

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Option : Génie Des Matériaux

Thème

Caractérisation Expérimentale d'un matériau Composite Bois d'olivier-Ciment.

Proposé et dirigé par

M^{me} Sabrina MENDIL

Présenté par

M^{lle}. TINICHA Sarah

M^{lle}. TINICHA Lysa

Mémoire soutenu le :

Devant le jury d'examen composé de

M^r. Rabah FERHOUM

Professeur à l'UMMTO

Président

M^{me}. Fadhila MOUHLEBI

Maître de Conférences à l'UMMTO

Examinatrice

M^{me}. Sabrina MENDIL

Maître de Conférences à l'UMMTO

Encadreur

Promotion : 2023-2024



Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour préparer ce mémoire.


Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

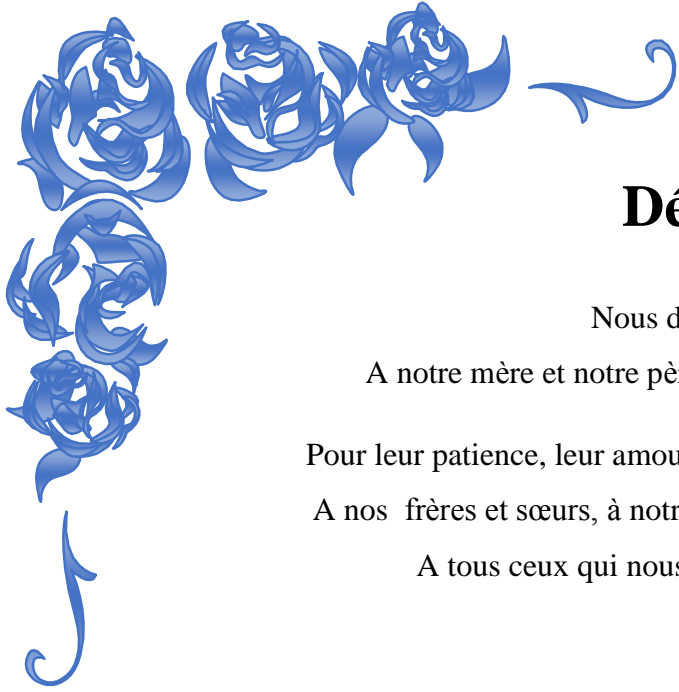
Tout d'abord, nous tenons à remercier notre directrice de recherche, **Sabrina MENDIL**, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de ce projet. Son expertise et son soutien ont été déterminants pour l'aboutissement de notre travail.

Notre remerciement sincère pour les deux personnels du laboratoire de chimie et science des matériaux à l'université **Mouloud Mammeri**. Et également à l'équipe du laboratoire de génie civile qui nous ont ouvert ses portes pour la réalisation et l'élaboration de nos composites.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce mémoire.

Enfin, nous souhaitons remercier nos familles pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible. Leur confiance en nous a été une source de motivation tout au long de ce parcours.





Dédicaces

Nous dédions ce travail:

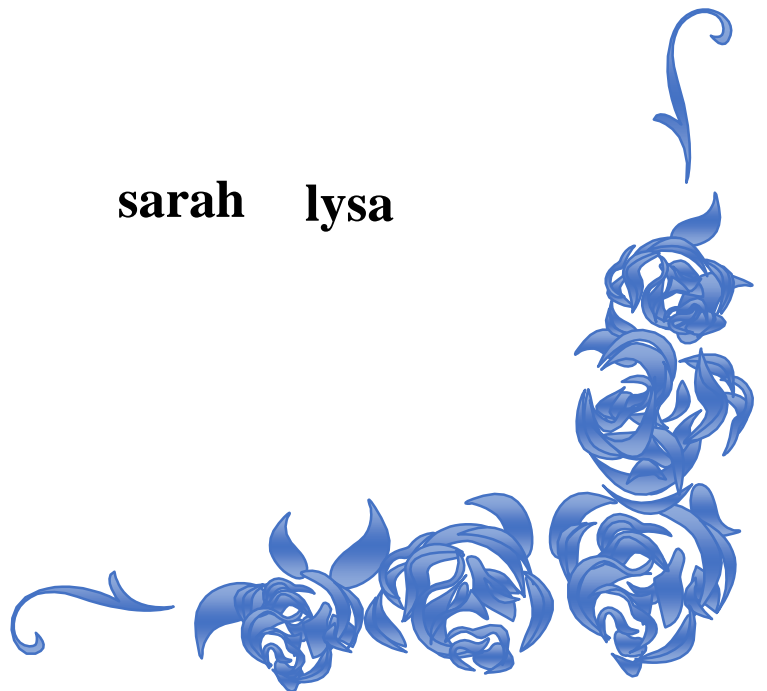
A notre mère et notre père qui sont les plus chers au monde

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

A nos frères et sœurs, à notre familles. A tous les amis et collègues

A tous ceux qui nous ont aidées à finir ce mémoire.

sarah lisa



Liste des figures

Fig. I.1 : Vue schématique d'une coupe transversale d'un tronc d'arbre.....	4
Fig. I.2 : Organisation cellulaire d'un bois de résineux	5
Fig. I.3. : Coupe transversale de chêne	6
Fig. I.4. : Représentation de la chaîne de cellulose	7
Fig. I.5 : Principaux glucides constituant les hémicelluloses.....	7
Fig. I.6. : Précurseurs de la biosynthèse de la lignine	8
Fig. I.7. : Structure de la lignine.....	9
Fig. I.8. : Structure de la pectine	11
Fig. I.9. : Représentation schématique de l'évolution de la teneur en eau dans le <i>bois</i> (Natterer, 2004).....	13
Fig. I.10. : Courbe caractéristique de calorimètre isotherme d'un ciment (Alexa Bresson, 2006)	20
Fig. II.1. : Schéma représentatif d'un matériau composite	21
Fig. II.2. : Type des matériaux composites	22
Fig. II.3. : Différentes catégories de renforts	23
Fig. II.4. : Les différentes matrices des matériaux composites.....	26
Fig. II.5. : Facteurs influençant la prise du ciment	38
Fig.III.1. : Séchage après broyage du scieur de bois d'olivier.....	46
Fig.III.2 : Tamiseur électrique	46
Fig. III.3. : Presse hydraulique.....	47
Fig. III.4. : Procédure du traitement alcalin avec NaOH (5%)	48

Fig.III.5 : Essai d'absorption par capillarité des pastilles en farine de bois traitée et non traitée avec une solution alcaline (NaOH)	61
Fig. III.6 : Ciment portland Mâtine utilisé.....	63
Fig. III.7 :Préparation de la pate Bois-Ciment.....	65
Fig. III.8 : Procédure d'élaboration des composites Bois-Ciment.....	66
Fig. III.9. : Dispositif expérimental de l'essai d'absorption par capillarité	67
Fig. III.10 : Essai d'absorption par capillarité des composites bois-ciment.....	68
Fig. III.11 : Essai d'absorption par immersion totale après (24h) des composites bois-ciment	69
Fig. III.12 : Spectromètre IRTF	70
Fig. III.13. : Principe de l'essai de flexion 3 points.....	71
Fig. III.14. : Essai de compression.....	72-
	73
Fig. III.15. : Essais mécaniques ; Essai de flexion à 3 points et Essai décompression.....	74
Fig. IV.1 : Evolution de taux d'humidité de la farine de bois traitée et non traitée avec une 75solution alcaline (NaOH)	75
Fig. IV. 2 : Le taux d'absorption en eau par capillarité de la farine du bois traitée et non traitée avec une solution alcaline (NaOH)	76-
	77
Fig. IV.3 : Résultats d'analyse par IFTR de la farine de bois non traitée.....	78
Fig.IV.4 : Évolution de la densité des composite bois-ciment en fonction de la teneur en bois	79
Fig. IV. 5 : Histogramme représentant l'évolution de la densité des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois	79
Fig. IV.6 : Histogramme représentant l'évolution d'humidité des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois.	80

Fig. IV.8. : Évolution de l'absorption par capillarite des composites en fonction de la teneur en bois	49
Fig. IV.9 : Histogramme représentant l'évolution de l'absorption par capillarité des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois	50
Fig. IV.10. : Évolution de l'absorption par immersion totale après 24h dans l'eau des composites en fonction de la teneur en bois	53
Fig. IV.11. : Histogramme représentant l'évolution de l'absorption par immersion totale après 24h dans l'eau des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois	54
Fig. IV.12 : Évolution des contraintes de flexion des composites bois-ciment en fonction de la déformation	54
Fig. IV.13 : Histogramme représentant l'évolution des contraintes de flexion des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois	55
Fig. IV.14. : Évolution des contraintes de compression des composites bois-ciment en fonction de la déformation	56
Fig. IV.15. : Histogramme représentant l'évolution des contraintes de compression des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois	56
Fig. IV.16. : Évolution de module d'Young des composites bois-ciment en fonction de pourcentage de bois.....	57
Fig. IV.17. : Histogramme représentant l'évolution de module d'Young des composites bois-ciment en fonction de pourcentage de bois.....	57

Liste des tableaux

Tableau.I.1 : Composition chimique du ciment	12
Tableau.I.2 : Composition chimique du clinker de ciment Portland (ciment gris)	13
Tableau.I.4 : Résistance mécanique en fonction de la classe des ciments	51
Tableau.III.1 : Mesures des ingrédients pour élaboration des éprouvettes de flexion.....	51
Tableau.III.2 : Mesures des ingrédients pour élaboration des éprouvettes de la compression	52
Tableau.III.3 . Dimensions (en mm) des éprouvettes de flexion trois points, selon la norme NF EN 196-1.....	57
Tableau.IV.1 : Résultats de Mesure de la masse volumique de la farine du bois	60
Tableau. IV.4 : Les bondes d'absorption pour la fibre cellulosique	61
Tableau.IV.2 : Taux d'humidité de la farine du bois en fonction du temps.....	62
Tableau.IV.3 : Taux d'absorption d'eau par capillarité de la farine du bois en fonction du temps.	64
Tableau. IV.5 : La masse volumique des composites	66
Tableau. IV.6 : Taux d'absorption d'eau par capillarité des composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois	68
Tableau. IV.7 : Taux d'absorption par immersion totale après 24h dans l'eau des composite bois-ciment en fonction de la teneur en bois	70
Tableau.IV.8 : La contrainte maximale des composites bois-ciment en fonction de pourcentage de bois en flexion	74
Tableau. IV.9 : La contrainte maximale des composite bois-ciment en fonction de pourcentage de bois en compression.....	79
Tableau. IV.10 : Le module d'Young en fonction de pourcentage du bois	80

Table des Matières

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le Bois et le Ciment

Introduction..... 3

I. Le matériau bois 3

I.1.Utilisation du bois..... 3

I.2.Structure du bois 5

I.3.Anatomie du tronc 6

I.4. Composition chimique du bois 9

I.5. Propriétés du bois 9

II. Le Ciment..... 12

II.1. Composition chimique du ciment 12

II.2. Le ciment portland 12

II.3.Mécanisme d'hydratation..... 13

II.4.Propprieter mécaniques du ciment 14

Références..... 16

Chapitre II : Composites Bois-Ciment

II. Introduction 19

II.1. Généralités sur les matériaux composites 19

II.2. Constituants des matériaux composites	21
II.3. Les principales qualités et défauts des matériaux composites	23
II.4. Avantages et inconvénients des composites.....	23
II.5. Composites bois ciments CBC.....	28
II.6. Traitements du bois permettant d'améliorer la compatibilité Bois-Ciment.....	30
II.7. Conclusion.....	39
Références.....	41

Chapitre III : Matériaux d'étude et Techniques Expérimentales

III. Introduction	45
III.1. Matériaux d'étude	45
III.2. Procédure expérimentale et d'élaboration	51
III.3. Caractérisation des composites Bois-Ciment	53
III.4. Techniques expérimentales	55

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV. Introduction.....	60
IV.1. Caractérisation de la farine du bois d'olivier	60
IV.2. Caractérisation du composite Bois-Ciment (CBC)	66
IV.5. Conclusion	81
Références.....	83
Conclusion Générale	84

Introduction générale

Introduction générale

En raison des enjeux environnementaux et des réglementations internationales rigoureuses concernant les émissions de gaz à effet de serre, il est essentiel de mener des études sur des infrastructures vertes durables, économiques et performantes. L'emploi des déchets agricoles et la création de composites durables dans le domaine de la technologie verte sont parmi les options les plus envisageables. Les chercheurs dans le domaine de la construction et de la fabrication sont incités par cette stratégie à incorporer des fibres végétales comme renforceurs des matériaux de construction, ce qui améliore leur résistance, leur durabilité et leur isolation thermique.

La recherche de matériaux de construction innovants et écologiques est devenue essentielle. Les composites bois-ciment émergent comme une solution prometteuse, alliant les avantages du bois, un matériau renouvelable, à ceux du ciment, reconnu pour sa résistance et sa durabilité. Cette combinaison offre non seulement des performances mécaniques intéressantes mais également une réduction de l'empreinte carbone associée aux constructions.

Dans ce cadre spécifique, les matériaux composites bois-ciment se présentent comme une option économique et technologique attrayante, à étudier afin de réduire l'empreinte écologique des constructions. [1-5]. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : la légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes, et insensibilités aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques.

Dans ce travail, l'accent est mis principalement sur l'élaboration d'un composite à base d'une matrice cimentaire renforcé avec des particules de bois d'olivier à différentes teneurs qui assure la cohésion et la résistance du matériau. Cependant, la compatibilité entre ces deux composants pose des défis techniques, notamment en ce qui concerne l'adhésion, la durabilité et la résistance mécanique.

C'est pour cette raison que cette étude a été entreprise dans l'objectif de déterminer et d'améliorer la quantité de bois appropriée afin de créer et de proposer un matériau composite performant et respectueux de l'environnement, proposant une matrice cimentaire renforcée par des particules de bois d'olive sous forme de sciure, ce qui permet de valoriser ce déchet.

Cette étude est divisée en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur le bois.
- Le deuxième chapitre évoque les généralités sur les matériaux composites.
- Le troisième chapitre : la partie expérimentale suivie pour mettre en œuvre notre composite bois-ciment.
- Le quatrième chapitre : sera consacré à discuter les différents résultats obtenus grâce aux tests et traitements réalisés au cours de l'élaboration des composites bois d'olive et le ciment.

On termine par une conclusion et perspectives.

Introduction générale

Introduction générale

En raison des enjeux environnementaux et des réglementations internationales rigoureuses concernant les émissions de gaz à effet de serre, il est essentiel de mener des études sur des infrastructures vertes durables, économiques et performantes. L'emploi des déchets agricoles et la création de composites durables dans le domaine de la technologie verte sont parmi les options les plus envisageables. Les chercheurs dans le domaine de la construction et de la fabrication sont incités par cette stratégie à incorporer des fibres végétales comme renforceurs des matériaux de construction, ce qui améliore leur résistance, leur durabilité et leur isolation thermique.

La recherche de matériaux de construction innovants et écologiques est devenue essentielle. Les composites bois-ciment émergent comme une solution prometteuse, alliant les avantages du bois, un matériau renouvelable, à ceux du ciment, reconnu pour sa résistance et sa durabilité. Cette combinaison offre non seulement des performances mécaniques intéressantes mais également une réduction de l'empreinte carbone associée aux constructions.

Dans ce cadre spécifique, les matériaux composites bois-ciment se présentent comme une option économique et technologique attrayante, à étudier afin de réduire l'empreinte écologique des constructions. [1-5]. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : la légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes, et insensibilités aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques.

Dans ce travail, l'accent est mis principalement sur l'élaboration d'un composite à base d'une matrice cimentaire renforcé avec des particules de bois d'olivier à différentes teneurs. qui assure la cohésion et la résistance du matériau. Cependant, la compatibilité entre ces deux composants pose des défis techniques, notamment en ce qui concerne l'adhésion, la durabilité et la résistance mécanique.

C'est pour cette raison que cette étude a été entreprise dans l'objectif de déterminer et d'améliorer la quantité de bois appropriée afin de créer et de proposer un matériau composite performant et respectueux de l'environnement, proposant une matrice cimentaire renforcée par des particules de bois d'olive sous forme de sciure, ce qui permet de valoriser ce déchet.

Cette étude est divisée en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur le bois.
- Le deuxième chapitre évoque les généralités sur les matériaux composites.
- Le troisième chapitre : la partie expérimentale suivie pour mettre en œuvre notre composite bois-ciment.
- Le quatrième chapitre : sera consacré à discuter les différents résultats obtenus grâce aux tests et traitements réalisés au cours de l'élaboration des composites bois d'olive et le ciment.

On termine par une conclusion et perspectives.

Chapitre 9
Revue bibliographique
sur le Bois et le Ciment

Introduction

Le bois, un matériau végétal solide, est constitué de cellules dotées de parois ligno-cellulosiques très résistantes sur le plan mécanique. C'est ainsi que les arbres ont pu atteindre des records en termes de taille et de longévité dans le règne biologique.

L'anatomie du bois est extrêmement complexe et présente une diversité de structures ligneuses qui ont été développées au fil de l'évolution pour s'adapter à différents environnements. Ces caractéristiques anatomiques spécifiques aident les plantes à faire face aux défis tels que la sécheresse ou le gel. L'organisation anatomique reflète une stratégie ou un compromis visant à garantir que l'arbre peut remplir efficacement et en toute sécurité ses diverses fonctions biologiques liées au bois.

Le bois a été l'un des premiers matériaux employés par les êtres humains. À travers les âges et de nombreuses expérimentations, les individus à travers le monde ont appris à associer le bois le plus adapté à un processus de fabrication spécifique.

I. Le matériau bois

I.1. Utilisation du bois

- Bois énergie (bois de chauffage, charbon de bois, électricité, biocarburant) ;
- Charpentes & constructions en bois ;
- Emballages (palettes, caisses, barquettes de fruits) ;
- Ameublement & menuiserie (meubles, volets, fenêtres, portes) ;
- Bois composite (terrasses, mobilier urbain, isolants) ;
- Industrie chimique (exploitation de la cellulose contenue dans le bois pour créer des fibres textiles, des fibres de carbone) ;
- Industrie papetière (papier, carton).

I.2. Structure du bois

I.2.1. Macrostructure du bois

Le bois est une substance compacte qui constitue le tronc d'arbre, formé de fibres, de cellules, est de faisceaux drainant la sève (substance nutritive constituée d'eau et de sels minéraux qui monte depuis les racines).

Lorsque l'on observe une section transversale d'un tronc d'arbre (voir **Fig.1.1**), on peut distinguer plusieurs zones, à savoir :

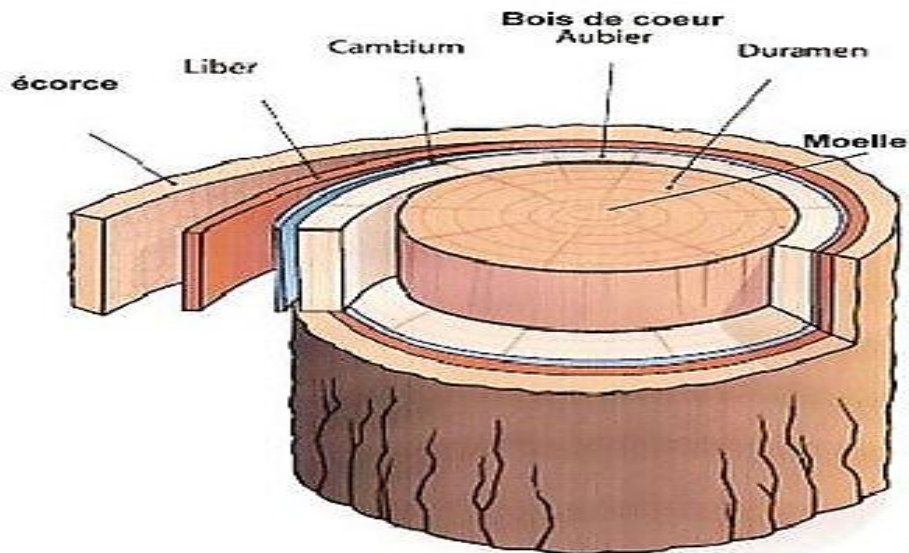


Fig.I.1. Vue schématique d'une coupe transversale d'un tronc d'arbre. [1].

1. **La moelle** : est le point central. C'était la partie utile quand l'arbre était jeune.
2. **Le bois de cœur (duramen)** : couche de bois dure et de couleur sombre constitué des vieilles cellules (d'aubier mort). C'est le bois inactif qui joue un rôle de support.
3. **L'aubier** : c'est le bois actif de l'arbre par lequel monte la sève brute, des racines jusqu'aux feuilles.
4. **Cambium** : est le tissu de croissance qui produit à la fois le liber, vers l'extérieur, et l'aubier vers l'intérieure, permettant ainsi l'accroissement du diamètre de l'arbre.
5. **Le liber** : est aussi nommé écorce interne. C'est par là que descend la sève nutritive, élabore dans les feuilles, jusqu'aux différentes parties de l'arbre.
6. **L'écorce externe (Le rhytidome)** : protège l'arbre contre les températures extrêmes les intempéries et les invasions d'insecte ou des champignons. Elle est imperméable, très mince.

I.2.2. Microstructure du bois

Le bois se compose principalement de cellules de trachéides alignées dans le sens longitudinal. On peut distinguer des trachéides de bois de printemps ou bois initial et celles de bois d'été ou bois final. Elles sont de forme allongée, de section transversale polygonale et creuse. Les trachéides de bois de printemps ont des parois minces avec un diamètre intérieur important ; ce qui donne une masse volumique faible. Au contraire, les trachéides de bois d'été ont des parois épaisses mais un diamètre intérieur faible et une masse volumique importante. Ceci est visualisé sur **la figure.I.2** où l'on distingue nettement l'interface entre le bois initial et le bois final. [2]

Ces trachéides possèdent, sur leurs parois, des ponctuations aréolées qui jouent le rôle de régulateur des écoulements. Ils sont plus larges et plus nombreux dans le bois d'été.

Parallèlement aux trachéides, les canaux résinifères, entourés de cellules qui produisent de la résine, assurent la circulation de celle-ci. Dans le sens radial, les rayons ligneux transportent la sève.

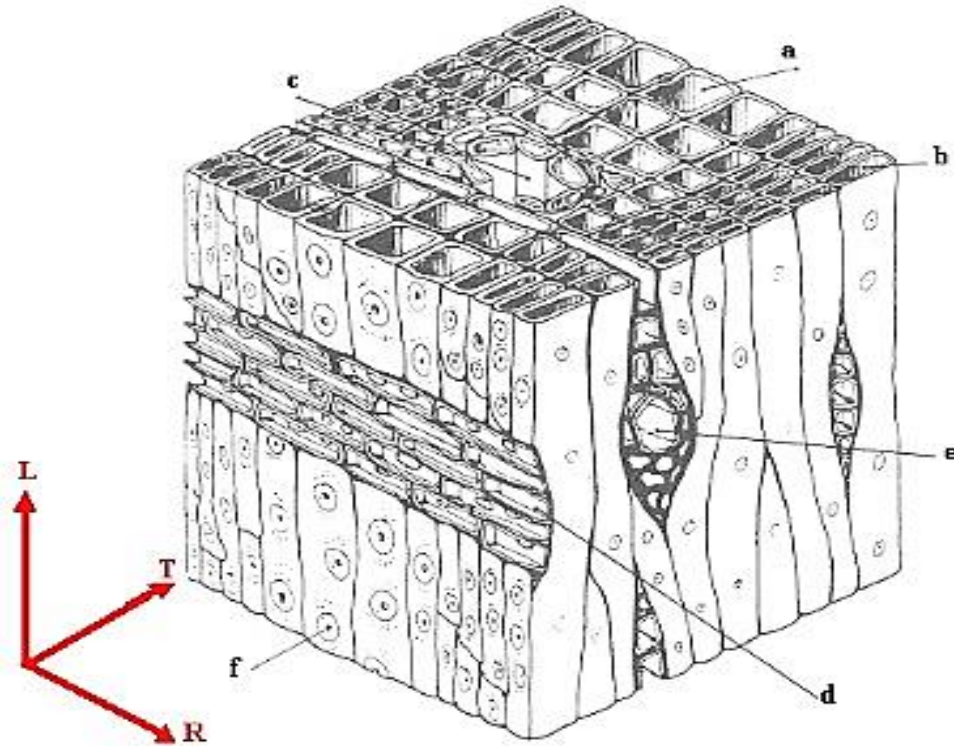


Fig. I.2. Organisation cellulaire d'un bois de résineux [2]

a : trachéide dans le bois de printemps.

b : trachéide dans le bois d'été.

c : canal résinifère d : rayon ligneux.

e : rayon ligneux avec canal résinifère.

f : ponctuation.

I.3. Anatomie du tronc

Les arbres croissent en épaisseur grâce à l'activité d'une couche mono-strate de tissu ; le Cambium. Celui-ci produit du Liber, un xylème du point de vue botanique, vers l'intérieur et de l'Ecorce, un phloème, vers l'extérieur. Etant donné que les cellules du cambium sont en division continue, les cellules du xylème, les premières formées s'éloignent progressivement

du cambium, tout en subissant des modifications physico-chimiques qui en font un cœur, ou duramen, bien distinct. [3].



Fig.I.3. Coupe transversale de chêne.

I.4. Composition chimique du bois

Les composées les plus majoritaire sont la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe.

I.4.1. Cellulose

Il s'agit d'un homo-polysaccharide qui forme la substance majoritaire des fibres végétales et joue à la base un rôle structural [4]. La cellulose est un homopolymère constitué du dimère du glucose, la cellobiose. C'est un type de glucose qui est composé de deux molécules de β -glucose. Le nombre de molécules de cellobiose (motif de répétition) constituant la cellulose est appelé le degré de polymérisation. Le degré de polymérisation diffère beaucoup selon l'origine de la cellulose, sa valeur peut varier de quelques centaines à quelques dizaines de milliers. [5] Quand il s'agit de régions cristallines, les chaînes macromoléculaires sont disposées régulièrement par opposition dans les régions amorphes, disposées de manière aléatoire. La cellulose du bois présente un degré de cristallinité de l'ordre de 60 à 70 %. Ainsi, Eichhorn et al. Donnent des valeurs du module de Young de la cellulose microcristalline. Il y est fait état d'un module de Young de 25 ± 4 Gpa, et est comparé à celui de 36 ± 7 Gpa pour de la cellulose microcristalline extraite du lin et 40 ± 4 Gpa pour la cellulose microcristalline extraite du chanvre. La dispersion de ces valeurs y est expliquée par le degré de cristallinité de la cellulose, dont la valeur à 5 Gpa à l'état amorphe est donnée à 128 Gpa à l'état cristallin. [6]

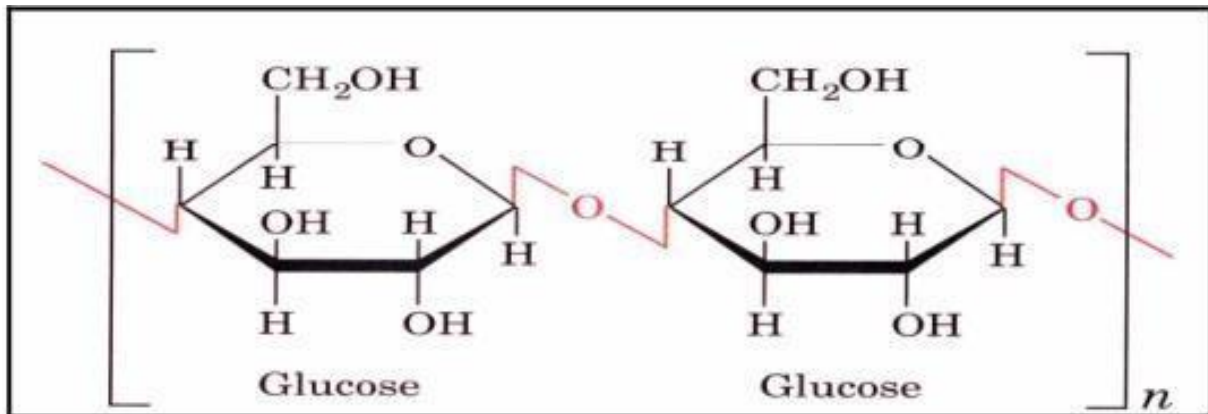


Fig. I.4. Représentation de la chaîne de cellulose. [7]

I.4.2. Hémicellulose

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides.

Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchement différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels. Leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300. (La figure I.5.) montre les unités mono-saccharidiques les plus représentatives de différentes familles d'hémicelluloses. Ce sont des polysaccharides dont la chaîne principale linéaire est constituée respectivement de xylose, de mannose et de galactose. [8-9].

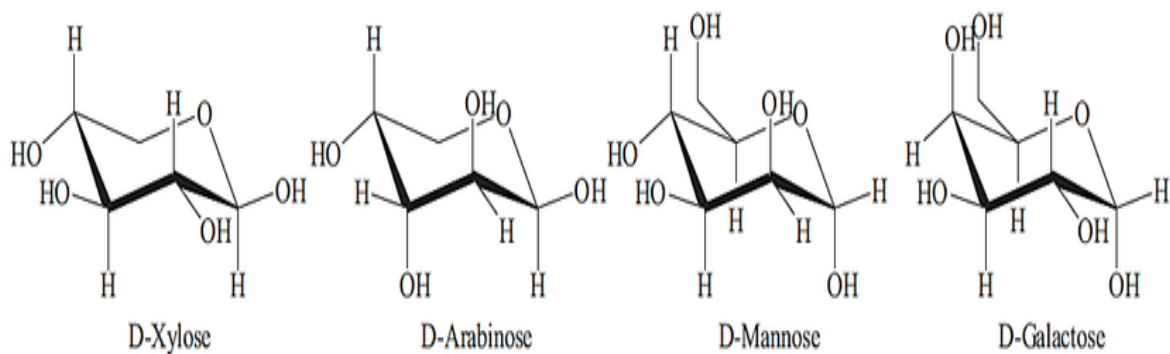


Fig. I.5. Principaux glucides constituant les hémicelluloses. [10]

I.4.3. Lignine

La lignine est la deuxième molécule organique la plus abondante sur Terre après la cellulose. Elle rigidifie la paroi cellulaire et c'est grâce à elle que les records de taille du monde vivant sont atteints par des végétaux terrestres.

La lignine est un polymère tridimensionnel amorphe de nature phénolique. Elle diffère d'une essence à l'autre, notamment de par sa teneur en unités guaiacyles et syringyles. [11].

Les feuillus contiennent environ 25 % de lignine et les résineux 30 %.

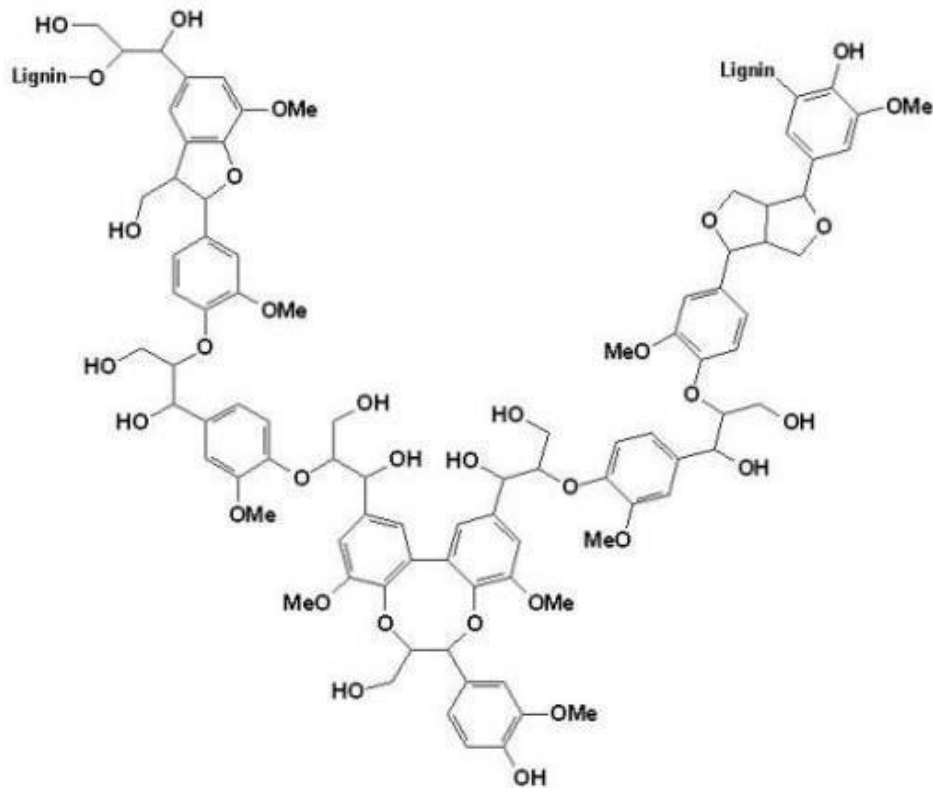


Fig. I.6. Structure de la lignine [12]

I.4.4. Extractibles

Les extractibles sont des composés de faible poids moléculaire que l'on trouve dans la structure poreuse du bois. Ils peuvent représenter de quelque pourcent à 20% de la masse de bois.

L'extraction de ces derniers peut être réalisée à l'aide de solvants polaires (acétone, eau, éthanol) ou apolaires (toluène, cyclohexane, chlorure de méthylène).

Ces extractibles jouent un rôle dans les mécanismes de défense de l'arbre et influencent quelque propriété technologique du bois comme la durabilité naturelle, la mouillabilité ou la stabilité dimensionnelle.

Les extractibles du bois peuvent être divisés en différentes catégories, notamment les extractibles lipophiles, qui comprennent des composés tels que les terpènes et ses dérivés tels que la térébenthine et la paraffine. D'autres catégories de matières extractibles comprennent les composés phénoliques tels que les tanins, les lignanes et les flavonoïdes. Les phytostérols ont des propriétés nutraceutiques peuvent également être extraites du bois. De plus, des monosaccharides et des oligosaccharides se trouvent dans les matières extractibles du bois. [13]

I.4.5. Cendres

Il s'agit de résidus minéraux obtenus après combustion du bois à des températures de 500°C, et ils constituent généralement moins de 1% de la masse sèche du bois dans les régions tempérées, et cette proportion est généralement plus élevée dans les régions tropicales. [3]

I.4.6. Pectine

La pectine est un polymère acide composé de chaînes d'acide uronique (l'acide uronique est obtenu par l'oxydation de dernier carbone de sucre) [15]. Les macromolécules de pectine ressemblent à une forme en zigzag, offrant de la flexibilité aux plantes. [16]

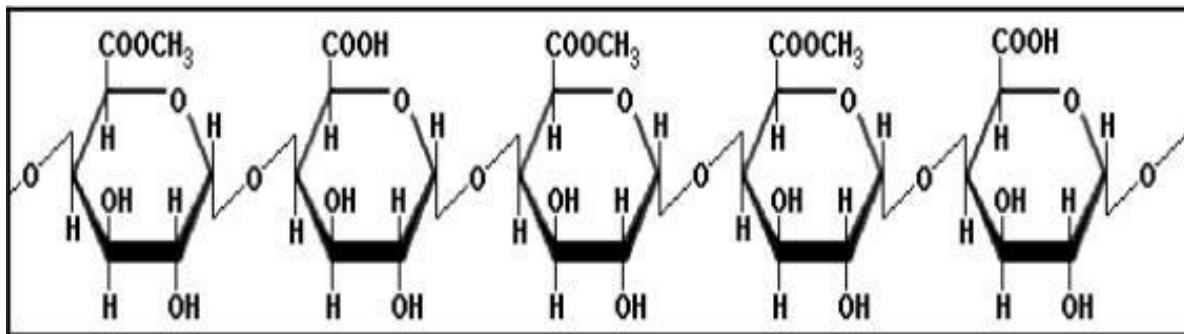


Fig. I.7. Structure de la pectine [17].

I.5. Propriétés du bois

I.5.1. Propriétés thermiques

Les propriétés thermiques de la cellulose sont critiques. En fait, la dégradation thermique est un facteur limitant dans la fabrication des composites. La plupart des fibres naturelles perdent leur rigidité à 160 °C et la lignine se dégrade autour de 200 °C. Cependant, la perturbation de l'ordre cristallin n'est visible qu'au-dessus de 320 °C par agitation thermique des molécules [Weiss (1983)] a déclaré que le phénomène thermique est observé. La conductivité du bois est d'environ 0,12 à 0,23 W/m. K [Michaud (2003)], [18] ce qui le rend destiné à l'isolation thermique.

I.5.2. Propriété mécanique

Le bois est un matériau particulier dont les propriétés varient en fonction de différents facteurs. La vaste variabilité anatomique et structurelle des fibres végétales est pertinente sur le plan thérapeutique. Ce qu'ils subissent leur confère diverses propriétés mécaniques [Bledzki. Et Tsukiyama (1999) ; Bailey (2004) ; De par sa structure cristalline, la cellulose est l'un des polymères ayant le module élastique le plus élevé, avec un module élastique d'environ 136 GPA, contre 75 GPA pour les fibres de verre. [18]

En fait, le bois est un matériau avec une bonne résistance à l'usure, à la compression, à l'allongement dans le sens des fibres et, en termes de flexibilité, le bois est capable de reprendre sa forme lorsqu'il est plié.

I.5.3. Propriétés Physiques

Les propriétés physiques sont les caractéristiques quantitatives du bois et son comportement en réponse à des influences externes autres que les forces externes, et varient selon le type d'espèce d'arbre, les conditions de croissance et les niveaux d'humidité. Le bois est considéré comme un matériau anisotrope, ce qui signifie que ses propriétés varient dans différentes directions. [19]

I.5.3.1. Hygroscopicité du bois

Le bois peut absorber ou rejeter de l'eau selon son équilibre avec la température et l'humidité de l'air ambiant. L'eau est présente sous forme liquide ou gazeuse dans les lumens (cellulaire vide) ou liée chimiquement aux constituants de la paroi cellulaire. La limite de saturation des fibres est atteinte en moyenne à 30 % d'humidité [18] dans ce dernier cas L'humidité H en [%] est calculée par l'Équation I.1.

$$H = \frac{MH - M_0}{M_0} * 100 \dots\dots\dots(I.1)$$

M_H : La masse d'eau comprise dans l'échantillon à l'air ambiant.

M₀ : La masse de l'échantillon anhydre.

Au-delà de ce seuil, connu sous le nom de point de saturation des fibres (PSF), l'eau est conservée liquide. Sous 30 % d'humidité, les dimensions varient avec l'humidité.

Les bois massifs contiennent divers types d'eau, qu'il s'agisse de l'essence ou de la densité. Les niveaux d'eau du bois sont : [19]

- **L'état anhydre (H=0%)** : ne contient pas d'eau libre ou liée dans le bois, mais seulement de l'eau de constitution contenue dans la matière ligneuse. Le taux d'humidité n'est pas pris en compte car il ne disparaît que si l'on brûle le bois (Leboucher 2014). Il s'agit d'un état instable obtenu par dessiccation totale de bois dans l'étuve à 103 degrés Celsius.
- **L'eau liée ou (d'imprégnation)** : 0% < H < 30% cette eau est dite liée au bois via une liaison aux sites hydroxyles disponibles (-OH) des celluloses ou lignines. Le séchage est l'énergie nécessaire pour enlever cette eau. Le bois utilisé avec une teneur eau comprise entre 8 et 20% est encore dans la plage hygroscopique de l'eau liée.

- **Point de saturation des fibres PSF** : $H \approx 30\%$, est un point de saturation des fibres PSF, qui varie d'une essence à l'autre et qui implique que toutes les fibres sont saturées d'eau.
- **L'eau libre** : $H > 30\%$, elle recouvre les pores du bois (fig. 10) et peut entraîner la saturation complète.

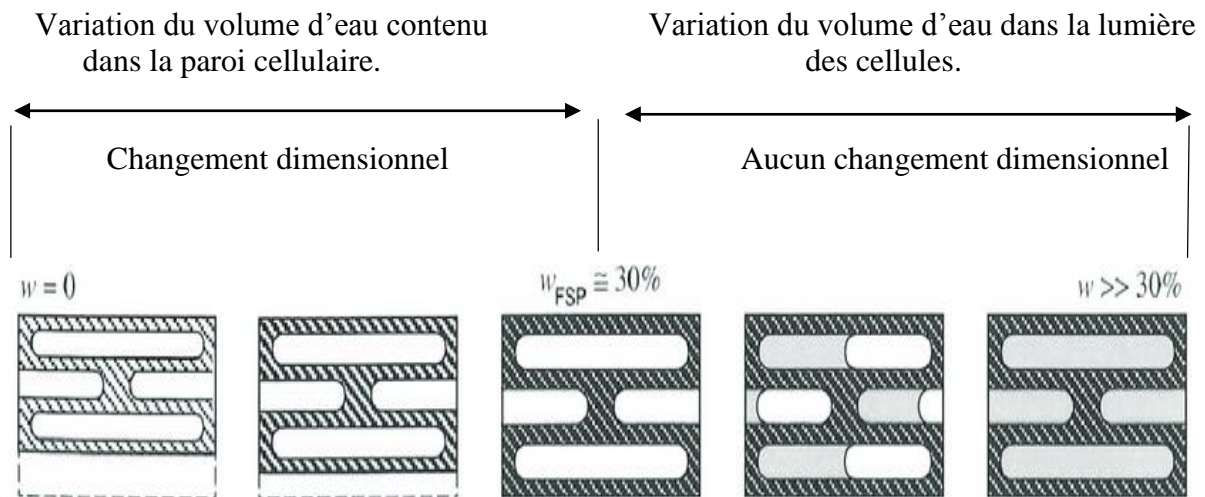


Fig.I.8. Représentation schématique de l'évolution de la teneur en eau dans le *bois*

(Natterer, 2004) [19]

I.5.3.2. Relation eau/bois

L'état hydrique d'un matériau est déterminé par sa teneur eau. La quantité d'eau liquide contenue dans un matériau poreux est désignée par elle. On peut exprimer cette quantité en utilisant un rapport massique ou volumique. [21]

Les groupes hydroxyles ($-OH$) absorbent les molécules d'eau sur les macromolécules d'hémicelluloses, de cellulose amorphe et de la lignine, ainsi que sur la surface des parties cristallines de la cellulose. [18]

I.5.3.3. Mesure du taux d'humidité dans le bois

Le taux d'humidité (H) d'un échantillon de bois s'exprime en pourcentage. Il est égal à la masse d'eau comprise dans l'échantillon (M_H) par rapport à la masse anhydre M_0 (voir relation I.1). Avec M_H la masse de l'échantillon à l'air ambiant, M_0 la masse de l'échantillon anhydre. La norme française (NF B 51-004 février 1942) préconise de mesurer la masse anhydre d'un échantillon après séchage à $103 \pm 2^\circ C$ jusqu'à obtention d'une masse constante [22].

I.5.3.5. La masse volumique

Certains bois sont légers (peuplier, épicéa,) et d'autres sont très lourds (chêne, ...). La densité varie non seulement d'une essence à l'autre, mais aussi au sein d'une même espèce. Par ailleurs, elle varie en fonction de la teneur en eau. Elle est donnée par la relation suivante : [3]

$$\rho_X = \frac{M_X}{V_X} \dots \dots \dots (I.2)$$

Avec :

M_X et V_X masse et volume à l'humidité x .

I.5.3.6. La porosité

Le réseau cellulaire qui est formé par les parois, les lumens et les punctuations des différents éléments cellulaires fait du bois un matériau poreux. Une surface spécifique de la matrice solide, espace poreux effectif et la distribution des tailles des pores sont des aspects typiques dès ce type de matériaux. La porosité est définie par le rapport du volume de pores (V_p) au volume total (V_t) du matériau. Plus la porosité est importante, plus le bois est léger et moins il sera résistant, dur et stable [Almeida (2006) ; Ben Mansour (2011)]. [18]

$$\Phi = \frac{V_p}{V_t} \dots \dots \dots (I.3)$$

Φ : La porosité.

V_p : Le volume de pores.

V_t : Le volume total du matériau.

II. Le Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, qui est défini comme étant une matière inorganique finement moulue (de moins d'1 μm à 100 μm) [Cheumani (2009)] qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit aussi bien à l'air que sous eau liant ainsi les mélanges granulaires auxquels il est intégré. La réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus la réaction [Sedan (2007) ; Espinoza Herrera (2009)] s'opère rapidement.

II.1. Composition chimique du ciment

La composition chimique du ciment est répertoriée dans le tableau.I.1.

Tableau.I.1. Composition chimique du ciment [24]

Composition chimique	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	MgO
Teneur (%)	63,72	20,26	4,51	3,84	3,21	0,5	1,09

II.2. Le ciment portland

II.2.1. Composition chimique du ciment Portland

D'un point de vue minéralogique, le ciment est constitué de quatre phases considérées comme les principaux constituants issus de la combinaison chimique de la chaux (CaO) avec la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃) et l'oxyde de fer (Fe₂O₃). La composition minéralogique moyenne du ciment est donnée au **Tableau.I.2.**

En chimie cimentaire, on utilise des notations abrégées pour décrire chaque oxyde notamment : C=CaO ; S=SiO₂ ; A=Al₂O₃ ; F=Fe₂O₃ ; H=H₂O ; S=SO₃.

Tableau.I.2. Composition chimique du clinker de ciment Portland (ciment gris) [26]

Minéral	Silicate tricalcique	Silicate bicalcique	Aluminate tricalcique	Alumino-ferrite
Formulation chimique	3CaO.SiO ₂	2CaO.SiO ₂	3CaO.Al ₂ O ₃	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃
Notation cimentaire	C3S	C2S	C3A	C3AF
Proportion en masse	60-75%	10-20%	8-12%	8-12%

II.3. Mécanisme d'hydratation

L'hydratation du ciment Portland implique la réaction des quatre phases minérales qui le composent. Comme le ciment est composé principalement de C3S, c'est l'hydratation du C3S qui contrôle la cinétique globale de l'hydratation. Il existe cependant une synergie entre les différentes réactions. [27]

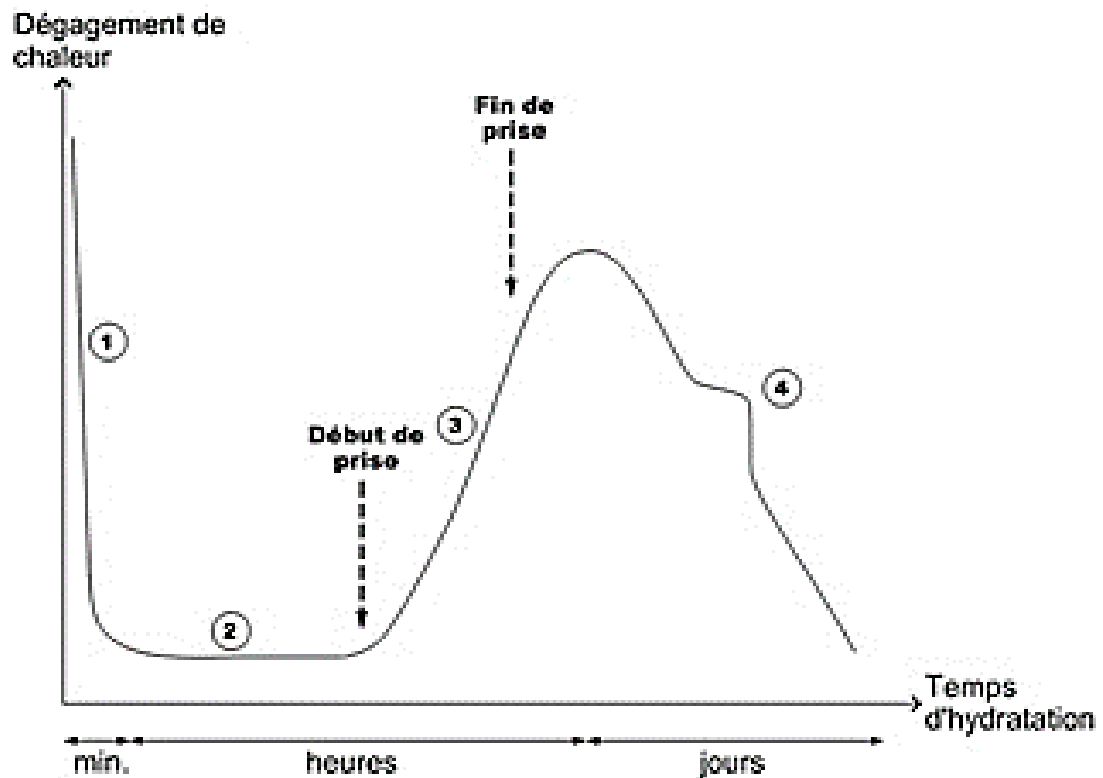


Fig.I.10. Courbe caractéristique de calorimètre isotherme d'un ciment (Alexa Bresson, 2006).

[27]

Il peut être découpée en quatre période :

- **Période 1 : réactions initiales**

Cette période débute dès le contact entre l'eau et le ciment et dure quelques minutes. Le C3S et le C3A des grains de ciment réagissent immédiatement avec l'eau, formant de l'ettringite et des C-S-H (métastables) : les ions entrent en solution.

- **Période 2 : période dormante**

Le dégagement de chaleur est faible. Aucune évolution de la pâte ne semble se produire. Les réactions chimiques ont pourtant commencé : des ions passent en solution dans l'eau durant cette phase (ions calcium, silicates, hydroxydes et sulfates). Quand l'eau de gâchage est saturée en ions, le début de la prise se produit. Le pH de la solution augmente, ce qui ralentit la dissolution des constituants.

- **Période 3 : période d'accélération**

Cette période débute lorsque la concentration en ions Ca^{2+} et OH^- de la solution devient critique, la conductivité électrique de la solution étant alors à son maximum. Cette sursaturation induit la précipitation de la portlandite. Il s'ensuit alors les mécanismes de dissolution, de nucléation et de précipitation des différentes phases, permettant la formation des hydrates

(ettringite, portlandite, C-S-H). Cette activité chimique dégage beaucoup de chaleur. Les hydrates formés commencent à s'enchevêtrer et créent donc un solide.

- **Période 4 : période de ralentissement**

Les grains anhydres se trouvent recouverts d'une couche d'hydrates qui s'épaissit de plus en plus. Pour que l'hydratation se poursuive, il faut que l'eau diffuse à travers les pores de gel. La chaleur dégagée diminue. Si le réseau poreux est fermé, une partie du ciment n'est jamais atteinte et donc ne sera jamais hydratée. C'est pendant cette période que l'ettringite de type AFt se dissout afin de se transformer en type AFm. Les mécanismes complexes à l'origine de la création des différents produits de l'hydratation que sont les silicates et les aluminates sont l'adsorption, l'hydrolyse, la dissolution, la solvataion et la cristallisation.

II.4. Propriété mécanique du ciment

Les ciments courants sont classés en fonction de leur résistance mécanique à la compression exprimée en MPA à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont présentées dans le tableau.I.4

Tableau. I.4. Résistance mécanique en fonction de la classe des ciments

Classe des ciments	Résistance à 2 jours	Résistance min à 28 jours	Résistance max à 28 jours
32.5	-	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5R	≥ 13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5	≥ 12.5	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5R	≥ 20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	≥ 52.5	-
52.5R	≥ 30	≥ 52.5	-

Les classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et trouvent leur intérêt, particulièrement, dans certaines circonstances telles que bétonnages par temps froids, décoffrage rapide, préfabrication.

Références bibliographiques

- [1]. BOUDOUMA Walid Sofiane BOUHENNIBA Mohammed ; "Identification du comportement mécanique du bois en compression" ; UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA - JIJEL, 2022.
- [2]. G. Tsoumis, "Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold," *presented at New York, U.S.A.*
- [3]. L. Yahiaoui, « Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss) », Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2011, p96.
- [4]. N. Bouhamed, « Élaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de farine de bois d'olivier », Thèses pour obtenir de Doctorat, Université Le Havre Normandie, France, 2020, p157.
- [5]. G. B. Mitra and P. S. Mukherjee, "X-ray diffraction study of fibrous polymers. I. Degree of paracrystallinity - A new parameter for characterizing fibrous polymers", *Polymer*, vol. 21, n° 12, pp. 1403-1409, 1980.
- [6]. N. Joly, "synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenues par acylation et réticulation de la cellulose", thèse doctorat de l'université de Limoges, chimie des substances Naturelles, 2003.
- [7]. C Couhert. "Pyrolyse flash à haute température de la biomasse ligno-cellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse", Thèse de pour obtenir le de Doctorat de l'École des Mines de Paris Energétique.2007.
- [8]. D, Hatsch, "Interaction hôte/pathogène : étude du modèle *Cumulus lupulus Fusarium graminearum*. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène," thèse de doctorat de l'université de Louis Pasteur Strasbourg I, Sciences du Vivant – Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie.2004.
- [9]. F. Dalmaso et J. Mézières, Calcul des propriétés élastiques des tissus utilisés dans les matériaux composites, Institut Français du Pétrole ,1998. Cité par MANSOUR Aicha, « Élaboration d'un matériau composite à base de granulats légers de nature végétale (déchet de bois),"Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2020.
- [10]. R.H. Falk, "Rapid growth of cement-cellulose fiber board," presented at Proceedings, 12th annual Excellence in housing conference and exposition, Dallas, 1994, February 23-26. Cité par KARECHE Abdelhak, « Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert, « Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.

- [11]. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/applications-du-bois-42654210/lignine-structure-production-et-valorisation-chimique-in235/>
- [12]. F. Pacheco-Torgala, S. Jalalib, "Cementitious building materials reinforced with vegetable fibers," 2011. Cité par KARECHE Abdelhak, « Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.
- [13]. <https://www.sayens.fr/actualites/reussite/extractible-du-bois/>
- [14]. R.S.P. Coutts, "A review of Australian research into natural fiber cements composites," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 518-526, 2005. Cité par KARECHE Abdelhak, « Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.
- [15]. C.Y.A. Maxime, "Étude de la microstructure des composites bois/ciment par relaxométrie RMN du proton," *Université BORDEAUX I*, 2009. Cité par KARECHE Abdelhak, « Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.
- [16]. B.R. Sharma, Naresh L., N.C. Dhuldhoya, S.U. Merchant and U.C. Merchant Lucid "Colloids Limited Jodhpur"-342005, Rajasthan, India,2006.
- [17]. A. Y. Nenonene, 'Élaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage'', thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.
- [18]. F. Zhou, G. Cheng et B. Jiang, Effect of silane treatment on microstructure of sisal fibers, *Applied Surface Science.*, Vol. 292, 2014, pp 806-812. Cité par MANSOUR Aïcha, « Élaboration d'un matériau composite à base de granulats légers de nature végétale (déchet de bois),"Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2020.
- [19]. Chérait Khaoula et Slimani Hiam, "valorisation de matière végétale (cas de palmier dattier) et son utilisation en domaine des matériaux composites," Université Echahid Hamma Lakhdar, El Oued, 2020.
- [20]. Bowyer, Jim L., Shmulsky, Rubin, et Haygreen, John G. *Forest products and wood science: an introduction.* 2003.
- [21]. D.P.M. Miller, A.A, "Wood-cement composites: Species and heartwood sapwood effects on hydration and tensile strength," *Forest Prod*, vol. 41, pp. 9-14, 1991. Cité par KARECHE Abdelhak, " Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.

- [22]. M. Hachmi, A.A. Moslemi, A.G. Campbell, "A new technique to classify the compatibility of wood with cement," *wood science technology*, vol. 24, pp. 345-354, 1990. Cité par KARECHE Abdelhak, « Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014
- [23]. Farid Touloum, "Contribution au développement de matériaux isolants dans le domaine du bâtiment. Utilisation du bois de palmier dattier," Université Mohamed Khider-Biskra, 2018.
- [24]. K.E.C. Semple, R.B. Evans, P.D, "Cement hydration tests using woodflour may not predict the suitability of *Acacia mangium* and *Eucalyptus pellita* for the manufacture of wood-wool cement board," *Holzforchung*, vol. 32, pp. 327-332, 1999. Cité par KARECHE Abdelhak, " Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.
- [25]. Salem LOUNAS ; Mohamed Ouahib SAIDJ " Élaboration et caractérisation d'un matériau composite Bois-Ciment «, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2023.
- [26]. Mengya Li, " Caractérisation expérimentale et modélisation du panneau composite bois-ciment. Matériaux, " Université de Lorraine, 2018.
- [27]. Agar-Ozbek A.S., Weeheijim J., Schlangen E., Bruegel K.V. Investigating porous Concrete with improved strength: testing at different scales. *Constr. Build. Mater.* 2013 ; 41 :480–490. Cité par Mengya Li, " Caractérisation expérimentale et modélisation du panneau composite bois-ciment. Matériaux, " Université de Lorraine, 2018.

Chapitre 99
Composites Bois-Ciment

II. Introduction

Les matériaux composites sont actuellement largement utilisés dans tous les secteurs de l'industrie en raison de leurs performances exceptionnelles, telles que leur résistance à la fatigue statique et dynamique ainsi que leur légèreté. En général, ces matériaux ne se déforment pas et ne se corrodent pas, et ils offrent une résistance moyenne aux impacts et aux chocs. Cependant, ils peuvent subir des effets du vieillissement causés par l'humidité et la chaleur, bien qu'ils soient imperméables aux produits chimiques, graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvants ou pétrole... Les composites ciment/bois trouvent principalement leur utilisation dans le domaine de la construction pour les maisons préfabriquées en raison de leurs excellentes propriétés d'isolation acoustique, de leur faible conductivité thermique ainsi que de leur résistance au feu, à l'humidité et aux attaques d'insectes.

II.1. Généralités sur les matériaux composites**II.1.1. Définition d'un matériau composite**

Un matériau composite est un assemblage ou un mélange hétérogène d'au moins deux composants, non miscibles mais ayant une forte capacité d'interpénétration et d'adhésion [1]. Le nouveau matériau ainsi constitué possède des propriétés avantageuses que les composants seuls ne possèdent pas. Un matériau composite se compose généralement d'une matrice, d'un renfort et éventuellement d'additifs comme des charges. Le renfort, souvent sous forme de fibres continues ou discontinues, assure la résistance mécanique, tandis que la matrice assure la cohésion entre les renforts pour répartir les sollicitations mécaniques. Les composites sont largement utilisés dans divers secteurs industriels comme l'aéronautique, le bâtiment, l'aérospatial et les sports et loisirs, en raison de leurs propriétés avantageuses telles que légèreté, résistance mécanique et faible masse volumique. Bien que le terme soit moderne, des matériaux composites ont été utilisés bien avant l'Antiquité, comme le torchis pour la construction ou l'arc mongol. [1-3].

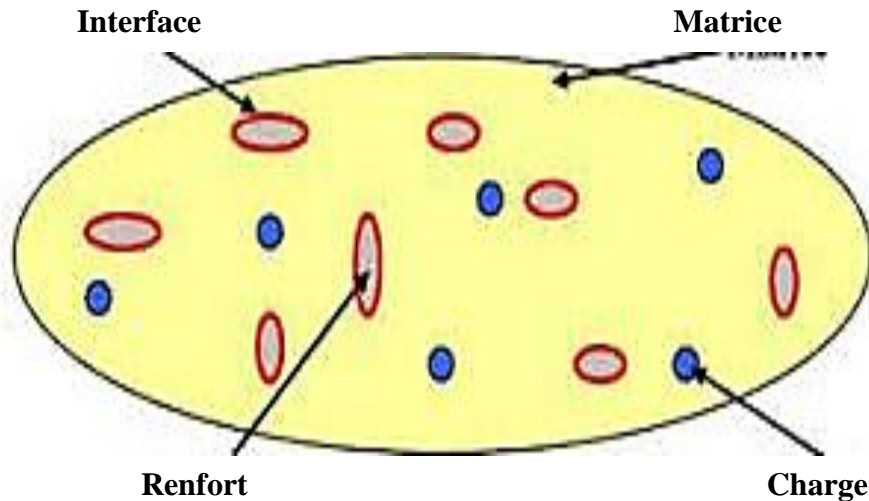


Figure. II.1. Schéma représentatif d'un matériau composite [4]

II.1.2. Types des matériaux composites

Les matériaux composites sont classés en trois grandes familles en fonction de la matrice qui les compose :

- Le **CMO** (ou composite à matrice organique) est le plus couramment employé actuellement en raison de son prix abordable qui permet une production en série.
- Le **CMC** (ou matrice céramique composite) est principalement employé dans des domaines très particuliers à haute technicité et à haute température : Astronautique, militaire et nucléaire.
- Le **CMM** (ou composite à matrice métallique) est un matériau composite qui est constitué d'aluminium, de zinc ou de magnésium, qui peut être employé dans différentes industries telles que l'automobile, les loisirs et l'électronique. Chacune de ces familles utilise des renforts différents pour compléter la matrice.

Dans la catégorie de composites la plus courante aujourd'hui, le composite à matrice organique, on peut identifier deux types :

- Le composite à grande diffusion est le moins coûteux à fabriquer et est employé dans la production de diverses pièces.
- La production du composite à haute performance est plus coûteuse, même s'il présente des qualités mécaniques supérieures. Il est donc employé dans les domaines de l'aéronautique, du nautisme, du sport et des loisirs. [5]

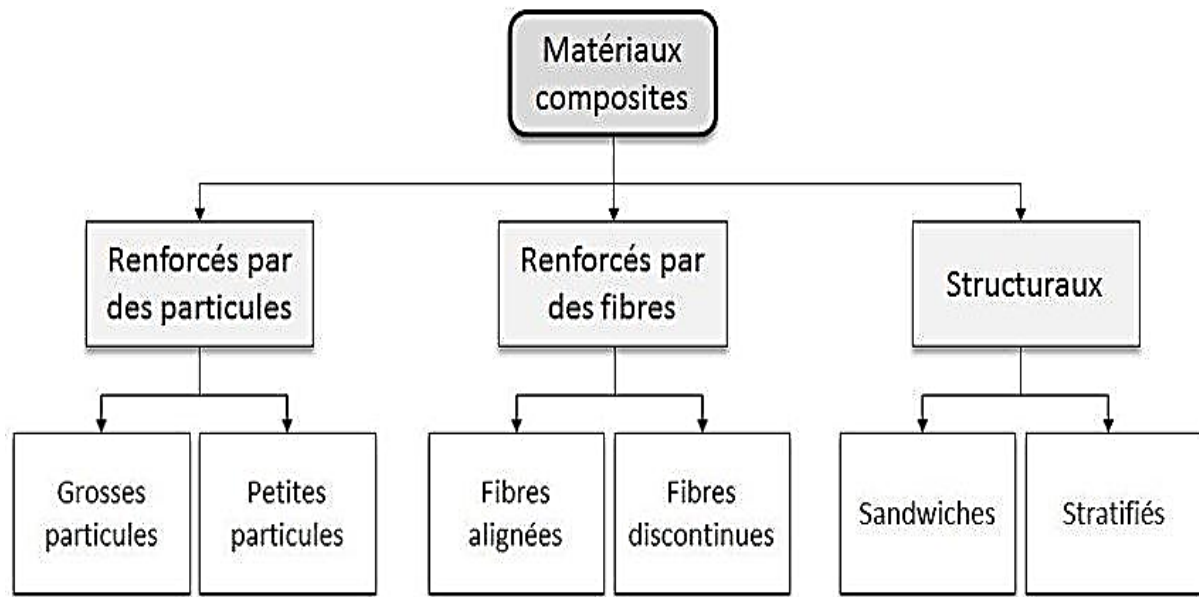


Figure II.2. Types des matériaux composites. [5]

II.1.3. Domaine d'application des matériaux composites

Les matériaux composites ont pris le dessus dans divers domaines et ce grâce à toutes les améliorations qu'ils ont apportées, et parmi leurs utilisations on peut citer :

- La construction navale
- Le domaine militaire
- L'aéronautique et l'aérospatiale
- L'électricité : éolienne
- Pièces industrielle
- Bâtiment....

II.2. Constituants des matériaux composites

II.2.1. Renforts

Les renforts est généralement compose de matériau plus dur que la résine, son rôle principal est d'assurer au matériau la résistance mécanique a la traction et a la rigidité des matériaux composite, et se présentent sous forme filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques) [5].

Il existe 3 catégories principales de renforts :

- Organique : Fibres de verre, d'aramide ...
- Minéral : Fibre de carbone, de céramiques ...
- Métallique : Fibre de bore, d'alumine ...



Figure. II.3. différentes catégories de renforts

II.2.2. Matrices

La matrice est l'un des composants de base des matériaux composites et remplit trois fonctions principales : répartir les charges mécaniques dans tout le renfort ; assurer la cohésion des fibres pour obtenir une meilleure homogénéisation globale et une déformation aisée mais des propriétés chimiques garanties ; La protection des fibres et la protection des renforts de l'environnement extérieur (chocs mécaniques ou thermiques) permettent également au produit réalisé d'avoir la forme souhaitée. En fonction des besoins industriels, les matrices peuvent être divisées en quatre catégories (matrices thermodurcies, matrices thermoplastiques, matrices thermiquement stables et matrices métalliques et céramiques). [7]

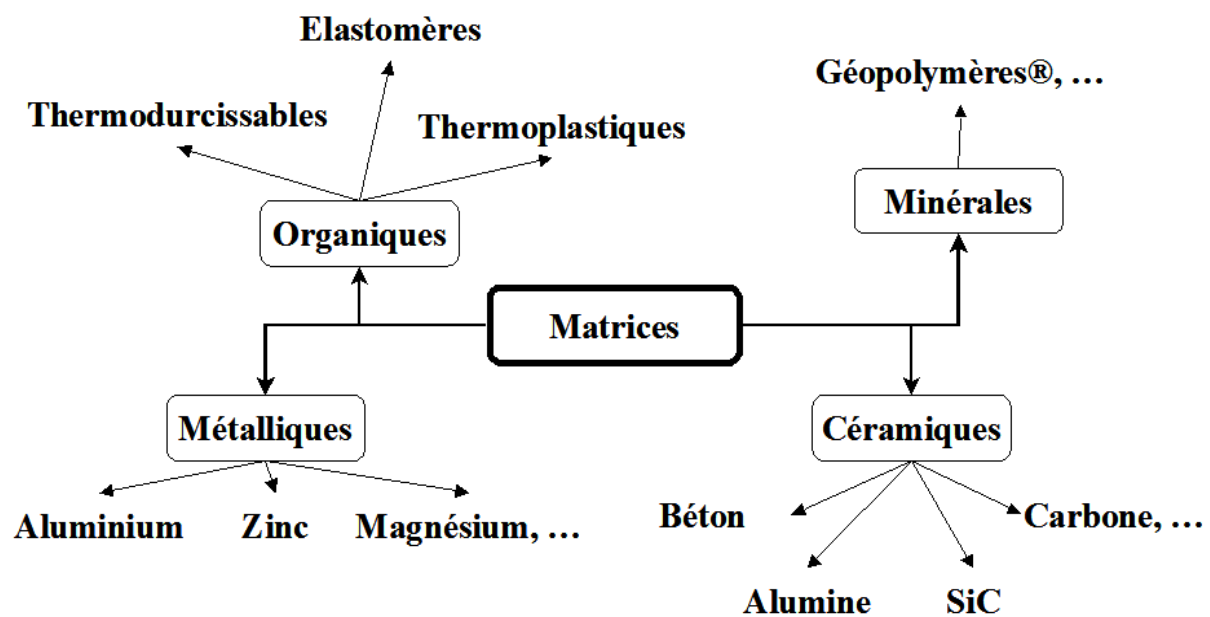


Figure. II.4. Les différentes matrices des matériaux composites

II.3. Avantages et inconvénients des composites

Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à :

- Leur légèreté
- Une résistance à la fatigue élevée (longue durée de vie)
- Une anisotropie élevée.
- Une faible masse volumique qui garantit une rigidité et une résistance élevées.
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion
- Insensibilité aux produits chimiques
- Possibilité de prendre plusieurs formes (pièces complexes)
- Bonne tenue au feu (attention aux dégagements toxiques)
- Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion
- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication
- La sensibilité à la chaleur
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte [9] .

II.4. Composites Bois-Ciment (CBC)

Les composites bois-ciment, aussi appelés fibrociment, sont des matériaux de construction composés d'un mélange de ciment, de fibres de bois, d'agréats et d'eau. Ils sont fabriqués en pressant ce mélange jusqu'à obtenir la forme et les dimensions souhaitées. Ces composites sont principalement utilisés pour des applications non structurelles comme les carreaux de plafond insonorisants, les revêtements extérieurs, les murs antibruit, etc. Ils peuvent aussi servir de coffrages isolants remplis de béton. [10]

Malgré la présence de nombreux produits sur le marché, les connaissances sur les composites bois/ciment restent encore restreintes. Des problèmes de compatibilité sont notamment rencontrés entre le ciment et certaines essences de bois, qui ne peuvent donc pas être utilisées dans cette forme. Il y a aussi eu des plaintes concernant la stabilité dimensionnelle et le vieillissement des composites qui ont été soumis à des variations d'humidité significatives. [11]

II.4.1. Effet du bois sur la prise du ciment

Toutes les espèces ne réagissent pas favorablement aux matériaux inorganiques. Un problème qui limite la fabrication des panneaux bois et liants inorganiques sont les faibles niveaux de compatibilité du bois avec le matériau inorganique.

Quelques espèces de bois peuvent donner d'excellents panneaux avec les matériaux inorganiques. Par ailleurs, il y a des espèces qui ne peuvent pas être utilisées de manière satisfaisante. [12]

Les sucres solubles dans l'eau, glucosides, composantes phénoliques, tanins et produits extractibles du bois inhibent l'hydratation du ciment, prolongeant la période de prise, diminuant la quantité et la taille des cristaux essentiels pour la résistance des matériaux inorganiques, c'est-à-dire, qu'ils ont un effet négatif sur la compatibilité entre le bois et le matériau inorganique. Plus la quantité d'extractibles est grande, plus l'incompatibilité du bois avec les matériaux inorganiques sont faibles. Généralement, les espèces avec une quantité égale ou supérieure à 70 % d'extractibles solubles dans l'eau sont considérées comme des espèces incompatibles. [12]

Les matériaux solubles dans l'eau du bois ont un grand pouvoir inhibiteur sur le ciment. Cependant, la relation entre la quantité d'extractibles solubles dans l'eau et la compatibilité bois/ciment n'est pas claire. Ainsi, les différentes espèces peuvent avoir une même compatibilité, même si elles ont différentes quantités d'extractibles. [13]

De plus, différentes espèces avec la même quantité d'extractibles peuvent avoir différents niveaux de compatibilité. Cela montre que la composition chimique des extractibles joue un rôle important dans la compatibilité entre le bois et le ciment. La compatibilité pourrait dépendre du type d'extractible. Généralement, les conifères sont plus compatibles avec les matériaux inorganiques que les feuillus. Cet effet est associé en partie à la quantité élevée d'hémicelluloses chez les feuillus (environ 34% chez les feuillus et 28% chez les conifères), mais principalement à la quantité et à la nature chimique des extractibles du bois qui varient en fonction de l'espèce. [14]

Le duramen est moins compatible que l'aubier avec les matériaux inorganiques à cause des types et des quantités plus grandes de produits extractibles dans le duramen. Mais l'aubier peut être moins compatible, car le lessivage des extractibles est plus difficile chez le duramen en

environnement aqueux que chez l'aubier parce que le duramen est moins perméable que l'aubier. En plus, on peut trouver une grande quantité de glucides solubles à l'intérieur et à la surface des particules d'aubier, ce qui peut réduire la compatibilité avec le ciment. [15]

L'incompatibilité entre le ciment et le bois peut être le résultat de plusieurs facteurs, incluant le type de ciment, la localisation géographique des espèces (type de sol, climat), la forme des particules de bois, le pH et autres. [15]

Le vieux bois est plus compatible que le bois récemment scié, selon les auteurs de la farine de bois est moins compatible que la laine de bois [16-17], chose qui peut être attribuée au lessivage plus facile des extractibles sous la forme de farine que chez la laine de bois.

Les espèces incompatibles ont une quantité égale ou supérieure à 7% d'extractibles solubles dans l'eau et une valeur de rapport de la capacité tampon acide et capacité tampon base (ABR), en dessous de 2.5 sont considérés comme espèces incompatibles avec le ciment. Le pH du bois a aussi un effet sur la compatibilité entre le bois et le ciment. Les espèces ayant un pH plus haut que 4.9 sont considérées comme incompatibles avec le ciment et compatibles si le pH est inférieur à 3-9. Les extractibles acides avec un pH faible inhibent beaucoup moins la cristallisation du ciment que les extractibles alcalins avec un pH élevé. Cependant, les bois acides pourraient diminuer le pH du mélange ciment/eau causant un résultat défavorable à la prise du ciment [17].

L'écorce a aussi été étudiée sur sa compatibilité avec le ciment, l'écorce de l'épinette noire est beaucoup moins compatible avec le ciment que le bois et elle s'est avérée inapte à la fabrication des panneaux bois-ciment.

Par ailleurs, les extractibles du bois solubles dans l'eau principalement les tannins hydrolysables, les acides salinés libres, les gras solubles et les composantes phénoliques peuvent retarder l'hydratation du gypse hemihydraté et altérer la structure et la taille des cristaux de gypse en réduisant la liaison entre le gypse et le bois.

L'incorporation de la matière végétale dans le ciment n'est pas forcément triviale, des problèmes de compatibilité chimique pouvant se poser. [17]

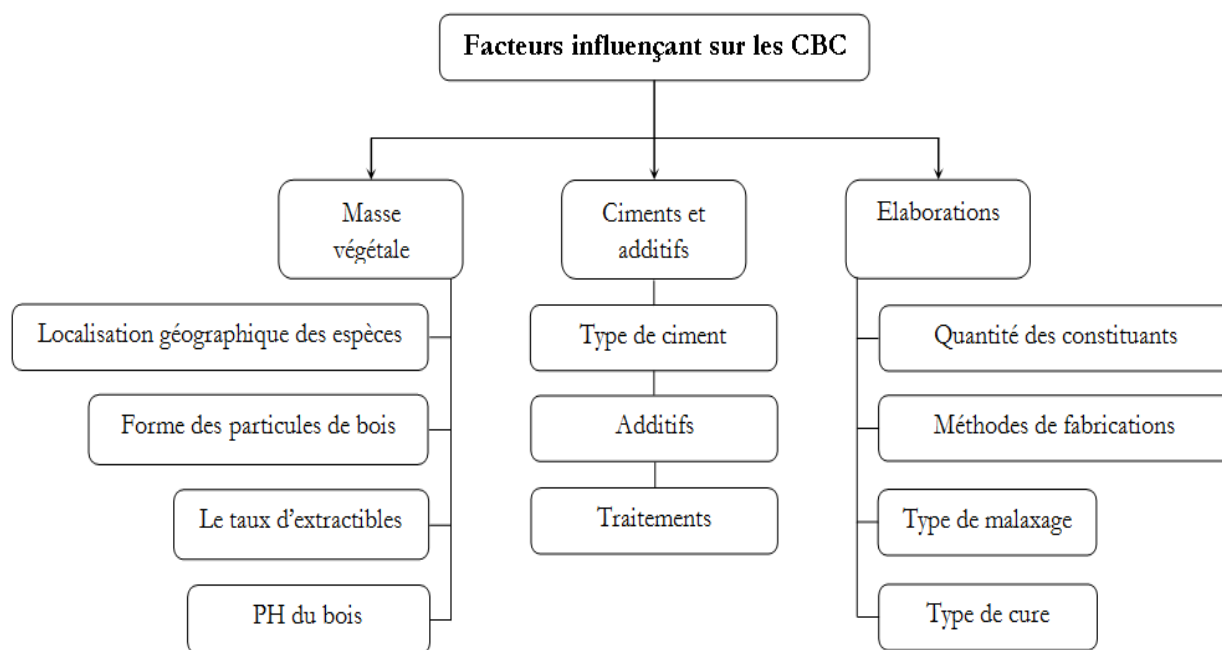


Fig.II.5. Facteurs influençant la prise du ciment. [13]

II.4.2. Propriétés des composites Bois-Ciment

Les panneaux composites bois-inorganiques sont fabriqués en volumes inférieurs à ceux des autres panneaux à base de bois qui utilisent des adhésifs synthétiques.

Les propriétés de ces composites sont considérablement affectées par le type de liant inorganique, la quantité de bois et la densité des panneaux. Les matériaux inorganiques utilisés sont le ciment Portland, l'oxyde de magnésium et le gypse. [13]

Les composites CBC combinent les bonnes propriétés du bois et des matériaux inorganiques .

II.4.3. Caractéristiques des composites Bois-Ciment

Les auteurs [Moslemi and Pfister (1987); Dittenber and GangaRao (2012)] rapportent que les caractéristiques des CBC dépendent fortement de la ressource végétale utilisée. En effet, la biomasse végétale présente des différences au niveau de leurs propriétés intrinsèques d'une espèce à une autre d'un endroit à un autre ... etc. Ainsi il ressort de la littérature en relation à l'utilisation des ressources végétale dans une matrice ciment la complexité du sujet. [18]

II.4.4. Propriétés des CBC

- Propriétés physiques

Densité : Les composites bois-ciment sont généralement légers, avec des densités allant de 1 000 à 1 400 kg/m³. Par exemple, une teneur en bois de 10 % donne une densité d'environ 1 310 kg/m³, ce qui le classe parmi les bétons isolants légers.

- Propriété thermique

Isolation thermique : Grâce à la présence de bois, ces composites possèdent de bonnes propriétés d'isolation thermique, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant une efficacité énergétique, comme l'isolation des murs. [19]

Stabilité dimensionnelle : L'un des défis majeurs réside dans les changements dimensionnels provoqués par l'humidité. Les matériaux composites peuvent subir des déformations importantes, limitant leur utilisation en extérieur s'ils ne sont pas correctement traités. [20]

- Propriété mécanique

Résistance à la flexion : La résistance à la flexion des composites bois-ciment a légèrement augmenté par rapport à l'échantillon témoin, indiquant une bonne interaction entre les particules de bois et le ciment.

Résistance à la compression : La résistance à la compression de ces composites atteint 18,11 MPa, surtout lorsque le pourcentage de bois est optimisé. Cela indique que la liaison entre le bois et la matrice cimentaire a une certaine efficacité.

II.4.5. Compatibilité Bois-Ciment

La compatibilité bois-ciment se réfère à l'affinité chimique et physique entre les fibres de bois et la matrice cimentaire dans un composite. En effet, toutes les espèces ne réagissent pas favorablement aux matériaux inorganiques (faible niveau de compatibilité du bois avec le matériau inorganique).

D'après plusieurs études, il a été démontré que l'élimination des substances extraites du bois entraîne la compatibilité avec le ciment. De ce fait, les espèces incompatibles peuvent se transformer en espèces compatibles en suivant des méthodes telles que l'extraction à l'eau chaude ou l'extraction avec des solutions diluées dans l'hydroxyde de sodium.

l'extraction des composantes solubles du bois avec de l'eau chaude est utilisée pour réduire le temps et améliorer la compatibilité, cependant quelques espèces ont présenté des températures inférieures à 50 °C, indiquant une homogénéité dans les mélanges.

Trois traitements ont été utilisés pour augmenter la compatibilité du bois, l'extraction à chaud étant meilleure que l'extraction à froid et l'extraction à la NaOH donnant de meilleurs résultats, mais certaines essences restent incompatibles.

Les panneaux composites bois/ciment sont fabriqués en utilisant des additifs et des accélérateurs afin de diminuer le temps d'extraction du ciment et d'améliorer la compatibilité des composants. Les chlorures sont les plus efficaces, compensant les effets négatifs du bois.

La teneur en humidité augmente avec la quantité d'accélérateur et des additifs comme le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$) et le silicate de sodium (Na_2SiO_3) sont également utilisés pour la fabrication de panneaux Portland et de panneaux composites en bois.

II.5. Traitements du bois permettant d'améliorer la compatibilité Bois-Ciment

Dans le but de garantir la compatibilité des espèces végétales avec le ciment ou d'améliorer leur compatibilité, diverses méthodes ont été développées au cours des études. On peut associer ces méthodes à la biomasse végétale ou à la matrice cimentaire.

II.5.1. Traitements physiques

- Traitement plasma

Le traitement par plasma est une technologie innovante qui peut améliorer les propriétés du bois, notamment sa résistance au feu, à l'abrasion et à l'eau, ainsi que sa compatibilité avec d'autres matériaux comme le ciment. Voici un aperçu détaillé de ce procédé et de ses applications. [21]

Le traitement par plasma utilise des décharges électriques pour créer un gaz ionisé (plasma) qui modifie la surface du bois. Ce processus se déroule à température ambiante et peut être réalisé à pression atmosphérique. L'application de plasma permet d'introduire des modifications chimiques et physiques sur la surface du bois sans l'utilisation de solvants ou de produits chimiques agressifs, ce qui en fait une méthode respectueuse de l'environnement.

- Traitement corona

Le traitement corona est une technique de traitement de surface qui utilise des décharges électriques pour modifier les propriétés des matériaux, en particulier pour améliorer leur adhésion et leur mouillabilité. Voici un aperçu détaillé de ce procédé et de ses applications, notamment dans le contexte du bois. [22]

Le traitement corona implique l'application d'une décharge électrique à haute tension sur la surface d'un matériau, créant ainsi un plasma qui ionise l'air environnant. Ce plasma génère des molécules ionisées qui se fixent à la surface du matériau, entraînant des modifications chimiques et physiques. Ce processus est réalisé à température ambiante et est particulièrement efficace pour les surfaces non conductrices comme le bois, le plastique et le verre.

II.5.2. Traitements chimiques**- Traitement par les silanes**

Le traitement par silanes est une méthode efficace pour améliorer les propriétés de surface des matériaux, notamment dans le domaine des composites bois-ciment. Voici un aperçu détaillé de ce traitement, de ses mécanismes et de ses applications. [23]

Les silanes sont des composés chimiques contenant des atomes de silicium et d'hydrogène, souvent associés à des groupes organiques. Ils sont utilisés comme agents de couplage pour améliorer l'adhésion entre des matériaux organiques et inorganiques. Le traitement par silanes implique généralement l'hydrolyse des silanes, suivie de leur application sur la surface du matériau, où ils forment des liaisons covalentes avec les groupes hydroxyles présents.

- Traitement par acétylation

Le traitement par acétylation est une méthode chimique utilisée pour modifier les propriétés du bois, en améliorant sa durabilité, sa résistance à l'humidité et sa stabilité dimensionnelle. Voici un aperçu détaillé de ce procédé.

L'acétylation consiste à traiter le bois avec de l'anhydride acétique, un dérivé du vinaigre. Ce processus augmente le nombre de molécules d'acétyle dans le bois, ce qui modifie sa structure chimique. Les hydroxyles libres, qui sont responsables de l'absorption d'eau et des variations dimensionnelles du bois, sont remplacés par des groupes acétyles, rendant le bois moins hydrophile. [24]

- Traitement alcalin

Le traitement alcalin du bois est une méthode qui utilise des solutions alcalines pour modifier les propriétés du bois, améliorer sa durabilité et faciliter son entretien. Voici un aperçu détaillé de cette technique.

Le traitement alcalin consiste à appliquer une solution contenant des agents alcalins, souvent à base de potasse ou d'autres composés, sur la surface du bois. Ce traitement est généralement utilisé après un nettoyage préalable du bois, comme un lavage à la lessive, pour éliminer les impuretés et préparer la surface. [25]

II.6. Synthèse des travaux réalisés sur les composites bois-ciment**- F. MNASRI**

L'étude explore la caractérisation d'une structure poreuse lignocellulosique composite hétérogène dans des environnements complexes, impliquant le bois et le ciment. Le matériau est caractérisé à l'aide de techniques de micro-tomographie, permettant l'identification de propriétés intrinsèques telles que la conductivité thermique et la perméabilité à la vapeur.

Une analyse des phénomènes de transfert de chaleur et de masse dans un milieu poreux de type bois a permis de maintenir cette étude. Les propriétés thermophysiques équivalentes d'un composite de mélange bois-ciment sont évaluées en utilisant des méthodes expérimentales et numériques.

Dans cette configuration, les deux caractéristiques évaluées sont la perméabilité et la conductivité thermique équivalentes. La porosité et la répartition des pores dans la phase continue (la phase solide) sont des facteurs importants qui influencent ces deux propriétés. En outre, la structure de ce matériau et les proportions volumiques de chaque composant ont un impact sur la création de sa microstructure, ce qui a un impact sur ses caractéristiques de transfert thermique et hydrique.

Toutes les connaissances acquises dans cette étude offrent une piste sérieuse pour la création d'un matériau écologique à propriétés contrôlées destiné à des utilisations particulières dans le domaine de la construction et de la rénovation.

- A. KARECHE

Recherche sur les matériaux fabriqués à partir de bois de palmier dattier (BPD) : résistance, détérioration et caractéristiques structurales et de transfert. Le but de cette étude consiste à proposer une réflexion à la fois pratique et essentielle sur les méthodes d'isolation thermique afin d'améliorer les conditions de confort dans les édifices. Cette recherche se concentre sur la création et l'élaboration de nouveaux composites, tels que des mortiers à base de palmier dattier. Elle examine la microstructure, la durabilité et la dégradation du bois de palmier, ainsi qu'une caractérisation générale des fibres de palmier dattier, telles que le séchage, la saturation, la perte et le gain de masse.

Selon la cinétique du séchage, il a été constaté que :

- Le processus de séchage permet d'éliminer une grande quantité d'eau du bois de palmier à une température d'environ 60°C ou 70°C, en fonction de la variété de bois, pendant une période de 24 heures.
- À une température de 90 °C, le bois trouve un équilibre avec l'environnement, ce qui permet une perte d'eau minimale et une stabilité des masses des échantillons.
- Les fibres de palmier dattier peuvent perdre 80% de leur masse et absorber 180% d'eau lorsqu'elles sont secs.

Lors de cette expérimentation, la deuxième étape consiste à effectuer une analyse (physique, thermophysique, mécanique et dégradabilité) des composites à partir de fibres de palmier dattier.

L'analyse d'un mortier pur et d'un mortier chargé par des fibres de bois BPD a révélé que :

- L'augmentation de la concentration des fibres de BPD dans le mortier entraîne une diminution significative de la densité volumique, de la conductivité thermique et de la résistance mécanique.
 - La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres. Cela correspond à la littérature. Effectivement, la plupart des écrivains indiquent que l'incorporation de fibres végétales dans le béton ou le mortier ne renforce pas sa résistance à la compression.
 - L'absence d'une hydratation efficace entre le ciment et les fibres, en particulier à partir d'une concentration de 20% de fibres de BPD, a entraîné l'apparition de fissures sur ces composites.
- Les matériaux à base de BPD ont une caractérisation thermophysique qui démontre que les fibres de BPD présentent une excellente capacité d'isolation thermique. Par exemple, la conductivité thermique dans l'état humide peut atteindre 0,7 W.m-1. K-1, tandis que la conductivité thermique dans l'état sec peut atteindre 0,7 W.m-1. K-1 le niveau de chaleur dans

l'état sec est d'environ $0,1 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Ce résultat confirme que les fibres de palmier dattier offrent une excellente isolation thermique dans un environnement humide.

Par contre, les mortiers qui ne contiennent pas de fibres de BPD peuvent atteindre une puissance de $0,86 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ dans un environnement sec.

L'analyse a également permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les fibres de BPD sont utilisées pour améliorer la propriété thermique d'isolation du mortier. En fonction de la quantité de fibres de BPD, il est possible d'obtenir des résistances mécaniques intéressantes et une variété de catégories de mortiers légers.
- La structure semble plutôt uniforme et compacte, avec une bonne adhérence des fibres de BPD avec le mortier, même si de faibles quantités de fibres de BPD sont ajoutées.
- Seule la résistance mécanique diminue lorsque la quantité de fibres de BPD augmente, tandis que la conductivité thermique augmente lorsque l'humidité augmente.

Il est évident que l'impact de l'eau sur les mortiers contenant des fibres de BPD entraîne une détérioration irréversible. Cela entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques de ces composites. Effectivement, l'ajout d'eau dans le mortier contenant des fibres de BPD entraîne une modification des caractéristiques structurales : la déformation de l'interface entre les fibres et la matrice en raison du gonflement, en particulier pour les fibres grossières, et la fissuration. Dans cette étude, il a été prouvé que les composites à base de bois de palmier dattier sont un excellent choix pour être employés comme isolant thermique dans les constructions. De plus, les longues périodes d'exposition des composites bio-sourcés à des conditions hygrothermiques entraînent inévitablement la détérioration des fibres vertes.

- **M. LAHOUIOUI**

L'objectif de ce projet est de développer et d'évaluer les caractéristiques physico-thermiques et acoustiques de nouveaux éco-composites à base de bois de palmier. L'objectif est de proposer un matériau écologique renforcé par des fibres de palmier pour être utilisé comme isolant thermique et sonore.

Les matériaux composites employés dans ce projet sont constitués d'un mélange de ciment, d'eau et de sable avec des concentrations de fibres variées (0%, 2,5%, 10% et 20%). Pour accroître l'engagement les fibres ont été soumises à divers traitements chimiques entre elles et la matrice cimentaire, tels que les suivants :

- Un nettoyage facile avec de l'acétone et de l'éthanol.
- Une approche alcaline pour le résidu issu du premier lavage.

- Un procédé de blanchiment à base d'hypochlorite de sodium
- Après le premier lavage, la lignine est extraite par attaque directe avec de l'acide sulfurique concentré.

Il a été effectué une analyse des performances thermophysiques, mécaniques, acoustiques et de la cinétique d'absorption et de désorption d'eau de ces composites.

Selon les résultats, il a été constaté que l'ajout de fibres de palmier dattier non traitées et traitées diminue leur conductivité thermique, passant de $1,38 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour le ciment pur à $0,31 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour les composites avec 5% de fibres.

En outre, la résistance à la compression diminue dès que les composites sont enrichis en fibres naturelles. La résistance mécanique de ces composites augmente après le traitement chimique des fibres, tout en restant inférieure à celle du ciment pur. Les composites ont un coefficient d'absorption acoustique de 0,8 à des fréquences élevées [1800-200 Hz] pour les analyses acoustiques. Ainsi, ces composites offrent des performances thermiques et acoustiques satisfaisantes, tout en ayant des propriétés mécaniques satisfaisantes. Ainsi, cette étude démontre que les composites récemment développés peuvent servir de matériaux d'isolation thermique et sonore dans les constructions.

- **M. Li**

La présente étude concerne la caractérisation expérimentale et la modélisation du panneau composite bois-ciment. Elle se concentre sur l'analyse d'un composite composé de fibres de bois et d'une pâte de ciment Portland, dans le but de diminuer l'impact environnemental des bâtiments. Ces composites sont de plus en plus employés dans le domaine de la construction durable, en tant qu'éléments complémentaires, en raison de leurs caractéristiques thermiques, hydriques, mécaniques et acoustiques.

Afin d'accomplir cette tâche, cette étude a été divisée en trois parties distinctes et complémentaires : La résistance mécanique des éprouvettes à la compression et à la flexion est analysée. Le comportement hygrothermique des panneaux bois-ciment dans des environnements humides l'étude se conclut par l'analyse du comportement à haute température des panneaux composites bois-ciment dans des conditions d'utilisation naturelle.

Le module d'Young MOE, la limite d'élasticité (RE) et la résistance à la rupture (MOR) du matériau composite bois-ciment ont été évalués grâce à l'analyse mécanique effectuée sur des

éprouvettes en compression et en flexion à trois points. La résistance mécanique en compression est plus élevée que celle en flexion, comme le démontrent les tests.

Selon les simulations, il est démontré que le modèle CDPM (Modele de plasticité des dommages au béton) proposé est disponible dans le logiciel d'éléments finis. Abaqus peut décrire l'inélasticité totale d'un matériau bois ciment à la fois en traction et en compression, en prenant en considération l'impact de l'endommagement.

Lors de l'opération de coulage, il est recommandé de respecter ces hauteurs d'assemblage autorisées : $h=0.5\text{m}$ pour un panneau d'épaisseur $t=25\text{mm}$; $h=1.0\text{m}$ pour un panneau d'épaisseur $t=35\text{mm}$; $h=1.5\text{m}$ pour un panneau d'épaisseur $t=50\text{mm}$.

Les expériences hygrothermiques menées en laboratoire et les résultats d'analyse du comportement à hautes températures des panneaux de coffrages obtenus ont démontré que le matériau étudié offre des résultats satisfaisants en améliorant le confort intérieur des bâtiments et en économisant de l'énergie, offrant ainsi une alternative aux matériaux de construction traditionnels grâce à son action sur la régulation de l'humidité interne.

- **Y. Daniel AGOSSOU**

La recherche intitulée "Analyse de la formulation et de la modélisation des résistances mécaniques des composites à matrice cimentaire renforcés par des biomasses végétales : étude des fibres de rônier et des balles de riz" s'inscrit dans la tendance des recherches menées pour développer de nouveaux matériaux à base de fibres végétales pouvant être utilisés dans le domaine de la construction. L'objectif de cette recherche est d'analyser les propriétés du composite obtenu en incorporant des fibres courtes du *Borassus Aethiopum* Mart (rônier) et des balles de riz dans une matrice cimentaire. Contrairement aux fibres de rônier, les balles de riz présentent une forte capacité d'hygrométrie.

Les études de caractérisation se sont concentrées d'une part sur les caractéristiques physiques telles que la densité et l'absorption, tandis que d'autre part sur les caractéristiques mécaniques telles que les résistances en flexion quatre points et la compression. Dans le but d'analyser l'influence du dosage en liant, de la granulométrie et de la quantité d'eau sur ces caractéristiques, dix-huit formulations ont été créées et testées à l'aide d'éprouvettes prismatiques de $4\times 4\times 16\text{ cm}^3$ sur chaque composite.

Les conclusions obtenues sont encourageantes : les échantillons présentent des densités assez basses pouvant atteindre 980 kg/m^3 pour les composites de fibres de rônier ciment et 1040

kg/m³ pour les composites de balles de riz, ce qui permet de classer le matériau dans la catégorie des bétons légers.

Les composites fibres de rônier ciment ont des résistances maximales de 7,75 MPa en traction par flexion, tandis que les composites balles de riz ciment ont des résistances maximales de 12,25 MPa pour les rapports optimaux Eau/Ciment. Ces valeurs maximales de résistance à la compression du composite. Les composites de fibres de rônier ciment ont une densité de 15,52 MPa, tandis que les composites de balles de riz ciment ont une densité de 15,63 MPa.

- **F. TOULOUM**

L'objectif principal de cette étude est d'examiner la possibilité de créer des composites bois-ciment sans compactage en utilisant des particules végétales provenant du bois de palmier dattier (Rachis et Pétiole) en combinaison avec du ciment portland. L'objectif est d'améliorer l'isolation thermique des enveloppes extérieures des bâtiments.

Tout d'abord, l'étude expérimentale commence par l'introduction d'une méthode de formulation en remplaçant le sable pour les mortiers et le ciment pour les pâtes. Ensuite, pour confirmer la méthode mise en œuvre, différents tests à l'état frais et durcis ont été réalisés. Des mesures de l'affaissement ont été effectuées sur tous les échantillons à l'état frais. Les tests mécaniques de résistance à la flexion et à la compression ont été effectués à l'état durci sur des éprouvettes âgées de 14, 21 et 28 jours.

Des analyses calorimétriques (semi-adiabatiques), du temps de prise (Vicat) et microscopiques (MEB) ont été réalisées pour compléter l'étude, ainsi que l'ajout d'accélérateurs de prise tels que le chlorure de calcium (CaCl₂).

Sur le plan thermique, la conductivité thermique du composite diminue en fonction de la quantité de particules de bois de palmier dattier. Les résultats obtenus à 28 jours sur les composites CBC, en particulier pour la quantité de particules de bois à 4 % ($\lambda = 0,64$ W/m.K), sont plutôt satisfaisants par rapport à d'autres matériaux à base de fibres végétales, comme le Mortier - fibre de coco ($\lambda = 0,65$ W/m.K). De plus, les paramètres suivants influencent la conductivité thermique de ces composites : le rapport E/C, l'âge du composite, la quantité de ciment et l'humidité relative de ces matériaux.

Les résultats des tests de compression mettent en évidence une réaction conventionnelle du CBC. Effectivement, la contrainte de compression diminue en fonction de la quantité de particules de bois de palmier dattier présentes dans le composite. Néanmoins, à une certaine quantité de particules (3%), le composite bois-ciment produit présente une contrainte assez élevée ($R_c = 30,51$ MPa) par rapport à d'autres produits similaires de type ciment-filler-sable-bois ($R_c = 10,6$ MPa).

D'un point de vue thermique, les résultats obtenus sur les composites bois-ciment pendant 28 jours, en particulier pour la quantité de particules de bois à 10 %, qui équivaut à $0,24$ W/m.K, sont similaires à ceux des bétons légers conformément à la norme ASTM C109/C109-95.

En même temps, les tests de compression effectués sur les composites bois-ciment à maturation ont montré un comportement très spécifique, en particulier pour les concentrations en particules 2, 4, 6 et 8%. Ce résultat ne concorde pas avec ceux de la littérature qui a signalé une réduction de la contrainte de compression en fonction de la quantité de particules de bois présentes. En ce qui concerne cette étude, la réduction de la contrainte n'est significative qu'au-delà de 8%. Selon la norme ASTM C 109/C 109-95, le matériau composite bois (avec une teneur de 8%) ciment, élaboré dans cette étude, pourra être employé dans le secteur du bâtiment, en particulier pour recouvrir les murs.

L'analyse et la discussion développées dans la section des essais de compression ont été confirmées par les essais de flexion. Ces expériences ont démontré une amélioration des caractéristiques mécaniques du composite bois (8%) ciment, principalement grâce à une adhésion efficace à l'interface entre les particules de bois de palmier dattier et le ciment, ce qui se traduit par un transfert de charge matrice-particules plus efficace.

- **L. ANES**

L'objectif principal de ce travail, intitulé « Élaboration et caractérisation d'un composite bois-ciment », consiste à créer un matériau composite à matrice cimentaire et à renfort en bois d'eucalyptus, un matériau novateur dans le domaine de la construction en Algérie, qui sera utilisé en panneaux isolants pour réduire les importations. L'avantage économique de ce matériau composite réside principalement dans la valorisation de la matière première locale bois et ciment.

Dans cette étude, nous avons abordé le problème de la non-compatibilité du bois avec la matrice cimentaire. Pour résoudre cette problématique, nous avons utilisé différents traitements du bois, tels qu'un traitement à l'eau bouillante et un traitement chimique avec de l'hydroxyde de sodium. On a comparé ces deux traitements au bois d'eucalyptus non traité.

Afin d'évaluer l'impact du bois sur la capacité d'hydratation du ciment, nous avons effectué un suivi de la vitesse d'hydratation en milieu concentré et dilué, puis nous avons effectué une caractérisation mécanique et thermique du composite formé.

Le bois d'eucalyptus a retardé l'hydratation du ciment et le traitement à l'eau bouillante n'améliore pas le processus d'hydratation, comme le montrent les résultats de l'étude expérimentale. Par contre, c'est le traitement alcalin qui présente les meilleures performances mécaniques, en particulier en ce qui concerne la résistance à la flexion. D'après les normes actuelles, ces matériaux composites peuvent être utilisés pour isoler thermiquement les bâtiments, en particulier pour recouvrir les murs.

- **M.Bedrina**

Selon M. Bedrina et ses collègues, il est envisageable d'obtenir des bétons légers de sable qui possèdent des propriétés thermiques et mécaniques exceptionnelles. En fonction de la quantité de bois, des bétons de structure d'isolation peuvent être obtenus. L'homogénéité de la structure du matériau et l'adhérence entre le bois et le ciment sont visibles dans les figures II.6.

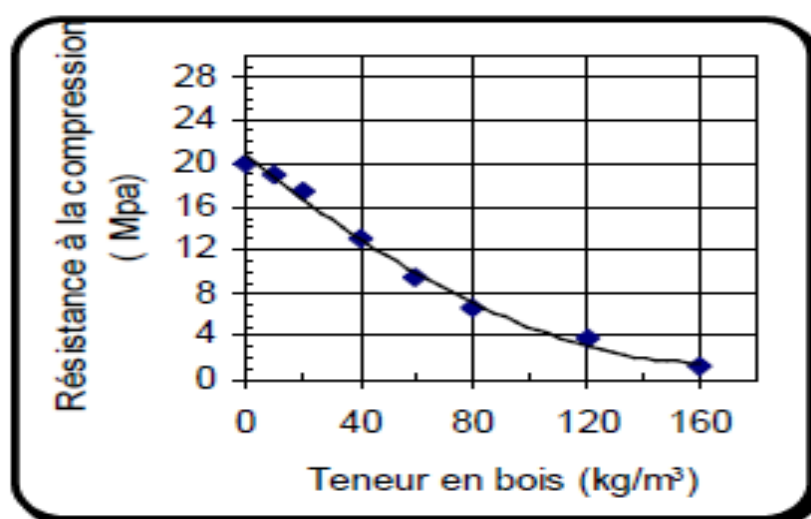


Figure II.6. Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur en bois

- N. Benmansour

Le but principal de cette étude est de favoriser la mise en valeur des ressources naturelles et locales, comme le bois de palmier dattier et le mortier, pour les incorporer dans le domaine de l'isolation thermique des constructions.

Ainsi, cette étude expérimentale concerne les caractéristiques thermophysiques et mécaniques du mortier chargé de bois de palmier dattier, afin de l'utiliser dans les domaines de l'isolation thermique des bâtiments. L'utilisation de trois types de fibres de palmier dattier permettra de mettre en évidence l'impact de la taille des fibres. Selon les résultats obtenus, l'ajout de fibres de palmier dattier diminue la conductivité thermique et la résistance à la compression des matériaux composites, tout en diminuant leur poids. En outre, l'absorption de l'eau a un impact considérable sur la conductivité thermique des composites. La concentration des FPD a un impact plus important sur les caractéristiques mécaniques et thermiques du composite que la taille des fibres. En effet, lorsqu'il y a moins de 15% de fibres, les composites répondent aux exigences thermiques et mécaniques des matériaux de construction et pourraient être employés comme de nouveaux matériaux biocomposites pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Par ailleurs, une analyse numérique a été réalisée en se basant sur la méthode des éléments finis afin de prédire la conductivité thermique réelle des composites. Cette méthode numérique a également été utilisée afin d'évaluer la conductivité thermique réelle des biocomposites développés dans cette étude. De plus, une analyse comparative a été effectuée entre les résultats numériques, expérimentaux et les modèles théoriques.

II.7. Conclusion

Les panneaux de ciment composites ne sont pas de nouveaux matériaux utilisés dans le domaine de la construction, car ils étaient disponibles sur le marché au début des années 1960. Plusieurs applications d'ingénierie ont été développées en utilisant des panneaux structuraux à haute densité liés au ciment. [26].

Ces matériaux sont plus respectueux de l'environnement et économiques à fabriquer. Notamment, les fibres de bois qui ont une conductivité thermique similaire à celle du polystyrène expansé et de la laine de verre. [27].

De plus, ils sont pratiques à la fois pour la construction neuve et/ou pour la rénovation et ils offrent une excellente qualité sonore en raison de leur capacité à absorber les bruits. Dans cette situation spécifique, les biomatériaux offrent une alternative économique et technologique

attrayante. La fabrication d'un matériau bois-ciment à base de fibres de bois présente un autre avantage majeur : son coût de revient inférieur par rapport aux autres matériaux de construction (béton ordinaire, acier, bois, etc.), sa disponibilité en quantités importantes, son respect de l'environnement et sa facilité de transformation.

L'inconvénient majeur de ces matériaux bois cimentaires réside dans leur faible résistance mécanique, ce qui restreint leur utilisation dans le domaine du bâtiment. Il a été démontré par les recherches réalisées dans ce domaine que l'utilisation de copeaux de bois comme granulats a un impact sur la résistance mécanique et la durabilité. Selon Agar-Ozbek et ses collègues, les caractéristiques mécaniques associées à la résistance et à la durabilité sont principalement influencées par la texture, la forme et la taille de l'agrégat. Kevern et ses collègues. D'autres études ont montré que l'accroissement de l'absorption des gros granulats diminue la résistance et le mélange avec de longues microfibrilles augmente la résistance Kevern et ses collègues. D'autres études ont montré que l'accroissement de l'absorption des gros granulats diminue la résistance et le mélange avec de longues microfibrilles augmente la résistance. Il convient de souligner que la plupart de ces études ont été menées sur des échantillons composites bois-ciment comprenant un béton perméable et poreux.

Références bibliographiques

- [1] F. Zhou, G. Cheng et B. Jiang, Effect of silane treatment on microstructure of sisal fibers, *Applied Surface Science.*, Vol. 292, 2014, pp 806-812. Cité par MANSOUR Aïcha, « Elaboration d'un matériau composite à base de granulats légers de nature végétale (déchet de bois),"Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2020.
- [4] Lahlou. Lamine ; Khimoud Sami, " Elaboration et Caractérisation d'un composite Biodégradable à base de grignon d'olive", Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2022.
- [5] Bourbia Imene ; Ouali Atika,"Analyse numérique du comportement mécanique des ponts renforcés par matériaux composites « BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY, 2021.
- [6] L.Berreur, Bertrand de Maillard, Stanislas Nösperger, L'industrie française des matériaux composites, Nodal Consultants, p17, 2002. Cité par MANSOUR Aïcha,"Elaboration d'un matériau composite à base de granulats légers de nature végétale (déchet de bois),"Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2020.
- [7] F. Dalmaso et J. Mézières, Calcul des propriétés élastiques des tissus utilisés dans les matériaux composites, Institut Français du Pétrole ,1998. Cité par MANSOUR Aïcha,"Elaboration d'un matériau composite à base de granulats légers de nature végétale (déchet de bois),"Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2020.
- [8] Plastiques et composites technique de l'ingénieur Auteur(s) : Michel CHATAIN. Date de publication : 10 oct. 2001
- [9] Ch. Belkacemi , « étude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renforts en matière végétale », Thèse de doctorat, Université M'Hamed Boguera Boumerdes, 2006, p57.
- [10] R.S.P. Coutts, "A review of Australian research into natural fiber cements composites," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 518-526, 2005. Cité par KARECHE Abdelhak. "Etude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.

[11] C.Y.A. Maxime, "Etude de la microstructure des composites bois/ciment par relaxométrie RMN du proton," *Université BORDEAUX I*, 2009. Cité par KARECHE Abdelhak, "Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.

[12] M. Hachmi, A.A. Moslemi, A.G. Campbell, "A new technique to classify the compatibility of wood with cement," *wood science technology*, vol. 24, pp. 345-354, 1990. Cité par KARECHE Abdelhak, "Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert," Université Hadj Lekhdar Batna, 2014.

[13] A.D.M. Hofstrand, A.A. Garcia, J.F, "Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixes with Portland cement," *Forest Prod*, vol. 34, pp. 57-61, 1984.

[14] D.W. Fengel, G, "Wood chemistry, ultrastructure, reactions," Walter of Gruyter, New York 1983.

[15] D.P.M. Miller, A.A, "Wood-cement composites: Species and heartwood sapwood effects on hydration and tensile strength," *Forest Prod*, vol. 41, pp. 9-14, 1991.

[16] M. H. Simatupang, H. Lange, H. Kasim, N. Seddig, "Influence of wood species on the setting of cement and gypsum," presented at fiber and Particleboard Bonded with Inorganic Binder, Idaho, USA., 1988.

[17] K.E.C. Semple, R.B. Evans, P.D, "Cement hydration tests using woodflour may not predict the suitability of *Acacia mangium* and *Eucalyptus pellita* for the manufacture of wood-wool cement board," *Holzforchung*, vol. 32, pp. 327-332, 1999.

[18] Farid Touloum, "Contribution au développement de matériaux isolants dans le domaine du bâtiment. Utilisation du bois de palmier dattier," Université Mohamed Khider-Biskra, 2018.

[21] <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/lactivation-de-surface-par-plasma-une-technique-respectueuse-de-lenvironnement-pour-le-marquage-uv-des-plastiques-119912/>.

[22] A.Abdelkebir, "L'effet de la température de mercerisation sur les propriétés du composite (Tissus de Jute / Polyester", Université Mohamed Boudiaf -M'sila, 2017. Cité par Chérait

Khaoula et Slimani Hiam, "valorisation de matière végétale (cas de palmier dattier) et son utilisation en domaine des matériaux composites," Université Echahid Hamma Lakhdar, El Oued, 2020.

[23] A.Djamel Eddine, " Extraction, caractérisation morphologique, physico-chimique et mécanique des fibres caulinaires de *Retama monosperma* L.Boiss, thèse de doctorat, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 2016.Cité par Chérait Khaoula et Slimani Hiam, "valorisation de matière végétale (cas de palmier dattier) et son utilisation en domaine des matériaux composites," Université Echahid Hamma Lakhdar, El Oued, 2020.

[24] R. Agrawal, N. S. Saxena, K. B. Sharma, S. Thomas, and M. S. Sreekala "Activation energy and crystallization kinetics of untreated and treated oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites," (in English), *Materials science and engineering. a- structural materials properties microstructure and processing*, Article vol. 277, no. 1-2, pp. 77-82, Jan 2000. Cité par Chérait Khaoula et Slimani Hiam, "valorisation de matière végétale (cas de palmier dattier) et son utilisation en domaine des matériaux composites," Université Echahid Hamma Lakhdar, El Oued, 2020.

[26] Li M., Khelifa M., El Ganaoui M. Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates. *Int J Sustainable Built Environ*, 2017 ; 6 :587–596. Cité par Mengya Li, "Caractérisation expérimentale et modélisation du panneau composite bois-ciment. Matériaux," Université de Lorraine, 2018.

[27] Papadopoulos A.N., Ntalos G.A., Kakaras L. Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB. *Holz als Roh- und Werkstoff* 2006 ;64 : 517–518. Cité par Mengya Li, "Caractérisation expérimentale et modélisation du panneau composite bois- ciment. Matériaux," Université de Lorraine, 2018.

Chapitre 999
Matériaux d'étude et
Techniques Expérimentales

III. Introduction

Notre travail expérimental se focalise sur l'élaboration et la caractérisation des composites bois-ciment réalisés à partir d'une matrice cimentaire renforcée par des particules du bois d'olivier. Ce chapitre se concentre sur la présentation des matériaux utilisés dans cette étude, la méthode expérimentale d'élaboration de nos composites Bois-Ciment, ainsi que les diverses méthodes employées pour caractériser la farine de bois et nos composites Bois-Ciment élaborés.

III.1. Matériaux d'étude

III.1.1. La farine du bois

III.1.1.1. Caractérisation de la farine du bois

Le type de bois utilisé dans cette étude est une farine du bois d'olivier, récoltées après avoir ramassé les brandilles restante de la récolte. Le bois d'olivier est un matériau précieux, réputé pour sa beauté, sa durabilité et ses propriétés uniques. Issu de l'arbre d'olivier, qui est cultivé principalement dans les régions méditerranéennes (Algérie, Espagne, Tunisie, Italie, Turquie, Grèce, Maroc, Syrie, Portugal). Ce bois est utilisé depuis des siècles pour divers objets, notamment des ustensiles de cuisine et des meubles.

Le bois d'olivier a une couleur jaune pâle à brun doré avec des veines sombres qui créent des motifs uniques et distinctifs dans le grain du bois. Les nœuds et les irrégularités du bois d'olivier ajoute un style intéressant à la surface de l'objet en bois.

III.1.1.2. Le broyage

Le bois récupéré est débarrassé des feuilles et de l'écorce. Dans un premier temps le bois est découpé en bâton et la sciure est récupérée, puis conservée dans l'étuve à 100 °C pour son séchage. Par la suite la sciure est broyée avec un blinder. La poudre obtenue est mise séchée dans une étuve à 100 °C jusqu'à stabilisation de la masse.



Figure III.1. Séchage après broyage du sciure de bois d'olivier

III.1.1.3. Tamisage de la farine du bois

Les particules passant à travers le tamis de 315 μ m et retenues par le tamis 125 μ m ([315-125]) (figure III.2.) seront utilisées pour l'élaboration de nos composites bois ciment. Ce choix granulaire est préférable du point de vue malaxage afin d'éviter de voir apparaître des amas (mélange non homogène) qui infecteront négativement le comportement mécanique du matériau, de réduire le taux d'absorption des particules qui est corrélé à la surface spécifique de ces dernières et d'avoir ainsi une surface de contact bien meilleure avec la matrice cimentaire. Par ailleurs, l'étude préliminaire sur la granulométrie des particules issues du broyage industriel nous obligent à changer de gamme en passant au plus fin pour cause de ségrégation due à la densité dans cet état du bois d'olivier.



Figure III.2. Tamiseur électrique.

III.1.1.4. Mesure de la masse volumique de la farine du bois

La mesure de la masse volumique (ρ) de la farine de bois a été réalisée en compactant la farine en pastilles à l'aide d'une pastilleuse cylindrique de 13mm sous une presse hydraulique à une force de 30MPa pendant quelques secondes (Fig. III.3). Sept mesures ont été effectuées sur sept pastilles. Ces dernières ont été séchées dans une étuve à 100°C pendant 24 heures. Par la suite, les pastilles ont été pesées à l'aide d'une balance analytique après séchage et leurs dimensions ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse.



Figure III.3. Presse hydraulique

La masse volumique (ρ) a été calculée en utilisant la relation (III.1), qui correspond au rapport de la masse de la poudre (M_0) à son volume ($V = \pi d^2 * H$), où d et H sont respectivement le diamètre et la hauteur de la pastille.

$$\rho = \frac{M_0}{\pi d^2 * H} \dots\dots\dots (III.1)$$

ρ : La masse volumique.

M_0 : La masse de la poudre.

d : le diamètre de la pastille.

H : La hauteur de la pastille.

III.1.1.5. Traitement alcalin de la farine du bois avec du NaOH (5%)

Une fois le tamisage terminé, la farine de bois a subi un traitement chimique alcalin, elle est entièrement plongée dans une solution alcaline de NaOH à 5% en masse, agitée pendant une heure à l'aide d'un agitateur (fig.III.4.a), puis filtrée et lavée à l'eau distillée jusqu'à ce que la

solution soit neutralisée (PH=7). Cette neutralisation a été vérifiée en utilisant un PH-mètre (fig.III.4.b). Finalement, la farine de bois a été séchée dans une étuve à une température de 100°C pendant 24 heures. (fig.III.4.c et e).

Après un séchage de 24 heures à une température de 100°C, la farine de bois est à nouveau passée dans les tamis afin d'obtenir la granulométrie souhaitée [315-125[μm (fig.III.4.d).

La solution alcaline a été préparée en introduisant 5g de NaOH en masse dans une fiole jaugée contenant 100ml d'eau distillée.

Lorsque la concentration augmente, le traitement entraîne une rupture de la chaîne cellulosique, ce qui entraîne une détérioration des caractéristiques mécaniques.

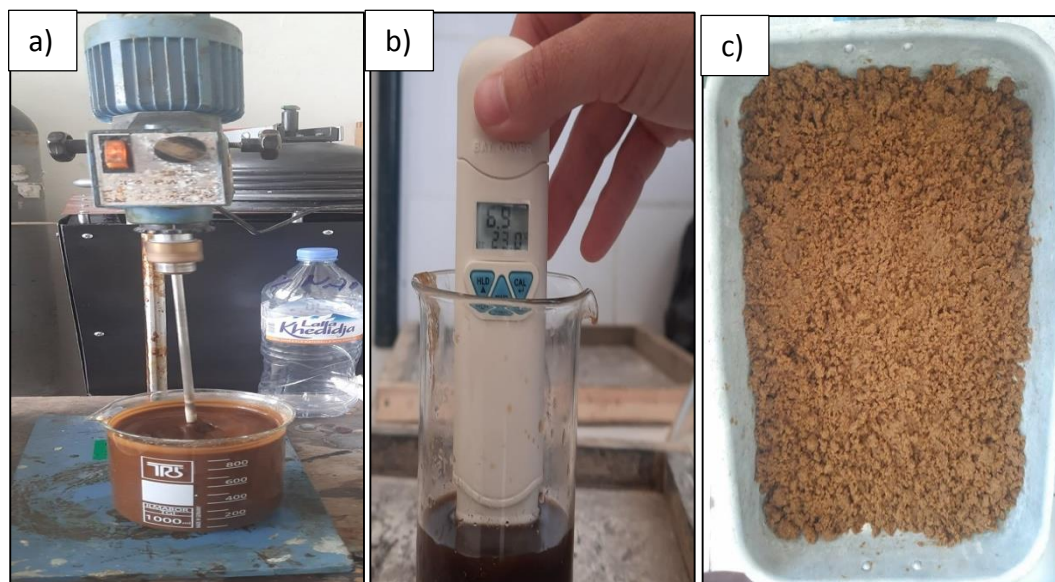


Figure III.4. Procédure du traitement alcalin avec NaOH (5%).

III.1.1.6. Analyse d'absorption d'eau de la farine du bois par capillarité

L'étude de l'absorption d'eau de la farine de bois vise à évaluer la saturation du volume des vides présents dans la farine de bois et la porosité du bois. Les pastilles traitées et non traitées avec du NaOH sont immergées dans l'eau distillée à température ambiante pour chaque instant (t) afin d'absorber l'eau. Dans cette optique, cette section est consacrée à l'évaluation du rendement maximal en eau et de la porosité maximale des pastilles en farine de bois.

Les pastilles fabriquées sont d'abord séchées dans une étuve à une température de 100°C pendant 24 heures jusqu'à ce que la masse se stabilise. Cette température est choisie en fonction du séchage traditionnel (entre 50 °C et 100 °C).

La masse est suivie à chaque instant (t) par pesée à l'aide d'une balance analytique de précision de 10⁻⁵ (voir figure III.4). L'absorption d'eau correspond à la quantité d'eau qu'un échantillon peut absorber jusqu'à saturation. Le terme "absorption" désigne la quantité d'eau absorbée à l'instant (t) par rapport à la masse sèche de l'échantillon. La relation (III.2) est utilisée pour exprimer cela.

$$(W\%) = \frac{(M(t) - M_i)}{M_i} * 100 \quad \dots\dots(III.2)$$

Avec :

M_i = Masse initiale de l'échantillon anhydre (après séchage)

M(t) = Masse de l'échantillon à l'instant (t) après la saturation

W (%) = Le taux d'absorption

Afin d'évaluer l'impact du traitement alcalin sur l'absorption d'eau par capillarité, deux pastilles ont été préparées. L'une a été traitée avec du NaOH et l'autre n'a subi aucun traitement. On dépose ces pastilles sur des passoirettes articulées en dessus d'une surface d'eau libre. Le taux d'absorption est régulé en posant un papier filtre entre la surface d'eau libre et les passoirettes contenant les pastilles. Dans cette méthode de saturation, l'eau est absorbée grâce à l'action de la capillarité.

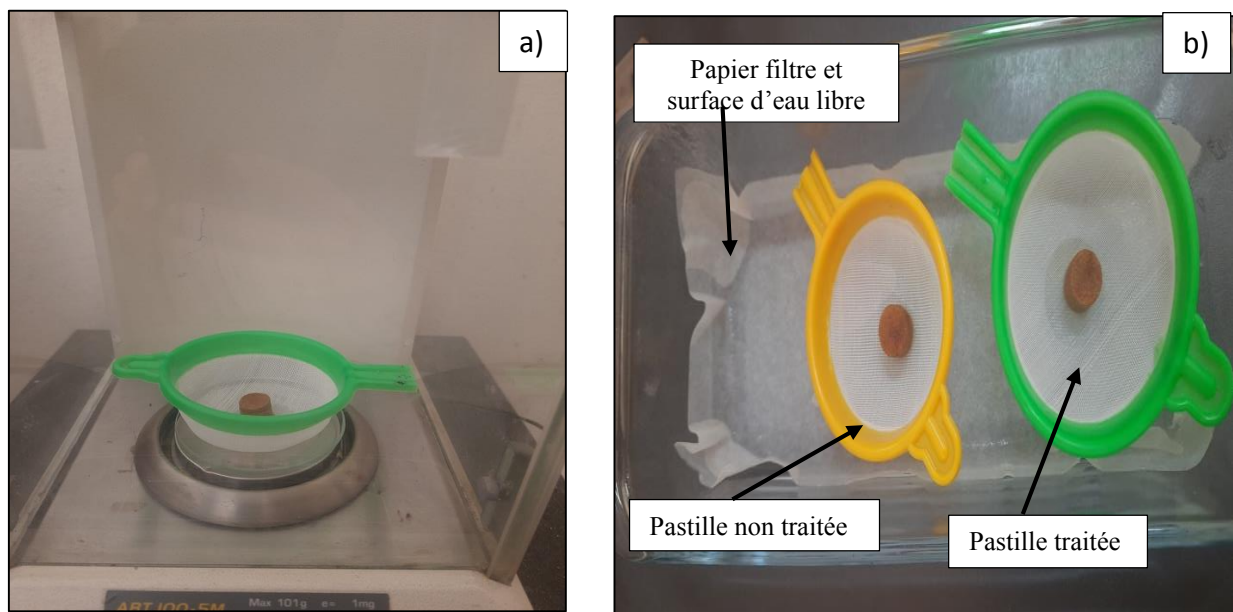


Figure III.5. Essai d'absorption par capillarité des pastilles en farine de bois traitée et non traitée avec une solution alcaline (NaOH).

III.1.1.7. Mesure du taux d'humidité de la farine du bois

Le processus de séchage est directement lié à la mesure du taux d'humidité du bois, qui vise à réduire la quantité d'eau présente dans le bois. On a procédé à la mesure du taux d'humidité de la manière suivante

- Détermination de la masse initiale des échantillons (M_0)
- Séchage des échantillons à une température de 100°C jusqu'à la stabilisation de leur masse.
- Mesure du gain de masse $M(t)$ ou (M_H) et de perte de masse (Δm) pour chaque instant (t) en utilisant une balance analytique avec une précision de 10^5 .

Le pourcentage d'humidité ($H\%$) d'un bois est exprimé en pourcentage. On le définit comme la quantité d'eau dans le bois en rapport avec sa masse anhydre M_0 exprimé suivant la relation :

$$H\% = \frac{M_H - M_t}{M_t} * 100 \quad \dots\dots\dots (III.3)$$

Avec :

M_H : La masse d'eau comprise dans l'échantillon à l'air ambiant.

M_t : La masse de l'échantillon anhydre.

La norme française (NF B 51-004 février 1942) préconise de mesurer la masse anhydre d'un échantillon après séchage à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante.

III.1.2. Le Ciment

La matière première utilisée dans cette étude est un ciment portland au calcaire NA442 CEM II/B-L 42,5 N, appelé Matine certifié, qui respecte les normes Algérienne (NA442 - 2013) et Européenne (EN 197 - 1). Il est issu de la cimenterie de Hammam Dalaa M'sila en Algérie.



Figure III.6. Ciment portland Matine utilisé

III.1.3. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est l'eau distillée.

III.2. Procédure expérimentale et d'élaboration

III.2.1. Préparation des échantillons

III.2.1.1. Formulation

Les composites Bois-Ciment que nous avons élaboré ont été développés en adaptant un protocole de formulation qui s'inspirait du travail de TOULOUM. Nous devons résoudre le système d'équation suivant sans prendre en compte le volume de l'air :

$$V_c + V_e + V_B = 1\text{m}^3$$

$$E/C = 0.5$$

$$V_B = Y$$

Avec :

V_c = Volume de ciment ; **V_e** = Volume de l'eau ; **V_b** = Volume de bois ; **E** = Eau ; **C** = Ciment
x = Pourcentage de substitution (**2, 4, 6, 8, 10 et 12 %**)

Tableau.III.1. Mesures des ingrédients pour l'élaboration des éprouvettes de flexion.

Teneur Bois %	0	2	4	6	8	10	12
Masse Bois (g)	—	17.5	35.0	52.5	70.0	87.6	105.1
Masse Ciment (g)	1942.68	1171.1	1101.3	1034.2	970.0	908.8	850.7
Volume d'Eau (ml)	579.33	378.5	385.4	391.5	396.7	400.8	404.1

Tableau.III.2. Mesures des ingrédients pour élaboration des éprouvettes de la compression.

Teneur Bois %	0	2	4	6	8	10	12
Masse Bois (g)	–	17.1	34.20	51.30	68.4	85.50	102.6
Masse Ciment (g)	1214.18	1143.61	1075.45	1009.94	947.26	887.5	830.72
Volume d'Eau (ml)	362.08	369.63	376.41	382.33	387.36	391.45	384.59

Ce travail vise à élaborer des composites Bois-Ciment et à étudier l'impact de la substitution du ciment portland par les particules de farine de bois. Cette étude a été menée sur des échantillons avec six taux volumiques de substitution, à savoir (2, 4, 6, 8, 10 et 12%) par les particules de farine de bois. Cela s'inscrit dans le cadre de l'obtention de composites Bois-Ciment résistants et imperméables.

III.2.2. Préparation de pâte Bois-Ciment :

Les pâtes des diverses formulations ont été obtenues en mélangeant le ciment avec du bois et de l'eau. Le processus de malaxage est réalisé à l'aide d'un malaxeur de 5 litres et prend 2 minutes répartie comme suit :

- Verser les matériaux solides dans la cuve du malaxeur, de la plus fine à la plus grossière (comme le ciment, le bois, etc.)
- Prendre une petite vitesse à sec pendant 5 secondes pour obtenir une homogénéisation.
- Ajouter de l'eau et mélanger pendant 30 secondes à une vitesse faible.
- Racler le fond de la cuve pendant 30s,
- Malaxer à une vitesse élevée pendant 90 secondes.

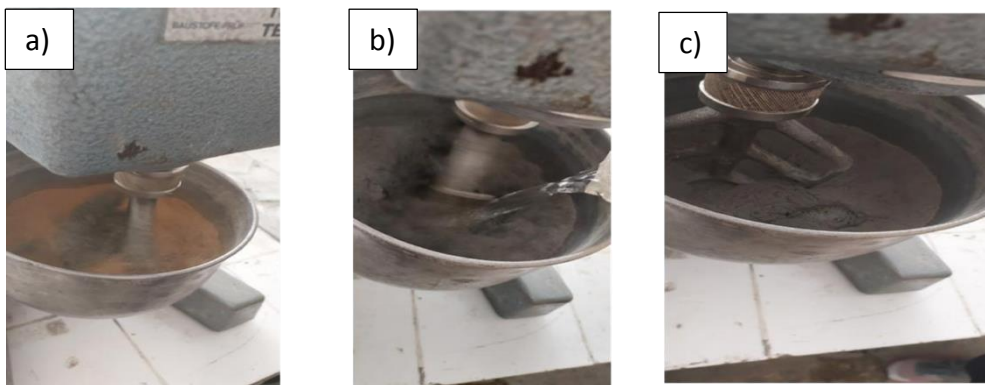


Figure III.7. Préparation de la pâte Bois-Ciment

Le mélange est ensuite versé dans des moules prismatiques de dimension 40*40*160 cm pour l'élaboration de nos éprouvettes de flexion et 50x50 pour les éprouvettes de compression. Les moules en acier sont imprégnés au préalable d'une fine couche de l'huile de décoffrage . Après avoir été moulées, les échantillons sont recouverts d'un film plastique afin de préserver leur milieu intérieur. Une fois le démoulage terminé, les éprouvettes sont stockées à l'air libre à une température de $20^{\circ}\pm 2$ °C pendant une période de 28 jours.

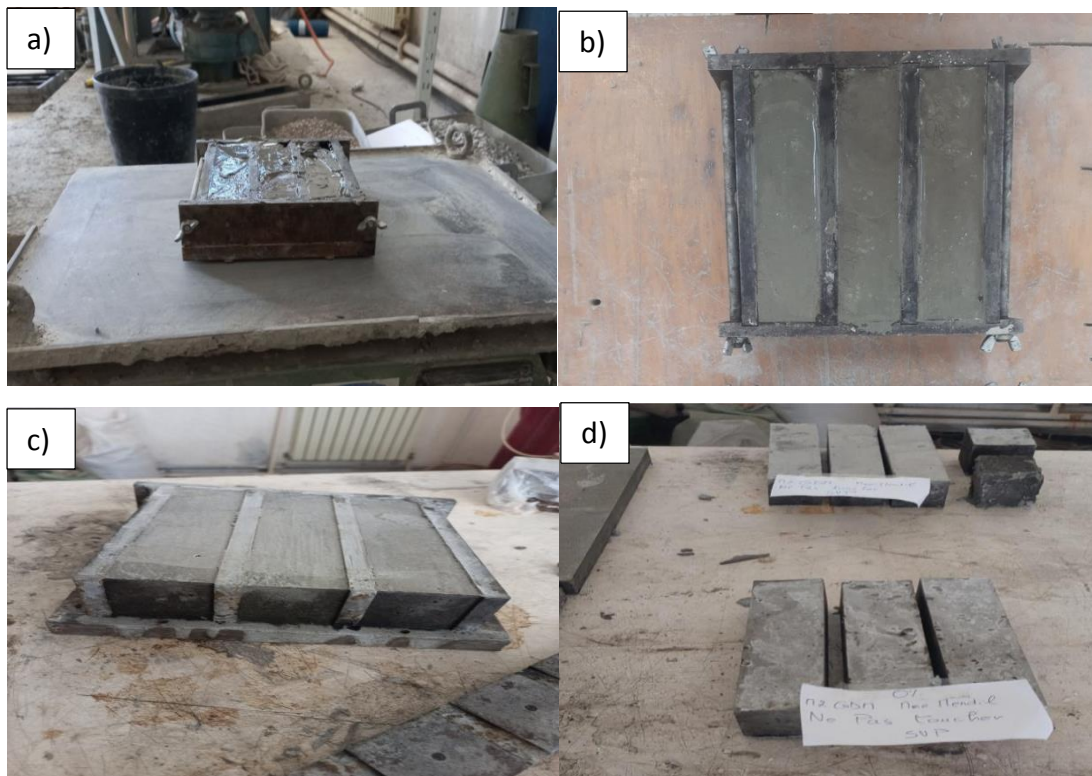


Figure III.8. Procédure d'élaboration des composites Bois-Ciment. (a) et (b): moulage des éprouvettes. (c) : démoulage des éprouvettes. (d) : éprouvettes après 28 jours de séchage.

III.3. Caractérisation des composites Bois-Ciment

III.3.1. Mesure de la densité

Le rapport de la masse des éprouvettes bois-ciment au volume apparent a été déterminé après une cure de 28 jours (à 20°C, avec et un séchage à l'étuve à 100 ± 2°C pendant 24h).

La masse des éprouvettes a été mesurée à l'aide d'une balance analytique avec une précision de ± 0,01 g, en prenant la moyenne arithmétique de six éprouvettes. Les dimensions des éprouvettes ont été mesurées en utilisant un pied à coulisse numérique avec une précision de ± 0,001 mm.

La densité (d) est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$d = \frac{M_0}{V_0} \dots\dots\dots(III.6)$$

Avec :

M₀ : Le poids sec (g)

V₀ : Le volume sec (cm³) de l'éprouvette.

III.3.2. Mesure du taux d'absorption par capillarité des composites Bois-Ciment :

Le composite Bois-Ciment a une capacité d'absorption d'eau conforme à la norme EN 480-5. La méthode se déroule comme suit : On a séché des éprouvettes prismatiques de 40*40*160 dans une étuve à 100°C jusqu'à ce que la masse se stabilise. Après avoir mesuré la masse initiale (M_0), les éprouvettes sont placées verticalement dans un bain d'eau de manière à ce que l'eau ne sera en contact qu'avec la partie inférieure (1/8) des éprouvettes pendant 90 minutes suivant la norme (fig.III.9).

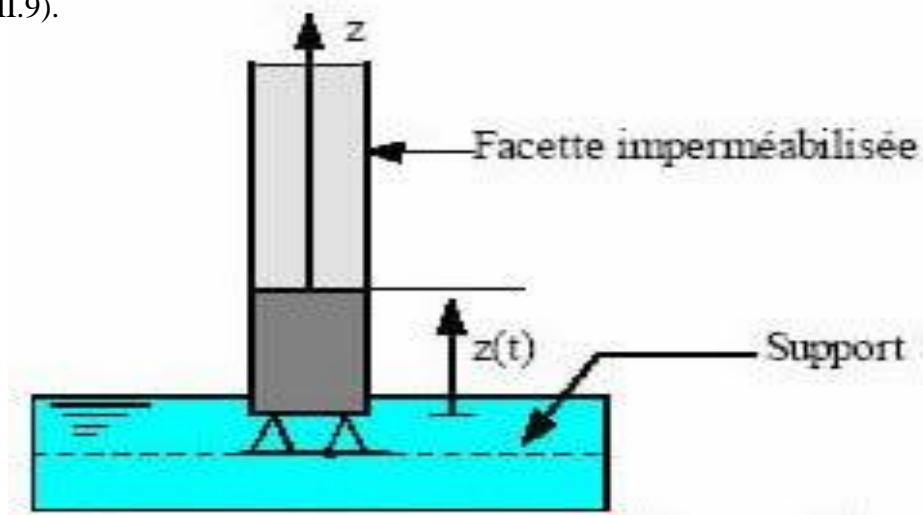


Figure III.9. Dispositif expérimental de l'essai d'absorption par capillarité



Figure III.10. Essai d'absorption par capillarité des composites Bois-Ciment

III.3.3. Mesure du taux d'absorption par immersion totale pendant 24h

La mesure du taux d'absorption des composites Bois-Ciment a été effectuée après leur séchage dans l'étuve à 90°C jusqu'à ce que leur masse (M_0) se stabilise. Par la suite, les échantillons sont plongés entièrement dans un bain d'eau pendant 24 heures. Après saturation, on a mesuré leurs masses (M_s) et le taux d'absorption pour chaque éprouvette en utilisant la relation (III.7)

$$A(\%) = \frac{M_s - M_0}{M_0} * 100 \dots \dots \dots (III.7)$$



Figure III.11. Essai d'absorption par immersion totale après (24h) dans l'eau des composites Bois-Ciment

III.4. Techniques expérimentales

III.4.1. Analyse par spectrométrie infrarouge (IR) de la farine du bois traitée et non traitée avec du NaOH :

La spectroscopie infrarouge, ou IR, est une technique d'analyse chimique qui utilise l'interaction entre la lumière infrarouge et la matière. La lumière infrarouge fait partie du spectre électromagnétique entre le Visible et les Micro-ondes, avec des longueurs d'onde allant de 780 nm à 1 mm..

La spectroscopie infrarouge repose sur l'absorption de rayonnement infrarouge par les molécules. Lorsque des molécules sont exposées à des radiations infrarouges, elles absorbent cette énergie, ce qui provoque des vibrations des liaisons chimiques au sein de ces molécules.

Ces vibrations peuvent inclure des étirements et des flexions des liaisons, ce qui est spécifique à chaque type de liaison chimique.

L'analyse par spectrométrie infrarouge (IR) de la farine de bois traitée et non traitée avec du NaOH, a été réalisée sur un spectromètre de type *IRAffinity-1S* de gamme ATR complète, mesure de réflexion diffuse ou spéculaire, cellule à gaz.



Figure III.12. Spectromètre IRTF

III.4.2. Caractérisation mécanique des composites Bois-Ciment :

III.4.2.1. Essai de flexion trois points

L'essai de flexion à trois points consiste à placer une éprouvette (généralement en forme de poutre) sur deux appuis fixes et à appliquer une force au centre de l'éprouvette à l'aide d'un poinçon. Ce type de test permet de mesurer la déformation et la résistance du matériau lorsqu'il est soumis à une charge.

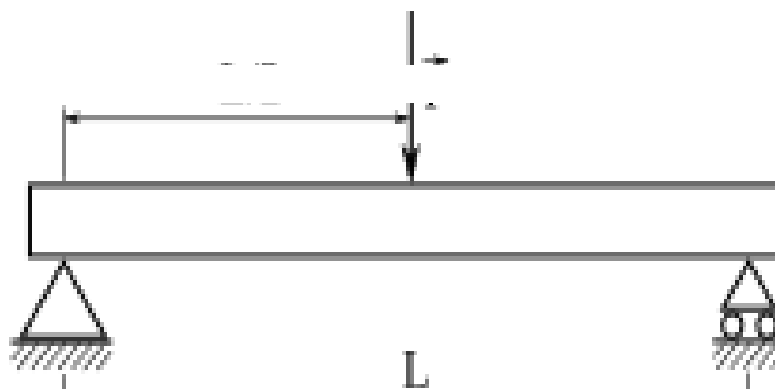


Figure III.13. Principe de l'essai de flexion 3 points

Tableau.III.2. Dimensions (en mm) des éprouvettes de flexion trois points, selon la norme NF EN 196-1

Longueur l	Distance entre appuis L	Largeur B	Epaisseur h
160 mm ³	140 mm ³	40 mm ³	40 mm ³

III.4.2.2. Essai de compression

L'essai de compression Selon la norme (NFT 51.101), consiste à appliquer une force de compression sur un échantillon de matériau reposant sur une surface rigide. Cette sollicitation provoque un écrasement (raccourcissement) de l'éprouvette. On mesure simultanément les contraintes et déformations au cours de l'essai.

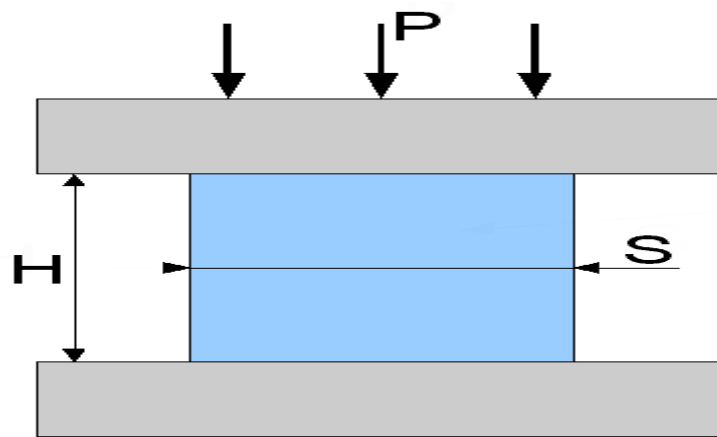


Figure III.14. Essai de compression

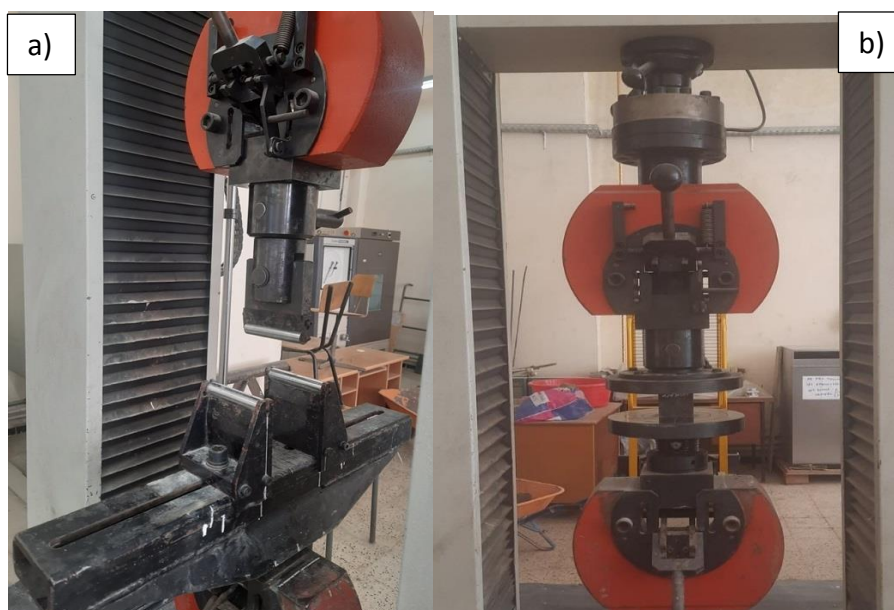


Figure.III.15. Essais mécaniques ; a)Essai de flexion à 3 points et b)Essai de compression.

Les tests mécaniques (flexion et compression) ont été réalisés en utilisant une machine électromécanique universelle d'essais de type IBERTEST MOD. ELIB-200E/W, qui est assistée par ordinateur par le laboratoire du génie civil de l'Université Mouloud MAMMARI. La capacité de traction et de compression de cette machine d'essai universelle électromécanique est de 200 kN, avec une vitesse de déformation de 10 mm/min, ainsi qu'une capacité de 30 kN en flexion à 50 N/s.

Les tests de flexion et de compression sont réalisés sur des échantillons respectivement de section de $40 \times 40 \times 160$ et 50×50 (mm) qui ont été testés à un âge de 28 jours. Les formules suivantes indiquent la contrainte de flexion et la contrainte de compression :

$$\mathbf{Rf} = \frac{1.5 * FL}{bh^2} \quad \dots\dots\dots \mathbf{(III. 9)}$$

$$\mathbf{Rc} = \frac{Fc}{S} \quad \dots\dots\dots \mathbf{(III.10)}$$

Avec :

F : la force appliquée (N)

L : la distance entre les appuis (mm)

h et b : respectivement la hauteur et la largeur de l'éprouvette (mm).

Rc : la résistance à la compression (MPa)

Fc : la charge maximale à la rupture (N)

S : l'aire des plateaux (40mm x 40mm).

Références bibliographiques

- [1] Touloum et al. Formulation d'un composite bois de palmier dattier- ciment/ J. Appl. Eng. Sci. Technol. (2016) 2(2) : 57- 63.
- [2] Rahmoun et al « Effect of treatment with soda and dimethoxydimethylsilane on water absorption and thermal stability of olive pomace flour and date stone »J. Mater. Environ. Sci. 6 (9) (2015) 2655-2664
- [3] ANES Linda, "Elaboration et caractérisation d'un composite bois-ciment, "Université M'hamedBougara Boumerdes, 2021.
- [4] K. Rouam, «Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles», Diplôme de Magister, Universite m'hamed bougara boumerdes, 2014, p69. Cité par FATHI Er-romeysa, BOUDJELLAL Hesna et BEN AISSA Souheyr,"Élaboration et caractérisation d'un matériau composite à base d'une résine thermodurcissables renforcé par la sciure de bois,"Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2020.
- [5] F.Touloum, Thèse de Doctorat, "Contribution au développement de matériaux isolants dans le domaine du bâtiment. Utilisation du bois de palmier dattier," Université Mohamed Khider-Biskra,2018.

Chapitre IV
Résultats et discussions

IV. Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation exhaustive des résultats obtenus, ainsi qu'à leur interprétation. Il se concentre sur la caractérisation de la farine du bois d'olivier et des composites bois-ciment élaborés, en s'appuyant sur des essais portant sur les aspects chimiques, physiques et mécaniques.

IV.1. Caractérisation de la farine du bois d'olivier

IV.1.1. Mesure de la densité de la farine du bois

Les résultats concernant la mesure de la masse volumique de la farine du bois sont présentés dans le tableau IV.1

Tableau.IV.1. Résultats de Mesure de la masse volumique de la farine du bois d'olivier

Nombre d'échantillons	1	2	3	4	5	6	7	Moyenne
ρ (g/cm ³)	1,0836	1,1438	1,1329	1,1351	1,1691	1,1556	1,1720	1,14

Après avoir réalisé sept mesures de la masse volumique sur sept pastilles, nous avons déterminé que la masse volumique moyenne de la farine de bois d'olivier est environ 1,14g/cm³, soit 1140kg/m³. Les composites bois-ciment ont été conçus en tenant compte de cette masse volumique réelle de la farine de bois utilisée.

IV.1.4. Analyse par Infrarouge (IRTF) de la farine du bois traitée et non traitée avec du NaOH

L'analyse par spectroscopie infrarouge (IRTF) de la farine de bois traitée et non traitée avec du NaOH permet de caractériser les modifications chimiques et structurales induites par le traitement. Dans cette méthode, les échantillons de farine sont préparés sous forme de pastilles en mélangeant 2,5 % de farine avec 97,5 % de KBr. Le spectre correspondant est présenté sur la figure.IV.1. Le tableau.IV.2 présente les bandes d'absorption dans le bois.

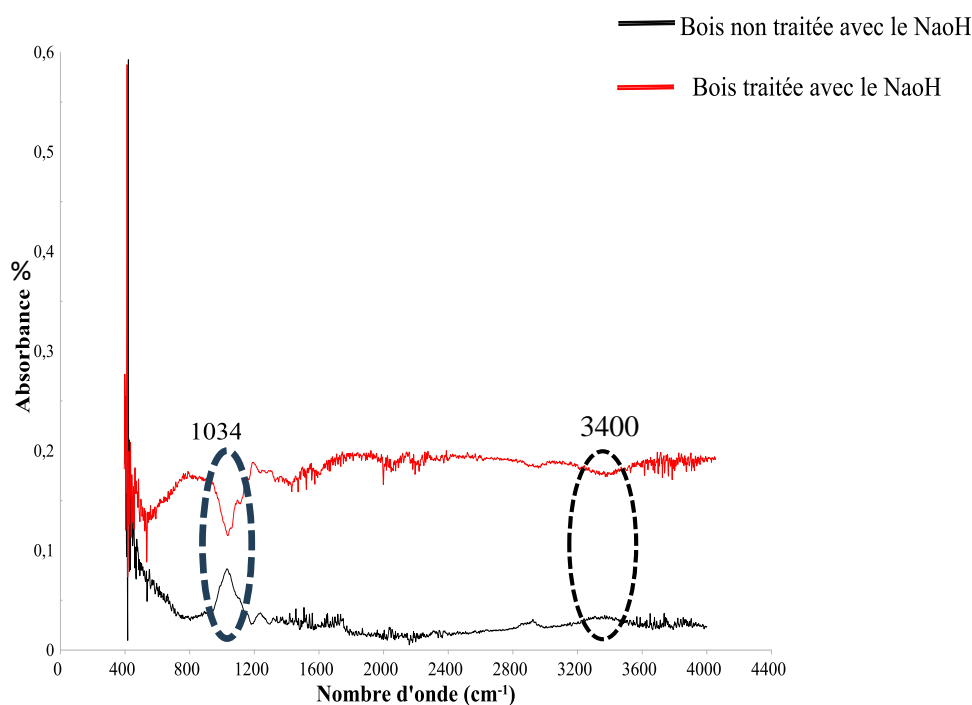


Fig.IV.1. Résultats d'analyse par IFTR de la farine de bois traité et non traité.

Tableau.IV.2. Bandes d'absorption pour la fibre cellulosique [1]

Nombre d'onde (cm-1)	Types de vibration
3200-3600	Vibration d'élongation des hydroxyles O-H
2935	Vibration d'élongation asymétrique des liaisons C-H du groupe CH ₂
2854	Vibration d'élongation asymétrique des liaisons C-H du groupe CH ₂
1746	Vibration des groupements carbonyles C=O
1644	Vibration d'élongation des hydroxyles O-H de l'eau
1460	Vibration de déformation asymétrique des liaisons C-H du cycle aromatique
1381	Vibration de déformation symétrique des liaisons C-H dans le plan des polysaccharides
1238	Vibration d'élongation des groupements C-O
1163	Vibration d'élongation antisymétrique des liaisons C-O-C de la cellulose et de l'hémicellulose
1034	Vibration de déformation des liaisons C-O-C de la cellulose et de l'hémicellulose
609	Vibration de déformation des hydroxyles O-H des polysaccharides.

Les résultats d'analyse par spectroscopie infrarouge (IRTF) de la farine de bois traitée et non traitée avec une solution alcaline sont présentés sur le spectre de la figure.IV.1. Les résultats montrent que le traitement alcalin n'a pas porté un impact important sur la farine du bois d'olivier. Ce résultat se manifeste par :

- La modification de l'intensité des signaux. On remarque une diminution de l'intensité du signal de la bande 1034cm^{-1} caractéristique du groupement C-O-C, associé à la Vibration de déformation des liaisons C-O-C de la cellulose et de l'hémicellulose résultant de leur dissolution en milieu alcalin.
- On remarque également une diminution légère de l'intensité de la bande entre 3200 et 3600 cm^{-1} correspondant à la vibration d'élongation des hydroxyles O-H. Ce qui suggère que le groupement hydroxyle n'est pas affecté par la solution alcaline.

IV.1.2. Mesure du taux d'humidité de la farine du bois d'olivier

La mesure du taux d'humidité emprisonné dans les particules du bois d'olivier traité chimiquement avec de la soude (NaOH) et non traité a été réalisée sur sept (07) pastilles. Les résultats de mesure du taux d'humidité en fonction du temps sont présentés dans le tableau.

IV.2.

Tableau IV.2. Taux d'humidité de la farine du bois en fonction du temps.

t (min)	Masse(g) de la pastille non traitée	H (%) de la pastille non traitée	Masse(g) de la pastille traitée	H (%) de la pastille traitée
0	0,93183	0,93183	0,95404	0,95404
5	0,90283	3,21212	0,93533	2,00036
10	0,89370	4,26653	0,92203	3,47169
15	0,88885	4,83546	0,90594	5,30940
20	0,88319	5,50731	0,89854	6,17669
30	0,87167	6,90169	0,87936	8,49254
40	0,86544	7,67124	0,86779	9,93904
50	0,86069	8,26546	0,86086	10,82406
60	0,85539	8,93627	0,85563	11,50147
80	0,85008	9,61674	0,84866	12,41722
100	0,85021	9,59998	0,84632	12,72805
120	0,84708	10,00496	0,84515	12,88410
150	0,84207	10,65945	0,84211	13,29161
200	0,84038	10,88198	0,83891	13,72376

La courbe correspondante de l'humidité H (%) en fonction du temps, du bois traité et non traité avec de la soude, est présentée sur la figure.IV.2.

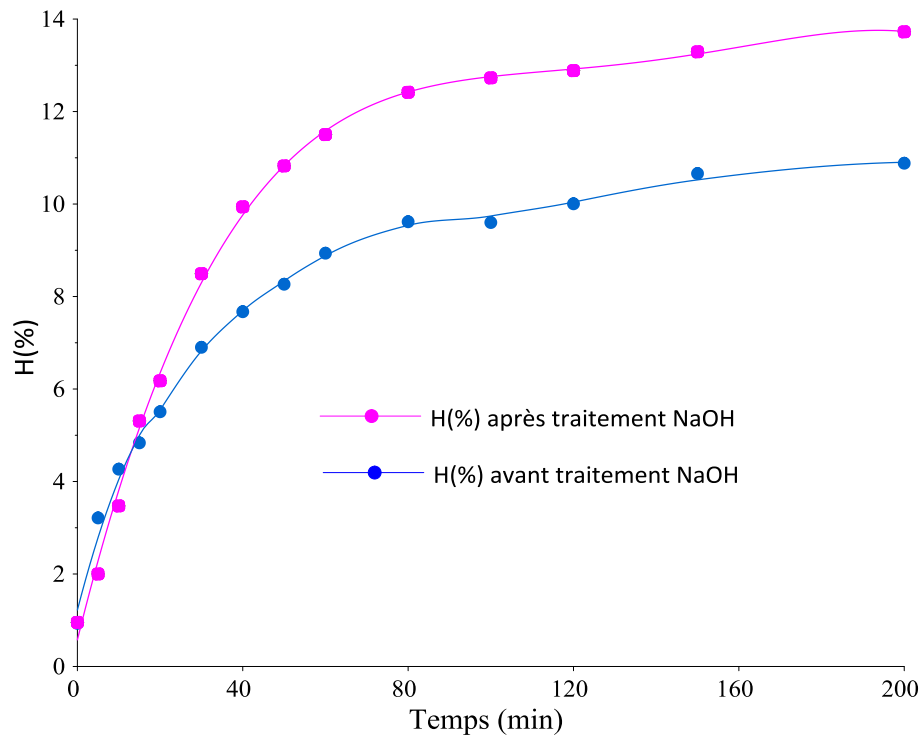


Fig.IV.2. Evolution de taux d'humidité de la farine de bois traitée et non traitée avec une solution alcaline (NaOH).

Le taux d'humidité de la farine de bois d'olivier varie selon qu'elle soit traitée ou non avec du NaOH. D'après les résultats, on constate que la farine traitée à la soude présente un taux d'humidité plus élevé, pouvant atteindre un taux de 13 %. Ce qui signifie que le traitement chimique n'a apporté aucune amélioration de point de vue hygroscopicité dans cette essence de bois. Alors que dans le cas du travail de **SAIDJ et LOUNAS [2]** en utilisant le bois rouge, le taux d'humidité a considérablement baissé à des niveaux très significatifs. Généralement, et d'après **les résultats des travaux antérieurs [3]**, le traitement chimique avec de la soude permet de bloquer le groupement OH en le liant avec du Na, ce qui facilite l'élimination de l'eau, et par conséquent, la dissolution et la dégradation de la lignine, de la cire, des huiles et les hémicelluloses qui recouvrent la paroi cellulaire, rendant la fibre de bois moins hygroscopique.

Autrement dit, le rôle de ce traitement alcalin consiste à briser les liaisons hydrogène internes dans le bois, en modifiant sa cristallinité, sa structure des cellules, l'orientation des fibrilles et la rugosité de surface. Cela diminue la capacité du bois à former des liaisons

hydrogène avec les molécules d'eau et élimine les groupes hydroxyles hydrophiles, et aussi réduit la capacité de la cellulose à absorber de l'humidité.

IV.1.3. Analyse d'absorption d'eau de la farine du bois par capillarité :

Les résultats concernant l'analyse d'absorption d'eau de la farine du bois par capillarité sont présentés dans le **tableau. IV.3.**

Tableau. I V. 3. Taux d'absorption d'eau par capillarité de la farine du bois en fonction du temps.

t (min)	Masse (g) de la pastille non traitée	W(%) la pastille non traitée	Masse (g) de la pastille traitée	W(%) de la pastille traitée
0	1,02582	1,02582	0,84062	0,84062
2	2,51654	145,31984	3,51752	318,44353
4	2,80837	173,76683	3,65554	334,86236
6	3,36045	227,58671	3, 65567	334,87783
8	3,34724	226,29896	3, 66133	335,55114
12	3,35615	227,16753	3, 65989	335,37984
16	3,36298	227,83334	3, 66220	335,65464
20	3,34093	225,68384	3, 68480	338,34313
30	3,40930	232,34876	3, 65599	334,91590
40	3,37951	229,44474	3, 65125	334,35203
55	3,39475	230,93038	3, 64731	333,88332
70	3,41108	232,52227	3, 50653	317,13616
85	3,45918	237,21121	3, 62489	331,21625
115	3,42644	234,01961	3,58670	326,67317
145	3,38596	230,07350	3,56513	324,10721

La courbe correspondante W (%) en fonction du temps, du bois traité et non traité avec de la soude, est présentée sur la figure.IV.3.

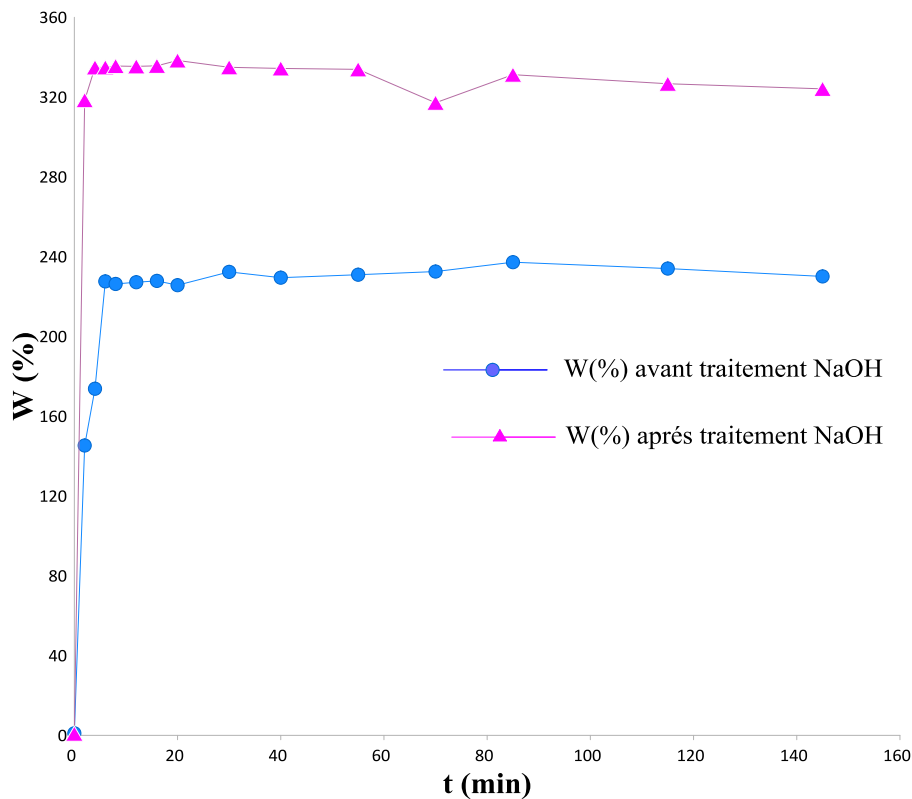


Fig.IV.3. Le taux d'absorption en eau par capillarité de la farine de bois traitée et non traitée avec une solution alcaline (NaOH).

Tout comme les résultats du taux d'humidité, le taux d'absorption d'eau par capillarité de la farine de bois d'olivier présente des résultats similaires, qu'elle soit traitée ou non dans une solution alcaline. Les résultats indiquent que le bois traité absorbe plus d'eau que le bois naturel non traité. Dans ce cas, ce traitement chimique ne contribue pas à l'amélioration de la qualité du bois de point de vue absorption. Les liaisons hydrogène internes dans le bois, sont toujours présentes, elles se sont en aucun cas dégradées par la présence de la soude. Cela augmente la capacité du bois à former des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau et favorise l'absorption.

En conclusion, le traitement chimique à la soude n'apporte aucune fonctionnalisation de la farine de bois de diminuer sa capacité d'absorption d'eau ou d'humidité. C'est pourquoi le choix s'est porté sur l'utilisation de farine de bois naturel et non traitée pour l'élaboration de composites bois-ciment, afin d'améliorer leur stabilité dimensionnelle et leurs propriétés mécaniques.

IV. 2. Caractérisation des composites bois-ciment

IV.2.1. Mesure de densité des composites Bois-Ciment

Le **tableau.IV.4** présente la variation de la masse volumique des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en bois après 28 jours de séchage.

Tableau.IV.4. Densité des composites Bois-Ciment.

% Bois	m_0 (g) avant séchage	m(g) après séchage (24h)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	ρ (g/cm ³)
0	478.73	444.14	160	40	40.33	1.85
2	467.37	441.92	160	40	39.26	1.86
4	455.56	432.57	160	40	39.71	1.79
6	442.77	415.46	160	40	40.98	1.68
8	426.08	391.66	160	40	40.66	1.64
10	382.38	358.63	160	40	40.88	1.46
12	335.62	328.46	160	40	40.98	1.27

La courbe et l'histogramme de la densité de la farine du bois d'olivier en fonction du pourcentage du bois est présentée sur les figure IV.4 et figure IV.5.

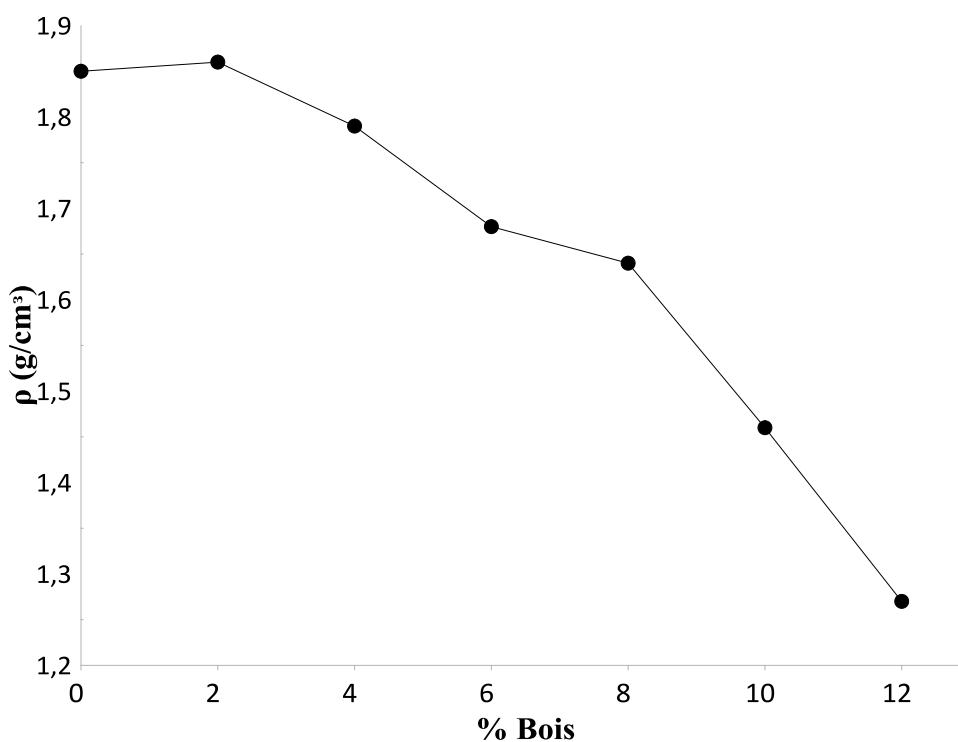


Fig.IV.4. Evolution de la densité des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

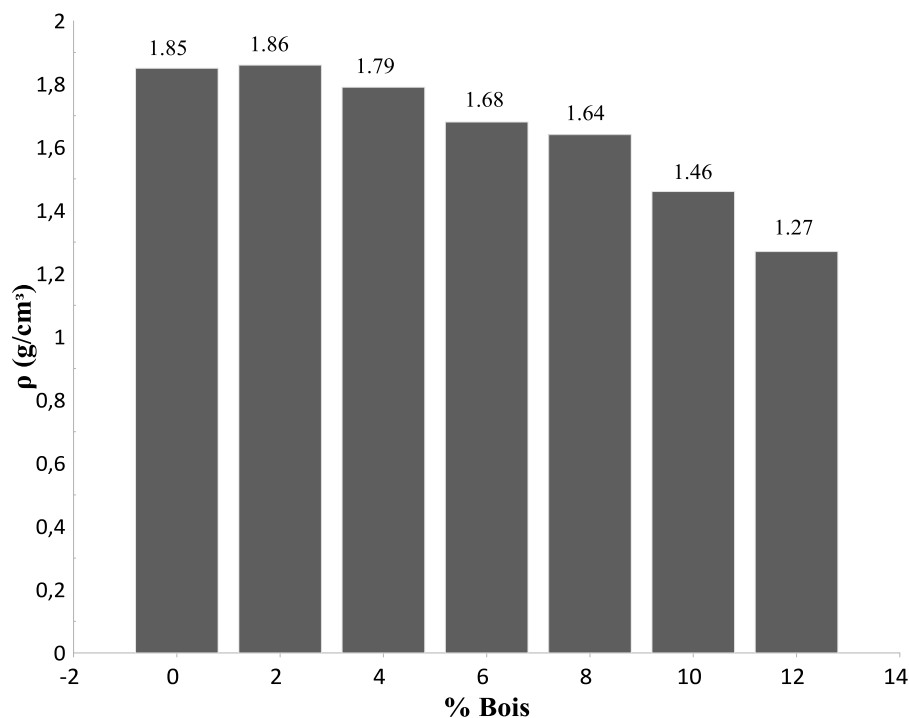


Fig.IV.5. Histogramme représentant l'évolution de la densité des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

Les résultats présentés montrent l'effet de l'ajout du bois sur la densité (ρ) des échantillons après séchage. À 0% de bois, la masse initiale (m_0) est de 478,73 g, et après séchage, elle diminue à 444,14 g, ce qui donne une densité de 1850 (kg/cm³). En augmentant progressivement le pourcentage de bois jusqu'à 12%, on observe une tendance générale à la diminution de la densité. Par exemple, à 10% de bois, la densité réduite à 1460 (kg/cm³).

Les dimensions des échantillons restent constantes en longueur (160 mm) et en largeur (40 mm), mais l'épaisseur varie légèrement avec l'augmentation du pourcentage de bois. La densité montre une diminution significative avec l'augmentation du contenu en bois, passant de 1850 (kg/cm³) à 1270 (kg/cm³) à 12% de bois. Cela indique que l'incorporation de bois dans le matériau entraîne une réduction de la densité globale, ce qui pourrait avoir des implications sur les propriétés mécaniques et physiques des échantillons. Ces résultats soulignent l'importance de la composition en bois dans le développement de matériaux légers et potentiellement plus durables.

VI.2.2. Mesure du taux d'absorption d'eau par capillarité du composite en fonction de la teneur en Bois :

Les résultats du taux d'absorption par capillarité des composites Bois -Ciment sont consignés dans le tableau.IV.5. Ce taux d'absorption moyen a été calculé en prenant la moyenne de l'absorption de six (06) éprouvette pour chaque teneur en bois.

Tableau.IV.5. Taux d'absorption par capillarité des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

%Bois	0%	2%	4%	6%	8%	10%	12%
Absorption (A%)	5.1763	3.55494	3.47458	4.14962	5.30562	6.21253	18.92681

La courbe et l'histogramme du taux d'absorption par capillarité des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur du bois sont présentée sur les figure IV.5 et figure IV.6.

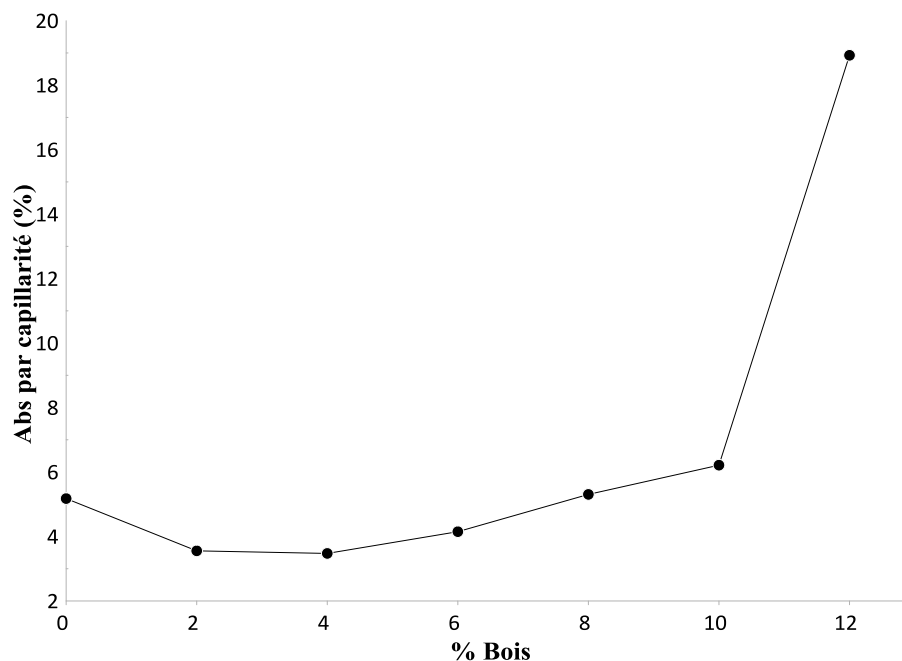


Fig.IV.5. Evolution de l'absorption par capillarité des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

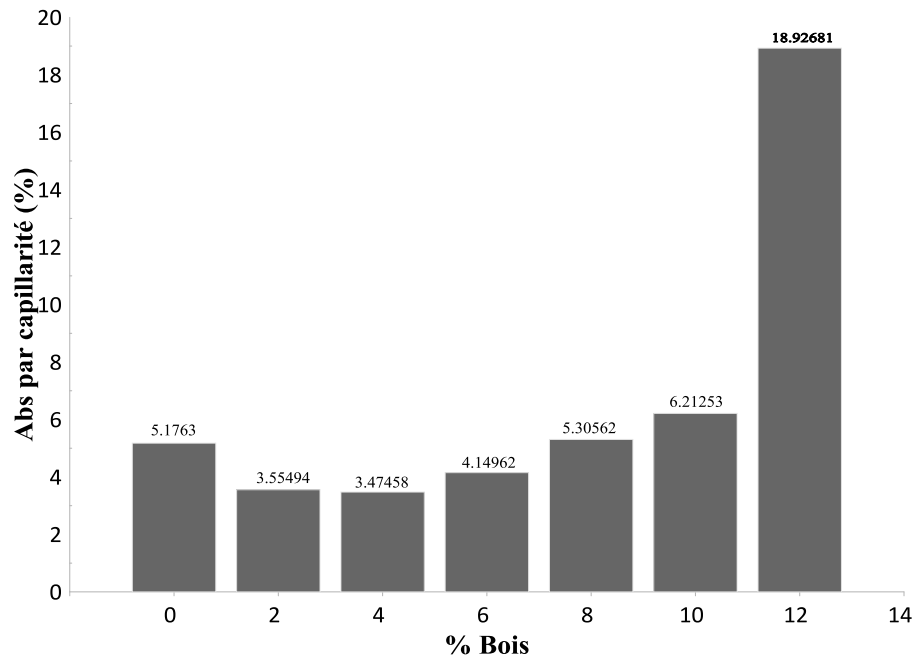


Fig.IV.6. Histogramme représentant l'évolution de l'absorption par capillarité des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

Les résultats montrent l'impact de l'ajout de bois sur l'absorption d'eau des matériaux composites, exprimé en pourcentage d'absorption (A%) à différents niveaux de contenu en bois (B%). À 0% de bois, l'absorption est de 5,1763%, tandis qu'elle diminue à 3,55494% à 2% de bois. Cependant, une tendance inverse se manifeste à partir de 10% de bois, où l'absorption augmente significativement pour atteindre 18,92681% à 12%.

Cette variation suggère que l'incorporation de bois dans le matériau composite influence ses propriétés d'absorption, probablement en raison des caractéristiques hygroscopiques du bois. Les résultats indiquent que des niveaux plus élevés de bois augmentent la capacité d'absorption, ce qui pourrait avoir des implications sur la durabilité et la performance des composites en conditions humides [4].

IV. 2.3. Mesure du taux d'absorption d'eau par immersion totale pendant 24h des composites en fonction de la teneur en bois

Les résultats du taux d'absorption par immersion totale pendant 24 heures des composites Bois-Ciment sont consignés dans le tableau.IV.7. Ce taux d'absorption moyen a été calculé en prenant la moyenne d'absorption de six (06) éprouvette pour chaque teneur en bois.

Tableau.IV.6. Taux d'absorption des composites en fonction de la teneur en bois par immersion totale après 24h.

% Bois	0%	2%	4%	6%	8%	10%	12%
Absorption (A%) après 24h	14.3623	12.3666	14.7510	16.5161	18.1224	22.6672	33.8743

La courbe et l'histogramme du taux d'absorption par immersion totale pendant 24heures des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en bois sont présentée sur les figure IV.7 et figure IV.8.

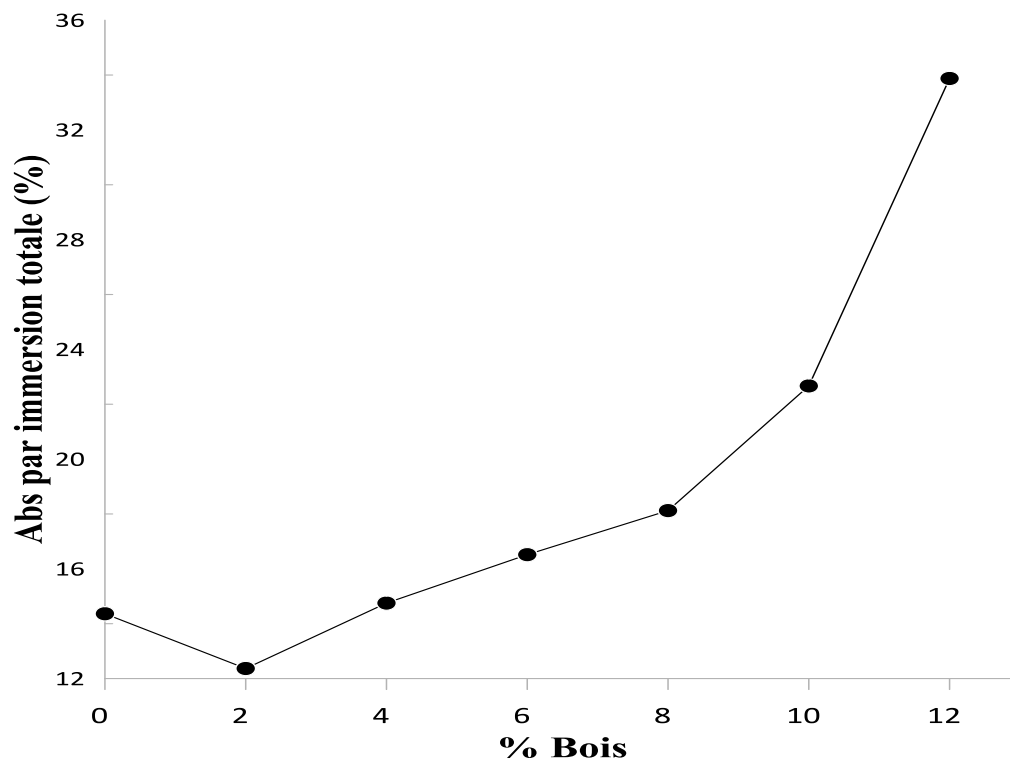


Fig.IV.7. Evolution de l'absorption par immersion totale des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

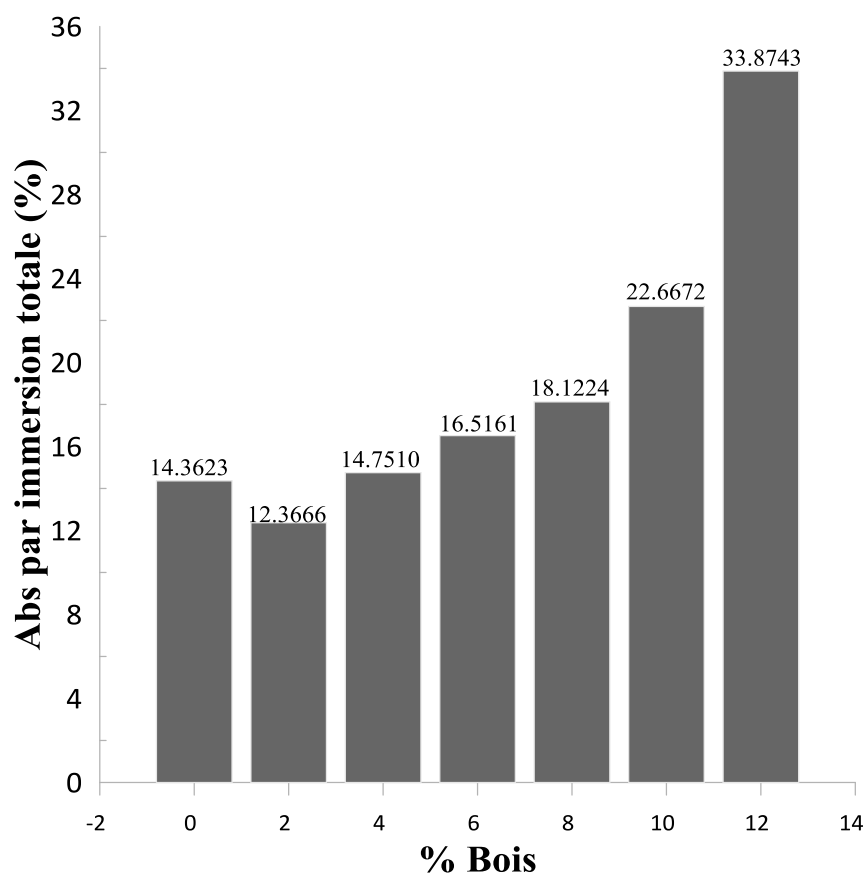


Fig.IV.8. Histogramme représentant l'évolution de l'absorption par immersion totale des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

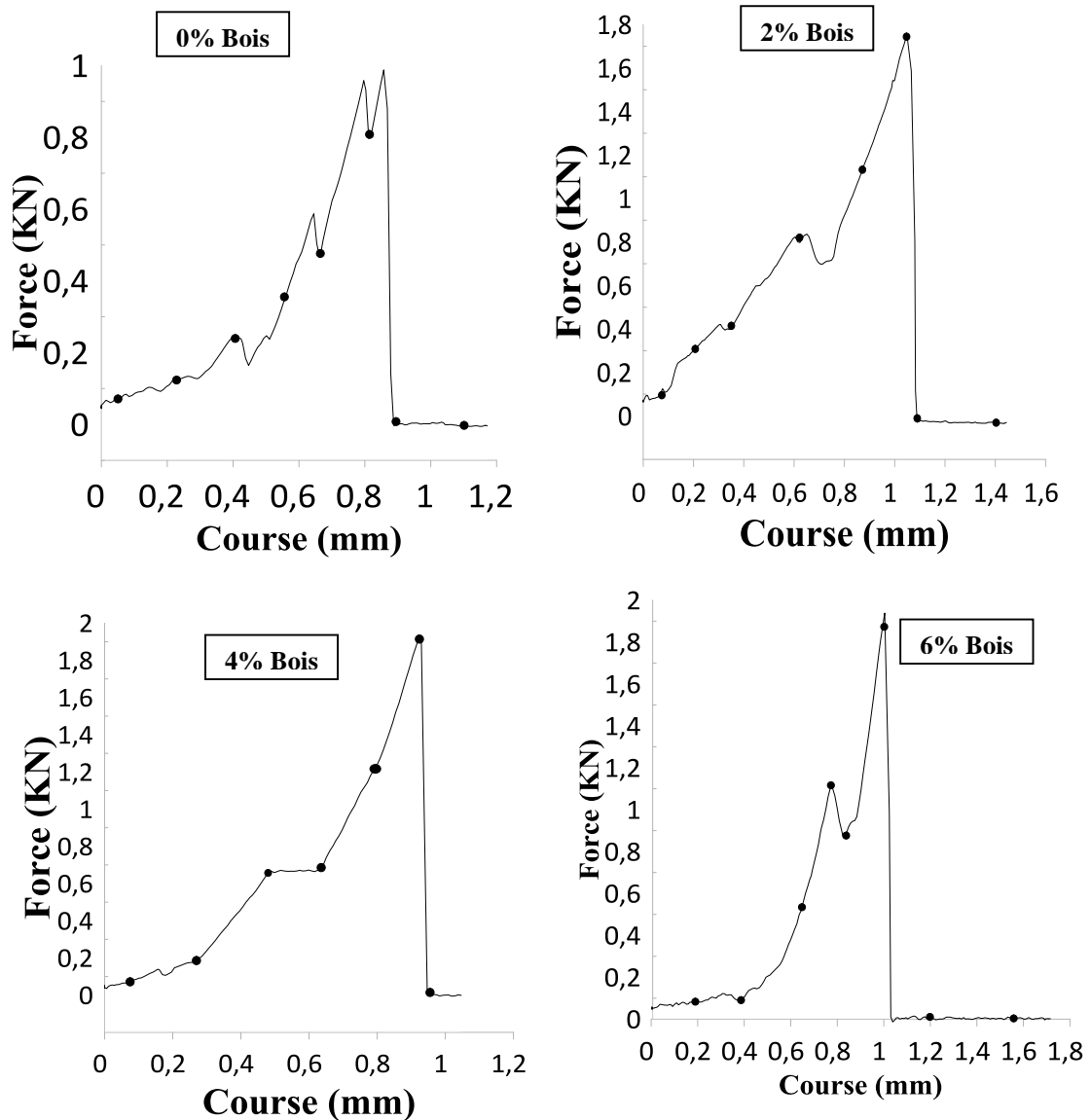
Les résultats d'absorption d'eau par immersion après 24 heures montrent une tendance croissante en fonction de l'augmentation du pourcentage de B% dans les éprouvettes. En effet, les valeurs d'absorption (A%) varient de 14.36% à 33.87% lorsque le pourcentage de B% passe de 0% à 12%. Cette augmentation indique que l'absorption d'eau est fortement influencée par la composition du béton, ce qui est cohérent avec les principes de capillarité et de porosité dans les matériaux cimentaires. L'absorption d'eau est un indicateur clé de la durabilité et de la qualité du béton, car elle reflète la capacité du matériau à résister aux infiltrations et aux dommages causés par l'eau [2-4].

Ainsi, ces résultats soulignent l'importance de contrôler la composition des bétons pour optimiser leur performance en termes d'absorption d'eau, ce qui peut avoir des implications significatives pour leur longévité et leur utilisation dans des environnements exposés à l'humidité.

IV.2.4. Analyse du comportement mécanique

IV.2.4.1. Résistance à la Flexion

L'analyse du comportement mécanique en flexion des composites Bois-Ciment vise à suivre l'influence des particules de bois sur la résistance en flexion de ces matériaux composites. L'évolution de la charge des composites Bois-Ciment en fonction de la course pour les différentes teneurs en bois est présentée sur la figure Fig.IV.9.



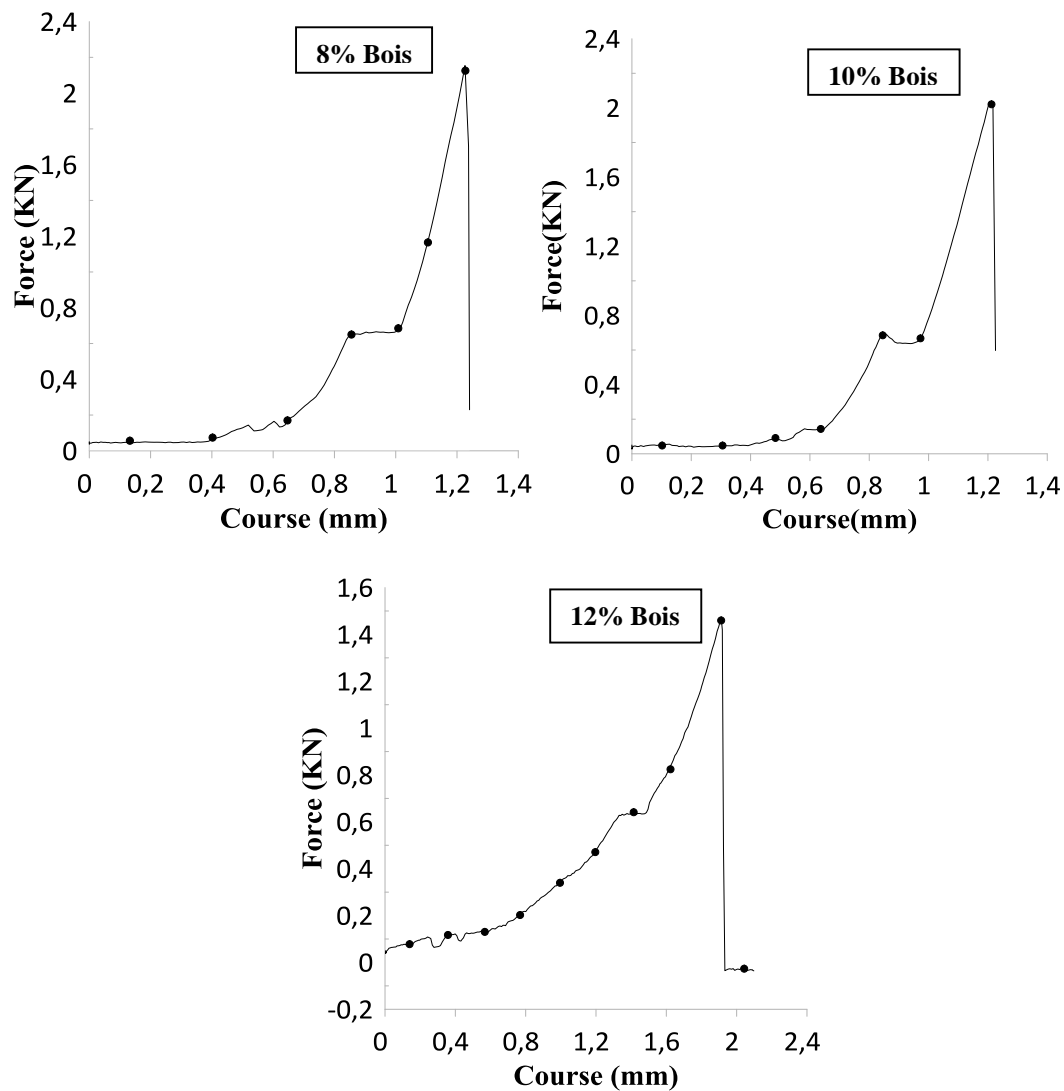


Fig.IV.9. L'évolution de la charge de flexion des Composites Bois-Ciment en fonction de la course pour les différentes teneurs du bois.

Les courbes de flexion des différents composites élaborés sont représentées en figure.IV.9. On constate après des fluctuations (environ de 0.6 à 1mm) de la machine que ces courbes présentent un comportement élastique fragile pour les différentes teneurs en bois. Passant par une limite élastique puis une rupture fragile des composites.

D'un point de vue contrainte maximale (voir tableau.IV.7 et figure.IV.10), on constate que la résistance à la flexion augmente en atteignant un seuil ou un optimum de 6.6233MPa à 4% en bois. Cette augmentation peut être attribuée à une meilleure interaction entre les fibres de bois et la matrice cimentaire, favorisant une répartition plus uniforme des charges.

La contrainte maximale en flexion des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en bois est présentée sur et le tableau IV.7. L'évolution de cette contrainte est montrée sur la figure IV.11 et 12 sous forme d'un histogramme.

Tableau.IV.7. Contrainte maximale moyenne en flexion des composites Bois-Ciment en fonction de pourcentage de bois accompagnée du calcul d'erreurs.

% Bois	0	2	4	6	8	10	12
σ (Mpa)	3.3416	5.8262	6.6233	5.7132	5.792	5.811	4.2282
Erreur relative (%)	0,3167	0,7192	1,0872	0,8988	1,3603	0,3195	0,3655

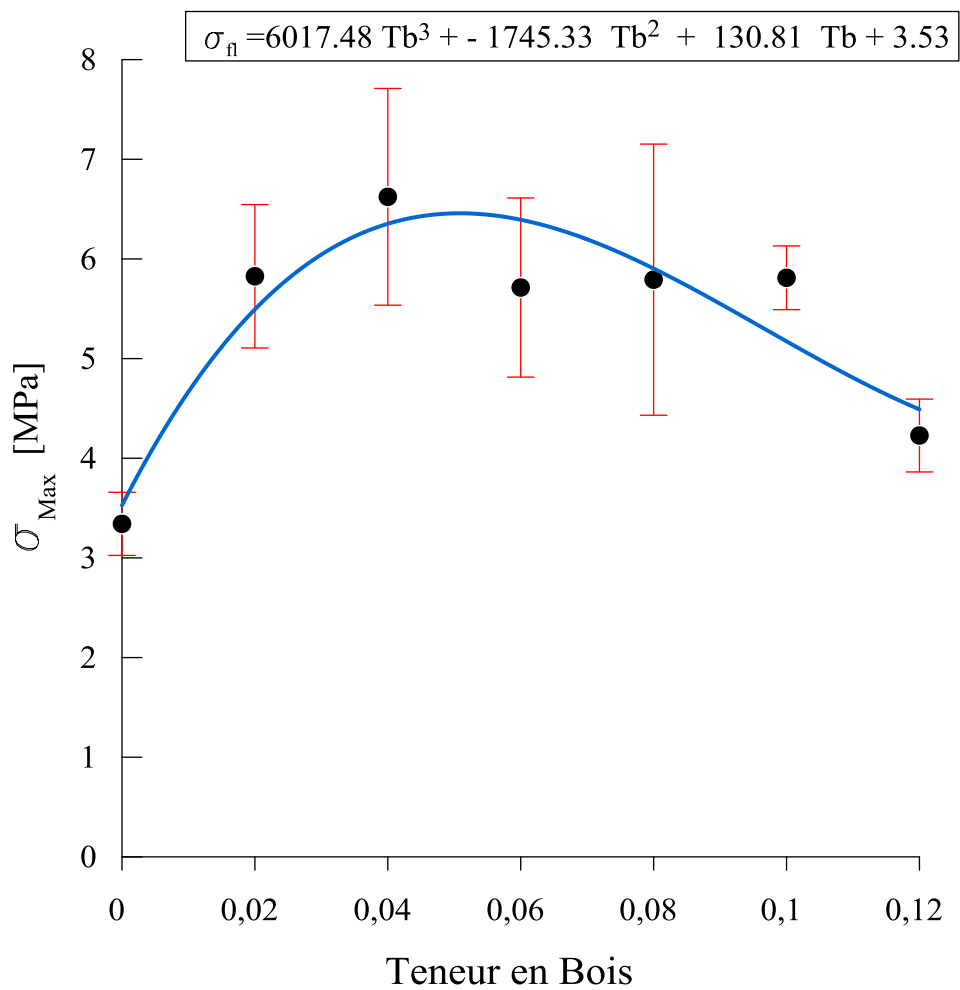


Fig.IV.10. L'évolution de la force de flexion des Composites Bois-Ciment en fonction de la course pour les différentes teneurs en bois.

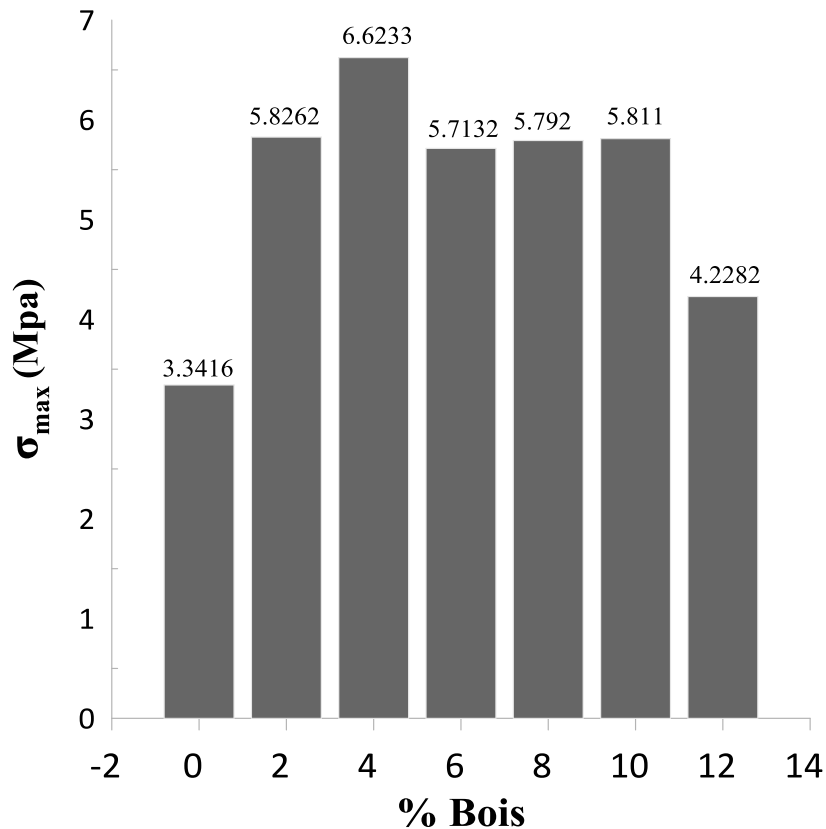


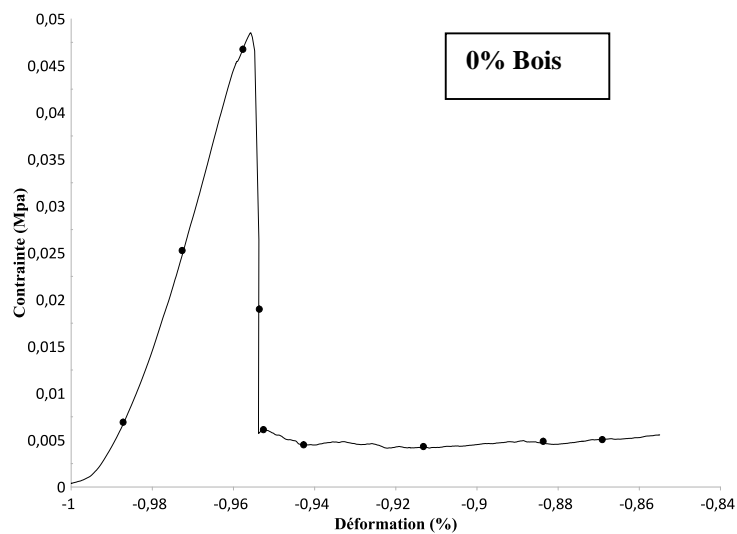
Fig.IV.11. Histogramme présentant l'évolution des contraintes de Flexion des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois.

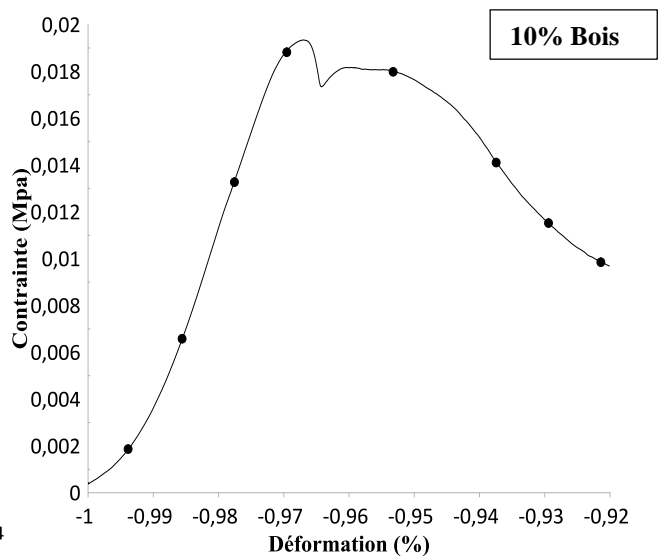
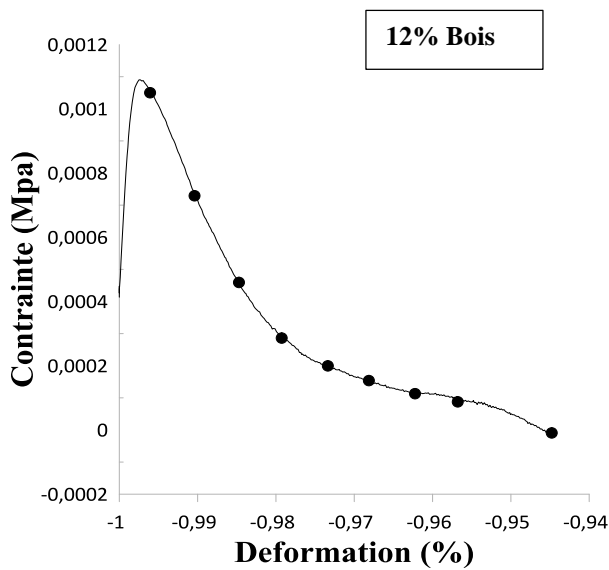
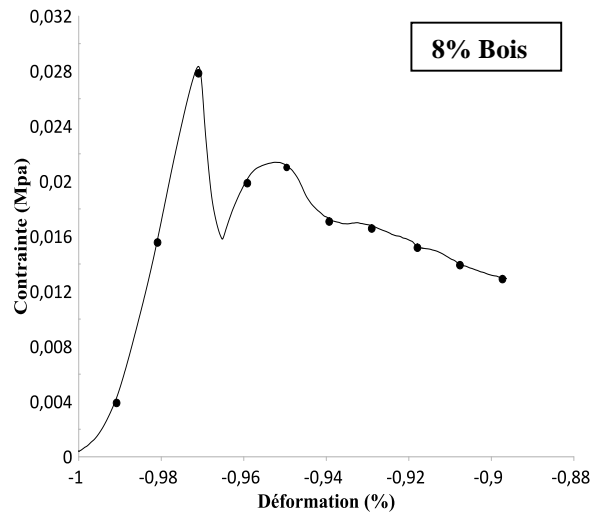
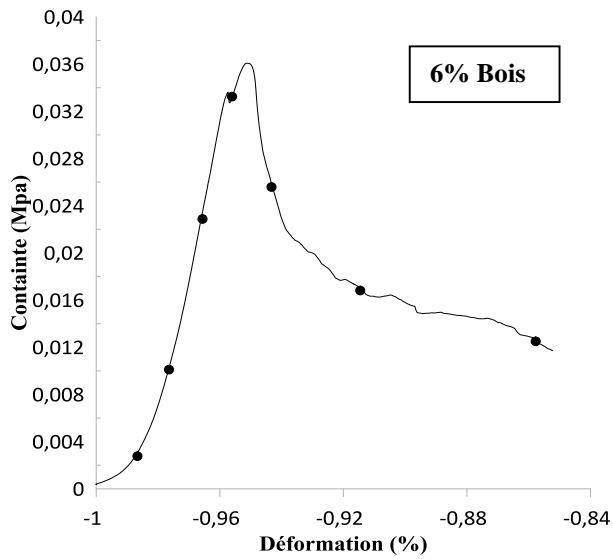
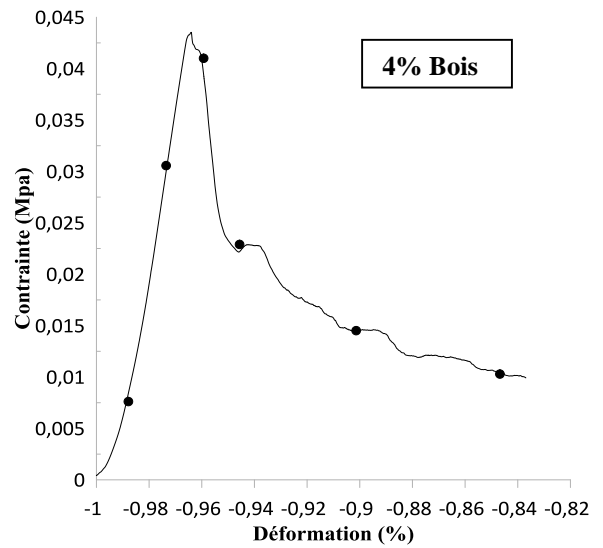
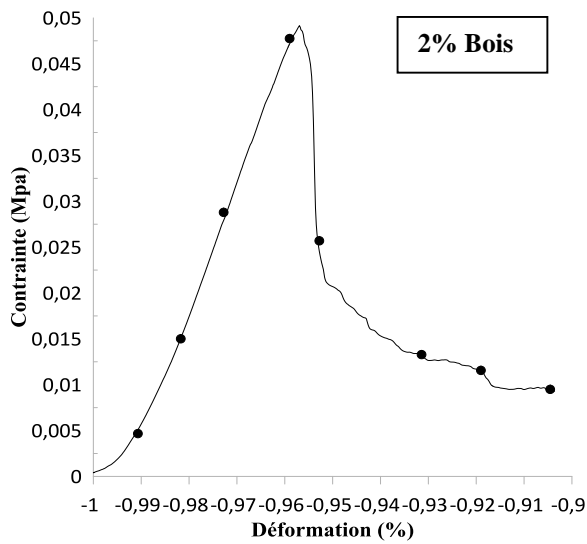
On peut expliquer l'évolution de la résistance comme suit :

- De 0% à 4% de bois, on observe une augmentation significative de la résistance à la flexion, atteignant un maximum à 6.6233 MPa pour 4%. Cette augmentation peut être attribuée à une meilleure adhésion entre les fibres de bois et la matrice cimentaire, ce qui permet une répartition plus efficace des charges dans le composite.
- À partir de 4%, la résistance a tendance à diminuer légèrement, atteignant 5.7132 MPa à 6%. Cette légère baisse pourrait résulter d'une augmentation de la porosité dans le composite due à l'augmentation de la teneur en bois, ce qui peut créer des zones faibles dans le matériau.
- Entre 8% et 10%, les valeurs restent relativement stables autour de 5.811 MPa, mais chutent drastiquement à 4.2282 MPa pour 12%. Cette chute peut être expliquée par plusieurs facteurs, à savoir l'incompatibilité Chimique : L'augmentation excessive de bois peut interférer avec le processus d'hydratation du ciment, réduisant ainsi l'efficacité de la liaison entre les composants.

IV.2.4.2. Résistance en Compression

L'étude du comportement mécanique en compression des composites bois-ciment se concentre sur l'influence des particules de bois sur la résistance à l'écrasement de ces matériaux composites élaborés. L'évolution de la contrainte en compression des composites Bois-Ciment en fonction de la déformation, pour les différents teneurs en bois, après 28 jours de séchage à environ 25°C, est représenté sur la figure IV.12. La contrainte a été calculé en prenant la moyenne des essais de six (06) éprouvettes pour chaque teneur en bois.





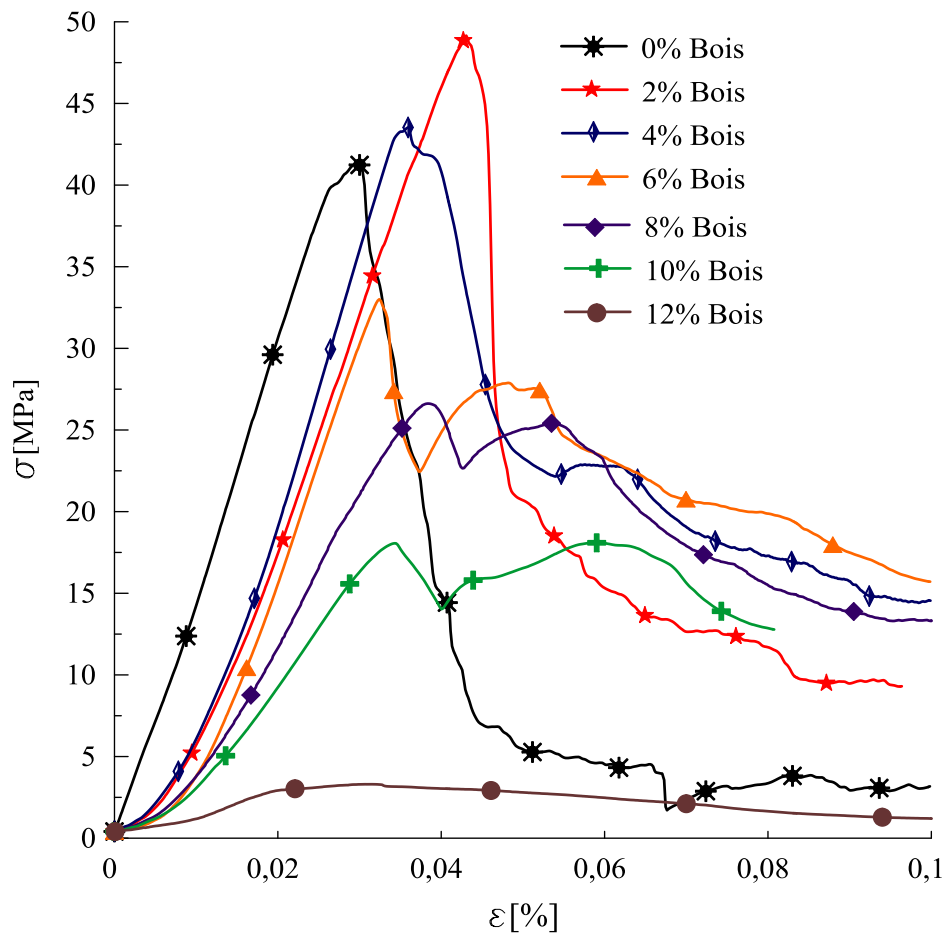


Fig.IV.12. L'évolution des contraintes de compression des Composites Bois-Ciment en fonction de la déformation et la superposition des courbes.

Les courbes représentées en figure.IV.12, montrent que le comportement adopté par nos composites bois-ciment est un comportement élastique fragile pour les différentes teneurs en bois. Passant par une limite élastique puis une rupture fragile.

D'un point de vue contrainte maximale (voir tableau.IV.10 et figure.IV.13 et figure.IV.14), on constate que la résistance à la compression augmente en atteignant un seuil ou un optimum de 46.869 MPa à 2% en bois. Cette augmentation peut être attribuée à une meilleure interaction entre les fibres de bois et la matrice cimentaire, favorisant une répartition plus uniforme des charges.

Tableau.IV.10. Contrainte maximale en compression en fonction de pourcentage de bois accompagnée du calcul d'erreurs.

% Bois	0	2	4	6	8	10	12
σ (Mpa)	44.5188	46.869	42.8204	35.261	25.6267	18.8352	4.1401
Erreur relative (%)	3,6021	8,8278	8,0065	3,1986	1,7119	2,6553	1,9791

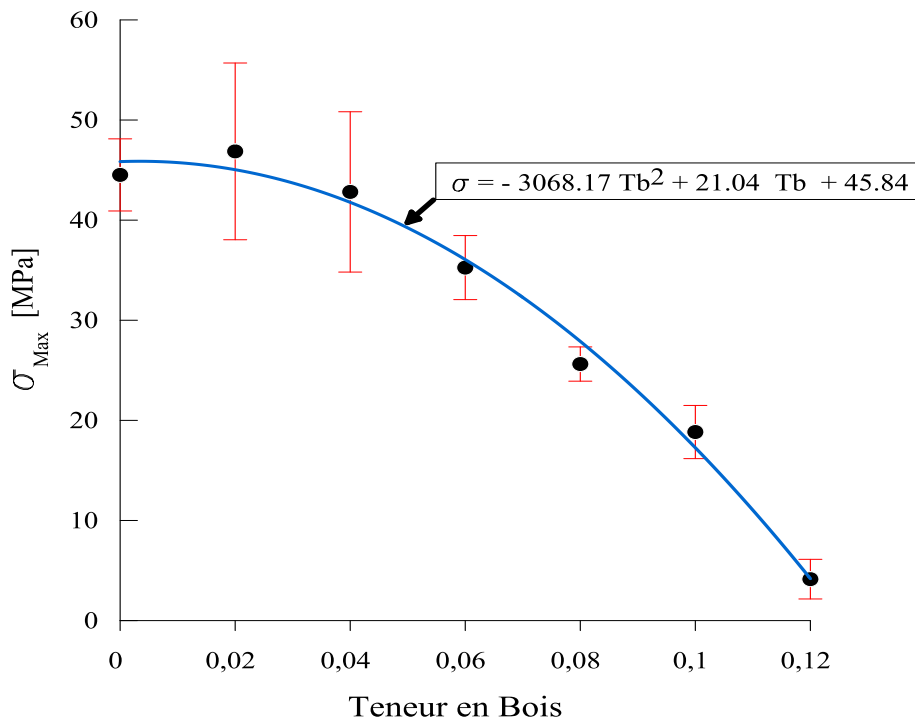


Fig.IV.13. Evolution des contraintes de compression des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois

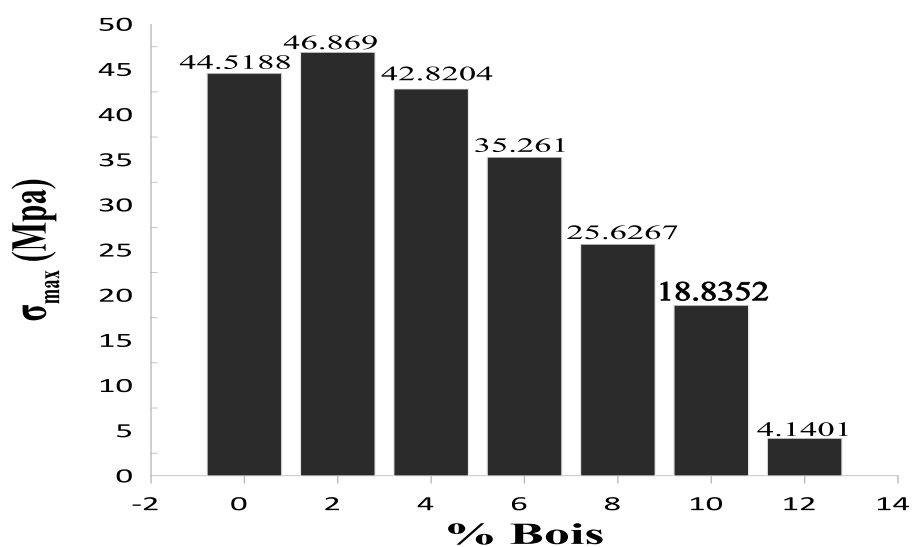


Fig.IV.14. Histogramme de l'évolution des contraintes de compression des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en Bois

À 4%, bien qu'il y ait encore une résistance relativement élevée (42.8204 MPa), on observe déjà une légère diminution par rapport à 2%. Cela peut indiquer que l'augmentation de la teneur en bois commence à introduire des faiblesses structurales, possiblement dues à une porosité accrue ou à des interactions chimiques défavorables entre le ciment et les composants du bois.

À partir de 6% jusqu'à 12%, la résistance continue de diminuer de manière drastique, atteignant une valeur de 4.1401 MPa à 12%. Cette chute brutale de la résistance peut s'expliquer par la présence d'une forte porosité dans les composites qui augmente en fonction de la teneur en bois et qui réduit par conséquent sa densité et sa capacité à supporter des charges.

IV.2.4.2.1. Module de Young

Le module de Young a été calculé en prenant la moyenne de six (06) éprouvette pour chaque teneur en bois. L'erreur relative est également déterminée (voir tableau.IV.11).

Tableau.IV.11. Module d'Young en fonction de la teneur en bois

% Bois	0	2	4	6	8	10	12
Module d'Young (E) (MPa)	0,213	0,233	0,264	0,238	0,173	0,130	0,035
Erreur relative (%)	0,0197	0,0374	0,0214	0,0364	0,0478	0,0103	0,0146

L'ensemble est présenté sur la courbe de la figure.IV.15.

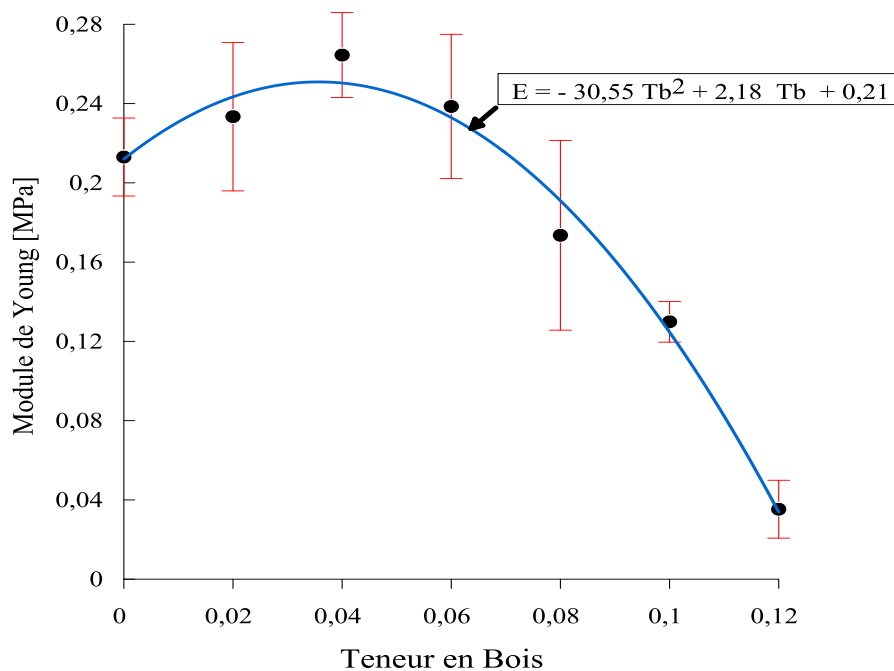


Fig.IV.15. L'évolution de module d'Young des composites Bois-Ciment en fonction de la teneur en bois.

D'après la figure.IV.15, on constate que l'évolution du module de Young de nos composites bois-ciment en fonction de la teneur en bois présente une approche polynomiale de degrés 2.

Le module de Young qui est un rapport de contrainte et déformation varie en fonction de la teneur en bois. Il augmente de 0 à 4% atteignant un optimum qui est de l'ordre de 0.264MPa. Au-delà de 4% en bois, le module de Young connaît une diminution continue jusqu'à une valeur de 0.035 MPa enregistrée à 12% en bois.

Au final, d'après les résultats mécaniques de compression et flexion, on constate :

- Un optimum de résistance en compression pour la teneur de 2% en bois dans les composites bois-ciment, au-delà de cette teneur, la résistance mécanique diminue considérablement.
- Un optimum de résistance en flexion pour la teneur de 4% en bois dans les composites bois-ciment, au-delà de cette teneur, la résistance mécanique diminue considérablement.

Ce travail met en exergue que des proportions modérées de bois autour de 2% et 4% améliore les propriétés mécaniques respectivement en compression et flexion, tandis qu'une augmentation excessive conduit à une dégradation significative de la rigidité et des performances. Pour maximiser la résistance et l'efficacité des composites bois-ciment, il serait bénéfique d'explorer d'autres traitements chimiques pour améliorer l'adhésion entre le bois et le ciment et d'optimiser les proportions utilisées dans la formulation du composite tout en évitant les effets négatifs d'une teneur excessive.

IV.5. Conclusion

L'intégration de la farine de bois d'olivier dans les composites bois-ciment entraîne une réduction significative de la masse volumique, ce qui les classe comme des bétons légers. Les valeurs minimales de masse volumique observées sont de 1270kg/m³ pour une teneur en bois à 12 %, se situant dans la plage des bétons légers isolants (1000-1400 kg/m³).

Le taux d'absorption d'eau par capillarité et immersion totale est particulièrement faible à 4 % et 2% de teneur en bois respectivement, comparé à d'autres niveaux.

Les résultats de l'analyse IRTF montrent que le traitement alcalin n'a apporté aucune amélioration quant à la réduction de l'absorption d'eau et d'humidité. Au contraire, le bois naturel non traité montre une faible absorption en le comparant au bois traité.

Les résultats des tests mécaniques de compression et de flexion révèlent :

- Le comportement adopté par les composites est élastique fragile.
- Un optimum de résistance en compression et flexion respectivement pour la teneur de 2% et 4% en bois dans les composites bois-ciment, au-delà de cette teneur, la résistance mécanique diminue considérablement.

Références bibliographiques

- [1] V. Tserki, P. Matzinos, S. Kokkou, C. Panayiotou, Novel biodegradable composites based on treated lignocellulosic waste flour as filler. Part I. Surface chemical modification and characterization of waste flour, *Composites. Part A*, 2005; 36: 965-974.
- [2] Salem Lounas, Mohamed Saidj « Elaboration et caractérisation d'un matériaux composite Bois-Ciment », UMMTO, Tizi-Ouzou, 2023.
- [3] Rahmoun et al « Effet of treatment with soda and dimethoxydimethylsilane on water absorption and thermal stability of olive pomace flour and date stone », *J.Mater. Environ.Sci.* 6(9) (2015) 2655-2664.
- [4] M. Zhou, S. Caré, D. Courtier-Murias, P. Faure, S. Rodts, P. Coussot. *Wood Science and Technology*, 52, 929-955 (2018).

Conclusion Générale

L'objectif principal de la caractérisation expérimentale du matériau composite bois-ciment élaboré à partir du bois d'Olivier est de mieux comprendre ses propriétés chimiques, physiques et mécaniques, afin de favoriser son utilisation dans le secteur du bâtiment comme un recouvrement intérieur ou extérieur des murs. Cette caractérisation vise à établir le comportement du composite sous différentes conditions d'utilisation. Les études expérimentales incluent les tests de compression et de flexion pour évaluer la résistance mécanique, ainsi que des analyses physico-chimiques pour déterminer la densité du composite et sa réponse via les variations d'humidité et d'absorption en fonction de la teneur du bois.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons développé des composites à matrice cimentaire en utilisant des particules de bois d'Olivier comme renforts, à des pourcentages variant de 0% à 12%. Cette élaboration a été réalisée selon un protocole de fabrication spécifique. Par la suite, nous avons soumis les composites ainsi créés à une série d'essais physico-chimiques, mécaniques pour en évaluer les performances. Les résultats de cette étude peuvent être réénumérés comme suit :

- ✚ Le traitement alcalin avec de la soude en relation avec l'analyse IRTF, n'a apporté aucune amélioration pour la farine du bois d'olivier, au contraire l'absorption semble plus importante.
- ✚ L'ajout de farine de bois dans le composite bois-ciment entraîne une réduction significative de la masse volumique, ce qui le classe parmi les bétons légers. La valeur minimale de la masse volumique observée est de 1270 kg/m^3 pour une teneur en bois de 12%. Ce résultat se situe dans la plage des bétons légers isolants, qui varie entre 1000 et 1400 kg/m^3 .
- ✚ L'absorption d'eau par capillarité et immersion totale présentent une faible absorption à 4 % et 2% de teneur en bois respectivement, comparé à d'autres niveaux. Ce qui signifie que l'ajout des teneurs modérées à 2 et 4% en bois à la matrice cimentaire engendre une faible absorption.
- ✚ Les résultats des tests mécaniques de compression et de flexion révèlent :
 - Un comportement élastique fragile des composites.
 - Un optimum de résistance en compression et flexion respectivement pour la teneur de 2% et 4% en bois dans les composites bois-ciment, au-delà de cette teneur, la résistance mécanique diminue considérablement. Il est essentiel d'optimiser cette proportion pour garantir l'intégrité structurelle et la durabilité des composites dans des applications pratiques.

En perspectives, il est important d'étaler cette étude sur :

- Réaliser des tests thermiques, soit la conductivité thermiques des composites, pour évaluer leur isolation thermique.
- Étudier l'impact de différentes essences de bois sur les propriétés mécaniques des composites.
- Évaluer les performances au feu et les propriétés acoustiques des composites qui permettra de renforcer leur attrait pour des constructions où la sécurité incendie et l'isolation sonore sont essentielles.
- Intégrer d'autres traitements chimiques appart la soude qui pourrait améliorer l'adhésion entre le bois et le ciment, augmentant ainsi la durabilité et la résistance à l'humidité des composites.