue à créer un environnement intérieur calme et confortable [28].
- **Légèreté :** Comparé à d'autres matériaux de construction, le béton cellulaire est relativement léger. Cela facilite sa manipulation, son transport et sa mise en place sur le chantier. Sa légèreté peut également réduire la charge sur les fondations et les structures porteuses.
- **Résistance au feu :** Le béton cellulaire a une excellente résistance au feu en raison de sa composition minérale. Il ne brûle pas, ne se déforme pas et ne dégage pas de fumée toxique lorsqu'il est exposé à des températures élevées. Cela contribue à la sécurité incendie des bâtiments et peut permettre de gagner du temps précieux lors des évacuations [29].



CHAPITRE II Présentation du béton cellulaire

- **Durabilité** : Le béton cellulaire est un matériau durable et résistant. Il ne se décompose pas, ne se déforme pas et n'est pas attaqué par les insectes ou les rongeurs. Il peut maintenir ses propriétés mécaniques et thermiques pendant de nombreuses années, ce qui réduit les coûts de maintenance à long terme [30].
- **Respect de l'environnement** : La fabrication du béton cellulaire nécessite moins de ressources en comparaison avec d'autres matériaux de construction, et il génère moins de déchets. De plus, en utilisant des matières premières courantes telles que le sable, la chaux et le ciment, il contribue à la valorisation des ressources naturelles. Le processus de fabrication en autoclave minimise les rejets polluants, ce qui en fait un matériau respectueux de l'environnement [31].

Il convient de noter que les avantages spécifiques du béton cellulaire peuvent varier en fonction de ses applications et des conditions spécifiques du projet. Il est donc important de considérer les caractéristiques individuelles du matériau et de l'adapter aux besoins du projet de construction.

I.7. Inconvénients de béton cellulaire

Bien que le béton cellulaire présente de nombreux avantages, il présente également certains inconvénients. Voici quelques-uns des inconvénients couramment associés au béton cellulaire :

- **Résistance mécanique plus faible** : Comparé à d'autres matériaux de construction tels que le béton conventionnel ou la brique, le béton cellulaire a une résistance mécanique inférieure. Cela signifie qu'il peut être moins adapté pour des applications où une résistance structurelle élevée est requise, comme les murs porteurs ou les éléments de soutènement [32].
- **Sensibilité à l'humidité** : Le béton cellulaire peut être plus sensible à l'humidité que certains autres matériaux de construction. Une exposition prolongée à l'humidité peut entraîner une dégradation et une réduction des performances du matériau. Par conséquent, une bonne étanchéité et une protection appropriée contre l'humidité sont nécessaires pour maintenir la durabilité du béton cellulaire [33].
- **Limitations de dimensionnement et de formes** : Le béton cellulaire peut avoir des limitations en termes de dimensionnement et de formes. Sa production en blocs prédéfinis peut limiter la flexibilité de conception, en particulier pour des projets nécessitant des éléments architecturaux complexes ou sur mesure [34].
- **Sensibilité aux chocs** : Le béton cellulaire est moins résistant aux chocs que certains autres matériaux. Il peut se fissurer ou se casser plus facilement en cas de chocs ou de charges concentrées. Cela nécessite une manipulation prudente lors de la construction et peut nécessiter des mesures de renforcement supplémentaires dans certaines applications [35].



CHAPITRE II Présentation du béton cellulaire

Il est important de prendre en compte ces inconvénients lors de la sélection et de l'utilisation du béton cellulaire dans un projet de construction. Une évaluation approfondie des exigences spécifiques du projet et une consultation avec des experts peuvent aider à déterminer si le béton cellulaire est le matériau le plus approprié pour répondre aux besoins du projet.

I.8. Conclusion

En conclusion, le béton cellulaire est un matériau de construction utilisant des matières minérales abondantes dans la nature, telles que le sable fin, le ciment, la chaux et des agents expansifs tels que la poudre d'aluminium, l'agent moussant et l'entraîneur d'air.

La fabrication industrialisée du béton cellulaire permet de produire un matériau de construction fini avec des dimensions précises, facile à mettre en œuvre. Ce matériau présente des caractéristiques remarquables : légèreté, isolation thermique et acoustique, ainsi qu'une solidité qui permet la construction d'une grande variété de structures. De plus, il présente une isotropie, c'est-à-dire que ses propriétés physiques et mécaniques sont conservées quelle que soit l'orientation ou les découpes effectuées sur le produit. Ainsi, la structure du matériau est parfaitement homogène.

Le béton cellulaire, à la fois traditionnel et moderne, convient à la plupart des types de construction, que ce soit pour les habitations individuelles ou collectives, ainsi que pour les bâtiments industriels ou tertiaires. Il offre une solution polyvalente pour répondre aux besoins de divers projets de construction.



CHAPITRE III
Analyse et Résultat et discussion

III.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre, en premier lieu, les principales caractéristiques des matériaux utilisés dans notre travail (sables, ciment, chaux, poudre d'alumine, laitier, fibres, soude caustique (NaOH) et Silicate de sodium liquide (NaSiO₄)). Ces matériaux ont fait l'objet des caractérisations physiques. Ensuite, nous exposons les différentes méthodes, outils et procédures de mise en œuvre lors de la réalisation des essais expérimentaux. Nous avons consacré une bonne partie à la préparation des différents bétons (cellulaire témoin, cellulaire fibré, cellulaire de mousse et cellulaire géopolymère) et à la description des essais de caractérisation. Les propriétés à l'état durci ont été testées par un essai de conductivité thermique et la résistance mécanique (à la compression et à la flexion) à 28 jours d'Âge.

III.2. Matériaux et caractéristiques

III.2.1. Sable de dunes

L'analyse granulométrique de sable de dunes d'Oued Souf utilisé présentée graphiquement dans la figure 8.

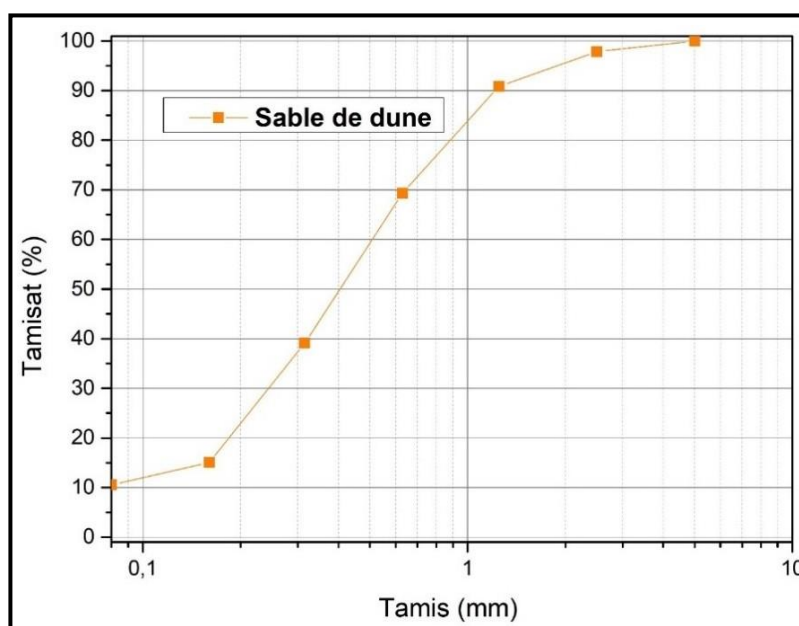


Figure 8 La granulométrie de sable de dunes.

Les principales caractéristiques physiques de sable de dunes sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3 Caractéristiques physiques du sable

Sable de dunes	Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.65
	Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.62
	Module de finesse	2.30
	Equivalent de sable (%)	90

III.2.2. Laitier de haut fourneau (LHF)

Le laitier granulé utilisé (LHF) est un sous-produit d'El-Hadjar Annaba. Il est livré sous forme de sable de fraction 0-5mm. L'analyse granulométrique laser a présenté la taille des fins de l'ajout minéraux dans la figure 9.

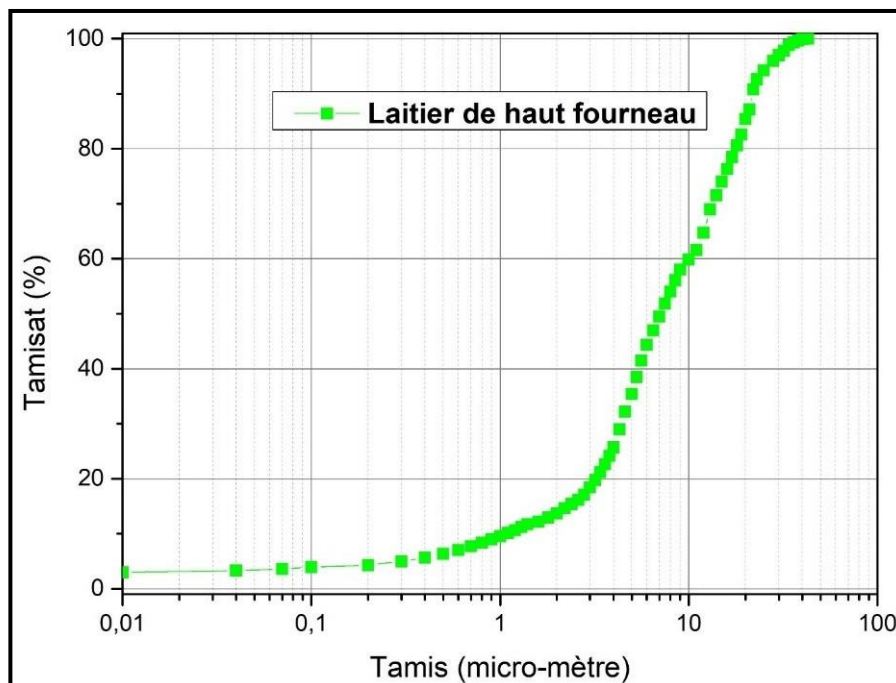


Figure 9 La granulométrie laser du laitier de haut fourneau.

Les principales caractéristiques physiques sont regroupées dans le tableau 4.

Tableau 4 Caractéristiques physiques du laitier de haut fourneau.

Laitier de haut fourneau	Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.95
	Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.86
	Surface spécifique Blain (cm ² /g)	3000

III.2.3 Ciment

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II /A 42.5 NA 442 (MATINE), provenant de la cimenterie de LAFARGE usine de M'sila, conforme de la norme NA 442 :2000. L'analyse granulométrique laser de ciment est présentée dans la figure 10.



CHAPITRE III Résultats et discussion

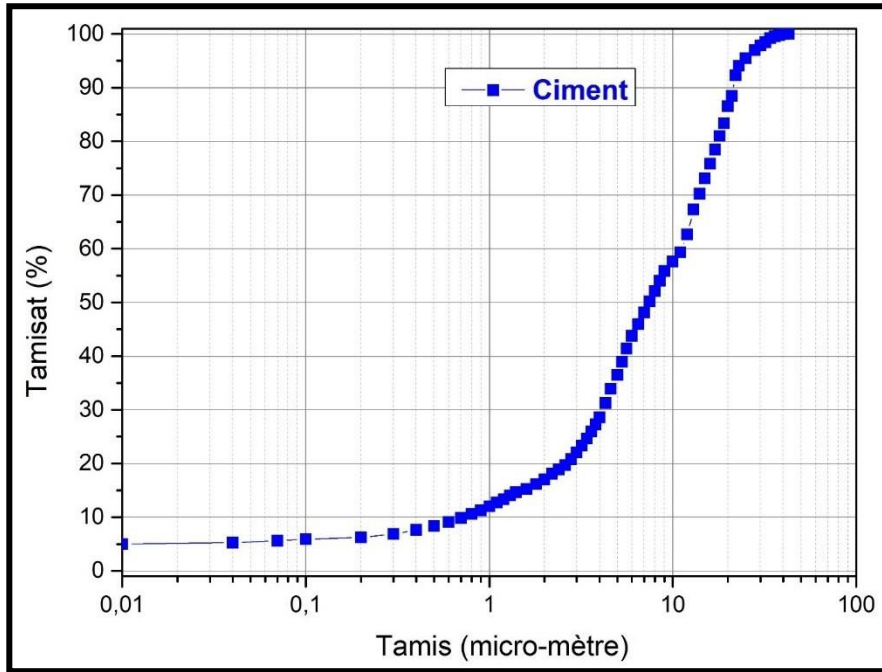


Figure 10 La granulométrie laser de ciment.

Les caractéristiques physiques de ciment sont regroupées dans le tableau 5.

Tableau 5 Caractéristiques physiques de ciment.

Ciment	Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.12
	Masse volumique absolue (g/cm ³)	3.10
	Surface spécifique Blain (cm ² /g)	3200

III.2.4 Chaux

La Chaux utilisée vient de Hasasna, dans la ville de Saida, dans le Nord-Ouest de l'Algérie de couleur blanche est dérivée de calcaire. L'analyse granulométrique laser de la chaux est présentée dans la figure 11.



CHAPITRE III Résultats et discussion

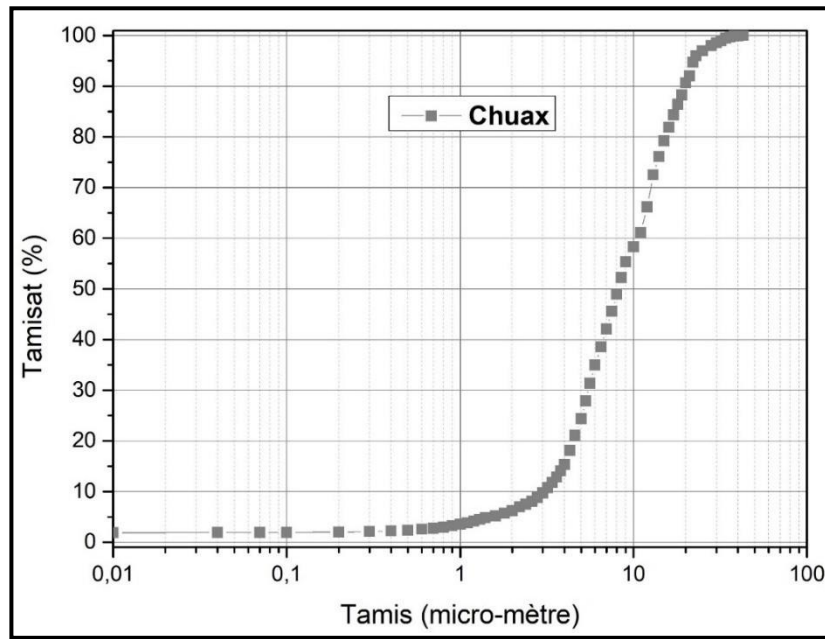


Figure 11 . La granulométrie laser de la chaux

Les caractéristiques physiques de la chaux sont regroupées dans le tableau 6.

Tableau 6 Caractéristiques physiques de la chaux.

Chaux	Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.14
	Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.00
	Surface spécifique Blain (cm ² /g)	3100

III.2.5 Alumine

La poudre d'aluminium utilisée comme agent réactif pour l'expansion du béton confectionné est un aluminium pur à 99%, de granulométrie d'environ 100µm, fabriqué par la société METANOF, notons que la qualité de l'aluminium influe sur la réaction d'expansion (aluminium –chaux) et par conséquent sur la densité du produit fini. L'analyse granulométrie laser de la poudre d'alumine est présentée dans la figure 12.



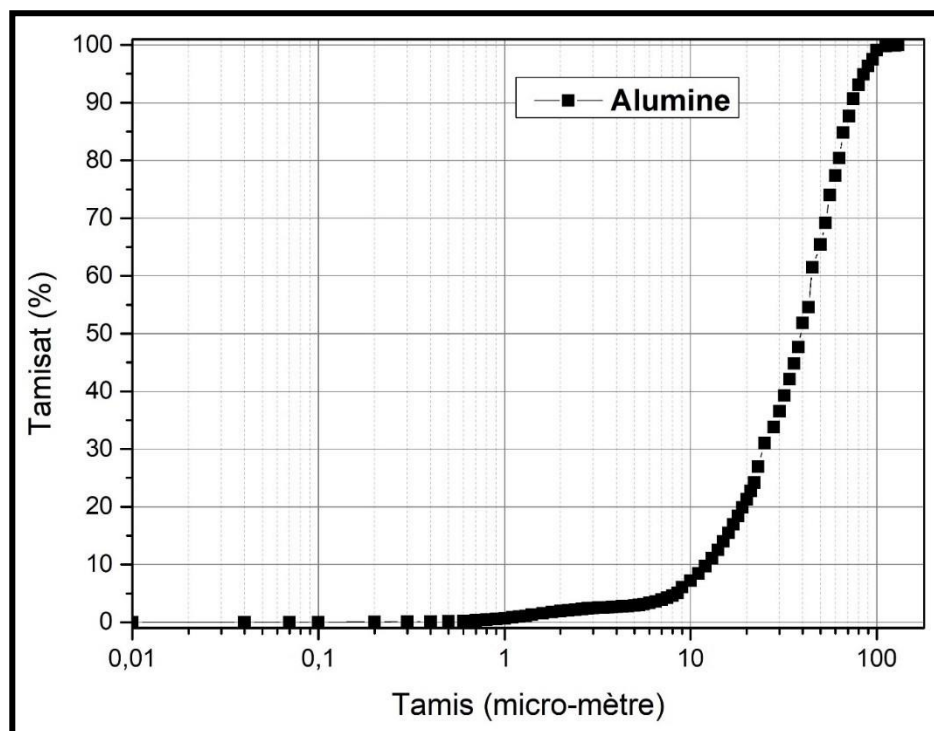


Figure 12 La granulométrie laser de la poudre d'alumine.

Les caractéristiques physiques de la poudre d'alumine sont regroupées dans le tableau 7.

Tableau 7 Caractéristiques physiques de la poudre d'alumine.

Alumine	Masse volumique apparente (g/cm ³)	2.7 g/cm ³
	Masse volumique absolue (g/cm ³)	5.1 g/cm ³
	Surface spécifique Blain (cm ² /g)	3200.85

III.2.6 Fibres polypropylènes (FP)

Les fibres polypropylènes (FP) utilisées dans notre travail sont appelées GRANIFIBRES. C'est un produit fabriqué et commercialisé par la société GRANITEX en Algérie. Ces fibres, obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors du malaxage. Selon le fabricant, ce sont des fibres qui réduisent les fissurations dues au retrait et le faïençage lorsqu'elles sont ajoutées aux mortiers et aux bétons. Elles améliorent la cohésion à l'état frais et augmentent les résistances à l'abrasion et aux chocs. La plage de dosage recommandée du GRANIFIBRES est au maximum 0.6 % volumique (c'est-à-dire au maximum un dosage de 540 g/m³).



CHAPITRE III Résultats et discussion

La figure 13 montre la forme générale des fibres polypropylènes. Les caractéristiques générales des FP utilisées dans notre travail sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 8 Caractéristiques générales de FP utilisée

Caractéristique	Longueur (mm)	Densité	Point de fusion (°C)	Module de Young (kN/mm ²)	Allongement à la rupture (%)	Section de la fibre (µm)
Valeur	12	0.9	150	3	50	30



Figure 13 Forme générale des fibres polypropylènes.

III.2.7 Soude caustique (NaOH)

La Soude caustique utilisée dans notre travail est appelée Sodium hydroxyde en perles, min 99%. C'est un produit fabriqué et commercialisé par la société SPECILAB en Algérie de référence (SP11271S025) et la masse moléculaire est égal 40. La composition de ce produit est présentée dans le tableau 9.

Tableau 9 Composition chimique de la soude caustique.

N°	Paramètre	Unité	Résultat	Observation
1	Teneur en hydroxyde de Sodium	%	99,6	Correct
2	Teneur en carbonate de Sodium	%	0,41	Correct
3	Teneur en Chlorure de Sodium	%	0,002	Correct



CHAPITRE III Résultats et discussion

4	Teneur en Sulfate de sodium	%	0,005	Correct
5	Fer (Fe ₂ O ₃)	%	0,001	Correct
6	Mercure (Hg)	%	0,00002	Correct

III.2.8 Silicate de sodium liquide (NaSiO₄)

Le silicate de sodium utilisé dans cette étude a été fourni par ARES, SIDI AISSA M'SILA est illustré dans la figure 14. Ces propriétés physico-chimiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :



Figure 14 Silicate de sodium (NaOH).

Tableau 10 Caractéristiques chimiques du silicate de sodium (NaOH).

Compositions chimiques	Résultat d'analyse
SiO ₂	29,8
Na ₂ O	14,43
PH	13,01
Densité à 20°C (en g/cm ³)	1,53
Concentration en%	45
R=(SiO ₂)/Na ₂ O	2,06
Degré Baumé	50,2

III.3 La formulation du béton cellulaire

La proportion de matières premières utilisées pour la fabrication des bétons (cellulaire, cellulaire géopolymère, cellulaire fibré et cellulaire de mousse) sont illustrées dans les figures suivantes :



CHAPITRE III Résultats et discussion

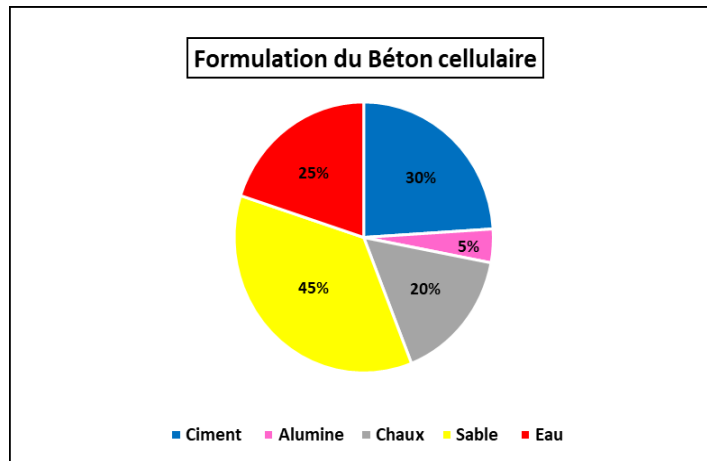


Figure 15 La Proportion massique qui vise à la préparation d'un béton cellulaire.

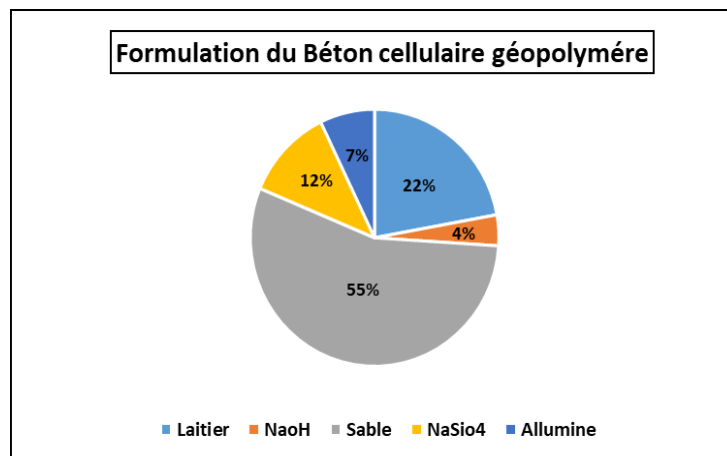


Figure 16 La Proportion massique qui vise à la préparation d'un béton cellulaire géopolymère.

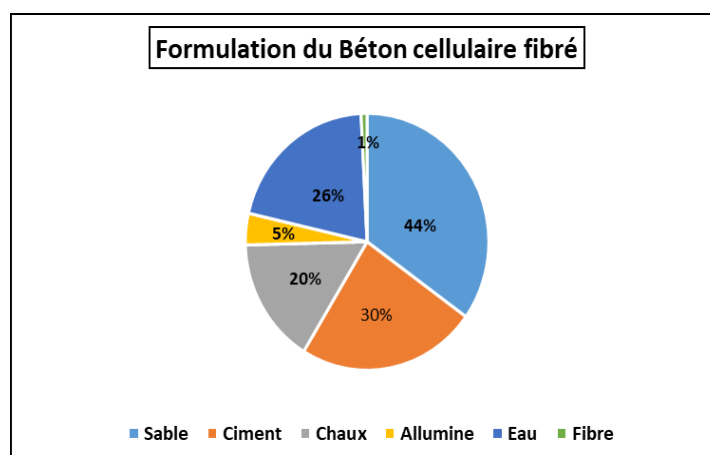


Figure 17 La Proportion massique qui vise à la préparation d'un béton cellulaire fibré.



CHAPITRE III Résultats et discussion

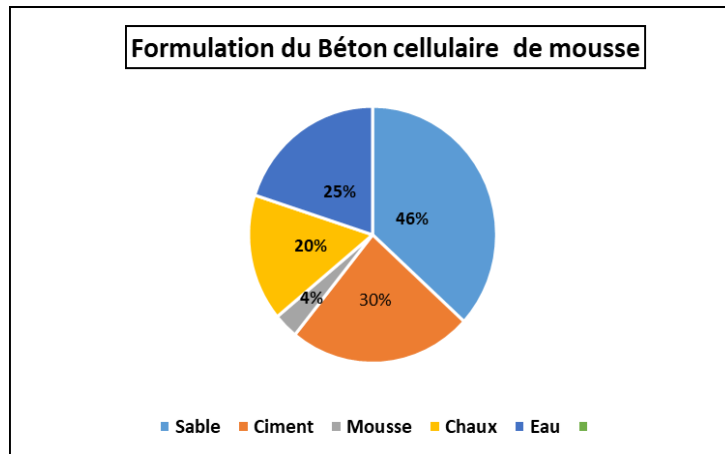


Figure 18 La Proportion massique qui vise à la préparation d'un béton cellulaire de mousse.

III.4 Malaxage de béton cellulaire

Le but de cette expérience est d'homogénéiser le béton et lui donner une bonne cohésion, pour cela on commence à malaxer selon les étapes suivantes :

- ✓ Malaxer pendant 30 s.
- ✓ Verser les constituants dans la cuve.
- ✓ L'eau pendant 2 min, le malaxeur en marche.
- ✓ Mettre la patte dans les moules de $(10*10*10) \text{ cm}^3$.

La figure 19 est illustré la structure du béton cellulaire à l'état frais.

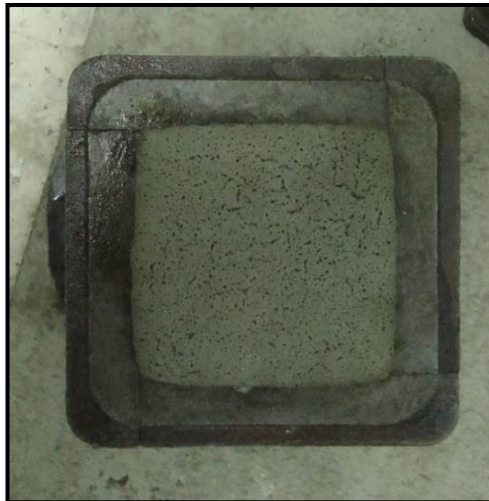


Figure 19 La Structure du béton cellulaire

III.5 Essais et résultats

III.5.1 Résistance à la compression [BS EN 12390-3]

Les échantillons de béton ont été préparés selon et testés à vingt-huit (28) jours. Les valeurs de résistance à la compression obtenues ont été déterminées en prenant la moyenne de trois échantillons (Figure 20). Les tests ont été effectués à l'aide d'une machine de test de compression. La surface d'appui



CHAPITRE III Résultats et discussion

des rouleaux de support et de chargement a été nettoyée avant de placer l'échantillon. Le positionnement de l'échantillon a été effectué avec une charge appliquée sur la surface la plus haute de l'échantillon, coulée dans le moule. On a pris soin de s'assurer que l'échantillon était aligné avec le dispositif de chargement. Le chargement s'est fait progressivement et continuellement jusqu'à ce que le cadran cesse de bouger et que la charge maximale soit enregistrée. La résistance à la compression de l'échantillon a été exprimée comme la charge d'écrasement maximale en Newton (N) divisée par la surface effective de l'échantillon testé en millimètres (mm). La résistance à la compression est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$R_C = F/S \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

R_C : Résistance à la compression (N/mm²).

F : charge appliquée en (N).

S : La section ou bien la surface de l'éprouvette en (mm²).

❖ Résultats et interprétations

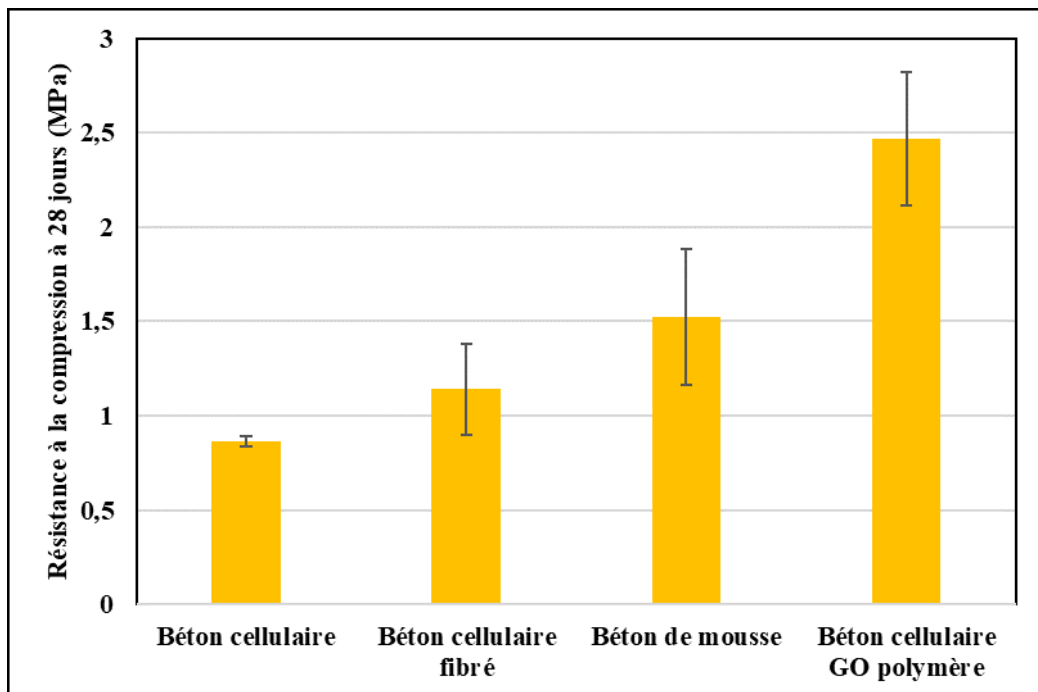


Figure 20 Résistances à la compression des bétons à 28 jours.

Avec une résistance à la compression de 2.45 MPa, le béton cellulaire géopolymère présente la plus haute résistance parmi les échantillons testés. Cela peut être attribué à l'utilisation d'un liant géopolymère, qui offre généralement une meilleure résistance mécanique que les ciments



CHAPITRE III Résultats et discussion

traditionnels. Par conséquent, ce type de béton cellulaire géopolymère peut être préféré lorsque des performances mécaniques supérieures sont requises.

Le béton cellulaire de mousse affiche une résistance à la compression de 1.5 MPa. Bien que cette valeur soit inférieure à celle du béton cellulaire géopolymère, elle reste plus élevée que celle du béton cellulaire fibré et du béton cellulaire classique. La présence de mousse dans ce type de béton contribue à réduire la densité, mais cela peut également affecter la résistance globale du matériau. Le béton cellulaire de mousse peut être adapté aux applications nécessitant une résistance modérée combinée à une faible densité.

Le béton cellulaire fibré présente une résistance à la compression de 1.15 MPa. Bien que sa résistance soit inférieure à celle du béton cellulaire géopolymère et du béton cellulaire de mousse, l'ajout de fibres dans ce type de béton a légèrement amélioré sa résistance par rapport au béton cellulaire classique. Les fibres renforcent la matrice cimentaire et augmentent la résistance à la traction, ce qui peut être bénéfique pour la durabilité et la résistance aux fissures.

Le béton cellulaire traditionnel présente la résistance à la compression la plus basse parmi les échantillons testés, avec une valeur de 0.8 MPa. Cependant, il offre d'autres avantages tels que l'isolation thermique et une faible densité. Le béton cellulaire peut donc être utilisé dans des applications où la résistance structurelle n'est pas la principale préoccupation.

III.5.2 Résistance à la traction par flexion

La résistance à la traction par flexion est mesurée sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $(10 \times 10 \times 40)$ cm³ à raison de trois éprouvettes par composition. Les éprouvettes sont soumises à un essai de flexion trois points (Figure 21) selon les normes NF EN 12390-5. L'essai s'effectue sur une machine automatique de flexion du type " CONTROLS " ayant une capacité maximale 100 kN ; la vitesse de chargement a été réglée à 5 kg par seconde jusqu'à la rupture.

Si $F_{t,f}$ est la charge de rupture de l'éprouvette en traction par flexion, le moment de rupture vaut $F_{t,f} * L/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_{t,f} = 1.5 * F * L / b^3$$

Avec :

L : Longueur entre les axes des deux appuis ;

b : Largeur de la section transversale de l'éprouvette.



CHAPITRE III Résultats et discussion

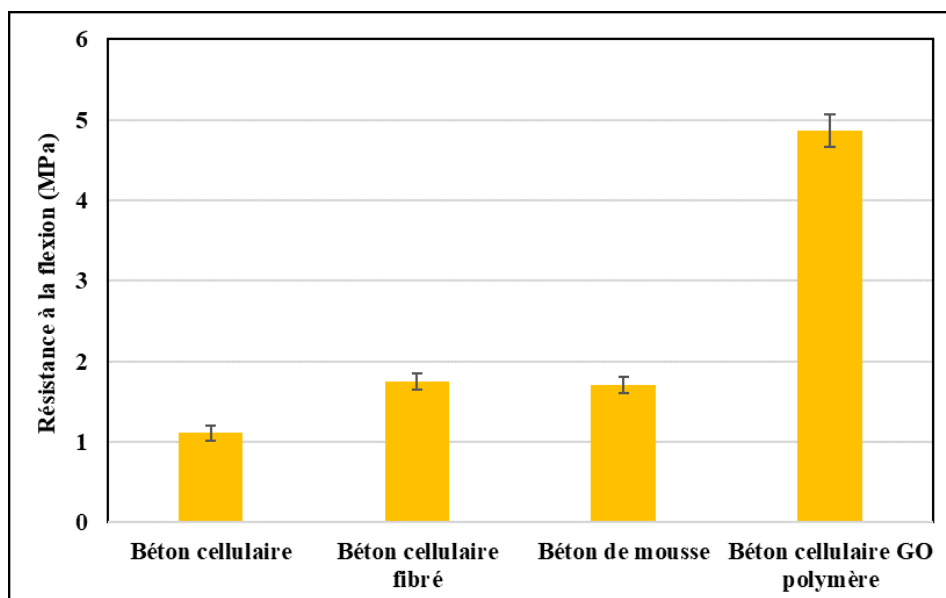


Figure 21 Résistance à la flexion des bétons à 28 jours

Le béton cellulaire géopolymère affiche une résistance à la flexion de 4.8 MPa, ce qui en fait le matériau le plus résistant parmi les échantillons testés. Cette valeur plus élevée peut être attribuée à la nature du liant géopolymère utilisé, qui offre généralement de bonnes performances en termes de résistance à la flexion. Ainsi, le béton cellulaire géopolymère peut être privilégié lorsque des propriétés de flexion supérieures sont nécessaires.

Le béton cellulaire fibré présente une résistance à la flexion de 1.8 MPa, ce qui est plus élevé que celui du béton cellulaire classique et du béton cellulaire de mousse. L'ajout de fibres dans ce type de béton permet de renforcer la matrice cimentaire, ce qui améliore sa capacité à résister à la flexion. Le béton cellulaire fibré peut donc être considéré comme une option intéressante lorsque des propriétés de flexion améliorées sont nécessaires par rapport au béton cellulaire traditionnel.

Le béton cellulaire de mousse présente une résistance à la flexion de 1.7 MPa, ce qui est légèrement inférieur à celui du béton cellulaire fibré. La présence de mousse dans ce type de béton peut affecter sa résistance à la flexion, mais il conserve néanmoins une capacité de flexion raisonnable. Le béton cellulaire de mousse peut être adapté aux applications où une faible densité et une certaine résistance à la flexion sont souhaitées.

Le béton cellulaire traditionnel affiche la résistance à la flexion la plus basse parmi les échantillons testés, avec une valeur de 1.15 MPa. Bien que sa résistance à la flexion soit inférieure aux autres types de béton cellulaire, il peut toujours être utilisé dans des applications où la résistance à la flexion n'est pas un critère essentiel, mais où une faible densité et une bonne isolation thermique sont recherchées.



III.5.3 Conductivité thermique (λ)

De nombreuses méthodes de mesure des caractéristiques thermiques des matériaux s'appuient sur la détermination d'un champ de température dans les échantillons de géométrie connue, en imposant des conditions aux limites constantes ou variables avec le temps.

Les mesures des propriétés thermiques dans notre cas sont effectuées à l'aide d'un instrument appelé le « CT METRE » conformément à la norme NF EN 993-15. C'est un appareillage développé par le CSTB Grenoble. Une sonde à anneau de type $\emptyset 15.R$ (diamètre 15 mm) est choisie pour la détermination des propriétés thermiques du matériau étudié, vu l'avantage de la détermination de la conductivité thermique et la chaleur spécifique. Elle est destinée à être insérée entre deux morceaux plans de l'échantillon en forme prismatique ($5 \times 10 \times 15$) cm^3 (Figure 22). L'essai est réalisé au niveau du laboratoire du centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB) à Alger.



Figure 22 Appareil de mesure CT-Mètre.

La Figure 23 et la Figure 24 présente les résultats obtenus dans cette étude.



CHAPITRE III Résultats et discussion

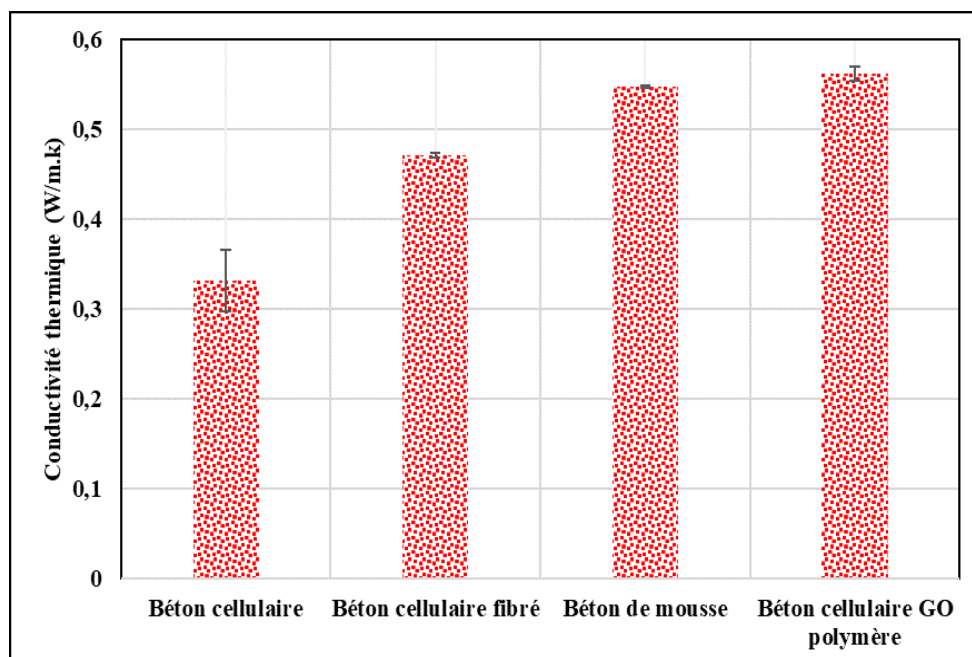


Figure 23 La conductivité thermique des différents bétons étudiés.

Le béton cellulaire présente la conductivité thermique la plus faible parmi les échantillons testés, avec une valeur de 0.33 W/m.k. Cela indique que ce type de béton a une bonne capacité d'isolation thermique, ce qui peut être bénéfique dans les applications où la conservation de la chaleur ou la réduction des transferts thermiques est souhaitée.

Le béton cellulaire géopolymère présente une conductivité thermique de 0.56 W/m.k, ce qui est légèrement plus élevé que celui du béton cellulaire traditionnel. Cependant, cette valeur reste relativement faible, ce qui indique toujours de bonnes propriétés d'isolation thermique pour ce type de béton. Les liants géopolymères utilisés dans ce béton peuvent contribuer à réduire la conductivité thermique par rapport aux ciments traditionnels.

Le béton cellulaire fibré présente une conductivité thermique de 0.47 W/m.k, qui se situe entre celle du béton cellulaire géopolymère et du béton cellulaire de mousse. Ce résultat suggère que l'ajout de fibres dans le béton cellulaire n'a pas un impact significatif sur la conductivité thermique, mais il peut améliorer d'autres propriétés mécaniques telles que la résistance à la flexion.

Le béton cellulaire de mousse affiche une conductivité thermique de 0.54 W/m.k, ce qui est légèrement plus élevé que celui du béton cellulaire fibré. Néanmoins, cette valeur indique toujours une capacité d'isolation thermique raisonnable pour ce type de béton. La présence de mousse dans le béton cellulaire de mousse peut contribuer à réduire la conductivité thermique par rapport au béton cellulaire traditionnel.



CHAPITRE III Résultats et discussion

Dans l'ensemble, tous les types de béton cellulaire présentent des valeurs de conductivité thermique relativement faibles, ce qui en fait des choix attrayants pour les applications nécessitant une isolation thermique efficace.

III.5.4. Chaleur spécifique

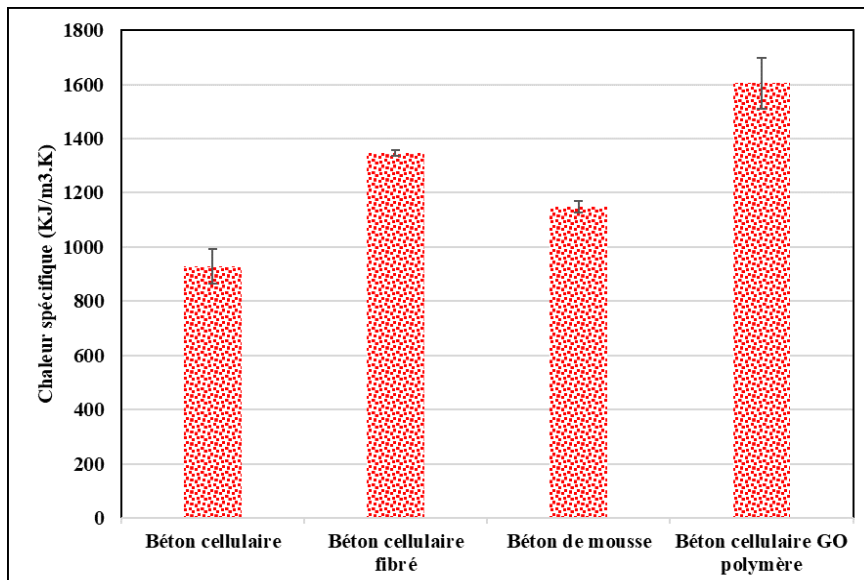


Figure 24 La chaleur spécifique des différents bétons étudiés.

Le béton cellulaire géopolymère affiche une chaleur spécifique de 1605 KJ/m³.k, ce qui en fait le matériau avec la plus haute capacité à stocker la chaleur parmi les échantillons testés. Cela signifie que ce type de béton peut absorber et libérer plus d'énergie thermique par unité de volume par rapport aux autres types de béton cellulaire. Cette propriété peut être bénéfique dans des applications telles que l'isolation thermique ou le stockage d'énergie.

Le béton cellulaire fibré présente une chaleur spécifique de 1323 KJ/m³.k, ce qui est légèrement inférieur à celui du béton cellulaire géopolymère. Cependant, il conserve une capacité de stockage de chaleur raisonnable. L'ajout de fibres dans ce type de béton n'a pas un impact significatif sur la chaleur spécifique par rapport au béton cellulaire classique.

Le béton cellulaire de mousse affiche une chaleur spécifique de 1135 KJ/m³.k, ce qui est inférieur à celui du béton cellulaire fibré et du béton cellulaire géopolymère. Cependant, il conserve une certaine capacité de stockage de chaleur. La présence de mousse dans ce type de béton peut affecter la capacité à stocker la chaleur en raison de sa structure poreuse.

Le béton cellulaire traditionnel présente la chaleur spécifique la plus basse parmi les échantillons testés, avec une valeur de 920 KJ/m³.k. Cela peut être attribué à sa faible densité et à sa structure cellulaire. Bien que sa capacité à stocker la chaleur soit relativement plus faible, le béton cellulaire offre d'autres avantages tels que l'isolation thermique et la légèreté.



CHAPITRE III Résultats et discussion

La chaleur spécifique est une propriété importante pour évaluer la capacité d'un matériau à stocker la chaleur. Les résultats obtenus montrent que le béton cellulaire géopolymère présente la meilleure capacité à stocker la chaleur, suivi du béton cellulaire fibré, du béton cellulaire de mousse et enfin du béton cellulaire traditionnel.

III.6. Conclusion

Ce chapitre s'est concentré sur une étude comparative des différents types de béton cellulaire, à savoir le béton cellulaire traditionnel, le béton cellulaire géopolymère, le béton cellulaire fibré et le béton cellulaire de mousse. Des tests en laboratoire ont été réalisés pour évaluer leurs performances selon différents critères tels que la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la conductivité thermique et la chaleur spécifique.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les caractéristiques distinctives de chaque type de béton cellulaire. En termes de résistance mécanique, le béton cellulaire géopolymère s'est avéré être le plus performant, suivi par le béton cellulaire fibré, le béton cellulaire de mousse, puis le béton cellulaire traditionnel. Cette différence peut être attribuée aux propriétés spécifiques des matériaux utilisés dans la composition de chaque type de béton cellulaire.

En ce qui concerne les propriétés thermiques, le béton cellulaire traditionnel a démontré une excellente capacité d'isolation thermique avec la conductivité thermique la plus basse. Le béton cellulaire géopolymère a également présenté de bonnes performances thermiques, suivi par le béton cellulaire fibré et le béton cellulaire de mousse. Ces résultats indiquent que les différents types de béton cellulaire peuvent être utilisés dans des applications nécessitant une conservation de la chaleur et une réduction des transferts thermiques.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Le présent mémoire de recherche a porté sur l'étude comparative de différents types de béton cellulaire : béton cellulaire, béton cellulaire géopolymère, béton cellulaire fibré et béton cellulaire de mousse. Des essais ont été réalisés en laboratoire afin d'évaluer les performances de ces matériaux de construction selon différents critères, tels que la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la conductivité thermique et la chaleur spécifique.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les caractéristiques distinctives de chaque type de béton cellulaire. En termes de résistance mécanique, le béton cellulaire géopolymère s'est révélé être le plus performant, suivi du béton cellulaire fibré, du béton cellulaire de mousse et enfin du béton cellulaire traditionnel. Cette différence peut être attribuée aux propriétés spécifiques des matériaux utilisés dans la composition de chaque béton cellulaire.

En ce qui concerne les propriétés thermiques, le béton cellulaire traditionnel a démontré une excellente capacité d'isolation thermique avec une conductivité thermique la plus basse. Le béton cellulaire géopolymère a également montré de bonnes performances thermiques, suivi du béton cellulaire fibré et du béton cellulaire de mousse. Ces résultats indiquent que les différents types de béton cellulaire peuvent être utilisés dans des applications où la conservation de la chaleur et la réduction des transferts thermiques sont essentielles. Enfin, la capacité de stockage de chaleur a été évaluée à travers la mesure de la chaleur spécifique. Le béton cellulaire géopolymère a présenté la meilleure capacité à stocker la chaleur, suivi du béton cellulaire fibré, du béton cellulaire de mousse et du béton cellulaire traditionnel.

En conséquence, chaque type de béton cellulaire présente des avantages spécifiques en fonction des exigences de l'application. Le choix du matériau approprié dépendra des critères prioritaires tels que la résistance mécanique, les performances thermiques et la capacité de stockage de chaleur requises. Il est essentiel de prendre en compte ces paramètres lors de la conception et de la sélection des matériaux de construction, afin de garantir des structures durables, efficaces sur le plan énergétique et adaptées aux besoins spécifiques de chaque projet.

Ce mémoire de recherche constitue une contribution significative à la connaissance des propriétés et des performances des différents types de béton cellulaire. Cependant, des études complémentaires pourraient être réalisées pour approfondir certains aspects spécifiques, tels que la durabilité, la résistance aux agents chimiques ou la performance en conditions environnementales extrêmes.



Conclusion générale

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent d'envisager des perspectives prometteuses pour l'utilisation des bétons cellulaires dans le domaine de la construction. Ces matériaux offrent des opportunités d'innovation et de développement durable, en combinant des performances mécaniques améliorées, des propriétés thermiques avantageuses et une réduction de l'empreinte carbone. Ils pourraient ainsi contribuer à la réalisation d'ouvrages plus efficaces, durables et respectueux de l'environnement.

En conclusion, les bétons cellulaires étudiés présentent un fort potentiel pour répondre aux défis actuels de l'industrie de la construction. Leur utilisation peut contribuer à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, réduire les émissions de CO₂ et favoriser une construction plus durable. Il reste encore des opportunités de recherche et d'innovation pour optimiser ces matériaux et explorer de nouvelles perspectives d'application.



Références Bibliographiques



Références

- [1] Madani BEDERINA, " Caractérisation Mécanique Et Physique Des Bétons De Sables A Base De Déchets De Bois", Thèse De Doctorat En Génie Civil, De L'université De Laghouat, 25 Avril 2007
- [2] matériaux de construction d'après-guerre dans l'habitation à bruxelles 1945-1975
- [3] NEVILLE : «Propriétés des bétons». Eyrolles. Paris, 2000
- [4] 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
- [5] G. DREUX & J. FESTA : «Nouveau guide du béton et de ses constituants». 8ème Édition. Eyrolles. Mai 1998
- [6] www.infociments.fr/béton/types/autres-bétons/béton-leger.
- [7] M.SHINK «Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers». Université Laval Québec Avril 2003
- [8] Livre de : Construire des matériaux : www.GCAlgerie.com
- [9] Daniel Montharry (Auteur), Michel Platzer, La technique du bâtiment tous corps d'état Relié, Éditions du Moniteur, 2014
- [10] Jean-Michel Torrenti , Laetitia D'Aloia-Schwartzentruber, Le grand livre des bétons, Connaissances et pratiques - Avancées environnementales - Réglementation et cadre normatif, Éditions du Moniteur, 2014
- [11] Chapes et bétons non structurels allégés « Later mix cem classic ».
- [12] « Report on Pervious Concrete » [archive], American Concrete Institute, 2010 (ISBN 9780870313646) Report No. 522R-10.
- [13] <https://blog.teralta-crh.com/beton-drainant-reunion>
- [14] Pervious Concrete Pavement An Overview [archive]
- [15] SOTEHI. N, Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation, mémoire de thèse, université Constantine, 2010
- [16] NF EN ISO 9229 Septembre 2007, Isolation thermique - Vocabulaire
- [17] NF EN 206 Novembre 2014, Béton - Spécification, performances, production et conformité
- [18] https://fr.wikipedia.org/wiki/Béton_de_granulats_légers



- [19] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/granulats-legers>
- [20] Collectif syndicat national des fabricants de béton cellulaire, construire en béton cellulaire, Editeur Eyrolles 2011, page 14-15.
- [21] Jos Cox, Albert Ingelaere, Jacques Sizaire, Pascal Meulders, Elly Van Overmeire : Le béton cellulaire matériau d'avenir, Belgique, fédération Belge du béton cellulaire (FeBeCel). Année non notée sur le document.
- [22] SAITI Issam Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable d'une de la région de GHARDAIA, Mémoire de magister, université d'Ouargla 2014, 90 pages.
- [23] http://www.ciment.wikibis.com/beton_cellulaire.php, dernière visite le 21/01/2018.
- [24] R. BELOUETTAR J.R. KLEPACZKO, M.T. ABADLIA, Etude du comportement mécanique du beton cellulaire autoclave produit en Algérie, Sciences & Technologie – N°18, Décembre (2002), pp. 49-54.
- [25] UNTEC, Mémento technico-économique du béton cellulaire 2012, syndicat national des fabricants de beton cellulaire, page 6.
- [26] Le Béton Cellulaire Matériau d'Avenir 119 pages
- [27] Construire en béton cellulaire (SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS DE BÉTON CELLULAIRE)
- [28] "Thermal Performance of Autoclaved Aerated Concrete Walls" - Étude publiée dans le journal Energy and Buildings. Cette étude évalue les performances thermiques du béton cellulaire autoclavé et démontre son excellente capacité d'isolation thermique.
- [29] Fire Performance of Autoclaved Aerated Concrete Walls" - Rapport technique de l'Institut de recherche du bâtiment du Canada. Ce rapport évalue la résistance au feu des murs en béton cellulaire autoclavé et démontre leur excellente performance dans des conditions d'incendie.
- [30] "Durability of Autoclaved Aerated Concrete: A Review" - Revue de littérature publiée dans le journal Construction and Building Materials. Cette revue examine la durabilité du béton cellulaire autoclavé et met en évidence sa résistance à la dégradation, aux attaques biologiques et aux facteurs environnementaux.
- [31] Environmental Analysis of Autoclaved Aerated Concrete Production" - Étude comparative publiée dans le journal Resources, Conservation and Recycling. Cette étude évalue l'impact environnemental de la production de béton cellulaire autoclavé et conclut qu'il a un potentiel élevé en termes de durabilité environnementale
- [32] Mechanical Properties of Autoclaved Aerated Concrete: A Review" - Article publié dans le Journal of Building Engineering. Cette revue examine les propriétés mécaniques du béton cellulaire autoclavé



et met en évidence sa résistance mécanique relativement faible par rapport à d'autres matériaux de construction.

[33] "Moisture Transport and Storage Properties of Autoclaved Aerated Concrete" - Étude publiée dans le journal *Construction and Building Materials*. Cette étude analyse la sensibilité à l'humidité du béton cellulaire autoclavé et démontre qu'il peut absorber et retenir l'humidité, ce qui peut affecter ses performances et sa durabilité.

[34] "Architectural Applications of Aerated Concrete in Spain: Current Use and Future Possibilities" - Article publié dans le journal *Materials and Structures*. Cet article discute des limitations du béton cellulaire en termes de dimensionnement et de formes, notamment en ce qui concerne les éléments architecturaux complexes et les designs personnalisés.

[35] "Behaviour of Autoclaved Aerated Concrete Structures Subjected to Impact Loading" - Article publié dans le journal *Materials and Structures*. Cette étude examine la sensibilité du béton cellulaire autoclavé aux chocs et aux charges concentrées, mettant en évidence sa susceptibilité aux dommages en cas de chocs violents.

[36] <https://www.google.com/-des-blocs-en-beton-cellulaire-a-la-fois-porteurs-et-isolants-une-petite-revolution->.



