

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université ain temouchent belhadj bouchaib
Faculté des sciences et de la technologies
Département de génie civil et travaux publics



Projet de fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de master en génie civil
Filière : génie civil
Spécialité : matériaux en génie civil

Thème

Elaboration d'un mortier écologique a base de liège

Réalisé par :

Benzina bochra chahrazed

benzina kheira nesrine

Soutenu publiquement le Juin 2025 devant le jury composé de :

Mr KAMECHE	MCA	Président	Université Ain Temouchent
MmeDERBAL Ahlem	MCA	Examinatrice	Université Ain Temouchent
Mr ABDELHADI houari	MAA	Encadrent	Université Ain Temouchent

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

*J'adresse mes plus sincères remerciements à mon honorable encadrant, Monsieur **HOUARI ABDELHADI**, pour sa supervision, ses orientations précieuses et son soutien constant tout au long de ce projet. J'exprime également ma gratitude aux membres du jury pour leur présence, leurs remarques pertinentes et enrichissantes, qui ont grandement contribué à la qualité de ce travail. Leurs observations rigoureuses et leur intérêt ont été pour moi une grande source de reconnaissance.*

Je remercie profondément ma famille, en particulier mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral et matériel, ainsi que leurs prières continues. Sans eux, je n'aurais jamais pu atteindre ce niveau.

Enfin, j'adresse ma gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leurs encouragements constants et leurs prières. Ce travail est le fruit de leur soutien indéfectible.

À ma famille,

Pour leur présence à mes côtés, leur patience et leur soutien tout au long de mon parcours.

À mon encadrant, Monsieur HOUARI ABDELHADI,

En reconnaissance de sa supervision, de ses précieux conseils et de la confiance qu'il m'a accordée, qui ont été une grande source de motivation.

À mes amies et collègues, Pour les moments partagés, leur soutien moral et l'ambiance chaleureuse qui ont allégé les difficultés de cette étape.

À toutes celles et ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragée à persévérer.

La liste de figure

Figure1 :Ecologie industrielle appliquée au bâtiment.....	21
Figure 2 : Approche intégrée et par implémentation du [8].....	24
Figure 3:montre des images MEB de couronnes d'ananas traitées et naturelles	25
Figure 4 : Carte réseau des mots-clés utilisés dans les articles publiés sur les additifs utilisés dans le béton et le ciment, obtenu auprès de Web of Science.....	27
Figure 5 : Impacts des cendres de canne à sucre sur la résistance à la traction, la résistance à la flexion et la résistance à la compression	29
Figure 6 : Béton conventionnel mélangé avec des fibres (A) et béton de coque de noix de coco proposé avec des fibres (B).....	31
Figure 7 : Amélioration de la résistance à la flexion (A) et de la résistance à la traction par fendage (B) après 28 jours.....	34
Figure 8 : Aire de répartition du chêne liège dans le monde	42
Figure 9 : Histogramme représentant la répartition de chêne liège dans le monde.....	43
Figure 10 : Répartition de chêne liège (Quercus suber L.) en Algérie.....	44
Figure 11 : Chêne liège isolé : cime étalée.....	45
Figure 12 : Peuplement de Chêne liège : cime Elancée.....	46
Figure 13 : Dessin descriptif du Chêne liège.....	46
Figure 14 : Représentation schématique de la coupe axiale d'un chêne-liège	47
Figure 15 : Structure de la paroi cellulaire en chêne-liège	48
Figure 16 : Représentation des trois axes du liège avec les observations par microscope électronique	49
Figure 17 : Représentation schématique des cellules du liège.	49

Figure 18 : Représentation schématique de la disposition cellulaire dans la section de culture du liège.....	50
Figure 19: Extraction du gypse en galerie souterraine.....	52
Figure 20 : Extraction à ciel ouvert du gypse.....	53
Figure 21 : Bloc de gypse extrait des carrières.....	53
Figure 22: Processus de déshydratation du gypse.	54
Figure 23: Enduit en plâtre.....	57
Figure 24:Carreaux de plâtre.....	58
Figure 25 : Béton de plâtre.....	58
Figure 26 : Quelques utilisations de plâtre dans les médecines.....	59
Figure 27 : plâtre knauf.....	63
Figure 28 : La masse volumique absolu.....	64
figure 29 : la masse volumique apparent.....	64
Figure 31 : Sable fin.....	65
figure 32 : sable fin et gros.....	65
Figure 33 : Lavage de sable gros	65
Figure 34 : tamis a granulométrie.....	66
Figure 35 : courbe granulométriques de sable.....	67
Figure 38 : la chaux.....	68
Figure 39 : liège.....	68
Figure 40: machine déchiqueteuse MS 300.....	69
Figure 41 : courbe granulométriques de liège.....	70
Figure 42 : les matériaux utilisés.....	72

Figure 43 : les matériaux utilisés.....	72
Figure 44 : moule 4*4*16.....	73
Figure 45 : Eprouvettes réalisées Ø (80mm) épaisseur de 1cm.....	74
Figure 46 : éprouvette 4*4*16.....	74
Figure 47 : malaxeur.....	75
Figure 48 : appareil d’ultrasons.....	75
Figure 49 : appareil de flexion.....	76
Figure 50 : appareil de compression.....	77
Figure 51 : appareil de conductivité thermique.....	77
Figure 52 : le dessiccateur.....	78
Figure 53 : Absorption d’eau par capillarité.....	78
Figure 54 : appareille Porosité accessible à l’eau.....	79.
Figure 55 : Les échantillons dans L’étuve immersion	79
Figure 56 : Les échantillons dans l’eau.....	80
Figure 57:Appareil pour l’essai de l’acoustique.....	81
Figure 58 : Variation de la densité en fonction du pourcentage du déchet à 7 jour et 28 jours.....	86
Figure 59 : Variation d’ultrason en fonction du pourcentage du déchet à 7 jour et 28 jours...87	87
Figure 60 : Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage du déchet à 7 jours et 28 jours.....	80
Figure 61 : Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage du déchet à 7 jour et 28 jours.....	90
Figure 62 : Variation de conductivité thermique en fonction du pourcentage du déchet à 28jour.....	92
Figure 63 : Variation de conductivité thermique en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours.....	93

Figure 64 : Variation du coefficient l'absorption par immersion total (Ab) en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours.....	95
Figure 65 : Variation de l'essai de la porosité accessible à l'eau en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours.....	96
Figure 66: Variation d'ultrason l'essai étuve immersion en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours.....	98
Figure 67 : Variation de résistance a la compression de l'essai immersion séchage en fonction du pourcentage du déchet de liège à 28 jours.....	99
Figure 68 : Variation de Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 1 cm d'épaisseur.....	101
Figure 69 : Variation de Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 1 cm d'épaisseur.....	101
Figure 70 : Variation d'Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 2 cm d'épaisseur.....	102
Figure 71 : Variation d'Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 2 cm d'épaisseur.....	103

Liste du tableau

Tableau 1 : Inconvénients et avantages de l'utilisation des déchets agricoles.....	40
Tableau 2 : Répartition du chêne liège dans le monde et quantités de liège produite.....	43
Tableau 3: Résultat de caractéristique de plâtre.....	64
Tableau 4 : Résultat Analyse granulométrique de sable.....	66
Tableau 5 : Résultat de caractéristique de sable.....	67
Tableau 6 : Résultat Analyse granulométrique de liège.....	69

Tableau 7 : Résultat de caractéristique de liège.....	70
Tableau 8 : le différent échantillon leur composants.....	71
Tableau 9 : Variation de la densité en fonction du pourcentage du déchet à 7 jours et 28 jours.....	85
Tableau 10 : variation de la résistance à flexion en fonction du pourcentage de déchet.....	88
Tableau 11: variation de la résistance à compression en fonction du pourcentage de déchet.	90
Tableau12 :Variation de conductivité thermique en fonction du pourcentage de déchet de liège.....	91

Sommaire

Résumé	12
Introduction générale	16
Chapitre 1 : Revue de la littérature	
I.1. Introduction :	19
I.2. Problématiques générales	19
I.2.1. Enjeux environnementaux_	19
I.2.2. Economie circulaire	20
I.2.3. I.2.3. Ecologie industrielle appliquée au secteur du bâtiment	21
I.3. Matériaux de construction dans l’habitat	22
I.3.1 Matériaux et réduction des impacts environnementaux	23
I.4. Les déchets agricoles comme additifs concrets	24
I.4.1. Déchets d'ananas	24
I.4.2. Déchets de canne à sucre	26
I.4.3. Déchets de coques de noix de coco	30
I.4.4. Déchets de balle de riz	32
I.4.5. Déchets de coques de noix	34
I.4.6. Déchets agricoles comme matériaux d'isolation pour les bâtiments	37
I.4.7. Avantages et inconvénients des agro-matériaux comme isolants	39
I.5 .Liège	41

I.5.1. Généralités sur le chêne liège	41
I.5.1.1. Aire de répartition	41
I.5.1.1.1. Dans le monde	41
I.5.1.1.2. En Algérie	44
I.5.2. Description du chêne liège	45
I.5.3. Structure du liège	46
I.6. Généralités sur le plâtre	50
I.6.1 Définition	50
I.6.2 Mode d'obtention	50
I.6.2 .1 Origine du plâtre	50
I.6.2.2 Procédé du plâtre à partir de gypse naturel	52
I.6.2.2.1 Extraction et préparation du gypse	52
I.6.2.2.2 Cuisson	53
I.6.2.2.3 L'obtention des produits finis	55
I.6.3. Propriétés de plâtre	55
I.6.4. Utilisations de plâtres	57
I.6.5 Avantages et inconvénients des plâtres	59

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

II.1 Introduction	63
II .2. Caractérisation des matériaux utilisés	63
II .2. 1 Le plâtre	63
II .2. 2. Le sable	65
II .2. 3. La chaux	67

II .2.4. Le liège	68
II .2.5. Eau de gâchage	70
II .3 Préparation de l'échantillon	71
II .3 .1 Formulation du mortier	74
II .4.Etat durci	75
II .4.1. Contrôle par ultrasons.....	75
II .4.2.Résistance à la traction par flexion.....	76
II .4.3.Résistance à la compression	76
II .4.4.Conductivité thermique	77
II .4.5.Absorption d'eau par capillarité	78
II .4.6.Porosité accessible à l'eau	78
II .4.7. Essai séchage-mouillage	79
II .4.8. Isolation phonique.....	80
Conclusion.....	83

Chapitre 3: Résultats et discussions

III.1. Introduction.....	85
III.2. Résultats et discussions.....	85
III.2.1 Masse volumique apparente des mortiers	85
III.2.2 Essai ultrason	86
III.2.3 Résistance à la flexion	88
III.2.4 Résistance à la compression.....	90
III.2.5 Conductivité thermique.....	91
III.2.6 Indicateurs de durabilité.....	93

III.2.6.1 Absorption capillaire	93
III.2.6.2 Absorption par immersion totale	94
III.2.6.3. Porosité accessible à l'eau Porosité accessible à l'eau	96
III.2.7 Essai séchage-mouillage	98
III.2.7.1 Essai d'ultrason	98
III.2.7.2. Essai de Resistance a la compression.....	100
III.2.8 Isolation phonique	101
Conclusion	105
Conclusion générale.....	107

Résumé :

Devant les défis environnementaux tels que les émissions de gaz à effet de serre et l'épuisement des ressources naturelles, l'industrie de la construction s'oriente de plus en plus vers des pratiques durables. Cela englobe l'usage de matériaux locaux et durables. L'objectif de cette thèse est de diminuer l'impact environnemental des matériaux de construction en incorporant des déchets agricoles, comme le liège, dans la composition des mortiers à base de plâtre.

Le plâtre est fréquemment employé dans l'industrie de la construction en raison de sa disponibilité mondiale et de ses propriétés vantées, cependant, il présente des limitations en ce qui concerne ses caractéristiques mécaniques et son isolation acoustique, ce qui requiert la mise en place de stratégies d'amélioration.

Le but de cette recherche est d'analyser l'emploi des résidus de l'industrie du liège en tant que substitut partiel du sable dans les mélanges de plâtre. Diverses quantités de liège (0, 25, 50, 75, 100 %) ont été expérimentées afin d'analyser leur influence sur les caractéristiques physiques, mécaniques et acoustiques du matériau. Les résultats indiquent que l'ajout de liège entraîne une diminution de la résistance mécanique, cependant des performances satisfaisantes sont constatées jusqu'à un taux de substitution de 50 %. De plus, il est à noter que la perméabilité et la capacité d'absorption d'eau augmentent proportionnellement à la quantité de liège utilisée, ce qui nécessite une vigilance accrue dans les milieux humides.

L'utilisation d'un mortier composé de plâtre et de liège naturel offre des bénéfices notables dans le domaine de l'écoconstruction, en particulier en améliorant l'isolation thermique et en réduisant le poids des structures. Toutefois, il est impératif d'assurer un contrôle précis de la quantité de liège ajoutée afin de maintenir les performances mécaniques du matériau. Cette étude représente une contribution significative à l'incorporation de matériaux biosourcés dans le domaine du génie civil, ouvrant ainsi la voie à des pratiques de construction plus durables sur le plan environnemental.

Mots clés: Matériaux biosourcés, déchets de liège, mortiers de plâtre, caractéristiques physiques, conductivité thermique et isolation acoustique.

Abstract:

Faced with environmental challenges such as greenhouse gas emissions and the depletion of natural resources, the construction industry is increasingly moving toward sustainable practices. This includes the use of local and sustainable materials. The objective of this thesis is to reduce the environmental impact of construction materials by incorporating agricultural waste, such as cork, into the composition of gypsum-based mortars.

Gypsum is frequently used in the construction industry due to its global availability and vaunted properties. However, it has limitations regarding its mechanical characteristics and acoustic insulation, requiring the implementation of improvement strategies.

The aim of this research is to analyze the use of cork industry residues as a partial sand substitute in gypsum mixes. Various quantities of cork (0, 25, 50, 75, 100%) were tested to analyze their influence on the material's physical, mechanical, and acoustic characteristics. The results indicate that the addition of cork results in a decrease in mechanical strength; however, satisfactory performance is observed up to a 50% substitution rate. Furthermore, it should be noted that permeability and water absorption capacity increase proportionally to the amount of cork used, requiring increased vigilance in humid environments.

The use of a mortar composed of plaster and natural cork offers significant benefits in the field of eco-construction, particularly by improving thermal insulation and reducing the weight of structures. However, it is imperative to ensure precise control of the amount of cork added to maintain the material's mechanical performance. This study represents a significant contribution to the incorporation of bio-based materials in the field of civil engineering, paving the way for more environmentally sustainable construction practices.

Keywords: Bio-based materials, cork waste, gypsum mortars, physical characteristics, thermal conductivity, and acoustic insulation.

ملخص:

في ظل التحديات البيئية، كانبعاث غازات الاحتباس الحراري ونضوب الموارد الطبيعية، يتجه قطاع البناء بشكل متزايد نحو ممارسات مستدامة. ويشمل ذلك استخدام مواد محلية ومستدامة. تهدف هذه الأطروحة إلى الحد من الأثر البيئي لمواد البناء من خلال دمج النفايات الزراعية، مثل الفلين، في تركيب ملاط الجبس.

يُستخدم الجبس بكثرة في قطاع البناء نظرًا لتوافره العالمي وخصائصه المتميزة. ومع ذلك، يواجه قيودًا فيما يتعلق بخصائصه الميكانيكية وعزله الصوتي، مما يتطلب تطبيق استراتيجيات للتحسين.

يهدف هذا البحث إلى تحليل استخدام بقايا صناعة الفلين كبديل جزئي للرمال في خلطات الجبس. تم اختبار كميات مختلفة من الفلين (0، 25، 50، 75، 100%) لتحليل تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والصوتية للمادة. تشير النتائج إلى أن إضافة الفلين تؤدي إلى انخفاض في القوة الميكانيكية؛ ومع ذلك، لوحظ أداء مُرضٍ بنسبة استبدال تصل إلى 50%. علاوة على ذلك، تجدر الإشارة إلى أن نفاذية الماء وقدرته على امتصاصه تزدادان طرديًا مع زيادة كمية الفلين المستخدمة، مما يتطلب يقظة أكبر في البيئات الرطبة.

يوفر استخدام ملاط الجبس والفلين الطبيعي فوائد كبيرة في مجال البناء الصديق للبيئة، لا سيما من خلال تحسين العزل الحراري وتقليل وزن الهياكل. ومع ذلك، من الضروري ضمان التحكم الدقيق في كمية الفلين المضافة للحفاظ على الأداء الميكانيكي للمادة. تمثل هذه الدراسة مساهمة كبيرة في دمج المواد الحيوية في مجال الهندسة المدنية، مما يمهد الطريق لممارسات بناء أكثر استدامة بيئيًا.

الكلمات المفتاحية: المواد الحيوية، نفايات الفلين، ملاط الجبس، الخصائص الفيزيائية، الموصلية الحرارية، والعزل الصوتي.



Introduction générale

Introduction générale :

Confronté à l'appauvrissement graduel des ressources naturelles et à la montée des enjeux écologiques globaux, le domaine de la construction se situe actuellement à une croisée des chemins cruciale. Ce domaine est effectivement identifié comme l'un des contributeurs majeurs aux émissions mondiales de gaz à effet de serre. Il est donc essentiel qu'il adopte des principes de durabilité, d'atténuation de l'empreinte carbone et de valorisation des ressources renouvelables et locales. Dans cette optique, l'architecture écologique et l'éco-construction apparaissent comme des solutions indispensables pour faire face aux enjeux du changement climatique et de la protection des écosystèmes.

L'emploi de matières biosourcées provenant de résidus agricoles, forestiers ou industriels locaux semble être une stratégie pleine de promesses. Ces ressources, qui se distinguent par leur présence locale sur les sites de construction, leur nature renouvelable et leur potentiel de recyclage, contribuent non seulement à réduire l'empreinte énergétique des constructions, mais également à intégrer le secteur de la construction dans un processus d'économie circulaire. Elle promeut la réintégration des déchets dans le processus de production, ce qui réduit le gaspillage et favorise l'industrialisation symbiotique entre divers secteurs.

Traditionnellement apprécié pour ses propriétés d'isolation thermique, sa résistance à la chaleur et son confort hygrométrique, le plâtre se prête particulièrement bien à la création de mortiers composites novateurs lorsqu'il est combiné avec des matériaux naturels. Le liège naturel se démarque par ses performances exceptionnelles en matière de thermique et d'acoustique, sa légèreté et son aspect durable parmi les matériaux récents. Le liège, provenant de l'écorce du chêne-liège, est extrait sans causer de dommages à l'arbre, ce qui en fait une ressource écologique et renouvelable.

Cette recherche s'aligne sur la vision d'innovation écologique, en cherchant à développer et définir un mortier écologique basé sur du plâtre enrichi en liège naturel provenant de résidus locaux. Le but principal est d'examiner minutieusement les caractéristiques physico-chimiques, mécaniques, thermiques et acoustiques de ces mortiers composites, tout en évaluant leur

Introduction générale

empreinte environnementale et leur potentiel d'utilisation dans le domaine de la construction durable.

Cette recherche se concentre spécifiquement sur l'intégration graduelle du liège naturel dans la composition plâtrière, en substituant le sable conventionnel par des proportions de 0 %, 25 %, 50 %, 75 % et 100 %. L'analyse systématique des performances mécaniques, de la résistance à l'eau et des propriétés isolantes des mortiers est effectuée dans le but de déterminer les formulations idéales pour une utilisation architecturale écologique.

Ce travail de recherche est structuré en trois chapitres qui se complètent mutuellement :

Le premier chapitre expose le cadre théorique et conceptuel, se concentrant initialement sur la fonction de l'économie circulaire en tant qu'outil d'amélioration des ressources et de diminution des déchets dans le domaine du bâtiment. Il offre par la suite une analyse minutieuse des attributs physiques, mécaniques et structurels du plâtre, accompagnée d'une présentation globale du liège naturel et de ses caractéristiques, mettant particulièrement l'accent sur les particularités des résidus employés dans cette recherche.

Le chapitre deux traite de la méthodologie expérimentale, détaillant minutieusement les procédures utilisées pour la préparation, l'implémentation et le contrôle qualité des mortiers composites intégrant le liège.

Le chapitre trois examine les résultats expérimentaux obtenus, discute leurs conséquences et les compare avec les informations présentes dans la littérature scientifique, dans le but de souligner les possibilités d'application et les contraintes potentielles.

Par conséquent, ce travail de recherche participe à l'amélioration des connaissances concernant les matériaux biosourcés en génie civil, en offrant une solution durable et efficace pour la création de mortiers écologiques, conforme aux défis environnementaux actuels



**Chapitre 1 : Revue de la
littérature**

I.1. Introduction :

Ce chapitre expose la base théorique et conceptuelle de ce travail, en mettant initialement l'accent sur la fonction de l'économie circulaire comme moyen d'optimiser l'utilisation des ressources et de minimiser les déchets dans le domaine du bâtiment. Dans ce cadre, une description détaillée des résidus naturels exploités dans le domaine de la recherche est donnée, soulignant leurs propriétés physiques et fonctionnelles. Puis, une présentation détaillée des caractéristiques du liège naturel est fournie, notamment sa légèreté, sa capacité d'isolation thermique et son aptitude à optimiser les performances des matériaux composites. Pour conclure, le chapitre offre une étude approfondie des propriétés physiques, mécaniques et structurales du plâtre, qui constitue l'élément principal des compositions suggérées.

I.2. Problématiques générales :

I.2.1. Enjeux environnementaux :

Suite à une prise de conscience générale accrue vis-à-vis des défis environnementaux auxquels est confrontée la planète, différents acteurs – économistes, scientifiques, ingénieurs et politiciens – de nombreux pays sont à la recherche de solutions pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre. L'engagement a ainsi été pris par 174 pays en 2015 à Paris lors de la vingt et unième session de la Conférence des Parties de réduire drastiquement de façon urgente les émissions de gaz à effet de serre afin de ne pas dépasser les 2°C de réchauffement climatique. Ceci se traduit par un ensemble de mesures et d'actions bien identifiées selon les secteurs d'activités et les zones géographiques concernées. Le secteur du bâtiment, que ce soit pour les phases de construction ou opérationnelles est un secteur connu comme étant responsable d'une des principales sources d'émission de CO₂ de par le monde aussi bien par la production de matériaux de construction que les consommations énergétiques des bâtiments en phase d'exploitation (chauffage, ventilation et climatisation) [1]. Afin d'étudier l'impact environnemental d'une construction, les critères de consommations énergétiques ne sont plus les seuls qui prévalent, dorénavant l'énergie grise des bâtiments tout au long de leur cycle de vie est de plus en plus prise en compte. (Un bâtiment est considéré comme absolument durable lorsque son empreinte environnementale annuelle est moindre que sa charge pour la planète [2]). L'impact des matériaux de construction devient alors prépondérant de même que le choix de rénover des habitations afin d'en allonger leur durée de vie. Concernant la France, la priorité a été donnée à la rénovation des bâtiments existants lors du plan stratégique de transition énergétique afin d'alléger les consommations en énergie du secteur tout en dynamisant l'activité

Chapitre 1 : revue de la littérature

économique (Plan Bâtiment Durable 2015). L'objectif affiché de ce plan est de réduire de 50% les émissions de gaz à effet de serre du secteur de la construction d'ici 2030 et de 87% d'ici 2050. Ceci, entre autres, en effectuant la promotion de bâtiments « bas carbone » tels qu'en visagés par le label E+C – [3]. La mise en place de ce label qui préfigure la future réglementation environnementale intégrera la notion de frugalité (bâtiment low-tech) non seulement par rapport aux énergies consommées pendant la durée de vie du bâtiment mais également par rapport à la fabrication et au type de matériaux employés. Un label « bâtiment bas carbone Rénovation » a été mis en place à compter du premier semestre 2018, celui-ci vise au minimum une division par 2 des émissions de CO₂ par rapport au bâtiment initial. La démarche initiée par L'association pour le développement du Bâtiment Bas Carbone (BBCA), s'appuie sur la méthode déjà définie pour le bâtiment neuf et reprend ses 4 indicateurs : construction raisonnée ; exploitation maîtrisée ; stockage carbone ; économie circulaire. Elle combine l'amélioration du bâti et l'optimisation de la performance énergétique et valorise la conservation de l'existant, l'amortissement des matériaux, le réemploi et le recours aux matériaux biosourcés stockeurs de carbone. Une autre problématique, la raréfaction des ressources naturelles risque de devenir critique, le secteur de la construction utilisateur de matières tel que le sable, les granulats et des matériaux issus du pétrole, étant concerné au premier plan. L'utilisation de matériaux issus de ressources agricoles renouvelables, peu transformées, recyclables et disponibles localement pourra apporter une réponse pertinente aux défis en cours et à venir.

I.2.2. Economie circulaire :

Depuis une dizaine d'années, le concept d'économie circulaire se diffuse de plus en plus tant au niveau des différents secteurs industriels qu'institutionnel, l'Union Européenne ayant mis en place une initiative dédiée : le « Européen Union Action Plan for the Circular Economy ». Cette démarche promeut une approche de l'économie circulaire prenant en compte le cycle de vie de l'intégralité d'un produit. Ce modèle alternatif favorise la réutilisation, la réparation, la rénovation, le recyclage, la récupération des matériaux brut ainsi que la valorisation des déchets et co-produits [4]. L'économie circulaire privilégie autant que possible l'utilisation de matériaux renouvelables [5] ainsi, l'emploi de matière première à base de co-produits de végétaux à croissance annuelle participe à la mise en place d'un système d'économie circulaire sur un territoire. L'économie circulaire peut-être déclinée en 7 approches :

1. L'écoconception

2. L'écologie industrielle
3. L'économie de fonctionnalité
4. Le réemploi
5. La réparation
6. La réutilisation
7. Le recyclage

I.2.3. Ecologie industrielle appliquée au secteur du bâtiment :

L'écologie industrielle implique l'inclusion des activités humaines dans une approche systémique liée à un territoire. Mettre en place un écosystème industriel à l'échelle d'un territoire implique la durabilité et la résilience d'un mode de fonctionnement, notamment, l'absence de génération de déchets. Ceci est possible lorsque les acteurs industriels travaillent en synergie, les déchets d'une activité devenant les matières premières de la suivante (Figure 1-1).

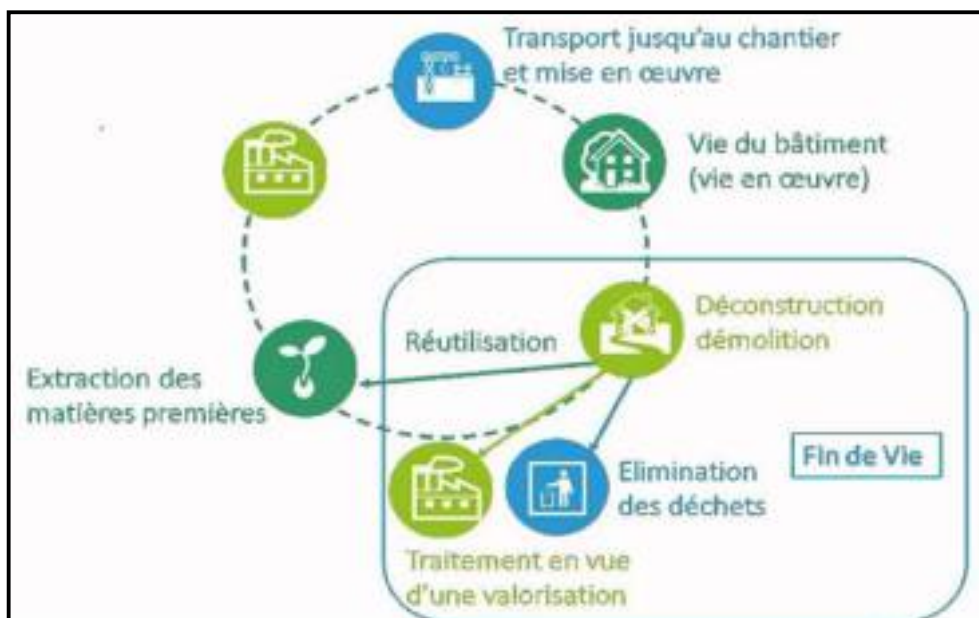


Figure 1 : Ecologie industrielle appliquée au bâtiment

Pour ce faire, l'écologie industrielle se base sur quatre principes directeurs :

Chapitre 1 : revue de la littérature

- Boucler : rendre les flux de matière, eau et énergie quasi cycliques
- Etanchéifier : minimiser les pertes par dissipation
- Intensifier : dématérialiser l'économie
- Alléger : décarboner, dé-azoter , ...

Afin d'appliquer les principes de l'écologie industrielle au bâti, il convient d'appréhender le bâtiment comme un écosystème. Par le choix et la mise en œuvre du procédé constructif, la construction ou rénovation d'un bâtiment doit viser :

Une utilisation rationnelle des ressources et matériaux.

- La prévention de déchets
- Une flexibilité poussée, anticipant les transformations ultérieures du bâtiment
- Le démontage et le recyclage/réemploi d'éléments et matériaux de construction en fin de vie : Concevoir pour déconstruire et non pour démolir.
- Un choix écologique des matériaux de construction
- Limiter la production de polluants, nocifs pour l'environnement, et réduire la consommation d'énergie lors de la production des matériaux, de leur transport et de leur mise en œuvre

La mise en place d'une filière locale de matériaux ayant un impact environnemental positif (puits de carbone) et facilement recyclables voire réutilisables s'intègre parfaitement dans la mise en place de ces objectifs.

I.3. Matériaux de construction dans l'habitat :

L'homme passe une partie de plus en plus importante de son temps à l'intérieur de bâtiments que cela soit son lieu de travail ou son logement. La notion de confort, notamment thermique devient donc prépondérante par rapport à celle de simple protection face aux intempéries. Cette fonction de confort thermique passe par le maintien d'une température stable selon les saisons et différente selon les pièces du logement. Ceci passe par une isolation performante des lieux de vie. De nos jours, suite à la considération du coût environnemental et économique des différents modes de chauffage, on observe une demande en matériaux d'isolation en constante augmentation poussée par les réglementations thermiques successives.

Chapitre 1 : revue de la littérature

En France, les matériaux d'isolation actuels utilisés en construction neuve et rénovation sont principalement d'origine minérale (laine de verre et de roche) et pétrochimique (polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane,...). Toutefois, la part des isolants d'origine naturelle augmente d'année en année et s'insère totalement dans les logiques d'habitat vernaculaire. Le marché des isolants biosourcés représente 8% du marché total de l'isolation selon l'Association Syndicale des Industriels de l'Isolation Végétale (ASIV) avec une croissance de 40% entre 2012 et 2016[6]. La définition du terme biosourcé sur laquelle se base aujourd'hui les travaux pilotés par le ministère de la transition écologique et solidaire est la suivante: « matériaux et produits dont une partie des matières premières sont issues du monde du vivant (biomasse végétale et animale incluant les matières recyclées) ».

I.3.1. Matériaux et réduction des impacts environnementaux :

La consommation d'énergie d'un bâtiment dépend fortement des caractéristiques de son enveloppe. Une isolation thermique optimale des murs extérieurs avec le matériau adéquat, la bonne épaisseur et sa mise en place correcte permet de diminuer la consommation d'énergie pour le chauffage et le rafraîchissement du bâtiment. Parmi les autres critères à prendre en compte pour le choix du matériau d'isolation selon Schiavoni [7], l'isolation acoustique, la résistance au feu, la perméabilité à la vapeur d'eau ainsi que son impact sur l'environnement et la santé humaine.

Plus spécifiquement, Carbonaro et al [8] ont effectué une analyse multicritères comparative d'un projet de rénovation de bâtiment avec des enduits à base de végétaux. Selon les auteurs, la prise en compte des aspects environnementaux lors d'une comparaison entre différents matériaux d'isolation permet de rendre plus compétitifs les matériaux d'origine biosourcée qui auraient autrement été disqualifiés au regard de leurs performances thermiques moindre que d'autres produits d'origines minérale ou pétrochimique (Figure 1). La différence se comblant lorsque l'on considère l'énergie grise d'un kg de matériau lors de son analyse de cycle de vie globale.



Figure 2 : Approche intégrée et par implémentation du choix d'un enduit isolant [8]

Dans le cas de l'utilisation de terre crue ou de pierres dans la construction d'habitats, Morel et al [9] ont pu établir que la mise en œuvre de ces matériaux à vocation structurelle lorsqu'ils sont issus de filières locales, permet de réduire drastiquement l'impact environnemental des constructions en comparaison avec des constructions utilisant des matériaux à base de ciment ou de terre cuite. Leur étude menée dans le sud de la France permet d'aboutir, en considérant le cas de figure concerné, que l'énergie utilisée pour la construction du bâtiment a été réduite de 215% avec en particulier une réduction liée à l'impact du transport de 453% [10]. Les auteurs pointent également la nécessité pour un projet voulant suivre cette voie de commencer par une analyse approfondie des matériaux disponibles sur le 29 territoire ainsi que la nécessaire sensibilisation et formation des professionnels du secteur de la construction (architectes, ingénieurs et artisans).

I.4. Les déchets agricoles comme additifs concrets :

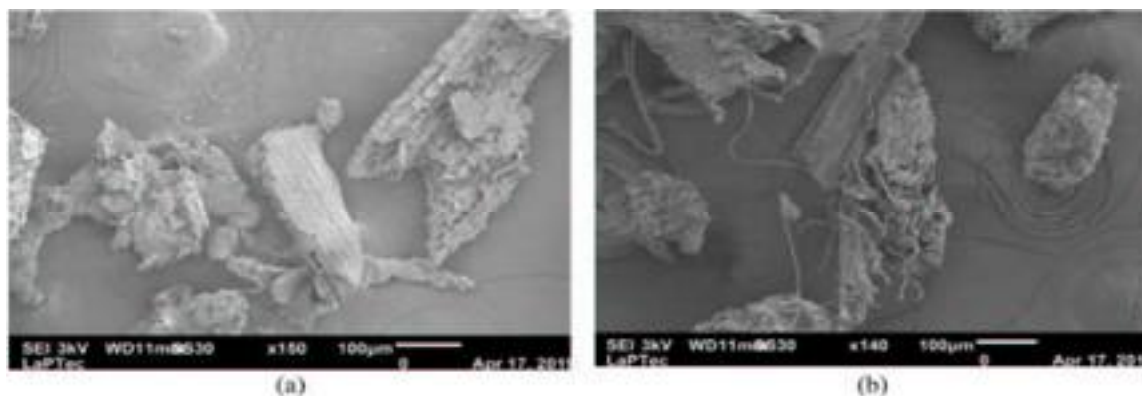
Dans cette section, nous allons d'abord discuter des caractéristiques générales des déchets agricoles solides sélectionnés pour la présente étude (c.-à-d. l'ananas, la canne à sucre, l'açaï, la noix de coco, le riz et la balle de blé), en exposant des données générales sur la caractérisation et la disponibilité de ces déchets.

I.4.1. Déchets d'ananas

L'ananas est un exemple typique de fruit tropical. Les écorces de ce fruit sont principalement utilisées pour l'alimentation animale et la production de compost organique. Cependant, la couronne manque d'applications spécifiques et est fréquemment jetée dans les décharges comme déchet [11]. Le principal défi associé à l'incorporation de couronnes d'ananas dans le béton réside dans le processus d'extraction, en particulier dans l'élimination efficace des impuretés des fibres [12]. Par conséquent, le traitement de surface de la couronne d'ananas a

Chapitre 1 : revue de la littérature

été identifié comme une méthode utile pour éliminer les composés non cellulosiques [13]. D'après la littérature, il a été constaté que l'un des meilleurs traitements pour éliminer les hémicelluloses et la lignine est l'utilisation de NaOH dans le composé. Néanmoins, lors de l'application d'un traitement alcalin à la surface des fibres agricoles, les préoccupations environnementales ne peuvent être ignorées [14]. De plus en raison de ces problèmes environnementaux, ce traitement est très coûteux. La figure(3) montre des images MEB de couronnes d'ananas traitées et naturelles. Comme le montre cette figure, le traitement alcalin augmente le plissement de la surface et améliore l'adhérence entre le ciment et les fibres. Des résultats similaires ont été obtenus lors de l'incorporation de déchets agricoles naturels comme les fibres de noix de coco dans le mortier et le béton [14,15]. Dans une étude, de Araujo Alves Lima et al. ont testé des fibres hybrides doubles de jute, de sisal, de curauá et de ramie, et ils ont souligné que le traitement chimique modifie les propriétés morphologiques des fibres de jute [16]. Les chercheurs ont conclu que le traitement optimal varie en fonction du type de fibre, notant que le traitement alcalin améliorerait les propriétés de traction d'une partie importante des fibres, tandis qu'une combinaison de traitements d'alcalinisation et de salinisation était plus efficace pour la fibre de sisal.



La figure 3: montre des images MEB de couronnes d'ananas traitées et naturelles.

Récemment, Karolina et al. ont testé l'ajout de 0,5, 1 et 1,5 % de fibres d'ananas dans le ciment et ont constaté que l'inclusion des fibres de feuilles d'ananas améliorait efficacement la résistance à la traction par fente (d'une augmentation de 14,65 %) et la résistance à la compression (d'une augmentation de 15,61 %) du béton [17]. Une étude similaire a été menée en utilisant l'ajout de 0,1, 0,2 et 0,3 % de fibres de feuilles d'ananas dans du béton de grade C30 [18]. Les résultats ont montré que l'ajout de 0,3 % de fibres offrait les résistances à la

Chapitre 1 : revue de la littérature

compression (de 33,69 à 44,73 MPa) et à la traction (3,69 à 6,55 MPa) et d'autres propriétés mécaniques les plus élevées. Des résultats contradictoires ont été obtenus aux niveaux les plus élevés d'ananas ajoutés au béton : lorsque 2 % de fibres ont été ajoutées, une résistance à la compression significativement plus faible a été obtenue (de 42 MPa pour le béton conventionnel à 27 MPa pour le béton contenant 2 % de fibres) [19]. L'une des raisons probables est qu'à des teneurs en fibres plus élevées, il devient difficile d'obtenir une distribution et un alignement uniformes des fibres d'ananas

dans la matrice du béton [20]. Une mauvaise dispersion et un mauvais alignement peuvent créer des points faibles et des vides, entraînant une réduction de la résistance à la compression.

En conclusion, le traitement de surface améliore l'adhérence des fibres au ciment, bien que des préoccupations environnementales et des coûts élevés accompagnent cette méthode. L'incorporation de fibres de feuilles d'ananas dans le ciment montre des améliorations prometteuses de la résistance à la traction et de la résistance à la compression, mais des niveaux plus élevés réduisent ces valeurs de résistance.

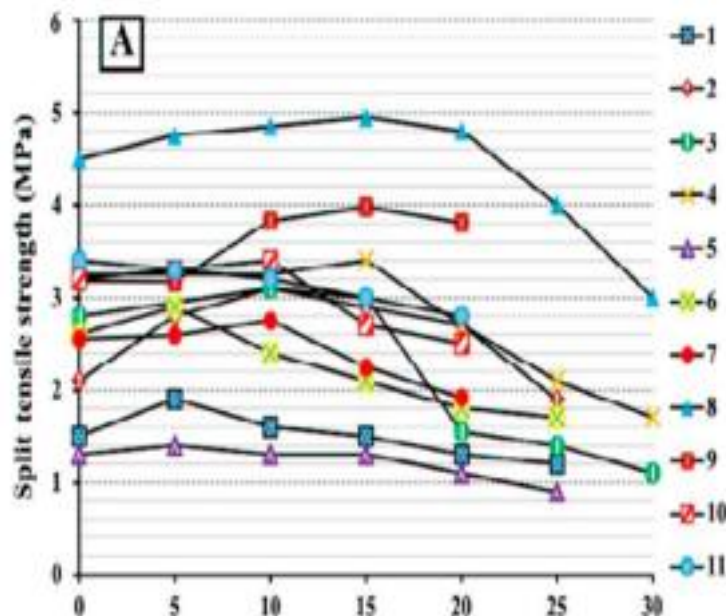
I.4.2. Déchets de canne à sucre :

La canne à sucre est une source majeure de sucre et d'alcool [21], le Brésil étant un producteur majeur. Pendant la pandémie de COVID-19, la consommation d'alcool a augmenté et, par conséquent, les préoccupations environnementales concernant les déchets de canne à sucre ont augmenté [22,23]. Cependant, la canne à sucre est utilisée pour l'alimentation animale et a une faible valeur ajoutée, ce n'est donc pas un sujet très intéressant pour les chercheurs. Néanmoins, certains chercheurs ont étudié la combustion de la bagasse de canne à sucre et l'utilisation de ses cendres comme additif pour le ciment [24]. L'utilisation de cendres de déchets agricoles comme matériau supplémentaire pour le ciment dans la construction est le sujet le plus étudié parmi les recherches dans ce domaine (figure 4). Certaines conclusions ont révélé que la température de combustion de la bagasse influence la qualité des cendres et par la suite du mortier et du béton [25]. Cette conclusion est cohérente avec la littérature antérieure, qui indique que les conditions de combustion sont un paramètre clé lors de l'utilisation de cendres comme additif pour le ciment [26].

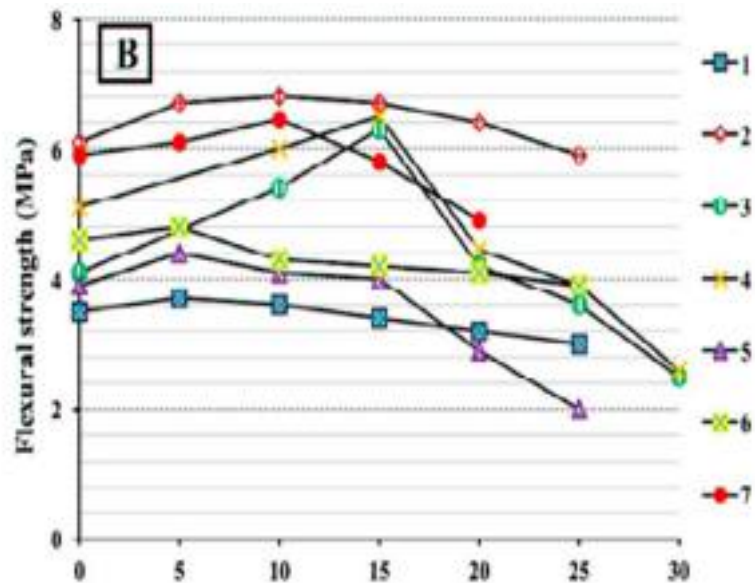
Chapitre 1 : revue de la littérature

diminuait pour les autres ratios (5, 10 et 15 %) [28]. Ceci pourrait être attribué à la présence de silice dans les particules ultrafines des cendres, ce qui réduit la porosité de la matrice du béton [29]. De même, Joshaghani et Moeini ont mené des essais expérimentaux approfondis en ajoutant 3 % et 6 % de nano-silice ainsi que 10 à 30 % (avec une marge de 5 %) de cendres de canne à sucre au ciment. Ils ont découvert que le composé pouvait résister aux conditions environnementales chlorées jusqu'à 90 jours [30]. Dans une étude très récente, Tayeh et al. ont souligné que l'ajout de 3 % de cendres de bagasse de canne à sucre améliorait la résistance à la compression de 18 % et 10 % après 28 et 90 jours de durcissement, respectivement [31]. L'amélioration de la résistance obtenue grâce à l'ajout de cendres de bagasse de canne à sucre peut être attribuée à la nature amorphe de la canne à sucre.

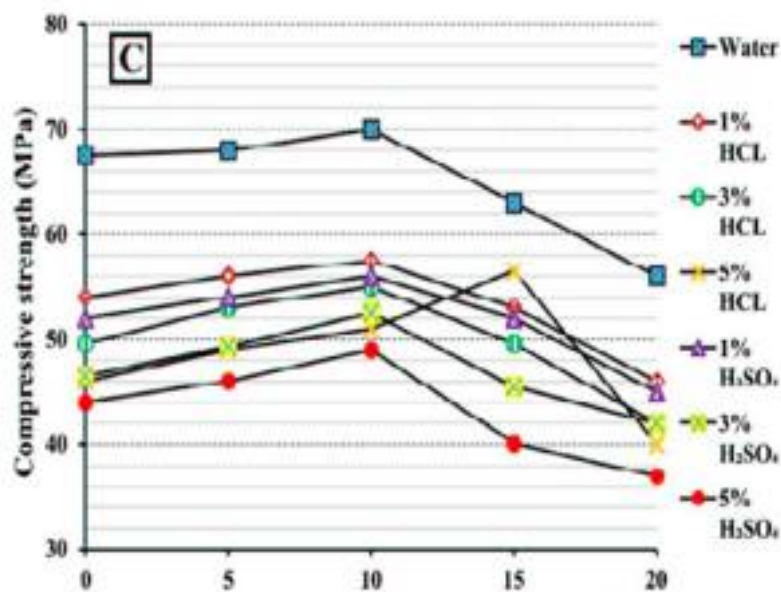
Particules de cendres de bagasse. Ces particules réagissent avec l'hydroxyde de calcium au fil du temps, entraînant la formation d'une quantité accrue de gel d'hydrate de silicate de calcium. Les auteurs ont examiné deux échantillons de cendres supplémentaires (de coton et de riz) et ont observé des résultats similaires. Les résultats ont montré un processus de corrosion fortement accéléré par rapport aux conditions normales. De plus, des améliorations de la résistivité volumique et de la résistance au transfert de charge du béton ont été obtenues grâce à l'utilisation de ces échantillons de nano-cendres.



Taux de remplacement des cendres de bagasse de canne à sucre (%)



Taux de remplacement des cendres de bagasse de canne à sucre (%)



Taux de remplacement des cendres de bagasse de canne à sucre (%)

Figure 5 : Impacts des cendres de canne à sucre sur la résistance à la traction, la résistance à la flexion et la résistance à la compression (en milieu acide) à 28 jours (résultats obtenus à partir d'une comparaison de 11 articles expérimentaux) [34]. Ahmed et al. [27] ont tracé chaque ligne de la figure 5(A) en utilisant les données obtenues à partir de (1) [32], (2) [33], (3) et (4) [34], (5) [35], (6) [36], (7) [37], (8) [38], (9) [39], (10) [40], (11) [41] ; (B) en

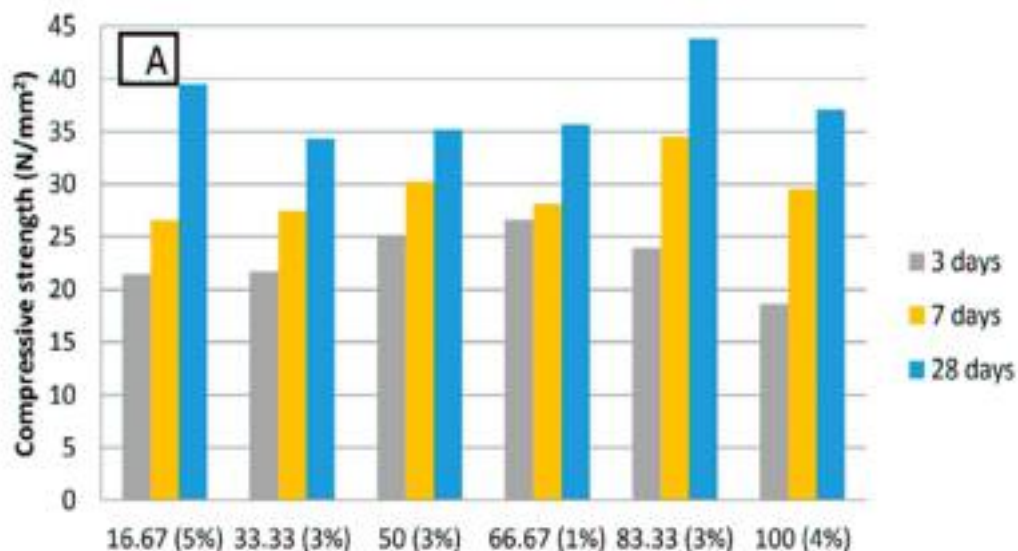
Chapitre 1 : revue de la littérature

utilisant les données obtenues à partir de (1) [32], (2) [33], (3) et (4) [34], (5) [35], (6) [36], (7) [37] ; et (C) en utilisant les données obtenues à partir de [29].

En résumé, les conditions de combustion affectent considérablement la qualité des cendres, influençant ainsi les propriétés du mortier et du béton. Notamment, l'utilisation de cendres de canne à sucre est rentable et réduit les besoins en eau du béton, améliorant ainsi sa maniabilité. Des ratios optimaux (5-15 %) de cendres contribuent à augmenter les propriétés de résistance du béton, tandis que des pourcentages plus élevés (20 %) améliorent sa résistance aux environnements acides.

I.4.3. Déchets de coques de noix de coco :

L'escalade des coûts de construction constitue un paramètre crucial influençant les décisions dans les industries de la construction des pays développés. L'utilisation de coques de noix de coco comme source naturelle de granulats dans le béton pourrait fournir une solution pratique pour éliminer les déchets agricoles et contribuer ainsi à la préservation de l'environnement [42]. L'application de certains déchets agricoles comme les coques de noix de coco de petite taille (20-600 mm) peut être utilisée comme granulat. L'évaluation des propriétés des fibres de coco joue un rôle clé pour comprendre comment les incorporer dans le béton armé. De plus, en raison des propriétés structurelles des fibres de coco, elles peuvent être utilisées comme matériau de remplissage dans la matrice utilisée comme renfort (figure 6). De plus, des expériences ont montré que cette fibre pouvait absorber les contraintes internes lorsqu'elle était mélangée à des mortiers [43,44].



Rapport hauteur/largeur et volume de la fraction de fibres (%)

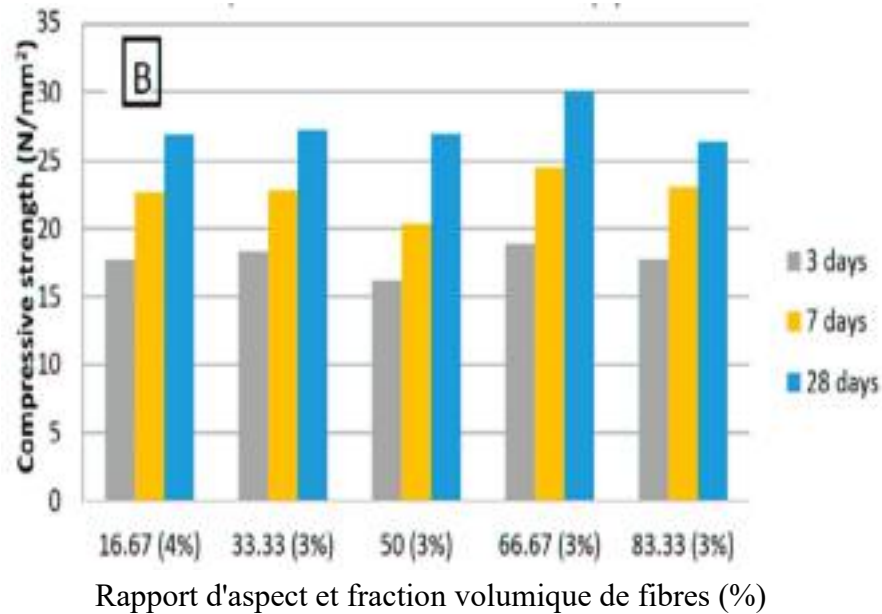


Figure 6 : Béton conventionnel mélangé avec des fibres (A) et béton de coque de noix de coco proposé avec des fibres (B) : résistance à la compression par rapport au rapport d'aspect et à la fraction volumique (%) [45].

Sekar et Kandasamy ont mené une étude pour déterminer le rapport optimal de fibres de noix de coco pour les bétons conventionnels et de coque de noix de coco [45]. Les résultats obtenus ont montré que la résistance à la compression la plus élevée de 43,8 N/mm² a été atteinte pour le béton conventionnel.

avec des fibres de noix de coco à un rapport d'aspect de 83,3 et une proportion volumique de 3 %. Cela a démontré une augmentation de 45,5 % par rapport au béton conventionnel sans fibres de noix de coco, qui mesurait 30,1 N/mm² (Figure 5A). Dans les cas où des granulats de noix de coco ont été utilisés dans le béton, les résultats ont révélé que la résistance à la compression du béton suggéré utilisant des coques de noix de coco avec des fibres de noix de coco atteignait 30 N/mm² à un rapport d'aspect de deux tiers et une proportion volumique de 3 %, ce qui représentait une augmentation de 17,2 % par rapport au béton de coques de noix de coco sans fibres de noix de coco (25,6 N/mm²) (Figure 5B). Dans une autre étude, les cendres de coques de noix de coco ont montré une résistance à la compression accrue à 15 % de remplacement, mais avec des pourcentages plus élevés, cette propriété a diminué [46]. Hasan et al. ont récemment publié une étude et leurs résultats ont montré que l'incorporation de granulats de coques de noix de coco (20 %) dans le béton réduisait sa résistance à la compression, mais

Chapitre 1 : revue de la littérature

l'ajout jusqu'à 50 % de l'additif respectait les valeurs standard [47]. Des résultats similaires ont été rapportés par Bhoj et al. [48], Sager et al. [49] et Odeyemi et al. [50].

En résumé, l'incorporation de coques de noix de coco de petite taille comme agrégat naturel devrait être utilisée dans le béton. L'inclusion de coques de noix de coco comme agrégat diminue la résistance à la compression du béton, mais elle répond toujours aux normes requises. De plus, l'incorporation de coques de noix de coco avec ses fibres offre de meilleures performances que la simple utilisation de la coque individuellement. Globalement, l'utilisation de coques de noix de coco comme agrégat de béton est une solution durable pour l'élimination de ces déchets agricoles. Enfin, les cendres de coques de noix de coco sont un bon matériau complémentaire pour le ciment.

I.4.4. Déchets de balle de riz :

Chaque année, une quantité importante de balle de riz est éliminée, ce qui pose de nombreux problèmes aux producteurs de riz [51]. La combustion des balles contribue à la pollution de l'air et leur déversement dans des décharges occupe des terres [52]. De plus, les balles jetées entraînent la production de méthane par des micro-organismes, ce qui aggrave le réchauffement climatique [53]. Certains pays utilisent les balles de riz comme source d'énergie dans les centrales électriques [54]. Le sous-produit de cette combustion est la cendre, que les chercheurs ont utilisée comme additif dans le ciment pour béton. Ceci est dû à la présence de silice amorphe et de carbone dans la cendre [55]. Ces matériaux supplémentaires améliorent considérablement la résistance à la compression du béton cellulaire suggéré jusqu'à 70 % [56]. D'autres auteurs ont également révélé que l'ajout de 5 à 20 % de cendres de balle au béton cellulaire augmente l'absorption d'énergie sous impact. L'ouvrabilité du béton cellulaire a augmenté de 5 % avec 10 % de cendres de gâteau de filtration de canne à sucre, mais cette propriété a diminué à des niveaux plus élevés (15 % et 20 %) de cendres [57]. Ils ont attribué cela au faible frottement interparticulaire et à la porosité et à l'absorption d'eau élevées par la cendre par rapport au ciment. Makul et al. ont noté une conductivité thermique plus faible des échantillons résultant de l'inclusion de l'additif [57].

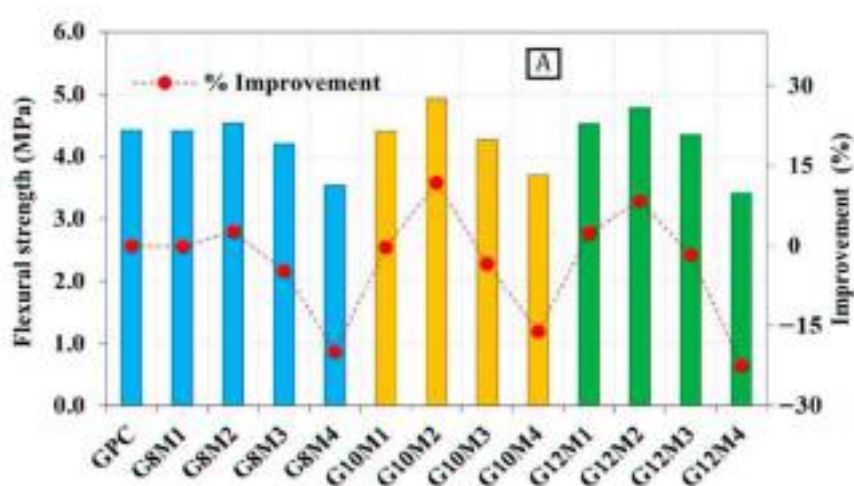
Récemment, Jayanthi et al. [58] ont étudié les effets de la balle de riz micronisée et du laitier de haut fourneau granulé moulu, deux sous-produits de déchets agricoles, lorsqu'ils sont utilisés comme additifs dans le béton. Ces matériaux contiennent une grande valeur de silice. L'interaction de ce type de silice avec des produits d'hydratation comme le béton améliore la

Chapitre 1 : revue de la littérature

formation de gel supplémentaire de calcium-silice-hydrate, ce qui améliore la résistance et la durabilité du béton.

Les auteurs ont testé 10, 20 et 30 % de silice de balle de riz micronisée dans le béton et les résultats ont montré que la résistance maximale à la flexion était de 5 MPa et la résistance à la traction par fendage était d'environ 4,5 MPa supérieure à celle de l'échantillon témoin (augmentation de 11 %) (Figure (7)). Ils ont attribué cette amélioration à la présence d'hydrate de silicate de calcium remplissant les pores, tandis qu'ils ont signalé que 20 % d'additif offraient le meilleur résultat de durabilité, dans l'ensemble

Dans une étude très récente, Alyami et al. [59] ont comparé les effets de trois cendres différentes provenant de déchets agricoles (olive, feuille de canne à sucre et balle de riz) pour remplacer partiellement des éléments dans le ciment et le béton. Ils ont affirmé qu'un remplacement de 50 % du ciment par une combinaison de 25 % de balle de riz et de 25 % de cendres de feuille de canne à sucre pouvait fournir jusqu'à 155 MPa (pendant 28 jours) de résistance à la compression, mais ce n'était pas plus qu'avec l'inclusion individuelle des additifs. De plus, les autres combinaisons produisaient généralement des valeurs de résistance à la compression plus faibles.



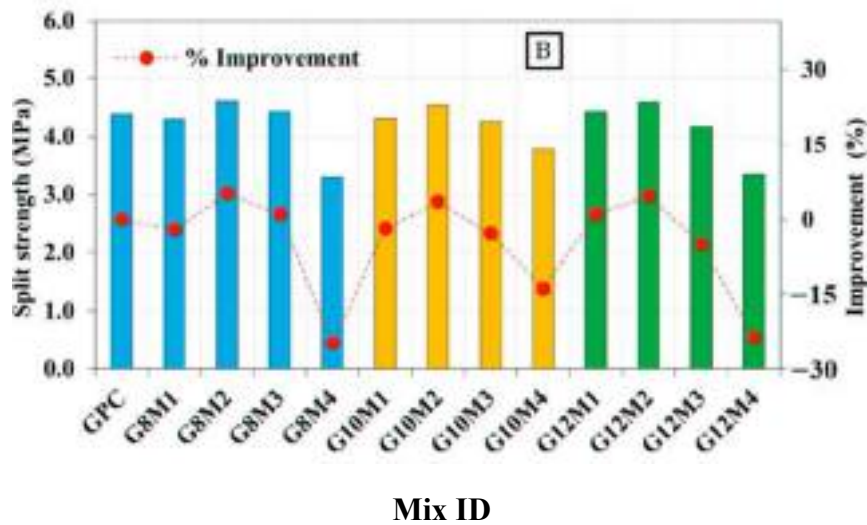


Figure 7 : Amélioration de la résistance à la flexion (A) et de la résistance à la traction par fendage (B) après 28 jours. GPS signifie béton géopolymère ; G8, G10 et G12 signifient béton géopolymère avec laitier de haut fourneau broyé/granulé, dans des rapports molaires respectifs de 8, 10 et 12 ; M1, M2, M3 et M4 signifient respectivement 0 %, 10 %, 20 % et 30 % de silice de balle de riz micronisée [58].

Dans un article intéressant récemment publié par Tayeh et al. [31], des nanopoudres dérivées de différents déchets à de très faibles pourcentages (1 à 3 %) ont démontré une amélioration surprenante allant jusqu'à 21 % de la résistance à la compression. Cette amélioration a été obtenue lorsque des cendres de balle de riz (3 %), de bagasse de canne à sucre (3 %) ou de tige de coton (1 %) ont été utilisées dans le béton comme additifs de ciment. Ils ont attribué cette amélioration à l'impact pouzzolanique élevé dû à la teneur élevée en silice amorphe des additifs.

En résumé, les cendres de balle de riz comme additif de ciment améliorent considérablement la résistance à la compression du béton cellulaire jusqu'à 70 %, selon les résultats rapportés par certains chercheurs en raison de la présence de silice amorphe et de carbone dans les cendres. Le remplacement de 5 à 20 % du ciment par des cendres de balle de riz a été décidé comme un ratio accepté. Cependant, d'autres chercheurs ne sont pas d'accord avec cette affirmation et indiquent que le maximum devrait être de 3 %.

I.4.5. Déchets de coques de noix :

Chapitre 1 : revue de la littérature

Noaman et al. [60] ont étudié les effets de l'ajout de différentes quantités de coquilles de noix (allant de 0,5 à 2,5 % avec un intervalle de 0,5 %) obtenues à partir de noix, de pistaches et de noisettes comme suppléments de ciment. Ils ont analysé les propriétés mécaniques et ont constaté que le ratio de supplément le plus élevé était corrélé à la résistance à la compression la plus élevée. De plus, les coquilles de noix ont eu un impact significatif sur la conductivité thermique du mortier, où la supplémentation de 2,5 % de noix a diminué sa conductivité thermique de 57 %, par rapport aux pistaches et aux noisettes, provoquant des diminutions de 48 % et 45 %, respectivement. Leur étude a révélé que des ratios de coquilles de noix plus élevés ont conduit à une dureté accrue, les pistaches ayant montré les meilleurs résultats parmi les autres coquilles de noix. Auparavant, Baran et al. [61] ont déclaré qu'un remplacement jusqu'à 5 % du ciment par des coquilles de noisettes pouvait répondre aux normes nécessaires (EN 197-1) [62] pour la résistance à la compression. Un ratio plus élevé de particules plus fines avait une meilleure influence sur l'augmentation de la résistance à la compression en raison des interactions accrues entre ces particules et la matrice environnante. Jannat et al. [63] ont confirmé que lorsque la taille des particules de l'additif devient plus fine, l'affaissement devient plus faible, ce qui est dû au rapport surface/volume plus élevé. Cependant, ce n'est pas la seule raison, et un ratio de carbone plus élevé affecte également les résultats.

L'ajout de coquilles de noix aux briques cuites a donné lieu à une résistance à la compression satisfaisante par rapport aux différentes normes nationales et internationales, alors que leur ajout aux briques non cuites ne répondait pas à ces normes. La faible adhérence entre les coquilles de noix et la matrice argileuse a été soulignée comme étant la raison de cette réduction. Néanmoins, la résistance à la compression des briques de terre pourrait être améliorée par l'ajout d'autres matériaux, tels que le gypse (10 %), le gypse et le laitier de ferrochrome d'Elazig [64], et le gypse (3 %) et la chaux (7 %) [63].

En plus des recherches ci-dessus, l'incorporation de déchets plastiques et de déchets agricoles pourrait améliorer certaines propriétés mécaniques des carreaux. Soni et al. ont étudié différents types de polyéthylène incorporés à de la cendre de balle de riz et du sable et ont obtenu une absorption d'eau raisonnable pour les composites de carreaux de sol, notamment 15 % de cendre de balle de riz + 15 % de polyéthylène haute densité [65]. De plus, ces auteurs ont obtenu des valeurs de résistance à la compression et à la flexion de 24,79 et 4,895 (N/mm²), respectivement [65]. Cependant, dans une autre étude réalisée par les mêmes chercheurs, le meilleur rapport pour les carreaux hybrides composés de déchets plastiques, de cendre de balle de riz et de sable était de 1:1:2 [66].

Chapitre 1 : revue de la littérature

He et al. [67] ont évalué l'utilisation de cendre de balle de riz à 5 % dans le béton et ont constaté que cette quantité de cendre pouvait fournir une résistance à la compression acceptable qui répondait au niveau standard. Ils ont également mentionné comme un fait important que l'utilisation de cette quantité de cendre pouvait réduire le coût de préparation du béton par rapport au béton conventionnel Français Ils ont déclaré que chaque 1 m³ de béton obtenu à partir de cendres de balle de riz pourrait réduire le coût de 159 USD à 122 USD, ce qui représente une réduction de 22 %. Cependant, il convient de noter que le coût des matériaux issus de déchets agricoles pour la construction peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, notamment le type de déchets agricoles, leur disponibilité, les exigences de transformation et les conditions du marché local. De plus, des matériaux issus de déchets agricoles tels que les cendres de balle de riz, les cendres de bagasse, les cendres de coque de noix de coco et d'autres sont parfois utilisés dans la construction comme matériaux cimentaires supplémentaires ou comme granulats. Par conséquent, sur la base des conditions ci-dessus, les coûts d'utilisation de ces matériaux dans la construction varient d'être presque gratuits à plus chers que la construction conventionnelle. Par exemple, He et al. ont calculé que si les cendres de balle de riz sont broyées, brûlées et exportées vers un autre pays, cela pourrait augmenter le prix de production de 1 m³ de béton de plus de 50 USD par rapport au béton conventionnel [67]. Par conséquent, l'objectif de l'utilisation de déchets agricoles est de se concentrer sur l'utilisation des ressources locales. Abderrahmane et Ali [68] ont montré qu'un remplacement de 20 % du ciment par des cendres de coquilles d'arachide pouvait assurer une résistance à la compression satisfaisante du béton.

En résumé, l'utilisation de déchets de coquilles de noix comme complément de ciment dans les matériaux de construction révèle que des pourcentages plus élevés de coquilles de noix sont positivement corrélés à une résistance à la compression accrue. Notamment, l'ajout de coquilles de noix aux briques cuites répondait aux normes de résistance à la compression, tandis que l'incorporation dans les briques non cuites posait des problèmes. De plus, l'incorporation de déchets plastiques et de déchets agricoles, tels que les cendres de balle de riz, dans la production de tuiles a amélioré les propriétés mécaniques, avec des ratios spécifiques démontrant des résultats optimaux. De plus, l'utilisation de cendres de déchets agricoles dans la construction en béton s'est avérée offrir une résistance à la compression acceptable à un coût réduit ; cependant, des coûts variables sont associés dépend de différents facteurs, tels que le type, la disponibilité, les exigences de transformation et les conditions du marché local.

I.4.6. Déchets agricoles comme matériaux d'isolation pour les bâtiments :

L'une des applications intéressantes des déchets agricoles est leur utilisation comme matériau d'isolation puissant au lieu des matériaux conventionnels. Cela présente certains avantages comme la renouabilité, la composition stable et un faible taux de conductivité thermique [69]. Il existe une différence minime dans la conductivité thermique et les taux de pénétration du son entre les matériaux agricoles et les autres matériaux conventionnels [70]. Cette propriété a également été observée lors de l'utilisation de paille de blé pour remplir des briques creuses cuites en argile. Il a été constaté que la paille de blé pouvait effectivement économiser jusqu'à 69 % d'énergie, ce qui était plus élevé que les briques sans paille. Ozturk et al. [71] ont souligné que l'application de déchets de thé améliorait certaines propriétés mécaniques, à savoir la conductivité thermique (42 %), la porosité (56,5 %) et la gravité spécifique, et réduisait fortement la résistance à la compression des briques cuites en argile (de 79 % lorsque les déchets ajoutés étaient de 12,5 %) Ils ont rapporté que les propriétés isolantes des briques contenant des déchets de thé étaient améliorées. Les auteurs ont affirmé que les déchets de thé pourraient être utilisés à des fins de construction et d'isolation jusqu'à un seuil de 10 %. Cependant, à des fins d'isolation, ils pourraient être utilisés en quantités supérieures à 10 %. Des études expérimentales ont également révélé une forte similitude entre les rafles de maïs et le polystyrène extrudé du point de vue de leur composition chimique.

Dans une autre étude, Korjenic et al. ont étudié le jute, le lin et le chanvre, concluant que la combinaison appropriée de ces fibres naturelles donne des résultats d'isolation thermique comparables à ceux des matériaux courants [72]. Mehrzad et al. ont utilisé des déchets de bagasse de canne à sucre pour évaluer leurs propriétés d'isolation thermique et acoustique et ont obtenu des résultats acceptables à ces fins [73]. Ils ont obtenu une conductivité thermique de 0,034 W/mK pour l'échantillon d'une densité de 100 kg/m³, et cette valeur a été augmentée à 0,042 W/mK pour l'échantillon d'une densité de 200 kg/m³

Onésippe et al. ont utilisé des fibres de bagasse de canne à sucre pour étudier les caractéristiques thermiques des composites de ciment renforcés [74]. Ils ont souligné que le meilleur ratio de fibres ajoutées était de 1,5 %, ce qui augmentait la diffusivité thermique de 1,18 à 1,58 x 10 m²/s. Les auteurs ont également signalé que l'ajout de cette fibre naturelle diminuait la conductivité thermique des composites de ciment. Dans l'ensemble, il a été constaté que la bagasse, la balle de riz et la fibre de coco présentent une conductivité thermique plus faible parmi les déchets agricoles [75].

Chapitre 1 : revue de la littérature

Binici et al. ont utilisé des tiges de tournesol en combinaison avec d'autres déchets agricoles pour produire des blocs rectangulaires de 30 x 40 x 2,5 cm³ sous différentes pressions [76]. Ils ont testé les propriétés mécaniques ainsi que la transmission thermique des échantillons. Ils ont obtenu les coefficients de transfert de chaleur les plus faibles pour les échantillons contenant des tiges de tournesol. Dans une étude distincte, Binici et al ont examiné un matériau composite composé de vermiculite, de tiges de tournesol, de tiges de blé et de gypse pour l'isolation des bâtiments. Ils ont enregistré des coefficients de conductivité thermique allant de 0,063 à 0,334 W/mK pour les échantillons en fonction de leur densité [77].

Plus précisément, la conductivité thermique minimale était de 0,166, ce qui a été enregistré pour l'échantillon contenant 25 g d'éponge de tige de tournesol, 50 g de tiges de blé, 150 g de vermiculite, 140 g de gypse et 110 g d'eau avec une densité de 0,166 g/cm³. À titre de comparaison, ce paramètre est de 0,4 pour des matériaux comme le gypse, et de 0,04 pour la laine de verre.

Platt et al. ont évalué les effets de l'orientation et de la position de la paille de blé dans l'isolant mural sur son humidité et ses propriétés thermiques [78]. Leurs résultats ont montré une réduction de 38 % de la conductivité thermique ; de plus, l'emballage conçu a réduit la perméabilité à l'humidité jusqu'à 76 %. La conductivité thermique de l'échantillon d'isolant en paille de blé, comportant des fibres alignées perpendiculairement au flux thermique, a montré une réduction remarquable de 38 % par rapport à celle des balles normales. Des résultats similaires ont été révélés précédemment par d'autres chercheurs [79,80]. Bobet et al. ont incorporé des coques d'arachide comme additif dans les briques et ont signalé une conductivité thermique de 0,155 W/mK à 25 °C [81]. Cette constatation était accord avec un article précédent, dans lequel une conductivité thermique de 0,09 W/mK a été obtenue en utilisant des coques d'arachide [82]. Dans un autre article remarquable, Do et al. ont développé un aérogel à partir de fibres d'ananas en utilisant de l'alcool polyvinylique (comme agent adhésif) et de l'eau, ce qui a donné un matériau avec une porosité de 99 % [83]. Les résultats ont démontré une très faible conductivité thermique pour cet aérogel, atteignant jusqu'à 0,030 W/mK. Ils ont construit une isolation thermique avec des performances trois fois supérieures à celles des matériaux conventionnels. Cette amélioration a également été observée pour l'isolation acoustique. Les capacités des feuilles d'ananas ont également été étudiées récemment par Suphamitmongkol et al., révélant que les composites de feuilles d'ananas présentaient de meilleures propriétés thermiques que les produits commerciaux, notamment les fibres d'amiante et de polyéthylène téréphtalate [84]. En comparaison avec les fibres de verre, les résultats ont montré des valeurs

Chapitre 1 : revue de la littérature

similaires. Concernant le paramètre d'absorption acoustique, les fibres de feuilles d'ananas ont surpassé les fibres de verre, ont eu des performances similaires à celles des fibres d'amiante et ont présenté des performances inférieures à celles des composites de fibres de polyester.

En conclusion, divers sous-produits agricoles testés, notamment les déchets de thé, la bagasse de canne à sucre, les épis de maïs et les tiges de tournesol, ont montré une conductivité thermique compétitive, comparable ou supérieure à celle des substances conventionnelles telles que la laine de verre et le gypse. Le même résultat a été rapporté pour l'incorporation de plusieurs fibres naturelles ensemble. Des études spécifiques sur la paille de blé ont montré que l'orientation de la paille influence sa conductivité thermique, contribuant à une meilleure efficacité d'isolation, ce qui devrait être étudié plus en détail. De plus, des approches innovantes telles que le développement d'aérogels pourraient être une technique prometteuse, offrant une alternative potentielle aux matériaux conventionnels.

I.4.7. Avantages et inconvénients des agro-matériaux comme isolants :

Les caractéristiques des bio déchets varient en fonction de leur structure chimique, du type de plante utilisée, du lieu de production, des conditions climatiques locales des produits et des conditions de croissance et de récolte [85]. Bien que la construction de produits à partir de déchets agricoles présente plusieurs avantages, elle présente également certains inconvénients, comme le montre le tableau 1 [86-87]. De plus, il est important de garantir la bonne utilisation de ces ressources. Comprendre les inconvénients associés à l'utilisation de déchets agricoles dans les matériaux de construction permettra de prévenir les problèmes qui pourraient survenir. De plus, ces propriétés peuvent être améliorées et optimisées grâce à des traitements spécifiques pour transformer les déchets agricoles en meilleurs matériaux de construction.

Chapitre 1 : revue de la littérature

Tableau 1 : Inconvénients et avantages de l'utilisation des déchets agricoles

Avantage	Désavantage
Renouvelables, recyclables et biodégradables propriétés Propriétés ACV favorables Production rentable Non abrasif Propriétés isolantes Confortable pour les environnements intérieurs Léger pour la construction Sain pour les environnements intérieurs Bonnes propriétés acoustiques Grand confort	Structures hydrophiles Décomposition à haute température. Teneur élevée en humidité et potentiel d'absorption d'eau. Gonflement et variation dimensionnelle. Durabilité de courte durée. Environnement propice aux insectes et aux moisissures. croissance. Hautement inflammable. Faible conductivité thermique. Émissions fongiques.

Cetiner et Shea ont constaté que les déchets de bois pouvaient légèrement offrir une meilleure isolation thermique que les fibres inorganiques conventionnelles, mais le résultat était proche de celui des fibres naturelles. Cette amélioration a été attribuée aux propriétés hydrophiles supérieures des déchets de bois [88]. Mehrzad et al. ont souligné un autre inconvénient de l'utilisation de déchets agricoles pour l'isolation. Ils ont souligné que ces matériaux doivent être traités pour lutter contre l'inflammabilité et les menaces fongiques, un paramètre qui entraîne plus de coûts et de problèmes par la suite [73]. De plus, les composés organiques volatils émis par les déchets agricoles ont été évalués par des chercheurs et un effet négatif de ces composés sur la santé humaine a été surveillé [89]. De son point de vue, certaines données suggèrent des effets positifs de la couleur des matériaux agricoles sur le confort et la physiologie humains [90].

En résumé, si les déchets agricoles offrent des avantages en matière de construction, les inconvénients qui y sont associés nécessitent une attention particulière. Comprendre ces inconvénients est crucial pour la prévention des problèmes, et des traitements spécifiques peuvent améliorer les déchets agricoles pour en faire de meilleurs matériaux de construction. Les déchets de bois présentent notamment un potentiel d'isolation thermique, mais des défis

Chapitre 1 : revue de la littérature

tels que l'inflammabilité et les menaces fongiques nécessitent une attention particulière. De plus, les évaluations des composés organiques volatils émis par les déchets agricoles soulignent les problèmes potentiels pour la santé.

I.5.Liège :

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) est l'une des espèces les plus caractéristiques du pourtour méditerranéen. Il est présent en Méditerranée Occidentale depuis plus de 60 millions d'années [91]. Cette essence est originale car sa principale production n'est pas le bois, mais son écorce de liège qui peut être récoltée sans dommage aux arbres -moyennant certaines précautions- tous les 9 à 15 ans, selon la fertilité des stations. Ce liège est un matériau écologiquement renouvelable, aux remarquables propriétés physico-chimiques [92].

Le chêne liège est une espèce parfaitement résiliente vis-à-vis des feux de forêts, en effet, son liège est un parfait isolant qui empêche le feu d'atteindre les tissus conducteurs. Néanmoins, Son aire de répartition s'est fortement réduite suite à des fortes variations climatiques et surtout de l'action anthropique [91].

I.5.1. Généralités sur le chêne liège (*Quercus suber* L.) :

I.5.1.1. Aire de répartition :

I.5.1.1.1. Dans le monde :

Le chêne liège occupe dans le monde une aire relativement restreinte, qui se situe entre le 31ème et le 45ème parallèle de latitude Nord [93] On le trouve au bord de la méditerranée, et sur la façade Atlantique, profitant des influences climatiques tempérées océaniques. [94] (Figure 8.)



Figure 8 : Aire de répartition du chêne liège dans le monde (EUFORGEN, 2009)

Les statistiques disponibles concernant la superficie de la subéraie dans le monde sont loin d'être rigoureuses. En effet, il existe des différences parfois assez importantes entre les diverses sources indiquant les superficies recensées par pays. Les peuplements de Chêne liège présentent des densités et des surfaces d'occupation à l'hectare très différentes, L'évolution des peuplements dans le temps allant le plus souvent dans le sens d'une diminution liée aux effets répétés de dégradation (incendies, pâturage...etc.) et de substitution d'essence, le Chêne liège peut se trouver en mélange avec d'autres essences et l'absence d'inventaires nationaux, cas de l'Algérie [93].

La subéraie occupe dans le monde entier une surface totale de 2 277 700 ha répartie sur sept pays[94] (Tableau 2. et figure 9.)

Chapitre 1 : revue de la littérature

Tableau 2 : Répartition du chêne liège dans le monde et quantités de liège produite

Pays	Surface (Ha)	Pourcentage (%)	Production De Liège(Tonne)	Pourcentage (%)
Portugal	736700	32,34	157000	52,46
Espagne	506000	22,22	88400	29,54
Algérie	414000	18,18	15000	5,01
Maroc	345000	15,15	11000	3,68
France	92000	4,04	3400	1,14
Tunisie	92000	4,04	7500	2,51
Italie	92000	4,04	17000	5,68
Total	2277700	100	299300	100

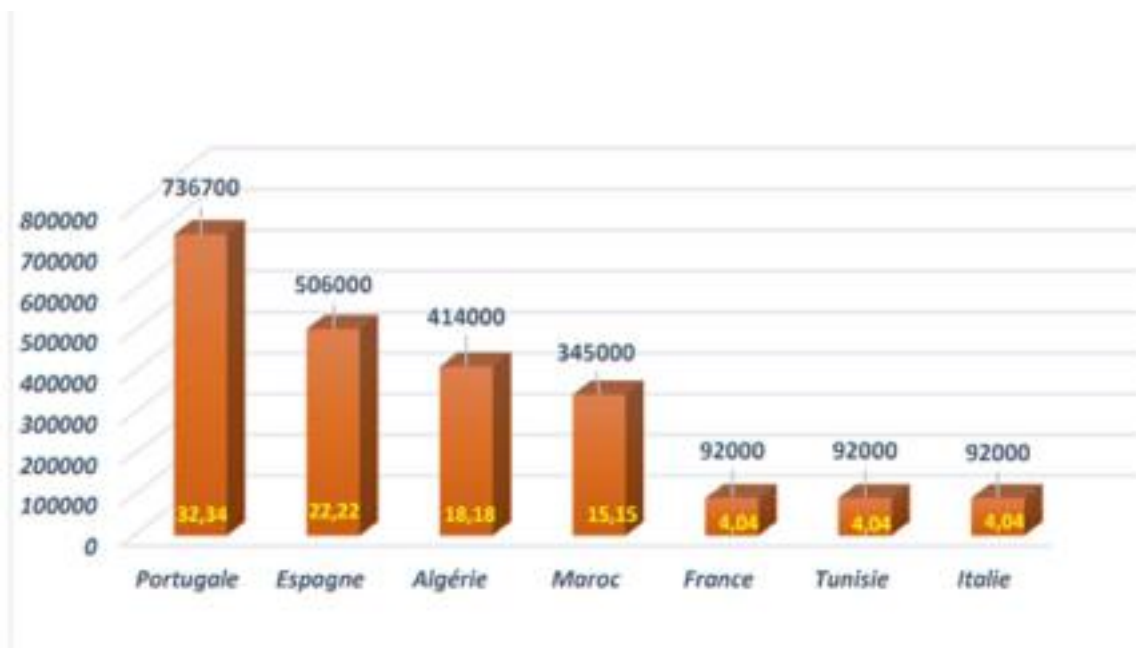


Figure 9 : Histogramme représentant la répartition de chêne liège dans le monde.

L'intérêt porté au liège a très tôt suscité des tentatives d'acclimatation du chêne liège en dehors de son aire d'origine. Parmi les pays où cette espèce a été introduite à grande échelle, on a : Les Etats Unies d'Amérique (en Californie dès 1858), la Russie (dès 1819 sur le littoral de

Chapitre 1 : revue de la littérature

la Mer Noire), le Japon (1933). Parmi ceux où l'expérimentation est restée plus modeste, on retrouve: la Turquie, l'Argentine, l'Uruguay et l'Australie [93].

I.5.1.1.2. En Algérie :

Les principales subéraies sont situées essentiellement en zones humides et subhumides du Nord-Est de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne, où elles s'étendent de la mer jusqu'à 1200 voire 1500 m d'altitude [95]. Dans le Centre et l'Ouest, les subéraies se présentent sous forme de petites forêts très disséminées [96] (Figure 10).

Les subéraies occupent une superficie potentielle de 440 000 ha entre forêt proprement dites et maquis, la superficie productive est de l'ordre de 220 000 ha [97]. Là aussi, les superficies avancées par de nombreux travaux sont dissemblable.

En Algérie, une véritable dégradation et évolution régressive de la subéraie est confirmée. Depuis le début du siècle, les subéraies ont perdu beaucoup d'espace, au moment où de vastes subéraies sont détruites annuellement par le feu, une partie non négligeable de son aire a été enrésinée [98].



Figure 10 : Répartition de chêne liège (*Quercus suber* L.) en Algérie.

Dans certaines régions, notamment en Kabylie qui est une région à vocation forestière, le chêne liège forme des peuplements réguliers, haut et danses, marqués par l'absence de strates permettant de créer la discontinuité horizontale et verticale (Ait Aider & Alileche, [99]), cette physionomie, associée à un sous-bois dense et à une absence d'opérations sylvicoles, présente plus d'inconvénients que d'avantages ; car constituant un milieu favorable au déclenchement et à la propagation des incendies [99].

I.5.2. Description du chêne liège :

Cet arbre peut vivre 150 à 200 ans, voire plus et atteindre 20 à 25 m de haut (le plus grand ayant atteint 43 m), ne dépasse généralement pas 12 à 15 m et une circonférence de 1.5m pouvant aller jusqu'à 4m, appartient à la famille des Fagacées (Chêne, Hêtre, Châtaignier,...) où toutes les espèces qui composent cette famille sont monoïques (IML).

- Les fleurs mâles sont regroupées en grappes appelées «chatons», et les fleurs femelles sont solitaires ou par groupes de trois maximum (Figure 13.) ;
- Ses feuilles persistantes sont petites (de 3 à 5 cm), alternes, coriaces, ovales-oblongues et bordées de dents épineuses et cotonneuses sur leur face inférieure (Figure 13.) ;
- Les fruits c'est des glands oblongs, enveloppés sur la moitié de leur longueur par des cupule set sont réunis par deux sur des pédoncules courts et renflés (Figure 13.) ;
- La cime est globuleuse, étalée a l'état isolé et quand la forêt est claire, élancée dans des peuplements serrés (Figures 11. Et 12.) ;
- Le tronc est droit, en moyenne 4 m, plus allongé dans le cas des peuplements serré et court à l'état isolé ;
- Son écorce épaisse dont le nom latin est suber, isolante et crevassée atteignant 25cmd'épaisseur. C'est cette écorce qui constitue la partie la plus singulière de cet arbre ;
- Le système racinaire est pivotant.



Figure 11 : Chêne liège isolé : cime étalée



Figure 12 : Peuplement de Chêne liège : cime Elancée



Figure 13 : Dessin descriptif du Chêne liège: feuilles, fleurs mâle et femelle, gland.

I.5.3. Structure du liège :

Car rasquinho et al. [100] ont signalé que le liège a une capacité remarquable à créer du tissu suberose à partir de son écorce interne. Ce tissu, formé spécifiquement par le phellogène du chêne-liège (le tissu responsable de la formation de nouvelles cellules), tire son nom du latin suber (cork). Barberis et al. [101] ont découvert que le cycle de vie du chêne-liège produit trois qualités de tissu suberose: le liège vierge, liège produit à partir du deuxième décapage et du liège produit à partir des bandes suivantes.

Gil [102] avait conclu que la couche de suberose la plus épaisse se forme généralement dans le cycle de croissance suivant l'extraction du liège, après quoi le liège produit chaque année

Chapitre 1 : revue de la littérature

diminue progressivement jusqu'à l'extraction suivante [102]. Le liège (ou phellem, la désignation botanique de ce tissu végétal) est une couche protectrice de cellules mortes subérisées, formée à partir de tissu phellogène. Le phellogène a une capacité méristématique (génération cellulaire). Après la division cellulaire, les nouvelles cellules n'ont pas leurs dimensions définitives et se développent ensuite dans le protoplasme (intérieur cellulaire); de cette façon le tissu phellogénique continue de s'épaissir et le périmètre de l'arbre augmente. La croissance des tissus cesse en hiver et reprend au début du printemps. La période de phellogenium est d'avril à octobre. La stagnation hivernale se manifeste dans des zones sombres très visibles marquant le phellème produit chaque année (Fig. 14).

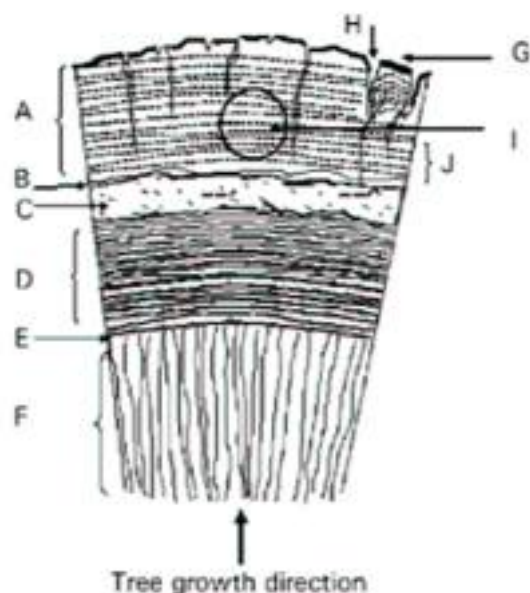


Figure 14 : Représentation schématique de la coupe axiale d'un chêne-liège ; (A) liège (tissu suberose), (B) changement subero-phylogénique, (c) Phellogenium, (D) Tissu libre, (E) Changement du bois libre, (F) Bois, (G) Écorce, (H) Canaux lenticulaires, (I) Zone de production de bouchons, (J), (K) anneaux de croissance annuelle [103].

El Maâtaoui et al. [104] ont montré dans leur étude que l'augmentation annuelle de phellogenique des couches correspondant à l'évolution lenticulaire et détermine la définition des canaux lenticulaires (pores radiaux et orientés) où s'effectue l'oxygénation du tissu méristématique. La fonction principale du tissu méristématique est la mitose (division cellulaire) ; ces cellules sont petites, à paroi mince et sans fonctionnalités spécialisées. Groh [105] et al. ont mentionné que

Chapitre 1 : revue de la littérature

le liège agit comme une barrière entre l'atmosphère et le cortex de la tige, et les lenticelles servent de canaux de transfert de masse pour l'eau et les gaz.

Les membranes cellulaires formées sont très minces, dépourvues de lignes de communication d'une cellule à l'autre et sont principalement formées de subérine, de lignine et de cellulose [106-107]. À l'intérieur, les cellules contiennent des cristaux de cérine et de lafridéline, ainsi qu'un matériau amorphe et une grande quantité de gaz ou d'air qui n'est pas expulsé par la compression du tissu (Fig. 15).

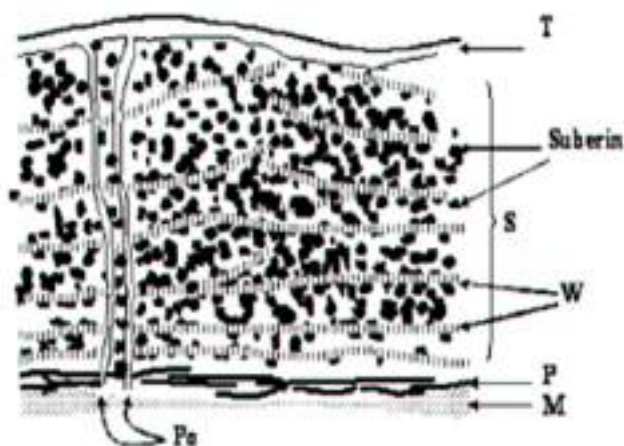


Figure 15 : Structure de la paroi cellulaire en chêne-liège (modèle Sitte) ; (T) Paroi tertiaire, (S) Paroi secondaire, (w) Cires et subérines, (P) Paroi primaire, (M) Lamelle moyenne, (Po) Pore. [103]

Comme mentionné précédemment, le liège est constitué de cellules mortes dépourvues de cytoplasme ou d'autres organites contenus habituellement dans les cellules vivantes. Leur structure a été observée pour la première fois au microscope dans les années 1660 par Robert Hooke [108], qui a donné par la suite le nom de « cellule » à l'unité biologique de tous les êtres vivants. Gibson et al. [109] ont ensuite décrit la forme de ces cellules dans les trois axes du liège : axial, radial et tangentiel (Figure 16).

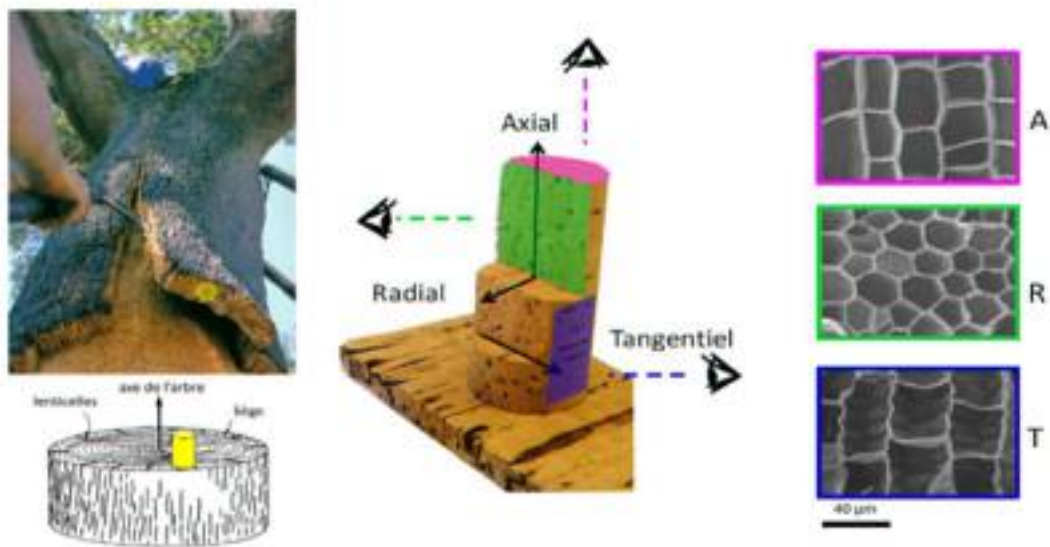


Figure 16 : Représentation des trois axes du liège avec les observations par microscope électronique à balayage des plans cellulaires correspondants : (A) Axial ; (R) Radial ; (T)Tangentiel.[108]

Le liège peut être décrit comme un tissu homogène de cellules murées, régulièrement disposées sans espace intercellulaire. Les auteurs [110-111] ont montré que le liège révèle une structure alvéolaire, analogue à celle d'un nid d'abeille, sans espaces vides entre les cellules contiguës, qui sont donc des unités fermées (figures 17).

Les parois latérales des cellules (parallèles à la direction radiale) étant orientées de manière aléatoire, le liège peut être considéré, en première approximation, comme un matériau transversalement isotrope, ce qui implique que toutes les directions perpendiculaires à la direction radiale (c'est-à-dire les directions axiale et tangentielle) sont quasi équivalentes [102,111].

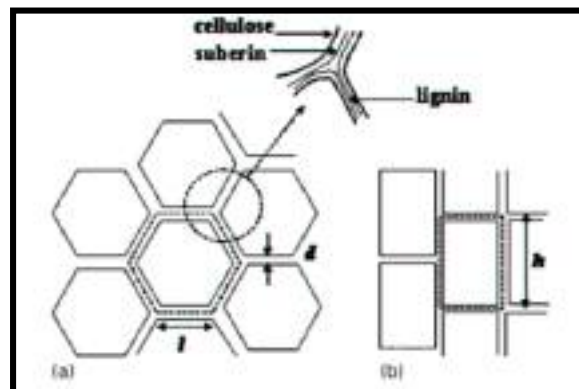


Figure 17 : Représentation schématique des cellules du liège. [103]

Chapitre 1 : revue de la littérature

Pereira et al. [106] ont décrit les cellules comme des prismes rectangulaires, empilés de base en colonne parallèlement à la direction radiale de l'arbre (Figure 18). Le liège contient toujours des canaux lenticulaires, qui s'étendent de manière radiale. Ces canaux sont approximativement cylindriques et ne détruisent donc pas la symétrie cylindrique dans la direction radiale. Les canaux lenticulaires sont généralement creux; leur fraction volumique varie considérablement selon le type de liège. Par conséquent elle influe directement sur la qualité industrielle du liège.

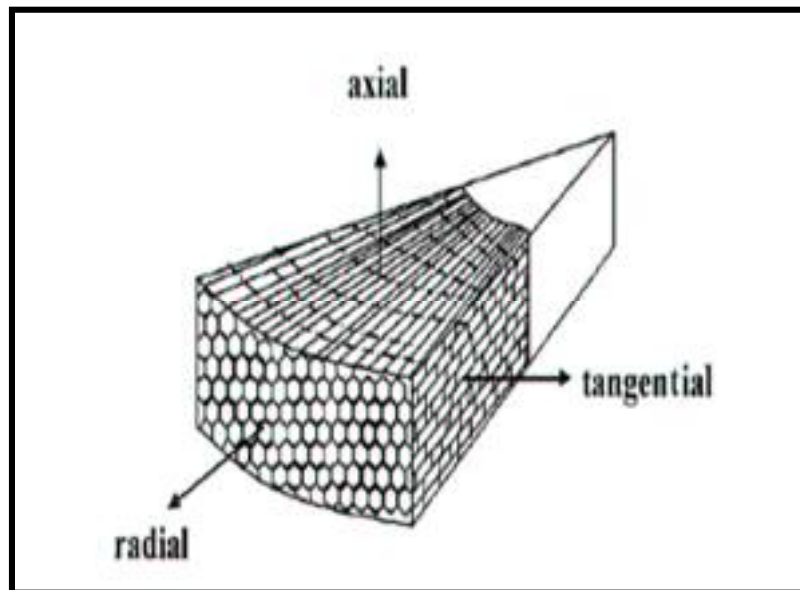


Figure 18 : Représentation schématique de la disposition cellulaire dans la section de culture du liège. [103]

I.6. GENERALITES SUR LE PLÂTRE :

I.6.1 Définition : [112] [113] [w13] :

Le plâtre est une poudre blanche parfois jaune pâle ou brune, qui donne une pâte boueuse en le mélangeant avec de l'eau et permet l'obtention d'un matériau blanchâtre relativement dur après séchage. C'est une matière obtenue par calcination du gypse.



Le terme plâtre peut désigner à la fois soit la matière poudreuse, soit la pâte constituée d'un mélange de poudre et d'eau.

I.6.2 Mode d'obtention [114] :

I.6.2.1 Origine du plâtre :

Le gypse naturel est à l'origine de la fabrication du plâtre. C'est une roche minérale, composée de sulfate de calcium hydraté, qui se présente sous forme de grosses roches avec des multiples couches. Il est le résultat de l'évaporation de l'eau de lagunes marines sursaturées.

Le gypse se trouve dans la nature sous deux formes :

- Cristalline : le gypse ou sulfate de calcium à deux molécules d'eau très abondante ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 79% CaSO_4 et 21% H_2O ; $d=2,32$). Sous cette forme, le gypse est composé de feuillets facilement clivables en lamelles souples et flexibles ou d'agrégats cohérents avec une structure fibreuse. Les cristaux sont souvent gros et généralement aplatis ou prismatiques et allongés parallèlement.

- Anhydre : anhydrite ou sulfate de calcium (CaSO_4 ; $d=2,90$). Le gypse sous cette forme est plus rare et il est souvent associé au sel gemme ou à la marne.

Le gypse est surtout apprécié pour sa couleur blanche éclatante, pour sa teneur en humidité homogène, ainsi que pour sa pureté.

Voici quelques caractéristiques physico-chimiques du gypse :

- Formule chimique : $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;

- Masse volumique : $2,31 \cdot 10^3 \text{g/cm}^3$;

- Solubilité (en gramme de sulfate de calcium par kg d'eau) :

✓ à 3°C : 1,81

✓ à 20°C : 2,04

✓ à 38°C : 2,10(solubilité maximale)

✓ à 100°C : 1,69 ;

Il est à noter que la solubilité de gypse est plus forte dans l'eau salée tel que l'eau de mer.

- Système cristallin : monoclinique ;

- Dureté : 1,5 à 2 en fonction de l'orientation de la face cristalline (échelle de Mohs).

I.6.2.2 Procédé du plâtre à partir de gypse naturel [112] [114] :

Le plâtre provient d'un minéral essentiellement composé de sulfate de calcium hydraté. Connu sous l'appellation « gypse ». La fabrication du plâtre se fait en trois étapes :

- L'extraction et préparation du gypse ;
- La cuisson ;
- L'obtention des produits finis.

I.6.2.2.1 Extraction et préparation du gypse :

I.6.2.2.1.1 L'extraction :

L'extraction peut se faire soit en carrières souterraines, soit à ciel ouvert.

Extraction en galeries souterraines

On effectue l'extraction en galerie souterraine lorsque la couche de gypse se trouve sous un site classé ou protégé, ou que l'épaisseur des terres de recouvrement est considérable, c'est-à-dire supérieure à 5 fois l'épaisseur de gypse. L'extraction se fait par la méthode des chambres et piliers abandonnés. Cette technique est de moins en moins pratiquée, du fait que selon les caractéristiques du gypse et des terrains encaissants, l'exploitant peut être amené à laisser en place une partie importante de la masse du gypse.



Figure 19: Extraction du gypse en galerie souterraine [115]

Extraction à ciel ouvert

Ce type d'extraction permet l'enlèvement total du gypse mais présente des inconvénients en cas d'intempéries tels que la difficulté d'accès et l'humidification du gypse.



Figure 20 : Extraction à ciel ouvert du gypse[115]

I.6.2.2.1.2 Préparation du gypse :

Le gypse subit un concassage et un calibrage avant de l'introduire dans les fours, accompagné d'un recyclage des gypses hors calibre en fonction du procédé de cuisson. En effet, les blocs de gypse extraits des carrières passent dans divers concasseurs à mâchoires, à cylindre ou à percussions pour être fragmentés en morceaux de plus en plus. Ensuite, un broyage primaire se fait à l'aide de broyeurs à percussion ou à marteaux oscillants afin de réduire le grain des pierres obtenues par concassage. Et enfin, suivi d'un calibrage qui classe les grains selon leur dimension, il s'effectue à l'aide de cribles. Il se peut également que le gypse soit séché dans des fours rotatifs avant d'être cuit.



Figure 21 : Bloc de gypse extraits des carrières [115]

I.6.2.2.2 Cuisson [114] [115] [116] :

Sous l'action de la température, le gypse perd progressivement ses molécules d'eau de constitution pour donner du semi-hydrate et de l'anhydrite. Et selon le degré de la

déshydratation du semi-hydrate, il apparaît différents types d'anhydrites. Le processus de la déshydrat

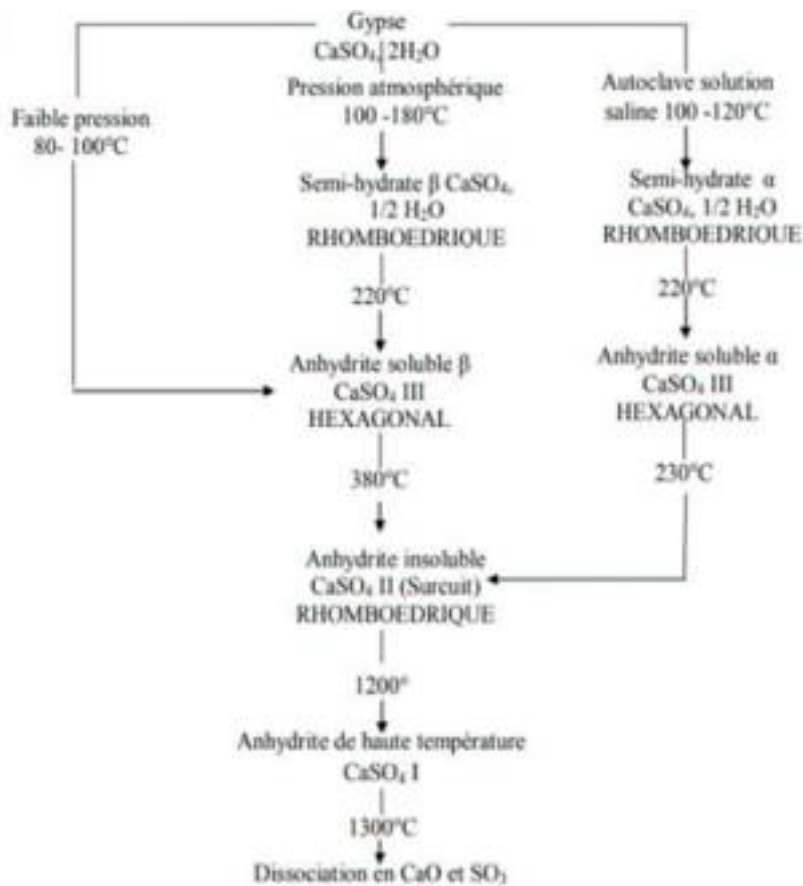


Figure 22: Processus de déshydratation du gypse. [116]

Autrement dit, la cuisson est une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, elle permet d'obtenir les divers éléments constitutifs du plâtre. Il existe deux modes de cuisson :

- en atmosphère sèche,
- et en atmosphère humide.

I.6.2.2.2.1 En atmosphère sèche :

Pour ce mode de cuisson, les gaz de combustion sont en contact avec le gypse à traiter. Il est utilisé pour obtenir la plus grande partie du plâtre. Il permet la fabrication, suivant les températures, soit du semi-hydrate β entre 110 et 180 °C, soit l'anhydrite soluble à partir de 180°C, ($170 < T < 250^{\circ}\text{C}$), soit le sarcuit ou anhydrite insoluble au-delà de 500 °C.

I.6.2.2.2.2 En atmosphère humide :

Chapitre 1 : revue de la littérature

Dans ce cas, le combustible ou les gaz ne sont pas en contact direct avec le gypse. La cuisson est effectuée en milieu aqueux à une température supérieure à 100°C. Il se réalise soit en autoclave sous pression (2 à 12 atmosphères), soit dans une solution saline concentrée. Ce mode de cuisson est pratiqué pour obtenir le semi-hydrate α .

I.6.2.2.3 L'obtention des produits finis :

À la sortie du four, les divers produits obtenus par les deux modes de cuisson, semi-hydrates et surcuit se présentent sous forme d'une poudre nommée plâtre. Les grains dont elle est composée sont à nouveau broyés et tamisés. La qualité de ces plâtres sera encore améliorée par l'ajout de différents produits (ciment blanc, chaux aérienne, résine synthétique, modificateur de prise, etc.) ou de granulats légers. Il forme une gamme variée de produits pour chaque usage particulier.

Le plâtre est commercialisé en vrac ou en sacs de papier aux poids standardisés 25 ou 40 kg. Le plâtre de construction courant est un mélange de semi-hydrate et d'anhydrite de classe II(2/3 : 1/3). L'anhydrite est un régulateur de prise ; plus le pourcentage d'anhydrite est élevé, plus le temps de durcissement est lent. Additionné d'eau, ce mélange fait prise en s'hydratant pour donner un gypse reconstitué au cours d'une réaction fortement exothermique et rapide.

I.6.3. Propriétés de plâtre :

I.6.3.1 Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie :

Le plâtre est un mauvais conducteur de chaleur. Il a une conductivité thermique relativement faible. En effet, le plâtre utilisé seul ou associé à d'autres matériaux améliore l'isolation thermique des parois. En plus, du fait de sa forte inertie thermique et de sa faible conductivité thermique, le plâtre élimine le phénomène de paroi froide. En associant le plâtre avec des matériaux isolants minéraux ou de synthèse ayant des conductivités thermiques très faibles (0,03 à 0,04 W. m⁻¹. K⁻¹), on peut réaliser des systèmes d'isolation efficaces.

En général, les produits préfabriqués en plâtre sont utilisés afin d'améliorer l'isolation thermique d'une paroi, seuls (contre-cloison en carreaux de plâtre) ou sous forme de complexes de doublage plâtre-isolant.

I.6.3.2. Humidité des locaux

Chapitre 1 : revue de la littérature

Le plâtre est un matériau poreux capable d'absorber de l'eau et de s'opposer au ruissellement, afin de la rejeter ensuite dès que les conditions hygrométriques s'y prêtent. En effet, en présence des variations d'humidité relative de son environnement, le plâtre contribue à l'amortissement desdites variations au cours du temps. Le plâtre agit comme un réel amortisseur des variations hygrométriques de l'ambiance dans laquelle il est employé.

I.6.3.3. Isolation et correction acoustique :

Le plâtre obéit aux lois générales de l'acoustique.

Les produits préfabriqués en plâtre tel que la constitution d'éléments décoratifs à reliefs, les panneaux, les structures architecturales ou ornementales en plâtre sont capables d'éliminer ou de réduire les réverbérations gênantes des bruits ou des sons émis dans une pièce. La réverbération c'est le réflexion et diffusion d'un son, c'est la persistance d'un son après que la source sonore a cessé d'émettre.

I.6.3.4. Résistance au feu :

Son comportement remarquable au feu est l'une des propriétés la plus reconnu et les plus caractéristiques du plâtre. Cette résistance au feu résulte de plusieurs propriétés :

- Le plâtre est incombustible ;
- C'est un mauvais conducteur de la chaleur ;
- Il a surtout une propriété spécifique, intéressante pour la protection incendie, par le fait qu'il oppose une action antagoniste au développement du feu ;
- Le plâtre est un sulfate de calcium hydraté à deux molécules d'eau ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$). A l'état sec, il contient environ 20 % en masse d'eau chimiquement liée. En cas d'incendie, le plâtre libère cette eau, ainsi il contribue à la protection d'incendie. En effet, sous l'action de la chaleur, le plâtre subit une transformation chimique résultant d'une réaction endothermique, réaction qui, en même temps qu'elle absorbe de la chaleur, et de ce fait en neutralise les effets destructeurs, libère de l'eau ;
- Enfin, sous l'action du feu, le plâtre ne produit aucun gaz ou vapeur toxique, corrosif ou asphyxiant (étouffant), aucune fumée, ni aucun produit de décomposition combustible ou susceptible d'activer la combustion.

I.6.4. Utilisations de plâtres [117] [118] :

Grace à sa composition et ses multiples propriétés, le plâtre présente de nombreux avantages, qui le rend tout particulièrement appréciés dans plusieurs domaines tels que le bâtiment, l'industrie et la médecine.

I.6.4.1 Dans le bâtiment :

I.6.4.1.1 Enduits de plâtre :

Le plâtre mélangé avec 10 à 15% de la chaux grasse et du sable donne un mortier très utilisée tant qu'enduit intérieur et extérieur. En général, les enduits de plâtre sont faits en deux couches: la première, de 8 à 10 mm en gros plâtre (60 à 70% d'eau), couche d'application sur les plafonds et les murs, pour les travaux de remplissage et pour les planchers ; la deuxième, de 5 à 7 mm en plâtre fin (75 à 80% d'eau), couche de finition. Toutefois, on peut utiliser les enduits au plâtre à l'extérieur à condition de les peindre à l'huile, mais il ne faut jamais les utiliser en soubassements car ils craignent l'humidité.



Figure 23: Enduit en plâtre[115]

I.6.4.1.2 Agglomérés de plâtre :

Le plâtre sert à la fabrication de carreaux et plaques (utilisés souvent pour cloisonner) et des divers produit (pour décoration). Les principaux agglomérés sont :

- Plaques de plâtres et fibres (sandwich de plâtre compris entre deux feuillets de carton),
- Carreaux de plâtre et carreaux de plâtre expansé,

Chapitre 1 : revue de la littérature

- Carreaux de plâtre à la vermiculite,
- Produits en stuc (mélange de plâtre, de colle forte et de matières colorées) et en staff (plâtre armé aux fibres végétales destiné à l'ornementation, il est utilisé en décoration).



Figure 24:Carreaux de plâtre[115]

I.6.4.1.3 Béton de plâtre :

En mélangeant du plâtre et des gravillons notamment des gravillons de mâchefer (gâché avec 150 litres d'eau au maximum), on obtient du béton de plâtre. Le mis en œuvre est très rapide, qui se fait par damage (action compacter avec un outil ou avec une machine) ou par piquage. Le béton de plâtre possède une résistance à la compression à 28 jours de 50 à 100 kgf/cm² suivant son état de déshydratation.



Figure 25 : Béton de plâtre[115]

I.6.4.1.4 Plâtre à plancher :

Le gypse, surcuit entre 900 à 1200°C, donne le plâtre à plancher. Le plâtre à plancher est un produit hydraulique à prise lente dont la résistance et la dureté sont supérieures à celles du plâtre ordinaire.

I.6.4.2 Plâtre pour les arts et l'industrie

- Décoration, ornementation, maquettes statuariques ;
- Moule de coulage, de calibrage, matrices pour de nombreuses industries (tuilerie, porcelaine, fonderie, carrosserie, matières plastiques, industrie de jouet).

Ces plâtres sont constitués par 90% de semi-hydrate.

I.6.4.3. Utilisation en médecine :

Les plâtres utilisés dans le médicaux tels que les plâtres dentaires et la chirurgie sont spéciaux, ils sont obtenus à partir de l'albâtre, un gypse massif et compact à grains très fins, très pur et limpide. Ces plâtres doivent contenir au moins 93% de semi-hydrate.



Figure 26 : Quelques utilisations de plâtre dans les médecines [115]

I.6.5 Avantages et inconvénients du plâtre [115] [118] :

I.6.5.1 Les avantages des plâtres :

Les plâtres présentent nombreuses avantages :

- Facile à utiliser : il suffit de le réhydrater avant de l'appliquer sur la surface désirée à l'aide d'une large spatule. On peut le poncé une fois afin de lui donner une surface

parfaitement plane ;

- Aspect économique. En effet, il n'est pas nécessaire d'utiliser une grande quantité de matière pour que celui-ci soit efficace, et son utilisation ne nécessite qu'un simple ajout d'eau au sein d'un malaxeur afin de lui rendre son aspect pâteux ;

- Temps de prise contrôlable ;

- Attente minimum entre différentes couches successives ;

- Possibilité d'obtenir différents degrés de dureté de surface et de texture ;

- Pas de retrait ;

- Bonne isolation thermique et phonique ;

- Bonne résistance au feu ;

- Matériau particulièrement sécurisé : le plâtre ne dégage pas de substances toxiques au contraire il capte celles-ci ; en vérité, il contribue à la qualité de l'air intérieur et résiste longtemps aux flammes ;

- Le plâtre est 100 % recyclable. Il suffit de récupérer le plâtre puis de le broyer et de le mélanger à nouveau avec de l'eau.

Cependant, malgré ces avantages, les plâtres ont aussi ses inconvénients.

I.6.5.2 Les inconvénients des plâtres :

- Le plâtre ne peut pas être utilisé à l'extérieur à condition de les peindre à l'huile.

- De nature acide, le plâtre favorise la corrosion de l'acier.

- Temps de séchage lent et mis en œuvre salissante (produits préfabriqués).

Chapitre 1 : revue de la littérature

Malgré la composition écologique du plâtre, quelques fois le plâtre ne peut être recyclé en toute sécurité lorsque celui-ci est recouvert de produits chimiques ou potentiellement toxiques, comme peuvent l'être les peintures intérieures.

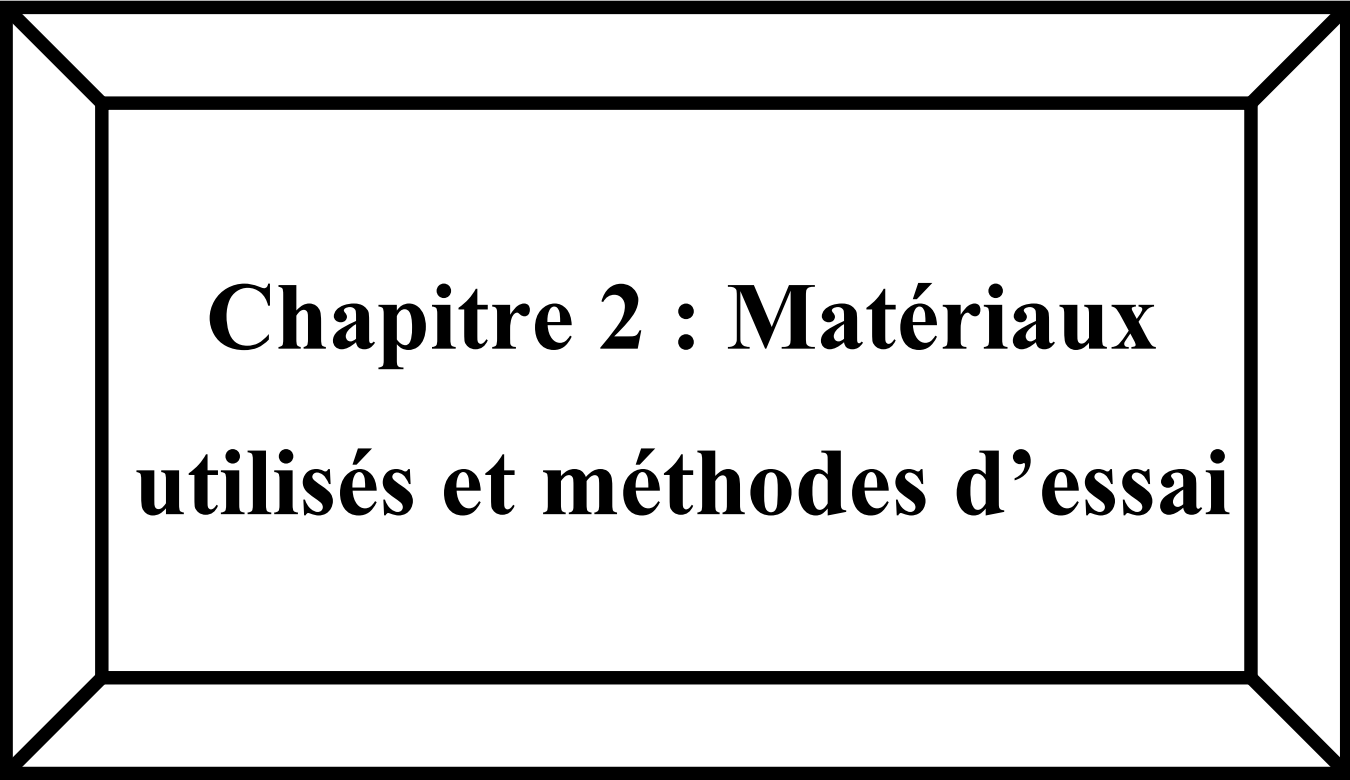
Conclusion :

L'adoption de la construction durable s'appuie sur l'incorporation des principes de l'économie circulaire et de l'écologie industrielle. Ces méthodes visent à réduire l'impact environnemental de l'industrie du bâtiment en maximisant l'utilisation efficace des ressources, en diminuant les résidus et en encourageant le recours à des matériaux durables.

Et aussi ; les fibres naturelles et les résidus agricoles présentent des avantages durables pour la construction, leur utilisation est entravée par des contraintes environnementales, économiques et réglementaires.

Le liège, matériaux de construction ancien et durable, est un isolant naturel fréquemment utilisé, surtout dans les zones méditerranéennes.

Le plâtre est un matériau de construction multifonction, employé en tant qu'enduits ou comme composants préfabriqués. Il offre plusieurs atouts, comme une excellente isolation thermique et acoustique, une résistance au feu et un tarif raisonnable. Néanmoins, il est également notoire pour sa résistance mécanique limitée et son incapacité à gérer l'humidité de manière efficace.



**Chapitre 2 : Matériaux
utilisés et méthodes d'essai**

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

II.1 .Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les démarches pour formuler un mortier auto plaçant (MAP) à base des granulats de liège, dans ce sens nous avons réalisé un certain nombre d'essais afin de déterminer les caractéristiques des matériaux utilisés et leurs propriétés d'une part, d'autre part, la détermination de la formulation doit être définie avec le plus grand soin possible à travers la détermination des différents paramètres agissant sur la formulation d'un mortier à savoir :

Le dosage en sable et en plâtre, chaux, l'eau ...etc.

Préparation d'un mortier a base de plâtre

Les essais flexion et complexion, conductivité thermique, D'uromètreShore

II .2. Caractérisation des matériaux utilisés :

Pour la confection des mortiers, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil tout en assurant les recommandations des normes en vigueur.

II .2. 1 Le plâtre :

Le plâtre est un liant hydraulique, une poudre blanche provenant de la cuisson de gyps, il comprend surtout sous sa forme commune, un héli-hydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ Qui réduit en poudre puis gâché avec de l'eau fait prise pour reconstituer l'hydrate a deux molécules d'eau. Le plâtre, utilisé sous forme d'enduit ou de mortier pour assembler des ouvrages en maçonnerie, figure parmi les matériaux de construction traditionnels. L'utilisation contemporaine du plâtre procède pour beaucoup de transformations industrielles, avec les plaques et les carreaux de plâtre. [1]



Figure 27 : plâtre knauf

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai

La masse volumique absolu et apparent :



Figure 28 : La masse volumique absolue



Figure 29 : la masse volumique apparent

Tableau 3: Résultat de caractéristique de plâtre

Caractéristique	Plâtre
Provenance	Ain temouchent
La masse volumique absolu (Kg /m^3)	2600
la masse volumique apparent(Kg /m^3)	850

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

II .2. 2.Le sable

Le sable utilisé Pour cette étude nous avons utilisé le sable de wilaya de aintemouchent,dans notre étude est Deux types de sable ont été mélangés, l'un fin et l'autre grossier, avec un module de finesse environ 2,42 puis nous avons effectué une analyse granulométrique pour déterminer la répartition de la taille des particules



Figure 31 : Sable fin



figure 32 : sable fin et gro



Figure 33 : Lavage de sable
gros

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai

II .2. 2.1.L'analyse granulométrique pour les deux sable :

L'analyse s'effectue par tamisage avec un jeu normalisé de tamis. On superpose les tamis par dimensions croissantes, et l'on place un récipient sans ouverture sous la pile. Après tamisage, on mesure les refus de chaque tamis ainsi que le tamisât ayant passé à travers le tamis le plus fin



Figure 34 :tamis a granulométrie

Tableau 4 : Résultat Analyse granulométrique de sable

tami	refus partiel	refus cumulé	refus cumulé%	tamisats %
5	0	0	0	100
3,15	14	14	1,401401	98,5985986
2,5	35	49	4,904904	95,0950951
1,25	216	265	26,5265265	73,4734734
0,63	210	475	46,54754755	52,45245245
0,315	184	659	65,96596597	34,034034
0,16	301	960	96 ,0960961	3,903903904
0,08	33	993	99,39993994	0,600600601
FOND	6	999	100	0
Mf	2,42			

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

La courbe granulométrique est la carte d'identité d'un granulat. Elle indique les proportions des grains de chaque dimension. Elle se fait conformément à la norme : NF EN 933-1.

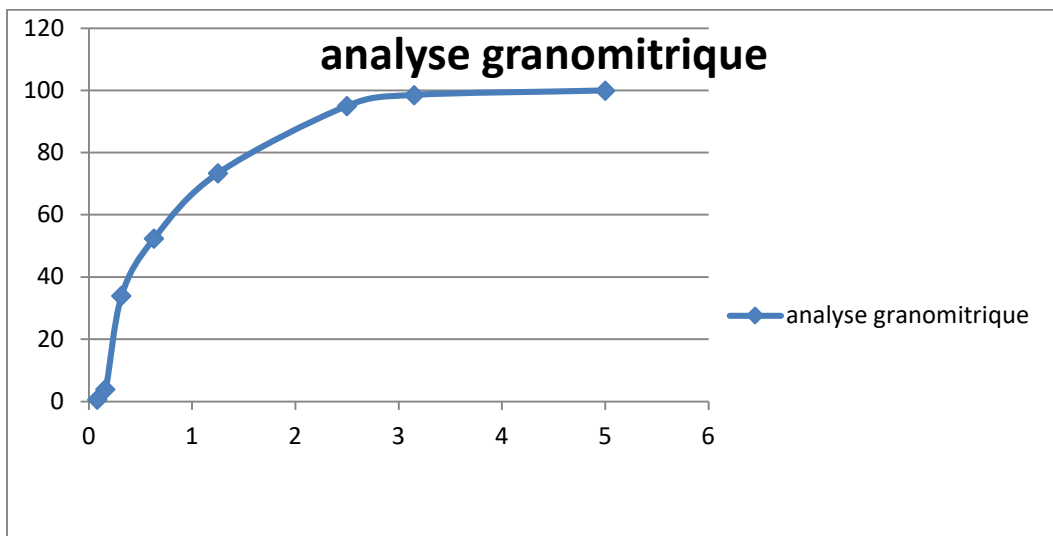


Figure 35 : courbe granulométriques de sable

Tableau 5 : Résultat de caractéristique de sable

Caractéristique	Sable
Provenance	AIN TEMOUCHENT
Classe granulaire	02
Module finesse	2,42
Masse volumique absolue (Kg /m ³)	4912
Masse volumique apparent (Kg /m ³)	2667

II .2. 3. La chaux :

Dans cette recherche la chaux est utilisée dans le but de retarder la prise du plâtre, elle diminue la solubilité de ce dernier et permet d'augmenter son temps d'emploi. En plus elle n'affecte pas ces propriétés mécaniques (C.N.E.R.I.B).



Figure 38 : la chaux

II .2. 4. Le liège :

Le liège révèle une structure alvéolaire identique à celle d'un nid d'abeille avec une absence d'espaces intercellulaires, Cette structure cellulaire contient entre 30 et 43 millions de cellules. Le tissu subéreux contient 89,7% de matière gazeuse [2]. Malgré l'orientation aléatoire des parois cellulaires latérales (parallèles à la direction radiale), le liège est considéré comme un matériau transversalement isotrope.



Figure 39 : liège

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais



Figure 40: machine déchiqueteuse MS 300

II .2. 4 .1.L'analyse granulométrique de liège :

Tableau 6 : Résultat Analyse granulométrique de liège

Tamis	Réfus partiel	Réfus cumulé	Réfus cumulé %	Tamisate %
2	0,3	0,32	0,39	99,60
1,25	25,4	25,72	32,02	67,97
0,63	30,1	55,82	69,51	30,48
0,315	12,5	68,32	85,08	14,91
0,16	5,79	74,11	92,29	7,7
0,08	2,15	76,26	94,96	5,03
FOND	3,8	80,06	99,70	0,29

Mf= 2,79

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai

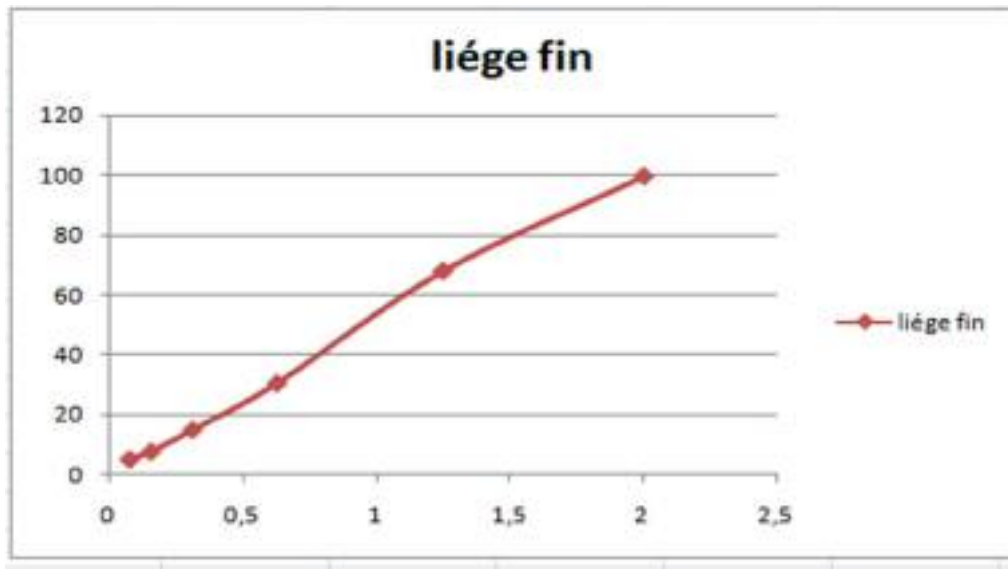


Figure 41 : courbe granulométriques de liège

Tableau 7: Résultat de caractéristique de liège

Caractéristique	Liege
Provenance	Ain temouchent
Classe granulaire	2
Module finesse	2,79
Masse volumique absolue (Kg /m ³)	1479,28
Masse volumique apparent (Kg /m ³)	850

II .5. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des mortiers est celle du robinet considéré comme potable, exempte de toute impureté nuisible au mortier et conforme à la norme NF EN 1008 [3]. Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

II .3 .Préparationdeséchantillons:

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériau utilisé afin d'obtenir un mortier . Notre étude consiste à réaliser des échantillons de mortier à partir de liège et de plâtre ceci par un palier de 25% allant de 0% à 100%. . Ce processus comprend plusieurs étapes.

* premier étape :

Nous mettons dans le bol du malaxeur une quantité de plâtre et une quantité de chaux et les mélangeons à la main. Ensuite, nous ajoutons le sable, le liège et l'eau et mélangeons le tout pendant 20 secondes à la main. Ensuite, nous les mettons dans le malaxeur pendant 20 secondes a vitesse normale .

*La deuxième étape :

La confection des éprouvettes avec des dimensions de (4X4X16) pour but de déterminer les essais mécaniques .et les laissons reposer pendant 24 heures. Ensuite, nous retirons le moule et les laissons pendant 7 jours et 28 jour

Tableau 8 : le différent échantillon leur composants

Matériaux (g)	B0 100%sable 0%liage	B1 75%sable 25%liage	B2 50%sable 50%liage	B3 25%sable 75%liage	B4 0%sable 100% liage
Plâtre	840	840	840	840	840
Sable1	126	94,5	63	31,5	0
Sable 2	294	220,5	147	73,6	0
Liage	0	9	17,43	26,4	34,86
Chaux	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
eau	504	504	504	504	504

Les composites sont notés respectivement :

B0:100%sable et0%déchet.

B1:75%sable et25%déchet.

B2:50%sable et50%déchet.

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai

B3 : 25% sable et 75% déchet .

B4: 0% sable et 100% déchet.



Figure 42: les matériaux utilisés

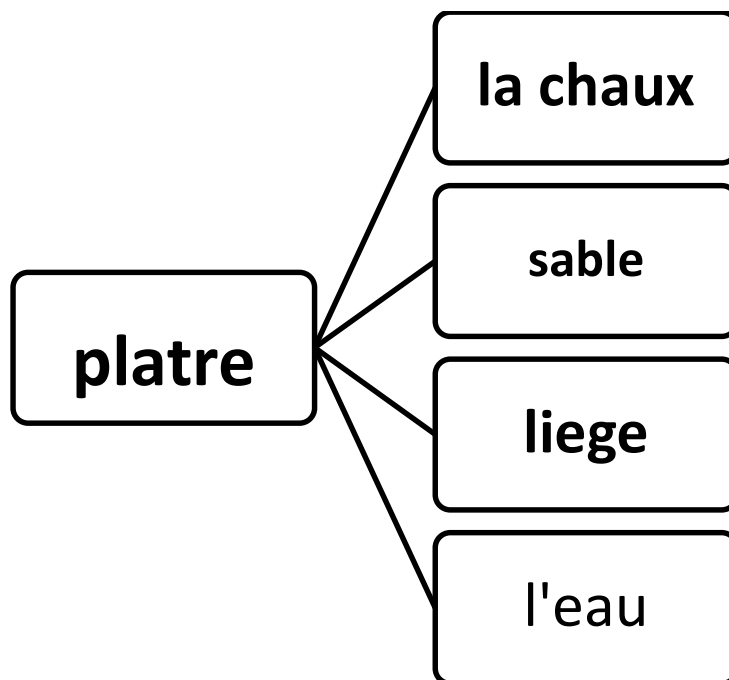


Figure 43 : les matériaux utilisés

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

Les éprouvettes de dimension (4x4x16) cm³ seront destinées aux essais de:

- Résistance à la compression
- Résistance de traction par flexion
- Détermination de la densité
- Absorption capillaire
- Etuve immersion
- Dureté superficielle
- Résistance au feu



Figure 44: moule 4*4*16

D'autres éprouvette sont été faites pour l'essai de l'isolation phonique sur des sectionnes PVC de diamètre Ø (80mm) et une épaisseur de 1cm.

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai



Figure45: Epreuves réalisées Ø (80mm) épaisseur de 1cm

II .3 .1. Formulation du mortier :

Matériels utilisés :

Balance électrique:

Une balance électrique avec une précision de mesure de 0.001 et une capacité minimale de 10 Kg, nous permet de peser les quantités nécessaires avec une grande précision.

Malaxeur:

Malaxeur est équipé d'une cuve de capacité de cinq litres et d'une pale qui peut tourner à deux vitesses différentes (lentes et rapides)

les éprouvettes sont démoulées et placées à l'air libre jusqu'au 24H del'essai.



Figure46 : éprouvette 4*4*16



Figure47: malaxeur

II .4.Etat durci :

II .4.1.Contrôle par ultrasons:

La mesure de la vitesse des ondes dans le béton est classiquement utilisée aussi bien en laboratoire que sur les ouvrages. Cette méthode est également normalisée par les normes Françaises [NF EN 12504-4] et américaines [ASTM-C597-02], et il existe des appareils commerciaux complets permettant de réaliser ce type de mesures [4].



Figure 48 : appareil de ultrasons

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai

II .4.2.Résistance à la traction par flexion :

À l'âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196 1] [5]. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure 48), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L .



Figure 49 : appareil de flexion

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

II .4.3.Résistance à la compression :

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] [5] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques après rompre en flexion à l'âge de 7 et 28 jours, (Figure 49) exprime l'essai. La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (03) demi-prismes des trois éprouvettes.

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

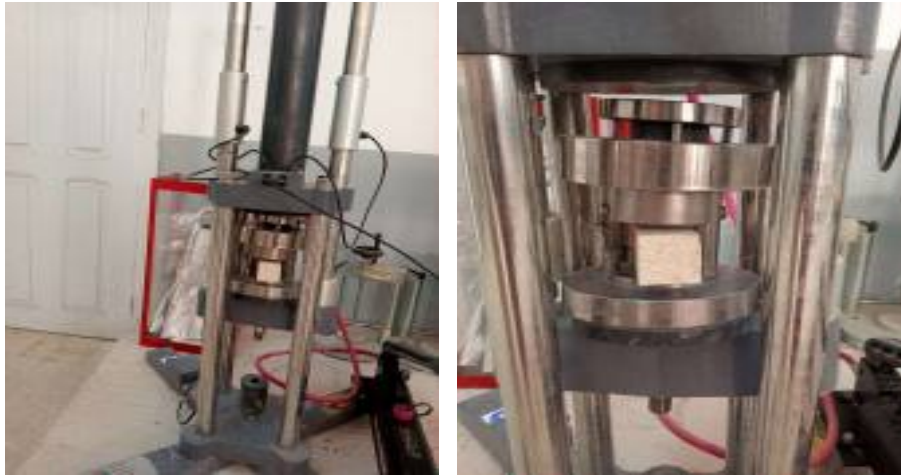


Figure 50 : appareil de compression

Si FC est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si FC est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

II .4.4. Conductivité thermique :

La méthode de mesure de la conductivité thermique est réalisée à l'aide de l'instrument appelé CT mètre, elle consiste à soumettre deux éprouvettes de la même famille et entre ces deux éprouvettes mettant une sonde génère un flux thermique. La figure suivante présente la méthode de l'essai. (0Figure).



Figure 51:appareil de conductivitéthermique

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai

II .4.5.Absorption d'eau par capillarité :

Conformément à la norme NF EN 1015-18[6], dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de mortier puis séché. On le pèse(m_0) au début, après on l'introduire dans un bac rempli d'un film d'eau (5 mm d'eau) et pendant chaque intervalle de temps (12min,30min,1h,2h,4h,24h,48h,72h,96h) on ressort les morceaux du bac et on les pèse(m_1). Le différent de poids entre m_1 et m_0 est le poids de l'eau absorbée ($m_1 - m_0$).



Figure 52 : le dessiccateur



Figure 53: Absorption d'eau par capillarité

II .4.6.Porosité accessible à l'eau :

L'essai de porosité accessible à l'eau est réalisé selon la norme AFC-AFREM [7]. Les éprouvettes prismatiques normalisées. La figure suivante montre l'appareillage de l'essai (Figure 50-51).



Figure 54 : appareil Porosité accessible à l'eau

II .4.7. Essai séchage-mouillage :

Cet essai a pour but de déterminer la capacité des composés à sécher après avoir été complètement immergés.

Il est réalisé en utilisant la procédure non standardisée utilisé par [8] dans son doctorat. Les échantillons ont été immergés dans l'eau pendant 48H. puis ils ont mis dans une étuve à 40°C durant 2 jours. Ce processus a été effectué deux fois (Deux cycles).

La dureté shore C. la résistance à la compression et à la traction ont été vérifiées afin de comparer avec les échantillons qui n'avaient pas été testés avec l'eau.



Figure 55 : Les échantillons dans l'étuve

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai



Figure56 : Les échantillons dans l'eau(Cycle Etuve-Immersion)

II .4.8.Isolation phonique :

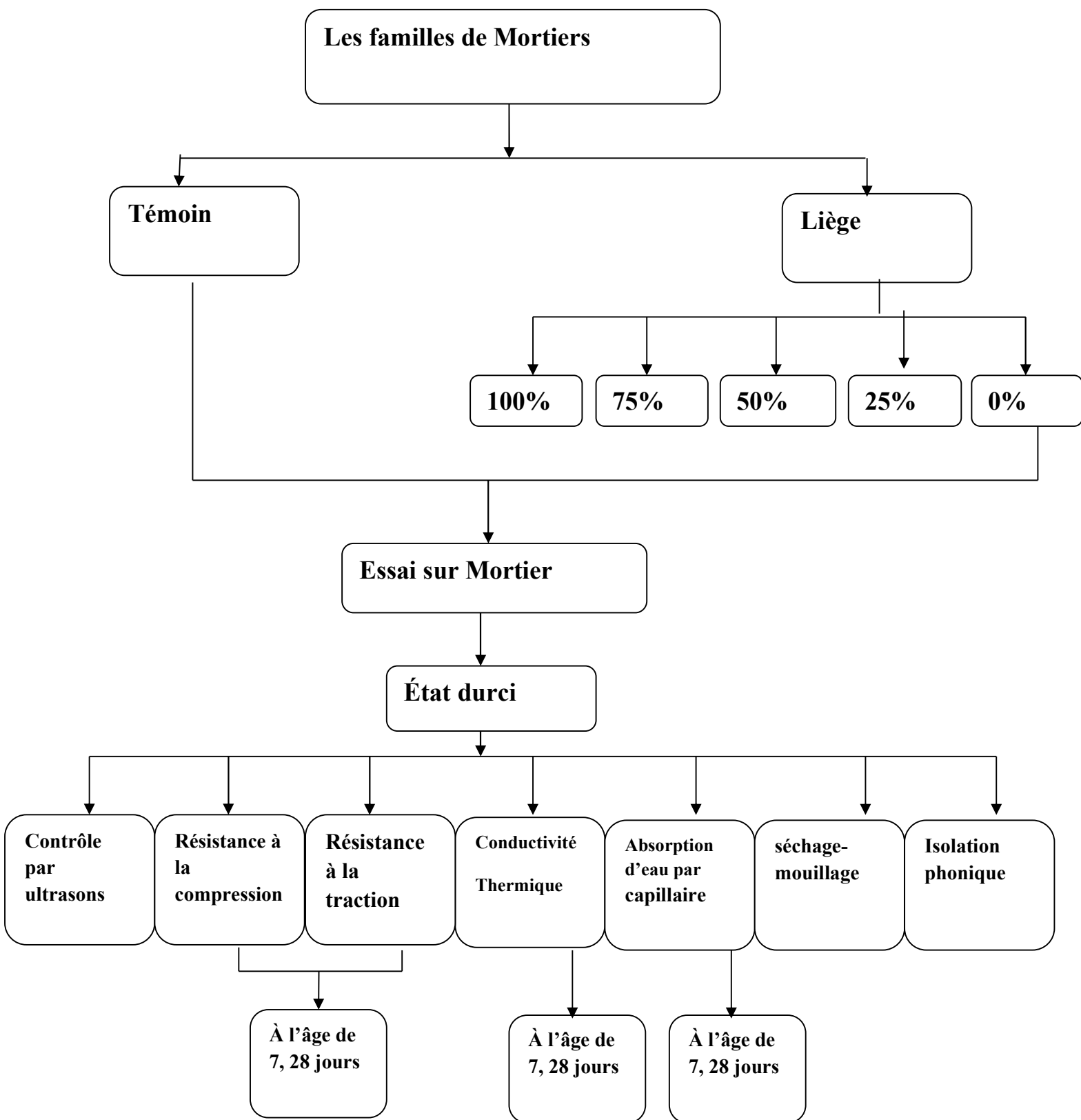
L'essai d'absorption acoustique a été réalisé au laboratoire LAMBAT à l'ENPO d'Oran qui permet de tester l'affaiblissement acoustique, en décibel(dB) à l'aide d'un décibel mètre de différents matériaux. L'échantillon à tester PVC de diamètre \varnothing (80mm) et une épaisseur de 1cm est placé a une extrémité du tube d'impédance .Unbruitblan c'est généré dans le tube pour produire des ondes planes, et les pressions sonores sont mesurées à l'entrée et à la sortie de l'échantion

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essais



Figure 57: Appareil pour l'essai acoustique.

Chapitre 2 : Matériaux utilisés et méthodes d'essai



Chapitre 2 : matériaux utilisés et méthodes d'essais

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, des essais de caractérisation des matériaux utilisés sont réalisés au sein du laboratoire pédagogique de l'université de aintemouchent. Ainsi, après la formulation de nos composites à base de granulats de liège plus plâtre , une série des essais effectuées dans le but de connaitre l'effet de ces granulats sur les propriétés rhéologiques, physico-mécaniques et thermiques. De plus, une investigation est élaborée pour découvrir l'effet de les écrasements et l'effet de l'eau sur les mortiers à base de plâtre et Liège .



Chapitre 3 : Résultats et discussion

III.1. Introduction

Ce chapitre se focalise sur l'examen et l'explication des résultats d'un programme expérimental visant à étudier l'impact de la présence de particules de liège naturel dans les mortiers de paître.

Cette partie présente les résultats issus des divers tests réalisés dans l'état durci. Par la suite, nous analyserons l'impact du taux de substitution des granulats légers en liège naturel sur la densité, l'UPV, les résistances mécaniques et la conductivité thermique des mortiers à base de plâtre.

Dans la conclusion de ce chapitre, on examinera les indicateurs de la durabilité de ces nouveaux matériaux à travers les tests traditionnels d'absorption capillaire et d'absorption par immersion complète. De plus, un test de cycle mouillage-séchage sera effectué pour juger de la longévité des mortiers fabriqués.

Et afin de démontrer la capacité d'isolation phonique des divers mortiers conçus, un essai d'isolation acoustique est effectué pour chacun d'eux.

III.2. Résultats et discussions

III.2.1 Masse volumique apparente des mortiers

La variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de déchets des lièges à 7 jour et 28 jours et représentée sur le tableau 7 :

Tableau 9 : Variation de la densité en fonction du pourcentage du déchet à 7 jours et 28 jours

Les échantillons	M/v (28 jour) (Kg/m ³)	M/v (7jour) (kg/m ³)
B0	1,532	1,535
B1	1,437	1,474
B2	1,284	1,272
B3	1,221	1,221
B4	1,125	1,128

La figure 57 ci-dessous représente la variation de la masse volumique en fonction des pourcentages de substitution à l'âge de 7 et 28 jours.

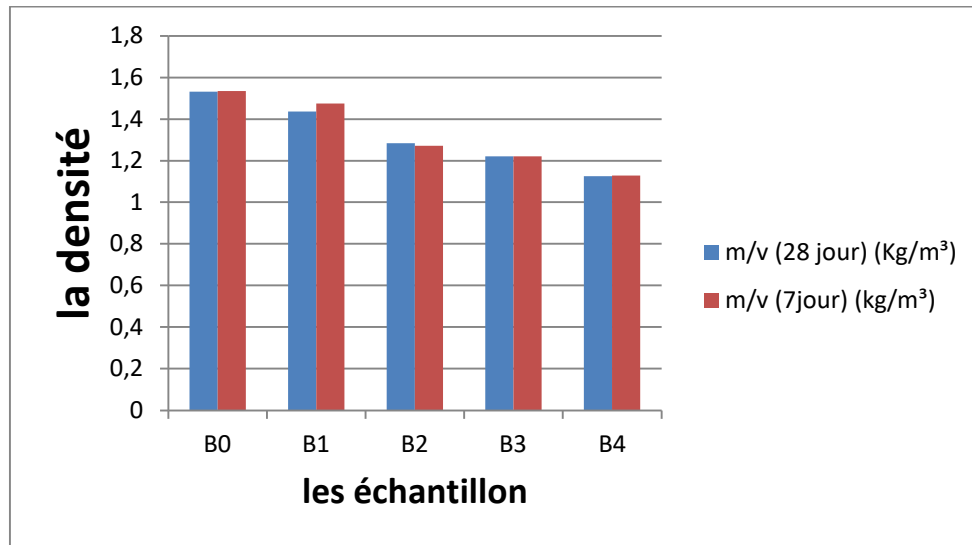


Figure58: Variation de la densité en fonction du pourcentage du déchet à 7 jour et 28 jours

D'après les résultats de la figure 57 on remarque qu'une hausse du taux de déchets de liège dans le mélange provoque une réduction graduelle de la densité, évoluant de 1,532 kg/m³ pour l'échantillon contrôle (B0) à 1,125 kg/m³ pour l'échantillon B4 après une période de 28 jours. Cette réduction est due à la densité inférieure du liège comparativement au sable, diminuant ainsi la masse volumique du mélange. Les écarts de densité entre 7 et 28 jours ont été minimes, témoignant d'une certaine stabilité de la structure suite au processus de durcissement. Cette orientation indique que l'incorporation de liège contribue à la création d'un matériau plus léger, bien qu'une évaluation de son influence sur les performances mécaniques soit nécessaire. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par d'autres travaux de mortier de plâtre à base de déchets des grignons d'olive [1]. En confrontant nos résultats à ceux obtenus avec des mortiers de plâtre renforcés par des fibres plastiques de diverses longueurs, il est observé que les composites élaborés affichent des densités variant de 1,17 à 1,25 g/cm³. La densité maximale est obtenue avec une concentration de 3 % de fibres longues, alors que la densité minimale est associée à un taux de 6 % de fibres courtes [2].

III.2.2. Essai ultrason (UPV)

Les résultats de l'essai UPV sur les mortiers de plâtre à base de déchet de liège à 7 jour et 28 jours sont illustrés dans la figure 58.

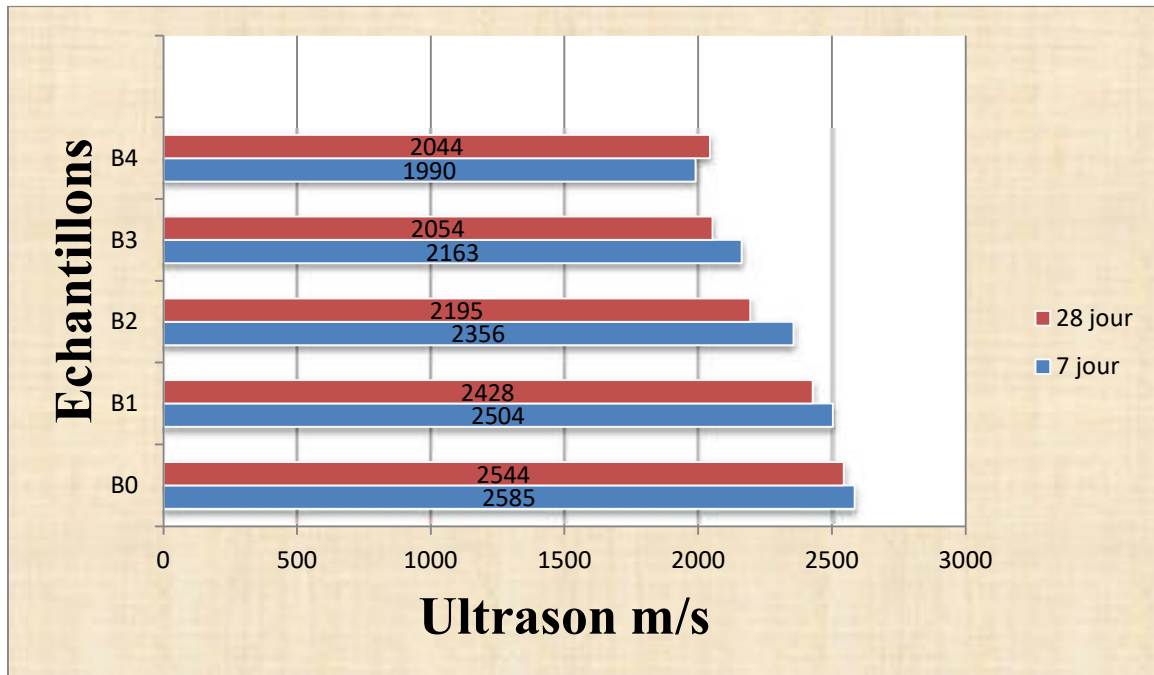


Figure 59: Variation d'ultrason en fonction du pourcentage du déchet à 7 jour et 28 jours.

Des tests par ultrasons ont été effectués sur des compositions de plâtre intégrant des quantités grandissantes de résidus de liège (liège) afin d'apprécier l'impact de cette incorporation sur la structure interne du mélange. Évalué à deux âges distincts : 7 jours et 28 jours. Les observations ont démontré que la vitesse de propagation des ultrasons se réduisait avec l'accroissement du taux de liège dans le mélange. Le mélange sans liège, désigné B0, affichait la vitesse la plus rapide (2585 m/s), tandis que celle-ci se dégradait graduellement jusqu'au mélange B4 (1990 m/s), qui renferme la plus grande proportion de liège.

Cette diminution est attribuée aux propriétés physiques du liège, car il s'agit d'un matériau léger et poreux qui crée des vides internes au sein de la structure solide du gypse, ce qui entraîne une réduction de la densité et de la cohésion interne des échantillons, et donc une réduction de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.

L'analyse des valeurs consignées après 7 et 28 jours révèle une progression générale de la rapidité avec le temps, suggérant l'apparition d'un durcissement interne du mélange. Toutefois, dans les mélanges contenant une grande quantité de liège, cette progression semble moins marquée, ce qui pourrait témoigner d'un impact défavorable du liège sur le processus de durcissement avec le temps.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Il faut signaler que la diminution de la vitesse ultrasonique entre du 7 à 28 jours d'âge est illogique, elle est due certainement à la mauvaise cure des échantillons qui ont été conservés dans un endroit humide. D'ailleurs on va constater la même chose pour des autres essais par la suite.

III.2.3. Résistance à la flexion :

Les résultats de la résistance à la flexion obtenue sur mortier de plâtre à base de déchet de liège à 7 jours et 28 jours sont illustrés dans le tableau 8.

Tableau 10 : variation de la résistance à flexion en fonction du pourcentage de déchet

Les échantillons	7 jours (MPa)	28 jours (MPa)
B0	1	0,4
B1	0,8	0,4
B2	0,8	0,3
B3	0,7	0,4
B4	0,6	0,2

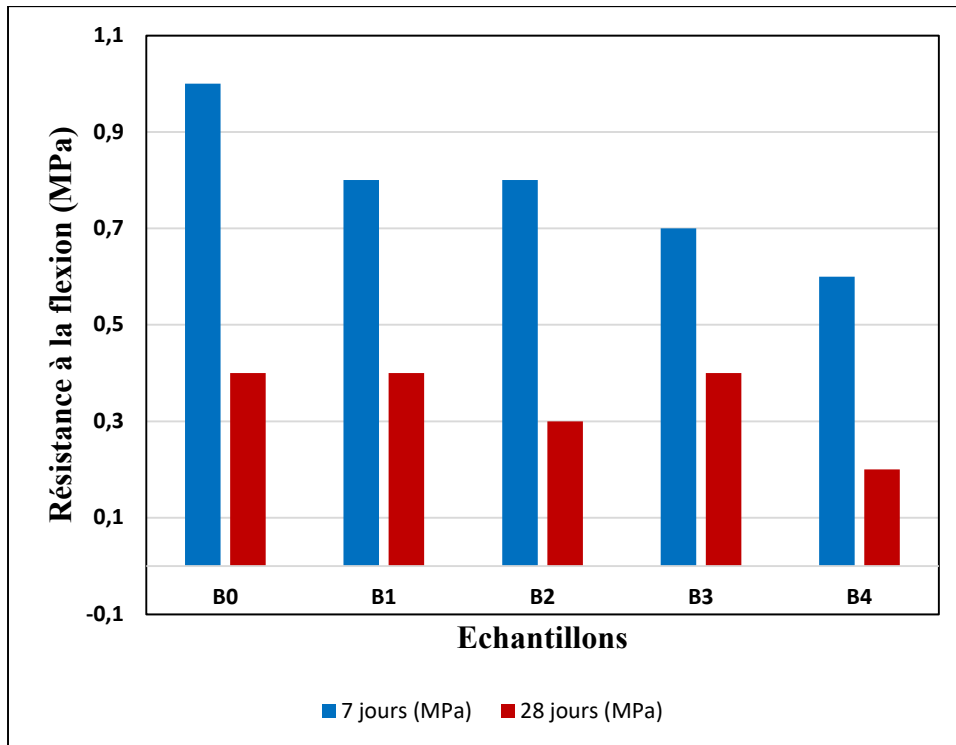


Figure 60: Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage du déchet à 7 jours et 28 jours

Les données illustrées dans la figure 59 indiquent qu'au bout de sept jours, le mélange B0 a démontré la plus grande résistance à la flexion. Cependant, une chute de la résistance a été notée pour tous les échantillons après une période de 28 jours. Notamment, l'échantillon B0 a vu sa résistance initiale diminuer de plus de 50 %, indiquant possiblement le commencement d'une détérioration ou une cohésion insuffisante du matériau sur le long terme. En accroissant la part de liège dans les mélanges, on a observé une diminution graduelle de la résistance initiale. Toutefois, il y a eu une amélioration de la stabilité mécanique au fil du temps, en particulier pour l'échantillon contenant 75 % de liège, qui a présenté une diminution bien moins significative de la résistance. Néanmoins, l'échantillon B4 a présenté la résistance la plus faible, y compris à 7 jours qu'à 28 jours.

En conclusion, l'intégration de 75 % de liège dans le mélange semble offrir un bon compromis entre performance mécanique et stabilité à long terme. Les résultats de la présente étude sont cohérents avec les résultats de la littérature [3, 4] qui ont montré des réductions importantes de la résistance à la flexion des composites de plâtre avec déchet plastique et de caoutchouc respectivement. En ce qui concerne l'expérience menée sur le plâtre renforcé par des fibres plastiques, il a été constaté que l'incorporation de fibres longues entraîne une amélioration de

la résistance à la flexion du plâtre. Toutefois, un excès de fibres, notamment de fibres courtes, entraîne une diminution de la résistance à la flexion [2].

III.2.4. Résistance à la compression :

Les résultats de la variation de la résistance à compression des mortiers de plâtre étudiés en fonction des pourcentages de particules du liège à 7 et 28 jours sont représentés sur le tableau 9 et la figure 60.

Tableau 11 : variation de la résistance à compression en fonction du pourcentage de déchet

Les échantillon	7 jours (MPa)	28 jours (MPa)
B0	9,9	8,6
B1	8,8	5,2
B2	8,6	7,4
B3	8,4	8,2
B4	6,8	7,1

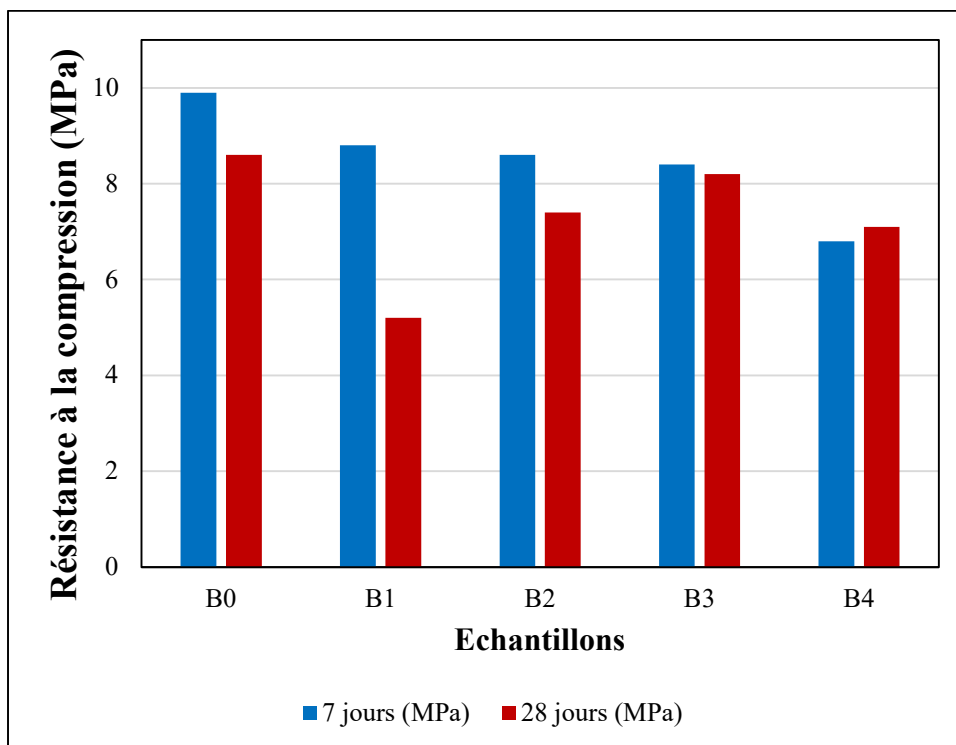


Figure 61 : Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage du déchet à 7 jour et 28 jours

L'essai de compression a été réalisé sur les moitiés des échantillons provenant du test de flexion. Comme ces échantillons avaient déjà été préalablement chargés, il est possible que les résistances mesurées soient inférieures aux valeurs véritables. Cependant, celles-ci illustrent bien le comportement général des mélanges.

Les données indiquent une baisse graduelle de la résistance à la compression de B0 à B4. B0 a montré la plus haute résistance en raison de la présence intégrale de sable (9.9 MPa). À l'augmentation de la quantité de liège (B1 à B3), on observe une diminution constante de la résistance (de 8.8 à 8.4 MPa). B4, sans aucun sable, a présenté la résistance la plus faible (6.8 MPa), en raison de la nature poreuse et fragile du liège.

Le liège améliore les propriétés d'isolation et allège la matière, mais ne peut pas remplacer totalement le rôle structural du sable, ce qui se traduit par une diminution de la résistance mécanique [3, 4]. Pour les mortiers de plâtre renforcé par des fibres plastiques, il a été noté que l'introduction de fibres de courte longueur occasionne une légère baisse de la résistance à la compression, alors que l'insertion de fibres longues a un impact plus significatif sur cette caractéristique mécanique [2].

III.2.5. Conductivité thermique :

Le test de conductivité thermique a été effectué après les essais de flexion sur la moitié de l'éprouvette $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, c'est-à-dire après qu'ils aient subi des charges mécaniques pouvant entraîner des fissures ou des dommages partiels. Cela peut influencer directement le comportement thermique des matériaux.

Tableau13 : Variation de conductivité thermique en fonction du pourcentage de déchet de liège

Les échantillon	Conductivité thermique (W/m.k)
B0	0,242
B1	0,141

Chapitre 3 : Résultats et discussion

B2	0,207
B3	0,190
B4	0,182

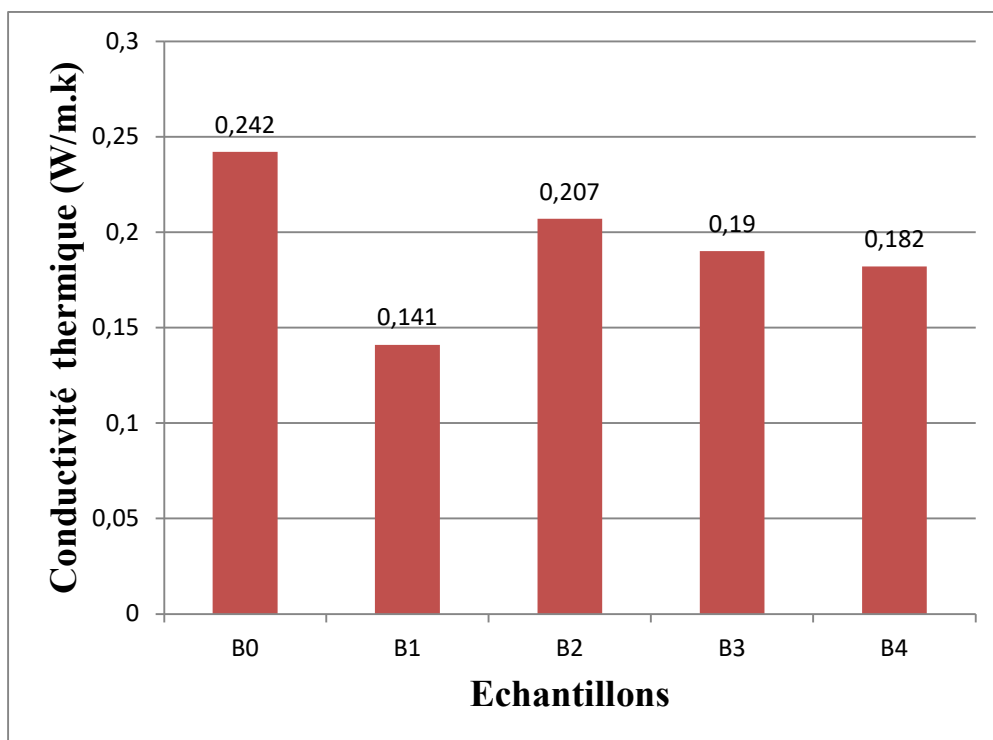


Figure 62 : Variation de conductivité thermique en fonction du pourcentage du déchet à 28jour

Les résultats montrent que la conductivité thermique des mortiers diminue nettement dès la substitution volumique de 25 % de sable par du liège naturel, passant de 0,242 W/m·K à 0,141 W/m·K, ce qui confirme l'effet isolant important du liège grâce à sa structure cellulaire riche en air. Cependant, au-delà de ce seuil, la conductivité thermique augmente légèrement avec des valeurs de 0,207, 0,190 et 0,182 W/m·K pour 50 %, 75 % et 100 % de liège respectivement, sans retrouver le niveau bas observé à 25 %. Ce comportement non linéaire peut s'expliquer par une modification de la compacité du mortier, une dispersion inégale du liège, ou des ponts

thermiques qui se forment à des taux élevés, limitant ainsi le gain isolant. Ces résultats suggèrent qu'un dosage de 25 % de liège constitue un compromis optimal pour réduire efficacement la conductivité thermique tout en préservant probablement les propriétés mécaniques et la stabilité du mortier. Il conviendra néanmoins de compléter cette étude par des tests de résistance et d'endurance afin de valider l'intégration du liège comme matériau isolant dans des applications en génie civil.

III.2.6. Indicateurs de durabilité :

III.2.6.1. Absorption capillaire :

Le test d'absorption capillaire a été utilisé afin de quantifier l'absorption d'eau par les mortiers composés de plâtre et de déchets de liège. Cette absorption, se produisant sans l'application de pression externe et uniquement par contact direct avec l'eau, a été mesurée après 28 jours. Les résultats obtenus sont exposés dans la figure 62.

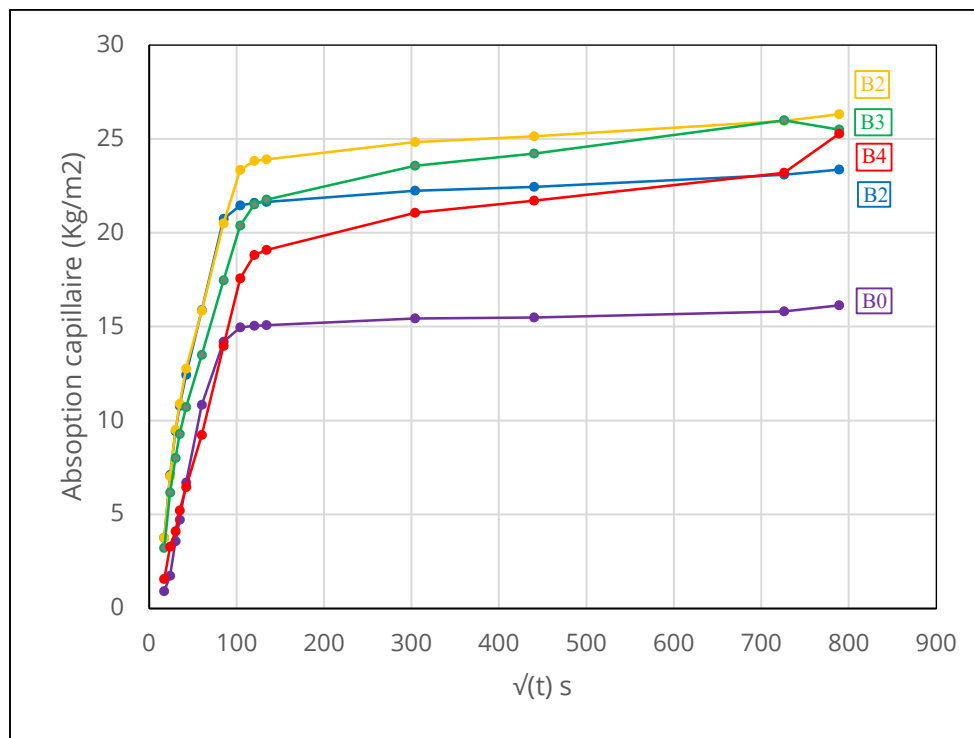


Figure 63 : Cénitique d'absorption capillaire au cours du temps en fonction du pourcentage du déchet de liège

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Les résultats de l'essai d'absorption capillaire indiquent que l'incorporation de liège dans les mélanges de plâtre et de sable entraîne une augmentation significative de la capacité d'absorption d'eau par rapport à un mélange de référence (B0). La formulation B1, qui renferme 25% de liège, démontre une augmentation significative de son pouvoir d'absorption, atteignant 23,36% après une période de 5 jours. En revanche, la formulation B2, composée de 50% de liège, présente la plus haute capacité d'absorption, avec un taux de 26,31% enregistré après 6 jours. Cette observation peut être expliquée par l'accroissement de la perméabilité du matériau, ce qui entraîne une augmentation de sa capillarité. Cependant, les compositions B3 (75% de liège) et B4 (100% de liège) présentent une capacité d'absorption légèrement moindre que celle de B2, avec des valeurs de 25,48% et 25,27% respectivement après 6 jours, ce qui suggère un phénomène de saturation à partir de 50% de liège. Ces résultats mettent en évidence que le remplacement du sable par du liège conduit à une amélioration de la capacité d'absorption d'eau. Cependant, il est observé qu'au-delà d'un taux de 50%, l'accroissement de la quantité de liège ne se traduit plus par des améliorations significatives en matière d'absorption capillaire. Cette étude souligne l'importance de trouver la proportion idéale de liège afin de maximiser l'absorption sonore tout en conservant des performances adéquates pour les applications pratiques.

Le mélange de contrôle B0 (sans liège) a affiché les plus faibles valeurs d'absorption à tous les temps mesurés, atteignant 15,80 g au bout de 5 jours. Cela signifie une structure dense avec une faible porosité qui empêche le mouvement capillaire de l'eau.

Globalement, l'absorption augmente rapidement durant la première heure, puis ralentit progressivement. On peut conclure qu'il existe un pourcentage optimal de liège (environ 50 %) qui améliore l'absorption sans compromettre la structure du matériau.

Le résultat obtenu correspond au travail réalisé par [1], ils ont trouvé que le taux d'absorption d'eau par capillarité augmente en fonction de l'augmentation de la teneur engrignon d'olive.

III.2.6.2. Absorption par immersion totale :

Nous avons effectué cet essai pour mesurer la quantité maximale d'eau que le matériau peut absorber lorsqu'il est placé complètement dans l'eau pendant 24 heures.

On a calculé avec cette formule

$$Ab (\%) = \left(\frac{B-A}{A} \right) * 100$$

Chapitre 3 : Résultats et discussion

A : masse de l'échantillon après étuvage à 40 °C, pesage dans l'air, (g)

B = masse de l'échantillon après immersion surfacesèche, pesage dans l'air, (g)

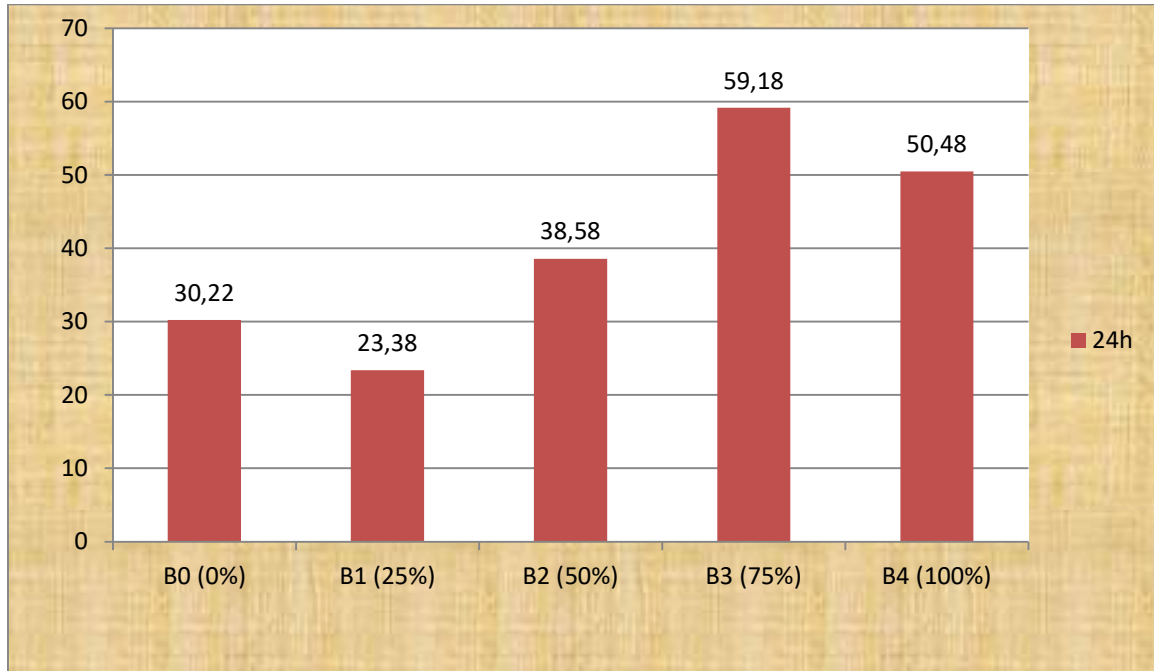


Figure 64 : Variation du coefficient l'absorption par immersion total (Ab) en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours

Cet essai vise à étudier l'effet de différentes proportions de liège sur la capacité des échantillons à absorber l'eau lorsqu'ils sont complètement immergés pendant 24 heures. Le phénomène d'absorption dépend de la porosité du matériau, et plus la porosité est grande, plus la quantité d'eau que le matériau peut retenir après immersion est importante.

Selon les données recueillies, on observe que le degré d'absorption de l'eau fluctue selon la proportion de liège incorporée au mélange. Le troisième échantillon, qui contenait 75% de liège, a affiché la masse la plus importante après immersion, ce qui témoigne de sa capacité d'absorption d'eau supérieure. Il est possible d'attribuer ce phénomène à la présence d'un fort pourcentage de liège qui a causé une hausse de la porosité, facilitant ainsi le passage d'une plus grande quantité d'eau à travers le matériau.

En revanche, l'échantillon B1 (25%) était le moins absorbant, ce qui peut être dû au fait que la quantité de liège dans ce rapport était insuffisante pour créer un réseau poreux efficace.

L'échantillon B4 (100%) a montré une absorption moindre que B3 (75%) malgré une teneur plus importante en liège. Cela indique que lorsqu'un certain pourcentage de liège est dépassé, cela peut entraîner une diminution de la cohésion mécanique du matériau ou la fermeture de certains pores, ce qui réduit l'absorption d'eau. Cela met en évidence que la relation entre la teneur en liège et l'absorption n'est pas linéaire, mais plutôt soumise à un équilibre entre l'augmentation de la porosité et le maintien de l'intégrité structurelle du matériau.

En général, les observations suggèrent qu'une proportion idéale de liège à 75% favorise l'absorption maximale, alors que des ratios moins ou plus importants peuvent altérer négativement la capacité d'absorption du matériau. Ces informations revêtent une grande importance dans les applications nécessitant des matériaux aux caractéristiques de porosité précises, tels que les matériaux isolants ou ceux employés dans le domaine de la construction écologique.

III.2.6.3. Porosité accessible à l'eau :

Les résultats de l'essai de la porosité accessible à l'eau sont illustrés dans la figure 64.

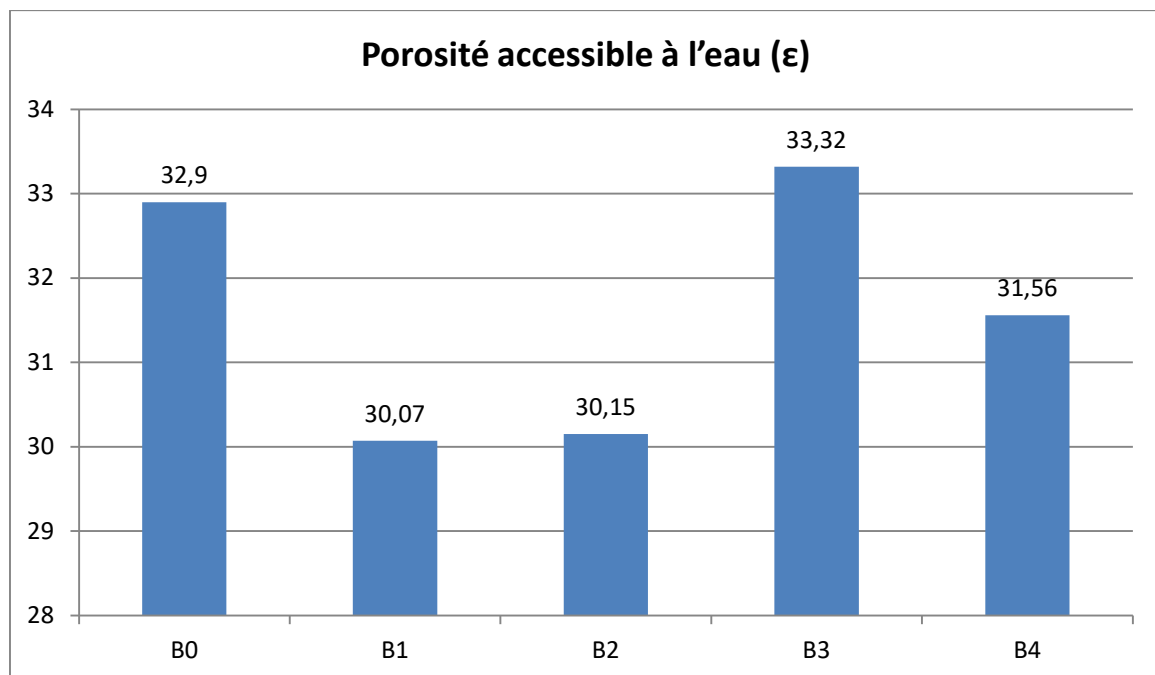


Figure 65 : Variation de l'essai de la porosité accessible à l'eau en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours.

Les variations intéressantes de la porosité accessible à l'eau des différentes compositions de mortier, en fonction du taux de liège incorporé, sont mises en évidence par les résultats obtenus.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

La composition B0, qui se compose uniquement de plâtre et de sable, montre une porosité de 32.9%, signalant ainsi une structure modérément poreuse. L'incorporation de 25% de liège dans la formulation B1 abaisse légèrement la porosité à 30.07%, indiquant que le liège, même en proportion minime, impacte la répartition des pores. La composition B2, contenant 50% de liège, présente une porosité comparable de 30.15%. Cela signifie que l'accroissement du liège n'influence pas significativement la porosité, mais pourrait optimiser d'autres caractéristiques comme l'isolation thermique. Par contre, la composition B3, qui contient 75% de liège, révèle une hausse notable de la porosité jusqu'à 33.32%, témoignant de l'influence du liège, un matériau intrinsèquement poreux, sur le mortier. Pour finir, la composition B4, qui substitue entièrement le sable par du liège, affiche une porosité de 31.56%, un peu moins que celle de B3. Cela suggère que l'accroissement du liège au-delà de 50% ne provoque pas une hausse linéaire de la porosité, mais plutôt une stabilisation. Ces constatations indiquent que l'incorporation de liège améliore la porosité accessible à l'eau, surtout lorsque les quantités de liège sont modérées, tout en proposant un équilibre satisfaisant entre isolation thermique et résistance mécanique. Toutefois, une fois que la proportion de liège dépasse les 50%, la porosité paraît se stabiliser, et un remplacement total du sable par du liège pourrait compromettre la solidité mécanique tout en renforçant l'isolation thermique.

III.2.7. Essai séchage-mouillage :

Afin d'évaluer l'endommagement des échantillons de différents mortiers étudiés ces derniers sont caractérisés par l'essai UPV et par l'essai de résistance à la compression.

III.2.7.1 Essai d'ultrason (UPV) :

Les résultats obtenus d'ultrason sur les échantillons subissant les cycles séchage-immersion sont montrés par la figure 65.

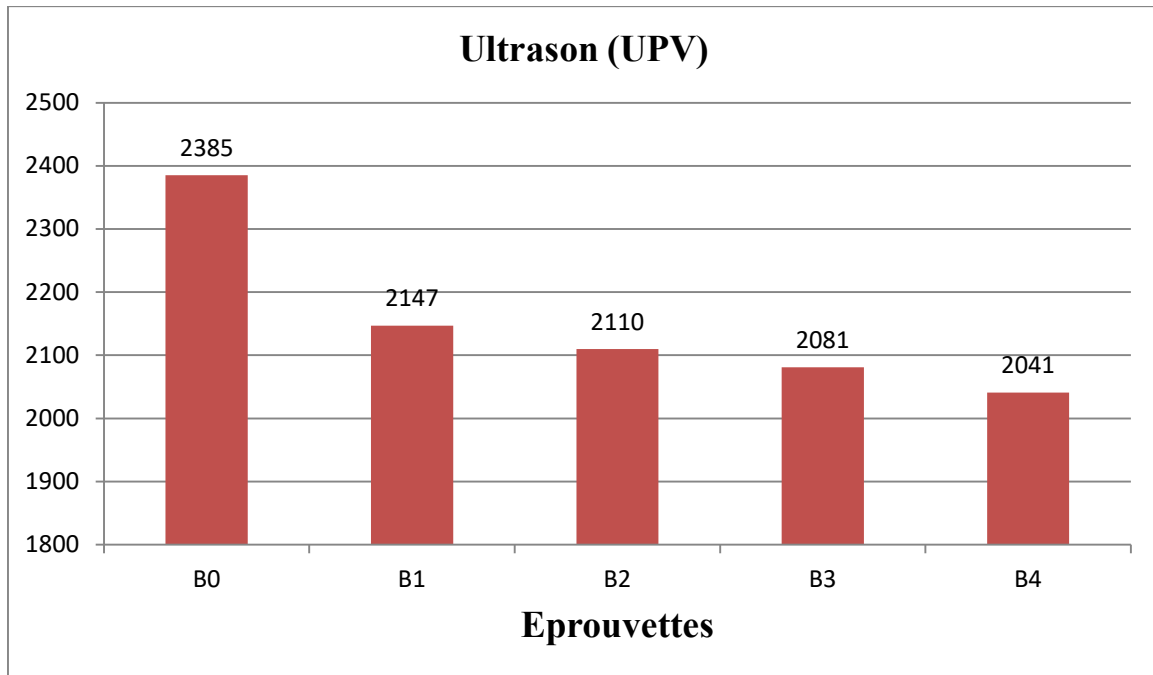


Figure 65: Variation d’ultrason l’essai étuve immersion en fonction du pourcentage du déchet à 28 jours

Les données recueillies concernant le test de vitesse de propagation des ondes ultrasonores (UPV) avant les phases d'immersion et de séchage révèlent des valeurs initiales supérieures à celles observées après ces phases, ce qui souligne l'effet défavorable de ces cycles sur la solidité des mortiers. Avant les cycles, les vitesses de diffusion des ondes ultrasonores étaient de 2044, 2054, 2195, 2428 et 2544 m/s pour les mélanges B0, B1, B2, B3 et B4 respectivement. Ces chiffres, plutôt hauts, témoignent d'une solide résistance mécanique initiale de tous les mortiers examinés. Suite aux phases d'immersion et de séchage, une baisse significative de la vitesse de propagation est constatée, principalement pour les mélanges comportant des volumes plus importants de liège. La formulation B0 (0% liège) voit sa vitesse passer de 2544 m/s à 2385 m/s, ce qui indique une dégradation légère. En revanche, les formulations qui incluent du liège, comme B1 (25% de liège) et B2 (50% de liège), affichent des baisses plus significatives, la première variant de 2054 m/s à 2147 m/s et la seconde de 2195 m/s à 2010 m/s. On note également une diminution des valeurs pour les formulations B3 (75% de liège) et B4 (100% de liège), qui passent respectivement de 2428 m/s à 2081 m/s et de 2044 m/s à 2041 m/s. Cela indique que l'accroissement du taux de liège diminue la résistance des mortiers face aux cycles d'humidité. Ces observations révèlent que malgré une résistance supérieure post-immersion et séchage pour les formulations contenant moins de liège (B0 et B1), l'accroissement du liège,

surtout au-delà de 50%, provoque une diminution plus significative de la résistance mécanique, influant sur la longévité des matériaux.

III.2.7.2. Essai de Résistance a la compression :

Les résultats de la résistance à la compression de l'essai séchage immersion obtenue sur mortier de plâtre à base de déchet de liège sont illustrées par la figure 66.

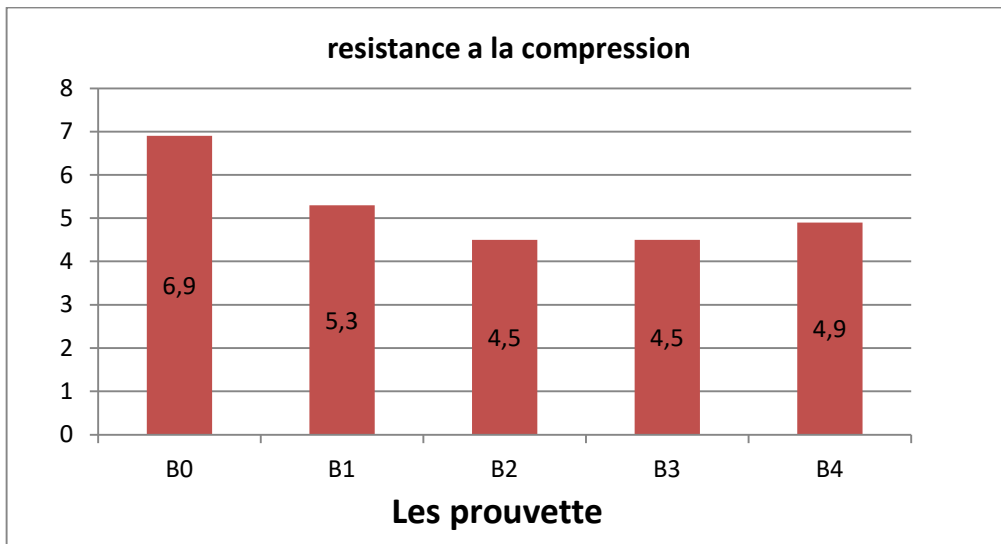


Figure 67: Variation de résistance a la compression de l'essai immersion séchage en fonction du pourcentage du déchet de liège à 28 jours

Les données recueillies quant à la résistance à la compression, avant et après les processus d'immersion complète dans l'eau et de séchage en étuve, mettent en évidence une influence notable de ces cycles sur la résistance mécanique des diverses compositions de mortier. Avant les cycles, les mesures de résistance à la compression étaient de 8.6, 5.2, 7.4, 8.2 et 7.1 MPa pour les compositions B0, B1, B2, B3 et B4. Elles montrent une résistance assez élevée, surtout pour celles qui ne contiennent pas ou peu de liège. Toutefois, suite aux processus d'immersion et de séchage, toutes les formulations présentent une diminution marquée de la résistance à la compression, atteignant respectivement 6.9, 5.3, 4.5, 4.5 et 4.9 MPa.

La composition B0 (0% liège), qui possède initialement une capacité de compression de 8.6 MPa, montre une diminution notable après les cycles, tombant à 6.9 MPa. Même si cette diminution est notable, elle est moins grande par rapport à certaines compositions qui

contiennent davantage de liège, ce qui indique que la composition à base de plâtre et de sable présente une meilleure résistance aux cycles d'humidité et de séchage.

La formulation B1 (25% liège) connaît aussi une diminution de sa résistance à la compression, passant de 5.2 MPa avant les cycles à 5.3 MPa après, un changement minuscule. Cela suggère que l'inclusion de 25% de liège n'a pas d'effet défavorable notable sur la solidité mécanique post-cycles, probablement du fait de la quantité négligeable de liège qui ne compromet pas considérablement la cohésion du matériau.

Pour les formules B2 (50% liège), B3 (75% liège) et B4 (100% liège), la résistance à la compression avant les cycles était de 7.4 MPa, 8.2 MPa et 7.1 MPa, respectivement. Suite aux cycles, on observe une diminution significative de la résistance dans ces formulations, culminant à 4.5 MPa pour B2 et B3, et 4.9 MPa pour B4. Ces diminutions significatives indiquent que l'accroissement de la quantité de liège dans le mortier conduit à une porosité accrue et à une sensibilité plus grande aux cycles d'humidité et de dessèchement, diminuant par conséquent la cohésion interne et la résistance structurelle. Bien que le liège contribue à une meilleure isolation thermique, il paraît diminuer la solidité mécanique du mortier, en particulier lorsqu'il y a plus de 50% de remplacement du sable.

III.2.8. Isolation phonique

Les résultants du taux d'indice d'affaiblissement acoustique en fonction des différents pourcentages de déchets de liège 1 cm et 2 cm d'épaisseur sont exposés par les figures 67, 68, 69 et 70.

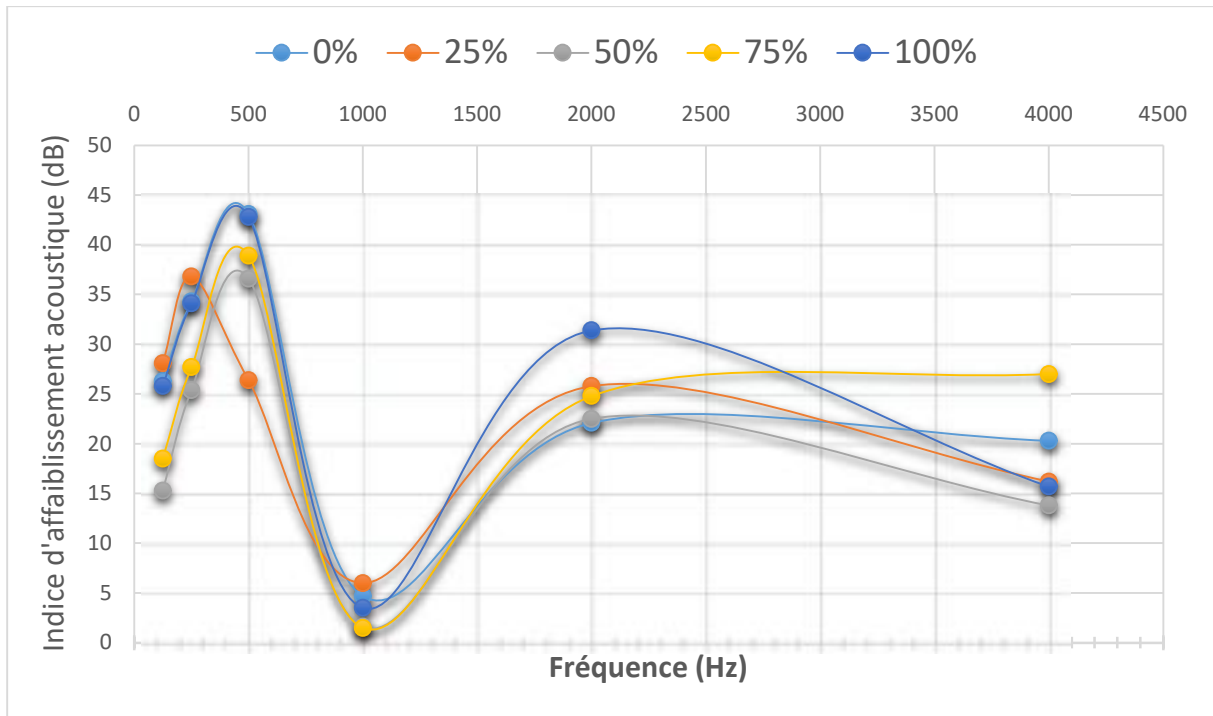


Figure 68 : Variation de Isolationphonique en fonction du pourcentage du déchet 1 cm d'épaisseur

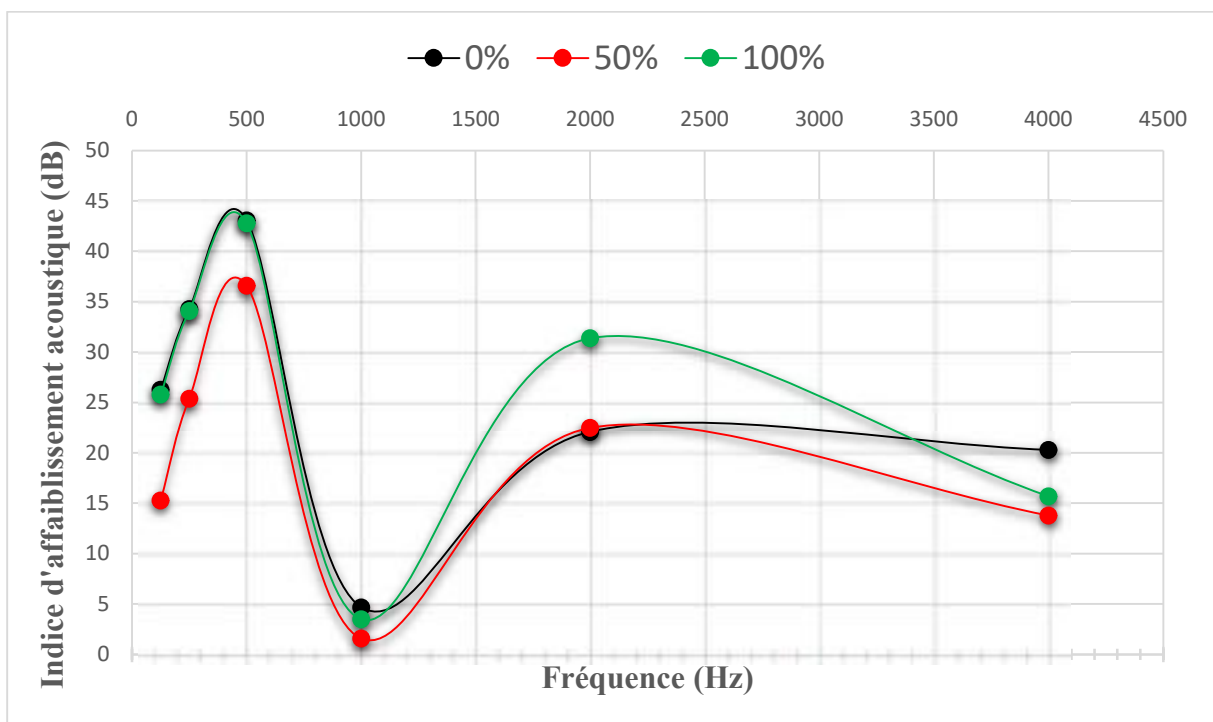


Figure 69 : Variation de Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 1 cm d'épaisseur

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Les données de l'indice d'atténuation acoustique indiquent que l'incorporation de liège dans les mélanges de mortier augmente progressivement la capacité d'absorption sonore, en particulier pour les fréquences hautes (Figures 67 et 68). La formulation B (0% liège) montre une bonne performance dans les basses fréquences (500 Hz à 2000 Hz), cependant, son efficacité se réduit au-delà de 2000 Hz. L'intégration de 25% de liège (B1) entraîne une légère amélioration de l'absorption des basses fréquences, mais l'efficacité demeure faible à haute fréquence. Avec un mélange contenant 50% de liège (B2), l'indice d'affaiblissement acoustique démontre une progression significative pour les fréquences intermédiaires à hautes, signifiant que l'incorporation du liège favorise l'atténuation sonore sur une gamme de fréquences plus étendue. La composition B4 (75% liège) se caractérise par une performance supérieure dans la plage de hautes fréquences (2000 Hz à 4000 Hz), alors que la composition B5 (100% liège) assure une absorption remarquable pour les fréquences plus élevées, bien qu'elle soit moins performante pour les basses fréquences. Il est clair que le liège, bien qu'excellent pour les hautes fréquences, n'est pas aussi performant pour les basses fréquences. Cela peut nécessiter une modification pour des usages acoustiques particuliers, notamment en ce qui concerne l'isolation phonique dans les lieux requérant une absorption des basses fréquences.

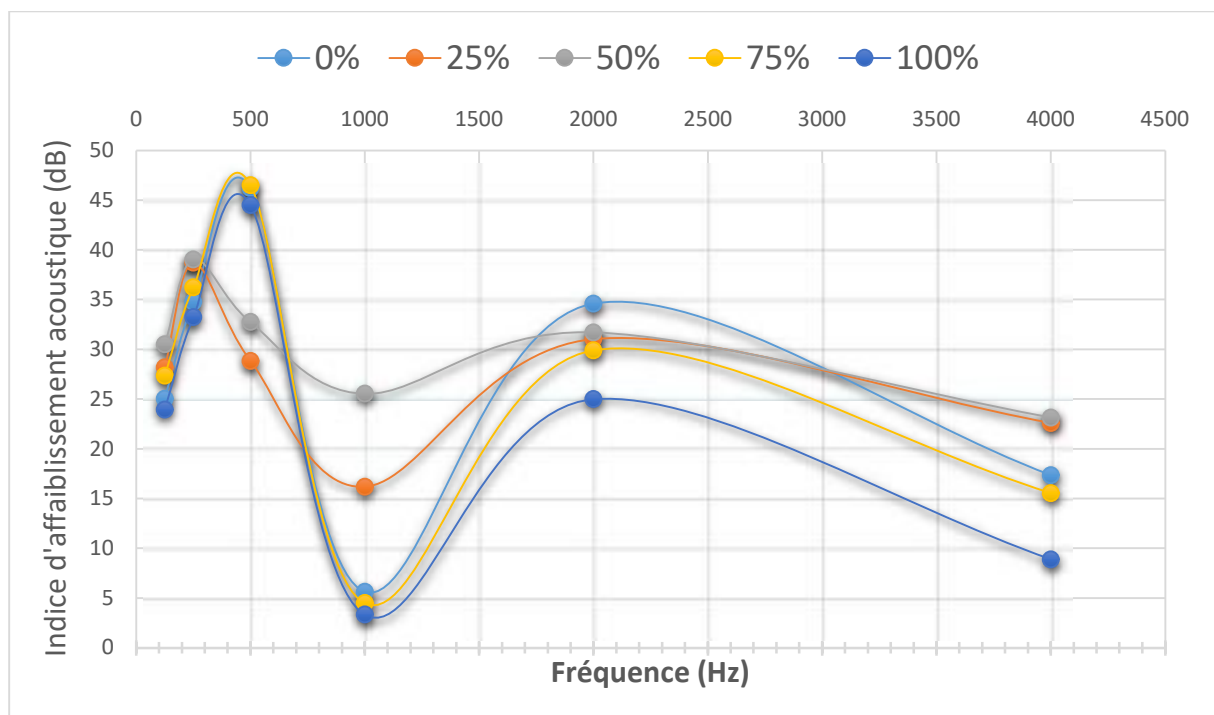


Figure 70 : Variation de Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 2 cm d'épaisseur

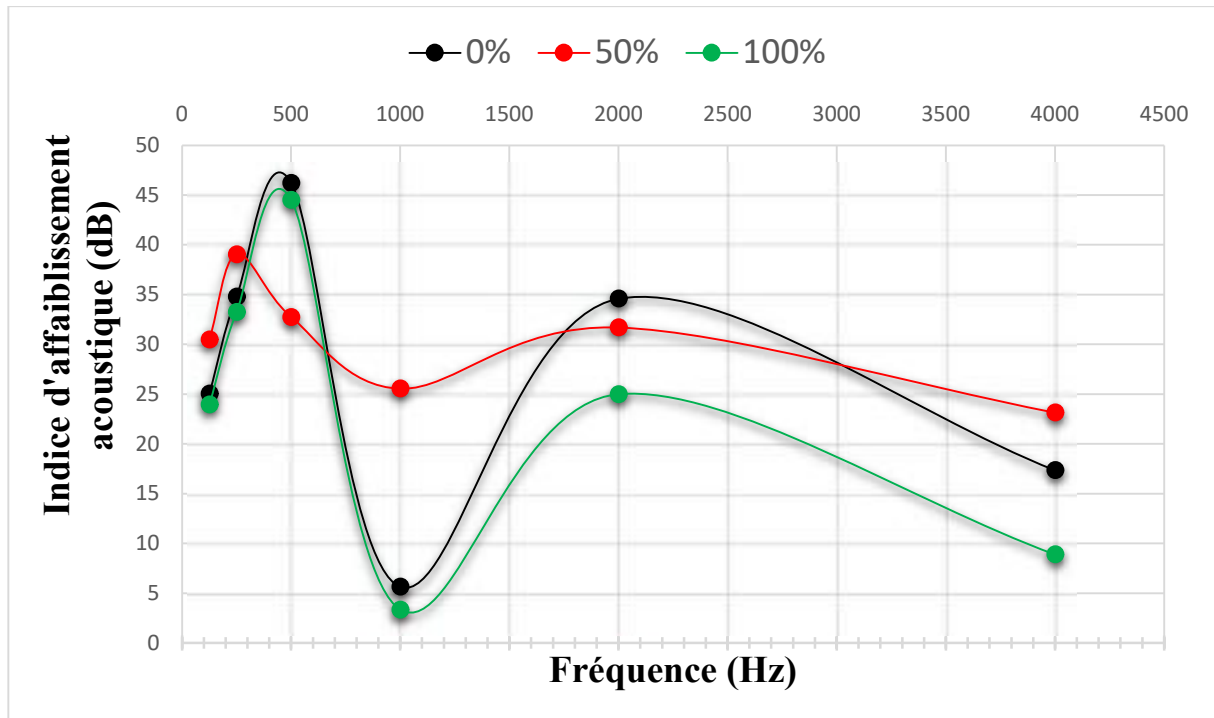


Figure 71 : Variation de Isolation phonique en fonction du pourcentage du déchet 2 cm d'épaisseur

L'examen des données relatives à l'indice d'atténuation acoustique des mélanges de mortiers contenant du liège indique que l'intégration du liège favorise la captation des ondes sonores, en particulier pour les fréquences hautes (Figures 69 et 70). La formulation B (0% liège) montre une performance solide pour les fréquences basses (500 Hz à 2000 Hz), cependant, son efficacité baisse au-delà de 2000 Hz. L'incorporation de 25% de liège (B1) optimise légèrement l'absorption dans les fréquences basses et intermédiaires, mais demeure moins performant pour les fréquences supérieures. L'absorption devient plus prononcée dans la gamme des hautes fréquences (2000 Hz à 4000 Hz) avec une composition de 50% de liège (B2), démontrant une aptitude supérieure à réduire les sons dans cette plage de fréquences. La composition B4 (75% liège) démontre une nette amélioration pour l'absorption des fréquences hautes, tout en gardant une efficacité appréciable dans les basses fréquences. En définitive, la composition B5 (totalement en liège) assure une absorption optimale des fréquences hautes, mais présente des performances inférieures pour les fréquences basses. En comparaison avec les résultats des échantillons de 1 cm, ceux de 2 cm indiquent une amélioration globale du coefficient d'atténuation acoustique, notamment pour les hautes fréquences. L'accroissement de l'épaisseur favorise une absorption plus efficace des ondes sonores, procurant un plus grand volume de matière pour leur réduction, en particulier dans le cas des fréquences élevées. Cela met en

évidence l'importance de la densité du matériau dans les applications acoustiques, spécialement pour renforcer l'absorption des sons à haute fréquence tout en conservant une performance satisfaisante dans les basses fréquences.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réalisé diverses expérimentations sur un mortier à base de plâtre végétalien en utilisant des proportions variées de résidu de liège, allant de 0% à 100%, par paliers de 25%. On peut déduire les conclusions suivantes à partir des résultats obtenus : L'incorporation de liège dans le mélange de plâtre conduit à une réduction graduelle de la densité, ce qui permet de produire un matériau plus léger, présentant peu de fluctuations après le processus de durcissement. Cependant, il est indispensable d'examiner l'effet de ce changement sur les performances mécaniques.

L'accroissement de la proportion de liège dans la composition du plâtre diminue la rapidité des ultrasons en raison des espaces vides internes et d'une cohésion amoindrie. Les résultats indiquent une petite progression au fil du temps, moins notable dans les combinaisons riches en liège.

Quelques valeurs atypiques sont attribuées à un mauvais traitement (trop d'humidité). L'incorporation de liège diminue la résistance initiale à la flexion, cependant elle favorise une meilleure stabilité au fil du temps. Un pourcentage de 75 % représente un juste milieu entre performance et durabilité. Le mélange B4 demeure le moins fort. Les résultats sont en accord avec les publications scientifiques.

Les résultats du test de compression indiquent une réduction graduelle de la résistance de B0 à B4. L'échantillon B0 montre la résistance maximale due à l'inclusion de sable, alors que le mélange B4, qui ne contient pas de sable, affiche la résistance minimale en raison de la nature poreuse du liège. Le liège renforce l'isolation et réduit le poids du matériau, cependant il ne peut pas substituer la fonction structurelle du sable.

Substituer 25 % du sable par du liège diminue considérablement la conductivité thermique du mortier, fournissant l'équilibre optimal entre isolation et caractéristiques mécaniques. Cependant, des proportions plus élevées réduisent l'efficacité en raison de changements dans la structure.

Le liège favorise une augmentation de l'absorption capillaire jusqu'à 50%, ce qui est considéré comme un seuil optimal. Au-delà, l'impact baisse légèrement en raison de la saturation. Après deux cycles de séchage et de mouillage, les échantillons de mortiers de plâtre qui contiennent des résidus d'olive ont montré une diminution spécifique de masse pour le mortier

Chapitre 3 : Résultats et discussion

B4. Cependant, on note une perte importante de résistance mécanique par rapport au mortier de référence B0.

Le liège optimise l'absorption sonore, principalement pour les fréquences élevées, et cet effet est accentué par l'accroissement de l'épaisseur.



Conclusion générale

Conclusion générale :

Cette recherche a pour objectif d'analyser en profondeur les caractéristiques mécaniques, physiques, thermiques et acoustiques d'un nouveau composite de mortier à base de plâtre, grâce à l'intégration progressive de résidus naturels de liège. Les performances globales du matériau sont significativement influencées par le taux de liège, comme le montrent les résultats obtenus.

L'accroissement progressif du contenu en liège dans la composition a entraîné une réduction significative des résistances mécaniques, notamment lors de la compression et de la flexion, mettant ainsi en évidence un équilibre indispensable entre légèreté et solidité. Simultanément, l'incorporation du liège a entraîné une diminution significative de la densité des mortiers, bénéfique pour la création de structures légères et pour la diminution des charges permanentes, un élément crucial dans le domaine du génie civil.

Sur le plan hygrothermique, l'intégration du liège a renforcé la capacité d'absorption d'eau, que ce soit par capillarité ou par immersion, en raison de sa structure alvéolaire qui augmente la porosité des composites. Cette propriété a un impact direct sur la longévité et l'efficacité à long terme des mortiers, et devra être considérée lors de leur utilisation.

De plus, la formule identifiée comme B3, qui comprend 75 % de remplacement volumétrique par du liège, a démontré un équilibre idéal entre des performances mécaniques adéquates et une durabilité dans le temps. Ce choix place ce matériau composite en tant qu'option prometteuse pour des usages non structurants, surtout dans les domaines des finitions, de l'isolation ou des parois légères.

En revanche, le mortier de référence B0, qui n'inclut pas de liège, a montré au départ les meilleures performances mécaniques. Toutefois, une détérioration graduelle de ses propriétés a été notée au cours du temps, restreignant son utilisation dans des conditions rigoureuses où la longévité est essentielle.

Finalement, la diminution de la densité causée par le liège a conduit à un notable perfectionnement des performances thermiques et acoustiques des mortiers composites. Cette avancée offre à ces matériaux un attrait écologique et économique significatif, en contribuant à une isolation optimisée des édifices tout en contribuant à la minimisation de leur empreinte environnementale. Toutefois, il est important de noter que malgré ses atouts, le liège ne peut

Conclusion générale

pas complètement remplacer le rôle structurel du sable. Cela nécessite de concevoir ces mortiers dans une perspective d'utilisation spécifique et adaptée.

Pour faire simple, cette étude offre des perspectives prometteuses pour l'élaboration de matériaux de construction écologiques, légers et efficaces, tout en mettant en évidence les défis associés à la durabilité et les concessions techniques inhérentes à l'utilisation de matériaux biosourcés. Elle encourage donc à continuer les recherches sur l'amélioration des formulations et sur les éventuels traitements pour renforcer la résistance à l'eau et la longévité des composites fabriqués à partir de liège naturel.

Bibliographie

Les référence de chapitre 1:

1. United Nations Environnement Programme 2009
2. Nykjær et al. 2017
3. Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer, Ministère du logement et de l'habitat durable,, 2016. Construire ensemble la réglementation énergétique et environnementale du bâtiment Dossier de presse, <https://www.batiment-energiecarbone.fr>
4. EUROPEAN COMMISSION, 2015. Communication from the commission to the european pa rliament, the council,the european economic and social committee and the committee of the regions. Closing the loop—An EU action plan for the Circular Economy. Brussel COM(2015) 624 Final.
5. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
6. ASIV (2016). Les isolants biosourcés en forte croissance : +40 % en 4 ans. Batiactu. Disponible sur : <https://www.batiactu.com/edito/isolants-biosources-ont-portee-environnementale-et-45075.php>
7. Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F., & Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988–1011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.045>
8. Corrado, V., Ballarini, I., & Corrado, A. (2016). Multi-criteria analysis for sustainable building renovation strategies: A case study. *Energy and Buildings*, 130, 77–87.
9. Morel, J.-C., Mesbah, A., Oggero, M. et Walker, P. (2001). Construire des maisons avec des matériaux locaux : un moyen de réduire drastiquement l'impact environnemental de la construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119–1126.
10. Morel, J.C. et al., 2001. Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), pp.1119–1126.

11. Ajayi, A.M. ; Coker, A.I. ; Oyebanjo, O.T. ; Adebanjo, I.M. ; Ademowo, O.G. L'extrait d'écorce d'ananas comosus (L) Merrill (ananas) démontre des activités antipaludiques, antinociceptives et anti-inflammatoires dans des modèles expérimentaux. *J. Ethnopharmacol.* 2022, 282, 114576. [CrossRef] .
12. -Chawalitsakunchai, W. ; Dittanet, P. ; Loykulant, S. ; Sae-oui, P. ; Tanpichai, S. ; Seubsai, A. ; Prapainainar, P. Propriétés du caoutchouc naturel renforcé par de la nanocellulose issue de déchets agricoles de feuilles d'ananas. *Mater. Today Commun.* 2021, 28, 102594. [CrossRef].
13. -de Azevedo, A.R. ; Amin, M. ; Hadzima-Nyarko, M. ; Agwa, I.S. ; Zeyad, A.M. ; Tayeh, B.A. ; Adesina, A. Possibilités d'application des déchets agro-industriels dans les matériaux cimentaires : bref aperçu de la perspective brésilienne. *Clean. Mater.* 2022, 3, 100040. [CrossRef].
14. -Silva, G. ; Kim, S. ; Aguilar, R. ; Nakamatsu, J. Fibres naturelles comme additifs de renforcement pour géopolymères : aperçu des applications écologiques potentielles dans le secteur de la construction. *Sustain. Mater. Technol.* 2020, 23, e00132. [CrossRef].
15. -Bui, H. ; Sebaibi, N. ; Boutouil, M. ; Levacher, D. Détermination et analyse des propriétés physiques et mécaniques des fibres de coco brutes et traitées pour leur recyclage dans les matériaux de construction. *Fibres* 2020, 8, 37. [CrossRef].
16. -de Araujo Alves Lima, R. ; Kawasaki Cavalcanti, D. ; de Souza e Silva Neto, J. ; Meneses da Costa, H. ; Banea, M.D. Effet des traitements de surface sur les propriétés interfaciales des composites hybrides intralaminaires naturels. *Polym. Compos.* 2020, 41, 314–325. [CrossRef].
17. -Karolina, R. ; Tandika, W. ; Hasibuan, A. ; Putra, M.A. ; Fahreza, D. Déchets de fibres de feuilles d'ananas (PALF) comme fibre alternative dans la fabrication du béton. *J. Phys. Conf. Series.* 2022, 2193, 012061. [CrossRef].
18. Che Osmi, S.K. ; Zamuddin, M.A. ; Misnon, N.A. ; Sojipto, S. ; Husen, H. Effet des fibres de feuilles d'ananas comme matériau additionnel dans les mélanges de béton. Dans les actes de la 5e Conférence internationale sur les structures et matériaux de construction durables en génie civil ; SCESCM 2020. Notes de cours en génie civil ; Springer : Singapour, 2022 ; Volume 215.
19. Chin, S.C. ; Tang, M.L. ; Bakar, N. ; Che, J.L. ; Doh, S.I. Effets des fibres de feuilles d'ananas comme renfort dans le béton léger à base de coques de palmier à huile. Dans les

Références Bibliographie

- actes du 2e Congrès sur la sécurité énergétique et le génie chimique ; Springer : Berlin/Heidelberg, Allemagne, 2023
20. Komal, Royaume-Uni ; Lila, M.K. ; Singh, I. Traitement des composites de nouvelle génération à base de fibres PLA/ananas. *Mater. Manuf. Process.* 2021, 36, 1677–1692. [CrossRef]
 21. Ogunyewo, O.A. ; Upadhyay, P. ; Rajacharya, G.H. ; Okereke, O.E. ; Faas, L. ; Gómez, L.D. ; McQueen-Mason, S.J. ; Yazdani, S.S. Les enzymes accessoires de *Penicillium funiculosum* hypercellulolytique facilitent la saccharification complète de la bagasse de canne à sucre. *Biotechnol. Biofuels* 2021, 14, 171. [CrossRef]
 22. Arpia, A.A. ; Chen, W.H. ; Ubando, A.T. ; Tabatabaei, M. ; Lam, S.S. ; Culaba, A.B. ; De Luna, M.D.G. Torréfaction catalytique assistée par micro-ondes de bagasse de canne à sucre avec de l'oxyde de calcium optimisée par l'approche Taguchi : caractérisation du produit et analyse énergétique. *Fuel* 2021, 305, 121543. [CrossRef]
 23. Dharek, M.S. ; Sreekeshava, K.S. ; Vengala, J. ; Pramod, K. ; Sunagar, P. ; Shivaprakash, M.V. Études expérimentales sur l'utilisation de cendres de bagasse dans les briques d'adobe. Dans *Sustainability Trends and Challenges in Civil Engineering* ; Springer : Berlin/Heidelberg, Allemagne, 2022 ; pp. 487–496.
 24. Lyra, G.P. ; Borrachero, M.V. ; Soriano, L. ; Paya, J. ; Rossignolo, J.A. Comparaison des cendres de bagasse de canne à sucre pures, originales et lavées, comme matériaux de cimentation supplémentaires. *Constr. Build. Mater.* 2021, 272, 122001. [CrossRef]
 25. Berenguer, R. ; Lima, N. ; Valdés, A.C. ; Medeiros, M.H.F. ; Lima, N.B.D. ; Delgado, J.M.P.Q. ; Silva, F.A.N. ; Azevedo, A.C. ; Guimarães, A.S. ; Rangel, B. Durabilité des structures en béton avec des cendres de bagasse de canne à sucre. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2020, 6907834. [CrossRef]
 26. Zaheer, M.M. ; Tabish, M. Durabilité du béton composé de cendres de bagasse de canne à sucre (SCBA) en remplacement partiel du ciment : une revue. *Arab. J. Sci. Eng.* 2023, 48, 4195–4225. [CrossRef]
 27. Ahmad, W. ; Ahmad, A. ; Ostrowski, K.A. ; Aslam, F. ; Joyklad, P. ; Zajdel, P. Approche durable de l'utilisation de cendres de bagasse de canne à sucre dans les composites à base de ciment : une revue systématique. Étude de cas. *Constr. Mater.* 2021, 15, e00698. [CrossRef]
 28. Arif, E. ; Clark, M.W. ; Lake, N. Cendres de bagasse de canne à sucre provenant d'une chaudière de cogénération à haut rendement : applications à la production de ciment et de mortier. *Constr. Build. Mater.* 2016, 128, 287–297. [CrossRef]

Références Bibliographie

29. Rambabu, P. ; Rao, G.R. Étude de la cendre de bagasse de canne à sucre comme substitut partiel du ciment dans le béton de grade M60 exposé à un environnement acide. SSRG Int. J. Civil Eng. 2017, 4, 1–9.
30. Joshaghani, A. ; Moeini, M.A. Évaluation des effets des cendres de bagasse de canne à sucre (SCBA) et de la nanosilice sur les propriétés mécaniques et de durabilité du mortier. Constr. Build. Mater. 2017, 152, 818–831. [CrossRef]
31. Tayeh, B.A. ; Hakamy, A.A. ; Fattouh, M.S. ; Mostafa, S.A. Effet de l'utilisation de déchets issus de la nanoagriculture sur la microstructure et les performances électrochimiques du béton autoplaçant renforcé de fibres à ultra-hautes performances dans des conditions normales et accélérées. Étude de cas. Constr. Mater. 2023, 18, e01721. [CrossRef]
32. Srinivasan, R. ; Sathiya, K. Étude expérimentale des cendres de bagasse dans le béton. Int. J. Serv. Learn. Eng. Humanit. Eng. Soc. Entrep. 2010, 5, 60–66. [CrossRef]
33. Priya, K.L. ; Ragupathy, R. Effet des cendres de bagasse de canne à sucre sur les propriétés de résistance du béton. Int. J. Res. Eng. Technol. 2016, 5, 159–164.
34. Dhengare, S.W. ; Raut, S.P. ; Bandwal, N.V. ; Khangan, A. Étude de l'utilisation des cendres de bagasse de canne à sucre comme ajout cimentaire dans le béton. Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol. 2015, 3, 109–116.
35. Kiran, K. ; Kishore, I.S. Étude expérimentale sur le remplacement partiel du ciment par des cendres de bagasse dans le mélange de béton. Int. J. Civ. Eng. Technol. 2017, 8, 452–455.
36. Ranjith, A. ; Sanjith, J. ; Kiran, B. M. Étude expérimentale sur les performances du béton à base de cendres de bagasse de canne à sucre en milieu acide. Int. J. Earth. Sci. Eng. 2015, 8, 471–476.
37. Rao, M. ; Prabath, N. V. N. Béton vert utilisant des déchets agro-industriels (cendres de bagasse de canne à sucre). Int. J. Soft Comput. Eng. 2015, 5, 86–92.
38. Ganesan, K. ; Rajagopal, K. ; Thangavel, K. Évaluation des cendres de bagasse comme matériau cimentaire supplémentaire. Cem. Concr. Compos. 2007, 29, 515–524. [CrossRef]
39. Mamatha, P. ; Narayana DS, M. V. ; Naresh Kumar, T. Évaluer les propriétés mécaniques et de durabilité des cendres de bagasse de canne à sucre nanométriques dans le béton de ciment. Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol. 2017, 3, 425–430.
40. Inbasekar DS, M. ; Hariprasath, P. ; Senthilkumar, D. Revue internationale des sciences de l'ingénieur et Étude technologique de recherche sur l'utilisation potentielle des cendres

Références Bibliographie

- de bagasse de canne à sucre dans le béton renforcé de fibres d'acier. *Int. J. Eng. Sci. Res. Technol.* 2016, 5, 43–50.
41. Kumari, A. ; Kumar, P.S. Étude expérimentale du remplacement partiel du ciment par des cendres de bagasse de canne à sucre. *Int. J. Innov. Sci. Eng. Technol.* 2015, 4, 2347–6710.
42. Behera, G.C. ; Behera, R.K. Effet des granulats de coques de noix de coco sur le béton à résistance normale. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2013, 2, 2405–2415.
43. Hwang, C.L. ; Tran, V.A. ; Hong, J.W. ; Hsieh, Y.C. Effets des fibres de noix de coco courtes sur les propriétés mécaniques, le comportement à la fissuration plastique et Résistance aux chocs des composites cimentaires. *Constr. Build. Mater.* 2016, 127, 984–992. [CrossRef]
44. de Azevedo, A.R. ; Marvila, M.T. ; Tayeh, B.A. ; Cecchin, D. ; Pereira, A.C. ; Monteiro, S.N. Performances technologiques des mortiers à base de ciment renforcés de fibres naturelles d'açaï. *J. Build. Eng.* 2021, 33, 101675. [CrossRef]
45. Sekar, A. ; Kandasamy, G. Optimisation de la fibre de coco dans le béton de coques de noix de coco et de ses propriétés mécaniques et d'adhérence. *Matériaux* 2018, 11, 1726. [CrossRef] [PubMed]
46. Ranatunga, K.S. ; del Rey Castillo, E. ; Toma, C.L. Évaluation de la formulation optimale du béton avec des cendres de coques de noix de coco comme substitut partiel du ciment. *Constr. Build. Mater.* 2023, 401, 132978. [CrossRef]
47. Hasan, N.M. ; Sobuz, M.H. ; Shaurdho, N.M. ; Basit, M.A. ; Paul, S.C. ; Meraz, M.M. ; Saha, A. ; Miah, M.J. Étude des caractéristiques du béton léger et écologique utilisant des granulats de coques de noix de coco comme substitut aux granulats conventionnels. *Int. J. Civ. Eng.* 2023, 22, 37–53. [CrossRef]
48. Bhoj, S. ; Manoj, A. ; Bhaskar, S. Potentiel d'utilisation et avantages des coques de noix de coco traitées dans le béton comme granulats grossiers. *Mater. Today Proc.* 2023. [CrossRef]
49. Sagar, T.S. ; Paluri, Y. ; Krishna, Y.M. ; Ravi, B. ; Ravi, Y. ; Utilisation des cendres volantes et des coques de noix de coco comme alternatives durables dans le béton de grade M30 : étude de faisabilité. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2023, 1280, 012020. [CrossRef].
50. Odeyemi, S.O. ; Durosinlorun, A.O. ; Wilson, U.N. Détermination des propriétés physiques et mécaniques du béton de coques de noix de coco renforcé de fibres. *Civ. Eng. Infrastruct. J.* 2023. [Google Scholar] [CrossRef]

Références Bibliographie

51. de Avila, L.A. ; Noldin, J.A. ; Mariot, C.H. ; Massoni, P.F. ; Fipke, M.V. ; Gehrke, V.R. ; Merotto, A. ; Tomita, F.M. ; Matos, A.B. ; Facioni, G. ; et al. État de l'infestation par le riz adventice (*Oryza* spp.) et pratiques de gestion dans le sud du Brésil. *Weed Sci.* 2021, 69, 536–546. [CrossRef]
52. Siddika, A. ; Al Mamun, M.A. ; Alyousef, R. ; Mohammadhosseini, H. État des lieux de la cendre de balle de riz : un matériau cimentaire supplémentaire dans le béton. *J. King Saud Univ.-Eng. Sci.* 2021, 33, 294–307. [CrossRef]
53. Rithuparna, R. ; Jittin, V. ; Bahurudeen, A. Influence de différentes méthodes de traitement sur le potentiel de recyclage des cendres de déchets agricoles pour la production durable de ciment : une revue. *J. Clean. Prod.* 2021, 316, 128242. [CrossRef]
54. Silva, L.A. ; dos Santos, I.F.S. ; de Oliveira Machado, G. ; Tiago Filho, G.L. ; Barros, R.M. Production d'énergie à partir de balles de riz au Brésil : une analyse économique et énergétique approfondie. *J. Clean. Prod.* 2021, 290, 125188. [Google Scholar] [CrossRef]
55. Mboya, H.A. ; King'ondou, C.K. ; Njau, K.N. ; Mrema, A.L. Mesure de l'indice d'activité pouzzolanique des scories, de la pierre ponce et des cendres de balle de riz comme matériaux cimentaires supplémentaires potentiels pour le ciment Portland. *Adv. Civ. Eng.* 2017, 6952645. [CrossRef]
56. Hadipramana, J. ; Samad, A.A.A. ; Ahmad Mujahid, A.Z. ; Mohamad, N. ; Riza, F.V. Contribution des granulés de RHA comme charge à l'amélioration de la résistance aux chocs du béton cellulaire. *Key Eng. Mater.* 2014, 594, 93–97. [CrossRef]
57. Makul, N. ; Sua-iam, G. Caractéristiques et utilisation des résidus de filtration de canne à sucre dans la production de béton cellulaire léger. *J. Clean. Prod.* 2016, 126, 118–133. [CrossRef]
58. Jayanthi, V. ; Avudaiappan, S. ; Amran, M. ; Arunachalam, K.P. ; Qader, D.N. ; Delgado, M.C. ; Flores, E.I.S. ; Rashid, R.S. Utilisation innovante de la silice-GGBS de biomasse micronisée comme sous-produit agro-industriel pour la production d'un béton géopolymère durable à haute résistance. Étude de cas. *Constr. Mater.* 2022, 18, e01782. [CrossRef]
59. Alyami, M. ; Hakeem, I.Y. ; Amin, M. ; Zeyad, A.M. ; Tayeh, B.A. ; Agwa, I.S. Effet des cendres de déchets agricoles d'olive, de balle de riz et de feuilles de canne à sucre sur le béton ultra-haute performance durable. *J. Build. Eng.* 2023, 72, 106689. [CrossRef]
60. Noaman, A.T. ; Abed, M.S. ; Al-Gebory, L. ; Al-Zubaidi, A.B. ; Al-Tabbakh, A.A. Production de composites de ciment à base de déchets agricoles : influence des coquilles

- de noix sur les propriétés mécaniques et durcies. *Constr. Build. Mater.* 2023, 394, 132137. [CrossRef]
61. Baran, Y. ; Gökçe, H.S. ; Durmaz, M. Propriétés physiques et mécaniques du ciment contenant des déchets de cendres de coques de noisettes régionales. *J. Clean. Prod.* 2020, 259, 120965. [CrossRef]
62. EN 197-1 ; Ciment — Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité pour les ciments courants. Comité européen de normalisation : Londres, Royaume-Uni, 2011.
63. Jannat, N. ; Al-Mufti, R.L. ; Hussien, A. ; Abdullah, B. ; Cotgrave, A. Utilisation des déchets de coques de noix dans la brique, le mortier et le béton : une revue. *Constr. Build. Mater.* 2021, 293, 123546. [CrossRef]
64. Türkmen, İ. ; Ekinçi, E. ; Kantarcı, F. ; Sarıcı, T. Propriétés mécaniques et physiques des briques de terre crue stabilisées au gypse et au laitier de ferrochrome d'Elazığ. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2017, 6, 565–573. [Google Scholar] [CrossRef]
65. Soni, A. ; Kumar, D.P. ; Yusuf, M. ; Ridha, S. Études expérimentales sur la maniabilité de composites durables issus du recyclage de déchets plastiques et agricoles. *Zaštita Mater.* 2022, 63, 493–501. [CrossRef]
66. Soni, A. ; Chakraborty, S. ; Das, P. K. ; Saha, A. K. Sélection de matériaux composites renforcés durables par le recyclage des déchets plastiques et des déchets agricoles : une approche décisionnelle multicritère intégrée. *Constr. Build. Mater.* 2022, 348, 128608. [CrossRef]
67. He, J. ; Kawasaki, S. ; Achal, V. Utilisation des déchets agricoles comme agrociment dans le béton : une revue. *Sustainability* 2020, 12, 6971. [CrossRef]
68. Abdulrahman, U. ; Ali, U. A. Caractérisation des cendres de coques d'arachide comme remplacement partiel du ciment pour une construction moins coûteuse dans le nord-ouest du Nigéria. *CaJoST* 2023, 5, 212–217. [CrossRef]
69. Soni, A. ; Das, P.K. ; Yusuf, M. ; Ridha, S. ; Kamyab, H. ; Chelliapan, S. ; Kirpichnikova, I. ; Mussa, Z.H. Valorisation des plastiques et des déchets agricoles post-consommation dans des composites polymères durables pour applications tribologiques. *Waste Biomass Valorization* 2023, 1–17. [CrossRef]
70. Binici, H. ; Aksogan, O. Production de matériaux isolants à partir de fibres de pelure d'oignon et de coque d'arachide, de cendres volantes, de pierre ponce, de perlite, de barytine, de ciment et de gypse. *Mater. Today Commun.* 2017, 10, 14–24. [CrossRef]

Références Bibliographie

71. Ozturk, S. ; Sutcu, M. ; Erdogmus, E. ; Gencel, O. Influence de la concentration en déchets de thé sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques des mélanges d'argile et de briques. *Constr. Build. Mater.* 2019, 217, 592–599. [CrossRef]
72. Korjenic, A. ; Petránek, V. ; Zach, J. ; Hroudová, J. Développement et évaluation des performances de matériaux d'isolation thermique naturels composés de ressources renouvelables. *Energy Build.* 2011, 43, 2518–2523. [CrossRef]
73. Mehrzad, S. ; Taban, E. ; Soltani, P. ; Samaei, S.E. ; Khavanin, A. Fibres de déchets de bagasse de canne à sucre comme nouveaux matériaux d'isolation thermique et d'absorption acoustique pour les bâtiments durables. *Build. Environ.* 2022, 211, 108753. [CrossRef]
74. Onésippe, C. ; Passe-Coutrin, N. ; Toro, F. ; Delvasto, S. ; Bilba, K. ; Arsène, M.A. Composites de ciment renforcés de fibres de bagasse de canne à sucre : considérations thermiques. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2010, 41, 549–556. [CrossRef]
75. Madurwar, M.V. ; Ralegaonkar, R.V. ; Mandavgane, S.A. Application des déchets agricoles aux matériaux de construction durables : une revue. *Constr. Build. Mater.* 2013, 38, 872–878. [CrossRef]
76. Binici, H. ; Eken, M. ; Kara, M. ; Dolaz, M. Un matériau d'isolation thermique respectueux de l'environnement à base de tiges de tournesol, de déchets textiles et de fibres de chaume. Dans les actes de la Conférence internationale 2013 sur la recherche et les applications des énergies renouvelables (ICRERA), Madrid, Espagne, 20–23 octobre 2013.
77. Binici, H. ; Aksogan, O. ; Dincer, A. ; Luga, E. ; Eken, M. ; Isikaltun, O. Possibilité d'utiliser de la vermiculite, des tiges de tournesol et des tiges de blé pour la production de matériaux d'isolation thermique. *Therm. Sci. Eng. Prog.* 2020, 18, 100567. [CrossRef]
78. Platt, S.L. ; Maskell, D. ; Shea, A. ; Walker, P. Impact de l'orientation des fibres sur les propriétés hygrothermiques des isolants en bottes de paille. *Constr. Build. Mater.* 2022, 349, 128752. [CrossRef]
79. Peng, H. ; Walker, P. ; Maskell, D. ; Jones, B. Caractéristiques structurelles des murs porteurs en bottes de paille. *Constr. Build. Mater.* 2021, 287, 122911. [CrossRef]
80. Platt, S. ; Maskell, D. ; Walker, P. ; Laborel-Préneron, A. Fabrication et caractérisation de prototypes d'isolants en bottes de paille. *Constr. Build. Mater.* 2020, 262, 120035. [CrossRef]
81. Bobet, O. ; Nassio, S. ; Seynou, M. ; Remy, B. ; Zerbo, L. ; Sanou, I. ; Sawadogo, M. ; Millogo, Y. ; Gilles, E. Caractérisation des coques d'arachide pour leur valorisation en briques de terre. *J. Miner. Mater. Charact. Eng.* 2020, 8, 301–315. [CrossRef]

Références Bibliographie

82. Damfeu, J.C. ; Meukam, P. ; Jannot, Y. Modélisation et mesure des propriétés thermiques des fibres végétales isolantes par la méthode de la plaque chauffante asymétrique et la méthode du flux radial : kapok, noix de coco, fibre de coque d'arachide et rotin. *Thermochimica Acta* 2016, 630, 64–77. [CrossRef]
83. Do, N.H. ; Luu, T.P. ; Thai, Q.B. ; Le, D.K. ; Chau, N.D.Q.; Nguyen, S.T. ; Le, P.K. ; Phan-Thien, N. ; Duong, H.M. Applications d'isolation thermique et phonique des aérogels d'ananas issus de déchets d'ananas. *Mater. Chem. Phys.* 2020, 242, 122267. [CrossRef]
84. Suphamitmongkol, W. ; Khanoonkon, N. ; Rungruangkitkrai, N. ; Boonyarit, J. ; Changniam, C. ; Sampoompuang, C. ; Chollakup, R. Potentiel des fibres de feuilles d'ananas comme matériaux d'isolation phonique et thermique en Thaïlande. *Prog. Appl. Sci. Technol.* 2023, 13, 26–32.
85. Cintura, E. ; Nunes, L. ; Esteves, B. ; Faria, P. Déchets agro-industriels comme matériaux d'isolation des bâtiments : revue et défis pour les pays euro-méditerranéens. *Ind. Crop. Prod.* 2021, 171, 113833. [CrossRef]
86. Liuzzi, S. ; Rubino, C. ; Stefanizzi, P. ; Petrella, A. ; Boghetich, A. ; Casavola, C. ; Pappalettera, G. Propriétés hygrothermiques des enduits argileux aux fibres d'olivier. *Constr. Build. Mater.* 2018, 158, 24–32. [CrossRef]
87. Mahieu, A. ; Alix, S. ; Leblanc, N. Propriétés des panneaux de particules fabriqués à partir de sous-produits agricoles avec un liant classique ou auto-liant. *Ind. Crops Prod.* 2019, 130, 371–379. [CrossRef]
88. Cetiner, I. ; Shea, A.D. Les déchets de bois comme isolant thermique alternatif pour les bâtiments. *Energy Build.* 2018, 168, 374–384. [CrossRef]
89. Pavelek, M. ; Adamová, T. Panneau isolant thermique à base de biodéchets pour la construction durable de bâtiments en conditions stationnaires et instables. *Matériaux* 2019, 12, 2004. [CrossRef] [PubMed]
90. Zhang, X. ; Lian, Z. ; Wu, Y. Réponses physiologiques humaines à un environnement intérieur en bois. *Physiol. Behav.* 2017, 174, 27–34. [CrossRef] [PubMed]
91. Aafi A., 2007, Etude de la diversité floristique du chêne liège, thèse, <https://www.tela-botanica.org/>, pp. 17-21.

Références Bibliographie

92. Amandier L., 2013, Synthèse des expérimentations menées par « le Centre Régional de la Propriété Forestière » sur le Chêne-liège dans les Maures avec la collaboration des partenaires locaux ASF subéraie varoise, stagiaires, etc., forêt privée française, 48p.
93. CIB, 2010 : Cork Information Bureau, Liège matière première
94. Roula B., 2010, étude de la qualité du liège de reproduction des subéraies de la région de Jijel, Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister, Spécialité : Sciences Agronomiques, Option : Gestion des Ecosystèmes Forestiers, Ecole Nationale Supérieure Agronomique-El-Harrach-Alger, 82p.
95. Fatmi H., 2014, Diagnostic préliminaire de la régénération naturelle des peuplements du chêne liège (*Quercus suber*) dans la forêt domaniale de Zerdab (sud-est de Tlemcen), Ingénieur D'état En Foresterie, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
96. Boukhris F.Z., 2017, Contribution à l'étude de l'effet du taux de carbonisation du liège sur la pérennité du chêne liège dans le massif forestier Hafir-Zarieffet (Tlemcen), Master en Foresterie, Option : Aménagement et Gestion des Forêts, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
97. DGF : direction générale des forêts.
98. Messaoudene M., Roula B., Guettas A. Chenoune K. Ounnas A., 2019, le chêne liège (*Quercus suber* L.) en Algérie : Guide technique, Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et de la Pêche, Institut National De Recherche Forestière.
99. Badaoui H. et Birem F., 2010, Contribution à l'étude de la restauration des subéraies incendiées : caractérisation et modélisation de la croissance et de la production du liège mâle d'un jeune taillis de Chêne liège dans la station d'Ait Laddeur, forêt domaniale Tamgout, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, spécialité : Foresterie, Option : Foresterie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomique.
100. M. I. d. F. Carrasquinho, "A qualidade da cortiça. Boletim do Instituto dos Productos Florestais-Cortiça", 583: 17-18, Lisboa.
 - A. Barberis, Dettori S., Filigheddu M.R., "Management problems in Mediterranean cork oak forests", post-fire recovery. *J Arid Environ*, 54 (2003), pp: 565–569,
101. L. Gil, "Cortiça: produção, tecnologia e aplicação", Lisbon, INETI, (1998).
102. S. P. Silva M. A. Sabino, E. M. Fernandes "Cork: Properties, capabilities and applications", *International Materials Reviews*, 50 (6) (2005), pp: 345–365.

Références Bibliographie

103. M. El Maâtaoui, H. Espagnac, N. MICHAUX-FERRIÈRE, “Histology of Callogenesis and Somatic Embryogenesis Induced in Stem Fragments of Cork Oak (*Quercus suber*) Cultured In Vitro”, *Annals of Botany* , 66(2)(1990), pp: 183–190
104. B. Groh, C. Hübner, K. Lenzian, “Water and oxygen permeance of phellements isolated from trees: The role of waxes and lenticels”, *Planta*, 215 (2002), pp: 794–801.
105. H. Pereira, “Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L”, *Wood Sci. Technol*, 22 (1988), pp: 211–218
106. L. Yafang, J. Ting, S. Xiaozhou, “chemical composition of cork from *quercus variabilis*”, *Wood and Fiber Science*, 44(2) (2012), pp: 214–219.
107. Hooke, R., Ed. (1664). *Micrographia*. London, The Royal Society.
108. L. J. Gibson, K. E. Easterling, and M. F Ashby, “The structure and mechanics of cork”, *Proceeding of the Royal Society of London A*, 377 (1981), pp: 99–117.
109. H. Pereira, M.E. Rosa, M.A. Fortes, “The cellular structure of cork from *Quercus suber* L.”, *IAWA Bull*, 8(3) (1987), pp: 213–218,
110. H. Pereira, J. Graca and C. Baptista, “The effect of growth-rate on the structure and compressive properties of cork”, *IAWA Bull*, 13 (4) (1992): 389–396.
111. Hery Mikaela RATSIMBAZAFY, « Cours chaux et plâtre 3 -ème Année », Mention SIM / L3, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo, 2019.
112. Ranja Clément Olding RATSIMBAZAFIARISON, « Fabrication des plaques multimatériaux à base de plâtre fibré et des mousses en polyéthylène non réticulés », Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du Diplôme d’Ingénieur en Science et Ingénierie des Matériaux, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo, Novembre 2021.
113. Daniel DALIGAND, « Plâtre », *Techniques de l’Ingénieur, traité Construction*.
114. Fouad GHOMARI, « Science des matériaux de construction », Université Aboubekr Belkaid faculté des Sciences de l’Ingénieur Département de Génie Civil.
115. Ando Nambinina RAKOTONIAINA, « essai de fabrication de plaques de plâtre à faces cartonnées à partir de plâtre locale », Mémoire de fin d’Etudes en vue de l’obtention du Diplôme d’Ingénieur Matériaux, département Science des Matériaux et Métallurgies, option Science et Ingénierie des Matériaux, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo, soutenu le 30 Juin 2015.

116. [w1] : <https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-159-platre-definition-utilisation-avantages-incovenients.html>, consulté le 20 Janvier 2023

Référence chapitre 2 :

1. BOUNOUA FETHI Technologie De Fabrication Et Contrôle De La Qualité Du Plâtre Université Badji Mokhtar-Annaba- Juin 2015 p.44
2. <http://www.techni.ch/>.
3. Abdelhamid R'MILI : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010
4. CHEKROUN MATHIEU. « Caractérisation mécanique des premiers centimètres du des ondes de surface » Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Nature. 2008
5. NF P 18-440
6. NF P 18-412, « caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression. 1981.
7. Mémoire de master de thème : Valorisation du liege expansé dans la composition des mortiers, dirigé par MAANSER Roumaïssa , Université Mohamed KHIDHER-Biskra Faculté des Sciences et des la Technologie, Département de Génie civil et d'Hydraulique . 2019-2020
8. M. del Río Merino, Élaboration et applications constructives de panneaux préfabriqués en plâtre allégé renforcé de fibres de verre E et autres additifs, PhD, Université Polytechnique de Madrid (Espagne), 1999. doi:oai:oa. upm.es:612.

Référence Chapitre 3 :

1. Akaf Houssef Fethallah et Chaouche Mohammed Wanis ; memoir de Contribution à l'étude des matériaux composites biosourcés à base de plâtre, Année universitaire : 2022/2023 Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE
2. <http://dspace.univbouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/7362/1/Valorisation%20des%20d%C3%A9chets%20plastiques%20dans%20le%20mat%C3%A9riau%20pl%C3%A2tre.pdf>

Références Bibliographie

3. Laoubi et al. Study of a New Plaster Composite Based on Dune Sand and Expanded Polystyrene as Aggregates 402 The Open Civil Engineering Journal, 2018, Volume 12
4. Abdelaziz Meddah. Effectiveness of using rubber waste as aggregates for improving thermal performance of plaster-based composites (2020) Innovative Infrastructure Solutions (2020) [5:61]