



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET
D'INGENIERIE - ANNABA -
(Ex ENSMM)

DEPARTEMENT SCIENCE ET GENIE DES MATERIAUX

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES
FILIERE : METALLURGIE
SPECIALITE : INGENIERIE DES SURFACES

Intitulé :

Etude et Caractérisation mécanique et physique des panneaux de fibre à densité
moyenne

Présenté par

REZZAZ RAYEN

Encadrant	Dr. GHOUH Haoues	MCA, ENSTI-ANNABA
Encadrant	Mr. ZELMATI Djamel	MRA, CRTI-ANNABA
Président	Dr. TAHRAOUI Tarek	MCA, ENSTI-ANNABA
Examinatrice	Dr. LEMBOUB Samia	MCB, ENSTI-ANNABA

Année / 2023



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
الجامعة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة
Ecole Nationale Supérieure de Technologie et d'Ingénierie -
Annaba

Département Science et Génie des Matériaux

**AUTORISATION DE DEPOT FINAL DU
MEMOIRE DE MASTER**

Je soussigné (e) Mr. TAHRAOUI TAREK.....
Président(e) du jury de soutenance de mémoire de Master, déclare avoir autorisé
Melle.... *Ressaz Rayen*.....
à déposer son mémoire de Master après avoir apporté les corrections signalées
par les membres du jury.

Avis du Promoteur :

عبد الواس

Avis de l'Examineur :

*Avis Favorable pour le dépôt final du mémoire de
Master.*

د. محبوب سامية
Shunshun le 11/07/2023

Président du Jury

Avis favorable

[Signature]

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force, le courage, la persistance et m'a permis d'exploiter les moyens disponibles afin d'accomplir ce modeste travail. EL-HAMDOULILEH de m'avoir éclairé le chemin de la réussite.

Je tiens très sincèrement à remercier mes encadreurs de mémoire, **Dr GHOUH Haoues** et **Mr Djamel ZELMATI** pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce travail et aussi pour toute leur confiance, leur soutien, leur disponibilité et pour leurs conseils sur le plan pratique et théorique tout au long du parcours. Merci pour votre aide précieuse qui m'a été grandement utile au cours des différentes étapes et lors de la rédaction de ce mémoire, et je lui souhaite la santé et le bonheur.

Je m'exprime aussi mes remerciements aux membres du jury :

- **Dr. GHOUH Haoues** et **Mr ZELMATI Djamel** pour sa gentillesse et ses précieux conseils.
- **Dr. TAHRAOUI Tarek** pour sa présence et pour nous faire l'honneur de présider cette mémoire.
- **Dr. LEMBOUB Samia** pour sa gentillesse et d'avoir accepté d'être examinatrice de ce travail.

Je tiens à vous exprimer ma sincère reconnaissance et mon plus profond respect.

Tout d'abord ;

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir,
la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et
le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire « Ya Kayoum »

A ma chère mère **Hanifa** ;

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie ; le symbole
de tendresse, ma raison de vivre ; qui s'est sacrifiée pour mon bonheur
et ma réussite.

A mon cher père **Tarek** ;

Ecole de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années
des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me
donner l'aide et à me protéger. Que Dieu le garde et le protège.

A mes frères : **ABD EL DJALIL** et **MOUAD**

Que Dieu les aide à suivre ce pas d'études.

A ma grande mère **MAHJOUBA**

A la mémoire de mes grands-parents que dieu ait leurs âmes

« **FARIDA, OMAR** et **HABIB** »

A mes tantes et mes oncles

A mes cousines et cousins

A mes meilleures amies

Rayen Rezzaz

Résumé

Cette étude vise à étudier les composites à base de bois et précisément le MDF (Medium Density Fiberboard) élaboré au sein de l'entreprise Panneau d'Algérie. Ce travail est divisé en deux parties, La première partie traite le contrôle de qualité de la résine urée formaldéhyde et les produits de MDF, et la deuxième partie concentre sur l'étude de l'influence de saturation en eau sur les caractéristiques mécaniques des produits MDF. Ces propriétés sont obtenues à partir des essais de dureté, de traction et de flexion avec une caractérisation microstructurale avec le microscope électronique à balayage. Cette recherche contribue à l'amélioration continue des production MDF et ouvre la voie aux futures recherches pour améliorer ses caractéristiques et trouver de nouvelles applications.

Mot clés : MDF, Traction, Flexion, Densité, saturation.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة المركبات القائمة على الخشب وعلى وجه التحديد MDF (اللوحة الليفي متوسط الكثافة) الذي تم تطويره داخل شركة Panneaux d'Algérie. ينقسم هذا العمل إلى جزأين، يتناول الجزء الأول مراقبة جودة المادة الصمغية فورمالدهايد ومنتجات MDF، ويركز الجزء الثاني على دراسة تأثير تشبع الماء على الخصائص الميكانيكية للمنتجات. يتم الحصول على هذه الخصائص من اختبارات الصلابة والشد والانحناء المترابطة تحت المجهر الإلكتروني الماسح. يساهم هذا البحث في التحسين المستمر لإنتاج MDF ويمهد الطريق للبحث المستقبلي لتحسين خصائصه وإيجاد تطبيقات جديدة.

الكلمات المفتاحية: متوسط الكثافة اللوح الليفي , التشبع , تمزق , كثافة.

Abstract

This study aims to study the wood-based composites and precisely the MDF (Medium Density Fiberboard) developed within the company Panel of Algeria. This work is divided into two parts, The first part deals with the quality control of urea formaldehyde resin and MDF products, and the second part focuses on the study of the influence of water saturation on the mechanical characteristics of the products. MDF. These properties are obtained from hardness, tensile and bending tests with microstructural characterization with the scanning electron microscope. This research contributes to the continuous improvement of MDF production and paves the way for future research to improve its characteristics and find new applications.

Key words: MDF, tensile, bending, density, saturation

Liste des figures

Chapitre I

Fig.1, SARL Panneaux d'Algérie.....	2
Fig.2, Matière première.....	3
Fig.3, Le déchiquetage.....	3
Fig.4, Le défibrage.....	3
Fig.5, Le refroidissement	5.
Fig.6, Ponçage et coupage.....	5

Chapitre II

Fig.7, Chiffres et tendances mondiales 2022-2027.....	6
Fig.8, Quelques applications des CMO.....	7
Fig.9, Quelques applications des CMC	8
Fig.10, Quelques applications des CMM	8
Fig.11, Types des renforts.....	9
Fig.12, Schéma représente la composition d'un composite à base de bois.....	10
Fig.13, la structure de l'urée Formaldéhyde.....	12

Chapitre III

Fig.14, Schéma représente le montage utilisé dans l'essai d'absorption de la surface.....	17
Fig.15, Solution de toluene	18
Fig.16, Le montage utilisé dans l'essai d'absorption de surface.....	18.
Fig.17, L'étuve Nukleon.....	20
Fig.18, La mesure de poids de la résine avec la balance électronique avant l'étuvage.....	20
Fig.19, La mise de la résine dans l'étuve.....	20

Fig.20, Solution de l'Ammonium.....	21
Fig.21, Le remplissage de l'entonnoir avec de la colle (la résine).....	22
Fig.22, Fermeture de l'entonnoir plein avec le morceau de verre.....	22
Fig.23, Lancement du chrono.....	22
Fig.24, Etuve.....	23
Fig.25, L'immersion dans l'eau.....	23
Fig.26, Microscope électronique à balayage (MEB) modèle FEI Quanta 250.....	24
Fig.27, Duromètre universelle INNOVATEST.....	24
Fig.28, Machine universelle de flexion MFL de type VHP 600 de marque Zwick	25
Fig.29, Machine universelle de traction de marque <i>Zwick</i>	26

Chapitre IV

Fig.30, Histogramme comparatif des valeurs de la teneur en solide pour les trois essais.....	28
Fig.31, Microstructure obtenue par microscope électronique à balayage du MDF sec	30
Fig.32, Microstructure obtenue par microscope électronique à balayage du MDF humide.....	30
Fig.33, Courbe de traction du MDF.....	31
Fig.34, Courbe de flexion du MDF.....	33

Liste des tableaux

Tab.1. Résultats des essais du contenu solide.....	28
Tab.2. Résultats des essais de viscosité.....	29
Tab.3. Résultats des essais de duretés Brinell.....	31
Tab.4. Paramètres de l'essai de traction avant saturation.....	32
Tab.5. Paramètres de l'essai de traction après saturation.....	32
Tab.6. Paramètres de l'essai de flexion avant saturation.....	33
Tab.7. Paramètres de l'essai de flexion après saturation.....	33

Liste des abréviations

CBP	Composite bois-plastique
CMC	Composites à matrice céramique
CMM	Composites à matrice métallique
CMO	Composites à matrice organique
ENSMM	Ecole Nationale Supérieure des Mines et Métallurgie
G	gramme
h	heure
HDF	« High Density Fiber » Fibre Haute Densité
Kg	Kilogramme
LVL	« Laminated Veneer Lumber »
MDF	« Medium density Fiberboard » Panneau à moyenne densité
ml	millilitre
mm	millimètre
MPa	méga pascal
N/mm²	Newton par millimètre au carré
OSB	« Oriented Strand Board »
UF	urée formaldéhyde
WPC	« Wood Polymer Composite » Composite bois-plastique

Table de matières

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Tables de matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction général.....	1
CHAPITRE I : Présentation de l'organisme d'accueil	
I. Définition.....	2
II. Le processus industriel de fabrication.....	2
II.1 Trituration (préparation de la matière première).....	2
II.2 Le Déchiquetage.....	3
II.3 Le défibrage.....	3
II.4 Le collage.....	4
II.5 Le pressage.....	4
II.6 Refroidissement.....	4
II.7 Ponçage et coupage.....	5
II.8 Mélamine.....	5
CHAPITRE II : Recherches bibliographiques	
I. Généralités sur les composites.....	6
I.1 Définition.....	6
I.2 Les constituants.....	7
I.2.1 Matrice.....	7
I.2.2.1 Composites à matrice organique (CMO).....	7
I.2.2.2 Composites à matrice céramique (CMC).....	7
I.2.2.3 Composites à matrice métallique (CMM).....	8
I.2.2 Renfort.....	8
I.2.3 Les additifs.....	9
II. Les composites à base de bois.....	9
II.1 Définition.....	9
II.2 Domaine d'application	10
II.3 Exemples de composites à base de bois.....	10
II.3.1 OSB	10
II.3.2 LVL	10
II.3.3 HDF.....	11

III. Panneaux de fibres à densité moyenne.....	11
III.1 Les fibres de bois.....	11
III.2 La résine urée formaldéhyde UF.....	12
III.3 Les classes de produit MDF.....	12
III.4 Les avantages et les inconvénients.....	13
III.4.1 Les avantages	13
III.4.2 Les inconvénients	13
III.5 Les propriétés du produit MDF	13
III.6 Revêtement avec les panneaux MDF.....	14
III.7 Influences des caractéristiques des constituants sur les propriétés des composites (MDF).....	14
III.7.1 Effets de la dispersion et l'orientation des fibres.....	14
III.7.2 Influence de l'humidité et de la température.....	15
III.7.3 Influence de la nature et la quantité des constituants.....	15
III.7.4 Influence de la morphologie des fibres.....	15

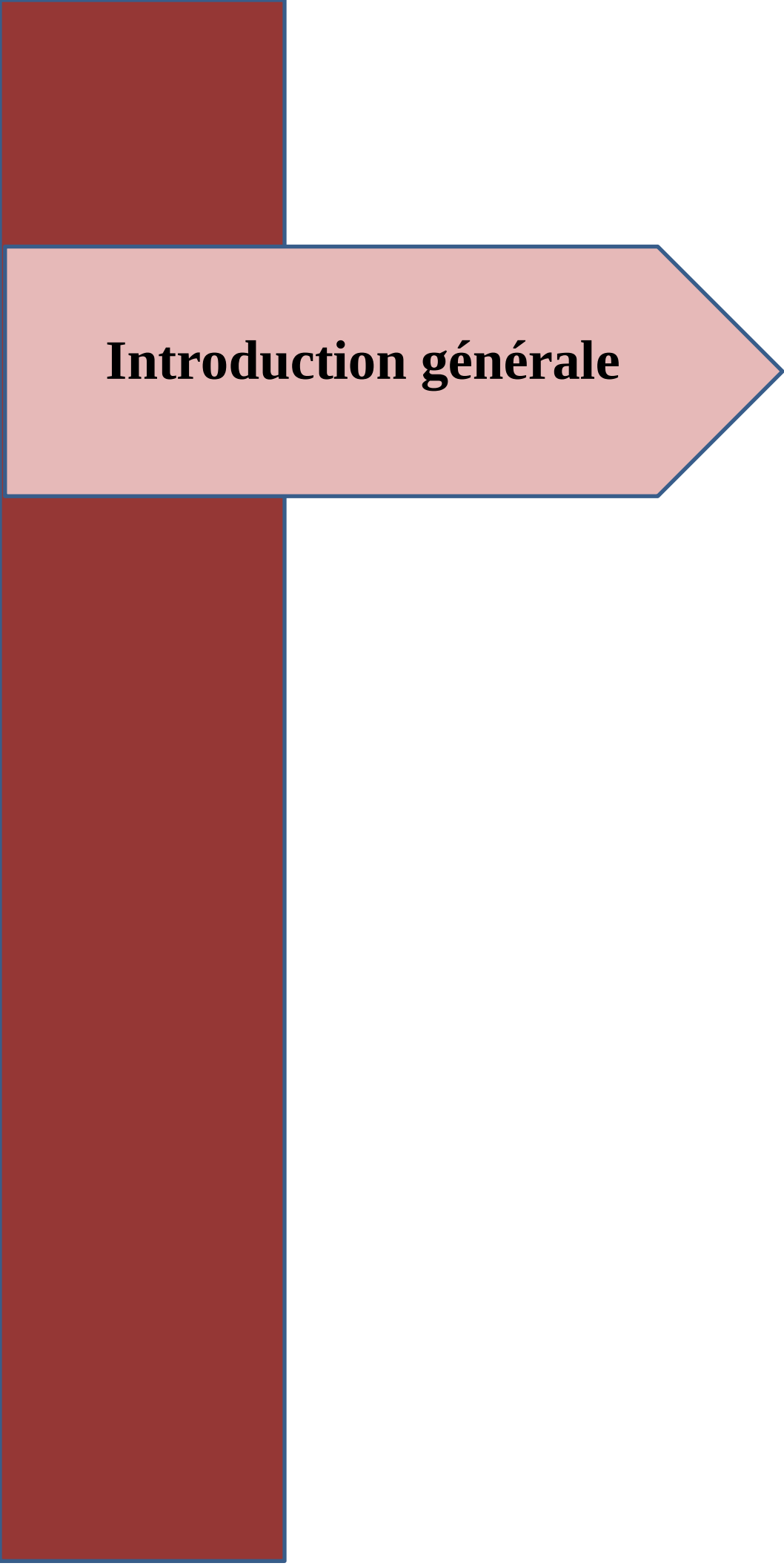
CHAPITRE III : Matériels et méthodes

I. Matériaux d'étude.....	17
II. Caractérisation physique.....	17
II.1 Absorption de surface « Surface absorption ».....	17
II.2 Test de gonflement.....	19
II.3 La résine.....	19
II.3.1 Contenu solide.....	19
II.3.2 Temps de gélification.....	21
II.3.3 Viscosité.....	21
III. influence de la saturation en eau sur les propriétés mécaniques du MDF.....	23

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

I. Caractérisation physique.....	27
I.1 Résultats obtenus par l'essai d'absorption de surface « Surface absorption ».....	27
I.2 Résultats obtenus par le Test de gonflement.....	27
I.3 La résine.....	27
I.3.1 Contenu solide.....	27
I.3.2 Résultats obtenus par l'essai de temps de gélification.....	29
I.3.3 Viscosité.....	29
II. Influence de l'eau sur le comportement mécanique du MDF.....	30
II.1 Résultats obtenus par le MEB.....	30
II.2 Résultats obtenus par l'essai de durité.....	31
II.3 Résultats obtenus par l'essai de traction.....	31

Conclusion Général.....	35
Références bibliographiques	



Introduction générale

Introduction générale

1

Plus frêles, plus inusables, économes en matières premières, les matériaux composites se sont imposés comme les éléments essentiels de la construction et de la rénovation de demain. Leur utilisation se généralise dans tous les secteurs. Historiquement utilisés dans le nautisme, ils sont aujourd'hui dans l'aéronautique, l'automobile, l'éolien, les articles de sport. Leur point fort leur légèreté et leur solidité résultantes de l'assemblage de deux matériaux non miscibles qui seuls ne peuvent pas se prévaloir de telles propriétés.

Les composites à base de bois sont de plus en plus populaires en raison de leur durabilité et de leur apparence esthétique est spécialement le MDF (Medium Density fiberbord) qui est largement utilisé dans l'ameublement, la construction, l'emballage et la décoration intérieure. Le MDF est un matériau composite fabriqué à partir de fibres de bois et de résine synthétique. Il est moins cher que le bois massif, plus facile à travailler et plus résistant à l'humidité et aux moisissures. Cependant, il ne convient pas pour une utilisation en extérieur en raison de sa faible résistance aux intempéries. Sa performance dans des environnements humides n'a pas été bien étudiée. Cette étude est importante car elle peut aider à améliorer la conception de produits en bois MDF destinés à une utilisation dans des environnements humides

L'objectif de cette étude était d'une fois de faire un contrôle qualité des produits MDF et de la résine urée formaldéhyde et d'autres fois d'explorer l'influence de l'eau sur les propriétés mécaniques du bois MDF.

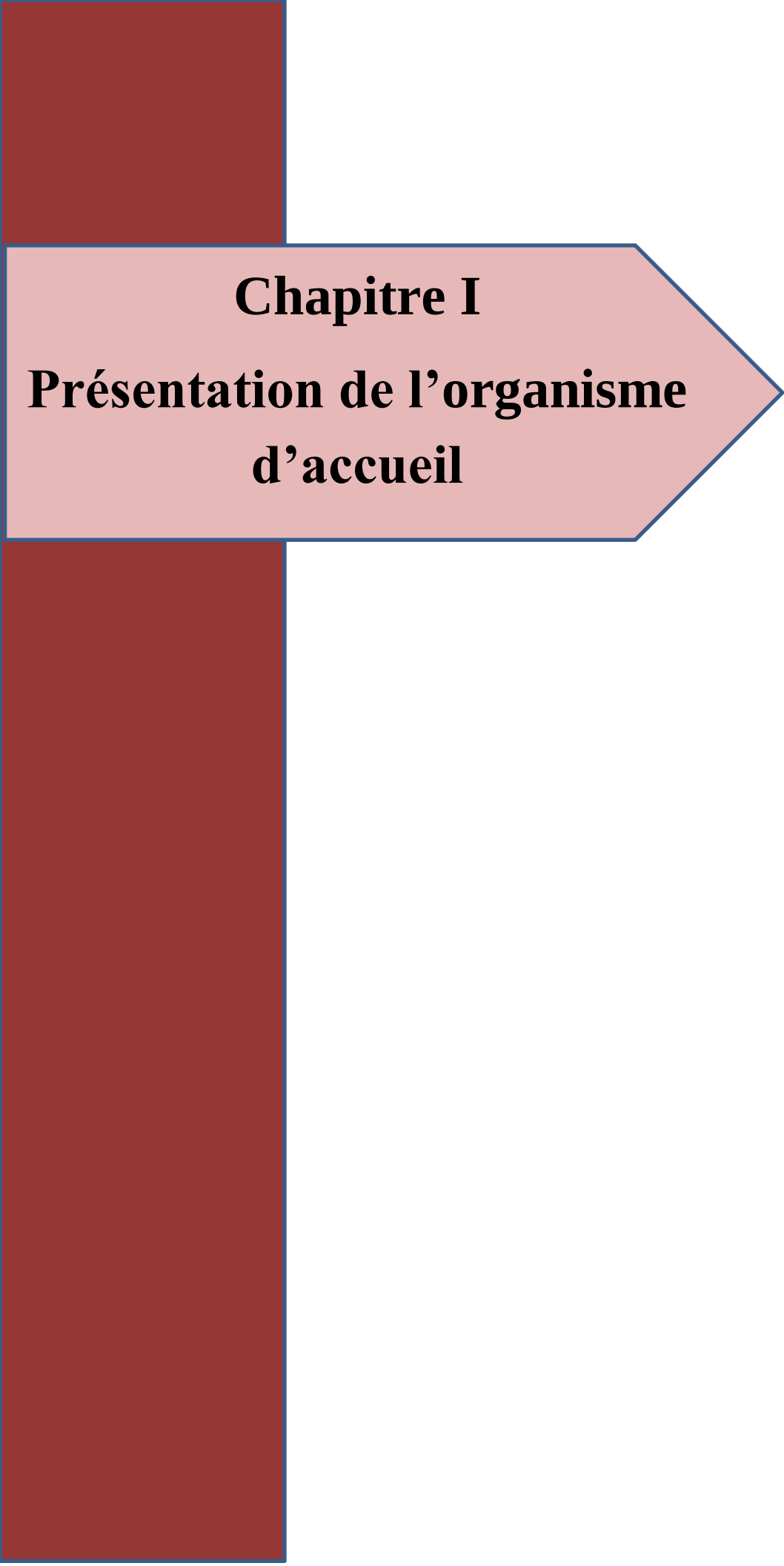
Ce mémoire se scinde en quatre chapitres

Le premier chapitre : présentation de l'entreprise Panneau d'Algérie ainsi que les étapes suivies dans la fabrication du produit MDF

Dans le deuxième chapitre, est consacré à une recherche bibliographique sur les matériaux composites, leurs constituants, leur classification ainsi que les composites à base de bois et précisément le MDF

Le troisième chapitre traite la partie expérimentale de notre travail. Il s'agit du contrôle qualité du bois MDF et de la résine urée formaldéhyde ainsi que la caractérisation mécanique du bois MDF avant et après immersion dans l'eau dans une durée de 24 heures.

Dans le quatrième chapitre nous exposons les résultats obtenus suite aux essais effectués : les essais de contrôle qualité, l'essai de traction, l'essai de flexion, l'essai de dureté et les observations microstructurales. Nous rapportons les résultats obtenus et les discuterons. Nous terminons ce manuscrit par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre I

Présentation de l'organisme d'accueil

Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse sur l'entreprise du Panneaux d'Algérie, ses produits ainsi que la ligne de production utilisée pour la fabrication des panneaux de fibres à densité moyenne.

I. Définition

SARL Panneaux d'Algérie est une unité de fabrication spécialisée dans la production de panneaux MDF (Medium Density Fiberboard) unique dans son genre au Maghreb et aux pays Arabes. La construction a été entamée en 14 mars 2013 et les travaux ont été achevés en 2022. Située à l'extrême nord-est de l'Algérie exactement à la wilaya d'El Tarf.



Fig.1, SARL panneaux d'Algérie.

II. Le processus industriel de fabrication

Pour fabriquer les panneaux, l'unité reçoit chaque année 850 millions de tonnes de bois d'eucalyptus où ils sont stockés dans des piles différentes pour être ensuite transporté pour la fabrication

Pour l'ensemble des panneaux de fibres, la fabrication se fait pratiquement suivant le même schéma :

Matière première => déchiquetage > Le Défibrage => La Pulvérisation => le pressage => refroidissement => ponçage et coupage

La ligne de production de MDF. Est basée sur le procédé de pressage à sec. Au cours de ce procédé, les fibres de bois sont mélangées à de la colle avant séchage et puis sont pressées à l'état sec. Contrairement au procédé humide qui utilise l'eau, c'est ici l'air qui est le vecteur de transport des fibres.

II.1 Trituration (préparation de la matière première)

La principale matière première utilisée est le bois d'eucalyptus, (Eucalyptus sep) qui arrive sous forme de rondins, plaquettes de scierie, culées, souches, et autres coproduits de l'industrie du bois



Fig.2, Matière première

II.2 Le Déchiquetage

Ceux-ci sont déchiquetés en copeaux puis stockés dans les silos, tamisés puis envoyées vers une cuve où elles subissent un traitement à la vapeur saturée sous haute pression (9 bars) à une température d'environ 160°C.

Dans ces conditions, la lignine, qui constitue le principal "ciment" permettant de tenir les fibres ensemble, perd ses propriétés de cohésion, ce qui permet de les séparer plus facilement et de diminuer l'énergie à apporter au défibreur



Fig.3 le déchiquetage.

II.3 Le Défibrage

Ce dernier se compose de deux disques de défibrage avec un design spécialement conçu pour défibrer le bois, installés dans un logement étanche sous pression. Le fonctionnement est similaire à celui d'une meule : un des disques est fixe (stator) tandis que l'autre (le rotor) est mis en rotation. Les copeaux sont injectés dans le défibreur via le centre du stator. Sous l'effet de la rotation, ils se déplacent dans l'étroit espace inter disques, et ce sont les forces de compression et de cisaillement générées par le contact avec les aspérités des disques et les contacts entre fibres qui permettent leur désintégration en pulpe. La stabilité du processus de défibrage et la qualité des fibres produites vont entrer autre varier selon le type de matière première, le design des disques, la température de préchauffage et l'humidité des plaquettes.



Fig.4, Le défibrage.

II.4 Le collage

Dès leur sortie du défibreux, les fibres sont pulvérisées avec de la colle type UF (Urée Formaldéhyde) Lors de cette étape, la proportion de particules fines contenue dans les fibres peut avoir un impact sur la consommation de colle D'autres additifs peuvent aussi être ajoutés en même temps que la colle pour améliorer les qualités ignifuges ou hydrofuges des panneaux, favoriser la prise de colle ou empêcher le dégagement de formaldéhyde dans le panneau fini. Les fibres sont ensuite soufflées dans un sécheur vertical. Le point critique de cette étape est de favoriser un séchage rapide sans que la colle ne polymérise. Après collage un tamisage est très nécessaire

II.5 Le Pressage

Pour la densification du matelas et la prise de la colle, chaleur et pression sont nécessaires. Le pressage du matelas est fait en continu, dans une presse composée de deux bandes en acier en contact direct avec le matelas, tendues et mises en rotation grâce à des tambours, tandis qu'une série de vérins (*pressing frames*) permettent le transfert de la pression. La chaleur est transmise via des plateaux L'étape de pressage est déterminante pour les caractéristiques finales du panneau : un profil de pression adapté à chaque type de production est nécessaire pour obtenir un panneau avec une épaisseur et un profil de densité optimal. Cette étape est très complexe suite au grand nombre de paramètres qui entrent en compte lors du Transfert de chaleur, de la polymérisation de la colle et de la densification du matelas. La morphologie et la composition des fibres est susceptible d'avoir un impact important sur le comportement du matelas de fibres lors du pressage.

II.6 Refroidissement

Lorsque les panneaux sortent de la presse et sont sciés une première fois à longueur, ils sont refroidis avec de l'air ambiant dans un carrousel de refroidissement. Ensuite, les panneaux sont stockés temporairement dans un local climatisé pour garantir la stabilisation complète des panneaux. Après l'acclimatation, les panneaux sont poncés avec une ponceuse à 4 têtes, de manière à calibrer et poncer les panneaux avec des grains de 60, 80, 100 et 150. Avant que les panneaux soient stockés pour l'expédition, ils sont sciés à mesure et conditionnés avec le plus grand soin. Les panneaux sont ensuite transférés à une roue de refroidissement puis laissés quelque temps dans une aire de maturation.



Fig.5, Le refroidissement

II.7 Ponçage et coupage

Après refroidissement, le panneau est poncé et découpé aux dimensions voulues. La vitesse de ponçage ne doit pas être trop élevée car il peut y avoir des arrondis aux angles et des problèmes de décollement aux bords quand on pose du papier mélaminé.



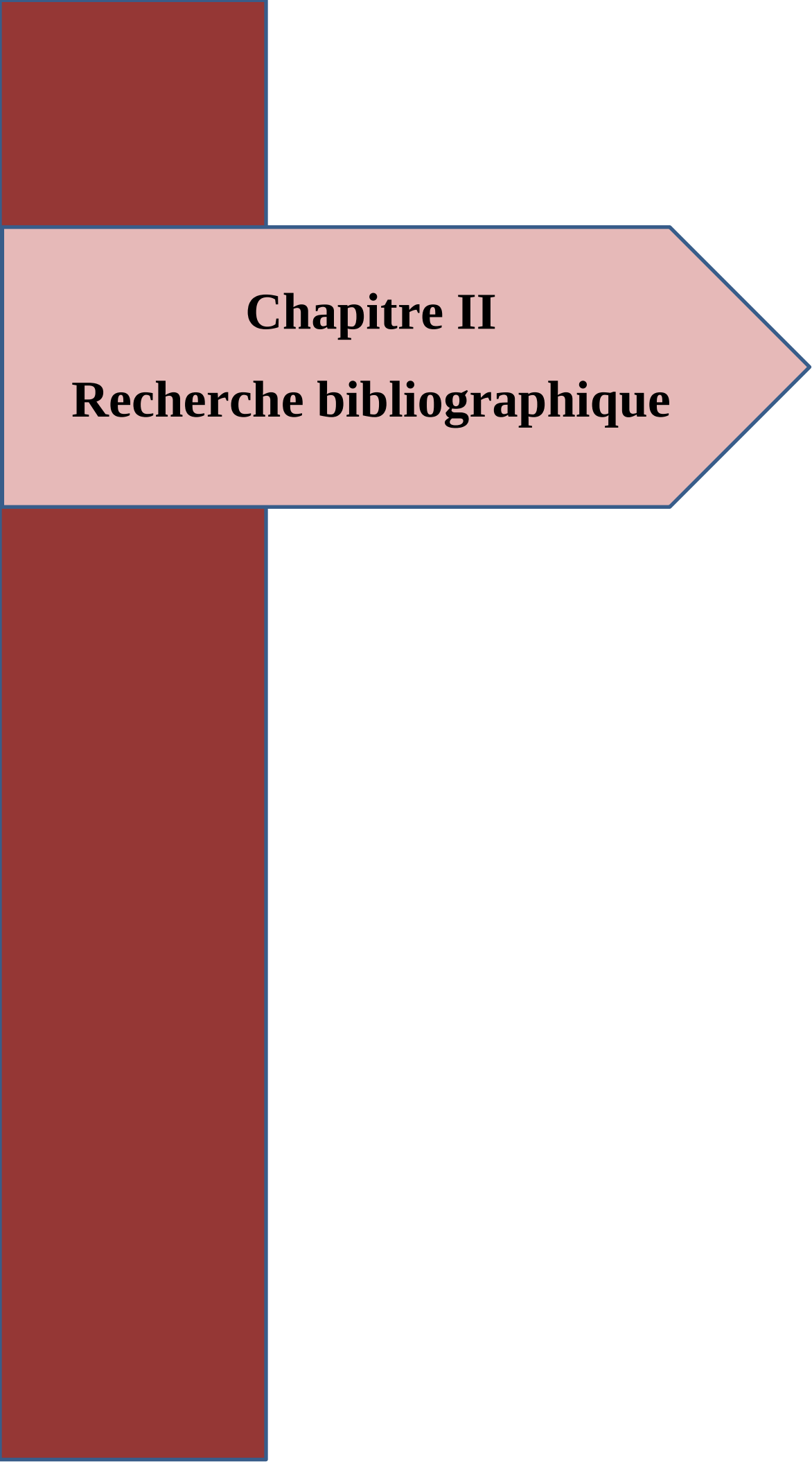
Fig.6, Ponçage et coupage.

II.8 Mélamine

Les panneaux sont emballés avec du papier mélamine.

Conclusion

A la fin de ce chapitre on a pu prendre des idées sur l'entreprise du panneau d'Algérie, aussi bien maîtrisé comment la fabrication du bois MDF se fait on s'approfondit sur chacune de ces unités de production.



Chapitre II

Recherche bibliographique

Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les composites à base de bois et précisément celle de densité moyenne MDF (Medium Density Fiberbord), ainsi que leurs caractéristiques générales, leurs constituants et leurs classes ensuite leurs avantages et inconvénients.

I. Généralités sur les composites

Au cours des années 70, les applications composites ont gagné en popularité dans les domaines de l'aéronautique, de l'automobile, des articles de sport et du biomédical. Successivement, les années 80 ont vu un développement significatif dans l'utilisation des fibres de haute performance [1]. Les matériaux composites sont attrayants car ils combinent avantageusement les propriétés des matériaux constituants et offrent des structures légères ayant une grande rigidité. Les propriétés peuvent s'adapter à des applications spécifiques tout en réduisant le poids et les besoins énergétiques [2]. Les matériaux composites sont utilisés dans le monde entier dans différents secteurs industriels **Figure 7**.

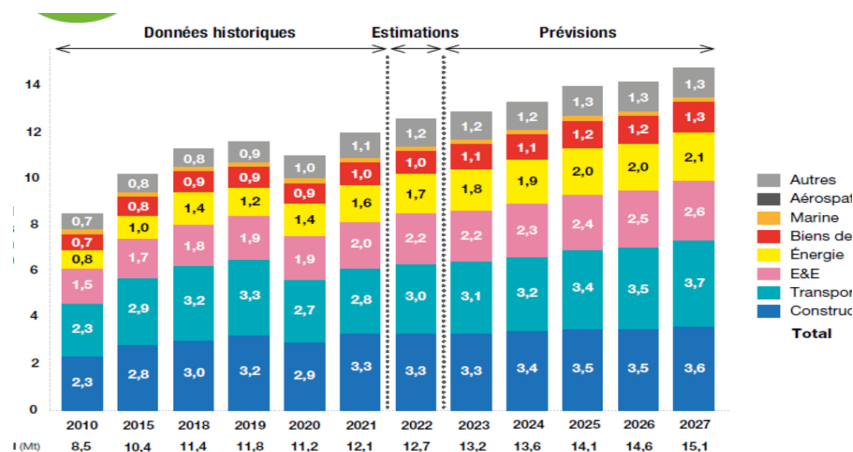


Fig.7, Chiffres et tendances mondiales 2022-2027

I.1 Définition

Selon l'encyclopédie, un matériau composite ou composite (nom masculin), est un matériau formé de plusieurs composants élémentaires dont l'association confère à l'ensemble des propriétés qu'aucun des composants pris séparément ne possède.

Un matériau composite est un matériau qui est constitué d'au moins deux matériaux de nature différente. Lorsque l'on combine deux matériaux ou plus, on obtient un matériau plus performant car ce dernier possède les propriétés de l'ensemble des matériaux utilisés.

I.2 Les constituants

I.2.1 Matrice

La matrice est l'un des deux composants principaux d'un composite, avec les **renforts**. C'est le terme désignant la résine polymérique dont le rôle est de maintenir les renforts en place et d'assurer leur cohésion et leur protection. Il permet également le transfert des efforts mécaniques au renfort. La matrice est généralement homogène et isotrope ; on distingue : matrice céramique, matrice métallique, matrice minérale, et matrice organique.[3]

I.2.1.1 Composites à matrice organique (CMO)

- **Matrice thermodurcissable**

La résine thermodurcissable est une sorte de matériau polymère dont la principale caractéristique est de passer de manière réversible du solide au liquide lorsqu'elle est chauffée.

- **Matrice thermoplastique**

Parmi les thermoplastiques les plus importants, on peut citer la famille des polyoléfines (polyéthylènes, polypropylènes), les polystyrènes, les polymères à base de polychlorure de vinyle et les acryliques. Il est à noter aussi que certains polymères cellulosiques ayant fait l'objet de modification chimique, comptent parmi les thermoplastiques comme les acétates de cellulose.

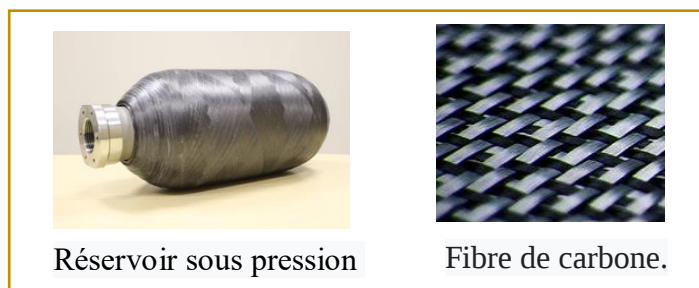


Fig.8 Quelques applications des CMO

1.2.1.2 Composites à matrice céramique (CMC)

Beaucoup moins répandus que leurs homologues à matrice organique en raison d'un coût élevé, les CMC s'adressent aux applications à très haute température. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ainsi que pour la conception d'organes haut de gamme comme des disques ou plaquettes de freins



Fig.9 Quelques applications des CMC

1.2.1.3 Composites à matrice métallique (CMM)

Le développement des composites à matrice métallique tente d'allier les qualités des métaux (ductilité, bonne résistance au vieillissement et au feu...) à la légèreté et aux bonnes propriétés mécaniques caractéristiques des structures composites. Ce sont des matériaux performants, mais d'un prix de revient encore élevé et réservés à des applications relativement exigeantes dans des domaines variés.

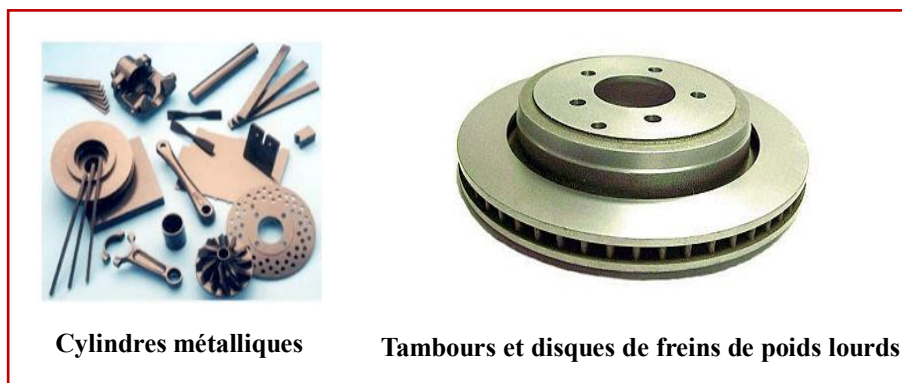


Fig.10, Quelques applications des CMM

1.2.2 Renfort

Les renforts sont généralement constitués d'un matériau plus dur que la résine, leur rôle principal est d'apporter au matériau une forte résistance, notamment à la traction, et ils se présentent généralement sous **forme** de fibres :

- Fibres longues unidirectionnelles.
- Fibres longues tressées.
- Les fibres courtes sont réparties de manière aléatoire sans orientation privilégiée.[3]

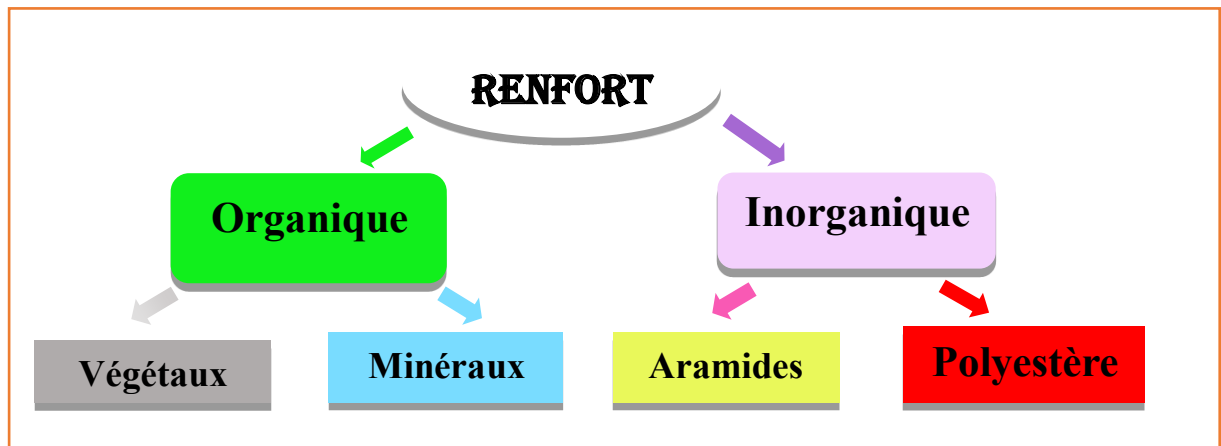


Fig.11, Types de renforts

I.2.3 Les additifs

Les charges et additifs sont des matériaux pulvérulents ou fibreux, d'origine minérale, végétale, synthétique ou organique. Ils sont chimiquement purs et inertes vis-à-vis de la résine. Lorsqu'ils sont mélangés à la résine, ils apportent de nouvelles propriétés qui modifient les caractéristiques du produit final du matériau composite. [4]

II. Les composites à base de bois

II.1 Définition : « **Bois composite** » comme son nom l'indique un matériau composé de plusieurs matières. On retrouve généralement deux composants principaux : de la fibre naturelle et de la matière plastique, qui représentent chacune entre 40 et 60% des composants. La fibre naturelle utilisée est généralement de la fibre de bois ou bien farine de bois (sciure des usines de meuble par exemple) qui représente l'élément de renfort, et du polymère qui joue le rôle de matrice [5]

On distinguera deux groupes de composites :

- Le premier groupe comprend l'ensemble des composites bois/thermoplastiques.
- Le second groupe sera celui des composites utilisant une résine thermodurcissable comme adhésif (en faible proportion) ce sont surtout les panneaux à base de bois : les panneaux de particules, **OSB, MDF**, etc.

De nombreux auteurs ont étudié les composites bois/polymères. Chaque produit présente une constitution propre, lui permettant d'être utilisé dans une application bien spécifique.

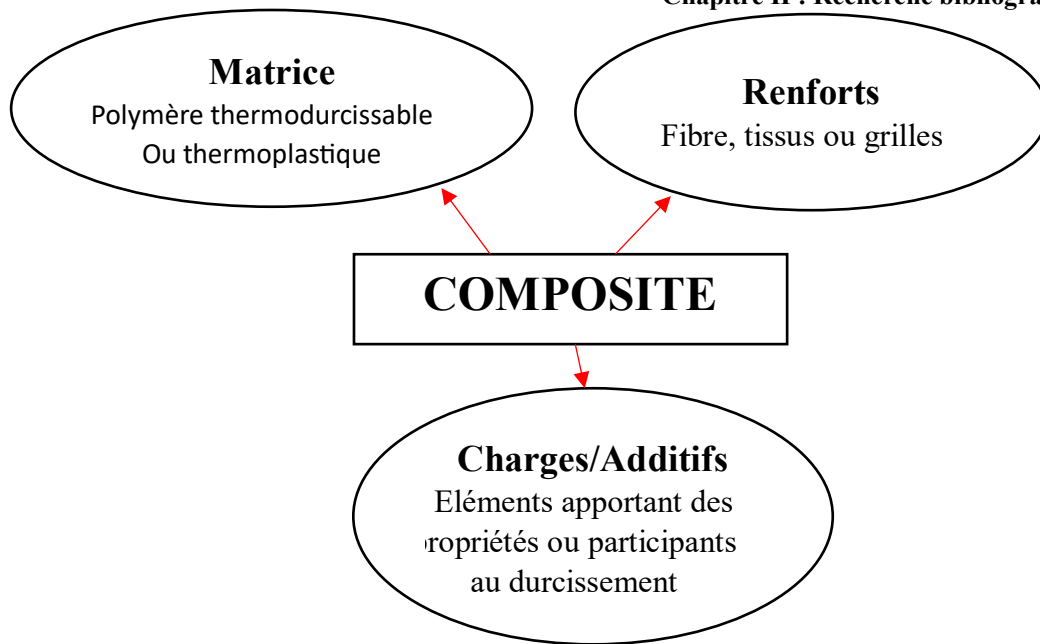


Fig.12, Schéma illustrant la composition d'un composite à base de bois.

II.2 Domaine d'application

Les Composites bois –polymère sont utilisés pour la fabrication de balustrades, de bardages, de clôtures, de bancs de parc, de fenêtres et de cadres de portes, de panneaux et de mobilier d'intérieur.

Les CBP peuvent remplacer les plastiques purs dans des applications nécessitant une augmentation de la rigidité, où l'élasticité des fibres de bois est presque 40 fois plus élevée que celle du polyéthylène

Le CBP possède souvent une meilleure performance thermique par rapport aux matières plastiques, ce qui pourrait permettre de l'utiliser dans nombreuses applications de construction structurale et dans l'industrie automobile. En effet, le bois était la fibre naturelle la plus utilisée par l'industrie automobile européenne en 2012

Les industries ont su tirer profit des réductions de poids et de coûts, des propriétés mécaniques et acoustiques améliorées et du caractère recyclable de ces composites [6]

II.3 Exemples des composites à base de bois

II.3.1 OSB

L'OSB (Oriented Strand Board) est un matériau constitué de couches de lamelles de bois compressées et collées. Cette structure lui confère des propriétés similaires au bois, ce qui en fait un choix populaire dans le design d'intérieur et l'architecture.

II.3.2 LVL

Le LVL (Laminated Veneer Lumber) est un matériau technique qui présente d'excellentes propriétés mécaniques. Il est fabriqué à partir de placages d'épicéa thermocollés, de pin

sylvestre ou de hêtre d'une épaisseur de 3 mm Ce processus de fabrication permet d'obtenir des panneaux à la résistance élevée.

II.3.3 HDF

Les panneaux HDF (High Density Fibers) sont des panneaux composés de fibres de bois et de liants synthétiques. Il est fabriqué en soumettant des fibres de bois à une pression et à une chaleur élevée. Le HDF, également connu sous le nom de panneau dur, est principalement utilisé dans les environnements intérieurs secs. Il est considéré comme un matériau non structurel.

III. Panneaux de fibres à densité moyenne

MDF est un acronyme de l'appellation anglophone **Medium Density Fiberboard** qui signifie en français panneau de fibres à densité moyenne. Découvert aux États-Unis en 1966 par le plus grand des hasards à la suite d'une erreur d'usinage et produit pour la première fois en 1973.

C'est un composite fabriqué par voie sèche à partir de fibres de bois fines et uniformes constituées de bois durs ou hard Wood (60%-80%) et de bois doux ou soft Wood (20%-40%), qui sont reliées entre elles par des résines, de la chaleur et de la pression. [7]

III.1 Les fibres de bois

C'est un isolant rigide et semi rigide naturel et écologique. Elle est conçue grâce à un procédé de défibrage de rémanents de bois, puis en la mélangeant à l'eau, elle devient facile à mouler en panneaux isolants. Les fabricants associent certaines fois à la fibre de bois d'autres matières isolantes tel que des fibres synthétiques ou même d'autres fibres végétales tel que le chanvre.

Les différentes caractéristiques de la Fibre de bois

Cet isolant possède d'excellentes performances thermiques, son λ se situe entre **0.036 et 0.045 W·m⁻¹·K⁻¹** ce qui place la Fibre de Bois très proche des laines minérales.

En un matériau est dense meilleur et son efficacité phonique. La fibre de bois est un produit dense **160 à 260 kg / m²** ce par comparaison une laine minérale possède une densité d'environ 60 Kg/m².

Pour assurer la résistance aux insectes, aux moisissures et champignons, les isolants de fibre de bois reçoivent des traitements complémentaires fongicides et insecticides.

III.2 La résine urée formaldéhyde UF

L'urée-formaldéhyde (aussi connu sous le nom de Formol lorsqu'il est dissout dans l'eau) est un composé organique volatile (COV) appartenant à la famille des aldéhydes. Il a la propriété de devenir gazeux à température ambiante et se retrouve fréquemment dans nos environnements intérieurs. Ce produit toxique entre en effet dans la composition de plusieurs matériaux et produits contemporains : colles, bois aggloméré, contreplaqué, panneaux de fibres (MDF), mélamine, matières plastiques, peintures, produits d'entretien, certains produits de beauté, et plus encore...

Le développement des résines UF a conduit à des applications très différentes : imprégnation de feuilles décoratives ou production de supports pour circuits imprimés. De nos jours, les résines UF, améliorées ou non, plus ou moins chargées, sont les adhésifs les plus utilisés dans l'industrie du bois.

Au niveau de la mise en application, les résines UF présentent des caractéristiques intéressantes : la gamme étendue de températures lors de la fabrication (généralement de 90 à 200°C), leur vitesse de prise (de quelques secondes à quelques minutes), leur couleur blanche, leur prix relativement peu élevé, et enfin leur possibilité d'utilisation pour chaque essence de bois. [8]

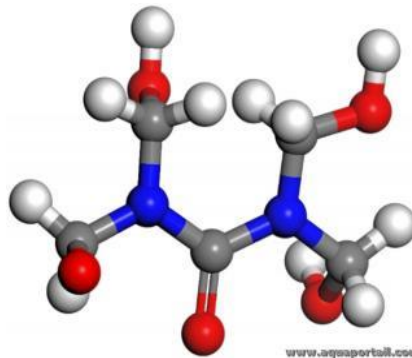


Fig.13, la structure de l'urée Formaldéhyde

III.3 Les différentes classes du MDF

Le MDF est produit en différents types et qualités. Le panneau de densité peut être divisé en :

- MDF : $\geq 650\text{-}800 \text{ kg/m}^3$
- MDF léger : $\geq 550\text{-}650 \text{ kg/m}^3$
- MDF ultra léger : $\geq 450\text{-}550 \text{ kg/m}^3$

III.4 Les avantages et les inconvénients

III.4.1 Les avantage

- **Facile À Couper Et À Travailler** : Il est composé de fibres de bois fines qui facilitent l'opération de coupe, rendant l'opération similaire au vrai bois.
- **Aucun outil spécial requis** : pas besoin d'utiliser d'autres outils que des outils en bois massif.
- **Surface lisse** : cette caractéristique le rend idéal pour l'application de peintures et vernis, en plus de fournir un excellent support pour le revêtement des panneaux de bois, donnant l'apparence du vrai bois ;
- **Idéal pour l'application de colles et d'adhésifs** : grâce à sa surface lisse, le MDF possède d'excellentes propriétés lors de l'application de colles ou d'adhésifs ;
- **Économique** : Beaucoup moins cher que le bois massif. [9]

III.4.2 Les inconvénients

- **Faible résistance** : Pour obtenir la même résistance que le bois massif, un poids plus élevé est nécessaire ;
- **Mauvaise étanchéité** : l'étanchéité des panneaux de fibres de densité moyenne n'est pas très bonne, même le panneau qui a été imperméabilisé n'est pas adapté à une utilisation en extérieur ;
- **Toxicité Pendant Le Traitement** : Il est toujours conseillé d'utiliser un masque pendant le travail et de travailler dans un espace ouvert et ventilé pour éviter d'inhalier la poussière générée lors de la coupe ou du lissage, car le MDF est produit avec des produits chimiques toxiques. Bien entendu, les lunettes et tous les autres équipements de protection individuelle prévus pour le type de traitement doivent également être utilisés [9].

III.5 Les propriétés de produit MDF

- Les panneaux MDF se caractérisent par leur uniformité et leur homogénéité sur toute leur épaisseur, qui peuvent être découpées sans problème et peuvent être usinées et façonnées très facilement.
- Selon la norme UNE-EN 316, la densité de fibres doit être égale ou supérieure à 450 kg/m³, une valeur qui rend le matériau dimensionnellement stable plutôt qu'une propriété très appréciée dans le bois massif, la menuiserie et l'ameublement.
- D'un point de vue résistance à l'humidité, elle est relativement faible en raison de la capacité d'absorption d'eau des fibres qui la composent. Cette résistance peut être augmentée en utilisant des produits spéciaux lors de la production qui augmentent considérablement sa résistance à l'humidité.

- Réagit au feu un peu comme le bois massif, qui peut être amélioré en ajoutant des retardateurs de flamme à la résine liante lors de la fabrication. Les panneaux MDF à résistance au feu améliorée sont souvent peints en rouge pour les différencier des panneaux standards.
- Selon les conditions environnementales et la zone climatique dans laquelle il est utilisé, le MDF peut être attaqué par des champignons ou des termites, tandis que la présence de la colle l'empêche d'être attaqué par des insectes à cycle larvaire, tels que les vers à bois, qui ne fournissent pas nourriture. Dans ce cas également, la résistance aux champignons ou aux termites peut être augmentée par un traitement de surface ou en utilisant des insecticides et des fongicides dans la colle. [9]

III.6 Revêtement avec les panneaux MDF

Les panneaux MDF sont polyvalents et peuvent être utilisés pour recouvrir les murs de différents espaces, offrant une alternative efficace au revêtement traditionnel. Ils sont faciles à assembler, durables et disponibles dans une variété de couleurs. Les panneaux MDF sont également disponibles dans différentes tailles d'options de décoration, permettant la création d'environnements personnalisés à travers le jeu de décoration. Ils conviennent également aux environnements humides et répondent aux exigences de protection contre les incendies. Outre les applications murales, le MDF peut également être utilisé pour recouvrir des meubles, des portes, des portails, etc. Il est souvent utilisé pour recouvrir des portes blindées et se marie harmonieusement avec différents styles grâce à sa variété de couleurs et d'essences de bois. De plus, des panneaux MDF colorés sont également disponibles sur le marché, offrant une uniformité de couleur remarquable grâce à la coloration des fibres pendant le processus de fabrication. [9]

III.7 Influences des caractéristiques des constituants sur les propriétés des composites (MDF)

III.7.1 Effets de la dispersion et l'orientation des fibres

Les fibres doivent être orientées dans le sens de l'extrusion ou de l'écoulement pour de bonnes propriétés mécaniques et une rigidité accrue. Si l'orientation des fibres est perpendiculaire à la direction d'écoulement, la contrainte augmentera. Par la suite, des fibres réparties de manière aléatoire ou inégale contribuent à réduire la rigidité du composite. Dans ce cas, le produit résultant est plus susceptible de se dégrader en raison de fortes concentrations de contraintes à différents endroits du matériau. [10]

III.7.2 Influence de l'humidité et de la température

Les fibres de bois utilisées comme renforts dans les composites de bois sont hydrophiles et peuvent se déformer considérablement lorsqu'elles sont exposées à l'humidité, affectant l'adhérence et les propriétés mécaniques et physiques du produit. Les résultats sur l'effet de l'hygroscopicité sur les propriétés mécaniques des matériaux de matrice thermoplastique consolidés en fibres naturelles sont contradictoires. [10]

III.7.3 Influence de la nature et la quantité des constituants

Les charges ou renforts composites sont des substances relativement inertes qui sont ajoutées à certains plastiques en quantités de 5% à 60% pour améliorer des propriétés telles que la dureté, la résistance à l'abrasion, la résistance aux chocs, la résistance aux solvants ou modifier les propriétés électriques. L'un des facteurs les plus importants dans les propriétés mécaniques des composites est la teneur en renfort. En revanche, la même étude a montré qu'il est possible d'éviter que des particules ou fibres de petite taille ne jouent le rôle de charges, augmentant ainsi la résistance à la traction, notamment pour les composites à base de polypropylène et de fibres de verre. [10]

III.7.4 influences de la morphologie des fibres

Le facteur de forme des fibres (longueur/diamètre) est un paramètre clé pour les propriétés mécaniques des composites bois-plastique. Les fibres à facteur de forme élevé peuvent mieux profiter de leurs bonnes propriétés mécaniques. Les paramètres d'extrusion affectent la longueur finale des fibres dans le CBP. Les fibres de petite taille sont plus faciles à disperser dans la matrice plastique que les fibres longues, et l'utilisation de fibres à la place de la farine de bois présente les avantages suivants : [10] :

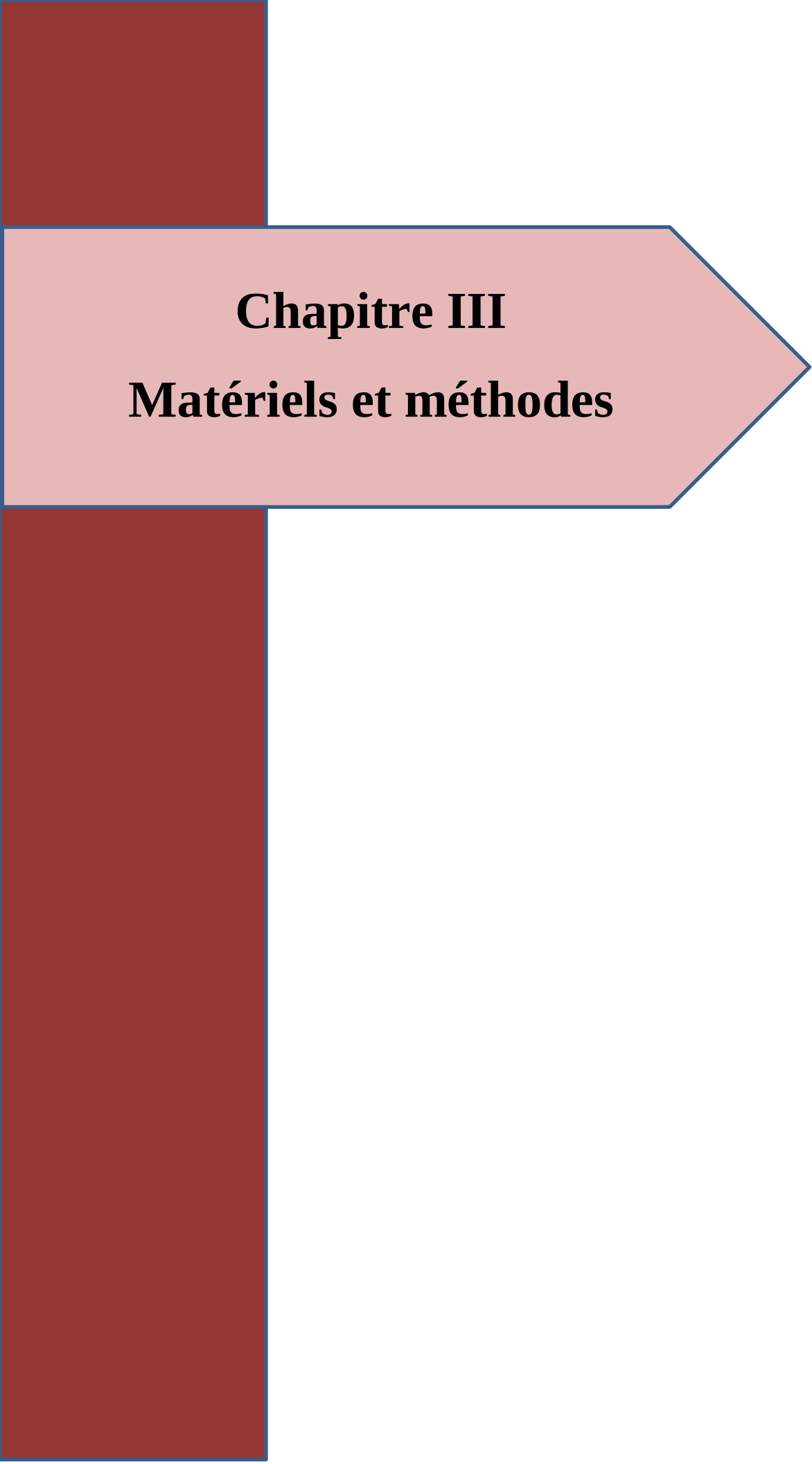
- Un renforcement et une rigidité plus efficaces.
- Un matériau plus résistant avec un taux de fluage plus réduit.

La plupart des fibres qui ont l'avantage unique d'être longues et fines, telles que les fibres de papier, peuvent servir de renfort et, si elles sont orientées correctement, augmenter le MOE. De plus, dans certaines conditions, la résistance et la rigidité peuvent être augmentées en augmentant la longueur des fibres [10]:

- Il y a une bonne adhésion entre les fibres de bois et la matrice plastique
- Les fibres sont uniformément dispersées dans la matrice
- Les fibres sont adéquatement orientées

Conclusion

En résumé, l'étude de la littérature au chapitre 1 permet une introduction approfondie aux composites de bois, en mettant l'accent sur le MDF. Nous étudions les propriétés générales de ces matériaux, leur composition, ainsi que les avantages et les inconvénients associés à leur utilisation. Les matériaux composites bois comme le MDF présentent des propriétés intéressantes en termes de légèreté, de résistance mécanique et de possibilités de conception. Cependant, ils ont également des limites, telles qu'une sensibilité à l'humidité et une faible résistance aux chocs. Cette revue de la littérature fournit une base solide pour notre prochain chapitre de recherche, où nous examinons les lignes de production de l'entreprise, les méthodes de caractérisation et les résultats obtenus pour les produits MDF. L'objectif global est d'améliorer la qualité et les performances des produits MDF, en tenant compte des particularités des composites de bois dans différentes applications industrielles.



Chapitre III

Matériels et méthodes

Introduction

Le chapitre traite les procédures expérimentales de caractérisations du composite à base de bois MDF (produit fini), de la résine. Ainsi que l'effet de la saturation d'eau sur le comportement mécanique des produits MDF.

I. Matériaux d'étude

Les matériaux utilisés durant ces essais sont des composites à base de bois MDF (50% fibre de bois d'eucalyptus et 50% de la résine urée Formaldéhyde).

II. Caractérisation physique

II.1. Absorption de surface « Surface absorption »

Définition : Des essais d'absorption en surface ont été effectués sur la base de la norme EN 382-1:1993, On utilise le toluène comme liquide de surface.

L'absorption de surface est mesurée en laissant tomber une quantité de solvant de peinture sur la surface d'un panneau d'essai supporté à un angle de 60° par rapport à l'horizontale et en enregistrant la durée pendant laquelle la surface du panneau est mouillée avant que le toluène ne soit absorbé. Les panneaux avec une surface absorbante élevée, comme indiqué par des temps de mouillage courts, nécessiteront des poids de couche de peinture plus élevés pour obtenir une finition de peinture satisfaisante.



Fig.14, Schéma du dispositif de l'essai d'absorption de la surface.

➤ Méthode

1. On découpe un échantillon d'essai d'absorption en surface (300 mm x 100 mm x 18.3 mm).
2. L'échantillon a été placé sur le montage d'essai avec :
 - Un angle de 60°
 - 1mL de toluène est déposé à une distance de 1 cm au-dessus et verticalement à la surface du panneau, conformément à la norme EN 382-1.

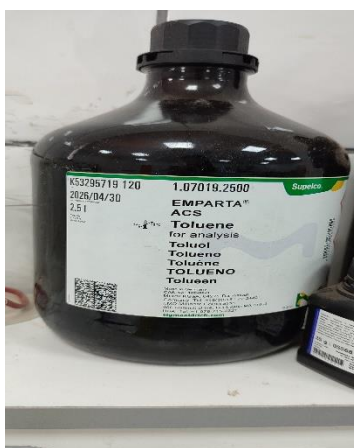


Fig.15, Solution de toluène.

3. La distance maximale à laquelle la chute de toluène s'étendait sur la surface du panneau a été mesurée au point de départ, et cette valeur a été utilisée comme mesure de la capacité d'absorption des échantillons.

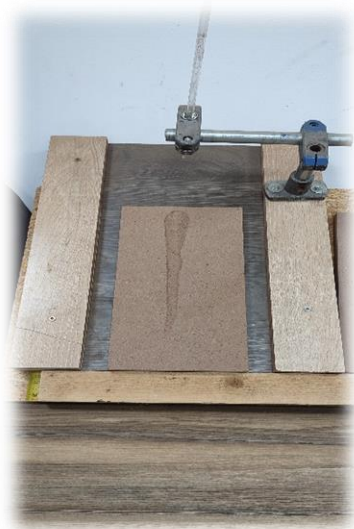


Fig.16, Le montage utilisé dans l'essai d'absorption de surface.

II.2 Le test de gonflement

Le gonflement est dû à l'immersion dans l'eau. Il indique la réponse du panneau à une mauvaise utilisation, y compris un mouillage intermittent ou à une exposition à court terme à des conditions d'humidité extrêmes. Mesurer l'expansion d'épaisseur d'un échantillon de 50 mm x 50 mm lors d'une immersion dans l'eau froide pendant 24 heures.

Etapes suivies

- La coupe de deux échantillons de 50 mm x 50 mm x 18,1 mm.
- La mesure l'épaisseur $e_1 = \dots\dots\dots$
- Placement des échantillons dans un récipient avec de l'eau froide pendant 24 heures.
- La mesure à nouveau de l'épaisseur $e_2 = \dots\dots\dots$ Après 24 heures.
- Calcule de la différence entre les deux mesures et le pourcentage d'expansion.

$(e_2 - e_1) / e_1 \%$

- Les résultats doivent être conformes à la norme EN 622-5.

II.3 La résine

II.3.1 Contenu solide « Solid content » :

C'est un test qui définit la quantité de la colle poudre dans un mélange en solution, afin de contrôler la qualité de la colle « résine » et aussi de vérifier le bon fonctionnement de malaxeur.

La teneur en solides est exprimée en pourcentage et est calculée en divisant la masse de solides obtenue après séchage par la masse totale de la solution multipliée par 100.

Etuve : une étuve de laboratoire est un appareil de chauffage qui fonctionne le plus souvent à pression atmosphérique (parfois sous vide ou gaz neutre) et permet d'effectuer différents traitements thermiques à des températures définies.

Convenable avec tous types de matériaux et de solutions.

- Marque : Nukleon.
- Température maximale : 1500°C



Fig.17, L'étuve Nukleon.

➤ Méthode

On mesure 10 g de la résine avec une balance avant l'essai.



Fig.18, balance électronique.

On la met dans une étuve à 110° pendant une heure.



Fig.19, résine dans l'étuve.

On mesure le poids de la résine pour la deuxième fois après l'essai.

On calcul la teneur en solide avec l'équation ci-dessous :

$$T_s = \frac{m_2}{m_1} 100\%$$

Il faut que la teneur en solide soit inférieure à 60%.

II.3.2 Temps de gélification « Gel time »

Ce test mesure le temps nécessaire pour la solidification de résine et coller la matière ensemble dans l'étape de pressage ainsi fournit à la salle de control l'aptitude de définir le temps de cooking de la matière.

➤ Méthode

- On mesure 10 ml de résine, 10g d'eau et 3g de l'Ammonium (80% eau+ 20% Ammonium) avec une balance électronique.

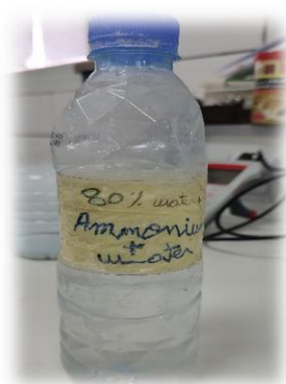


Fig.20, Solution de l'Ammonium.

- On mélange tous ces ingrédients dans un bécher en inox.
- On place le bécher sur une résistance électrique chauffante et on lance le chronomètre parfaitement en même temps.
- On commence de mélanger avec une spatule jusqu'il commence à se dessécher puis on arrête le chronomètre lorsqu'il soit complètement solide.
- Le résultat est sous forme de temps.

II.4 Viscosité :

La viscosité est une propriété physique importante de la plupart des liquides fabriqués et utilisés dans l'industrie. Il permet : Caractérisation directe de la masse finale du fluide.

Il est également défini comme la résistance à l'écoulement qui se produit dans un liquide. Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue, et vice versa. Cette "adhérence" du fluide est causée par une force intermoléculaire connue sous le nom de friction interne.

- Nous faisons ce test en mettant la résine liquide dans un entonnoir en métal spécial jusqu'à ce qu'elle déborde pour nous assurer qu'elle se remplit bien.



Fig.21, Le remplissage de l'entonnoir avec de la colle (la résine).

- Puis on le couvre avec un morceau de verre spécial pour éliminer l'air.



Fig.22, Fermeture de l'entonnoir plein avec le morceau de verre.

- Le morceau du verre est retiré et le chronomètre est lancé en même temps.



Fig.23, Lancement du chrono.

- On calcule le temps nécessaire de la chute de toute la résine liquide et d'après cette valeur on tire la valeur de viscosité équivalente.

III. Influence de la saturation en eau sur les propriétés mécaniques du MDF

1. Préparation des échantillons

Les panneaux MDF sont coupés

- Pour l'essai de dureté : les éprouvettes sont de forme carrée de dimensions (50-50-50) mm.
- Pour l'essai de traction : les éprouvettes sont rectangulaires de dimensions (400-50-18,3)mm.
- Pour l'essai de flexion : les éprouvettes sont rectangulaires de dimensions (380-20-18,3) mm.

2. L'étuvage

Les échantillons sont séchés dans une étuve à une température de 103° et pour une durée de 24 heures selon la norme EN310 (**Figure 24**).



Fig.24, Etuve

3. **L'immersion dans d'eau** : parmi les échantillons étuvés certains sont immergés dans l'eau pour une durée de 24 heures pour atteindre la saturation (**Figure 25**).



Fig, l'immersion dans l'eau

4. Analyse par microscope électronique à balayage

La Microscopie Electronique à Balayage MEB (ou Scanning Electron Microscopy SEM) est une technique d'observation de la topographie des surfaces. Elle apporte des informations sur la structure et la texture d'un échantillon mais aussi sur la taille et la forme des grains élémentaires ou agglomérats selon le grossissement choisi.



Fig.26, Microscope électronique à balayage (MEB) modèle FEI Quanta 250

5. Essai de dureté Brinell

L'essai de dureté Brinell a été effectué sur une machine universelle INNOVATEST de type VERZUS 700 TM.



Fig.27, Duromètre Brinell HRB

6. Essais de flexion

Les essais de flexion ont été effectués sur les échantillons immergés et non immergés dans l'eau au sein du laboratoire des essais mécaniques au centre de recherche en technologie industriel (PTSM/CRTI ANNABA). La machine d'essai utilisée est une machine universelle *MFL* de type *VHP 600* de marque *Zwick* dont la capacité est de 60 kilo newton (**Figure 28**) et qui est constituée

de deux parties, la partie fixe supérieure sur laquelle est montée le poinçon de 20mm de diamètre et la partie inférieure mobile où on pose les deux appuis de 40mm de diamètre pour chaque où on place l'éprouvette. Dont le mouvement est assuré par commande hydraulique. Cette machine a une marge de vitesse de flexion de 1mm/min à 300mm/min . La distance entre appuis est définie par la norme EN ISO 7438 comme suit :

$$l = (D + 3a) \pm a/2$$

- « D » diamètre du poinçon(mandrin)
- « a » épaisseur ou diamètre de l'échantillon à tester

Les essais sont pilotés par micro- ordinateur. L'acquisition s'effectue à l'aide d'un logiciel Zwick PC Software adapté pour P.C et assure la collecte et l'analyse des courbes de flexion. Les résultats sont enregistrés puis imprimés.



Fig.28, Machine universelle de flexion MFL de type VHP 600 de marque Zwick

7. Essais de traction

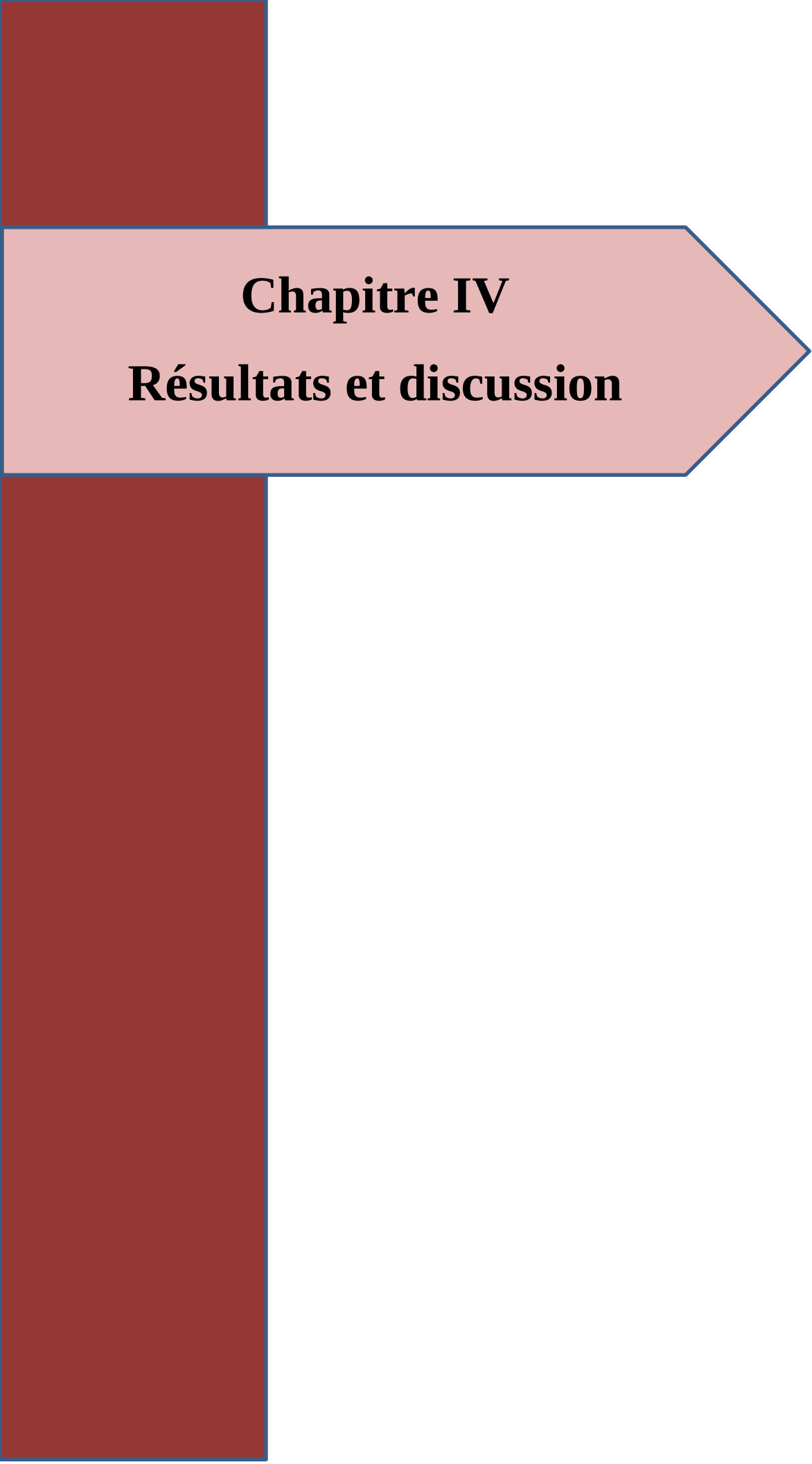
Les essais de traction ont été effectués sur les échantillons immergés et non immergés dans l'eau avec la machine universelle d'essai ZWICK série 1476, qui est une machine universelle de marque Zwick dont la capacité est de 100 kilo newton (**Figure29**) et qui est constituée d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe sur laquelle est montée l'une des têtes de l'éprouvette. L'autre extrémité de l'éprouvette est fixée à une traverse mobile dont le mouvement est assuré par commande mécanique (visse sans fin). Cette machine a une marge de vitesse de traction de 1mm/min à 300mm/min . Les essais sont pilotés par micro- ordinateur. L'acquisition s'effectue à l'aide d'un logiciel Zwick PC Software et assure la collecte et l'analyse des courbes de traction. Les résultats sont enregistrés puis imprimés.



Fig.29, Machine universelle de traction de marque *Zwick*

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les différentes étapes de notre travail, ainsi que de décrire les matériaux utilisés. Nous avons obtenu des résultats expérimentaux qui sont par la suite présentés dans le chapitre suivant.



Chapitre IV

Résultats et discussion

Introduction

Ce chapitre est subdivisé en deux parties. Premièrement, caractérisation physique du bois MDF et de la résine. Ensuite, on s'intéresse aux résultats de l'influence de l'effet d'immersion du bois dans l'eau sur les propriétés mécaniques du MDF (traction, flexion et dureté) afin de mieux comprendre ses caractéristiques et son comportement dans différentes conditions.

I. Caractérisation physique

I.1 Essai d'absorption de surface « Surface absorption »

D'après cet essai, on a trouvé que la distance maximale à laquelle la chute de toluène s'étendait sur la surface du panneau est de 26,5 cm cette valeur est dans l'intervalle de (25-30) cm établi par la norme EN382-1 :1993. Cela signifie que le matériau est conforme à cette norme, à cause du bon respect des conditions d'élaboration de ces échantillons et comme la surface n'a pas absorbé beaucoup de toluène donc il peut résister mieux dans d'autres milieux comme l'eau.

I.2 Résultats obtenus par le test de gonflement

Le gonflement est causé par l'immersion dans l'eau. Il atteste de la réponse du panneau à une mauvaise utilisation. D'après ce test on a trouvé que l'épaisseur Avant gonflement est de $e_1=18,2$ mm et après elle a augmenté de 4mm et elle devient $e_2=22,2$ mm ce qui représente une augmentation de **21,97%** par rapport à l'épaisseur initiale. Cette augmentation est supérieure à la limite de 12% établie par la norme EN317. Les causes possibles de cette augmentation de l'épaisseur peuvent être liées à l'absorption d'eau par le panneau MDF, qui peut être due à une exposition prolongée à l'humidité ou à une mauvaise étanchéité du panneau MDF a été mal séché avant d'être soumis au test de gonflement.

I.3 La résine

I.3.1 L'essai du Contenu solide « Solid content »

Ce test permet de définir la quantité de colle en poudre dans un mélange de solutions, ce qui permet de contrôler la qualité de la colle "résine", mais aussi de vérifier le bon fonctionnement du mélangeur.

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau suivant :

Tab.1, Résultats des essais du contenu solide

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
m_1	10	10	10
m_2	5,383	5	4,8
$T_s(\%)$	53,83	50	48

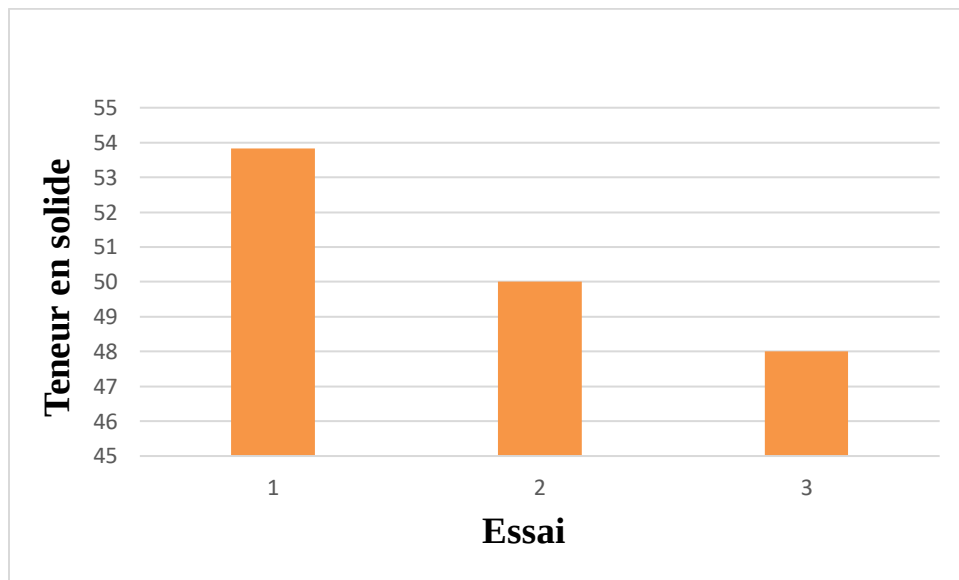


Fig.30, Histogramme comparatif des valeurs de la teneur en solide pour les trois essais.

➤ Discussion

Les résultats obtenus montrent que la teneur en solide dans les trois cas est inférieure à la valeur attendue de 60%, Cela peut être dû à des erreurs dans la procédure de l'essai, telles qu'une erreur de mesure ou une erreur dans le temps de séchage de la résine. Il est également possible que la résine utilisée ne soit pas de la même qualité que celle utilisée pour établir la norme de 60% et donc la résine n'est pas conforme.

I.3.2 Résultats obtenus par l'essai de Temps de gélification « Gel time »

Ce test vise à mesurer le temps nécessaire à la solidification de la résine et à la cohésion du matériau lors de la phase de pressage, ce qui permet à la salle de contrôle de définir le temps de cuisson du matériau.

Le temps nécessaire pour la gélification est de $t=63s$ d'environ une minute qui est un temps court cela peut indiquer que la résine est de qualité supérieure et qu'elle est capable de durcir rapidement.

Et donc la durée d'une minute est favorable pour l'obtention d'un pressage parfait et d'une bonne cohésion entre la fibre et la résine

I.4 Essai de Viscosité

Les résultats de mesures obtenus sont présentés sur le tableau suivant :

Tab.2, Résultats des essais de viscosité

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Temps(S)	81	70	60
Viscosité	364,5	313	267

➤ Discussion

D'après le tableau on remarque que la viscosité augmente avec l'augmentation du temps.

Et donc plus la viscosité est élevée, plus le fluide est épais et résistant à l'écoulement.

Dans le cas de la résine urée formaldéhyde, l'augmentation de la viscosité avec le temps peut être due à une réaction chimique qui se produit entre les composants de la résine.

Cette réaction peut entraîner la formation de chaînes polymères plus longues, ce qui rend la résine plus épaisse et plus visqueuse. En général, l'augmentation de la viscosité peut également être due à une augmentation de la température du milieu, car cela peut favoriser la formation de chaînes polymères plus longues.

II. Effet de la saturation de l'eau sur le comportement mécanique de MDF

II.1 Résultats obtenus par le MEB

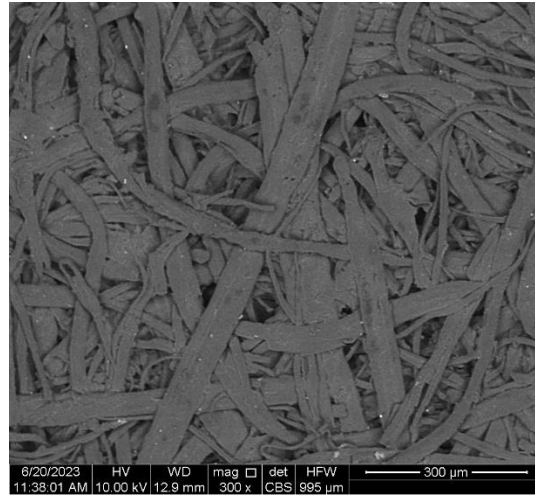


Fig.31, Microstructure obtenue par microscope électronique à balayage du MDF sec.

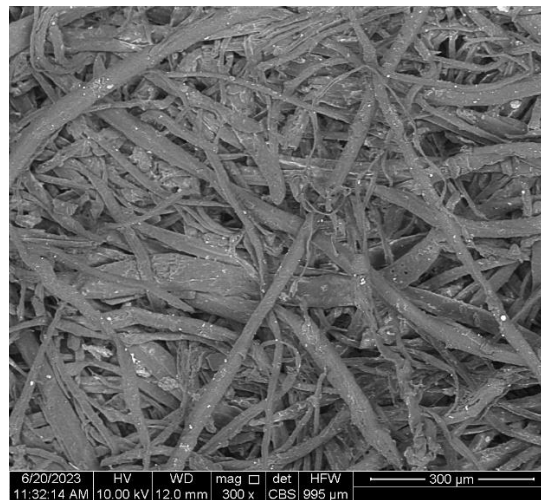


Fig.32, Microstructure obtenue par microscope électronique à balayage du MDF humide.

➤ Discussion

Ces microstructures confirment que les fibres de bois sont bien visibles en Gris claire.

En comparant les deux microstructures (**Figure 32, 33**) on remarque qu'après l'immersion dans l'eau la taille des fibres augmente ainsi que le changement de la distribution de la résine.

II.2 Résultats de l'essai de dureté

Tab.3, Résultats des essais de duretés Brinell

	Dureté HRB			Dureté HRB moyenne
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	
Avant saturation	27,28	29,19	26,31	27,59
Après saturation	13,10	11,10	12,62	12,27

➤ Discussion

- Ce tableau représente les valeurs de dureté HRB obtenues pour les échantillons MDF avant et après saturation dans l'eau pour une durée de 24 heures.
- Il semble que la dureté des échantillons MDF ait diminué après saturation.
- La dureté HRB est passée de 27,59 à 12,27. Cela peut être dû à l'absorption des molécules d'eau par les échantillons, qui a affaibli sa structure interne.
- Une baisse de dureté indique que l'échantillon a subi une dégradation ou une détérioration.

II.2 Essai de traction

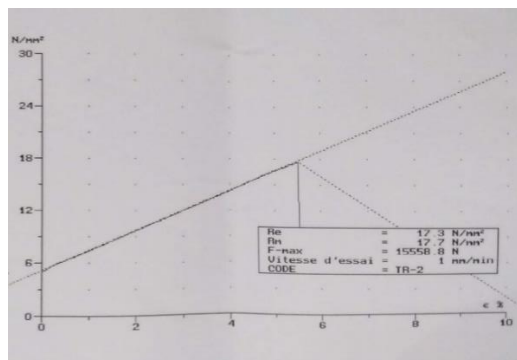


Fig.33, Courbe de traction du MDF.

➤ Discussion

La courbe est divisée en 2 parties qui sont les suivantes :

1. **Glissement initial** : Ce Glissement est dû peut-être à une mauvaise préparation de l'échantillon de bois avant l'essai de traction. Les parties en contact avec les mors de la machine de traction doivent avoir une certaine rugosité pour que l'éprouvette de traction ne glissent pas
2. **Linéarisation de la courbe (Domaine élastique)** : ce qui indique que le bois MDF résiste à la traction et qu'il suit une relation linéaire entre la contrainte et la déformation jusqu'à certain point, après quoi il se déforme de manière permanente (rupture).
 - ✓ En général la réponse élastique du MDF peut varier en fonction de facteurs tels que la densité, la teneur en humidité et la direction des fibres.
 - ✓ Les courbes de traction du bois MDF avant et après saturation ont les mêmes allures mais la différence entre eux c'est dans les valeurs des forces maximales, contraintes à la rupture...etc. Comme l'illustre les tableaux suivants :

Tab.4, Paramètres de l'essai de traction avant saturation

Essai de traction	w	t	s (mm ²)	Fe (N)	Fmax (N)	σ_e (MPa)	σ_r (MPa)
1	49,78	17,8	886,08	16658,38	17278,64	18,8	19,5
2	49,78	17,8	886,08	17101,42	17721,68	19,3	20

Tab.5, Paramètres de l'essai de traction après saturation

Essai de traction	w	t	s (mm ²)	Fe (N)	Fmax (N)	σ_e (MPa)	σ_r (MPa)
1	21,37	20,02	427,8274	2695,31	2994,7918	6,3	7
2	21,42	20,01	428,61	2785,99	3214,61	6,5	7,5

➤ Discussion

D'après les valeurs du tableau on remarque que les contraintes et les forces maximales ont diminué après l'immersion des bois MDF dans l'eau cela est due à la perte de résistance mécanique du matériau en raison de l'absorption de l'eau.

Lorsque le bois est exposé à l'eau, il peut se gonfler et se dilater, ce qui peut affaiblir la structure du matériau et réduire sa résistance à la traction. Cela est très vrai pour un composite fabriqué à partir de fibres de bois et de résine. La résine peut être moins résistante à l'eau que les fibres de bois, ce qui peut entraîner une réduction de la résistance globale du matériau après immersion dans l'eau.

II.2 Essai de flexion

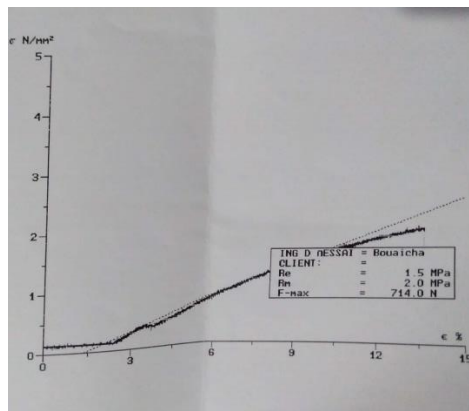


Fig.34, Courbe de flexion du MDF.

Tab.6, Paramètres de l'essai de flexion avant saturation

Essai de flexion	w	T	s (mm ²)	Fe (N)	Fmax (N)	σe(MPa)	σr(MPa)
1	19,93	17,8	354,75	674,03	993,31	1,9	2,8
2	19,95	17,8	355,11	710,22	1029,82	2	2,9

Tab.7, Paramètres de l'essai de flexion après saturation

Essai de flexion	w	t	s (mm ²)	Fe (N)	Fmax (N)	σ_e (MPa)	σ_r (MPa)
1	50,05	20,91	1046,55	732,58	837,24	0,7	0,8
2	49,83	21,18	1055,40	738,78	738,78	0,7	0,7

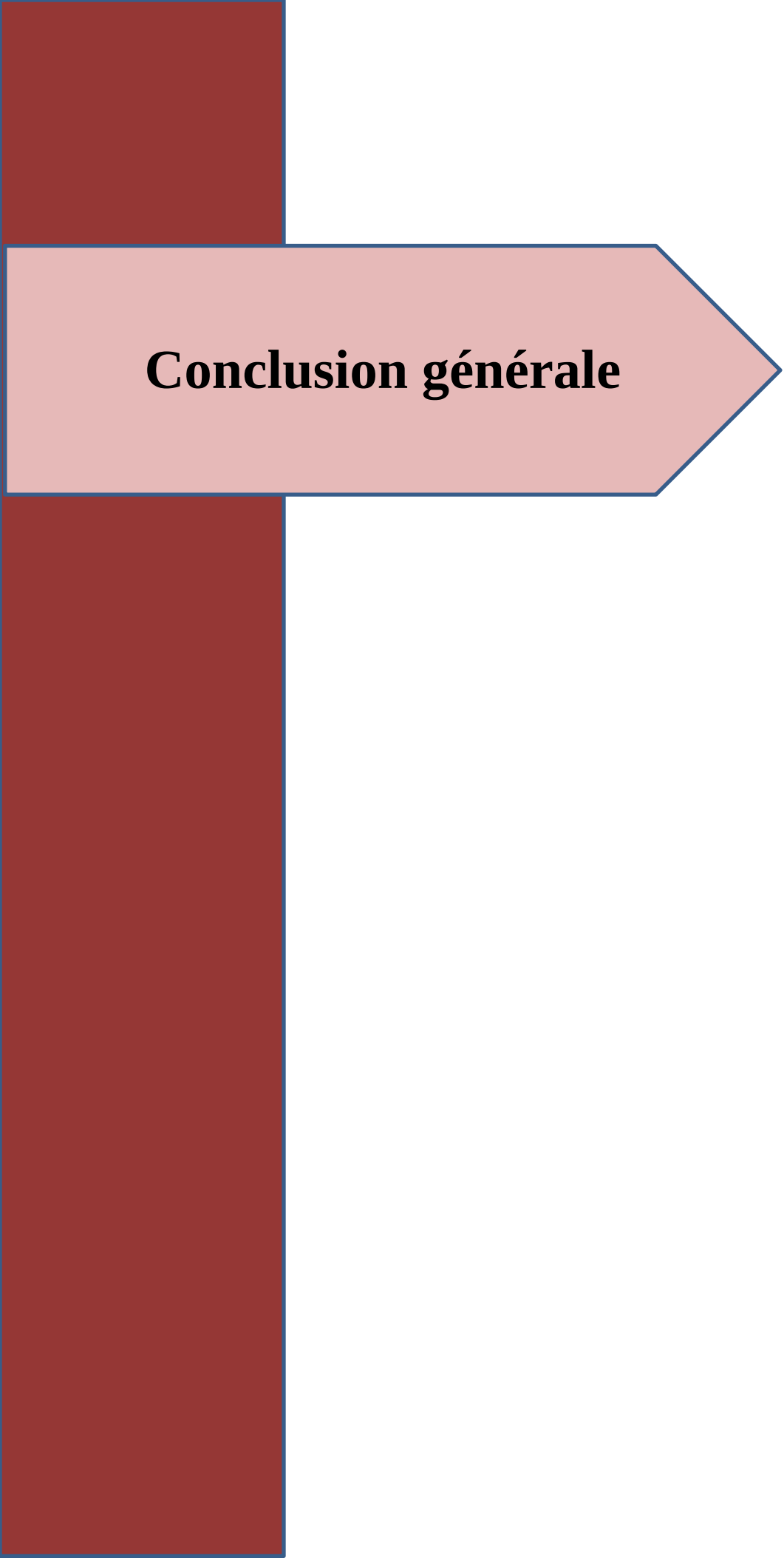
➤ Discussion

D'après la courbe on observe un pied de courbe non linéaire, du probablement à un effet de montage, suivi d'une partie linéaire jusqu'à la rupture.

Les contraintes élastiques, à la rupture et les forces maximales diminues après l'essai de saturation dans l'eau.

Conclusion

En conclusion, les résultats de ces deux études montrent que le bois MDF est un matériau très polyvalent, capable de résister à des conditions différentes et de conserver ses propriétés mécaniques dans des environnements humides. Les tests de contrôle qualité ont également montré que la résine utilisée dans la production de MDF est de haute qualité et que les panneaux de MDF répondent aux normes de l'industrie. Bien que l'eau puisse avoir un impact sur les propriétés mécaniques du MDF, les tests ont montré que ce matériau conserve une grande partie de sa résistance et de sa rigidité même lorsqu'il est exposé à des niveaux élevés d'humidité. Dans l'ensemble, ces résultats renforcent la position du MDF comme un matériau de choix pour une variété d'applications, de la construction de meubles à la production de panneaux de particules.



Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre ce mémoire sur les propriétés physiques et mécaniques des produits MDF, plusieurs aspects de ce bois composite ont été approfondis. A travers une recherche bibliographique poussée, nous avons étudié en détail les propriétés générales des composites, des bois composites, et plus particulièrement du MDF. Cette exploration nous permet de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de ces matériaux, en soulignant leur polyvalence et leur large utilisation dans divers domaines industriels.

Nous présentons ensuite la société PANNEAUX D'ALGERIE, véritable pionnière dans la production de MDF grâce à l'utilisation de la technologie de pressage continu. Nous soulignons l'importance critique de la caractérisation du MDF, qui peut évaluer avec précision la qualité du MDF et l'effet de la résine urée-formaldéhyde et de la saturation en eau sur l'influence des propriétés mécaniques du MDF.

Enfin, nous montrons les résultats expérimentaux des tests effectués et expliquons ces résultats. Nos observations démontrent de manière concluante que les produits MDF et leurs résines sont conformes, mettant ainsi en évidence l'effet de la saturation en eau des produits MDF sur la dégradation des propriétés mécaniques.

En conclusion, cette étude approfondie améliore significativement notre compréhension des représentations MDF, révélant les principaux facteurs influençant leurs performances. Les informations que nous recueillons apporteront une contribution précieuse à l'amélioration continue de la production de MDF, permettant aux industries utilisatrices de choisir la bonne composition pour répondre à leurs besoins spécifiques. De plus, nos travaux ouvrent la voie à de futures recherches visant à optimiser les performances du MDF et à explorer de nouvelles applications. Notre objectif ultime est de stimuler le développement durable et l'innovation dans l'industrie des composites de bois.

Références bibliographiques

- [1]. D. Brigante, New Composite Materials : Selection, Design, and Application, 2014.
- [2]. M. Amar, M. Manjusri, and D. Lawrence, Natural Fibers, Biopolymers, And Biocomposites: CRC Taylor & Francis, 2005.
- [3]. N. METRANE : « Contribution à l'étude du comportement d'un matériau composite à base de fibres de carbone pour la réalisation de prothèses orthopédiques (ONAAPH Annaba) », Mémoire de fin d'étude- UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA,2019.
- [4]. Nicolas Andre Michel Martin. Contribution à l'étude de paramètres influençant les propriétés mécaniques de fibres élémentaires de lin: Corrélation avec les propriétés de matériaux composites. Matériaux. Université de Bretagne Sud, 2014.
- [5]. Harper D., Wolcott M.P., Rials T.G. (2001). Evaluation of the cure kinetics of the wood/pMDI bondline, Int. J. Adhesion & Adhesives, 21(2), 137-144.
- [6]. <https://www.ocewood.fr/bois-composite/la-conception-des-lames-en-bois-composite-extrusion-vs-injection>
- [7]. <https://get-quark.com/blogs/createur-d-interactions/le-guide-ultime-du-mdf>.
- [8]. <https://www.aquaportail.com/definition-5557-uree-formaldehyde.html>
- [9]. <https://www.vivonsmaison.com/mdf-caracteristiques-utilisation-avantages-et-inconvenients/>.
- [10]. Slama. I, (2008), caractéristiques physico-mécanique des composites bois plastiques provenant de la valorisation des résidus des panneaux MDF-études des possibilités de recyclage, pages 4,13-21.