



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

Thème

Etude des caractéristiques physiques et mécaniques du béton cellulaire

Déposé le : 04/06/2024

Par

ABOULHACENE HACEN CHADLI et KHIAT ZAKARIA

Le jury composé de :

Mr NESSIL ABDELHAMID

MAA

Univ Ghardaia

Président

Mr SALHI Aimad

MAA

Univ Ghardaia

Examinateur

Dr. CADY Mokhtaria

MCA

Univ Ghardaia

Encadreur

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce travail. Louange et grâce à Lui.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance et notre gratitude sincère à nos encadrants, Dr. Cady Mokhtaria, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont fourni des informations comme le professeur Amire et le responsable du laboratoire, pour leur aide précieuse dans la réalisation de cette recherche.

Deuxièmement, je remercie les membres du jury qui m'ont honoré en acceptant d'évaluer ce travail. Il est certain que leurs remarques et leurs conseils seront d'une grande utilité.

Nous associons à ces remerciements tous nos enseignants du département des Génie Civile et toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin, dans la réalisation de ce modeste travail.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenus.

Si vous avez besoin de modifications supplémentaires ou d'informations supplémentaires, n'hésitez pas à le faire savoir!

ملخص

يهتم البحث بدراسة مواد البناء التي أنشأت خصيصا للحفاظ على البيئة وهي بالطبع ذات كفاءة عالية من حيث الخفة و العزل الحراري الذي بدوره يساهم في تطوير المباني الاقتصادية التي توفر من استهلاك الطاقة. تجتمع هذه الخصائص لمواد البناء الحديثة للاستدامة البيئية في الخرسانة الخلوية التي وقع اختيارنا عليها كنموذج للدراسة المخبرية. تعتبر الخرسانة الخلوية مادة بناء اقتصادية بامتياز اذ تتكون من مواد محلية متوفرة ومواد معادة التدوير. تتكون الدراسة من جزئين: جزء نظري و جزء تطبيقي، يتمثل الجزء النظري في تقديم الخرسانة الخلوية من حيث المكونات وطريقة الصنع و كذلك الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية. وكذا الدراسات السابقة التي سبق لها دراسة هذه الخرسانة من عدة نواحي علمية، اما الجزء التطبيقي سيتم ادراج مادة بناء " البوليسترين " بنسب معينة لاجراء تراكيب عديدة للخرسانة الخلوية ثم اخضاعها للتجارب المخبرية لمراقبة الخصائص الفيزيائية والخصائص الميكانيكية لها. ستكون النتائج المتحصل عليها مرجعا علميا هاما لمعرفة مدى فاعلية إضافة مادة " البوليسترين " على خصائص مواد البناء الفيزيائية والميكانيكية التي تزيد من توسيع مجالات استعمالها والتي تعتبر مادة اقتصادية بامتياز خاصة انها تتميز بخفة الوزن والعزل الحراري التي تضاعف من خفة وزن المنشآت التي تؤثر إيجابا على الهيكل وتساهم في اقتصاد الطاقة المستهلكة.

الكلمات المفتاحية:

الخرسانة الخلوية، البوليسترين، إيكولوجية، اقتصادية، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكانيكية.

Résumé

Cette recherche s'intéresse à l'étude des matériaux de construction spécialement créés pour préserver l'environnement et qui sont très efficaces en matière de légèreté et d'isolation thermique, ce qui contribue à son tour au développement de bâtiments économiques qui économisent la consommation d'énergie. Ces propriétés des matériaux de construction modernes se combinent dans le béton cellulaire que nous avons choisi comme spécimen d'étude expérimentale. Le béton cellulaire est un matériau de construction économique et écologique, composé de matériaux locaux disponibles et des matériaux recyclés. Notre étude se compose de deux parties : une partie théorique et une partie pratique, la partie théorique exhibe les composants et de méthode de fabrication du béton cellulaire ainsi ces propriétés physiques et mécaniques. Ainsi que des études antérieures qui ont étudiés ce béton, la partie pratique sera l'introduction du " polystyrène " comme matériau de construction avec certains pourcentages, puis effectuer de nombreux essais sur le nouveau béton cellulaire, après et on vérifie leurs propriétés physiques et mécaniques.

Les résultats obtenus seront une référence scientifique faisable pour déterminer l'efficacité de l'ajout de polystyrène aux propriétés des matériaux de construction physiques et

mécaniques qui élargissent leur domaine d'utilisation, il est considéré comme un matériau économique par excellence en particulier il est léger avec une bonne isolation et thermique ; ce qui participe à la légèreté des constructions qui affectent positivement à la structure et contribuent à l'économie d'énergie consommée

Mots clés :

Béton cellulaire, polystyrène , l'écologiques, l'économie, propriétés physiques, propriétés mécaniques.

Symboles clés

λ : Conductivité thermique

RC : résistance à la compression (MPa)

RF : Résistance à la traction par flexion (MPa)

Fmax : force à la traction par flexion ou à la compression

L : Longueur de la poutre du moule placée entre les appuis (m)

b : Largeur de la poutre (m)

h : Hauteur de la poutre (m)

ρ : La masse volumique absolue (kg/m³)

d : La densité

BT : Béton témoin

C : chaleur spécifique en J/ (kg.K)

M : Masse

BTL : Béton témoin avec 15 % laitier

BSBL : Béton à base de sable fin avec 15% laitier

BTLD : Béton à base de sable mixte avec 50 % laitier

BTLD : Béton à base de sable mixte avec 75% laitier

P : polystyrène

V : la vitesse unité (km/s)

T : Temp (ms)

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : PRESENTATION DU BETON CELLULAIRE

I. Introduction	1
I.1 Historique	1
I.2.Définition	1
I.3 composition	2
I.4 La structure	3
I.5 les caractéristiques mécanique	5
I.5.1 Résistance à la compression	5
I.5.2 La résistance à la traction	7
I.5.3 Resistance aux agents chimiques du béton cellulaire	7
I.5.4 Résistance au gel et dégel	8
I.6 les caractéristiques physique	8
I.7.1 La densité	8
I.6.2 Absorption.....	9
I.6.3 Conductivité thermique	10
I.6.3.1 Valeur du coefficient de conductibilité thermique λ pour les murs en béton cellulaire	10
I.6.4 Résistance au feu	11
I.6.5 Légèreté.....	11
I.6.6 conductivité Acoustique	12
I.6.7 Utilisation	12
I.7 Fabrication	12
I.8 Domaine d'utilisation	14
I.9 Les avantages des bétons légers	15
I.9.1. Avantages de légèreté :	15
I.9.2 Avantages de mise en œuvre :	15
I.9.3. Avantages économiques :	15
Conclusion.....	16
Chapitre II : Etat de l'art.....	17
Introduction	18
II.1 Mémoire de master	18
II.1.1 Mémoire de master	18
II.1.1.1 Les résultats	19

Table des matières

II.1.1.1.1 Etude mécanique.....	19
II.1.1.1.2 Etude physique.....	21
II.1.2 Mémoire de master .	22
II.1.2.1 Les résultats	24
II.1.2.1.1 Etude mécanique.....	24
II.1.2.1.2 Etude physique.....	25
II.1.3 Mémoire de master .	26
II.1.3.1 Les résultats	26
II.1.3.1.1. Etude mécanique.....	26
II.1.3.1.2 Etude physique.....	28
II.2 Etude de laboratoire	31
II.2.1 Etude de laboratoire I	31
II.2.1.1 les résultats.....	31
II.2.1.1.1 Etude mécanique.....	31
II.2.2 Etude de laboratoire II .	32
II.2.2.Les résultats	33
II.2.2.1.1 Etudes mécanique	33
Conclusion.....	34
Chapitre III Étude expérimentale	35
Introduction	36
III.1 La formulation des bétons	36
III.1.1 Sable	36
III.1.1.1 L'analyse granulométrie par tamisage	36
III.1.2 Eau	36
III.1.3 ciment	36
III.1.3.1 Propriétés physiques	37
III.1.3.2 Propriétés mécaniques	37
III.1.3.3 Analyses chimiques	38
III.1.4 Chaux	38
III.1.5 Gypse	39
III.1.6 Billes de polystyrène	39
III.1.7 poudre d'aluminium	39
III.2.1 Elaboration de béton cellulaire	39
III.3 Méthodes expérimentales	40

Table des matières

III.3.1 Mise en œuvre	40
III.4 Étapes de la formation du béton cellulaire avec différentes proportions de polystyrène.....	44
III.5 Analyse des résultats de la masse avec divers taux de polystyrène.....	45
III.6 Caractéristiques mécaniques et physique du béton cellulaire	46
III.6.1 masse volumique	46
III.6.1.1 béton cellulaire	46
III.6.1.2 La masse volumique et densité de chaque composant du béton cellulaire	48
III.6.1.3 La densité du béton cellulaire	48
III.6.2 Essais mécaniques :	52
III.6.2.1 Essais de résistance à la flexion :	52
III.6.2.2 Essais de résistance à la compression.....	57
III.7 Caractéristiques thermiques	61
III.8 Caractéristiques phonique	62
III.8.1 Nous avons enregistré à 0 %	62
III.8.2 Nous avons enregistré à 0.2%	62
III.8.1 Nous avons enregistré à 0.5%	62
III.8.1 Nous avons enregistré à 1%	63
Conclusion	66
Conclusion générale.....	67
Perspectives de recherches	71
Références bibliographiques	74

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : PRESENTATION DU BETON CELLULAIRE

Figure I.1: La composition du béton cellulaire.....	3	
Figure I.2 : Structure du béton cellulaire	4	
Figure I.3: Répartition des cellules en fonction de leur diamètre	4	
Figure I.4: Correspondance entre le volume de la matière première et le volume du béton cellulaire	5	
Figure I.5: Le transfert de contraintes dans le béton cellulaire	6	
Figure I.6: Absorption capillaire pour différents matériaux	10	
Figure I.7 : résistance au feu	11	
Figure I.8 : légèreté du béton cellulaire	12	
Chapitre II Etat de l'art		
Figure II.1 : La variation de la résistance à la compression en fonction de taux de laitier (chaux commerciale).....	20	
Figure II.2: La variation de la résistance à la compression en fonction de taux de laitier (chaux déchet)	20	
Figure II.3 : La variation de la résistance à la compression en fonction de taux de laitier (chaux déchet)	21	
Figure II.4: comparaison de la résistance à la comparaison.....	25	
Figure II.5: Comparaison de la Conductivité thermique	26	
Figure II.6 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de sable préparé (oued souf) a 28 jours.	27	
Figure II.7: Évolution de la résistance à la compression en fonction du sable concassé préparé à 28 jours.....	28	
Figure II.8: La conductivité thermique du béton cellulaire à base des deux types de sable préparés sans adjuvant	29	
Figure II.9: La conductivité thermique du béton cellulaire à base des deux types de sable préparés avec adjuvant.....	30	
Figure II.10 : Essais de flexion 3 points et résistance à la traction par flexion du béton mousse.	31	
Figure II.11 : La variation de la résistance à la compression du béton mousse en fonction du volume des éprouvettes d'essai.....	32	
Chapitre III : Étude expérimentale		35
Figure III.1 : sable utilisé	36	
Figure III.2: Ciment MATINE de Lafarge (photo prise du site lafarge.dz)	37	

LISTE DES FIGURES

Figure III.3 : Plâtre utilisé	38
Figure III.4: Billes de polystyrène	39
Figure III.5: Balance électronique.....	40
Figure III.6 : : Malaxeur normalisé pour pâte utilisé	41
Figure III.7 : Moules utilisés	42
Figure III.8 : appareil à choc de mortier.....	42
Figure III.9 : La chambre humide utilisée.....	43
Figure III.10 : La table utilisée pour les étapes du processus de préparation l'échantillon .	45
Figure III.11 : Des histogrammes des masses volumétriques en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 7	46
Figure III.12 : Des histogrammes des masses volumétriques en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 28	47
Figure III.13 : Des histogrammes des masses volumétriques en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 56	47
Figure III.14: Histogrammes de la masses volumiques du béton selon pourcentages de polystyrène, jour 7.28. 56.....	48
Figure III.15 : Une courbe graphique des valeurs de densité d'échantillons de béton cellulaire en fonction de différents pourcentages de polystyrène au jour 7.....	49
Figure III.16 : Une courbe graphique des valeurs de densité d'échantillons de béton cellulaire en fonction de différents pourcentages de polystyrène au jour 28.....	50
Figure III.17 : Une courbe graphique des valeurs de densité d'échantillons de béton cellulaire en fonction de différents pourcentages de polystyrène au jour 56	50
Figure III.18: Histogrammes de la densité DU BÉTON selon pourcentages de polystyrène, jour 7.28 56	51
Figure III.19 : Graphiques en barres des variations de la résistance à la traction par flexion en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 7.....	53
Figure III.20 : Graphiques en barres des variations de la résistance à la traction par flexion en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 28	53
Figure III.21 : Graphiques en barres des variations de la résistance à la traction par flexion en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 56.....	54
Figure III.22 : Histogrammes la résistance à la traction par flexion en fonction des pourcentages de polystyrène au jour 7.28. 56.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure III.20 : Un appareil pour mesurer la flexion de l'échantillon.....	56
Figure III.21 : Machine principale complète pour mesurer la compression et la flexion	56
Figure III.22 : Un graphique des valeurs de résistance à la compression en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 7.....	57
Figure III.23 : Un graphique des valeurs de résistance à la compression en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 28	58
Figure III.24 : Un graphique des valeurs de résistance à la compression en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 56	59
Figure III.27 : Histogrammes la résistance à la compression en fonction des pourcentages de polystyrène au jour .7.28.56.....	60
Figure III.25 : Un appareil pour mesurer la compression de l'échantillon.	61
Figure III.26 : Des histogrammes de la vitesse des ondes ultrasonores des échantillons en fonction des différentes proportions de polystyrène	63
Figure III.27 : Appareil utilisé pour mesurer la vitesse du son dans le béton (ULTRASONIC).....	65

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I : PRESENTATION DU BETON CELLULAIRE

Tableau I.1: Résistance à la compression du béton cellulaire selon la densité	6
Tableau I.2: Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion.....	7
Tableau I.3: Critères de classement du béton cellulaire basés sur la masse volumique et la résistance à la compression	8
Tableau I.4: Catégories des blocs.....	9
Tableau I.5 : Valeurs de base	11

Chapitre II :Etat de l'art

Tableau II.1 : les constitutions et les type de béton élaboré dans le premier groupe.....	18
Tableau II.2 : les types des bétons élaborés suivant les pourcentages de sable et de laitier...19	
Tableau II.3 : La formule du béton allégé 1 base	23
Tableau II.4 : La formule du béton allégé 2 base	23
Tableau II.5 : La formule du béton allégé 3 base	23
Tableau II.6 : La formule du béton allégé 3 base	24
Tableau II.7 : The experimental variants.	33
Tableau II.8 : Les propriétés physiques, thermiques et mécaniques des échantillons	33

Chapitre III : Étude expérimentale

Tableau III.1 : Propriété physiques du ciment MATINE (fiche technique).....	37
Tableau III.2 : Analyses chimiques du ciment MATINE (fiche technique).....	38
Tableau III.3 : Fiche technique de plâtre TAOUB MOOL.....	38
Tableau III.4 : Quantités des composants du béton cellulaire pour différentes proportions de polystyrène	40
Tableau III.5 : Évolution de la masse du béton cellulaire en fonction de différents taux de polystyrène	45
Tableau III.6: La masse volumique du béton cellulaire pour différentes proportions de polystyrène.....	46
Tableau III.7 : La masse volumique de chaque composant du béton cellulaire	48
Tableau III.8 : Valeur de densité des échantillons de béton cellulaire dans différents pourcentages de polystyrène.	49
Tableau III.9 : Résultats de la résistance à la flexion pour différentes proportions de polystyrène.	52
Tableau III.10 : Résultats de la résistance à la compression pour différentes proportions de polystyrène.	57

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau III.11 : Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 0% de polystyrène.....	62
Tableau III.12 : Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 0.2% de polystyrène.	62
Tableau III.13 : : Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 0.5%. de polystyrène.....	62
Tableau III.14 Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 1% de polystyrène.....	63

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

Notre planète souffre d'une détérioration écologique intensif, due à plusieurs facteurs tels que ; la production des produits qui détruit la couche d'ozone, ainsi les décharges irrégulières des produits **polluants** nocifs qui menacent la faune et **flore**. Ces actes irresponsables ont des répercussions néfastes sur l'environnement urbain.

D'après les études récentes, les habitations consomment 40 % de l'énergie mondiale, car ils sont responsables de 36 % des émissions de CO₂. Dans ce fait le secteur de la construction a pris engagement de minimiser les productions des matériaux polluantes.

Des solutions innovantes telles que les constructions intelligentes, combinant des techniques respectueuses de l'environnement et une approche axée sur le bien-être des habitants, sont proposées. Les éco-matériaux, comme les granulats issus de plantes végétales, émergent comme des alternatives écologiques aux matériaux de construction traditionnels, souvent énergivores lors de leur extraction et fabrication. Bien que les critères spécifiques pour définir les éco-matériaux ne soient pas encore clairement établis, ces matériaux se caractérisent par leur faible impact carbone, leurs performances hygrothermiques et l'utilisation de matières premières locales.

CHOIX DU SPECIMEN D'ETUDE :

Afin de trouver des solutions écologiques faisables, on a étudié cette problématique, d'une vision matériaux de construction écologique qui participe également à l'économie d'énergie des bâtiments. Et pour le but de répondre aux exigences écologiques qui remédie à notre problématique, on a choisi le béton cellulaire comme spécimen d'étude expérimentale, tandis qu'il constitue un exemple prometteur de nouveau éco-matériaux.

Le béton cellulaire présent plusieurs avantages ; il est léger, solide, il possède aussi à des propriétés d'isolation thermo-acoustique et notamment il est inflammable. Sa production repose sur une synthèse hydrothermale d'un liant à base de silicate de calcium, obtenu à partir d'un mélange de chaux et de silice, avec l'ajout de poudre d'aluminium pour créer une structure alvéolaire.

Depuis les années 1980, les recherches sur les bétons spéciaux, comme le béton cellulaire, ont connu une grande évolution. Avec plus de quatre milliards de mètres cubes de béton coulés chaque année dans le monde, le béton reste le matériau le plus utilisé dans la construction. Malgré sa complexité, il possède des caractéristiques physiques et mécaniques supérieures à de nombreuses roches naturelles. Grâce à ses propriétés spécifiques, le béton

cellulaire ouvre de nouvelles possibilités architecturales, notamment dans les pays en voie de développement où son faible poids et sa résistance sont particulièrement appréciés.

PROBLEMATIQUE :

Notre pays l'Algérie, possède des ressources naturelles excessives comme le calcaire, le sable des dunes, sont des matériaux locaux qui participent dans la fabrication de bétons cellulaires, elles présentent un grand potentiel.

Le béton cellulaire contribue vivement à la valorisation des ressources locales, qui améliorent le confort thermique et par conséquent elles collaborent à la réduction de la consommation énergétique des habitations. De plus, l'incorporation de déchets industriels tels que le laitier et la poudre d'aluminium dans la production de béton cellulaire offrent une solution écologique et économique pour la gestion des déchets.

QUESTION PRINCIPALE :

Notre question principale est la suite :

L'ajout de matériaux légers et recyclés à la composition du béton cellulaire augmente-t-il son impact écologique et économique, comme béton innovant ?

HYPOTHESE :

Pour répondre à notre question de départ, on donne une hypothèse qui reste à vérifier dans le parcours de la présente étude :

• **L'addition du polystyrène comme matériau léger et recyclé au béton cellulaire, peut-être le matériau recyclé qui va répondre aux défis techniques, économiques et environnementaux de notre époque.**

OBJECTIFS :

On vise dans cette étude à améliorer les avantages du béton cellulaire par l'attribution de polystyrène, avec des pourcentages critiquables afin d'atteindre les objectifs suivants:

- « Légèreté accrue du béton cellulaire.
- « Améliorer l'isolation thermo-acoustique du béton cellulaire.
- « Economie d'énergie des bâtiments
- « Renforcer les solutions écologiques.
- « revaloriser des matériaux économiques.

Méthodologie de recherche

Dans la mémoire sur laquelle nous avons travaillé, nous avons adopté à la fois un aspect théorique et un aspect pratique. L'aspect théorique est représenté par le premier et le deuxième chapitre de notre mémoire. Le premier chapitre se concentre sur les aspects définitionnels complets du sujet de la mémoire sur le béton cellulaire, y compris sa définition, ses composants, ses domaines d'application et ses étapes de fabrication, etc. Dans le deuxième chapitre, nous avons mentionné les études antérieures liées au sujet du béton cellulaire. Quant à l'aspect pratique, il est abordé dans le troisième chapitre qui se concentre sur les expériences que nous avons menées en laboratoire concernant les propriétés mécaniques et physiques du béton cellulaire. Nous avons préparé des moules de béton cellulaire auxquels nous avons ajouté du polystyrène en différentes proportions, avec un témoin exempt de polystyrène. Nous avons enregistré les résultats des masses entre le témoin et le béton cellulaire additionné de polystyrène, et nous avons également noté les différences en termes de masse volumique, de densité, de résistance à la compression et de résistance à la traction par flexion, ainsi que la vitesse du son. Cela a permis de comparer le témoin exempt de polystyrène avec les proportions additionnées de polystyrène et d'observer le rôle du polystyrène dans la légèreté, la résistance et sa conductivité sonore.

Chapitre I
PRESENTATION DU BETON
CELLULAIRE

I.1 Introduction

La réduction de la consommation d'énergie dans le domaine de la construction repose principalement sur le choix des matériaux utilisés pour ériger l'enveloppe du bâtiment.

Certains matériaux de construction présentent des propriétés structurelles attrayantes et une excellente durabilité. Toutefois, leur densité élevée les rend couramment utilisés dans la construction. Bien qu'ils offrent de bonnes performances mécaniques, ces matériaux sont moins performants en termes d'isolation thermique.

Pour une isolation thermique efficace, il est recommandé de recourir à des matériaux qui incorporent l'isolant à leur structure, comme le béton cellulaire, le béton allégé, entre autres. Ces matériaux sont à la fois performants et durables.

I.2 Historique

La première découverte, remontant à 1880, est créditée à W. Michaelis. Celui-ci a fusionné un mélange de chaux, de sable et d'eau avec de la vapeur d'eau sous haute pression pour fabriquer des silicates de calcium hydratés résistants à l'eau. La seconde invention porte sur l'expansion des mortiers. En 1889, cette découverte a été attribuée à E. Hoffmann.

En 1924, J.-A. Eriksson, un Suédois, a commencé la production et la commercialisation du béton cellulaire, fabriqué à partir d'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 associé cette Le processus décrit dans le brevet de Michaelis a été utilisé pour traiter à l'autoclave. Enfin, une autre méthode a été utilisée pour produire le béton cellulaire moderne : la production en série d'éléments de différentes tailles, ainsi que d'éléments renforcés avec des armatures métalliques protégées contre la corrosion.

Les pièces sont placées dans le moule avant le versement du matériau). Ainsi, une technique de fabrication a été créée après 1945. Les pièces sont découpées aux dimensions voulues en utilisant des fils d'acier très fins et tendus, ce qui garantit des produits finis très précis [1]

I.3.Définition

Le béton cellulaire est un matériau de construction fabriqué à partir de matières minérales largement disponibles dans la nature. Ses principaux composants comprennent du sable fin, du ciment, de la chaux, et un agent expansif tel que la poudre d'aluminium, un agent moussant, et un entraîneur d'air. [3]

Un matériau moderne, le béton cellulaire, est fabriqué de façon industrialisée, ce qui permet la production d'un matériau de construction fini avec des dimensions précises et facile à mettre en œuvre.

Un matériau robuste, léger et isolant, le béton cellulaire est constitué de nombreuses bulles d'air emprisonnées dans des cellules, ce qui lui confère une légèreté, une isolation thermique et acoustique efficaces, ainsi qu'une robustesse qui le rend adapté pour la construction de divers types de structures.

Un matériau isotrope garde ses propriétés physiques et mécaniques inchangées, peu importe l'orientation ou les découpes effectuées. Ainsi, la structure reste parfaitement homogène. Ce matériau, alliant tradition et modernité, convient à la plupart des projets de construction, qu'il s'agisse de logements individuels ou collectifs, ainsi que d'immeubles industriels ou tertiaires.[1]

I.3 composition

Le béton cellulaire est un matériau de construction léger généralement composé de ciment Portland, d'eau et de vides d'air créés par un agent moussant. La composition du béton cellulaire peut varier en fonction de l'application spécifique et des propriétés souhaitées. Certains additifs souvent employés dans la fabrication du béton cellulaire incluent la poudre d'aluminium, le plâtre calciné, les cendres volantes de charbon, la perlite et la silice fumée. En outre, d'autres substances comme l'argile bentonite et les fibres de polypropylène peuvent être ajoutées pour renforcer la densité et la solidité du béton cellulaire. En outre, il est possible de fabriquer des panneaux composites légers en béton cellulaire en mélangeant des cendres volantes avec du ciment Portland pouzzolanique, des liants et des fibres. L'intégration de techniques d'ingénierie de récupération de chaleur résiduelle peut renforcer la structure interne et protéger les pores imperméables du béton cellulaire.

Les composants principaux du béton cellulaire sont le sable, la chaux, le ciment et l'eau, qui se trouvent tous en grande quantité dans la nature.

Le béton cellulaire associe la chaux et la silice du sable avec de l'eau pour produire des silicates de calcium hydratés (tobermorite). La chaux et le ciment agissent comme des liants dans ce processus.

La fine poudre d'aluminium (environ 50µm), utilisée en très petite quantité (+/- 0,05%), agit comme un levain pendant la fabrication en faisant lever la pâte et en formant des bulles.[2]



Lorsque la pâte durcit, l'hydrogène libéré forme des cellules qui se remplissent d'air.

En général, les matériaux principaux utilisés dans la fabrication se répartissent ainsi :

Environ 65 % de sable de quartz siliceux

Environ 20 % de ciment

Environ 15 % de chaux

Environ 0,05 % de pâte ou poudre d'aluminium

Environ 1 % de gypse

Eau

Ce graphique montre les proportions fondamentales qui composent le béton en fonction des ratios en fonction de la densité requise [4]

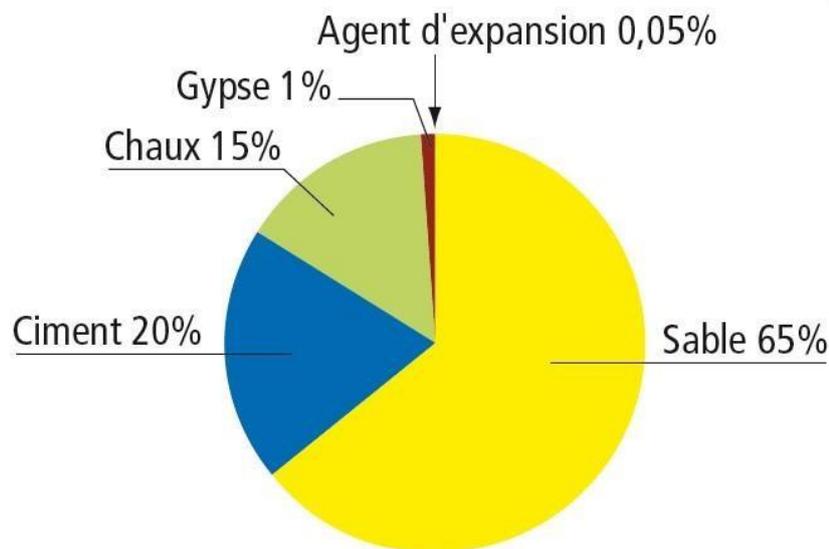


Figure I.1: La composition du béton cellulaire [8]

En conclusion, le béton cellulaire se compose principalement d'air à hauteur d'environ 80% et de matière à hauteur de 20%. Les performances physiques et mécaniques du produit peuvent être ajustées en fonction de la composition pour répondre aux besoins spécifiques. [1]

I.4 La structure :

La spécificité de la composition du béton cellulaire réside dans sa matrice solide microporeuse et macroporeuse. Les micropores se forment suite à l'expansion de la masse due à la libération de gaz et les micropores se manifestent dans les parois entre ces derniers. On appelle micropores les pores dont le diamètre dépasse les 60 μ m [3]

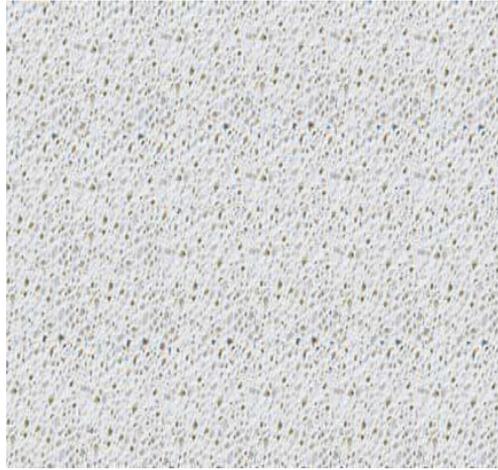


Figure I.2: Structure du béton cellulaire [8]

Le système de porosité du béton cellulaire est également classifié en fonction de la répartition de la taille des pores : il existe des pores artificiels, des pores intraparticulaires et des pores inter-liants, et la répartition de ces pores au sein de la matrice a une influence significative sur les propriétés du béton cellulaire. Des propriétés telles que la résistance, la perméabilité, la diffusivité, le retrait et le fluage du béton cellulaire sont étroitement liées à sa porosité et à la distribution de la taille des pores. Par conséquent, la caractérisation de la structure poreuse est d'une importance capitale, en particulier dans le cas du béton cellulaire où la porosité peut atteindre jusqu'à 80%. La porosité et la distribution de la taille des pores dans le béton cellulaire varient considérablement en fonction de la composition et du mode de durcissement [3]

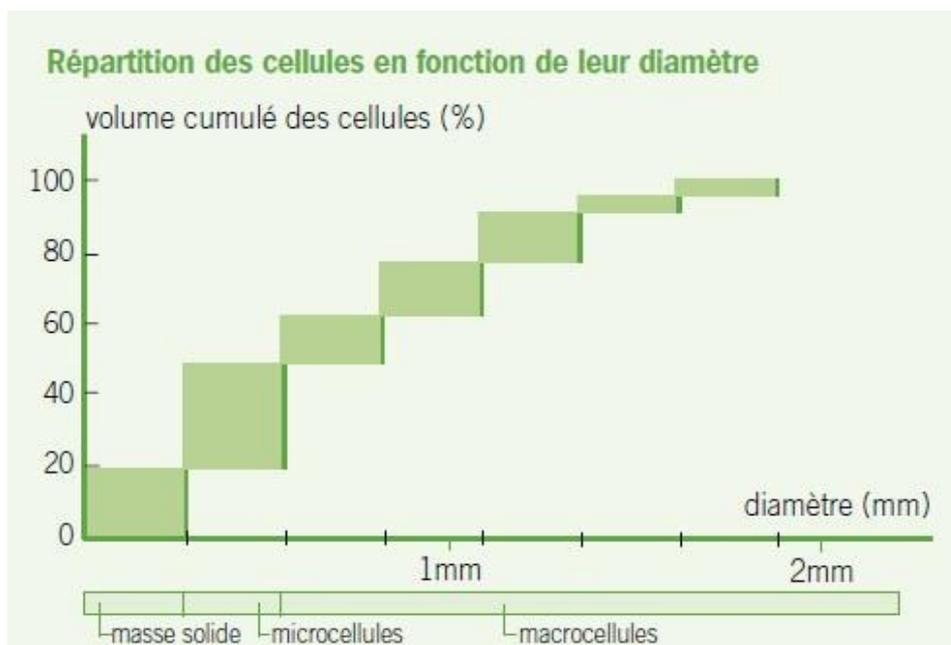


Figure I.3 : Répartition des cellules en fonction de leur diamètre[8]

Ainsi, 1 m³ de matières premières peut contribuer à la création de 5 m³ de matériau de construction en béton cellulaire. Ce grand rendement en termes de matières premières est l'un des principaux avantages écologiques du béton cellulaire [9]

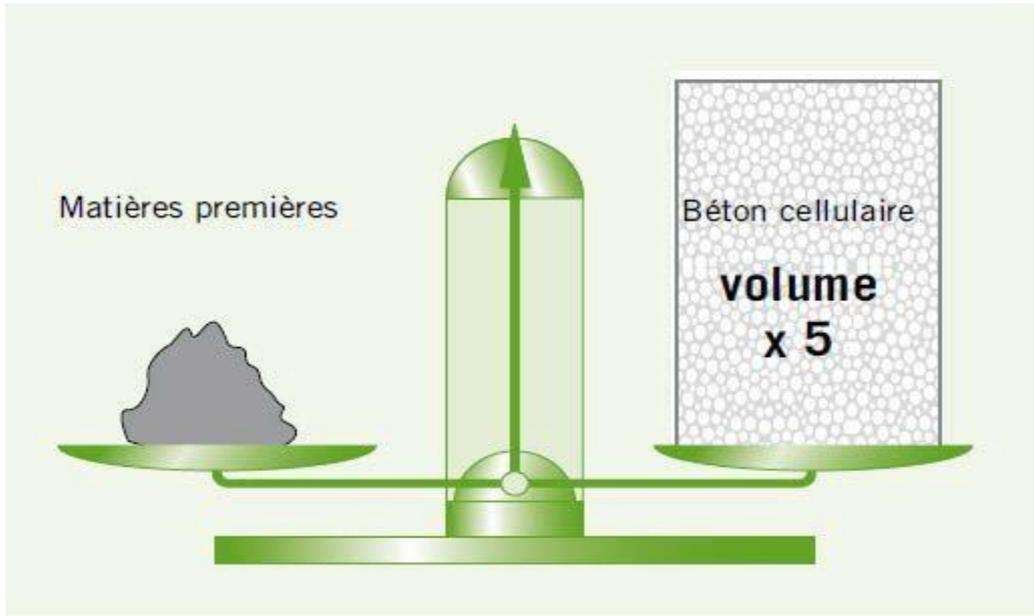


Figure I.4: Correspondance entre le volume de la matière première et le volume du béton cellulaire[8]

I.5 les caractéristiques mécanique :

I.5.1 Résistance à la compression

L'augmentation de la densité entraîne une augmentation de la résistance à la compression du béton cellulaire. Pour une densité sèche de 400 kg/m³, la résistance moyenne a été rapportée à environ 2 MPa, tandis qu'une densité sèche de 700 kg/m³ a montré une résistance d'environ 6 MPa. D'autre part, pour une gamme de densité de 500 à 700, la résistance à la compression variait de 2 à 4 MPa. L'autoclavage améliore d'une manière significative les résistances mécaniques sous des hautes températures et pressions, ce qui donne une forme stable de la tobermorite [8]

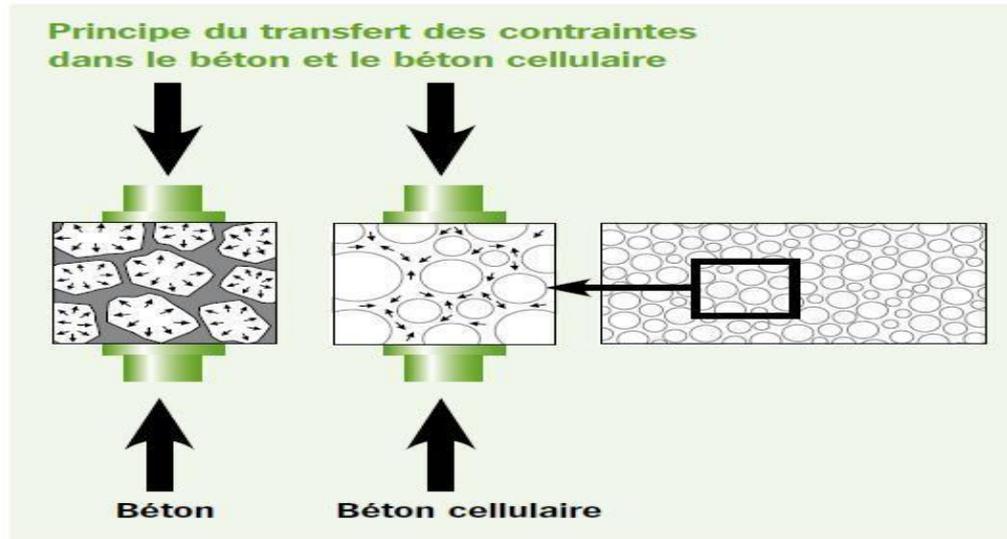


Figure I.5: Le transfert de contraintes dans le béton cellulaire[8]

Tableau I.1: Résistance à la compression du béton cellulaire selon la densité[8]

P kg/m³	350	400	450	500	550	600	650	700	750
RC Mpa	3	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5

La résistance mécanique du BCNA, qui augmente de 30 à 80% entre 28 jours et 6 mois, ne creuse que légèrement après cette période, une part de cette hausse est attribuée au processus de carbonatation. Avec un taux d'humidité de 5 à 10%, la résistance à la compression se voit diminuée de près de 20 à 25% respectivement. Il a été prouvé que la résistance du BCNA et BCA utilisant des cendres volantes en remplacement partiel ou total des fillers amène à un rapport résistance/densité supérieur. La résistance à la compression s'accroît proportionnellement à la densité volume du béton cellulaire comme le stipule les tableaux tirés des normes belges NBN B 21-002 et NBN B 21 004. Les cellules sont plus réduites dans un béton cellulaire à forte densité, accroissant ainsi la largeur de leur paroi, et donc leur résistance. Cette caractéristique majeure est nettement précisée dans le complément de la norme EN 771-4 [3].

I.5.2 La résistance à la traction :

Normalement, la résistance de traction du béton poreux est équivalente à 1/6 à 1/4 de sa résistance à la compression. Un gradient d'humidité dans l'échantillon testé peut considérablement affecter le résultat du test de résistance à la traction. La mesure de cette caractéristique est même plus sensible aux conditions de test que la mesure de la résistance à la compression [5]

Pour le béton poreux, la résistance caractéristique à la traction pure est de 12% de la résistance à la compression ($R_t = 0,12 R_c$). La résistance caractéristique à la traction de flexion est de 22% de la résistance à la compression : $R_t = 0,22 R_c$ (prEN 12602), les valeurs de la résistance à la traction de flexi

Tableau I.2: Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion [8]

Classe	Rt (Mpa)
f2	0.44
f3	0.66
f4	0.88
f5	0.10
f6	0.32

I.5.3 Resistance aux agents chimiques du béton cellulaire :

La résistance du béton cellulaire aux agents chimiques est comparable à celle du béton dense. Tous deux sont toutefois moins résistants aux acides forts, que l'on ne trouve généralement pas dans les habitats ou les constructions industrielles. Grâce à son alcalinité élevée, le béton cellulaire peut résister aux pluies acides. Seulement quelques millimètres peuvent être légèrement endommagés [6]

I.5.4 Résistance au gel et dégel :

En règle générale, les cycles de gel et de dégel n'endommagent pas le béton cellulaire. Cependant, des mesures préventives doivent être prises pour certaines constructions spécifiques, comme les chambres froides. Habituellement, les matériaux poreux ne résistent pas au gel si le taux d'humidité dépasse un certain seuil critique. Ceci est vrai pour le béton dense et le béton cellulaire. Le seuil critique d'humidité pour un béton cellulaire de type C4 n'est atteint qu'à un taux de 45% du volume [6]

I.6 les caractéristiques physique :**I.6.1 La densité :**

La densité du béton cellulaire (300-1800 kg/m³) détermine en grande partie ses propriétés et, par conséquent, doit être précisée lors de sa qualification. Il en va de même pour les conditions d'humidité ; qu'il s'agisse de séchage en four ou à l'air libre, ces détails sont importants. Le béton cellulaire peut être fabriqué pour répondre à de nombreuses applications spécifiques grâce à sa large gamme de densités. Ces variations sont principalement dues aux changements de composition du matériau, qui affectent à leur tour la structure, la taille et la distribution des pores. Pour optimiser ses propriétés structurelles et fonctionnelles, le béton cellulaire doit présenter une structure cellulaire stable et idéalement sphérique. De plus, les pores doivent être répartis uniformément à travers le matériau pour garantir une densité uniforme des produits finaux. De manière générale, la densité du béton cellulaire est directement liée à sa compactité et à sa porosité [3].

Le béton cellulaire est qualitativement classé en différentes catégories, en se basant sur sa masse volumique apparente sèche (classe ρ) et sa résistance à la compression (classe f), ainsi que sa résistance caractéristique à la compression (RC), et ce selon les normes belges NBN B 21-002 et les normes européennes EN 771-4

Tableau I.3: Critères de classement du béton cellulaire basés sur la masse volumique et la résistance à la compression[8]

Classe ρ	Critères	Classe	RC (N/mm ²)
P400	$300 \leq \rho < 400$ kg/m ³	F2	RC ≥ 2
P450	$300 \leq \rho < 450$ kg/m ³	F3	RC ≥ 3
P550	$300 \leq \rho < 550$ kg/m ³	F4	RC ≥ 4
P650	$300 \leq \rho < 650$ kg/m ³	F5	RC ≥ 5

Tableau I.3: Catégories blocs[8]

Désignation	Classe f (N/mm ²)	Classe ρ
C2/400	2	ρ 400
C3/450	3	ρ 450
C4/550	4	ρ 550
C5/650	5	ρ 650

Les catégories distinctes sont signalées par la lettre C pour les blocs et CC pour les composants armés, suivis d'un signe indiquant la classe de résistance à la compression

I.6.2 Absorption

L'absorption dans le béton cellulaire concerne la capacité de ce matériau à absorber le son et l'eau. On a constaté que le béton cellulaire a d'excellentes capacités d'absorption acoustique, ce qui en fait un matériau idéal pour des applications nécessitant une isolation sonore.

Phénomène d'absorption. Une étude expérimentale menée par Vaquier dans [11] a mis en évidence le rôle de la microstructure dans l'absorption en comparant le type et la distribution par taille des pores de quatre granulats Légers et en analysant les conséquences sur l'absorption.

En contact direct avec l'eau (y compris la pluie) les matériaux absorbent l'eau par capillarité suivant la formule :

$$m(t) = A \cdot \sqrt{tw}$$

m (t) = eau absorbée par unité de surface (kg/m²) pour une période t

A = coefficient d'absorption d'eau (kg/(m².s^{0.5}))

tw = temps en contact avec l'eau (secondes)

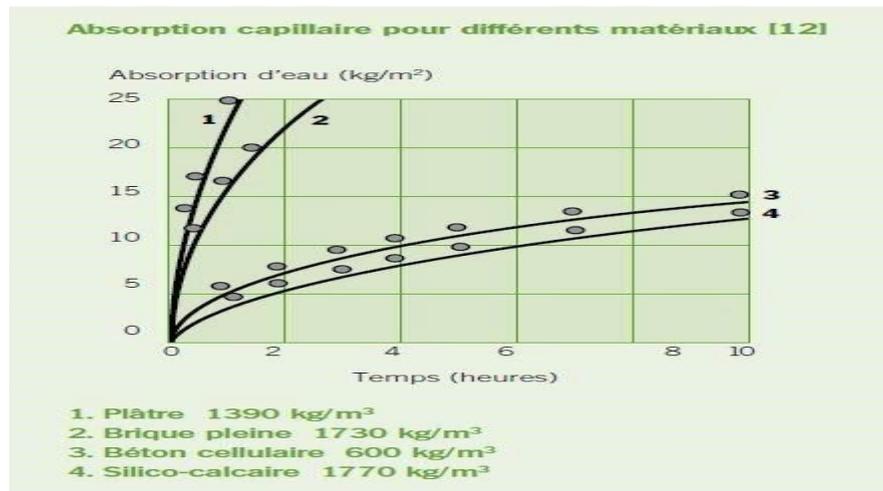


Figure I.6: Absorption capillaire pour différents matériaux [12]

I.6.3 conductivité thermique

La faible conductivité thermique du béton cellulaire est principalement due à la présence de pores remplis d'air [5]. Le degré de conductivité thermique de ce type de béton dépend en grande partie de sa densité. Cependant, d'autres facteurs tels que le taux d'humidité, le niveau de température, la structure poreuse et les matières premières peuvent également influencer la conductivité thermique [7].

La quantité de pores et leur distribution contribuent également à l'efficacité de l'isolation thermique du béton cellulaire. Grâce à l'air emprisonné dans ses cellules, le béton cellulaire possède des propriétés d'isolation thermique remarquables. Il crée un environnement agréable à l'intérieur des bâtiments en éliminant les ponts thermiques. Le béton cellulaire est capable d'absorber l'augmentation de la température externe pendant la journée et de libérer l'énergie emmagasinée pendant la nuit.

I.6.3.1 Valeur du coefficient de conductibilité thermique λ pour les murs en béton cellulaire :

Les valeurs fondamentales des blocs de béton cellulaire :

Il est essentiel de considérer les valeurs de base de la norme EN 1745 (2002).

- EN 1745 (2002) [6] :

Tableau I.5 : Valeurs de base [8]

Masse volumique (kg/m ³)	$\lambda_{10,dry}$ (W/mK)
400	0,110
500	0,130
600	0,160

I.6.4 Résistance au feu :

Le béton cellulaire offre une protection exceptionnelle contre le feu. En raison de sa composition minérale naturelle, il est non combustible et offre une résistance au feu allant de 1 à 6 heures en fonction de son épaisseur. Il fournit une protection importante et impressionnante contre le feu pour tous types de bâtiments, que ce soit des installations industrielles ou des habitations individuelles, sans émettre de fumées ou de gaz toxiques

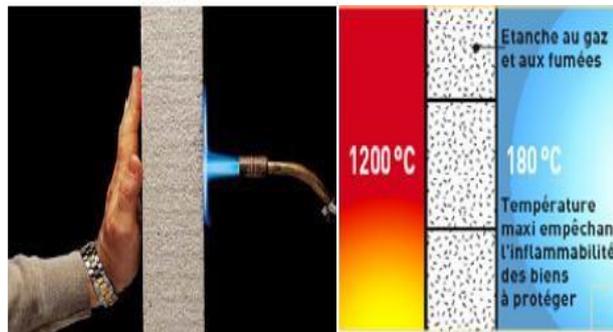


Figure I.7 : résistance au feu [13]

I.6.5 Légèreté :

Le béton cellulaire se caractérise par sa légèreté comparativement à d'autres matériaux de construction. Cette qualité procure un avantage en termes de transport et de construction, facilitant ces deux processus. De plus, la légèreté du béton cellulaire permet de réaliser des économies en termes de poids sur les structures et les fondations.



Figure I.8 : légèreté du béton cellulaire[13]

I.6.6 conductivité Acoustique :

Il est essentiel de différencier entre les bruits aériens et les bruits d'impact lors de l'évaluation de l'isolation acoustique des composants de construction. Pour garantir un niveau de confort acoustique satisfaisant pour les occupants d'un bâtiment, des mesures appropriées doivent être mises en place pour atténuer à la fois les bruits aériens et les bruits d'impact.

I.6.7 Utilisation :

Le béton cellulaire en forme de bloc est souvent utilisé dans la construction de bâtiments, y compris les maisons individuelles. Il est recommandé pour toutes sortes de constructions, notamment les résidences individuelles, les immeubles résidentiels et de bureaux, les garages, les boutiques, les écoles, ainsi que les hôpitaux et les bâtiments industriels. Les blocs de béton cellulaire sont également bien adaptés pour une utilisation en tant que murs intérieurs et extérieurs, portants ou non. Ils peuvent aussi être utilisés pour vos poutres de ceinture, vos linteaux de grande portée, vos linteaux soumis à une charge plus lourde que celle qui est admise par les linteaux standards, ainsi que pour les dalles de plancher et les murs.

I.7 Fabrication

Les produits en béton cellulaire sont fabriqués dans des installations hautement automatisées, garantissant ainsi une qualité constante et élevée. Grâce à

L'utilisation de matières premières stables et à un contrôle qualité rigoureux à la fois interne et externe, chaque étape de la fabrication est soigneusement surveillée. [1] Les différences étapes du processus de fabrication compléments :

Préparation, dosage et malaxage des matières premières (sable, chaux, Ciment, poudre ou pâte d'aluminium et eau)

Préparation des moules

Coulée, levage et durcissement de la pâte

- Découpe et profilage des produits
- Traitement en autoclave sous une pression d'environ 10 bars et à une température de 180°C ant 10 à 12 heures
- Palettisation et moulage plastique. [4]

Le béton cellulaire, classé parmi les bétons légers autoclavés, est composé de

Ciment, de sable pur (95% de silice), de chaux et d'eau.

Le processus de fabrication commence par le broyage fin du sable, suivi de l'ajout de ciment, de chaux, de poudre d'aluminium et d'eau. Le mélange obtenu est ensuite coulé dans des moules d'une capacité de 4,5 à 8 m³, remplis

à mi-hauteur environ.

Pour la production d'éléments armés, des treillis d'armature préalablement traités contre la corrosion sont déposés avec précision dans les moules et maintenus par des entretoises.

Pour la production de blocs, les moules sont remplis uniquement avec le mélange.

La réaction de l'aluminium avec les autres constituants produit un dégagement d'hydrogène, formant ainsi des cellules sphériques et fermées qui caractérisent

Le béton cellulaire.

Après quelques heures, la masse cellulaire acquiert une telle dureté qu'elle peut

Être démoulée. Ensuite, elle est découpée à l'aide de fils en acier, soit dans le

Sens de la longueur pour les éléments armés, soit longitudinalement et

Transversalement pour les blocs.

Malgré la découpe, le produit conserve la forme qu'il a prise dans le moule. [2]

Les produits en béton cellulaire se présentent sous deux principales catégories :

- Les blocs, destinés à la maçonnerie (construction d'habitations, petits collectifs)
- Les éléments armés tels que les dalles de plancher, les toitures, les bardages, principalement utilisés dans la construction de bâtiments industriels. [1]

I.8 DOMAINE D'UTILISATION :

Les bétons légers sont utilisés dans divers domaines, et on peut les classer en trois catégories principales :

Bétons d'isolation pure : Ce sont des bétons non porteurs qui ont une faible masse volumique (600 kg/m³) et une résistance à la compression relativement basse (de 1,5 à 5 MPa). Ils sont principalement utilisés dans les applications suivantes :

Isolation en pente pour les toitures-terrasses

Isolation des sols sur terre-plein

Préfabrication d'éléments architecturaux

Protection d'étanchéité sur les terrasses

Chapes, planchers et dalles isolantes

Remplissage des vides et comblement des galeries et des canalisations Nivellement des surfaces

Bétons porteurs et isolants : Ces bétons ont une masse volumique variant de 1 000 à 1 300 kg/m³ et une résistance à la compression d'environ 15 à 20 MPa. Ils peuvent être utilisés pour les applications suivantes :

Murs banchés ou préfabriqués

Blocs de maçonnerie

Blocs, hourdis et panneaux préfabriqués pour bardage

Planchers des constructions métalliques à grande surface

Protection contre l'incendie

Bétons légers structuraux : Ces bétons ont une masse volumique de 1 700 à 1 800 kg/m³ et une résistance à la compression supérieure à 20 MPa. Les granulats légers utilisés dans ces bétons doivent respecter certains critères tels que le pourcentage de grains cassés, la masse volumique (en vrac ou individuelle), le coefficient d'absorption d'eau, la résistance à la

compression des grains, la composition chimique, la propreté et la granularité. Ces bétons sont utilisés dans les applications suivantes :

Structures où le poids propre est important par rapport au poids total

Immeubles de grande hauteur

Portées importantes (poutres, voiles)

Structures marines

Surélévation de bâtiments existants

Restauration de bâtiments anciens Et bien d'autres encore.

I.9 Les avantages des béton légers :

Le béton léger présente plusieurs avantages qui peuvent être classés en trois catégories :

I.9.1 - Les avantages de la légèreté :

Le béton léger est plus léger qu'un béton classique, avec une densité allant de 0,4 à 1,2, comparé à 2,2 à 2,5 pour un béton classique.

Il est non inflammable et peut être classé M0 lors du test de réaction au feu, à condition d'utiliser un dosage de ciment approprié.

Il est durable et résistant à la pourriture, grâce à son pH basique et à sa composition à base de ciment, de sable lavé et de perles de polystyrène expansé stabilisé.

I.9.2 Avantages de mise en œuvre :

Son exécution est simple et rapide, avec un accès possible sur le chantier entre 24 et 48 heures après le coulage, en fonction de l'épaisseur.

Il est facile à manipuler grâce à sa maniabilité et peut être pompé sur de longues distances et de grandes hauteurs. Il est également facile à mettre en œuvre, même pour des épaisseurs importantes.

Les coffrages utilisés sont plus légers.

Les pièces en béton léger sont plus faciles à manipuler et à déplacer en raison de leur relative légèreté.

I.9.3 Avantages économiques :

Il permet d'augmenter la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau.

[10]

En raison de sa légèreté, le béton léger réduit le poids mort des bâtiments, ce qui entraîne une réduction significative de la dimension et du poids des fondations.

Il permet des économies sur le ferrailage des éléments.

Étant donné que moins de béton est utilisé, il est également possible de réaliser des économies sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire.

Conclusion

Le béton cellulaire est produit à partir d'une composition d'eau, de sable, de ciment, de poudre d'aluminium, de gypse et de chaux. Suite à un dosage précis, cette combinaison donne naissance à de petites cellules de béton fermées, distancées par des parois fines qui fournissent une isolation thermique et acoustique distinguée. Une caractéristique notable de ce matériau est sa légèreté remarquable et sa texture poreuse.



Chapitre II
Etat de l'art

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'état de l'art lié à dans leurs études, qui est l'étude du béton cellulaire du point de vue physique et mécanique, ainsi que la présentation des résultats.

II.1 MÉMOIRE DE MASTER

II.1.1 Mémoire de master présenté par les étudiants : Belagraa Larbi Logzit

Nacer

Sous le titre : Etude des caractéristiques d'un béton cellulaire à base de sable mixte Cette étude aborde l'analyse de la résistance à la compression et de l'isolation thermique. Les types de matériaux utilisés dans chaque béton sont :

AVEC LA CHAUX COMMERCIALE (50C°- 100C°)

Béton témoin **BT** .

Béton témoin avec 15 % laitier **BTL**

LE DEUXIEME GROUPE AVEC LA CHAUX DECHET (50C°- 100C°)

Béton à basse de sable mixte avec 50 % laitier **BTLD**

Béton à basse de sable mixte avec 75% laitier **BTLD**

Béton laitier 100% **BL**

Béton à basse de sable concassé 0% laitier **BC**

Béton à basse de sable concassé 15% laitier **BCL**.

Béton à basse de sable fin 15% laitier **BSL**.

Béton à basse de sable fin 50% et 75% laitier **BSLD**

Tableau II.1 : les constitutions et les type de béton élaboré dans le premier groupe. [13]

constitution Type de béton	Sable broyé (g)	Sable concassé (g)	Ciment (g)	Chaux (g)	Poudre d'alumine (g)	L'eau (ml)	Laitier (g)
BT (3 essai)	660	660	440	360	110	900	/
	660	660	440	360	110	850	/
	660	660	440	360	110	800	/
BTL (3 essai)	560	560	440	360	110	830	200
	560	560	440	360	110	850	200
	560	560	440	360	110 110	850	200

Tableau II.2 : les types des bétons élaborés suivant les pourcentages de sable et de laitier[13]

Constituants Les Types des B	Sable fin (oued sauf) (g)	Sable Concassé (g)	Laitier (g)	La chaux déchet	Poudre D'alumine (g)	ciment (g)	L'eau (ml)
BTLD (50% Sm et 50% L)	330	330	660	360	110	440	850
BTLD (25% Sm et 75% L)	165	165	990	360	110	440	850
BL (0 % Sm et 100 % L)	0	0	1320	360	110	440	850
BC (100% et 0 % L)	0	1320	0	360	110	440	850
BCL (85% SC et 15% L)	0	1120	200	360	110	440	850
BSL (85% SF et 15% L)	0	1120	200	360	110	440	850
BSLD (75% L)	330	0	990	360	110	440	850
BSLD (50 % L)	660	0	660	360	110	440	850

II.1.1.1 Les résultats :**II.1.1.1.1 ETUDE MECANIQUE :**

a) la résistance à la compression : Dans cette étude menée par (Belagraa Larbi. Logzit Nacer), il y a 6 groupes :

Groupe I (chaux commerciale) **BT** et **BTL 15% L**

« Un béton de 1.983 MPa est adapté à l'isolation thermique. L'ajout de 15% d'adjuvant augmente la résistance à 3.77 MPa, rendant le béton convenable pour les structures porteuses. Les adjuvants équilibrent résistance, légèreté et isolation [13]

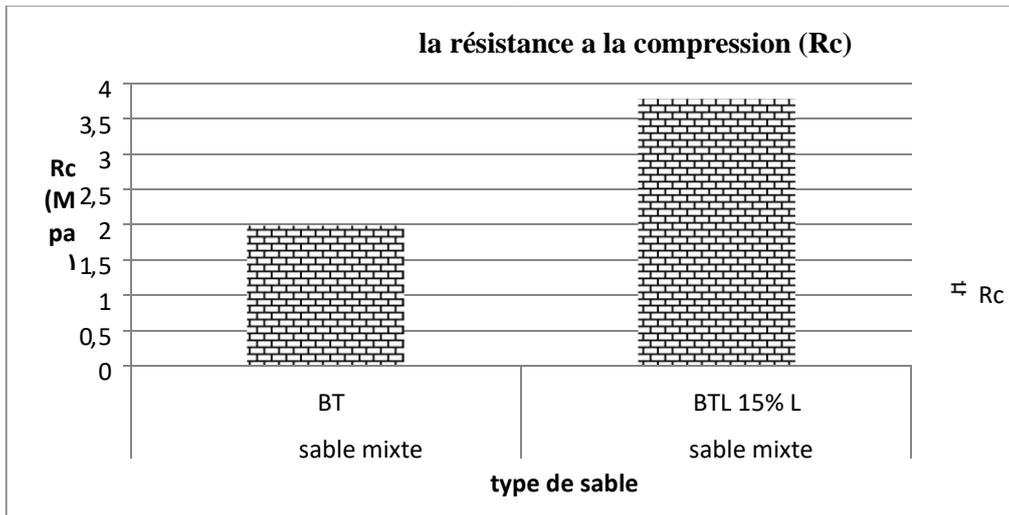


Figure II.1: La variation de la résistance à la compression en fonction de taux de laitier (chaux commerciale) [13]

Groupe II (chaux déchet) **BT** :

« Les résultats montrent que 50% d'additifs (3.696 MPa) offrent une meilleure résistance que 75% (2.835 MPa), soulignant l'importance de l'équilibre des proportions.

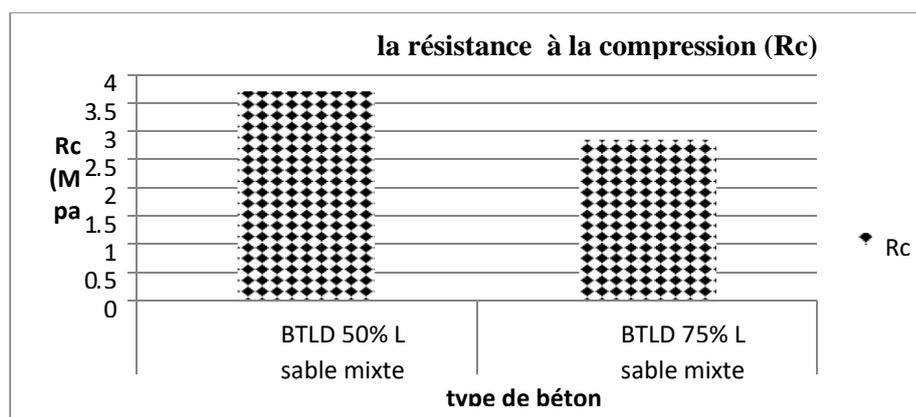


Figure II.2 : La variation de la résistance à la compression en fonction de taux de laitier (chaux déchet) [13]

Groupe III (chaux déchet) BT 1.983 BTL 15%L 3.77 BTL 50%L 2.608 (Mpa) :

« Les additifs augmentent la résistance à la compression: 15% d'additifs (3.77 MPa) est supérieur à 50% (2.608 MPa) et sans additifs (1.983 MPa).

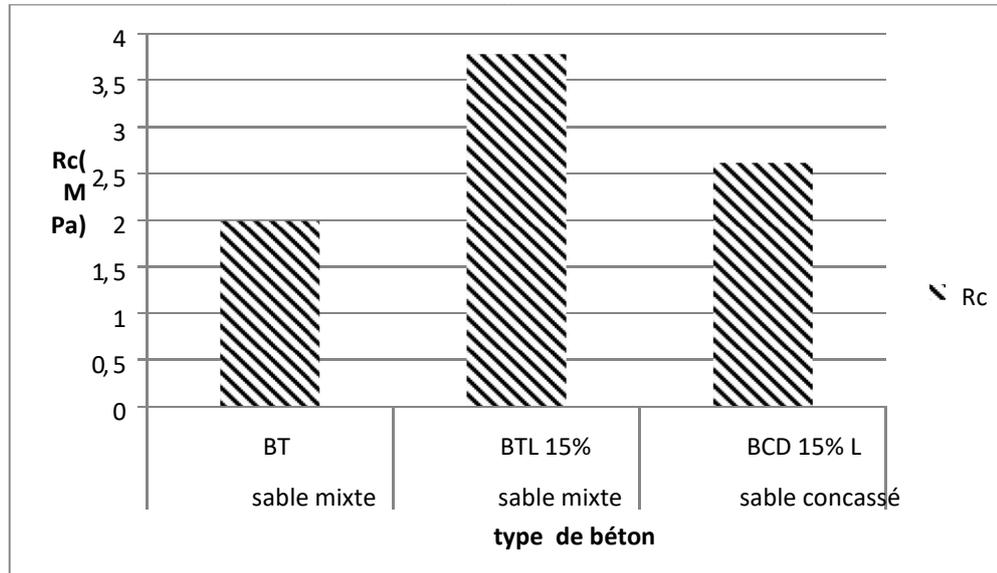


Figure II.3 : La variation de la résistance à la compression en fonction de taux de laitier (chaux déchet) [13]

Groupe IV (chaux déchet) BTL 15% L BCD 15% L BSL 15 % L (Mpa) :

« L'ajout de 15% des composants augmente la résistance à la compression: BTL (3.77 MPa), suivi de BSL (2.710 MPa), puis BCD (2.608 MPa). [13]

Groupe V (chaux déchet) BTL 50% L BTL 75% L BL 100% (Mpa) :

« L'ajout d'adjuvant améliore la résistance à la compression: 50% (3.696 MPa) est le plus efficace, diminuant à 75% (2.835 MPa) et atteignant 3.6 MPa à 100% . [13]

Groupe VI (chaux déchet) BCD 0% BCD 15% L (Mpa) :

« Sans additifs (2.984 MPa) présente une meilleure résistance à la compression qu'avec 15% d'adjuvant (2.608 MPa), montrant un effet négatif de cet ajout. [13]

✚ L'essai de (Belagraa Larbi. Logzit Nacer) montre un impact évident des variations dans les proportions du béton cellulaire, avec une valeur maximale de 3.77 MPa, considérée acceptable

II.1.1.1.2 Etude physique :

b) La conductivité thermique :

Groupe I (chaux commerciale) **BT** et **BTL 15% L (W/m. °K)**

« La conductivité thermique originale (0.235 W/m.°K) montre une meilleure performance en isolation thermique par rapport à celle avec 15% d'adjuvant (0.251 W/m.°K), indiquant un léger impact négatif de l'ajout. [13]

Groupe II (chaux déchet) **BTLD 50% L BTLD 75% L (W/m. °K)**

« L'ajout de 50% de l'adjuvant (L) offre une meilleure performance en isolation thermique (0.216 W/m.°K) par rapport à un ajout de 75% (0.233 W/m.°K). [13]

Groupe III (chaux déchet) **BT** et **BTL 15% L BCD 15%L (W/m. °K)**

« L'ajout de 15% d'adjuvant influence la conductivité thermique en fonction du matériau: augmente dans BTL (0.251 W/m.°K), diminue dans BCD (0.229 W/m.°K). [13]

Groupe IV (chaux déchet) **BTL 15%L BCD 15% L BSL 15% L (W/m. °K)**

« L'ajout de 15% d'adjuvant (L) a un effet variable sur la conductivité thermique: augmente dans BTL (0.251 W/m.°K), diminue dans BCD (0.229 W/m.°K) et BSL (0.224 W/m.°K). [13]

Groupe V (chaux déchet) **BTLD 50%L BTLD 75% L BL 100% (W/m. °K)**

« L'ajout d'adjuvants influence la conductivité thermique de manière variable. La meilleure isolation thermique est obtenue avec 100% d'adjuvant (0.210 W/m.°K); bonne à 50% (0.216 W/m.°K); diminue à 75% (0.233 W/m.°K) [13]

Groupe VI (chaux déchet) **BCD 0% L BCD 15%L (W/m. °K)**

« L'ajout de 15% d'adjuvant (L) à BCD augmente la conductivité thermique de 0.224 à 0.229 W/m.°K. [13]

✚ Il y a un impact évident à travers les variations dans les proportions du béton cellulaire où la valeur la plus élevée enregistrée est de 0.210 **W/m. °K**, ce qui est une valeur acceptable

II.1.2 Mémoire de master présenté par les étudiants : HAMADACHE .Hamid

AMIRAT Abdelaziz

Sous le titre : Effet du rajout des fibres en polypropylène sur les caractéristiques mécaniques d'un béton cellulaire Cette étude aborde l'analyse de la résistance à la compression et de l'isolation thermique. Les types de matériaux utilisés dans chaque béton sont **béton cellulaire:**

✚ La formule du béton allégé utilisé de base Le béton a été malaxé pendant 20 minutes:

Tableau II.3 : La formule du béton allégé 1 [12]

Matériaux	Quantité
La chaux	10 kg
granifibre	50 gr
ciment	20 kg
Medadur qs1 (sable)	30 kg
Eau	7.46 kg
Medaflow 30 (adjuvant)	320 gr
Meda-air bl (adjuvant)	400 gr
Poudre d'aluminium	50 gr

✚ La formulation utilisé est la suivante : Le béton a été malaxé pendant 20 minutes

Tableau II.4 : La formule du béton allégé 2 [12]

Matériaux	quantité
La chaux	10 kg
Granifibres	50 gr
Ciment	20 kg
Medadur qs1 (sable)	30 kg
Eau	7.46 kg
Medaflow 30 (adjuvant)	320 gr
Meda-air bl (adjuvant)	200 gr (400gr avant)
Poudre d'aluminium	20gr (50gr avant)

✚ La formule du béton léger utilisé : Le béton a été malaxé pendant 20 minutes :

Tableau II.5 : La formule du béton allégé 3 [12]

Matériaux	quantité
La chaux	10 kg
Granifibres	150 gr (50gr avant)
Ciment	20 kg
Medadur qs1 (sable)	30 kg
eau	7.46 kg
Medaflow 30 (adjuvant)	320 gr
Meda-air bl (adjuvant)	200 gr (400gr avant)
Poudre d'aluminium	20g (50gr avant)

✚ La formule du béton léger utilisé : Le béton a été malaxé pendant 10 minutes :

Tableau II.6 : La formule du béton allégé 3 [12]

Matériaux	quantité	
La chaux	10 kg	
Granifibres	150 gr	(50gr avant)
Ciment	20 kg	
Medadur qs1 (sable)	30 kg	
eau	7.46 kg	
Medaflow 30 (adjuvant)	320 gr	
Meda-air bl (adjuvant)	200 gr	(400gr avant)
Poudre d'aluminium	20g	(50gr avant)

II.1.2 Les resultats:

II.1.2.1 Etude mécanique :

a) la résistance à la compression :

Dans cette étude menée par (**HAMADACHE Hamid , AMIRAT Abdelaziz**), il y a groupes:

Le temps de mélange dans ce groupe a été de 20 minutes :

Groupe I (béton cellulaire) :

« La résistance à la compression était maximale après 5 minutes de mélange (5.5 MPa) et minimale après 20 minutes (1.0 MPa), montrant que mixer trop longtemps réduit la résistance.

Groupe II (béton fabriquer 1) :

« La résistance à la compression était la plus élevée après 5 minutes de mélange (14.302 MPa) et la plus basse après 20 minutes (8.058 MPa), montrant que mixer trop longtemps réduit la résistance

Groupe III (béton fabriquer 2) :

« Le mélange a duré 20 minutes. La résistance à la compression était de 18.850 MPa après 5 minutes et a diminué à 11.589 MPa après 20 minutes, montrant qu'une durée de mélange prolongée réduit la résistance.

Le temps de mélange dans ce groupe a été de 10 minutes

Groupe IV (béton fabriquer 3) :

« Le mélange a duré 10 minutes. La résistance à la compression a diminué de 20.945 MPa (après 5 minutes) à 16.946 MPa (après 10 minutes), montrant un effet temporel sur la cohésion et les caractéristiques mécaniques.

II.1.2.1.2 Etude physique:

b) La conductivité thermique λ en (W/m. °) :

Le temps de mélange dans ce groupe a été de 20 minutes

Groupe I (béton cellulaire):

« Le mélange a duré 20 minutes. La conductivité thermique a varié, atteignant 0.677 W/m.°C à 10 minutes et 0.423 W/m.°C à 15 minutes. Cela indique que le mélange continu améliore les propriétés isolantes du béton cellulaire.

Groupe II (béton fabriquer 1)

« Le mélange a duré 20 minutes. La conductivité thermique maximale était à 10 minutes (0.876 W/m.°C) et la minimale à 15 minutes (0.751 W/m.°C), montrant que le mélange continu améliore les propriétés isolantes du béton

Groupe III (béton fabriquer 2)

« Le mélange a duré 20 minutes. La conductivité thermique était de 0.894 W/m.°C après 5 minutes, la plus basse à 10 minutes (0.778 W/m.°C), puis a augmenté à 15 minutes (0.841 W/m.°C). L'effet temporel sur les propriétés de transfert thermique montre l'importance du temps de mélange optimal pour des propriétés isolantes optimales

✚ Selon l'essai de Hamid et Amirat, le temps affecte la résistance du béton et l'isolation thermique. La résistance à la compression a dépassé 20 MPa, et la conductivité thermique a dépassé 0,8

II.1.2.2.3 COMPARAISON ENTRE LE BÉTON CELLULAIRE ET LE BÉTON TRADITIONNEL :

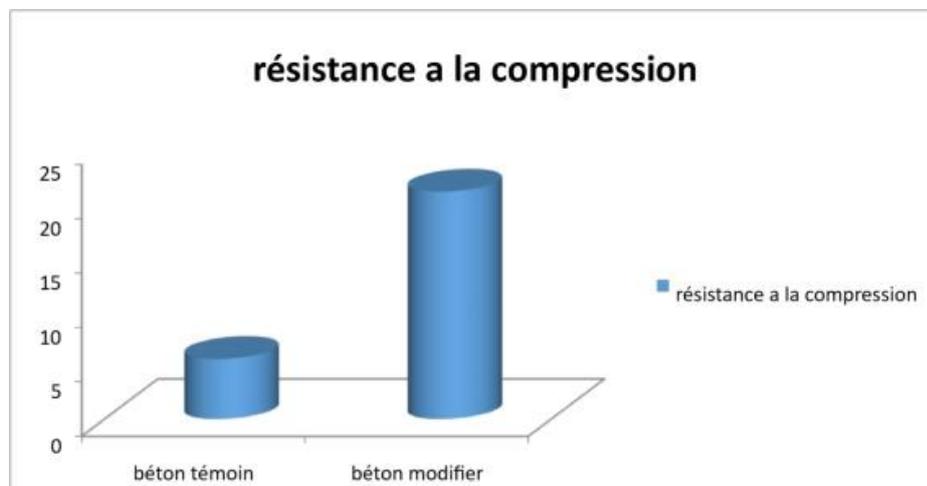


Figure II.4: comparaison de la résistance à la compression [12]

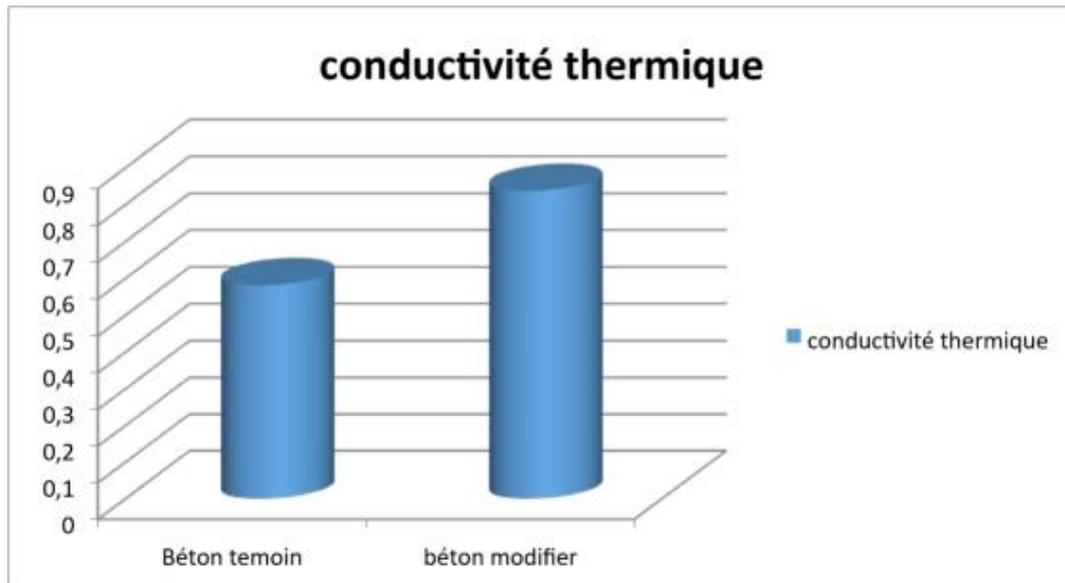


Figure II.5: Comparaison de la Conductivité thermique [12]

✚ Nous remarquons dans l'essai réalisée par (**HAMADACHE Hamid, AMIRAT Abdelaziz**) Le facteur temps a un impact sur la résistance du béton et l'isolation thermique, où la valeur de chacun a augmenté de manière significative. En termes de résistance à la compression, elle a enregistré plus de 20 MPa, tandis que pour la conductivité thermique, elle a enregistré plus de 0,8.4

II.1.3 Mémoire de master présenté par les étudiants : Delalldja khaoula. Boudrouaz khaoula

Sous le titre : Elaboration d'un béton cellulaire bio-Sourcé à base des déchets industriels cellulaire Cette étude aborde l'analyse de la résistance à la compression et de l'isolation thermique. Les types de matériaux utilisés dans chaque béton sont :

- Béton témoin
- Béton avec 10% pouzzolane
- Béton avec 15% laitier avec 1.5% adjuvant • Béton témoin
- Béton avec 10% pouzzolane
- Béton avec 15% laitier

II.1.3.1 Les resultats:

II.1.3.1.1. Etude mecanique:

a) la résistance à la compression :

Types de béton cellulaire utilisant le sable d'Oued Souf appliqué après 28 jours :

- « **BT**: 0,44 MPa - Faible résistance à la compression, adaptée aux applications à faibles exigences.
- « **BL**: 0,89 MPa - Résistance moyenne à la compression, convenable pour des usages modérés.
- « **BP**: 0,77 MPa - Bonne résistance relative à la compression, pour des applications moyennes.
- « **BTA**: 0,61 MPa - Résistance relativement faible, pour les applications moins exigeantes.
- « **BLA**: 0,95 MPa - Très bonne résistance à la compression, adaptée aux applications nécessitant une haute résistance.
- « **BPA**: 0,91 MPa - Bonne résistance à la compression, similaire à BLA, adaptée aux projets à haute exigence.

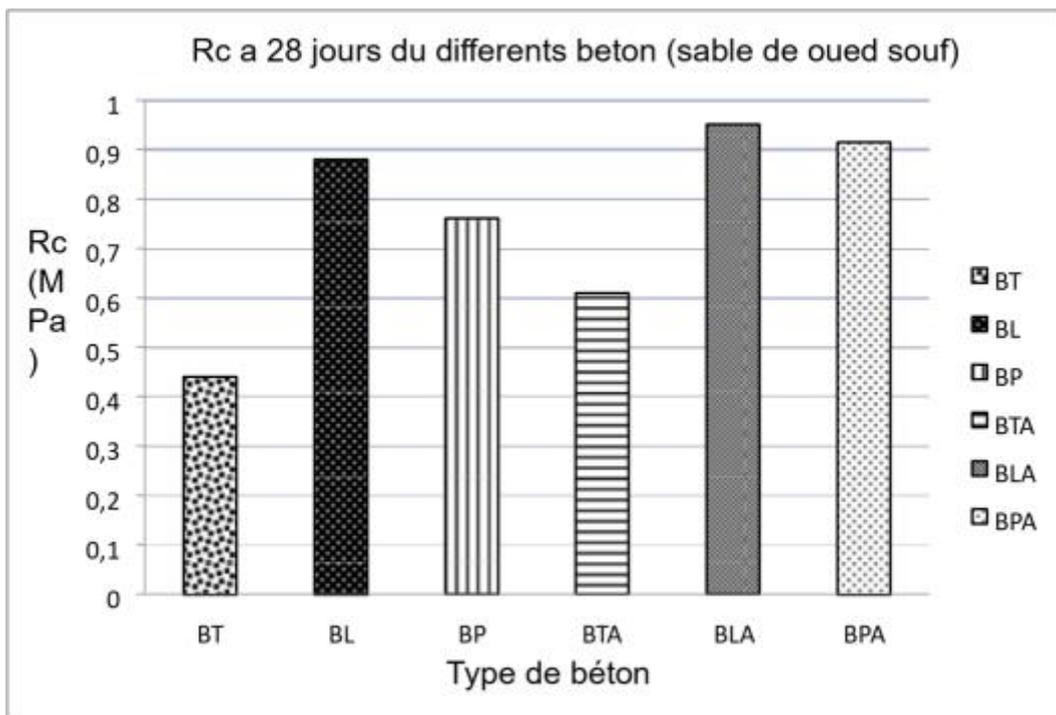


Figure II.6: Evolution de la résistance à la compression en fonction de sable préparé (oued souf) a 28 jours. [9]

Types de béton cellulaire utilisant le sable de sable concassé appliqué après 28 jours :

- « **BT** (2 MPa) : Résistance acceptable, adaptée aux applications non structurales telles que les murs de séparation ou les blocs de remplissage.

- « **BL** (5,2 MPa) : Bonne résistance, adaptée aux murs porteurs des bâtiments de faible hauteur ou aux dalles de plancher non porteuses.
- « **BP** (4,1 MPa) : Résistance moyenne, adaptée à des utilisations spécifiques comme les murs intérieurs ou les clôtures.
- « **BTA** (2,9 MPa) : Résistance relativement faible, mais toujours adaptée aux applications ne nécessitant pas une résistance élevée, comme les blocs d'isolation.
- « **BLA** (6,2 MPa) : Excellente résistance, adaptée aux applications structurales exigeantes telles que les murs porteurs des bâtiments à plusieurs étage.
- « **BPA** (5,8 MPa) : Excellente résistance, similaire à BLA en termes de solidité et d'adéquation aux applications à haute exigence.

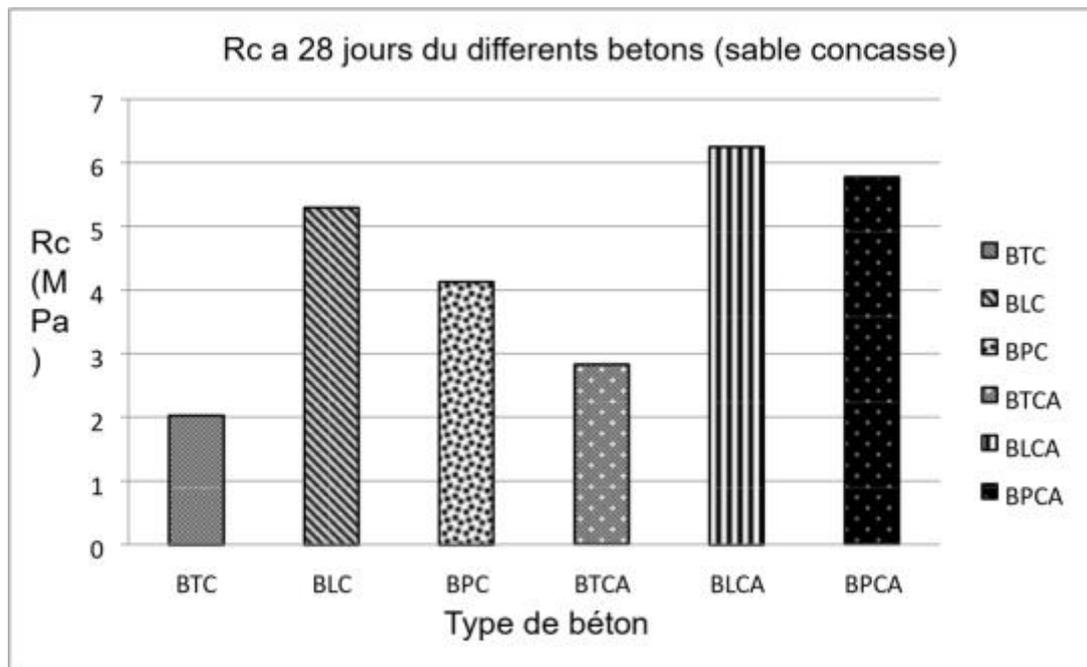


Figure II.7 : Évolution de la résistance à la compression en fonction du sable concassé préparé à 28 jours. [9]

- ✚ Nous remarquons dans l'essai réalisée par (**D khaoula** , **B khaoula**) que la résistance à la compression du sable d'Oued Souf n'est pas aussi bonne que celle du sable concassé. En effet, la valeur pour le sable d'Oued Souf varie entre 0,45 et 0,95 MPa, tandis que la valeur de la résistance à la compression pour le sable concassé varie entre 2 et 6,2 MPa

II.1.3.1.2 ETUDE PHYSIQUE:

b) La conductivité thermique :

- « **BT Sable de Oued Souf(sans adjuvant)**: Le béton utilisant du sable d'Oued Souf montre une valeur **de conductivité thermique** de 0,39 sans additifs, indiquant une bonne performance en tant que matériau isolant thermique.

- « **Sable concassé (sans adjuvant)**: Le béton utilisant du sable concassé montre la même valeur d'isolation thermique 0,39 sans additifs, ce qui signifie une performance similaire au sable d'Oued Souf dans ce contexte.
- « **BL Sable de Oued Souf (sans adjuvant)**: Le béton utilisant du sable d'Oued Souf montre une valeur de conductivité thermique de 0,41 sans additifs, offrant une performance bonne mais légèrement moins efficace par rapport à BT.
- « **Sable concassé (sans adjuvant)**: Le béton utilisant du sable concassé montre une valeur d'isolation thermique de 0,48 sans additifs, ce qui le rend moins efficace en isolation thermique comparé au sable d'Oued Souf.
- « **BP Sable de Oued Souf (sans adjuvant) :** Le béton utilisant du sable d'Oued Souf montre une valeur de conductivité thermique de 0,46 sans additifs, ce qui indique une performance inférieure en de conductivité thermique par rapport à BL.
- « **Sable concassé(sans adjuvant) :** Le béton utilisant du sable concassé montre une valeur de conductivité thermique de 0,50 sans adjuvant, indiquant la performance la moins efficace en conductivité thermique comparé au sable d'Oued Souf.

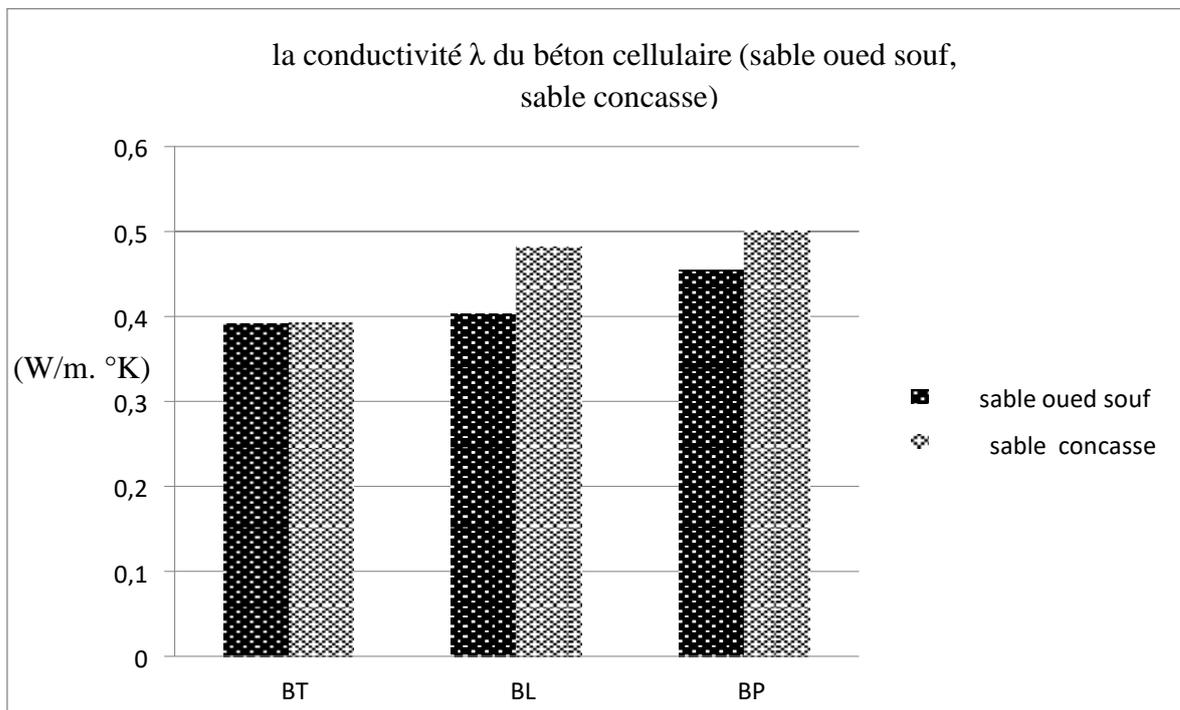


Figure II.8: La conductivité thermique du béton cellulaire à base des deux types de sable préparés sans adjuvant [9]

- « **BTA Sable de Oued Souf (avec adjuvant)** Le béton utilisant du sable d'Oued Souf avec des adjuvant montre une valeur de conductivité thermique de 0,51.

- « **Sable concassé (avec adjuvant)** : Le béton utilisant du sable concassé avec des adjuvant montre une valeur de conductivité thermique de 0,515.
- « **BLA Sable de Oued Souf (avec adjuvant)** : Le béton utilisant du sable d'Oued Souf avec des adjuvant montre une valeur d'isolation thermique de 0,47.
- « **Sable concassé (avec adjuvant)**: Le béton utilisant du sable concassé avec des adjuvant montre une valeur de conductivité thermique de 0,46.
- « **BPA Sable de Oued Souf (avec adjuvant)**: Le béton utilisant du sable d'Oued Souf avec des adjuvant montre une valeur de conductivité thermique de 0,42.
- « **Sable concassé (avec adjuvant)** : Le béton utilisant du sable concassé avec des adjuvant montre une valeur de conductivité thermique de 0,50.

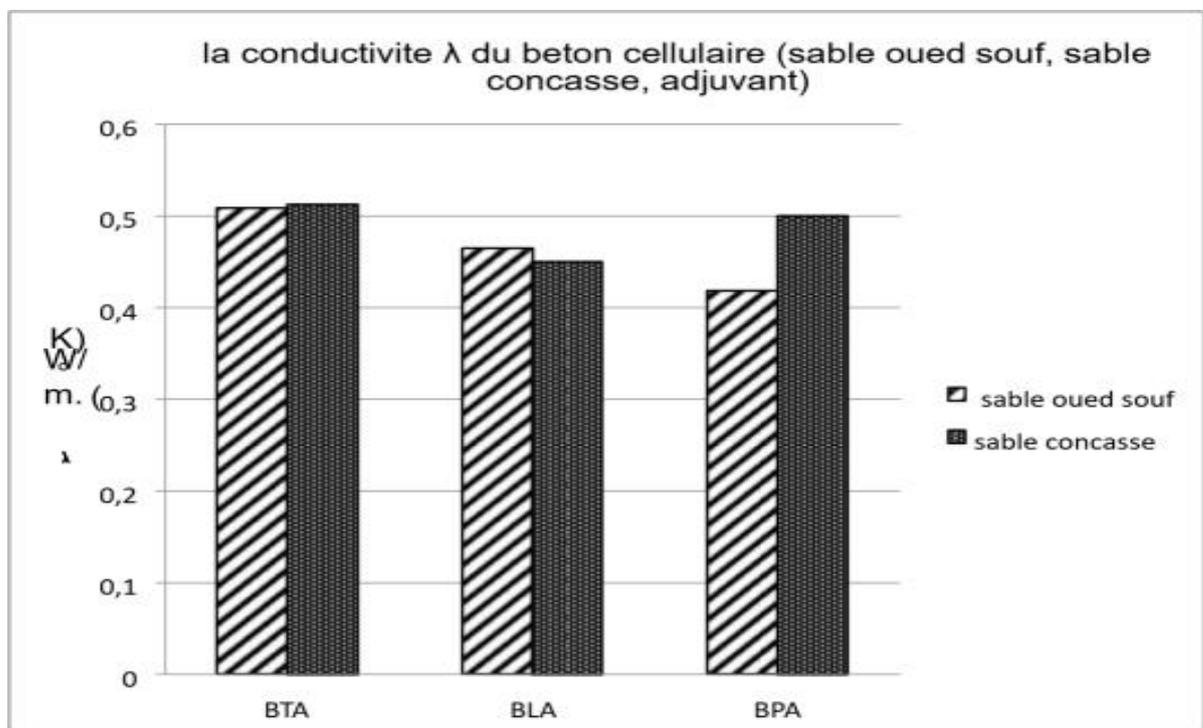


Figure II.9: La conductivité thermique du béton cellulaire à base des deux types de sable préparés avec adjuvant. [9]

- ✚ Généralement, le sable extrait de l'oued Souf (avec ou sans additifs) présente de meilleures performances d'isolation thermique que le sable concassé.

II.2 ÉTUDE DE LABORATOIR

II.2.1 Étude de Laboratoire présenté par :

Marwa BEN YOUSSEF, Karim MILED, Jamel NEJI, Mohamed Adel NACCACHE

Sous le titre : Formulation et caractérisation mécanique d'un nouveau béton cellulaire en Tunisie dit béton mousse : étude préliminaire Cette étude aborde l'analyse de la résistance à la compression et la résistance à la flexion . Les types de matériaux utilisés dans le béton.:

Ciment

Eau

Agent moussant NEOPOR dit émulseur : Il est organique et biodégradable, il est issu de l'hydrolyse de cornes et sabots des bovins

Sable : Le sable utilisé pour le béton mousse doit être propre, lavé, et criblé, avec des grains roulés et fins. Il doit avoir un équivalent de sable supérieur à 70 et un pourcentage de fines compris entre 15 et 20 %, conformément aux recommandations de NEOPOR CLC

II.2.1.1 Les resultats:

II.2.1.1.1 Etude mecaniques:

a) La résistance à la flexion :

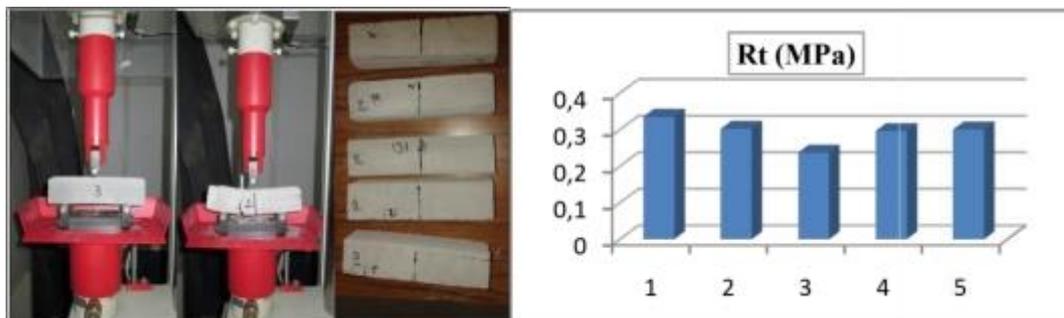


Figure II.10 : Essais de flexion 3 points et résistance à la traction par flexion du béton mousse [14]

« La résistance de flexion moyenne de 0,3 MPa observée sur cinq échantillons indique une capacité modérée du matériau à résister à la déformation ou à la rupture sous les forces de flexion. Une valeur aussi basse signifie que le matériau peut se déformer facilement sous pression. Cela nécessite donc une amélioration soit du processus de fabrication, soit des proportions des composants pour accroître cette propriété mécanique .

b) La résistance à la compression :

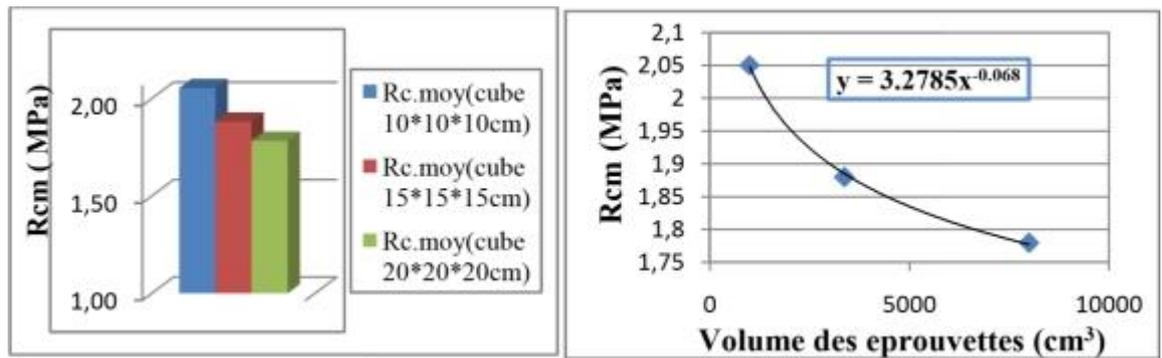


Figure II.11 : La variation de la résistance à la compression du béton mousse en fonction du volume des éprouvettes d'essai [14]

- « Les échantillons montrent des résistances à la compression de 2 MPa, 1,8 MPa et 1,7 MPa pour les tailles 10×10×10 cm, 15×15×15 cm et 20×20×20 cm respectivement. La résistance diminue légèrement avec l'augmentation de la taille de l'échantillon.
- ✚ Nous remarquons dans l'essai réalisée par (**Marwa BEN YOUSSEF, Karim MILED, Jamel NEJI, Mohamed Adel NACCACHE**) que la résistance à la compression et la résistance à la flexion varient. La résistance à la flexion se situe entre 0,21 et 0,31 MPa et la résistance à la compression entre 1,7 et 2,0 MPa, ce qui est acceptable. Nous en déduisons qu'il existe une relation entre la taille de l'échantillon et la résistance à la compression .

II.2.2 Étude de Laboratoire présenté par :

Adrian Ioana, Lucian Paunescu , Nicolae Constantin, Valeriu Rucai , Cristian Dobrescu , Vili Pasare , Alexander Istret

Sous le titre : High-Strength and Heat-Insulating Cellular Building Concrete Based on Calcined Gypsum Cette étude aborde l'analyse de la résistance à la compression et de l'isolation thermique. Les types de matériaux utilisés dans chaque béton sont :

Tableau II.7 : Les variantes expérimentales. [15]

Composition	Variant			
	1	2	0.3	4
Plâtre calciné	82.3	81.2	78.4	74.7
Chaux hydratée	5.0	5.6	7.4	7.8
Cendres volantes de charbon	3.6	4.8	6.9	11.1
Perlite	6.4	5.9	5.2	4.6
Fumée de silice	1.2	1.0	0.6	0.3
CMC	0.5	0.5	0.5	0.5
Poudre d'aluminium	1.0	1.0	1.0	1.0
Eau distillée	41.6	41.0	39.7	37.8

II.2.2.1 LES RESULTATS:**II.2.2.1.1 ETUDE MECANIQUE:****a) la résistance à la compression :****Tableau II.8** :Les propriétés physiques, thermiques et mécaniques des échantillons.[15]

Caractéristique	Variant			
	1	2	3	4
La conductivité thermique (W/m. °K)	0.144	0.135	0.129	0.130
la résistance à la compression (MPa)	4.1	3.7	3.3	2.3

- « **Béton 1** : Le résultat de l'essai de résistance à la compression pour le béton cellulaire était de 4 MPa. Cette valeur indique que le matériau possède une très bonne capacité à supporter les pressions par rapport aux valeurs typiques du béton cellulaire
- « **Béton 2** : La résistance à la compression du béton cellulaire est de 3,7 MPa, indiquant une capacité supérieure par rapport aux valeurs typiques du matériau
- « **Béton 3** : La résistance à la compression du béton cellulaire est de 3,3 MPa. Cette valeur montre une bonne capacité à supporter les pressions, mais elle est inférieure aux valeurs précédentes et pourrait être améliorée
- « **Béton 4** : Le béton cellulaire présente une capacité acceptable à supporter les pressions avec une valeur de 2,3 MPa. Cependant, cette valeur est nettement inférieure aux valeurs précédentes de 4 MPa, 3,7 MPa et 3,3 MPa. Cela indique que des ajustements fondamentaux dans le processus de fabrication ou les proportions des composants sont nécessaires pour améliorer sa résistance à la compression .

✚ Nous remarquons dans l'essai réalisée par (**Adrian Ioana, Lucian Paunescu Nicolae Constantin, Valeriu Rucai , Cristian Dobrescu , Vili Pasare Alexander Istret**)

La valeur maximale de résistance à la compression enregistrée est de 4.1 MPa, et pour la conductivité thermique, une valeur de 0.129 (W/m. °K) a été enregistrée. Ces valeurs ont été obtenues du premier essai .

Conclusion

Au cours de ces essais précédentes, nous avons découvert plusieurs facteurs qui influencent la fabrication du béton cellulaire. Parmi ces facteurs, nous mentionnons :

Le facteur de taille : Nous avons remarqué qu'une augmentation de taille a un impact notable sur l'augmentation de la résistance du béton,

Le facteur de densité : Il a été observé que lorsque la densité augmente, la résistance et l'isolation thermique augmentent également tels que : chaux , ciment , sable .Eau , Poudre d'aluminium .

De plus, il existe des matériaux fixes et essentiels ainsi que des matériaux variables qui contribuent à l'augmentation de la résistance et de l'isolation thermique tels que : laitier , Medaflow 30 (adjuvant) , Meda-air bl (adjuvant) , pouzzolane Agent moussant NEOPOR dit émulseur : Il est organique et biodégradable, il est issu de l'hydrolyse de cornes et sabots des bovins , Perlite , Fumée de silice , CMC , Cendres volantes de charbon.



CHAPITRE III :
Étude expérimentale

Introduction

Dans cet essai , nous travaillons avec du béton cellulaire, qui est un béton caractérisé par sa légèreté et sa contribution à l'isolation thermique et phonique. Pour améliorer ces caractéristiques et obtenir de meilleurs résultats, nous avons mené un l'essai sur le béton cellulaire en ajoutant certains matériaux qui aident à cela, comme le Polystyrène , l'objectif étant que le Polystyrène est léger. Le béton cellulaire a été coulé dans un mortier de 4×4×16, et des proportions de Polystyrène ont été ajoutées. Les autres matériaux de base sont : **Sable . ciment. Eau. Chaux. Gypse. Polystyrène. poudre d'aluminium.**

III.1 La formulation des bétons :

III.1.1 Sable :

Le sable utilisé dans cette étude est un sable provenant de la région sud de la ville Laghouat



Figure (III.1) : sable utilisé

III.1.1.2 L'analyse granulométrie par tamisage :

Dans cet essai, le sable de Laghouat a été tamisé dans un tamis d'un diamètre de 4 mm Il a été utilisé dans plusieurs étapes de chaque l'essai pour formuler du béton cellulaire

III.1.2 Eau :

Nous avons recouru à l'eau potable domestique pour l'ensemble de nos tests sans aucun autre traitement

III.1.3 ciment :

MATINE™ est un ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments. C'est une marque déposée de la société Lafarge Holcim. MATINE™ est certifié, conforme à la norme Algérienne

[NA442-2013] et Européenne [EN 197-1] de classe CEM II/A-L-42,5 N. La (figure III-1) nous montre un sac de ciment de la marque.



Figure (III.2): Ciment MATINE de Lafarge (photo prise du site lafarge.dz)

III.1.3.1 Propriétés physiques :

Le ciment MATIN que nous avons utilisé dans notre essai possède des caractéristiques physiques distinctives. Nous avons enregistré les résultats de ces propriétés dans le tableau suivant :

Tableau (III.1): Propriété physiques du ciment MATINE (fiche technique) [19]

Propriétés physiques	Valeur
Consistance normal (%)	26,5 ± 2
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3700 - 5200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Masse volumique apparente (kg/m ³)	894.47
Masse volumique absolue (kg/m ³)	2924
Expansion (mm)	≤ 3

III.1.3.2 Propriétés mécaniques :

La résistance à la compression à 2 jours est supérieure ou égale à 10 MPa, tandis que pour 28 jours elle est supérieure ou égale à 42,5 MPa.

III.1.3.3 Analyses chimiques:

Tableau (III.2): Analyses chimiques du ciment MATINE (fiche technique) [19]

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	8 ± 2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2,5 ± 0,5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,7 ± 0,5
Teneur en chlorures (NA 5042) (%)	0,02 ± 0,05

III.1.4 Chaux :

Tableau (III.3) : Fiche technique de plâtre TAOUB MOOL

Rapport de gâchage	Début de prise	Fin de prise	Densité apparente	Dureté superficielle	La finesse Tamis 100µm	Tamis 200µm
(0.75-0.85%)	(4-6 min)	(8-14 min)	0.65-0.75kg/l	≥ 55 shore C	≤20%	≤ 10%

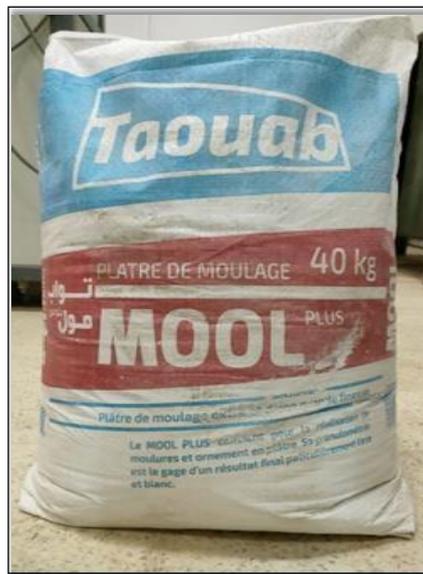


Figure (III.3) : Plâtre utilisé

III.1.5 Gypse :

Le gypse de Bousaâda a été utilisé dans cette l'essai en tant que composant essentiel dans la préparation du béton cellulaire. Ce type de gypse est idéal pour ajouter certaines propriétés au béton, telles que l'amélioration de l'isolation thermique et la réduction du poids.

III.1.6 Billes de polystyrène :

Les granules de polystyrène sont largement utilisés pour l'isolation thermique des bâtiments et l'emballage des produits alimentaires et industriels. Ces granules sont issus de matières premières contenant un pyrogène qui se gazéifie lorsqu'il est chauffé, provoquant une expansion. Ce matériau rigide et alvéolaire a une très faible densité (10 à 40 kg/m³) [10].

Par conséquent, le béton fabriqué avec ce matériau (léger et isolant thermique) a également une faible densité (300 à 800 kg/m³) [12].

Il est à noter que, malgré ces propriétés, la résistance mécanique de ce genre de béton peut présenter des insuffisances. En effet, la résistance à la compression varie entre 2,0 à 4,0 MPa, selon le pourcentage de sable utilisé [10].



Figure (III.4) : Billes de polystyrène

III.1.7 poudre d'aluminium :

Dans cette essai, l'aluminium a été concassé en raison de la rareté de la substance. Nous l'avons concassé dans la machine pour obtenir de la poudre d'aluminium, puis nous l'avons tamisée à travers un tamis.

III.2.1 Elaboration de béton cellulaire :

Dans la fabrication du béton cellulaire à base de polystyrène, nous utiliserons les matières premières suivantes.

Tableau (III.4) : Quantités des composants du béton cellulaire pour différentes proportions de polystyrène

Type de béton constitution	Béton cellulaire de base 0%	Béton cellulaire renforcé 0.2%	Béton cellulaire renforcé 0.5%	Béton cellulaire renforcé 1%
Sable(g)	1005	1005	1005	1005
ciment(g)	402	402	402	402
Eau(g)	380.75	380.75	380.75	380.75
Chaux(g)	201	201	201	201
. poudre d'aluminium(g)	1.21	1.21	1.21	1.21
Gypse(g)	20.1	20.1	20.1	20.1
Polystyrène(g)	0	4.4	10.05	20.1

III.3 Méthodes expérimentales

III.3.1 Mise en œuvre:

a) Balance électronique

Nous avons utilisé cette balance électronique pour peser les composants du béton cellulaire afin d'obtenir des résultats plus précis.



Figure (III.5) : Balance électronique

b) malaxeur

L'objectif de cette opération est de rendre le béton homogène et cohésif. Pour y parvenir, on commence le malaxage en suivant les étapes suivantes. L'opération de mélange est réalisée avec un malaxeur d'une capacité de 5 litres (Figure III.), qui comprend une palette permettant

un mouvement planétaire pouvant fonctionner à deux vitesses (dites lente et rapide) : 140 et 285 tr/mn



Figure III.6 : Malaxeur normalisé pour pâte utilisé

b) Mode de malaxage

Les étapes d'introduction des composants du béton cellulaire pour préparer le mélange.

c) Préparation et conditionnement des échantillons dans les moules

Nous avons choisi un moule de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Le coulage est effectué sans vibration en trois couches, chaque couche étant compactée avec une truelle pour éviter toute problématique de ségrégation qui pourrait affecter l'homogénéité des échantillons. Après le moulage, les échantillons sont ensuite placés dans une table vibrante pendant une minute à une fréquence de 60 vibrations par minute. Après la vibration, les échantillons sont conservés à l'air libre dans le laboratoire. Après 24 h, on représente les moules utilisés pour les essais mécaniques et les essais de conductivité thermique dans les figures précédentes. Ensuite, ils sont immergés dans l'eau pour la période de temps prescrite



Figure (III.7) : Moules utilisés

D) Machine spéciale pour la vibration des échantillons :

Une machine spéciale pour vibrer les échantillons dans les moules, qui fonctionne pour permettre au béton préparé d'atteindre les points les plus éloignés du moule. Cette machine offre une meilleure qualité dans la préparation des échantillons dans ces moules.



Figure III.8 : appareil à choc de mortier

E) Chambre humide :

La chambre humide est une installation conçue pour maintenir des conditions environnementales spécifiques, généralement un taux d'humidité élevé, afin de favoriser le durcissement et la maturation des échantillons de béton. Elle est utilisée pour simuler des conditions de cure idéales, permettant ainsi d'optimiser les propriétés mécaniques et la durabilité du béton. Les échantillons de béton sont placés dans cette chambre après leur coulée afin de garantir une hydratation adéquate du ciment et un durcissement approprié du béton. Cela contribue à obtenir des résultats de test plus précis et fiables, ainsi qu'à assurer la qualité et la performance optimales du béton dans les applications réelles. Je souhaite augmenter le taux d'humidité à 95% et la température à 20 degrés



Figure (III.9) : La chambre humide utilisée

III.4 Étapes de la formation du béton cellulaire avec différentes proportions de polystyrène :**Première étape :**

Préparer les composants du béton cellulaire : 402 g de ciment (résistant), 1005 g de sable (Laghout), 1,25 g de poudre d'aluminium, 201 g de chaux, 20,1 g de plâtre et 380,75 g d'eau.

Deuxième étape :

Mettre l'eau et le ciment dans le mélangeur pendant 10 secondes à l'arrêt, puis ajouter le polystyrène en proportions variées.

Troisième étape :

Faire fonctionner le mélangeur pendant 30 secondes à faible vitesse, puis ajouter progressivement le sable pendant 30 secondes supplémentaires.

Quatrième étape :

Augmenter la vitesse du mélangeur pendant 30 secondes à haute vitesse, puis arrêter le mélangeur pendant 15 secondes pour racler les parois du récipient.

Cinquième étape :

Faire fonctionner le mélangeur à haute vitesse pendant 60 secondes.

Sixième étape :

Verser le mélange dans un moule de dimensions (4×4×16) cm.

Septième étape :

Placer le moule sur une machine vibrante pendant 60 secondes à trois reprises pour permettre au béton d'atteindre tous les coins du moule.

Huitième étape :

Laisser le béton dans le moule pendant 24 heures, puis démouler.

Neuvième étape :

Placer les échantillons dans une chambre humide et les immerger dans l'eau, puis les retirer après 7 jours, 28 jours et 56 jours selon nos tests.

Le malaxage du mortier (196-1)

OPERATION	Introduction d'eau	Introduction ciment		Introduction du sable		Raclage la cuve	
DUREE	10 s	30 s		30 s	30 s	15 s	60 s
ETAT DE MALAXEUR	arrêt			Vitesse lent	Vitesse rapide	Arrêt	Vitesse rapide

	تصفية حواف وعاء الخلط		وضع كبريتي الرمل		وضع الاسمنت	وضع الماء	العملية
60 s	15 s	30 s	30 s	30 s	10 s		المدّة
سرعة مرتفعة	متوقف	سرعة مرتفعة	سرعة بطيئة		متوقف		حالة الخلط

Le malaxage de pate ciment (196-3)

OPERATION	Introduction d'eau	Introduction ciment		Raclage la cuve	
DUREE	10 s maximum		90 s	30 s	90 s
ETAT DE MALAXEUR	Arrêt		Vitesse lent	Arrêt	Vitesse lent

	تصفية حواف وعاء الخلط		وضع الاسمنت	وضع الماء	العملية
90 s	30 s	90 s	10 s		المدّة
سرعة بطيئة	متوقف	سرعة بطيئة	متوقف		حالة الخلط

Figure III.10 : La table utilisée pour les étapes du processus de préparation de l'échantillon

III.5 Analyse des résultats de la masse avec divers taux de polystyrène :

Nous avons mené des essais sur le béton cellulaire en incorporant différentes proportions de polystyrène, à savoir 0%, 0,2%, 0,5% et 1%. Après avoir moulé le béton dans des moules de dimensions (4×4×16 cm), nous avons mesuré la masse des échantillons

Les résultats obtenus montrent l'évolution de la masse du béton cellulaire en fonction du pourcentage de polystyrène ajouté, avec des observations effectuées au 28e jour suivant le coulage. Ces données permettent d'analyser l'influence du taux de polystyrène sur la masse du béton pour chaque dosage.

Tableau III.5 : Évolution de la masse du béton cellulaire en fonction de différents taux de polystyrène

		7j	28j	56j
Type de béton		Béton 1	Béton 2	Béton 3
Béton cellulaire de base 0%	g	514.32	526.69	523.26
Béton cellulaire renforcé 0,2%	g	475.29	475.84	480.89
Béton cellulaire renforcé 0,5%	g	410.89	422.14	439.68
Béton cellulaire renforcé 1%	g	360.2	394.73	335.21

III.6 Caractéristiques mécaniques et physique du béton cellulaire

III.6.1 masse volumique :

III.6.1.1 béton cellulaire :

Tableau III.6 : La masse volumique du béton cellulaire pour différentes proportions de polystyrène

		7j	28j	56j
Type de béton	M/V	Béton 1	Béton 2	Béton 3
Béton cellulaire de base 0%	kg/m ³	2009.06	2056.84	2043.98
Béton cellulaire renforcé 0,2%	kg/m ³	1856.60	1858.71	1877.69
Béton cellulaire renforcé 0.5%	kg/m ³	1605.04	1648.95	1717.27
Béton cellulaire renforcé 1%	kg/m ³	1406.99	1541.91	1309.41

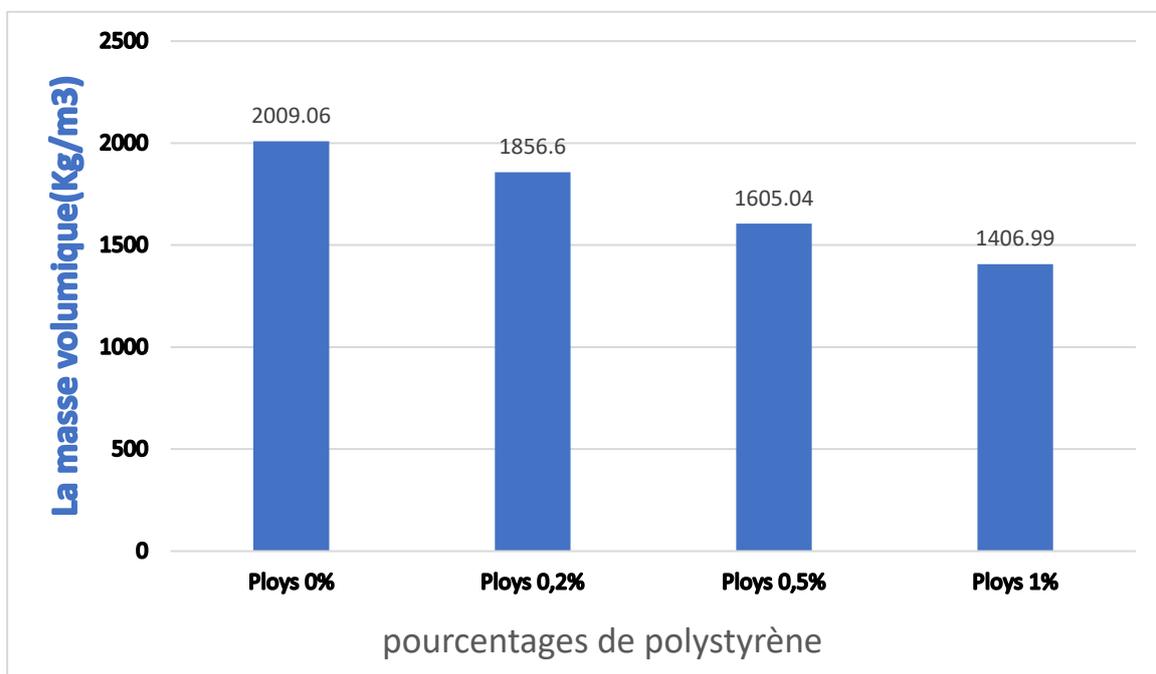


Figure III.11 : Des histogrammes des masses volumétriques en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 7

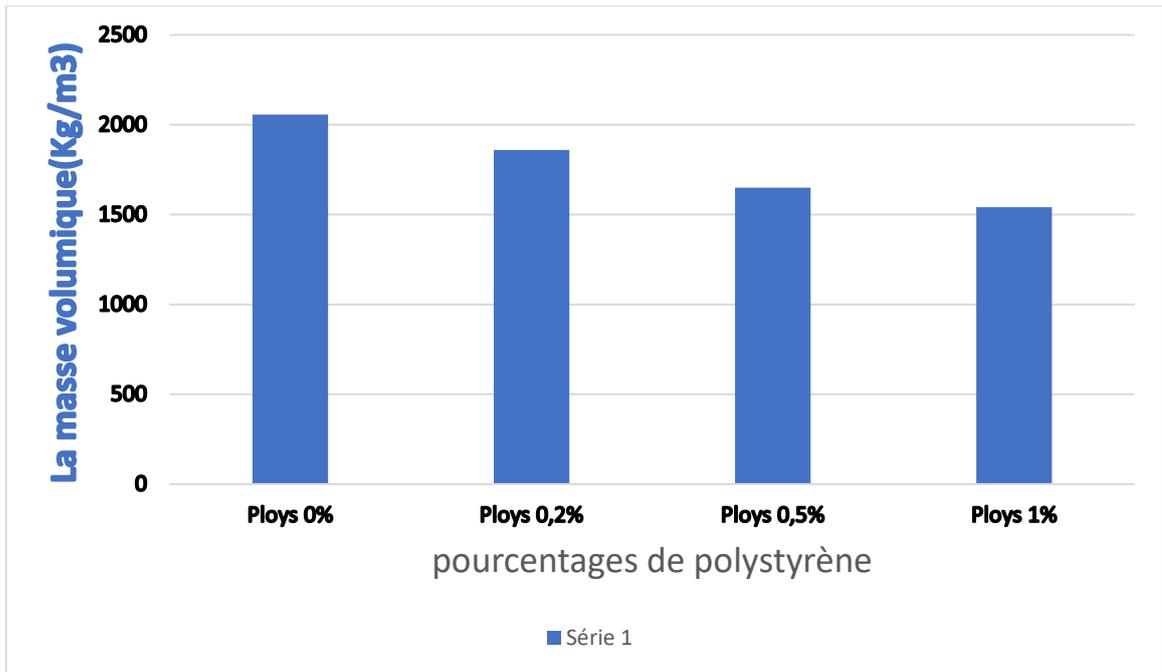


Figure III.12 : Des histogrammes des masses volumétriques en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 28

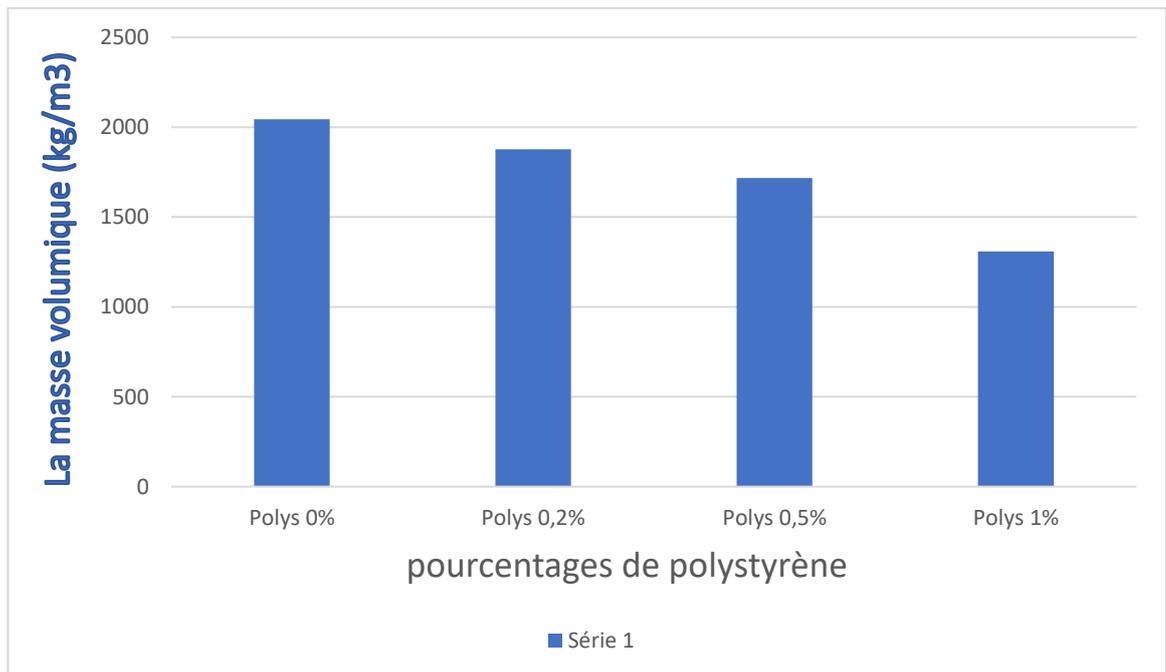


Figure III.13 : Des histogrammes des masses volumétriques en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 56

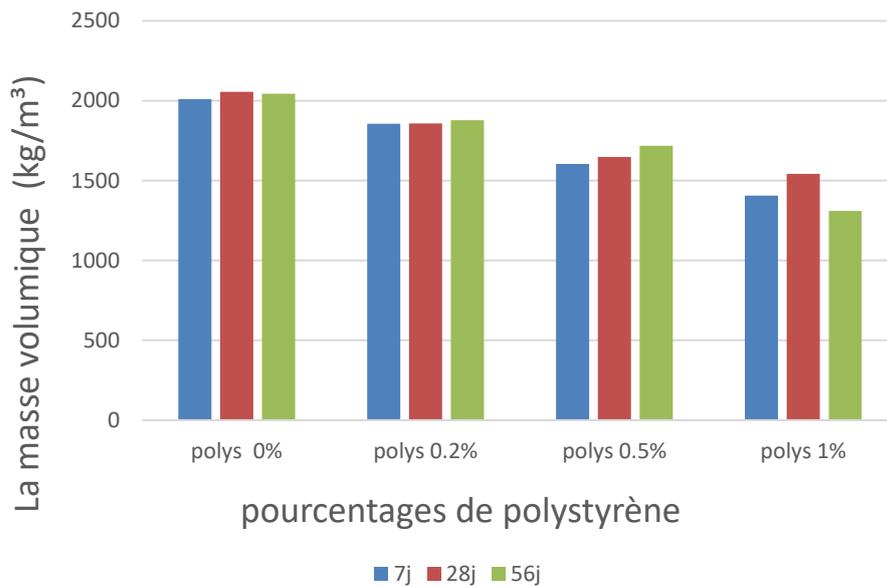


Figure III.14: Histogrammes de la masses volumiques du béton selon pourcentages de polystyrène, jour 7.28. 56

III.6.1.2 La masse volumique et densité de chaque composant du béton cellulaire:

Tableau III.7: La masse volumique de chaque composant du béton cellulaire

	Sable Laghouat	Chaux	Gypse	poudre d'aluminium	Polystyrène
Masse volumique(kg/m3)	1600	750	1300	350	40
La densité	1.6	0.75	1.3	0.35	0.04

III.6.1.3 La densité du béton cellulaire :

Nous avons la relation de loi de densité comme suit :

$$d = \frac{Mv \text{ de la matérieu}}{Mv \text{ de l'eau}}$$

Nous avons : **Mv de l'eau = 1000 kg/m3**

Nous avons ainsi les résultats de densité pour le béton cellulaire pour Béton 1, Béton 2, et Béton 3 aux pourcentages de polystyrène de 0%, 0,2%, 0,5%, et 1% enregistrés aux jours 7, 28, et 56, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau III.8: Valeur de densité des échantillons de béton cellulaire dans différents pourcentages de polystyrène

Type de béton	D	7J	28J	56J
		Béton 1	Béton 2	Béton 3
Béton cellulaire de base 0%	Sans unité	2.01	2.06	2.04
Béton cellulaire renforcé 0,2%	Sans unité	1.86	1.9	1.88
Béton cellulaire renforcé 0.5%	Sans unité	1.61	1.65	1.72
Béton cellulaire renforcé 1%	Sans unité	1.41	1.54	1.31

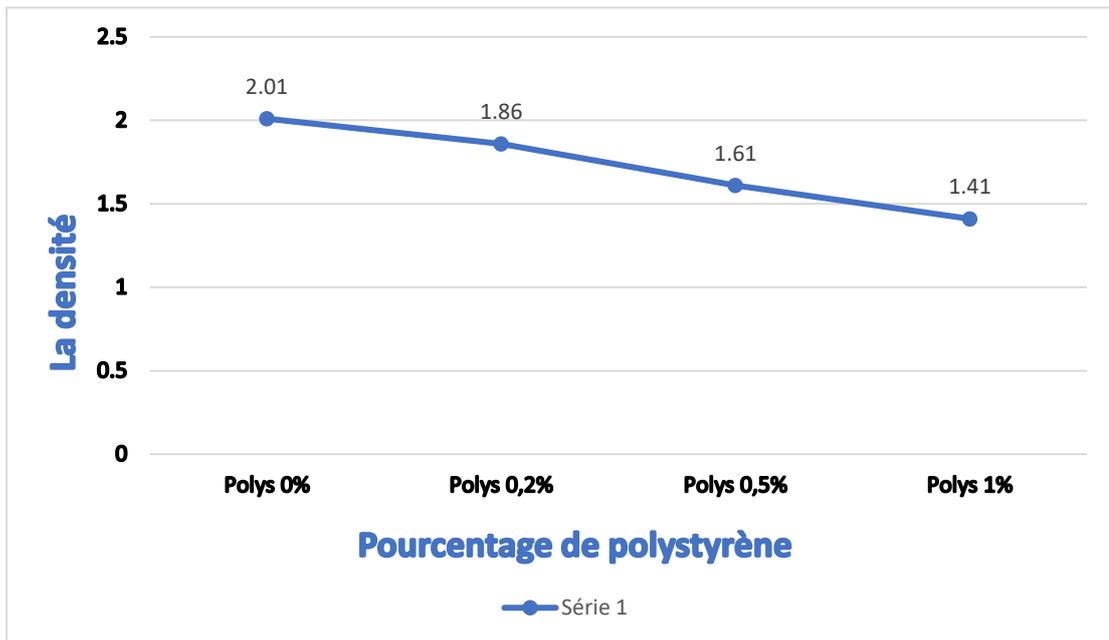


Figure III.15: Une courbe graphique des valeurs de densité d'échantillons de béton cellulaire en fonction de différents pourcentages de polystyrène au jour 7

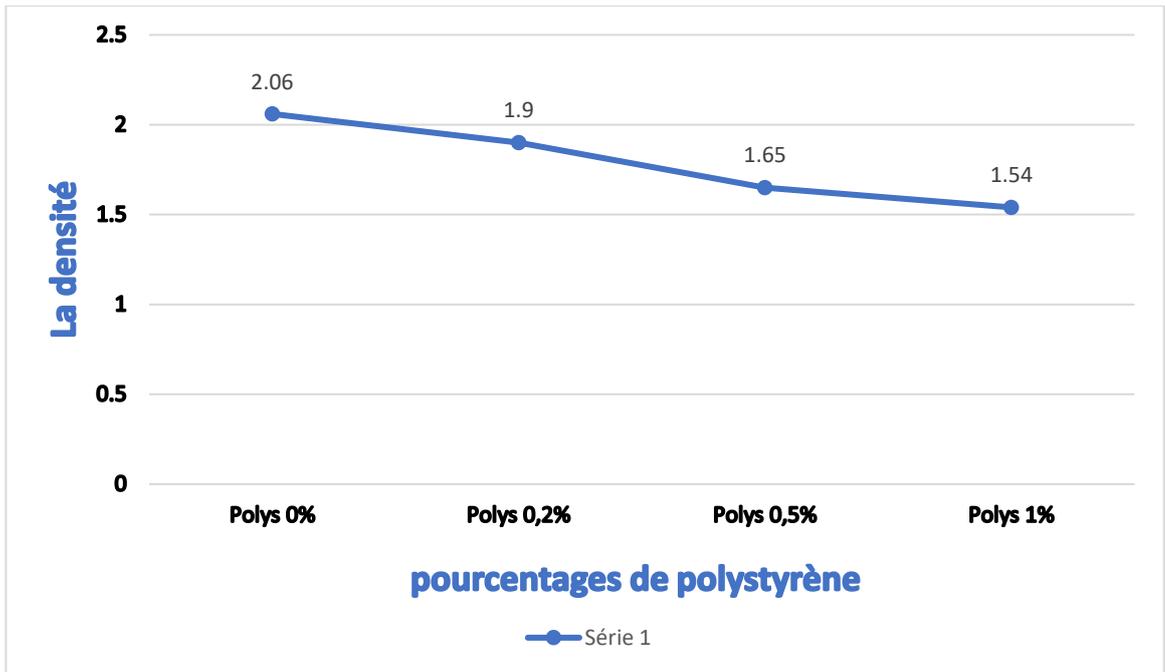


Figure III.16 : Une courbe graphique des valeurs de densité d'échantillons de béton cellulaire en fonction de différents pourcentages de polystyrène au jour 28

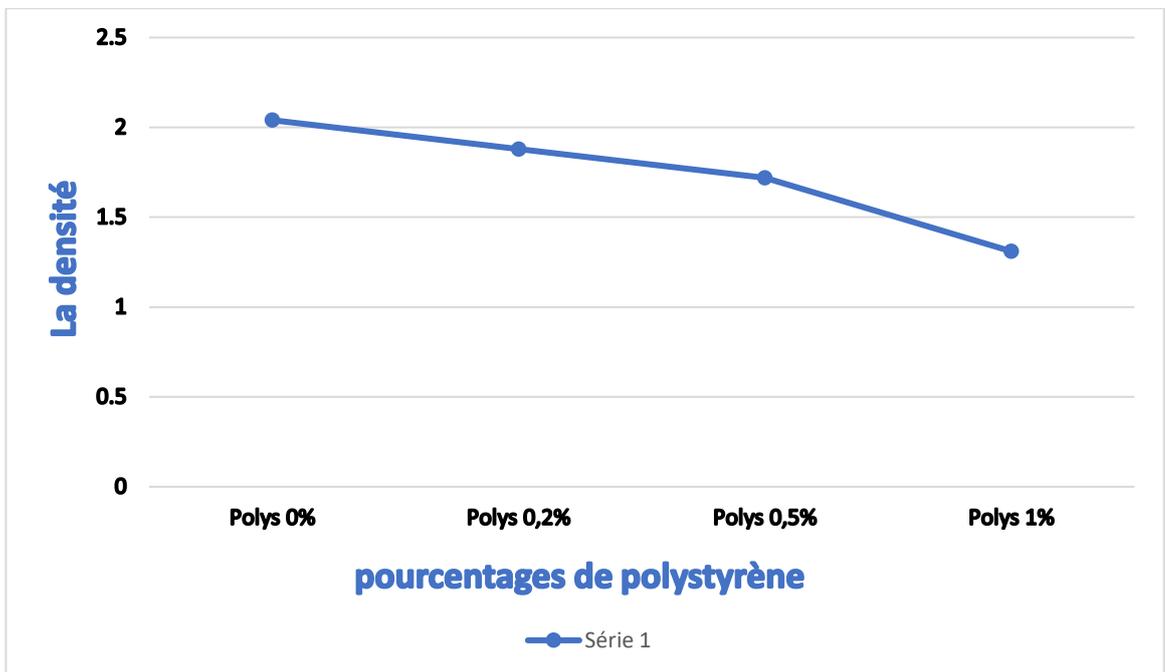


Figure III.17 : Une courbe graphique des valeurs de densité d'échantillons de béton cellulaire en fonction de différents pourcentages de polystyrène au jour 56

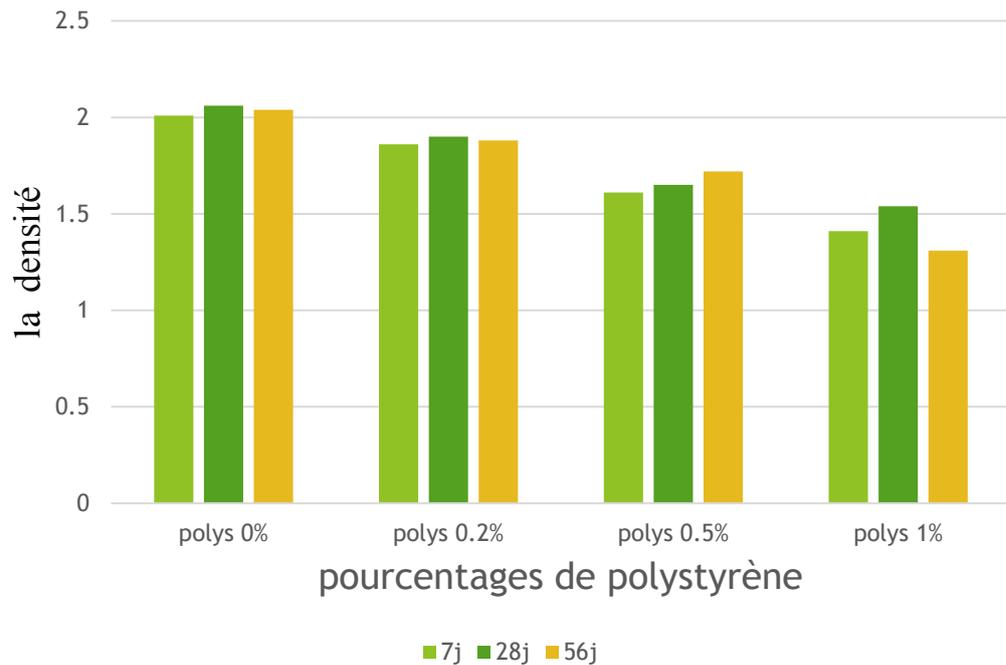


Figure III.18: Histogrammes de la densité du béton selon pourcentages de polystyrène, jour 7.28 56

III. Discussion et interprétation

Les résultats des essais montrent un effet notable de l'incorporation de polyester sur la densité du béton cellulaire au cours des périodes suivantes : 7 jours, 28 jours et 56 jours.

D'après les résultats fournis, il ressort que l'ajout de polyester entraîne une diminution de la densité à travers toutes les périodes (7 jours, 28 jours et 56 jours). Les échantillons contenant des proportions plus élevées de polyester tendent à avoir une densité plus faible. Par exemple, les échantillons contenant 1% de polyester montrent une densité plus faible comparée aux échantillons qui n'en contiennent pas.

L'incorporation de polyester dans le béton cellulaire améliore ses propriétés physiques en réduisant la densité et le poids, ce qui le rend idéal pour les applications nécessitant des matériaux légers tout en maintenant la résistance mécanique nécessaire. Ces propriétés font du béton cellulaire un excellent choix pour la construction et les applications d'ingénierie nécessitant légèreté et efficacité en matière d'isolation thermique et acoustique. La stabilité de la densité et son amélioration au fil du temps renforcent la fiabilité du béton cellulaire dans diverses conditions temporelles et climatiques

On prend la valeur de la densité à 56 jours, qui est de 1,31.

La densité obtenue expérimentalement (1.31) est conforme à la plage de densité mentionnée dans les sources fiables (0,3 - 1,8).

III.6.2 Essais mécaniques

III.6.2.1 Essais de résistance à la flexion :

L'essai de flexion à 3 points est effectué sur des prismes 4x4x16 cm³ avec une vitesse de mise en charge de 1 N/s. Le résultat prise est la moyenne de trois essais.

Après 7, 28 et 56 jours de traitement sur une machine de test sur deux supports et avec un chargement progressif et régulier conduisant à atteindre la valeur finale de la charge en environ 5 minutes.

Grâce à la réalisation d'un essai de flexion sur du béton en chargeant l'échantillon à deux points (Chargement à deux point), cela rend la poutre qui se forme à l'intérieur de la rupture exposée à une flexion pure (Flexion pure) sans présence de cisaillement dans cette partie, ce qui fait que la rupture est due uniquement à la résistance à la flexion.

Nous calculons la résistance à la flexion de la poutre en béton exposée à deux charges centrales à travers la relation suivante :

$$R_f = (P_{max} \times L) / (bh^3)$$

- **R_f : Résistance à la traction par flexion**
- **P_{max} : force traction par flexion**
- **L : Longueur de la poutre du moule placée entre les appuis**
- **b : Largeur de la poutre**
- **h : Hauteur de la poutre**

Tableau III.9: Résultats de la résistance à la flexion pour différentes proportions de polystyrène

Type de béton	R _f 7J (Mpa)	R _f 28J (Mpa)	R _f 56J (Mpa)
Béton cellulaire de base 0%	0.64	1.25	2.06
Béton cellulaire renforcé 0,2%	0.59	1.1	1.85
Béton cellulaire renforcé 0.5%	0.36	1	1.53
Béton cellulaire renforcé 1%	0.3	0.72	0.88

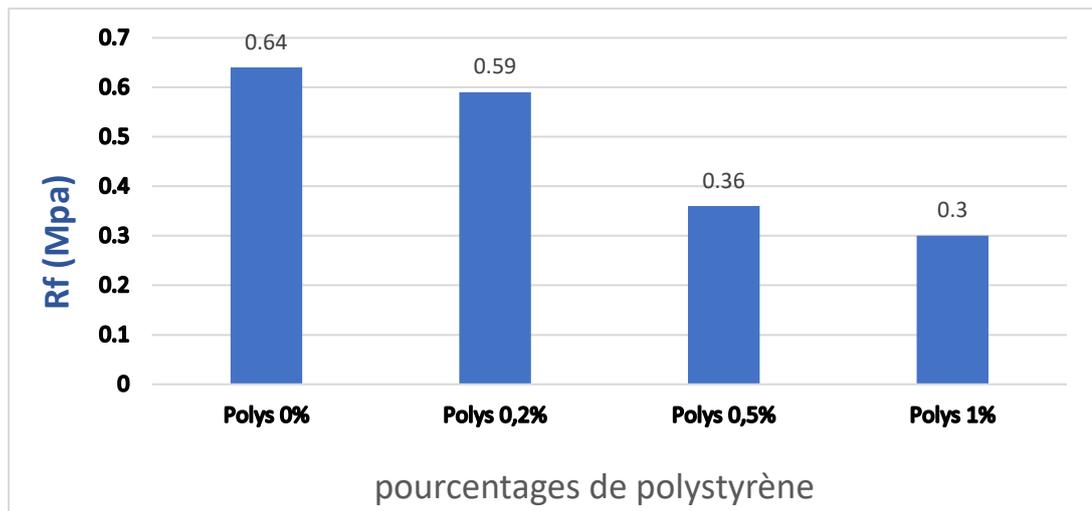


Figure III.19 : Graphiques en barres des variations de la résistance à la traction par flexion en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 7

III. Discussion et interprétation

Ces résultats confirment que l'utilisation d'adjuvants dans le béton influence la résistance mécanique. Nous remarquons que les échantillons contenant différentes proportions d'adjuvants (superplastifiants) ont montré des variations dans leur résistance. Bien que les échantillons avec une proportion plus élevée d'adjuvants aient montré une résistance moindre, cela indique un effet positif des adjuvants lorsqu'ils sont utilisés en faibles proportions.

Les réponses obtenues après 7 jours sont acceptables en les comparant avec le béton cellulaire obtenu par fabrication industrielle.

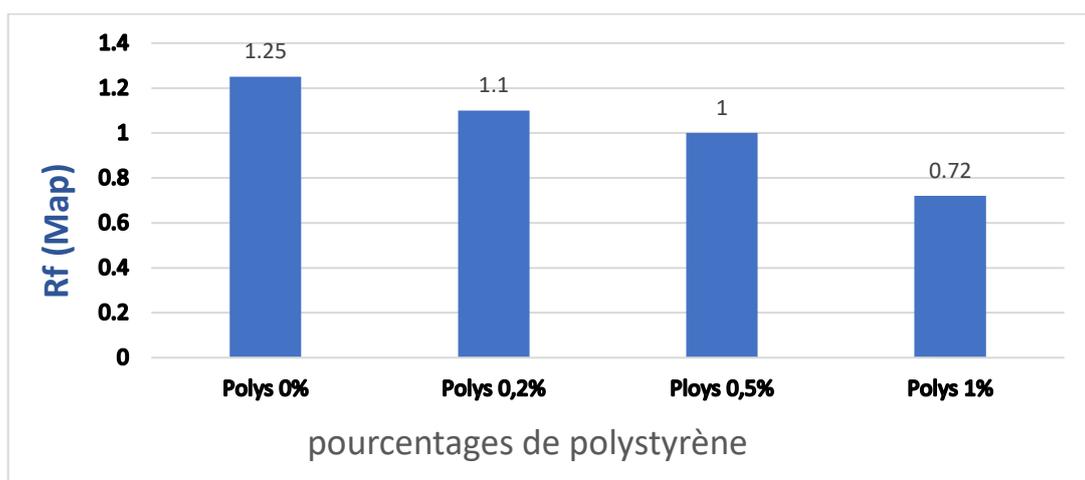


Figure III.20 : Graphiques en barres des variations de la résistance à la traction par flexion en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 28

III. Discussion et interprétation

Les résultats confirment que l'utilisation d'additifs dans le béton affecte sa résistance mécanique. Nous remarquons que les échantillons contenant différentes proportions d'additifs (superplastifiants) ont montré des variations de résistance. Bien que les échantillons avec des proportions plus élevées d'additifs aient montré une résistance moindre, ils indiquent néanmoins un effet positif des additifs lorsqu'ils sont utilisés à des proportions réduites.

Comparaison entre les résultats après 7 jours et 28 jours :

Après 7 jours, les valeurs de résistance à la flexion variaient entre 0,3 et 0,64 mégapascals (MPa), tandis qu'après 28 jours, elles variaient entre 0,72 et 1,25 MPa. Cela indique une augmentation générale de la résistance avec le temps.

Les échantillons avec des proportions plus élevées d'additifs continuent de montrer une résistance inférieure par rapport aux échantillons sans additifs ou avec des proportions plus faibles d'additifs.

Les résultats obtenus après 28 jours sont acceptables en comparaison avec le béton cellulaire obtenu par fabrication industrielle, mais il est possible d'améliorer les proportions d'additifs pour obtenir de meilleurs résultats

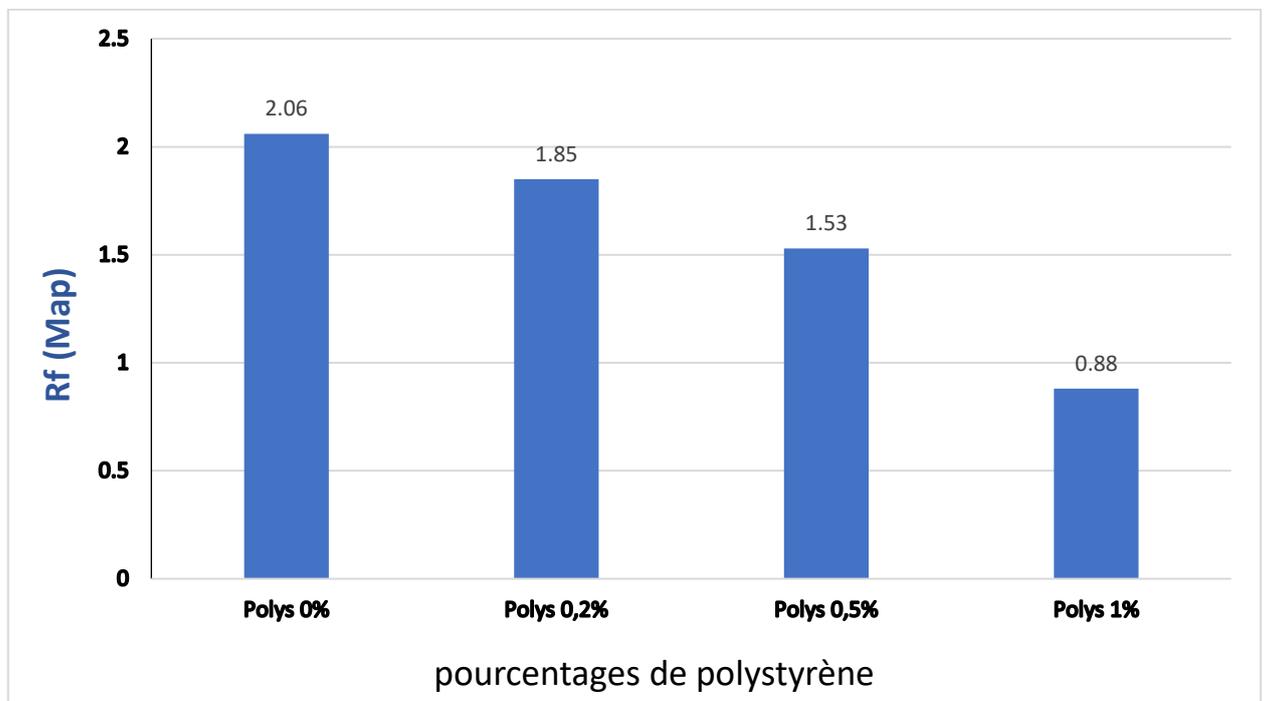


Figure III.21 : Graphiques en barres des variations de la résistance à la traction par flexion en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 56

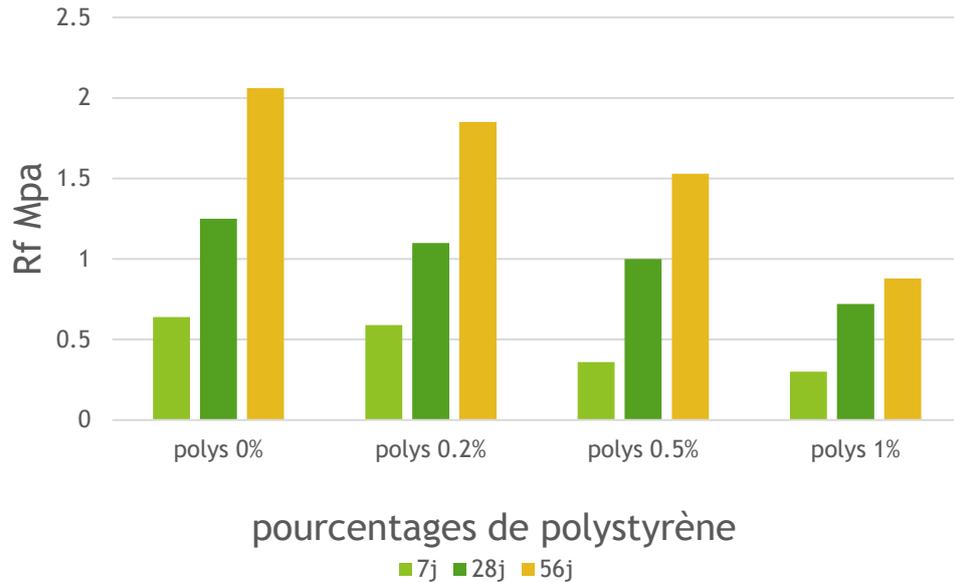


Figure III.22 : Histogrammes la résistance à la traction par flexion en fonction des pourcentages de polystyrène au jour 7.28. 56

III. Discussion et interprétation

Les résultats confirment que l'utilisation d'additifs dans le béton affecte sa résistance mécanique. Nous constatons que les échantillons contenant différentes proportions d'additifs ont montré des variations de résistance. Bien que les échantillons avec des proportions élevées d'additifs aient montré une résistance plus faible, ils indiquent néanmoins un effet positif des additifs lorsqu'ils sont utilisés à des proportions réduites.

Comparaison des résultats à 7 jours, 28 jours et 56 jours :

Après 7 jours, les résultats variaient entre 0,3 et 0,64 mégapascals.

Après 28 jours, les résultats variaient entre 0,72 et 1,25 mégapascals.

Après 56 jours, les résultats variaient entre 0,88 et 2,06 mégapascals, indiquant une augmentation nette de la résistance avec le temps.

Les échantillons sans additifs ont montré la plus grande résistance après 56 jours (2,06 mégapascals).

L'effet des additifs était clair, avec les échantillons à forte proportion d'additifs montrant une résistance mécanique inférieure.

Les valeurs obtenues après 56 jours sont acceptables en comparaison avec le béton cellulaire fabriqué industriellement. Les résultats montrent une stabilité de la résistance au fil du temps, avec une recommandation d'améliorer les proportions d'additifs pour obtenir de meilleures performances mécaniques



Figure III.23 : Un appareil pour mesurer la flexion de l'échantillon.

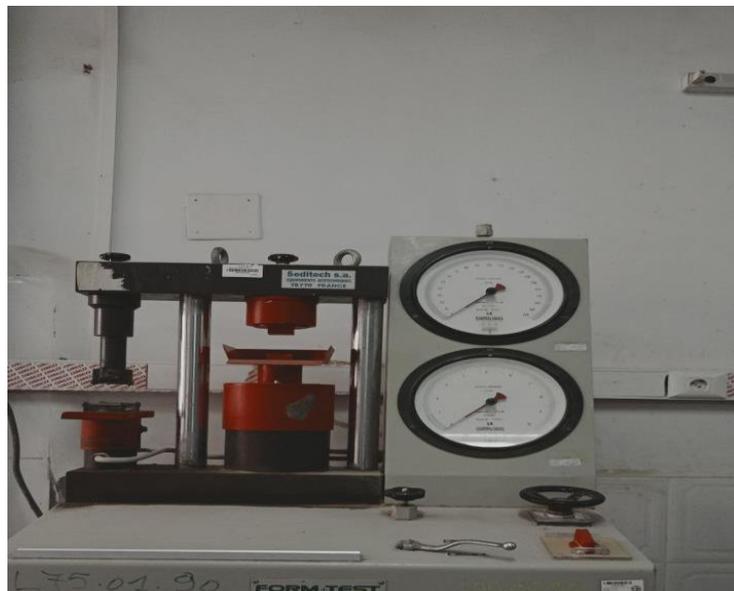


Figure III.24 : Machine principale complète pour mesurer la compression et la flexion

III.6.2.2 Essais de résistance à la compression:

Après avoir utilisé une machine pour mesurer la résistance à la compression et à la flexion du béton cellulaire avec quatre proportions différentes de polystyrène, nous avons enregistré les résultats dans le tableau suivant :

Relation: $RC = F_{max} / ah$

- **RC** : Résistance à la compression
- **F_{max}** : force à la compression
- **b** : Largeur de la poutre
- **h** : Hauteur de la poutre

Tableau III.10: Résultats de la résistance à la compression pour différentes proportions de polystyrène

Type de Béton	RC 7J (MPa)	RC28J (MPa)	Rc56J (MPa)
Béton cellulaire de base 0%	3.125	6.044	8.75
Béton cellulaire renforcé 0,2%	2.688	4.794	7.39
Béton cellulaire renforcé 0,5%	1.981	4.169	7.25
Béton cellulaire renforcé 1%	1.044	2.919	3.39

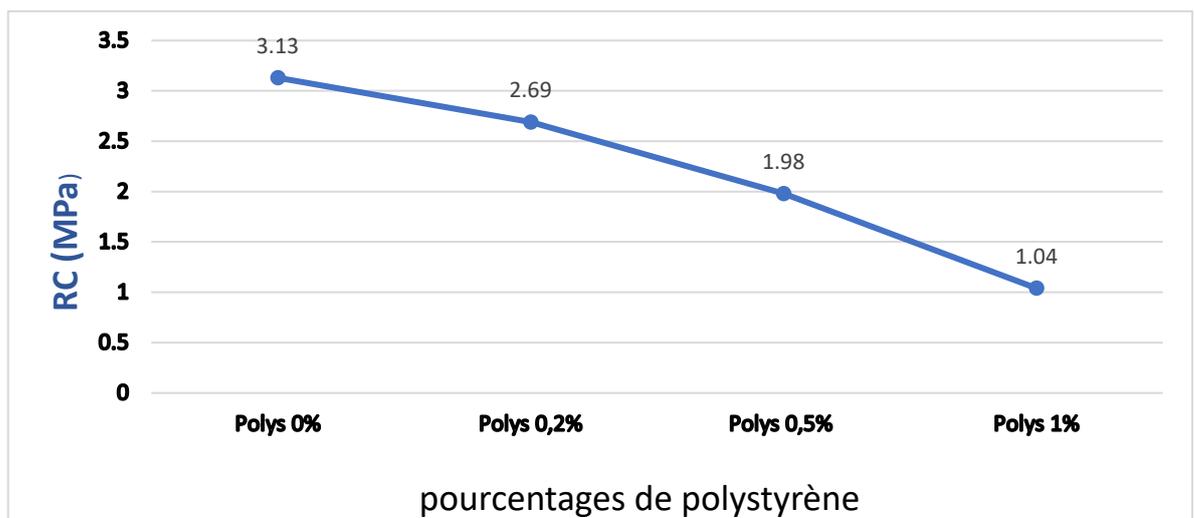


Figure III.25 : Un graphique des valeurs de résistance à la compression en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 7

III. Discussion et interprétation

Les résultats confirment que l'utilisation d'additifs dans le béton affecte sa résistance mécanique. Nous notons que les échantillons contenant différentes proportions d'additifs ont montré des variations de résistance. Bien que les échantillons avec des proportions plus élevées d'additifs aient montré une résistance plus faible, cela indique l'effet des additifs lorsqu'ils sont utilisés à des proportions variables.

Comparaison des résultats après 7 jours, 28 jours et 56 jours :

Après 7 jours, les résultats montrent que les échantillons ont une bonne résistance, mais ceux contenant des proportions plus élevées d'additifs ont une résistance moindre.

Les résultats de la résistance à la compression après 28 et 56 jours ne sont pas mentionnés ici, mais on peut s'attendre à une augmentation générale de la résistance avec le temps, conformément au comportement du béton.

Les réponses obtenues après 7 jours sont acceptables lorsqu'elles sont comparées au béton cellulaire obtenu par fabrication industrielle. Les résultats soulignent l'importance d'atteindre un équilibre dans les proportions d'additifs pour obtenir les propriétés mécaniques souhaitées

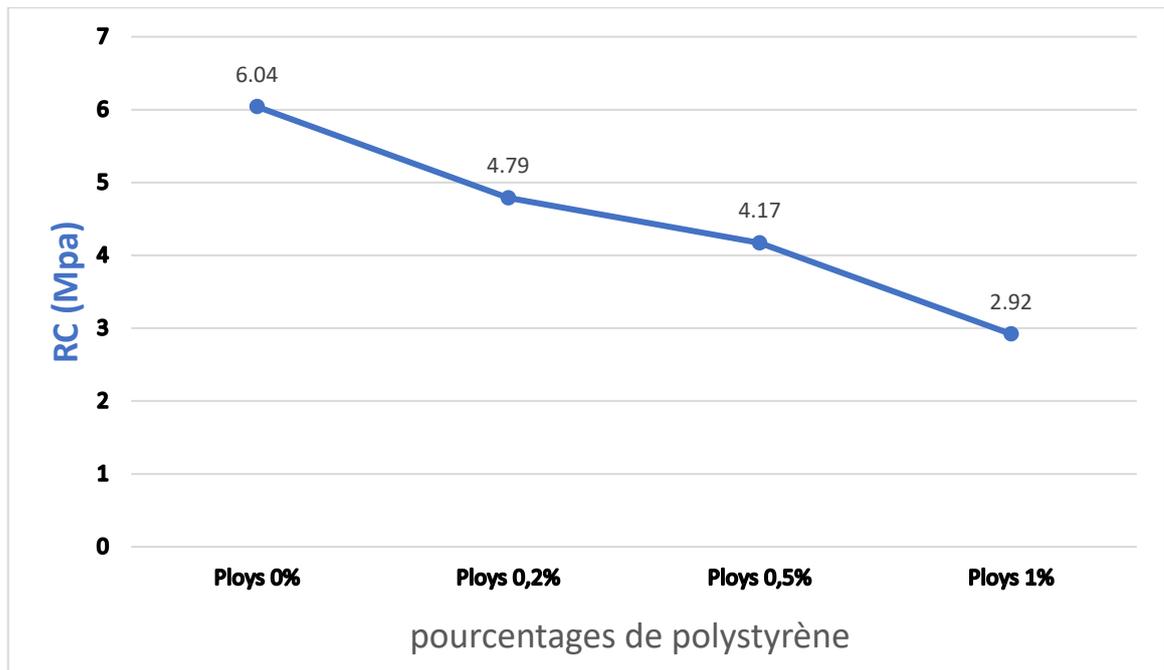


Figure III.26 : Un graphique des valeurs de résistance à la compression en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 28

III. Discussion et interprétation

Les résultats confirment que l'utilisation du polystyrène dans le béton affecte sa résistance mécanique. Nous notons que les échantillons contenant différentes proportions de polystyrène ont montré des variations de résistance. Bien que les échantillons avec des proportions plus élevées de polystyrène aient montré une résistance plus faible, cela indique l'effet du polystyrène lorsqu'il est utilisé à des proportions variables.

Comparaison des résultats après 7 jours et 28 jours :

Après 7 jours, les résultats initiaux peuvent varier, mais la tendance générale indique une amélioration de la résistance avec le temps.

Exemple de résultats après 7 jours (pour comparaison) :

3,13 MPa (0 % de polystyrène), 2,69 MPa (0,2 % de polystyrène), 1,98 MPa (0,5 % de polystyrène), 1,04 MPa (1 % de polystyrène).

Après 28 jours, la résistance s'est nettement améliorée, avec une plage allant de 2,92 à 6,04 MPa, ce qui indique une augmentation générale de la résistance au fil du temps.

Les réponses obtenues après 28 jours sont acceptables lorsqu'elles sont comparées au béton cellulaire obtenu par fabrication industrielle. Les résultats montrent une stabilité de la résistance au fil du temps, avec une recommandation d'améliorer les proportions de polystyrène pour obtenir de meilleures performances mécaniques

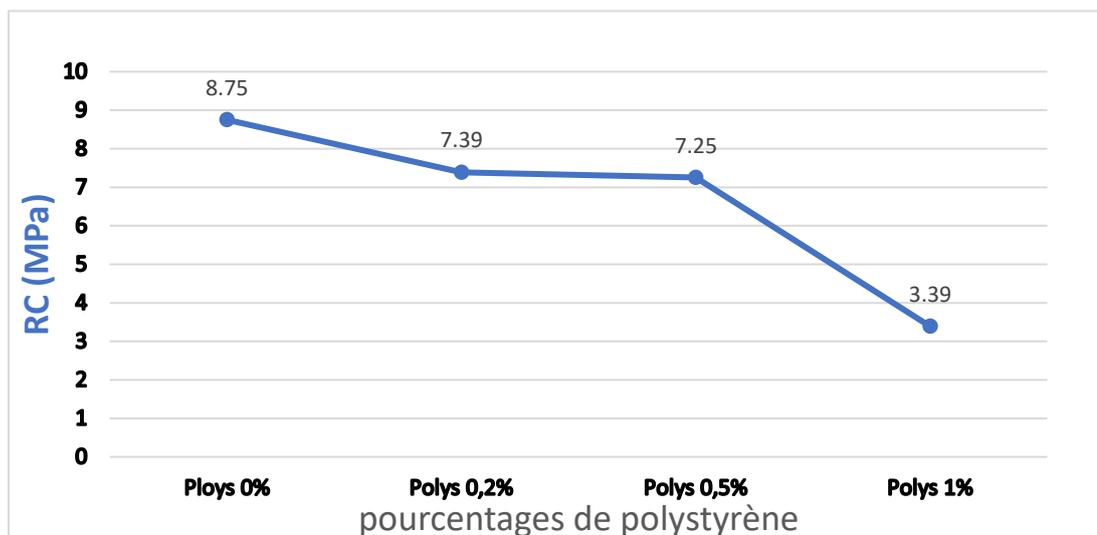


Figure III.28 : Un graphique des valeurs de résistance à la compression en fonction des différentes proportions de polystyrène au jour 56 .

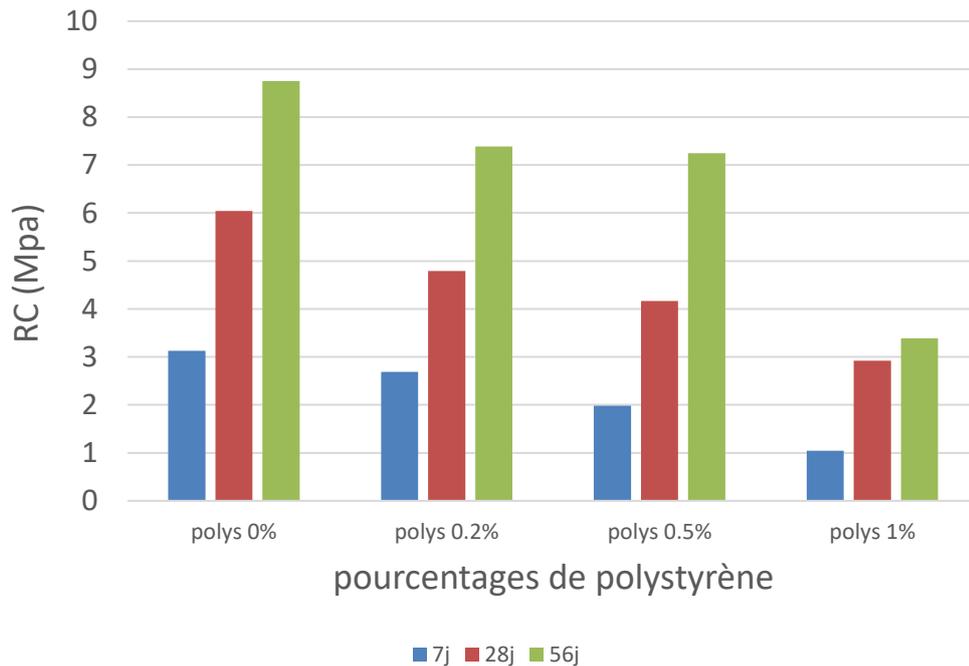


Figure III.27: Histogrammes la résistance à la compression en fonction des pourcentages de polystyrène au jour .7.28.56

III. Discussion et interprétation

Ces résultats confirment que l'utilisation du polystyrène dans le béton affecte sa résistance mécanique. Nous remarquons que les échantillons contenant différentes proportions de polystyrène ont montré des variations de résistance. Bien que les échantillons avec la plus forte proportion de polystyrène aient montré une résistance plus faible, ils indiquent l'effet du polystyrène lorsqu'il est utilisé à des proportions variables.

Comparaison des résultats après 7 jours, 28 jours et 56 jours :

Après 7 jours, les résultats initiaux peuvent varier, mais la tendance générale indique une amélioration de la résistance au fil du temps.

Exemple de résultats après 7 jours (pour comparaison) :

3,13 MPa (0 % de polystyrène), 2,69 MPa (0,2 % de polystyrène), 1,98 MPa (0,5 % de polystyrène), 1,04 MPa (1 % de polystyrène).

Exemple de résultats après 28 jours (pour comparaison) :

6,04 MPa (0 % de polystyrène), 4,79 MPa (0,2 % de polystyrène), 4,17 MPa (0,5 % de polystyrène), 2,92 MPa (1 % de polystyrène).

Après 56 jours, la résistance s'est nettement améliorée, avec une plage allant de 3,39 à 8,75 MPa, ce qui indique une augmentation générale de la résistance au fil du temps.

Les résultats obtenus après 56 jours sont acceptables lorsqu'ils sont comparés au béton cellulaire obtenu par fabrication industrielle. Ils montrent une stabilité de la résistance au fil du temps.



Figure III.29 : Un appareil pour mesurer la compression de l'échantillon.

III.7 Caractéristiques thermiques :

Les caractéristiques thermiques de béton cellulaire sont dues à sa capacité d'isolation thermique, attribuable aux vides créés par les éléments constitutifs, qui ont la capacité d'absorber la chaleur. Malheureusement, les équipements nécessaires pour mener nos essais sur l'isolation thermique du béton cellulaire n'étaient pas disponibles dans la région de Ghardaïa. Nous avons donc dû nous rendre dans les universités voisines de Ouargla et Laghouat, où ces équipements n'étaient pas disponibles pour mener nos essais.

III.8 Caractéristiques phonique :

Nous avons effectué des tests acoustiques ISO sur le béton cellulaire après 28 jours, car les propriétés du béton se stabilisent après cette période, pour un échantillon de 4 cm d'épaisseur. Nous avons enregistré les résultats suivants pour les proportions de 0 %, 0,2 %, 0,5 % et 1 %.

III.8.1 Nous avons enregistré à 0 % :

Tableau III.11: Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 0% de polystyrène

Béton cellulaire de base %	28j	28j	28j
V(km/s)	2.38	2.59	2.66
T(ms)	17.3	15.5	17.5
V moyenne	2.54		

III.8.2 Nous avons enregistré à 0.2% :

Tableau III.12 : Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 0.2% de polystyrène

Béton cellulaire renforcé 0,2%	28j	28j	28j
V(km/s)	2.57	2.85	2.57
T(m/s)	15.1	14.3	15.1
V moyenne	2.66		

III.8.3 Nous avons enregistré à 0.5% :

Tableau III.13 : Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 0.5 % de polystyrène

Béton cellulaire renforcé 0.5%	28j	28j	28j
V(km/s)	2.59	2.56	2.52
T(m/s)	15.4	15.2	15.6
V moyenne	2.56		

III.8.4 Nous avons enregistré à 1% :

Tableau III.14: Résultats de la mesure de la vitesse du son dans le béton cellulaire à 1% de polystyrène

Béton cellulaire renforcé 1%	28j	28j	28j
V(km/s)	2.25	2.34	2.28
T(m/s)	17	17.4	17.5
V moyenne	2.29		

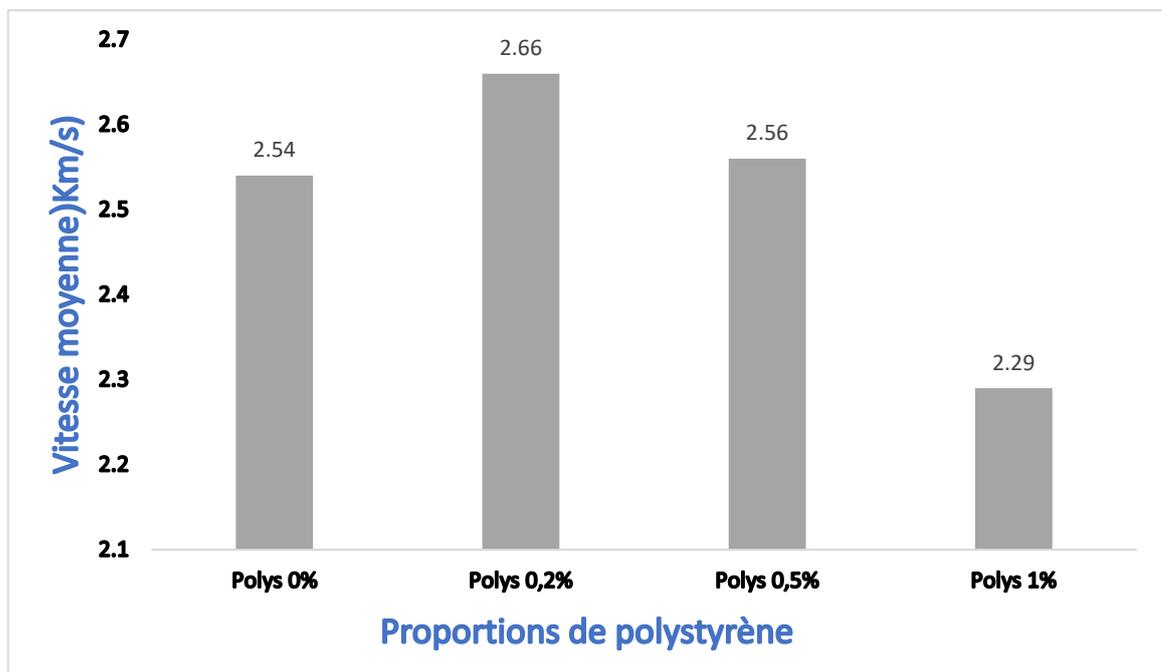


Figure III.30 : Des histogrammes de la vitesse des ondes ultrasonores des échantillons en fonction des différentes proportions de polystyrène

Analyse et discussion:

Dans ce tableau, l'effet de l'ajout de polystyrène sur la vitesse du son dans le béton est examiné. Les résultats sont les suivants :

À 0% de polystyrène :

La vitesse du son dans le béton est de 2,54 km/s.

Cette valeur est donnée comme référence ou norme, permettant de comparer les effets de différents pourcentages d'ajouts.

À 0,2% de polystyrène :

La vitesse du son dans le béton augmente à 2,66 km/s.

Cela reflète une amélioration notable par rapport à l'état de référence. Cette amélioration peut être expliquée par des améliorations dans la structure et l'organisation du ciment et d'autres composants architecturaux en présence d'un faible pourcentage de polystyrène.

À 0,5% de polystyrène :

La vitesse du son diminue légèrement à 2,56 km/s par rapport au pourcentage à 0,2%, mais reste supérieure à la valeur de référence à 0%.

Cela indique un point d'équilibre entre l'effet positif du polystyrène à faible pourcentage et d'autres effets qui pourraient être négatifs à des pourcentages légèrement plus élevés.

À 1% de polystyrène :

La vitesse du son chute considérablement à 2,29 km/s.

Cette baisse importante indique que l'augmentation du pourcentage de polystyrène entraîne un déséquilibre dans la structure du béton, ce qui entrave la propagation des ondes sonores et affecte négativement les propriétés du matériau.

DISCUSSION :

Le pourcentage optimal : Les résultats montrent clairement que le pourcentage optimal de polystyrène améliorant la vitesse du son dans le béton est de 0,2%. Un pourcentage de 0,5% reste utile mais peut commencer à montrer des effets négatifs.

L'effet à long terme : L'augmentation du pourcentage pourrait avoir des effets cumulatifs négatifs à long terme. Il est donc important de faire preuve de prudence lorsque l'on envisage d'augmenter le pourcentage de polystyrène au-delà de 0,2%.

Essais supplémentaires : Il serait probablement nécessaire de réaliser des essais supplémentaires pour étudier les détails et la dynamique de la structure microscopique du béton avec différents pourcentages de polystyrène, afin de déterminer la cause exacte de la baisse importante de la vitesse du son à 1% de polystyrène.

En résumé, les résultats indiquent que l'ajout d'un faible pourcentage de polystyrène peut améliorer les propriétés du béton, mais que dépasser ce pourcentage peut avoir un effet négatif.



Figure III.31 : Appareil utilisé pour mesurer la vitesse du son dans le béton
(ULTRASONIC)

Conclusion :

D'après cette étude on a conclu que

Masse :

En comparant la masse des échantillons sur différentes périodes et avec différentes proportions de polyester, on peut observer que l'ajout de polyester entraîne une réduction de la masse sur toutes les périodes (7 jours, 28 jours et 56 jours). Cela est dû à l'effet distinctif du polyester dans l'allègement de la masse du béton cellulaire.

Densité et légèreté :

L'ajout de polyester entraîne une réduction significative de la densité et de la masse, rendant le béton cellulaire plus léger et moins dense. Cet effet est important pour améliorer les applications nécessitant des matériaux légers.

Densité et isolation acoustique:

Selon les données mentionnées, les valeurs plus faibles de densité du béton cellulaire avec différentes proportions de polyester indiquent que ce béton pourrait être plus efficace pour l'isolation acoustique. En effet, le béton à faible densité absorbe et retient le son de manière plus efficace, ce qui aide à réduire sa propagation.

Résistance à la compression et à la flexion:

Les valeurs obtenues pour la résistance à la compression et à la flexion sont considérées comme bonnes par rapport au béton cellulaire traditionnel. La résistance du béton cellulaire aux facteurs mécaniques reste forte et adaptée à une utilisation dans de nombreuses applications d'ingénierie et architecturales.

En résumé

- Masse et densité: L'utilisation du polyester réduit considérablement la masse et la densité, rendant le béton cellulaire plus léger et plus efficace pour l'isolation thermique et acoustique.
- Résistance à la compression et à la flexion: Les valeurs mécaniques obtenues sont bonnes, ce qui rend le béton adapté aux utilisations architecturales et d'ingénierie nécessitant des matériaux légers mais solides.

L'utilisation du polyester dans le béton cellulaire améliore ses propriétés physiques et mécaniques, en faisant un choix idéal pour la construction et les applications d'ingénierie nécessitant des matériaux légers ayant une capacité d'isolation thermique et acoustique tout en maintenant une résistance mécanique adéquate



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

D'après cette étude qui a été le jumelage entre l'étude bibliographique et l'étude expérimentale nous avons répondu à notre question principale, qui a été :

- L'ajout de matériaux légers et recyclés à la composition du béton cellulaire augmente-t-il son impact écologique et économique ?

Afin de répondre à cette question nous avons donné une hypothèse qui reste à vérifier qui a été :

- L'addition du polystyrène comme matériau léger et recyclé au béton cellulaire, peut-être le matériau recyclé qui va répondre aux défis techniques, économiques et environnementaux de notre époque.

D'après l'étude expérimentale nous avons conclu les tirets suivants :

1. La légèreté : L'ajout de polystyrène réduit la masse à différentes périodes et il réduit significativement la densité, **de ce fait :**

→ Le polystyrène est un matériau qui aide à la légèreté le béton cellulaire.

2. Isolation acoustique : L'ajout de polystyrène minimise les valeurs de densité, subséquemment le béton cellulaire à faible densité absorbe mieux le son, ce qui indique :

→ L'ajout du polystyrène dans le béton cellulaire collabore à une meilleure isolation acoustique.

3. La résistance mécanique : D'après les études sur la résistance mécanique, il a été remarqué que les valeurs de résistance à la compression et à la flexion sont considérées comme satisfaisantes, de ce fait :

Le béton cellulaire composé du polystyrène maintient une résistance mécanique suffisante.

4. Avantages environnementaux :

L'utilisation de béton cellulaire avec polystyrène contribue vivement à réduire le taux des déchets industriels et ménagers, ce qui renforce les solutions écologiques vers un environnement durable.

5. Avantages économiques :

Les services de protection de l'environnement cherchent souvent des solutions écologiques d'élimination des déchets qui semblent coûteuses. Alors avec notre proposition de production de béton cellulaire avec polystyrène va garantir un gain économique pour les recycler.

Conclusion générale

Etant donné que, une brique du béton cellulaire constituer par les matériaux locaux et les déchets industriels comme le polystyrène et les chutes d'aluminium contribue à la réduction des dépendances de la production, ce qui va améliorer les rendements économiques par la production d'une brique écologique moins coûteuse.

Les cinq objectifs visés dans cette étude sont tout atteints :

1. L'objectif visé à propos d'augmentation de la légèreté du béton cellulaire est atteint.

Démonstration : L'ajout du polystyrène a considérablement réduit la masse et la densité du béton cellulaire, ce qui lui rend plus léger.

2. L'objectif visé à propos d'amélioration l'isolation thermique et acoustique du béton cellulaire est atteint.

Démonstration : La diminution de la densité du béton cellulaire contenant du polystyrène indique une meilleure efficacité d'isolation acoustique.

3. L'objectif visé à propos de la réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments est atteint.

Démonstration : Le béton cellulaire avec l'isolation thermique réduit parfaitement la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement.

4. L'objectif visé à propos de renforcement des solutions environnementales est atteint.

Démonstration : L'utilisation de polystyrène les déchets industriels favorise les solutions écologiques en réduisant les déchets et en promouvant le recyclage.

5. L'objectif visé à propos de la revalorisation des matériaux économiques est atteint.

Démonstration : L'utilisation de polystyrène comme alternative économique aux matériaux traditionnels contribue à réduire les coûts de la réalisation des ouvrages.

D'après nos résultats il est important de confirmer que le béton cellulaire renforcé par le polystyrène présente des améliorations significatives de ses propriétés physiques et mécaniques, ce qui en fait une option idéale pour les applications de construction et d'ingénierie nécessitant des matériaux légers avec une isolation thermique et acoustique efficace tout en maintenant une résistance mécanique suffisante.

La réponse à la question principale :

Effectivement l'étude a confirmé que l'ajout des matériaux légers et recyclés à la composition du béton cellulaire augmente son impact écologique et économique, comme béton innovant.

L'étude a confirmé notre hypothèse :

Conclusion générale

L'utilisation de polystyrène a permis des améliorations significatives dans les propriétés de la béton cellulaire, incluant la réduction de la densité et l'augmentation de la résistance mécanique. Cela confirme que l'ajout de polystyrène, en tant que matériau léger et recyclé, répond aux défis techniques, économiques et environnementaux de notre époque. Il représente une solution innovante tant sur le plan écologique qu'économique.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

PERSPECTIVES DE RECHERCHES

Perspectives d'avenir du béton cellulaire renforcé au polystyrène. En se basant sur les résultats positifs obtenus par l'utilisation du polystyrène dans le béton cellulaire, cette étude ouvre plusieurs perspectives d'avenir pour le développement et l'amélioration des applications du béton cellulaire dans les domaines de la construction et de l'ingénierie. Voici quelques perspectives possibles :

1. Expansion de l'utilisation du béton cellulaire dans les grands projets :

Encourager l'utilisation du béton cellulaire renforcé au polystyrène dans les grands projets tels que la construction de complexes résidentiels, d'installations industrielles et commerciales afin de réaliser des avantages économiques et environnementaux importants.

2. Recherche et développement continus :

Encourager la recherche continue pour améliorer la composition du béton cellulaire en utilisant d'autres matériaux durables, dans le but d'améliorer les propriétés de performance et d'élargir la gamme d'applications possibles.

3. Importance accrue accordée aux spécifications environnementales :

Promouvoir l'utilisation de matériaux de construction respectueux de l'environnement et renforcer les normes environnementales en élaborant et en mettant en œuvre des projets pilotes qui démontrent les avantages environnementaux et économiques de l'utilisation du .béton cellulaire

4. Intégration aux technologies de construction avancées :

Intégrer le béton cellulaire renforcé au polystyrène aux technologies de construction avancées telles que l'impression 3D et la préfabrication pour améliorer l'efficacité et produire des .structures légères avec une meilleure isolation thermique et acoustique

5.Promotion de la sensibilisation et de l'éducation :

Organiser des ateliers et des formations pour les ingénieurs, les architectes et les entrepreneurs sur les avantages et les méthodes d'utilisation du béton cellulaire renforcé au polystyrène afin de promouvoir l'adoption de ce matériau dans l'industrie de la construction.

6.Expansion du recyclage:

Encourager l'utilisation d'autres déchets industriels dans le processus de fabrication du béton cellulaire dans le cadre de stratégies de recyclage et de réutilisation des ressources pour parvenir à une économie circulaire

7. Soutien aux politiques gouvernementales :

Collaborer avec les agences gouvernementales pour élaborer des politiques qui soutiennent l'utilisation de matériaux durables et encouragent les investissements dans des technologies de construction respectueuses de l'environnement par le biais d'incitations et d'initiatives environnementales.

8. Analyse du coût du cycle de vie du projet :

Effectuer une analyse complète du coût du cycle de vie du projet pour améliorer l'efficacité des coûts et démontrer les avantages financiers à long terme de l'utilisation du béton cellulaire renforcé au polystyrène.

L'exploration de ces perspectives d'avenir renforcera le rôle du béton cellulaire renforcé au polystyrène en tant qu'option de construction innovante, respectueuse de l'environnement et économique, contribuant ainsi à une plus grande durabilité dans l'industrie de la construction.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Collectif Syndicat National des Fabricants de Béton Cellulaire. (2011). **Construire en béton cellulaire**. Eyrolles.
- [2] Cox, J., Ingelaere, A., Sizaire, J., Meulders, P., & Van Overmeire, E. (n.d.). **Le béton cellulaire matériau d'avenir**. Fédération Belge.
- [3] Saiti, I. (2014). Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable d'une de la région de GHARDAIA (Mémoire de master). Université d'Ouargla.90 P,s
- [4] Ciment. (s.d.). Béton cellulaire. Wikibis. Récupéré le 21 janvier 2018, à partir de http://www.ciment.wikibis.com/beton_cellulaire.php 2 mars 2024
- [5] Guegan, C., Legras, P., Mazzoleni, J. F., Colin, C., Breiner, T., & Foussier, N. (2005). **Mémento du béton cellulaire**.
- [6] Cox, J., Sizaire, J., Meulders, P., Van Overmiere, E., & Ingeleare, A. I. (n.d.). **FeBeCel**. Bruxelles.
- [7] Wittmann, F. H. (1992). Pore structure and moisture characteristics of porous inorganic building materials. In **Proceedings of the International RILEM Workshop on Durability of Concrete** (pp. 53-63). Amesterdam
- [8] Boulamar, D., & Koriche, M. (2018, Juin). **Construction en béton cellulaire: Avantages et inconvénients**. Mémoire de Master, Université 08 Mai 1945 de Guelma.
- [9] Khaoula, D., & Khaoula, B. (2020, November 16). **Elaboration d'un béton cellulaire bioSourcé à base des déchets industriels**. Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [10] Neville, A. (2000). **Propriétés des bétons**. Eyrolles . Paris.
- [11] Arnould. (1986). **Granulats de béton légers**. Paris.
- [12] Hamid, H., & Abdelaziz, A. (2019). **Effet du rajout des fibres en polypropylène sur les caractéristiques mécaniques d'un béton cellulaire** (Mémoire de master). Université Badji Mokhtar Annaba.
- [13] Larbi, B., & Nacer, L. (2017). **Etude des caractéristiques d'un béton cellulaire à base de sable mixte** ((Mémoire de master).
- [14] Y, M. B., M, K., N, J., & N, M. A. (2015, May). Formulation et caractérisation mécanique d'un nouveau béton cellulaire en Tunisie dit béton mousse: étude préliminaire. Université de Tunis El Manar
- [15] Ioana, A., Paunescu, L., Constantin, N., Rucai, V., Dobrescu, C., Pasare, V., & Istrate, A. (2023). **High-Strength and Heat-Insulating Cellular Building Concrete Based on Calcined Gypsum**. *Materials*, 16(1), 118. <https://doi.org/10.3390/ma16010118> 4 avril 2024

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [16] Boulamar, D., & Koriche, M. (2018). **Construction en béton cellulaire.** Avantages et inconvénients (Mémoire de master). Université 08 Mai 1945 de Guelma
- [17] Ziani-Kerarti, S. M., & Billami, M. O. (2020). **Etat de l'art sur la formulation et le comportement du béton léger à base de microbilles de polystyrène expansé.** Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil.
- [18] ZAITER. S & HADJAB N (2022) **Etude Des Propriétés Physico-Mécaniques D'un Mortier Préparé A Base De Plâtre** Mémoire de master UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
- [19] afarge.dz 15 septembre 2024



Autorisation d'impression d'un mémoire de Master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	NESSIL Abdelhamid	
Examineur	SALHI Aimad	
Encadreur	CADY Mokhtaria	

Je soussigne, Mr : NESSIL Abdelhamid

Président de jury des étudiant(s) : ABOULHACENE Hacem Chadli & KHIAT Zakaria

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème : Etude des caractéristiques physiques et mécaniques du béton cellulaire.

J'autorise le(s) étudiant(s) mentionné(s) ci-dessus à déposer leur(s) manuscrit final au niveau du département.

L'président de jury



11 أيار 2024

Ghardaïa, le:

Le chef de département

الشيخ الطيب
رئيس قسم الري
والهندسة المدنية