

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département Génie électrique

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**DRIBINE Mourad**  
**KANANE Thamer**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : Electrotechnique

Option : Réseaux électriques

**Thème :**

ELABORATION D'UN MATERIAU COMPOSITE PAR LE  
PROCEDE D'ENROULEMENT FILAMENTAIRE AVEC UN  
RENFORT NATUREL

Devant le jury composé de :

Mr. YAHIOU Abdelghani	M.C.B	Université Bouira	Président
Mlle. KIRACHE Noura	M.A.A	Université Bouira	Promotrice
Mr. BERAAG Amine	M.A.A	Université Bouira	Examineur
Mr. BOUHEDDA Ali	M.A.A	Université Bouira	Examineur
Mr. KARI Djamel Eddine	M.A.A	Université Bouira	Co-Encadreur

Année Universitaire 2017/2018



# *Remerciements*

*En premier lieu, nos vifs remerciements et profondes gratitude à DIEU le tout puissant qui nous a comblé des bienfaits de la science.*

*C'est pour nous un réel plaisir de remercier toutes les personnes qui nous ont inspiré, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, de leur collaboration, leur soutien et leur avis judicieux, de mener à bien ce travail.*

*Nous voudrions exprimer nos remerciements ainsi que notre profonde gratitude à notre promotrice N. KIRECHE pour ses précieux conseils, aides, orientations et disponibilité.*

*Nous tenons à remercier notre Co-promoteur qui nous à accorder sa confiance en nous permettons de réaliser notre projet fin d'études au sein de son atelier sis à « Haizer willaya de Bouira », et pour l'aide, le suivi et l'intérêt qui nous a apporté jusqu'à l'achèvement de notre Travail.*

*Nous tenons à remercier notre cher ami Smaïl pour son aide et soutient.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont fait l'honneur de juger notre travail.*

*En fin nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de notre projet.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*  
*Mes chers parents.*

*Mes frères et sœurs.*

*Ma grande famille.*

*Tous mes enseignants.*

*Tous mes amis.*

*Et à tous ceux qui ont collaboré de près ou de  
loin à la réalisation de ce travail.*

*THAMER*





# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents sous le Regard de Dieu en souhaitant intérieurement qu'il me Les garde.*

*A ma femme et mes enfants, à ma chère fille Fatima à qui je souhaite une bonne réussite dans son baccalauréat.*

*A mes chères sœurs et leurs familles. A mon cher frère Adel et sa famille.*

*A tous mes enseignants, et mes amis qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.*

*Mourad*





## Sommaire :

<b>Sommaire</b> .....	I
<b>Liste des Figure</b> .....	IV
<b>Liste des Tableaux</b> .....	VII
<b>Introduction générale</b> .....	1

### *Chapitre I : Généralités sur matériaux composites*

I.1. Introduction .....	3
I.2. Matériaux composites .....	3
I.2.1. Définition .....	3
I.3. Classification des matériaux composites .....	4
I.3.1. Classification suivant la forme des constituants .....	4
I.3.1.1. Composites à fibres .....	4
I.3.1.2. Composites à particules .....	5
I.3.2. Classification suivant la nature des constituants .....	5
I.4. Les éléments constituants d'un matériau composite .....	6
I.4.1. Matrice .....	6
I.4.1.1. Les résine .....	7
I.4.1.2. Les divers type de résine .....	7
I.4.2. Renfort .....	8
I.4.2.1. Les principales fibres .....	9
I.5. Structure du composite .....	12
I.5.1. Les monocouches .....	12
I.5.2. Les stratifié .....	13
I.5.3. Les sandwich .....	13
I.6. Les procédés de mise en forme des composites .....	14
I.6.1. Moulage sans pression .....	14
I.6.2. Moulage par compression .....	16
I.6.3. Enroulement filamentaire .....	17
I.6.4. Modèles d'enroulement .....	18
I.6.4.1. Enroulement hélicoïdal .....	18
I.6.4.2. Enroulement circonférentiel .....	19

I.6.5. Fabrication des tube composites .....	20
I.7. Conclusion .....	21

## ***Chapitre II : Machine d'enroulement filamentaire***

II.1. Introduction .....	22
II.2. Présentation de la machine .....	22
II.2.1. Chaîne cinématique de la machine .....	22
II.2.2. schéma descriptif du système .....	23
II.3. Partie mécanique .....	24
II.3.1. Les différentes parties mécaniques de la machine .....	24
II.4. Partie électrique .....	25
II.4.1. Montage global (synaptique) .....	26
II.4.2. Armoire électrique .....	27
II.4.3. Système de rotation de la barre .....	28
II.4.4. Système de translation des dispositifs .....	29
II.4.5. Capteur inductifs et capacitifs .....	30
II.4.5.1. Capteur inductifs .....	30
II.4.5.2. Capteur capacitifs .....	31
II.4.6. L'automate programmable .....	32
II.4.6.1. Définition .....	32
II.4.6.2.1. L'automate LOGO ! Siemens .....	32
II.4.6.2.2. Caractéristique technique de LOGO .....	32
II.5. Le fonctionnement de la machine .....	33
II.6. Relation entre les différents paramétrés (angle, vitesse de rotation du mandrin, vitesse de rotation de la vis) .....	34
II.7. Conclusion .....	35

## ***Chapitre III : Partie expérimentaux***

III.1. Introduction .....	36
III.2. Généralités sur les vieillissements .....	36
III.2.1. Vieillessement thermique .....	36
III.2.2. Vieillessement électrique .....	38

III.2.3. Vieillissement photochimique ou sous UV .....	40
III.3. Caractéristique diélectrique diélectrique .....	40
III.3.1. Permittivité relative .....	40
III.3.2. Le facteur de dissipation .....	41
III.3.3. La résistance d'isolement et la résistivité électrique .....	42
III.3.4. Pertes diélectriques .....	42
III.4. Elaboration du matériau composite et préparation des échantillons .....	43
III.4.1. Préparation des tubes en fibre de jute et la fibre de verre .....	43
III.4.2. Description des dispositifs expérimentaux et conditions d'essais .....	49
III.4.2.1. Vieillissement électrique .....	49
III.4.2.2. Vieillissement thermique .....	51
III.4.2.3. Vieillissement sous UV .....	51
III.5. Appareils d'analyse et de mesure .....	52
III.5.1. Spectroscopie Infra Rouges à Transformée de Fourier (FTIR) .....	52
III.5.2. Impédance mètre .....	53
III.6. Résultat et discussion .....	54
III.7. Conclusion .....	66
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>68</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>69</b>



*Liste des Figure :*

<b>Figure. I.1.</b> Matériau composite .....	3
<b>Figure. I.2.</b> Structure d'un matériau composite stratifié .....	4
<b>Figure. I.3.</b> Classification des matériaux composites suivant la nature de la matrice .....	6
<b>Figure. I.4.</b> Différentes familles de matrice .....	7
<b>Figure. I.5.</b> Différentes familles du renfort .....	9
<b>Figure. I.6.</b> Fibre de verre .....	9
<b>Figure. I.7.</b> fibre de carbone .....	10
<b>Figure. I.8.</b> fibre d'aramide .....	10
<b>Figure. I.9.</b> fibre de bore .....	11
<b>Figure. I.10.</b> Fibres végétales .....	12
<b>Figure. I.11.</b> Classification des fibres végétales .....	12
<b>Figure. I.12.</b> Monocouche .....	13
<b>Figure. I.13.</b> composite stratifié .....	13
<b>Figure. I.14.</b> Composite sandwichs .....	14
<b>Figure. I.15.</b> principe du moulage au contact .....	15
<b>Figure. I.16.</b> Principe du moulage par projection simultanée .....	15
<b>Figure. I.17.</b> Moulage par injection de résine .....	16
<b>Figure. I.18.</b> Moulage par injection .....	17
<b>Figure. I.19.</b> Enroulement filamentaire .....	17
<b>Figure. I.20.</b> Principe d'enroulement hélicoïdal .....	18
<b>Figure. I.21.</b> Enroulement hélicoïdal continu .....	19
<b>Figure. I.22.</b> enroulement hélicoïdal .....	19
<b>Figure. I.23.</b> Principe d'enroulement circonférentiel .....	20
<b>Figure. I.24.</b> Enroulement circonférentielle .....	20
<b>Figure. I.25.</b> Fabrication des tubes, (a) machine d'enroulement filamentaire (b) phase d'enroulement et (c) cuisson en étuve .....	21
<b>Figure. II.1.</b> Sous-chaîne cinématique .....	22
<b>Figure. II.2.</b> Chaîne cinématique proposée .....	23

<b>Figure. II.3.</b> schéma descriptif du système .....	23
<b>Figure. II.4.</b> Mécanisme de rotation .....	24
<b>Figure. II.5.</b> Mécanisme de translation .....	24
<b>Figure. II.6.</b> Le mandrin avec le moule .....	25
<b>Figure. II.7.</b> Bain de résine .....	25
<b>Figure. II.8.</b> Assemblage de la machine avec « solidworks» .....	25
<b>Figure. II.9.</b> Schéma de montage global de la machine partie électrique .....	26
<b>Figure. II.10.</b> Différents éléments de l'armoire .....	27
<b>Figure. II.11.</b> variateur de fréquence .....	28
<b>Figure. II.12.</b> Motoréducteur pour la rotation de la barre d'enroulement .....	29
<b>Figure. II.13.</b> Variateur de fréquence du système de translation. ....	29
<b>Figure. II.14.</b> Moteur pour la rotation de la vis .....	30
<b>Figure. II.15.</b> Schéma de fonctionnement capteurs inductifs .....	30
<b>Figure. II.16.</b> Quelque exemple de capteur inductif .....	31
<b>Figure. II.17.</b> Schéma de fonctionnement du capteur capacitif .....	31
<b>Figure. II.18.</b> Quelque exemple de capteurs capacitifs .....	31
<b>Figure. II.19.</b> les différentes parties de LOGC .....	33
<b>Figure. III.1.</b> Scénario classique de l'endommagement d'un isolant électrique .....	39
<b>Figure. III.2.</b> a- Condensateur rempli par le vide ayant une capacité C et une permittivité -b- L'insertion d'un diélectrique change la valeur de la capacité du condensateur est devient C' et la permittivité devient propre au diélectrique utilisé .....	41
<b>Figure. III.3.</b> Calcul de $\tan(\delta)$ (facteur de dissipation) .....	42
<b>Figure. III.4.</b> Bac d'imprégnation .....	44
<b>Figure. III.5.</b> Réglage des fréquences de translation et de rotation .....	45
<b>Figure. III.6.</b> Fibres passant dans le bain de résine .....	45
<b>Figure. III.7.</b> La machine en état de marche .....	46
<b>Figure. III.8.</b> Découpage et préparation des échantillons pour les tests .....	47
<b>Figure. III.9.</b> Les échantillons prêts pour les essais .....	47
<b>Figure. III.10.</b> Ensemble du labo H.T. Cage de Faraday, transformateur d'essai, pupitre de commande et appareils de mesure .....	49
<b>Figure. III.11.</b> Montage expérimental pour le vieillissement électrique .....	50
<b>Figure. III.12.</b> Système du support et électrodes utilisés .....	50
<b>Figure. III.13.</b> L'étuve à convection électrique utilisée pour le vieillissement thermique ...	51

<b>Figure. III.14.</b> Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) .....	52
<b>Figure. III.15.</b> l'impédancemètre utilisé pour les mesures .....	53
<b>Figure. III.16.</b> Spectre infrarouge d u composite vierge .....	54
<b>Figure. III.17.</b> Spectre infrarouge de la composite thermique (120°C) .....	55
<b>Figure. III.18.</b> Aperçu des longueurs d'ondes d'absorption pour les molécules organiques .....	55
<b>Figure. III.19.</b> Spectre infrarouge de la composite thermique (120°C).....	56
<b>Figure. III.20</b> Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence du composite vierge pour différents angles .....	57
<b>Figure.III.21</b> La variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli .....	58
<b>Figure. III.22</b> Variation de la permittivité relative en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents vieillissements .....	59
<b>Figure. III.23.</b> Variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence du composite vierge pour différents angles .....	60
<b>Figure. III.24.</b> La variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli .....	60
<b>Figure. III.25.</b> La variation de facteur de dissipation en fonction de l'angle de la fibre de verre par rapport à jute, aux différents vieillissements .....	61
<b>Figure. III.26.</b> Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fonction du composite vierge pour différents angles .....	62
<b>Figure. III 27.</b> La variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli .....	63
<b>Figure. III.28.</b> La variation de pertes diélectriques en fonction de l'angle de la fibre de verre par rapport à la jute, aux différents vieillissements .....	63
<b>Figure. III.29.</b> Variation de la résistivité volumique en fonction de la fréquence du composite vierge pour différents angles .....	64
<b>Figure. III.30.</b> La variation de la résistivité volumique en fonction de la fréquence du composite vierge et soumis différents vieillissements .....	65
<b>Figure. III.31.</b> La variation de la résistivité volumique en fonction de l'angle de la fibre de verre par rapport à la jute, aux différents vieillissements.....	66



*Liste des tableaux*

**Tableaux .III.1.** Architecture des différents tubes réalisés .....43  
**Tableaux .III.2.** Caractéristiques de la résine .....44  
**Tableaux .III.3.** Vitesse de rotation du mandrin et de chariot pour chaque angle .....46  
**Tableaux. III.4.** Absorptions caractéristiques des groupements fonctionnels du composites.56

## **Introduction générale**

Les matériaux composites connaissent un essor considérable dans de nombreux secteurs d'activités. Cet essor s'explique par la nécessité de répondre à la fois à l'allègement des pièces, à la résistance, à la corrosion, à la résistance thermique et à la tenue diélectrique. En effet, les matériaux composites permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques, électrique et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et une bonne isolation électrique.

L'objectif d'un matériau composite est de combiner deux ou plusieurs matériaux tout en créant une synergie entre ces différents matériaux afin qu'il en résulte un composite plus performant que chacune des composantes prises individuellement.

La fabrication de pièces en composites destinées aux marchés de grande diffusion (automobile, aéronautique, électricité, bâtiment, canalisation...) nécessite la mise en œuvre de procédés de transformation fortement automatisés. Des études comparatives montrent l'importance du procédé d'enroulement filamentaire par rapport aux autres procédés de mise en œuvre des matériaux composite en termes de vitesse de production et qualité des pièces par rapport à d'autres procédés.

D'où une réflexion sur le procédé d'enroulement filamentaire pouvant répondre aux besoins du consommateur en terme de matériaux composites. Ce procédé permet de réaliser des pièces en composite à partir de fibres enroulés sur un cylindre.

Pour projeter l'importance de cette réflexion, nous nous sommes fixés comme objectif dans notre Projet de Fin d'Etudes l'élaboration d'un composite par le procédé d'enroulement filamentaire avec un renfort naturel qui est la fibre de jute, et de voir les différents caractéristiques diélectriques des échantillons vierge et vieillis.

Dans le présent travail, l'étude présentée est subdivisée en trois chapitres :

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous apportons des généralités sur les matériaux composites, nous présentons les différents constituants des composites ainsi que les

procédés de fabrication de ces matériaux, et en suite nous présentons les différents modèles d'enroulement filamenteux.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la machine d'enroulement filamenteux. Nous présenterons un schéma descriptif des différentes parties de la machine. Ainsi qu'une brève définition des différents éléments de la partie électrique de la machine.

La partie pratique et les résultats expérimentaux font l'objet du troisième chapitre, ce dernier comporte deux volets ; dans le premier nous présenterons des rappels sur les principaux vieillissements des matériaux ainsi que les définitions des propriétés diélectriques du composite.

Le deuxième volet du troisième chapitre porte sur l'élaboration du matériau composite et la préparation des échantillons, ainsi que les différentes étapes des essais des vieillissements ainsi que les résultats obtenus et quelques interprétations.

Nous achèverons notre manuscrit par une conclusion générale sur l'élaboration d'un matériau composite par le procédé d'enroulement filamenteux.



# **Chapitre I**

## **Généralités sur les matériaux composites**

## I.1.Introduction

Le but de ce chapitre est d'apporter une connaissance générale sur les matériaux composites. En première partie nous présenterons les différents constituants de ces matériaux, en suite on va voir les procédés de fabrication de ce type de matériaux.

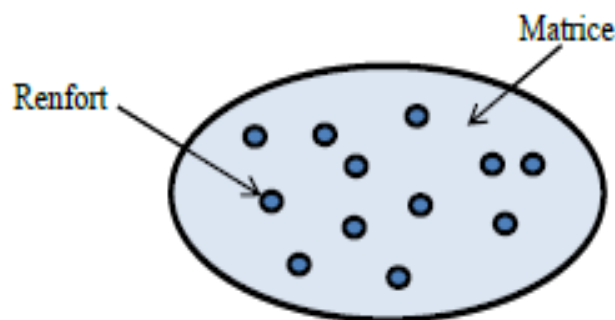
## I.2. Matériaux composites

### I.2.1. Définition

D'un point de vue structurel, un composite est un matériau composé d'au moins deux phases dissemblables et différentes à l'échelle macroscopique. Une phase discontinue de renfort plus rigide et plus résistante que la phase continue de la matrice (figure I-1). Le renfort sous forme de fibres, assure les caractéristiques mécaniques élevées du matériau et résiste aux charges, la matrice sous forme de résine qui répartit cette charge, garantit la géométrie du composite et assure la transmission des contraintes.

Le but de cette association est d'obtenir un matériau dont les propriétés spécifiques et les performances mécaniques du composite sont meilleures que la matrice sans renforcement. Donc la mise en forme du matériau composite, dépend du choix des composants et de leurs proportions respectives, ainsi que par le choix des dimensions, la disposition des renforts et sa forme. Ces choix permettent d'obtenir un matériau présentant les caractéristiques spécifiques recherchées.

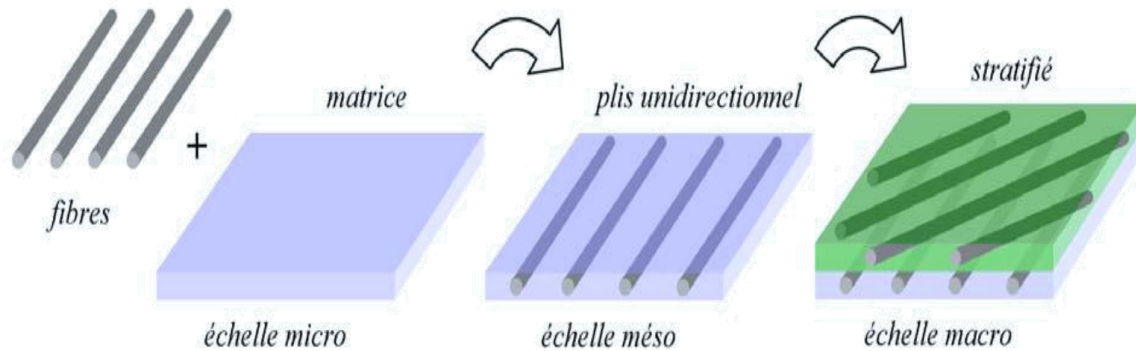
Dans l'ingénierie des sciences des matériaux les matériaux composites constituent une très large et importante partie des matériaux utilisés dans des différentes industries.



**Figure. I.1.** Matériau composite.

La majorité des structures composites utilisées dans l'industrie sont obtenues par empilement de plusieurs plis qui constituent un multicouche nommé composite stratifié. L'assemblage de ces plis, orientés selon différentes directions par rapport à la direction

principale de chargement, permet ainsi de construire un stratifié optimisé en termes de rigidité et de masse par rapport à une sollicitation donnée. La structure multi-échelle finale ( $\approx 1\text{mm}$ ) est ainsi composée de fibres et de résine à l'échelle microscopique ( $\approx 10\mu\text{m}$ ), constituant à une échelle supérieure des plis ( $\approx 100\mu\text{m}$ ), formant à leur tour par empilement une plaque stratifiée ( $\approx 1\text{mm}$ ), (figure I.2) [1].



**Figure. I.2.** Structure d'un matériau composite stratifié [1].

Les composites trouvent déjà leur place dans une très grande variété de produits, autant dans la haute performance (aérospatial) que dans des produits commerciaux comme les vélos et raquettes de tennis.

Pour accéder à la description d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier :

- La nature des constituants et leurs propriétés.
- La géométrie du renfort et sa distribution.
- La nature de l'interface matrice-renfort.

### I.3. Classification des matériaux composites

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composants.

#### I.3.1. Classification suivant la forme des constituants

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux classes :

##### I.3.1.1 Composites à fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : fibres coupées, fibres courtes...etc.

Pour modifier les comportements mécaniques et physique en jouant sur :

- La nature des constituants.
- La proportion des constituants.
- L'orientation des fibres.

Suivant le cahier des charges imposées, l'importance des matériaux composites à fibres justifie une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques. En conséquence, le présent ouvrage sera essentiellement consacré, par la suite, à l'étude de ce type de matériaux [2].

### **I.3.1.2 Composites à particules**

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension Privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du retrait...etc.

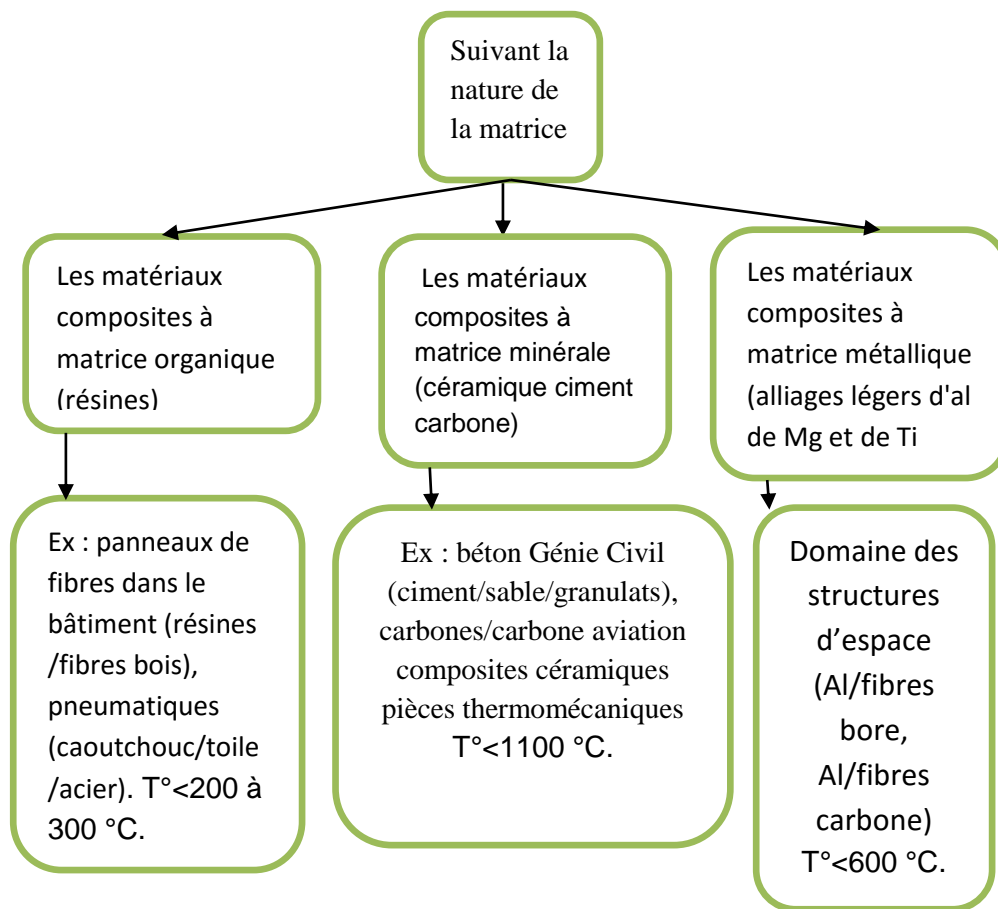
Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques. Ainsi, les composites à particules recouvrent un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse [2].

Toutefois, compte tenu de leurs diversités, ce type de matériaux ne sera pas étudié dans le cadre de cet ouvrage.

### **I.3.2 Classification suivant la nature des constituants**

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites matrices organiques, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés ces matrices. Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche.

La figure suivante nous donne la classification suivant la nature de la matrice :



**Figure. I.3.** Classification des matériaux composites suivant la nature de la matrice [3].

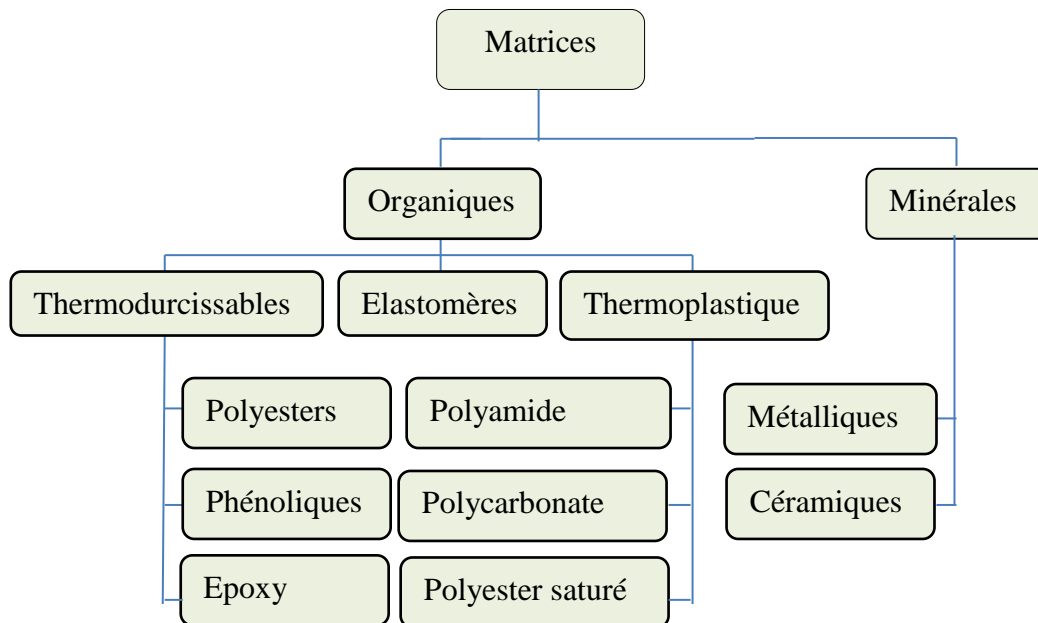
## I.4. Éléments constitutants d'un matériau composite

Comme nous l'avons cité ci-dessus, un matériau composite est constitué de l'assemblage d'au moins deux matériaux de natures différentes (matrice, renfort).

### I.4.1. Matrice

La matrice est l'élément qui lie et maintient les fibres. Elle répartie les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des fibres. Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymère existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés. Dans le cas des matériaux en carbone des températures de 2 200°C peuvent être atteintes [2,4].

Nous énumérerons les différents types de matrice dans le graphique ci-dessous (figure. I.4).



**Figure. I.4.** Différentes familles de matrice [5].

#### I.4.1.1. Résines

Les résines utilisées dans les matériaux composites ont pour rôle de transférer les sollicitations mécaniques aux fibres et de les protéger de l'environnement extérieur. Les résines doivent donc être assez déformables et doivent présenter une bonne compatibilité avec les fibres. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées. Les résines sont livrées en solution, sous forme de polymères non réticulés en suspension dans des solvants qui empêchent le pontage entre les macromolécules pré polymérisées. Sous l'action de la chaleur, des liaisons se développent entre les chaînes du pré polymère pour constituer un polymère réticulé suivant une structure tridimensionnelle [2,4].

#### I.4.1.2. Divers types de résines

##### ○ Résines thermodurcissables

Les résines thermodurcissables sont des polymères, qui, après un traitement thermique ou physico-chimique (catalyseur, durcisseur), se transforment en des produits essentiellement infusibles et insolubles. Ces résines ont donc la particularité de ne pouvoir être mises en forme qu'une seule fois [6].



- **Résines thermoplastiques**

Les résines thermoplastiques sont des solides généralement solubles, formés de chaînes distinctes bien compactées, liées entre elles par des seules liaisons secondaires (force de van der Waal, liaisons d'hydrogène) et mis en forme par chauffage et refroidissement [7].

- **Résines époxydes**

Le terme époxyde désigne une grande variété de pré-polymères comportant un ou plusieurs motifs époxydiques dont les principales applications concernent les matériaux composites (matrice époxyde avec des renforts en fibre de verre ou de carbone) [8].

- **Phénoplastes ou phénols-formols**

Les phénoplastes sont des matières thermodurcissables obtenues par polycondensation d'un phénol et d'un aldéhyde avec élimination d'eau et formation d'un réseau tridimensionnel [9].

- **Résines thermostables**

Elles se distinguent essentiellement des autres résines par leurs performances thermiques. Les résines thermostables sont développées surtout dans les domaines de l'aviation et de l'espace [10].

## **I.4.2. Renfort**

Les renforts confèrent aux composites leur caractéristique mécanique : rigidité, résistance à la rupture, dureté...etc. Ces renforts permettent également d'améliorer certaines propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température, tenue au feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques...etc. Les caractéristiques recherchées pour les renforts sont des propriétés mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec résines, une facilité de mise en œuvre, un faible coût ...etc.

En fonction des utilisations, les renforts peuvent être d'origines diverses : végétale, minérale, artificielle, synthétique...etc. [11].

Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales :

- Sous forme linéique (fil, mèches...etc.).
- Sous forme de tissus surfacique (tissus simple, mats...etc.).
- Sous forme multidirectionnelle (tresses, tissus complexes...etc.).

La figure suivante nous montre les différents types de renfort :

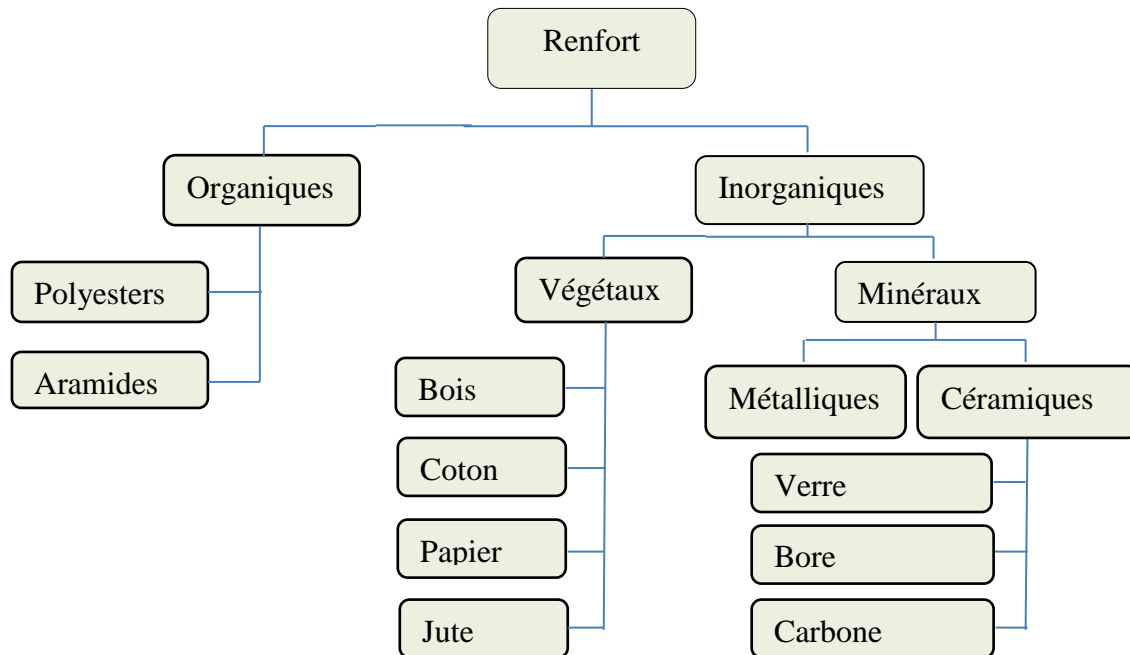


Figure. I.5. Différentes familles du renfort [5].

#### I.4.2.1. Principales fibres

- **Fibres de verre**

Le terme fibres de verre désigne à la fois les fibres utilisées comme isolant thermique et celles utilisées comme renforts associées à des matrices organiques pour donner des composites. La principale application des fibres de verre textile est le renforcement des plastiques. Cependant leur champ d'applications s'est élargi à d'autres matrices (ciment, plâtre, bitume...etc.) et à d'autres utilisations [12].



Figure. I.6. Fibre de verre.

- **Fibres de carbone**

La fibre de carbone est obtenue à partir de la pyrolyse d'une fibre organique appelée précurseur. Les fibres de carbone se différencient par le taux de carbone plus ou moins élevé. Ces fibres sont utilisées en tant que carbone pour les propriétés de cet élément et en tant que fibre flexible et qui convient à toutes les formes de produits finis [13].



**Figure. I.7.** fibre de carbone.

- **Fibre d'aramide**

La fibre d'aramide est issue de la chimie des polyamides aromatiques. Il est possible de trouver deux types de fibres d'aramide de rigidités différentes [14] :

- ✚ Les fibres bas module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles ;
- ✚ La fibre haute module : employées dans le renforcement pour les composites hautes Performances.



**Figure. I.8.** Fibre d'aramide [14].

- **Fibres de bore**

Fibres de haut module et insensibles à l'oxydation à hautes températures, elles sont obtenues par dépôt en phase gazeuse sur un substrat en tungstène. Ci-dessous (figure. I.9) les différents types de renforts de base utilisées comme élément de renfort [15].



**Figure. I.9.** Fibre de bore

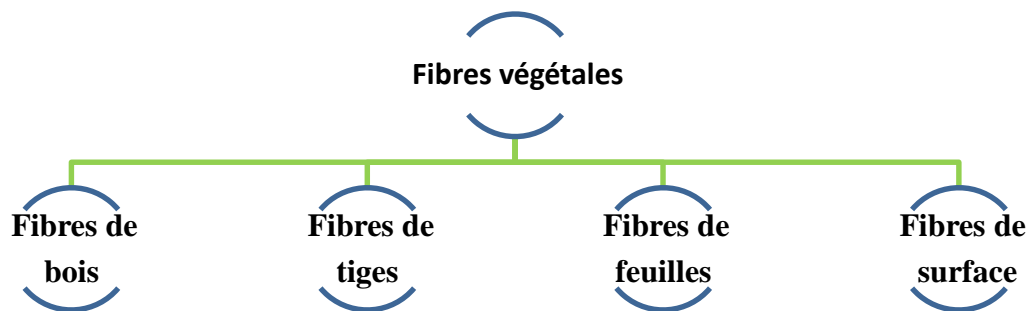
- **Fibres végétales**

Les fibres naturelles sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans l'ancienne Égypte, où la paille et d'argile étaient mélangés pour construire des murs. Au cours de la dernière décennie, les composites renforcés de fibres naturelles ont reçu une attention croissante, tant auprès du monde universitaire que de diverses industries. Il existe une grande variété de fibres naturelles qui peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges [16]. Dans le temps moderne (depuis l'année 70), le premier composite liant avec les fibres végétales est le plâtre. Plusieurs ouvrages sont réalisés avec le plâtre renforcé de fibres végétales. Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine du renforcement de ciment et béton avec des fibres végétales. Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les fibres végétales [17].



**Figure. I.10.** Fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A savoir : les fibres de feuilles, de tiges, de bois et de surface.



**Figure. I.11.** Classification des fibres végétales [17].

## I.5. Structure du composite

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types :

- Les monocouches
- Les stratifiées
- Les sandwiches

### I.5.1. Monocouches

Les monocouches représentent l'élément de base de la structure composite. Les différents types de monocouches sont caractérisés par la forme du renfort : à fibres longues (unidirectionnelles 1D, réparties aléatoirement), à fibres tissées et à fibres courtes.

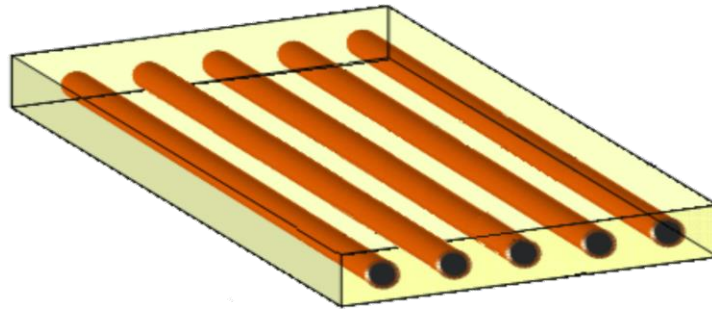


Figure. I.12. Monocouche [18].

### I.5.2. Stratifiés

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié. Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques [18].

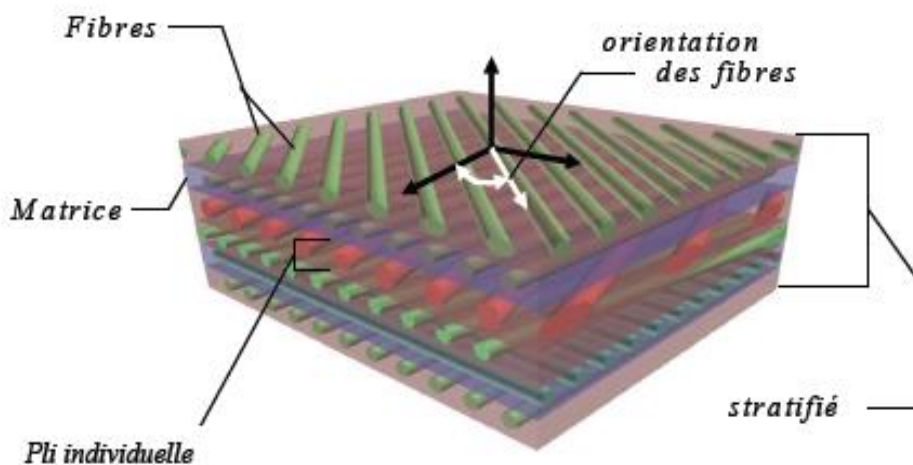
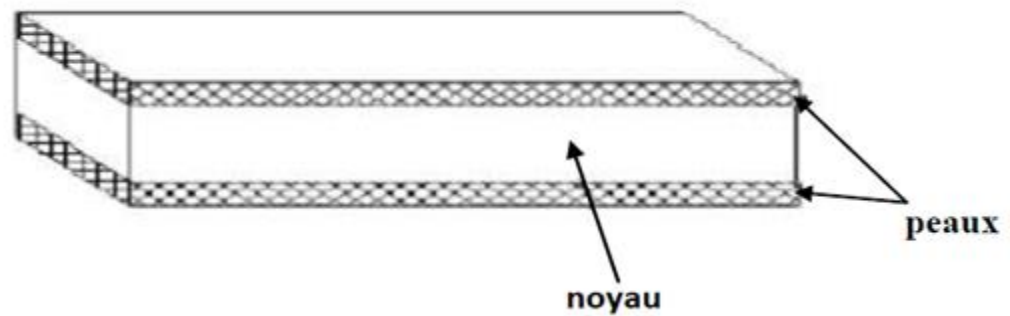


Figure. I.13.composite stratifié [19].

### I.5.3 sandwiches

Les matériaux composites de types sandwiches sont principalement constitués de deux composants nommés : peau et noyau (Fig.14)





**Figure. I.14.** Composite sandwich [20].

Les propriétés de ce type de matériaux dépendent de celles du noyau et des peaux, de leurs épaisseurs et des caractéristiques de liaison entre elles.

#### ○ **Le noyau**

Il existe un grand nombre de matériaux qui peuvent être utilisés comme noyau. Ces matériaux sont divisés en trois classes :

- ✚ Matériaux solides à faible densité : balsa et d'autres types de bois.
- ✚ Matériaux à haute densité augmentés en forme cellulaire : nid d'abeilles.
- ✚ Matériaux à haute densité augmentés sous la forme ondulée : feuilles ondulées.

#### ○ **La peau**

Une large variété de matériaux est utilisée comme peau, par exemple : les feuilles de métaux comme l'aluminium, le titane...etc. Le choix des matériaux utilisés comme peau est important du point de vue de l'environnement de travail, car la présente partie entre en contact direct avec ce dernier [20].

## **I.6. Procédés de mise en forme des composites**

La plupart des méthodes de mise en œuvre consistent à élaborer les pièces en matériaux composites par couches successives comportant matrice et renfort.

### **I.6.1. Moulages sans pression**

Les méthodes de moulage à froid et sans intervention d'une presse sont les méthodes les plus simples à mettre en œuvre. Elles nécessitent un minimum d'équipement et par conséquent d'amortissement. Cette facilité a été à l'origine du succès des matériaux composites à fibres de verre, dans l'industrie et l'artisanat. Ces méthodes permettent la réalisation de pièces en petites et moyennes séries, sans restriction de formes et dimensions. Bien que la proportion de fibres

puisse varier, elle reste toutefois limitée. Les pièces comportent une seule face lisse, reproduisant l'aspect du moule. Enfin, la qualité de la pièce moulée dépend dans une large mesure du savoir-faire du mouleur.

### I.6.1.1. Moulage par contact

Consiste à fournir respectivement un agent de démoulage, un gel coat et une couche de résines thermodurcissable liquides.

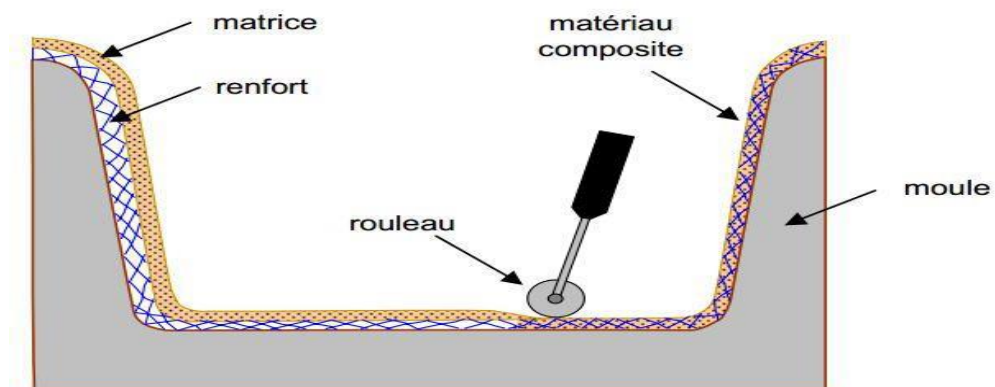


Figure. I.15. Principe du moulage au contact [21].

### I.6.1.2. Moulage par projection simultanée

Le moulage est effectué par projection simultanée de fibres coupées et résine catalysée sur un moule. L'équipement à projeter est constitué d'une machine à couper le stratifil et d'un pistolet projetant la résine et les fibres coupées, l'ensemble fonctionnant par air comprimé. La couche de fibres imprégnées de résine est ensuite compactée et débarrassée des bulles au rouleau cannelé

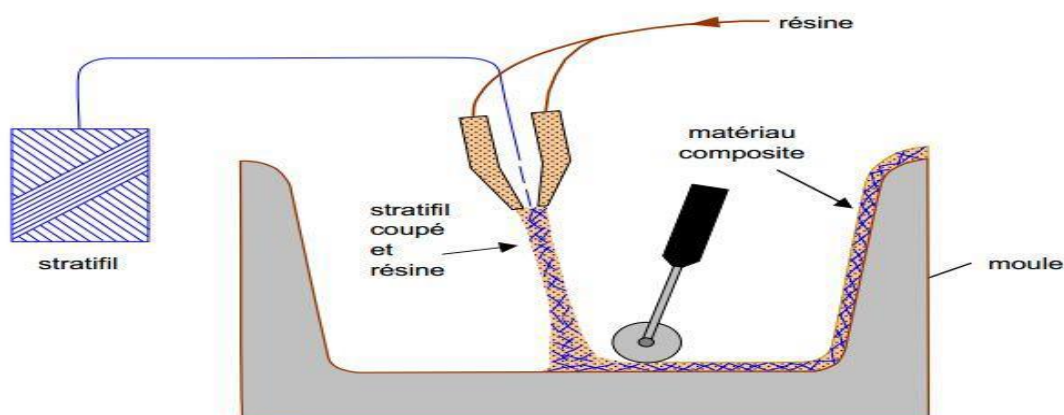


Figure. I.16. Principe du moulage par projection simultanée [21].

Le moulage par projection permet d'obtenir de grandes séries de pièces, avec un bas prix de revient. Le renfort est toutefois limité à des fibres coupées, et les caractéristiques mécaniques du matériau restent moyennes. Il est possible d'obtenir deux faces lisses en utilisant un moule et contre-moule, chargés séparément, puis accolés. Ce procédé réserve également la possibilité d'interposer une couche de tissu entre les deux, et permet alors d'obtenir des pièces ayant de meilleures caractéristiques mécaniques [22].

## I.6.2. Moulage par compression

### I.6.2.1. Moulage par injection de résine

Le moulage consiste, par injection de résine sous pression, à imprégner un renfort placé à l'intérieur d'un ensemble moule et contre-moule très rigide et fermé. L'alimentation automatique des résines élimine leur manipulation. La proportion de renfort peut être élevée, d'où l'obtention de pièces à caractéristiques mécaniques élevées.

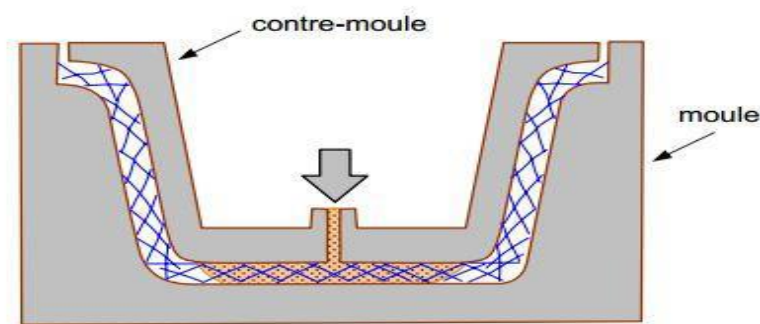
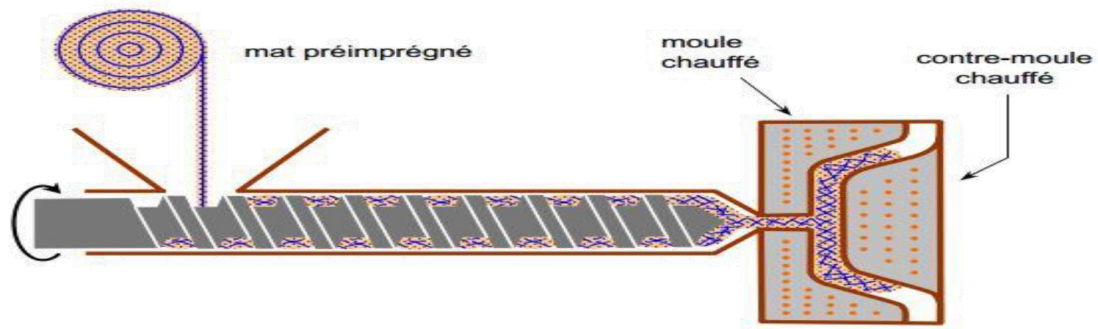


Figure. 1.17. Moulage par injection de résine.

Ce procédé de moulage convient à la réalisation de pièces profondes et de formes compliquées.

### I.6.2.2. Moulage par injection

La méthode de moulage par injection est la méthode la plus répandue des méthodes de mise en œuvre des thermoplastiques armés (les autres méthodes étant l'extrusion, l'extrusion soufflage, le thermoformage...etc.). Le moulage par injection est réalisé sur les presses conventionnelles utilisées pour l'injection des résines thermoplastiques. Des granulés comportant la résine et le renfort (fibres courtes, billes...etc.) ou des mats pré imprégnés sont extrudés par une vis d'Archimède. La matrice est fluidifiée par chauffage et injectée sous pression élevée dans une moule chauffée, où a lieu la polymérisation [4,22].



**Figure. I.18.**Moulage par injection [21].

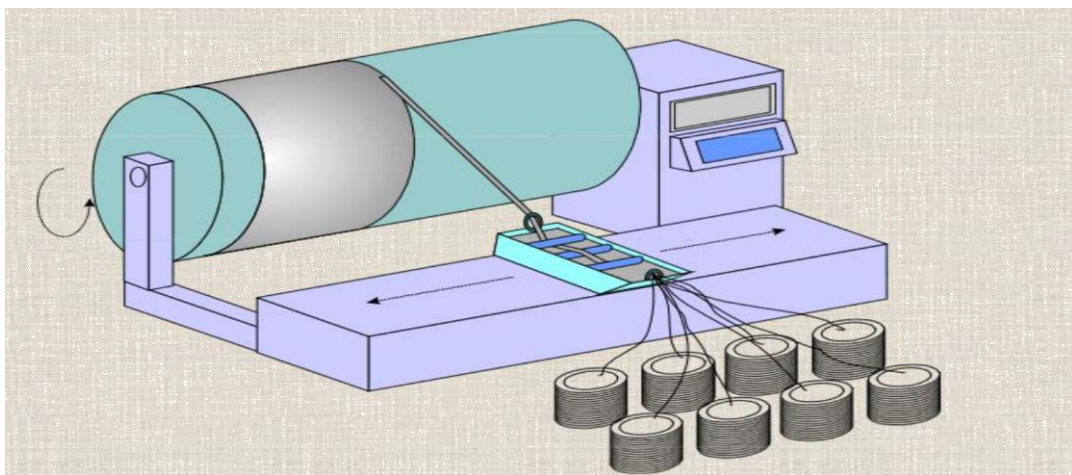
Le type de matériaux obtenus est plus généralement appelé “plastiques renforcés” que matériaux composites. En effet, compte tenu de la nature des renforts (fibres courtes, sphères.etc.), la contrainte à la rupture et le module d'Young des résines sont multipliés par un facteur de l'ordre de 2 à 4. Cette technique est adaptée à la production de pièces en très grandes séries [22,4].

### I.6.3. Enroulement filamentaire

Le renfort (fil continu, ruban, etc.) imprégné de résine catalysée est enroulé avec une légère tension, sur un mandrin cylindrique ou de révolution en rotation (Figure. I.19).

Ce type de moulage est bien adapté aux surfaces cylindriques et sphériques, et permet une conception avancée des pièces.

Les stratifiés obtenus peuvent comporter des proportions élevées de renfort (jusqu'à 80% en volume), permettant donc d'obtenir de hautes caractéristiques mécaniques.



**Figure. I.19.**Enroulement filamentaire.

## I.6.4. Modèles d'enroulement

### I.6.4.1. Enroulement hélicoïdal

Dans l'enroulement hélicoïdal, l'angle  $\alpha$  est de  $5^\circ$  à  $80^\circ$  par rapport à l'axe longitudinal

#### ✓ Enroulement discontinue

La direction d'enroulement des fils est inclinée par rapport à l'axe du mandrin d'un angle dont la valeur est déterminée par le mouvement relatif du guide-fil par rapport à la rotation du mandrin. La valeur de l'angle est choisie en fonction du rapport souhaité entre la résistance tangentielle et la résistance transversale. La nappe de fils est régulièrement répartie et stratifiée sur toute la surface du mandrin par des mouvements alternatifs des guide-fils parallèlement l'axe du mandrin. Ce type d'enroulement donne une grande liberté pour la disposition angulaire des fils. Il permet en particulier de réaliser des couches successives avec des angles différents.

Ce procédé d'enroulement a de nombreuses applications pour la fabrication de pièces de grandes dimensions comme des conteneurs, la fabrication d'enveloppes de fusées, de torpilles, de tube de forage pétrolier, de bouteilles de gaz...etc. La figure. I.20 illustre le principe du modèle d'enroulement hélicoïdal.

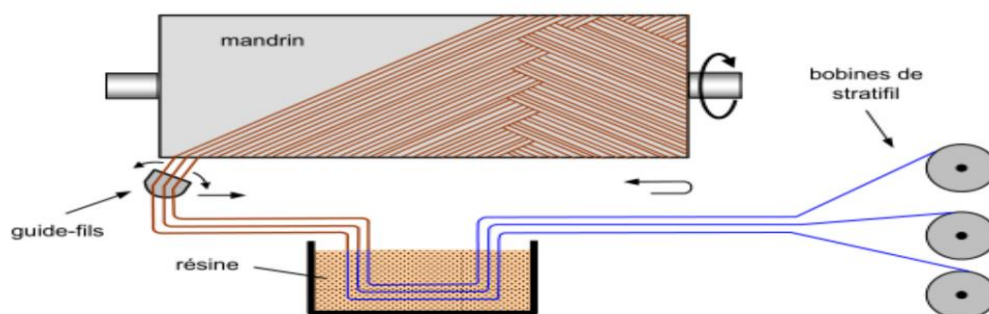
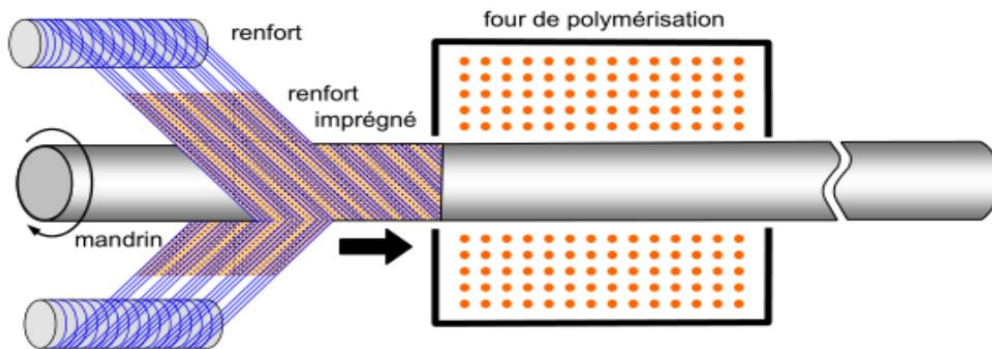


Figure. I.20.Principe d'enroulement hélicoïdal [23].

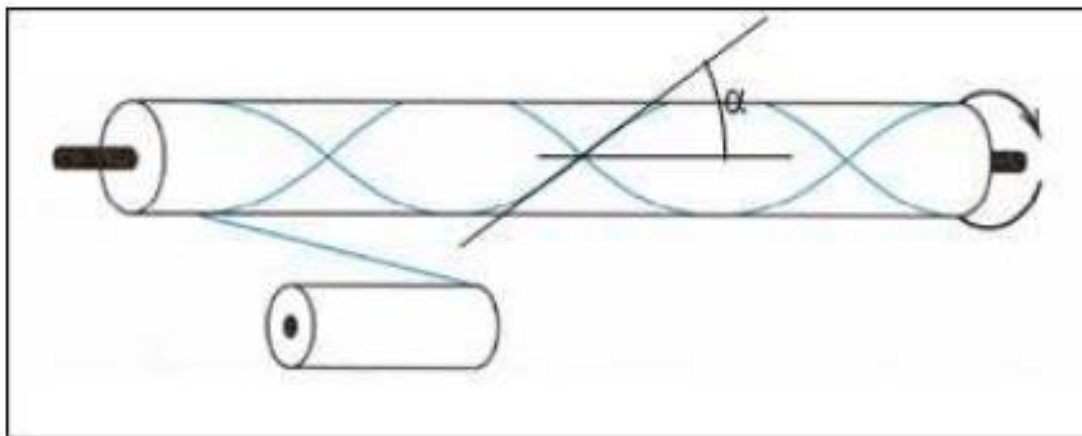
#### ✓ Enroulement continu

L'enroulement continu permet la fabrication industrielle de tubes et tuyaux hautes performances de divers diamètres et grandes longueurs. La figure. I.21 montre ce type d'enroulement :



**Figure. I.21.** Enroulement hélicoïdal continu [23].

Dans l'enroulement hélicoïdal, l'angle  $\alpha$  est de  $5^\circ$  à  $80^\circ$  par rapport à l'axe longitudinal comme le montre la figure. I.22.

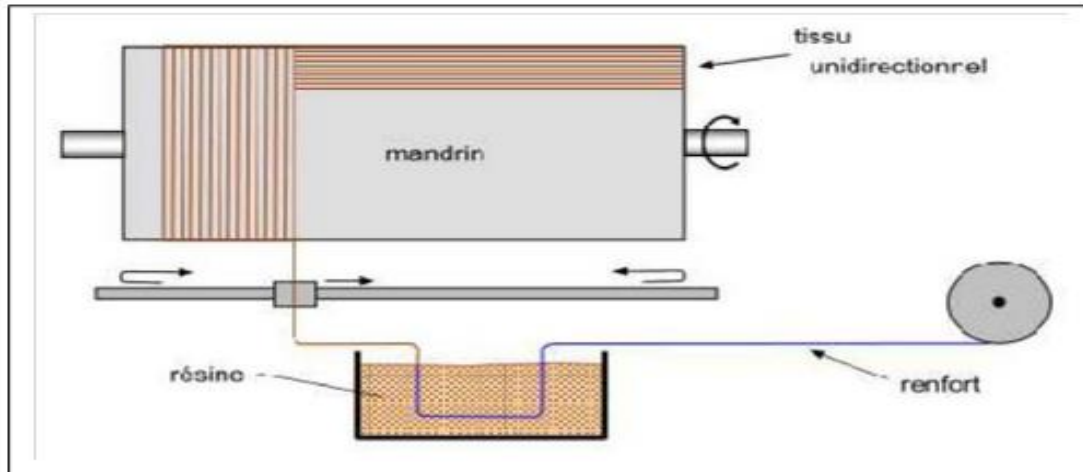


**Figure. I.22.** enroulement hélicoïdal

#### I.6.4.2. Enroulement circonférentiel

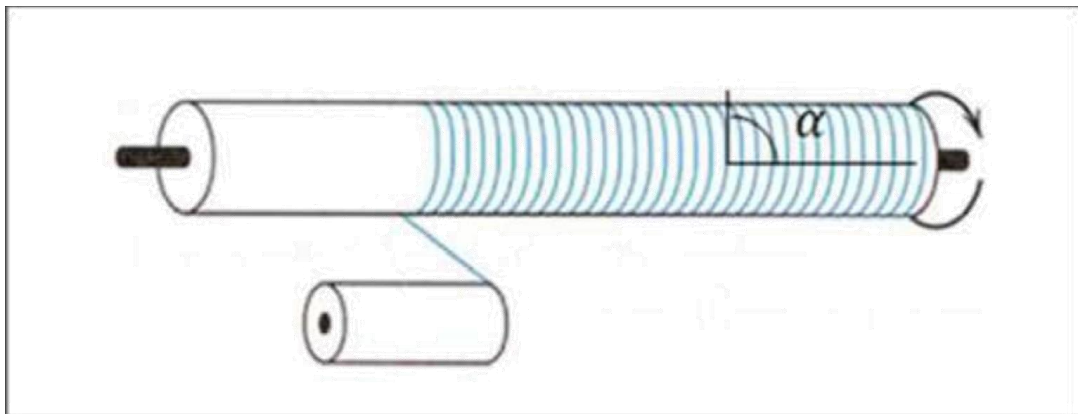
Le bobinage est effectué à  $90^\circ$  par rapport à l'axe du mandrin et confère une résistance tangentielle élevée. Pour obtenir une résistance longitudinale satisfaisante, il est nécessaire d'intercaler des couches de tissus unidirectionnels dans le sens axial du mandrin. Ce type d'enroulement est assez peu utilisé. La figure. I.23 illustre le principe de l'enroulement circonférentiel.





**Figure. I.23.**Principe d'enroulement circonférentiel [23].

Il est connu comme la sangle ou d'enroulement cerceau, c'est une forme particulière d'enroulement hélicoïdal et est utilisé pour déposer des fibres proches de  $90^\circ$  par rapport l'axe longitudinal. Chaque rotation complète du mandrin avance la livraison de la bande par une bande passante complète comme le montre la figure. I.24.



**Figure. I.24.**Enroulement circonférentielle

### I.6.5. Fabrication des tubes composites

La fabrication des tubes par enroulement filamentaire est composée de deux Phases : l'enroulement proprement dit (figure. I.25.b) et la cuisson (figure. I.25.c). Les tubes sont enroulés avec une machine à commande numérique (figure. I.25.a). La cuisson se déroule dans une étuve, à l'aide d'un tournebroche (figure. I.25.c), pour que la pièce - qui vient d'être enroulée - reste en rotation. Grâce à cette rotation, la résine encore liquide ne peut tomber ou former des zones plus denses.



(a)

(b)

(c)

**Figure.I.25.** Fabrication des tubes, (a) machine d'enroulement filamenteuse, (b) phase d'enroulement et (c) cuisson en étuve

### I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une description générale des matériaux composites, et leurs procédés de mise en forme. Parmi ces procédés, nous avons cité l'enroulement filamenteux.

# **Chapitre II**

## **Machine d'enroulement filamenteire**

## II.1. Introduction

L'enroulement filamentaire est un procédé de mise en forme rapide et automatisable. Il est parfaitement adapté pour réaliser des pièces à géométrie de révolution comme les tubes cylindriques, ou de forme complexe (section évolutive ou axe de révolution courbe par exemple).

Dans ce chapitre, nous présenterons la machine d'enroulement filamentaire avec laquelle nous allons élaborer nos échantillons qui sont initialement sous forme de tubes.

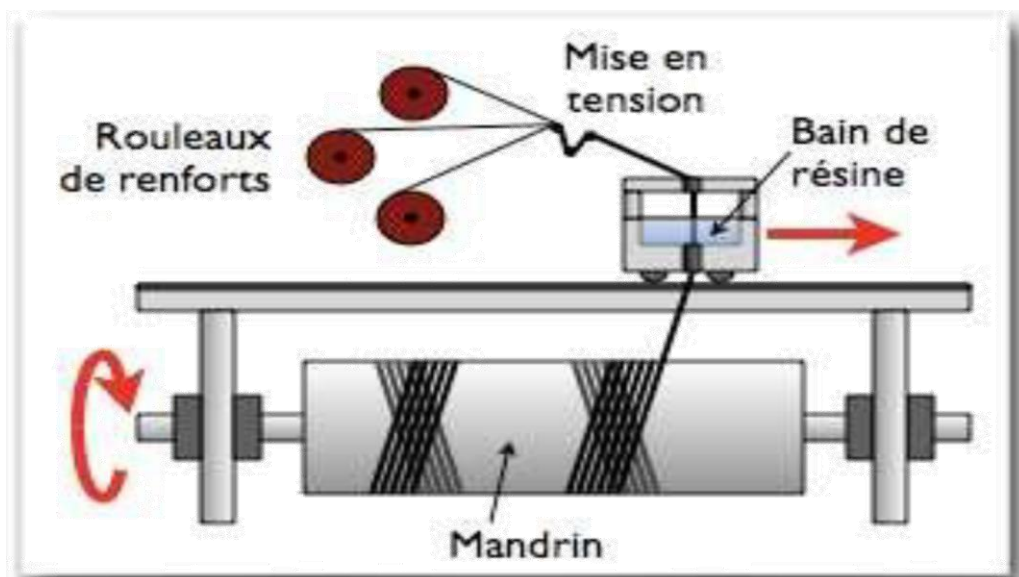
Notre présentation est basée sur les trois compartiments de la machine. En premier lieu nous allons présenter la chaîne cinématique de la machine, puis la partie mécanique, en suite nous allons détailler la partie électrique de la machine.

## II.2. Présentation de la machine

### II.2.1. Chaîne cinématique de la machine

La documentation concernant la machine d'enroulement filamentaire fournit la sous-chaîne cinématique. On y trouve deux systèmes :

- Système de rotation de la barre liée au cylindre d'enroulement
- Système de translation du dispositif d'enroulement.



**Figure. II.1.** Sous-chaîne cinématique [24].

Dans la littérature, on ne trouve pas la chaîne cinématique complète de la machine filamentaire, c'est-à-dire, les éléments qui la composent (moteurs, éléments de transmission de puissance ; etc.).

Nous proposons alors la chaîne cinématique suivante :

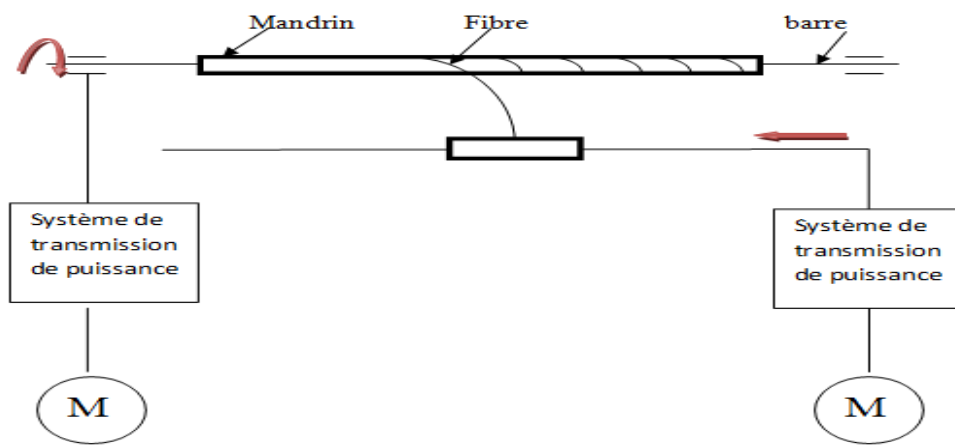


Figure II.2. Chaîne cinématique proposée.

### II.2.2. Schéma descriptif du système

La figure suivante illustre une description du système :

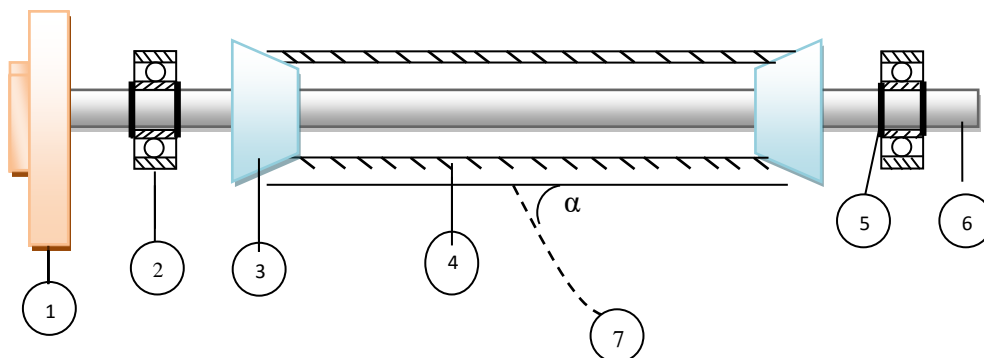


Figure. II.3. Schéma descriptif du système.

Légende :

- 1 : Roue d'engrenage
- 2 : Roulement à billes :
- 3 : Outil de fixation
- 4 : Cylindre d'enroulement (mandrin)
- 5 : Circlips
- 6 : Barre
- 7 : Stratifié (composée d'une multitude des fibres).

### II.3. Partie mécanique

La partie mécanique consiste à enrouler, par l'intermédiaire d'un guide-fil, des fibres (verre, carbone, aramide ...etc.) à l'intérieur d'un bac à résine pour être imprégnées puis racler le surplus de résine sur un mandrin et à faire polymériser la structure. Cette machine est conçue pour la fabrication d'un cylindre d'enroulement de diamètre maximal de 450 mm et de longueur maximal de 1900 mm La carcasse constituant le bâti est composée de tôles mécano-soudées d'épaisseur 5 mm Les faces latérales sont distantes de 2 m et reposent sur 2 profilés en forme U 150mm. Pour leur maintien, elles sont reliées entre elles par 4 tubes suffisamment rigides de diamètre 50mm. Les organes de transmission de puissance situés au niveau de ces faces latérales sont protégés par des couvercles.

De même cette machine est complètement automatisée et gérée par un automate siemens de type LOGO d'une génération A5 muni d'un écran LOGO TD pour faciliter les différentes fonctions de la machine (visualisation des entrées et sorties de la machine...).

Notre système mécanique constitué de deux mouvements : la rotation de la barre et la translation de dispositif d'enroulement.

- Le système de rotation est assuré par un motoréducteur de puissance 0,18kW avec une vitesse de rotation de 1400tr/mn et de rapport de réduction 1/15 plus.
- De même pour le système de translation, le dispositif d'enroulement possède Un motoréducteur de puissance 0,18kW, de vitesse de rotation de 1400tr/mn et de rapport de réduction 1/10 avec un guidage linéaire de 2000mm.

#### II.3.1. Différentes parties mécaniques de la machine

Les figures suivantes représentent les différentes parties mécaniques de la machine à l'aide du logiciel solide Works.

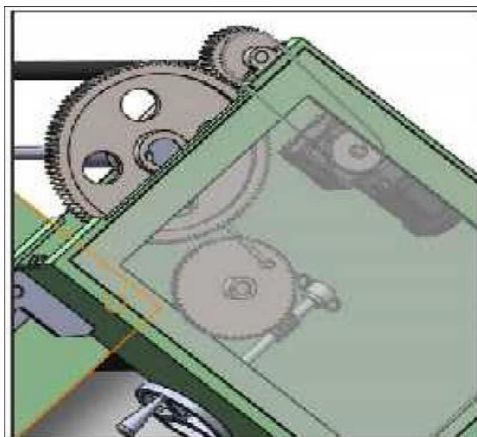


Figure II.4. Mécanisme de rotation

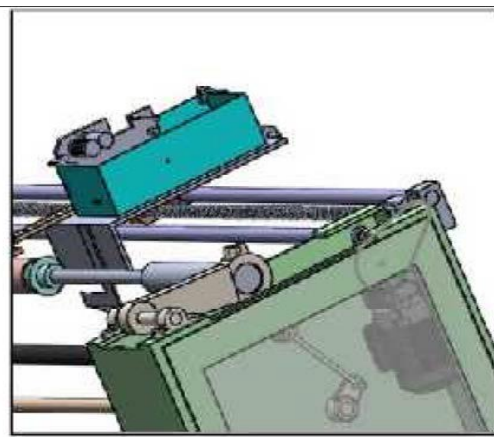
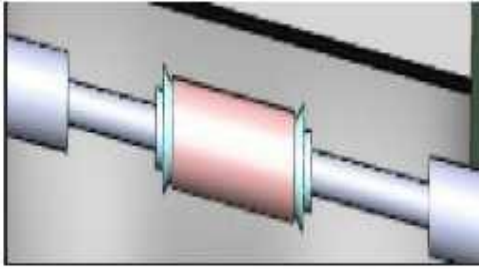
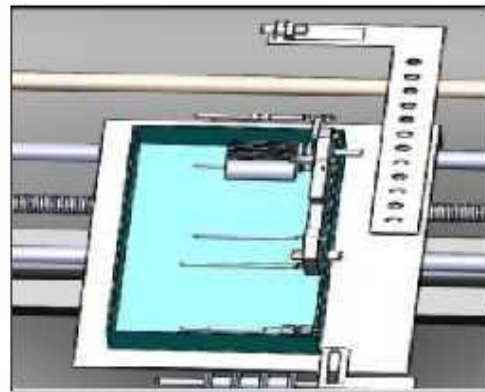


Figure II.5. Mécanisme de translation



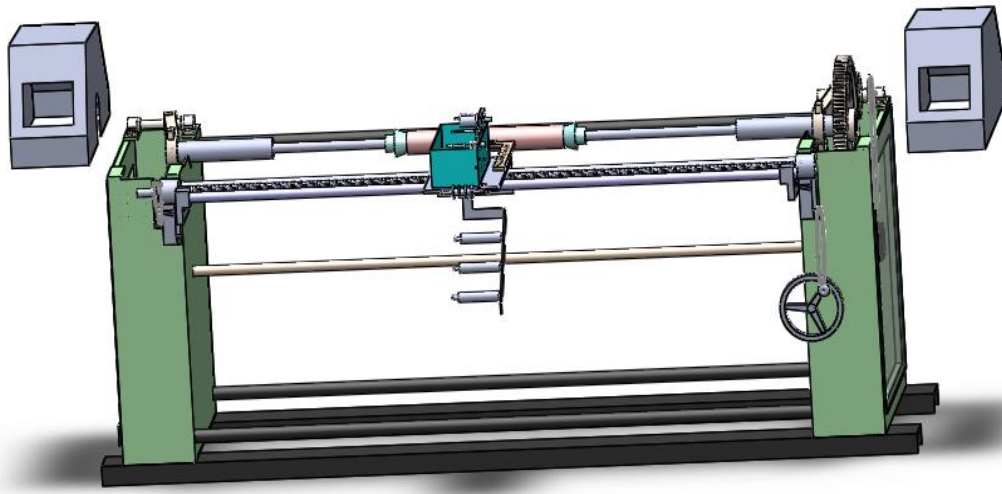


**Figure II.6.** Le mandrin avec le moule.



**Figure II.7.** Bain de résine

La figure suivante représente l'assemblage de la machine :



**Figure. II.8.** Assemblage de la machine avec « SolidWorks » [25].

## II.4. Partie électrique

L'alimentation de la machine est de 230 volts AC avec une puissance maxi de 600 W. Dans notre cas la machine fonctionne en trois modes avec un sélecteur à trois positions :

- Démarrage manuelle : à l'aide des 04 boutons poussoirs situés à droite de la machine on fait fonctionner le tambour dans les deux sens de rotation comme on peut faire marcher le moteur de translation de droite à gauche.
- La Réinitialisation : en position marche la machine revient à sa position initiale.
- Démarrage automatique : après un réglage des valeurs des variateurs de fréquence du tambour et de translation, on fait tourner le tambour dans un sens, et le système de translation travaille en va et viens.

II.4.1. Montage global (synoptique)

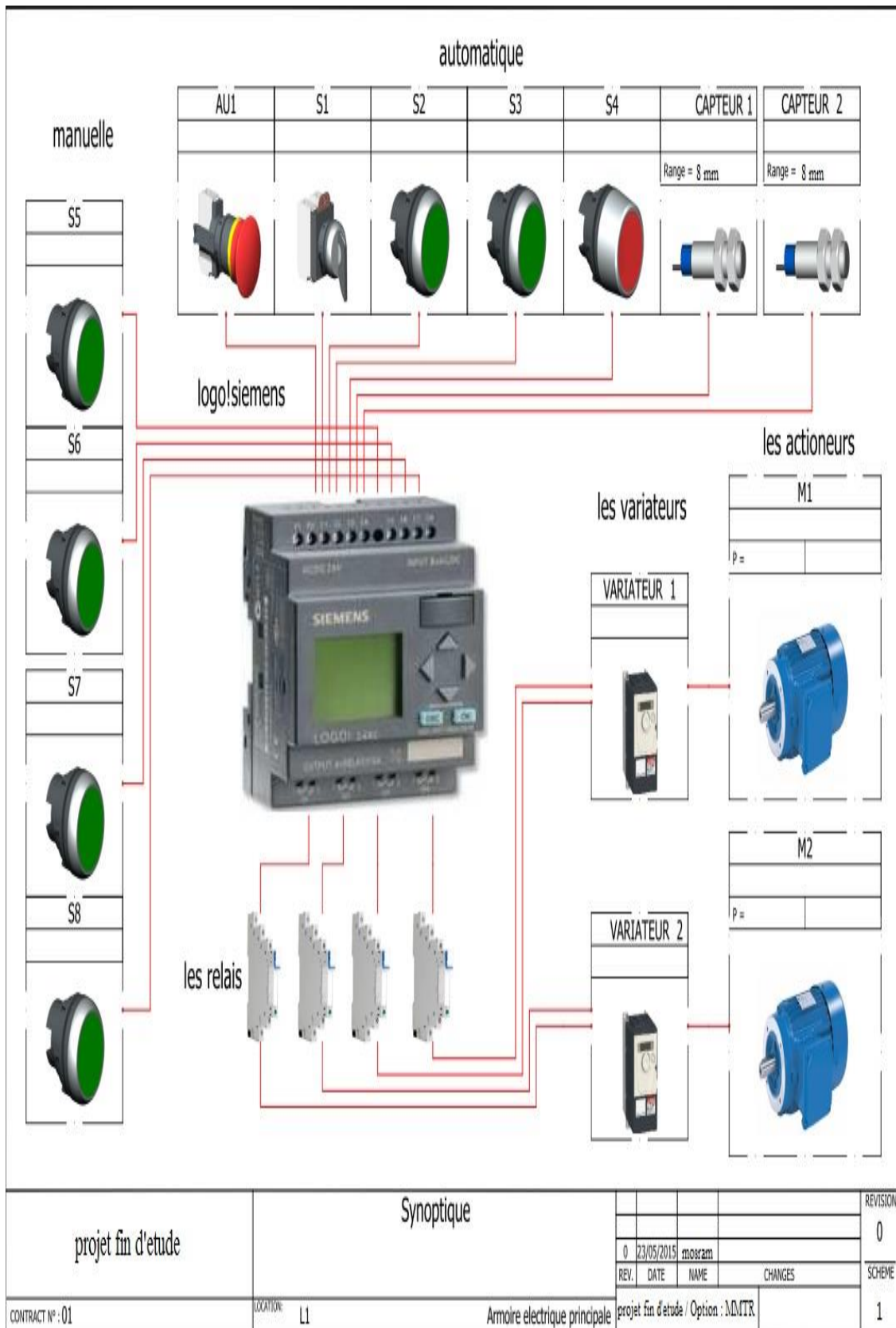


Figure. II.9. Schéma de montage global de la machine partie électrique [26].

II.4.2. Armoire électrique

Notre armoire électrique est constituée de plusieurs composants :

<p>➤ Un automate programmable.</p>	
<p>➤ Deux variateurs de fréquence.</p>	
<p>➤ Quatre relais 24V DC.</p>	
<p>➤ Une alimentation de 24V DC.</p>	
<p>➤ Un répartiteur.</p>	
<p>➤ Des disjoncteurs.</p>	
<p>➤ Des boutons poussoirs et des Switch.</p>	

Figure. II.10. Différents éléments de l'armoire.

- L'automate permet de contrôler le fonctionnement de la machine ;
- L'écran pour la visualisation de l'état de la machine. C'est une l'interface graphique entre la machine et l'opérateur il est utilisé aussi pour faire le changement des valeurs de fonctionnement ;
- Les variateurs de fréquence pour contrôler les moteurs asynchrones ;
- L'alimentation 24V DC pour alimenter les distributeurs (la partie commande) ;
- Les relais pour la commande des variateurs de fréquence.

- ❖ La machine consomme :
  - Variateurs : 1500 Watt.
  - Alimentation 24VDC : 100 Watt.
  - Tension : 220 V.
  - Fréquence : 50 Hertz

### **II.4.3. Système de rotation de la barre**

Le système de rotation de la barre est composé de :

Variateur de fréquence relié au moteur : Son rôle est de faire varier la vitesse de rotation du moteur, ce qui implique la variation de la vitesse de rotation du mandrin.



**Figure. II.11.** Variateur de fréquence

Moteur d'entraînement : Le moteur d'entraînement est utilisé pour la rotation de la barre, il est de type moteur asynchrone triphasé. Il est équipé d'un réducteur (d'où le nom de motoréducteur). Il est caractérisé par une puissance de 0,18 kW, d'une vitesse de rotation de 1400tr/mn et de rapport de réduction 1/15.



**Figure. II.12.** Motorréducteur pour la rotation de la barre d'enroulement.

#### **II.4.4. Système de translation du dispositif d'enroulement**

Le système de translation du dispositif d'enroulement est composé de :

Variateur de fréquence relié au moteur : Son rôle est de faire varier la vitesse de Rotation du moteur, ce qui implique la variation de la vitesse de la translation de l'écrou.



**Figure. II.13.** Variateur de fréquence du système de translation

Moteur d'entraînement : Le moteur d'entraînement utilisé pour la translation du Dispositif d'enroulement est de type moteur Asynchrone triphasé équipé d'un réducteur. Il est caractérisé par une puissance de 0,18 kW, de vitesse de rotation de 1400 tr/mn et de rapport de réduction de 1/10.

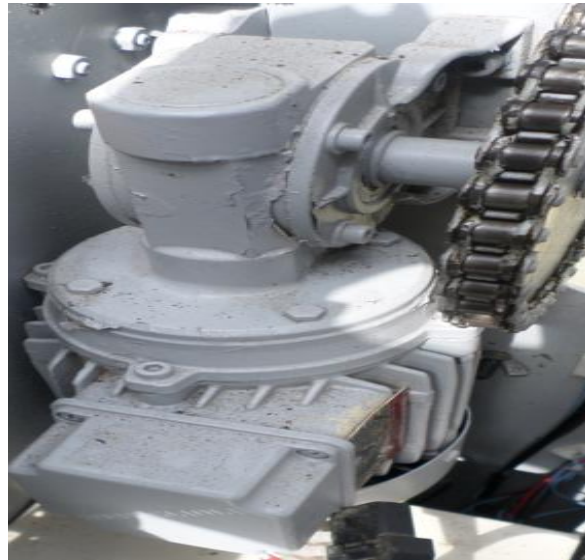


Figure. II.14. Moteur pour la rotation de la vis

## II.4.5. Capteurs inductifs et capacitifs

### II.4.5.1. Capteurs inductifs

Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité de leur tête de détection un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par une inductance et un condensateur monté en parallèle. Lorsqu'un corps conducteur métallique est placé dans ce champ, des courants de Foucault prennent naissance dans la masse du métal, il y a perturbation de ce champ qui entraînent une réduction de l'amplitude des oscillations au fur et à mesure de l'approche de l'objet métallique, jusqu'à blocage complet. Cette variation est exploitée par un amplificateur qui délivre un signal de sortie, le capteur commute [27].

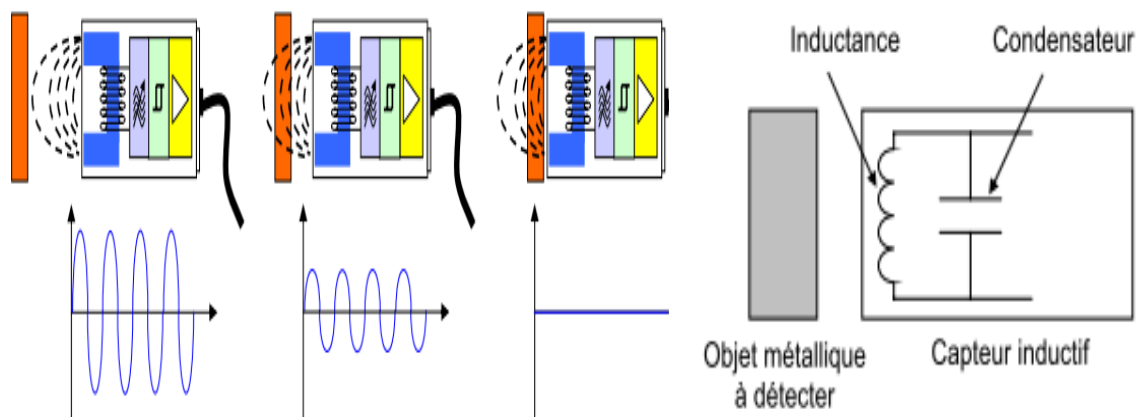


Figure. II. 15. Schéma de fonctionnement capteurs inductifs.





Figure. II.16. Quelque exemple de capteur inductif

### II.4.5.2. Capteurs capacitifs

Un circuit électronique à effet capacitif transforme une perturbation électrique due à la présence de l'objet en commande d'ouverture ou de fermeture statique (par transistor) du circuit d'information. La face sensible crée un champ électrique local. Lorsque l'objet pénètre dans le champ électrique, l'oscillateur se met en route et la sortie est activée.

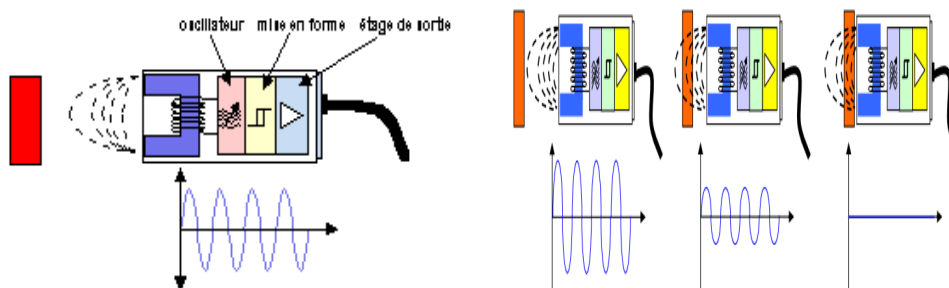


Figure. II. 17. Schéma de fonctionnement du capteur capacitif



Figure. II.18. Quelque exemple de capteurs capacitifs



**II.4.6. L'automate programmable****II.4.6.1. Définition**

Un automate programmable industriel (ou API) est un dispositif électronique programmable destiné à automatiser des processus tels que la commande de machines au sein d'une usine et à piloter des robots industriels par exemple.

**❖ Principe et fonctionnement de l'automate programmable**

L'automate programmable reçoit des données par ses entrées, celles-ci sont ensuite traitées par un programme défini, le résultat obtenu étant délivré par ses sorties. Ce cycle de traitement est toujours le même, quel que soit le programme, néanmoins le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme et la puissance de l'automate.

C'est l'unité centrale qui gère l'automate programmable : elle reçoit, mémorise et traite les données entrantes et détermine l'état des données sortantes en fonction du programme établi.

**II.4.6.2. L'automate LOGO ! Siemens****II.4.6.2.1. Description**

Le LOGO est un API (Automate Programmable Industriel) qui nous permet d'exécuter des tâches dans la technique domestique et d'installation (notamment l'éclairage des cages d'escalier, l'éclairage extérieur, les stores, et bien d'autres choses).

Dans la construction des armoires de commande, des machines et des appareils comme par exemple, les commandes des portes, les installations de ventilation, les pompes d'eau industrielle et bien d'autres choses.

**II.6.4.3.2. Caractéristiques techniques de LOGO**

Les modules existent avec ou sans écran pour 8 entrées et 4 sorties. Les modules d'extension permettent des configurations jusqu'à 24 entrées, 16 sorties et 8 entrées analogiques. Le logiciel permet l'utilisation de 8 fonctions de base et 26 fonctions spéciales. La cartouche mémoire permet de sauvegarder les programmes [28].

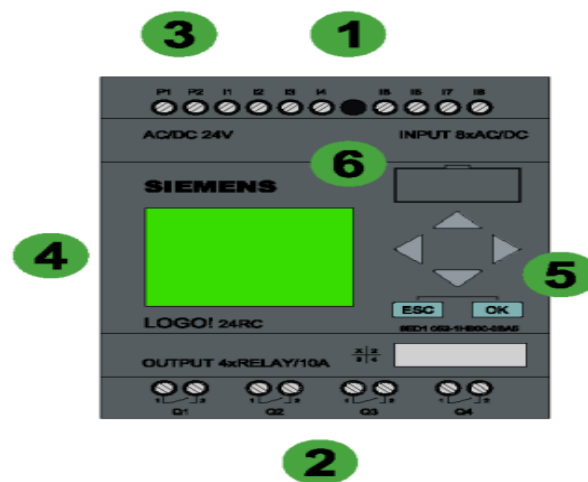


Figure. II.19. Les différentes parties de LOGC.

- 1- Bornier de raccordement des entrées
- 2- Bornier de raccordement des sorties
- 3- Bornier d'alimentation de l'extension
- 4- Voyant RUN/STOP
- 5- Levier de connexion à l'automate

## II.5. Le fonctionnement de la machine

Avant de démarrer la machine il faut [25] :

- Mettre la machine sous tension.
- Vérifier l'état des capteurs et leurs emplacements.
- Placer le moule dans le mandrin.
- Placer les bobines de la fibre à leur emplacement.
- Faire des tests on mode manuel afin de connaître le bon fonctionnement du système.
- Cliquer sur le bouton poussoir « réarmement » et la partie opérative se rend à sa position initiale.
- Vérifier sur l'écran le message d'accueil qui indique que la machine est prête.
- Faire passer les fils des fibres sur l'ensemble des rouleaux du bain jusqu'au moule.
- Vérifier que le bain de résine est rempli.

Au début on doit choisir entre le mode manuel et automatique, l'automate vérifie que les mesures de sécurité sont en mode « off » si non, un message va être affiché sur l'écran de l'automate bloqua nr ainsi l'exécution du programme.

Quand on met le commutateur en mode automatique, un message est envoyé de l'automate vers l'écran indiquant qu'il faut valider ce mode en appuyant sur le bouton poussoir marche. A ce moment l'automate commence l'exécution du programme qui donne le fonctionnement de la machine.

Alors l'automate commence à exécuter le programme, deux contacts « Q1 et Q3 » sont fermés, ils permettent d'actionner les variateurs de fréquence en mode démarrage « RUN », les moteurs asynchrones font démarrer, les mécanismes de translation et de la rotation en même temps donnent une rotation de mandrin avec un déplacement du bain de résine.

Dès qu'un capteur fin de course est placé à droite ,il détecte le bain de résine, donne un signal +24V à la septième entrée « I7 », arrête le déplacement et actionne la deuxième sortie de l'automate « Q2 » et change le sens de rotation du moteur à l'aide de variateur en mode inverse « REV » , donc le bain de résine change le sens du déplacement vers la gauche jusqu'au capteur placé à gauche « I6 » , ce dernier arrête le déplacement et change le sens vers l'autre .A ce moment le compteur dans le programme incrémente un cycle, jusqu'à la valeur programmée , l'automate arrête la manipulation et rend la partie opérative à sa position initiale.

Si on met le commutateur en mode manuel, un message est envoyé de l'automate vers l'écran indiquant qu'il faut valider ce mode en appuyant sur le bouton poussoir marche, à ce moment l'automate commence l'exécution du programme qui donne le fonctionnement manuel de la machine. Une fois ce mode est activé, le mode automatique sera désactivé. On peut sélectionner les mécanismes que nous voulons faire marcher.

Quand on appuie sur les boutons poussoirs du pupitre manuel, des signaux de +24 VDC seront envoyés aux entrées de l'extension de l'automate à partir de I1 jusqu'à I4.

- Le bouton poussoir qui est relié à l'entrée I1 tourne le mandrin à droite.
- Le bouton poussoir qui est relié à l'entrée I2 tourne le mandrin à gauche.
- Le bouton poussoir qui est relié à l'entrée I3 déplace le bain à droite jusqu'au capteur D.
- Le bouton poussoir qui est relié à l'entrée I4 déplace le bain à gauche jusqu'au capteur G.

## **II.6. Relation entre les différents paramètres (Angle, vitesse de rotation du mandrin, vitesse de rotation de la vis)**

Le choix de l'angle d'enroulement dans les applications (tube, réservoir...etc.) est nécessaire, elle influence sur les performances physiques et diélectriques, ...etc.

L'angle d'enroulement dépend de la direction du stratifié par rapport à l'axe du mandrin. Suivant la variation de cet angle on distingue trois modes d'enroulement :

- Enroulement hélicoïdal
- Enroulement circonférentiel
- Enroulement polaire

La variation de l'angle d'enroulement dépend de la vitesse de rotation de la vis et du mandrin. L'équation de l'angle d'enroulement est la suivante [29] :

$$\tan (\alpha)=\frac{2\pi r N_m}{L N_s} \quad (\text{II.1})$$

Tel que :

$N_s$  : vitesse de rotation de la vis ;

$N_m$  : vitesse de rotation du mandrin ;

$\alpha$  : Angle d'enroulement ;

$L$  : Déplacement de l'écrou en mm (le pas) ;

$r$  : rayon du mandrin (dépend du mandrin choisi).

## **II.7. Conclusion**

Nous avons vu dans ce chapitre les trois aspects de la machine. Nous nous sommes basés beaucoup plus sur la partie électrique vue notre spécialité. Nous avons les différents constituants électriques de l'armoire ainsi que la présentation de l'automate utilisé dans notre système.

Nous avons présenté ainsi les différents paramètres qui influent sur l'angle d'enroulement filamentaire, qui son tour dépend de la vitesse de rotation du mandrin, ainsi que la vitesse de rotation la vis.

**Chapitre III**  
**Partie expérimentale**

### III.1. Introduction

Comme tous les matériaux, un matériau composite soumis non seulement à une contrainte de champ électrique mais aussi à des contraintes de température et des contraintes chimiques ou autres.

L'objectif de cette partie de travail est d'étudier le comportement chimique et diélectrique d'un composite (vierge), et soumis aux différents vieillissements électrique, thermique et photochimiques.

Nous allons citer la méthode suivie pour l'élaboration de nos échantillons en composite réalisés par enroulement filamenteux qui est une méthode bien adaptée aux surfaces cylindriques et sphériques.

Nous présentons alors dans ce chapitre une description générale des dispositifs expérimentaux et conditions d'essais pour les trois types de vieillissement. Nous présentons aussi les appareils de mesure et d'analyse utilisés.

Par la suite, nous présenterons les résultats obtenus lors de notre étude expérimentale sous forme de courbes, avec des interprétations et des explications possibles de ces résultats.

Avant de citer les différentes étapes de notre étude expérimentale, il est préférable de présenter une brève recherche bibliographique sur les types de vieillissements utilisés dans notre cas, ainsi qu'une définition globale des différents paramètres qui déterminent les caractéristiques diélectriques des matériaux.

### III.2. Généralités sur les vieillissements

#### III.2.1. Vieillissement thermique

On appelle vieillissement, tout phénomène (à l'exception des phénomènes purement mécaniques tels que le fluage ou la fatigue) se traduisant par une évolution lente et irréversible des propriétés du matériau. Le vieillissement thermique signifie tout phénomène traduisant une évolution, qui ne fait intervenir que le matériau, l'atmosphère et la température. Il peut faire intervenir aussi des phénomènes purement physiques (dégazages, migration de plastifiants, évolution de la morphologie), ou des phénomènes chimiques. Ces phénomènes peuvent affecter la structure chimique des matériaux.

**III.2.1.1. Vieillissement Physique**

Le processus physique lié au vieillissement thermique vient du fait qu'il y a [30] :

1. Modification de la configuration spatiale macromoléculaire.
2. Fissuration sous contrainte en milieu tensioactif.
3. Pénétration de solvants et migration d'adjuvants.
4. Chocs thermiques.

**III.2.1.1.1. Modification de la morphologie**

Le vieillissement physique interne est uniquement lié à des causes internes au matériau (mobilité moléculaire), c'est-à-dire au fait que le matériau est, au terme de sa mise en œuvre, dans un état thermodynamiquement instable. Le vieillissement résulte alors d'une évolution plus ou moins lente vers un état plus stable. Le vieillissement physique est donc lié à la mobilité moléculaire, on peut prévoir qu'il sera d'autant plus rapide que la température est élevée, et d'autant plus faible que l'histoire thermique en fin de mise en œuvre aura permis au matériau d'atteindre l'état de stabilité [31]. Le vieillissement physique se traduit par une augmentation de la compacité du réseau macromoléculaire, c'est-à-dire par une réduction du volume libre (volume disponible par les mouvements de segments de macromolécules). La masse volumique augmente, le coefficient de dilatation diminue et le facteur de pertes diélectriques diminue [32].

**III.2.1.1.2. Fissuration sous contrainte en milieu tensioactif**

En milieu tensioactif les matériaux sont le siège de fissurations dans les zones les plus contraintes selon la qualité de ces matériaux. Le phénomène de fissuration est lié au développement de forces de tension superficielles à l'interface polymère-liquide. Il dépend de plusieurs paramètres à savoir la contrainte mécanique, la température et la tension-activité du liquide dont la viscosité détermine la vitesse de pénétration dans les fissures [32]

**III.2.1.1.3. Pénétration de solvants et migration d'adjuvants.**

Si une espèce de faible masse moléculaire possédant (vapeur, liquide) se présente dans l'environnement, elle peut pénétrer dans un matériau. Le solvant le plus courant est évidemment l'eau, qui peut poser des problèmes parce que les matériaux ne sont pas totalement hydrophobes [33]. Solvant pénètre dans le polymère selon une loi de diffusion qui peut varier selon le cas étudié.

Deux cas se présentent :



- ✚ Le solvant n'induit pas de modification de la structure du matériau : sa concentration tend vers une limite correspondant à la saturation (limite de la solubilité), qui dépend dans le cas d'un environnement gazeux, de la pression partielle du solvant dans l'atmosphère.
- ✚ Le solvant induit une modification de la structure du polymère ou de sa morphologie (fissuration liée à un gonflement différentiel) : dans ce cas, on peut observer une variation continue de la concentration en solvant.

La pénétration du solvant dans un polymère est influencée par les facteurs suivants :

- La structure chimique du motif structural élémentaire
  - La morphologie : les zones cristallines peuvent être considérées comme imperméables. La solubilité globale décroît donc avec le taux de cristallinité
  - Le taux de réticulation : la pénétration de solvant est d'autant plus aisée que le taux de réticulation est faible. Cette pénétration a pour conséquences, la plastification qui se traduit par une diminution du module d'élasticité, de la contrainte à la rupture, une augmentation de l'allongement à la rupture et la diminution de la température de transition vitreuse [32]. En effet, dans le cas de l'eau, on estime que 1% d'eau diminue cette température de l'ordre de 10 à 20°C (ramollissement du polymère) [33].
- ❖ Perte d'adjuvants

Les polymères contiennent souvent des substances organiques de faible masse moléculaire. Des substances peuvent, sous l'effet de la température, migrer plus ou moins lentement hors du matériau. La perte de plastifiants par migration peut concerner des quantités relativement importantes, donc affecter de façon non négligeable les propriétés (notamment mécaniques) du matériau. La vitesse de migration d'un plastifiant est en raison inverse de sa tension de vapeur, qui est elle-même liée dans une certaine mesure à la masse moléculaire [34].

#### III.2.1.1.4. Chocs thermiques

Lors de brusques variations de températures dans un isolant organique, un gradient de température s'instaure dans l'épaisseur du matériau, d'où l'apparition d'une dilatation différentielle. Les chocs thermiques peuvent entraîner des ruptures mécaniques [33].

#### III.2 .2. Vieillessement Electrique

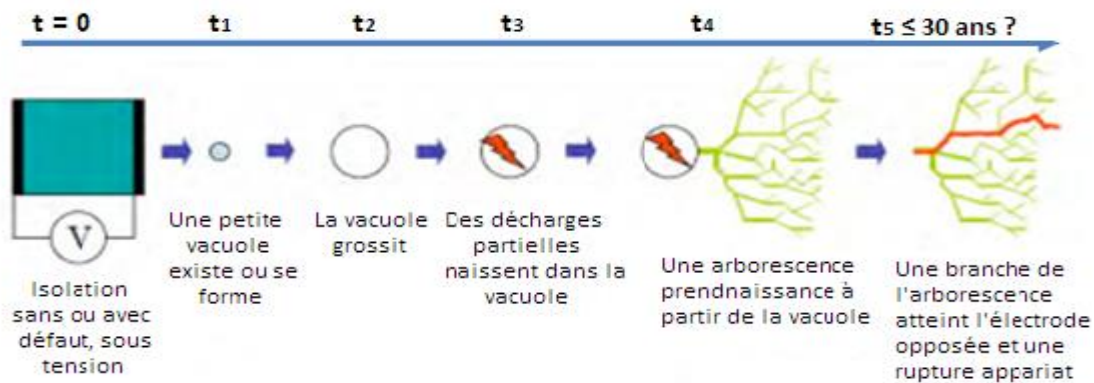
Les Décharges Partielles (DP) correspondent à des ruptures d'isolation localisées soit à la surface, soit dans le volume. L'apparition de ce phénomène peut conduire à un vieillissement prématuré des matériaux isolants et donc du matériel électrique des systèmes embarqués. Dans

les solides, la décharge partielle se localise dans une cavité, due à un défaut ou à une "érosion" du matériau. Ce défaut peut être présent sur une interface électrode-isolant ou dans le volume du matériau. L'origine de ces défauts, d'après C. Laurent et C. Mayoux [35], [36] est reliée à plusieurs mécanismes tels que la dilatation thermique différentielle, les contraintes mécaniques excessives, ou bien un contrôle inapproprié du processus de fabrication.

**III.2 .2.1. Mécanisme de dégradation du diélectrique**

L'interaction entre la DP et le diélectrique est complexe. Une partie de cette complexité est liée au fait que le diélectrique se modifie sous l'action des DP, et, dans le même temps, le mécanisme de DP est affecté par le vieillissement du diélectrique.

Considérons une cavité plane ou bien un gap entre deux électrodes couvertes par un diélectrique où l'oxygène, l'hydrogène et le carbone sont présents. La Figure.III.1 présente un possible scénario du phénomène de vieillissement électrique : un isolant organique au début de service ( $t = 0$  sur la Figure.III.1.) peut être avec ou sans défaut initial (cavités, trous...). Sous l'application d'une tension, il y a alors croissance ou apparition de vacuoles au sein de l'isolant ( $t = t_1$  jusqu'à  $t_2$ ). Ce phénomène n'est autre que le vieillissement électrique qui pourra conduire à la dégradation si des décharges prennent naissance dans une vacuole ( $t = t_3$ ). Ces décharges interviennent lorsque la quantité des charges accumulées sur les bords de la cavité est suffisante pour qu'un électron germe présent dans la cavité puisse provoquer l'ionisation du gaz par un mécanisme d'avalanche électronique. L'érosion due à l'impact des charges sur la paroi contribue à la croissance du défaut, début de l'arborescence affectant ainsi les propriétés de l'isolant ( $t = t_4$ ). Cette dégradation est susceptible à son tour de conduire l'isolant à sa fin de vie c'est-à-dire à une rupture ( $t = t_5$ ).



**Figure. III.1.** Scénario classique de l'endommagement d'un isolant électrique [37].

**III.2.3. Vieillissement photochimique ou source UV**

Le vieillissement par rayonnement lumineux est généralement effectué dans une enceinte de vieillissement accéléré. L'enceinte expose les matériaux à la lumière UV à des températures contrôlées. L'enceinte simule les effets de la lumière solaire à l'aide de lampes fluorescentes à ultraviolets (UV) et simule également la rosée et la pluie par condensation d'humidité et/ou pulvérisation d'eau.

Lorsque les matériaux sont exposés au rayonnement UV, ils peuvent se dégrader en raison de l'absorption de l'énergie lumineuse par des groupes chimiques présents soit dans leur structure moléculaire, soit dans les additifs ou les impuretés. Cette absorption du matériau peut provoquer la scission des chaînes moléculaires et la création de radicaux libres.

La progression de la photo dégradation dépend de la perméabilité du matériau à l'oxygène ; elle est très faible dans les parties cristallines, faible dans les parties amorphes et élevée dans les parties caoutchouteuses. Généralement, la photo dégradation se manifeste dans un premier temps à la surface directement soumise à l'action du rayonnement et de l'oxygène.

Pour compenser une éventuelle variabilité de l'uniformité des lampes UV, il est préférable de permuter régulièrement la position des échantillons par le déplacement de ceux des extrémités gauche et droite vers une position centrale. Cette opération se faisait deux fois par semaine.

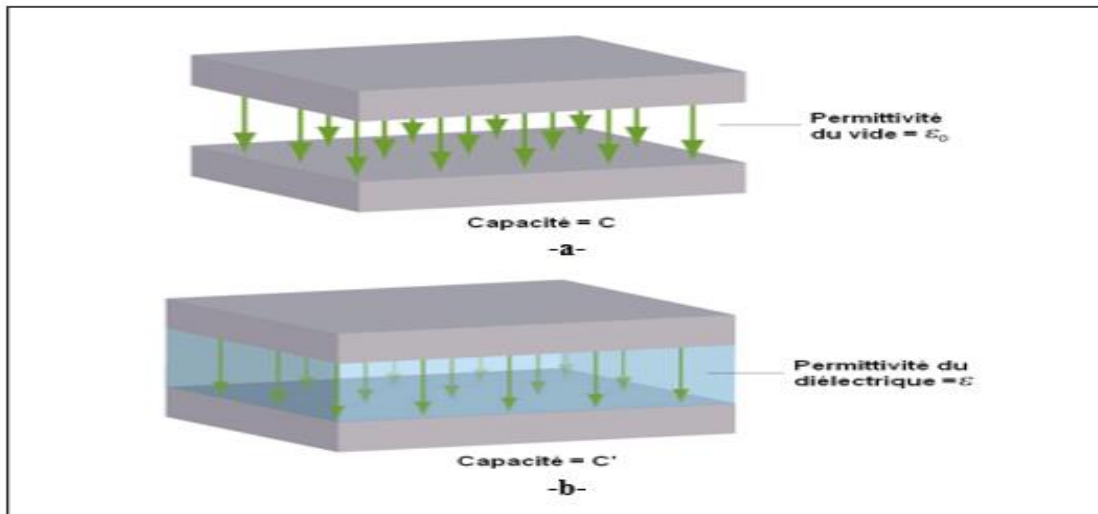
**III.3. Caractéristique diélectrique****III.3.1. Permittivité relative**

La constante diélectrique d'un matériau est le ratio entre la capacité d'un condensateur contenant un diélectrique  $C$ , et la capacité d'un condensateur identique contenant du vide  $C_0$ , tel qu'illustré sur la Figure. III.3.a. Elle est aussi reliée à la permittivité du matériau. En effet, la permittivité est une quantité qui décrit l'effet du matériau diélectrique sur le champ électrique. Puisque le matériau diélectrique réduit le champ électrique en devenant polarisé, la permittivité exprime la capacité d'un matériau de se polariser en réponse au champ électrique qui lui est appliqué. La constante diélectrique (parfois appelée la permittivité diélectrique relative) est le rapport de la permittivité du diélectrique et la permittivité d'un vide, tel qu'illustré sur la Figure. III.3.b. Ainsi plus la polarisation développée par un matériau, en réponse à un champ électrique donné, est grande, plus le constant diélectrique sera grand. L'équation suivante, donne les deux expressions de la constante diélectrique  $\epsilon_r$  :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{C}{C_0} \quad (\text{III.1})$$

Avec  $\epsilon$  est la permittivité du diélectrique,  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide,  $C$  est la capacité d'un condensateur contenant un diélectrique,  $C_0$  est la capacité d'un condensateur rempli du vide.

Note : Sur les deux Figures (Figure. III.3.a. et Figure.III.3. b.) présentées ci-dessous, les flèches vertes représentent le champ électrique.



**Figure.III.2.** a- Condensateur rempli par le vide ayant une capacité  $C$  et une permittivité  $\epsilon_0$   
 b- L'insertion d'un diélectrique change la valeur de la capacité du condensateur qui devient  $C'$  et la permittivité devient propre au diélectrique utilisé [38].

### III.3.2. Le facteur de dissipation diélectrique $\tan(\delta)$

La qualité de l'isolation peut être évaluée grâce à la mesure du facteur de dissipation. Plus le facteur de dissipation est faible, donc il y a moins de pertes dans l'isolant, et donc il y a moins d'énergie dissipée sous forme de chaleur. À une fréquence donnée, par exemple 50 ou 60 Hz, le comportement de l'isolant peut être représenté par un circuit équivalent constitué par un condensateur idéal avec une résistance en parallèle. Un condensateur idéal n'a pas de perte et le déphasage entre la tension et le courant est de  $90^\circ$  degré. Dans un système réel, ce déphasage est de  $90^\circ$  degré moins l'angle  $\delta$  (figure.III.4.). Le facteur de dissipation est défini comme étant la tangente de cet angle  $\delta$  ; appelé aussi «  $\tan(\delta)$  ». Autrement dit, le facteur de dissipation est le rapport entre courant traversant la résistance  $I_R$  et le courant traversant le condensateur  $I_C$  idéales.

$$\tan(\delta) = \frac{I_R}{I_C} \quad (\text{III.2})$$

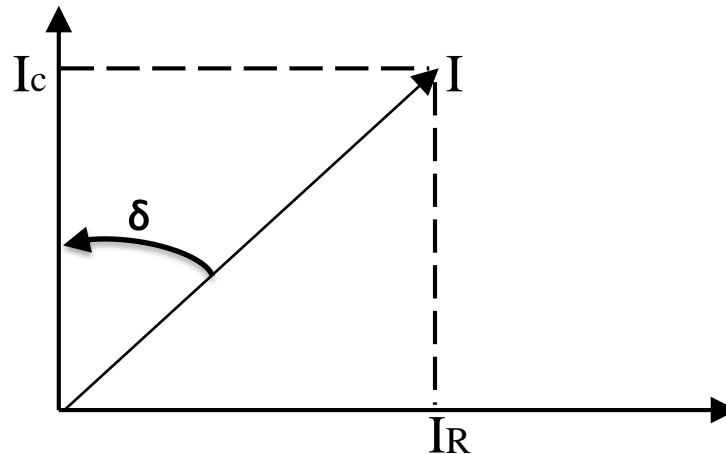


Figure.III.3. Calcul de  $\tan(\delta)$  (facteur de dissipation).

### III.3.3. La résistance d'isolement et la résistivité électrique ( $\rho$ )

La résistance d'isolement  $R$  traduit une imperfection du matériau diélectrique isolant qui présente une certaine conductivité électronique et ionique. Elle dépend de la température, qui accroît la mobilité ainsi que la concentration des porteurs de charge, de la tension continue appliquée et du temps écoulé après la mise sous tension. Les impuretés au sein du matériau, les pollutions de surface et les effets de bord influent fortement la valeur et le comportement de la résistance d'isolement d'un diélectrique.

La résistivité  $\rho$ , intrinsèque au matériau, est liée à la résistance  $R$  du matériau par la relation suivante [39] :

$$\rho = R \cdot \left(\frac{S}{L}\right) \quad (\text{III. 3})$$

Où :

$R$  : Résistance du matériau ( $\Omega$ ).

$L$  : épaisseur de l'échantillon (m).

$S$  : Surface de l'échantillon (m).

La résistivité est le deuxième paramètre avec  $\tan(\delta)$  qui rend compte des pertes énergétiques dans le matériau diélectrique [40].

### III.3.4. Pertes Diélectriques

Un diélectrique efficace supporte une charge variable avec une dissipation minimale de l'énergie sous forme de chaleur. Il y a deux formes principales de perte qui peuvent absorber l'énergie dans un diélectrique, en l'occurrence la perte de conduction et la perte diélectrique. La perte par conduction surviendra lors du passage d'un courant électrique à travers un matériau

causant ainsi une dissipation d'énergie par effet Joule. La perte diélectrique est la dissipation de l'énergie par le mouvement des charges dans un champ électromagnétique alternatif à mesure que la polarisation change de direction. Elle est particulièrement élevée aux fréquences de relaxation ou de résonance des mécanismes de polarisation dû au fait que la polarisation développe un champ interne opposé au champ appliqué, causant ainsi une interaction entre le champ et la polarisation du diélectrique qui se transforme en chaleur. Notons que la constante diélectrique chute pendant que chaque mécanisme de polarisation devient incapable de suivre le changement de la direction du champ électrique. La perte diélectrique tend à être plus élevée dans les matériaux ayant des constantes diélectriques plus élevées. En conséquence, ces matériaux sont moins utilisés en pratique pour des applications en électrotechnique.

Dans notre travail nous avons mesuré directement les valeurs de la résistance, la capacité et le facteur de dissipation à l'aide d'un impédancemètre. Puis nous avons calculé la permittivité diélectrique, l'indice de pertes diélectrique et la résistivité électrique.

**III.4. Elaboration du matériau composite et préparation des échantillons**

**III.4.1. Préparation des tubes en fibre de jute et la fibre de verre**

Nous avons conçu des tubes de composite dans le but de faire une étude des caractéristiques diélectriques, pour cela nous avons confectionné trois catégories de tubes, chacun avec un angle d'inclinaison différente, ces tubes ont 3 couches.

**Architecture des différents tubes réalisés :**

Le tableau suivant nous explique l'architecture et la composition de chaque tube.

Number de Couches	Angle	Architecture	Renfort	Matrice
03	45°	1 couche de jute à 90° + 1 couche de verre à 45° + 1 couche de finition de jute à 90°	Fibre de Jute	Resine Epoxy
	55°	1 couche de jute à 90° + 1 couche de verre à 55° + 1 couche de finition de jute à 90°		
	75°	1 couche de jute à 90° + 1 couche de verre à 75° + 1 couche de finition de jute à 90°		

**Tableau. III.1.** Architecture des différents tubes réalisés.

### ❖ Caractérisation des fibres et de la résine

Tous les tubes sont faits à base de renfort naturelle qui est la fibre de Jute et de matrice thermodurcissable qui est la résine époxy.

La résine utilisée est la résine époxy commercialisée sous le nom « Lorn » à base de résine époxy bis A et d'un durcisseur spécifique apportant au système une très grande adhérence et un faible jaunissement.

#### Caractéristiques de la résine :

Résine EPOXYLORN	Résine	Durcisseur
Densité à 23°C	1.5	1.01
Viscosité à 23°C	12000	800
Rapport d'emploi en poids	65%	35%

**Tableau.III.2.** Caractéristiques de la résine.

### ❖ Élaboration des tubes

#### Préparation du moule

- Préparation d'un moule en tube de pvc, de 90mm de diamètre.
- Création d'une entaille le long du moule afin de surdimensionner le diamètre du tube, en insérant une tige en cuivre le long de cette entaille. Ce surdimensionnement sert à faciliter l'extraction de notre éprouvette.
- Utilisation du papier verre pour lisser le tube.
- L'utilisation d'un lubrifiant est nécessaire pour diminuer l'adhérence entre l'éprouvette et le moule.

#### Préparation de la résine

- Préparer un mélange de 35% de durcisseur et 65% de la résine époxy.
- Homogénéiser le mélange.



**Figure III.4.** Bac d'imprégnation.



**❖ Préparation et calcul des paramètres de la machine**

- ✚ Remplir le réservoir de la résine.
- ✚ Monter le fil sur le guide-fil et sur le moule.
- ✚ Choisir la bonne fréquence du mandrin.
- ✚ Choisir la bonne vitesse d'avancement du chariot
- ✚ Activé le mode automatique.

Ces deux paramètres vont définir l'angle entre l'horizontal de tube et la direction du fil, la variation de cet angle dépend de la vitesse de rotation du mandrin et la vitesse de rotation de la vis.

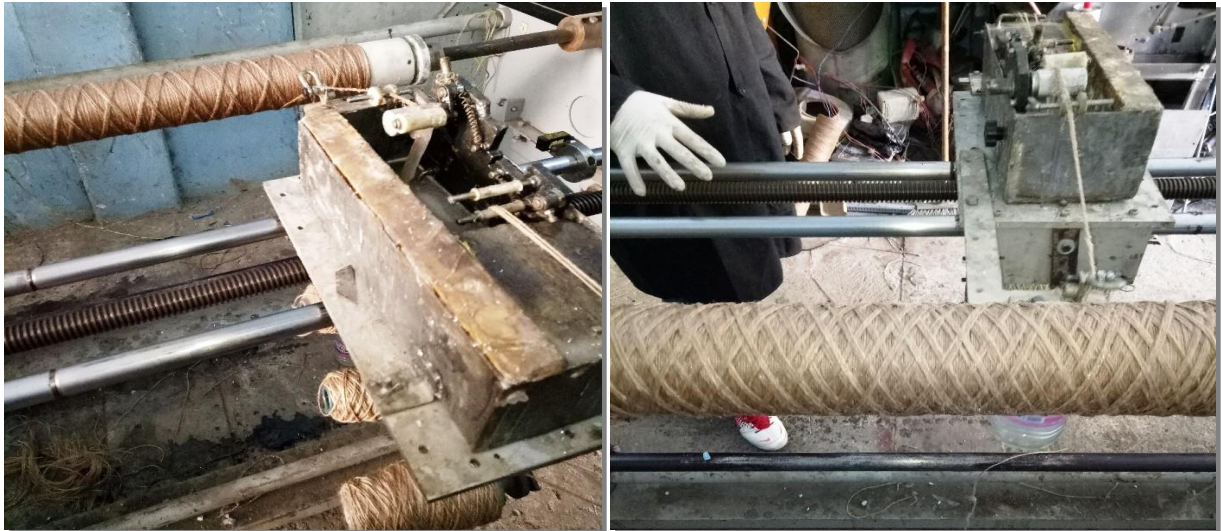
Le choix de l'angle d'enroulement dans les applications (les isolateurs, ... etc.), est nécessaire car il influe sur les performances diélectriques.



**Figure. III.5.** Réglage des fréquences de rotation de mandrin et la vitesse de translation du chariot.



**Figure. III.6.** Fibres passant dans le bain de résine



**Figure. III.7.** La machine en état de marche résine.

#### ❖ Angles et paramètres adéquats

Après calcul et plusieurs essais nous avons calculé les fréquences adéquates du mandrin et de chariot pour chaque angle et nous avons obtenu le tableau suivant :

L'angle	Vitesse de rotation du mandrin (tr/min)	Vitesse de translation de chariot (tr/min)
45°	35	60
55°	40	60
75°	50	50

**Tableau. III.3.** Vitesse de rotation du mandrin et du chariot pour chaque angle.

#### ❖ Découpages et préparation des échantillons pour les tests

Après l'obtention des tubes de composite de fibre de jute avec la fibre de verre, on procède au découpage à l'aide d'une scie électrique, pour avoir des échantillons de forme carrée de 25 mm de côté.

Nos échantillons sont de forme courbée, pour éliminer les effets indésirables de l'air entre l'électrode et la surface de l'échantillon, nous avons remplacé la couche d'air par la résine époxyde.

Finalement nous avons obtenu des échantillons prêts pour les essais diélectriques du matériau composite.

Après avoir vieilli nos échantillons électriquement, thermiquement et sous UV nous avons procédé à la mesure des caractéristiques diélectriques du composite.

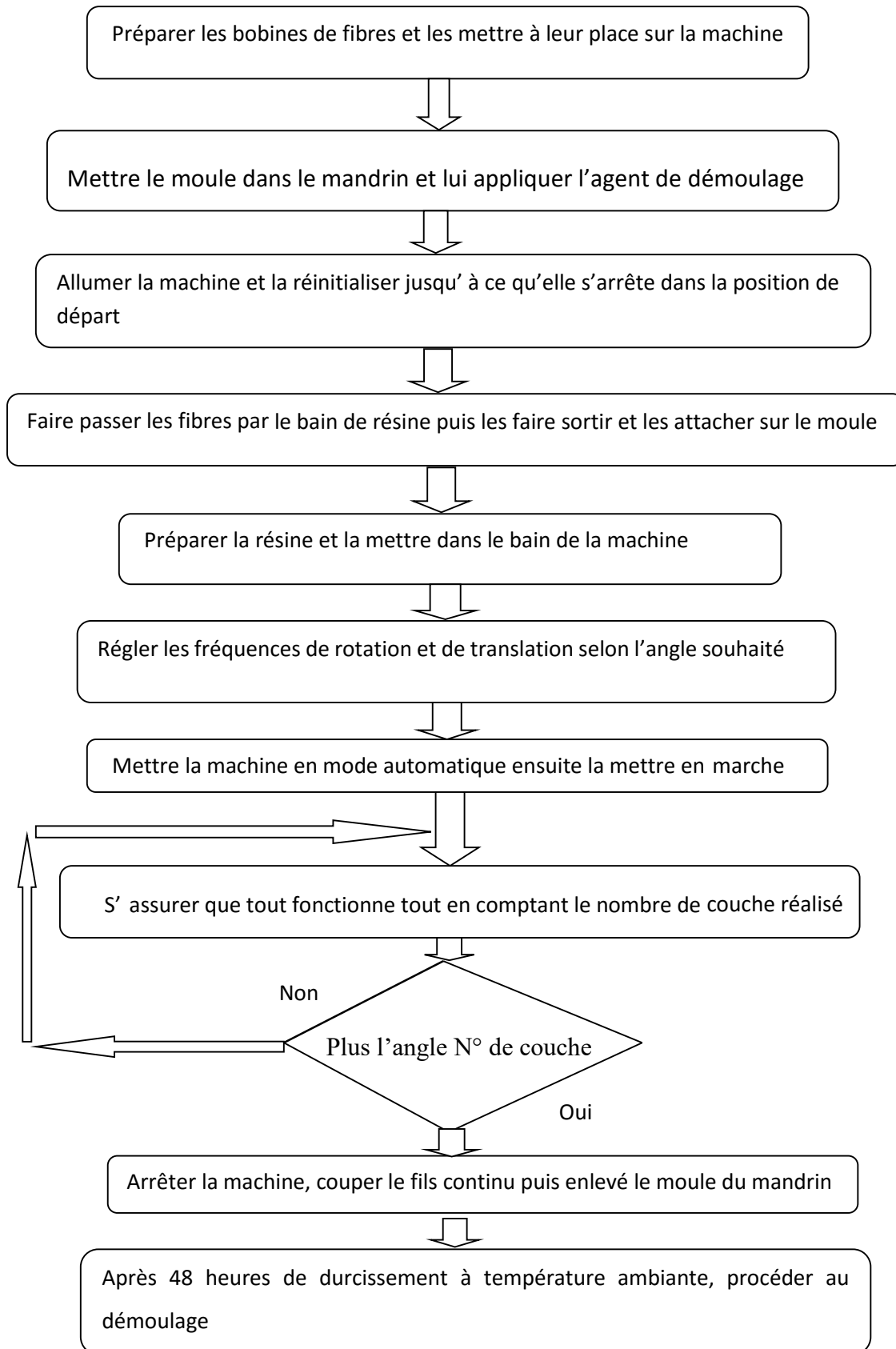


**Figure. III.8.** Découpage et préparation des échantillons pour les tests.



**Figure. III.9.** Echantillon prêt pour les essais.

Schéma descriptif de la méthode d'élaboration des tubes en fibre de jute/époxy par l'enroulement filamentaire





Après avoir vieilli des échantillons, on procède à la mesure des caractéristiques diélectriques du composite.

### III.4.2. Description des dispositifs expérimentaux et conditions d'essais

#### III.4.2.1. Vieillessement électrique

##### ❖ Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension.

Les essais sont effectués dans le laboratoire de haute tension de l'université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou. Le laboratoire est muni d'une source de tension à fréquence industrielle 50Hz.

#### Equipements du laboratoire haute tension

Le laboratoire comprend :

##### a) Transformateur d'essai :

Nous avons utilisé un transformateur d'essai ayant les caractéristiques suivantes :

$$U = 100 \text{ KV}$$

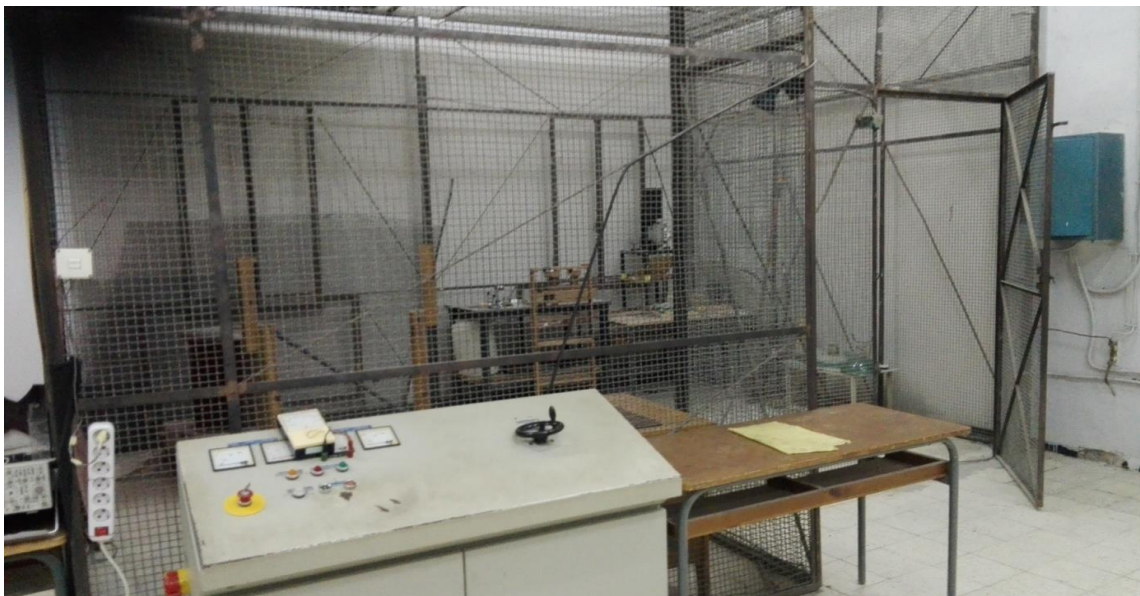
$$F = 50 \text{ Hz}$$

$$P = 10 \text{ KVA}$$

La variation de la tension se fait à l'aide d'un autotransformateur qui se trouve au niveau du pupitre de commande.

##### b) Système d'électrodes

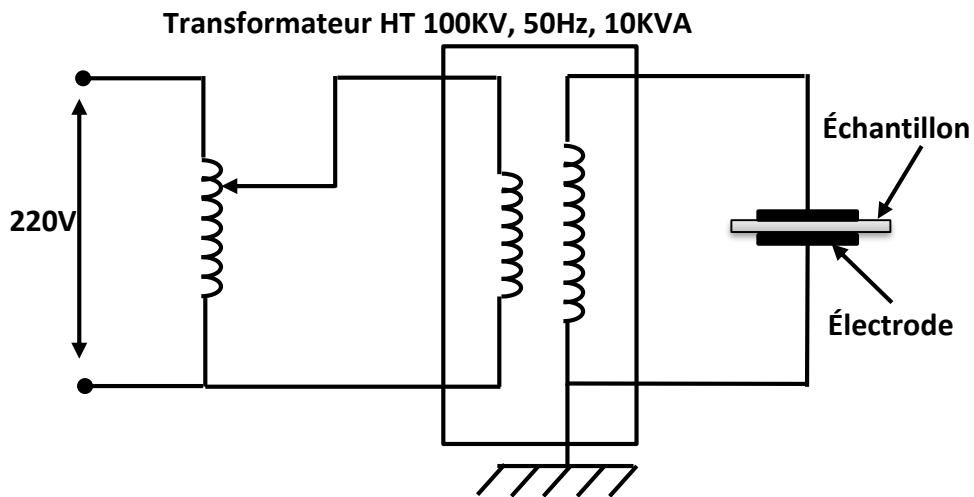
Le tout est placé dans une cage de Faraday.



**Figure. III.10.** Equipement du laboratoire H.T. Cage de Faraday, transformateur d'essai, pupitre de commande et appareils de mesure.

Le vieillissement électrique des échantillons est obtenu en les plaçant en sandwich entre deux électrodes planes sous une tension alternative de 8 kV efficace pendant une période d'une heure. Le schéma du dispositif expérimental utilisé pour cette étude est représenté par la figure III.11. Les électrodes cylindriques utilisées sont en cuivre, de 2cm de diamètre comme le montre la figure.

L'électrode supérieure est reliée à la haute tension et l'électrode inférieure est mise à la terre. Les électrodes sont portées par un support en bakélite conçu de manière à ce qu'elles soient parfaitement opposées et perpendiculaires par rapport au plan et pour avoir un bon contact avec l'échantillon (voir figure III.12). La variation de la tension est obtenue à l'aide d'un l'autotransformateur se trouvant au niveau du pupitre de commande.



**Figure. III.11.** Montage expérimental pour le vieillissement électrique.



**Figure. III. 12.** Système du support et électrodes utilisés.

Après vieillissement électrique, nous avons procédé à la mesure des caractéristiques diélectriques du composite.

### III.4.2.2. Vieillissement thermique

Le vieillissement thermique des échantillons se fait dans une étuve à convection électrique, les échantillons ont été placés dans l'étuve (figure.III.13) pour une période de trois jours sous une température constante de 90°C et dans une position suspendue et avec une distance d'au moins 10 cm les uns par rapport aux autres et par rapport aux parois du four.

Nous avons effectué l'opération du vieillissement pour tous nos échantillons de composites (45°, 55° et 75°).

Après avoir vieilli thermiquement nos échantillons, nous avons procédé à la mesure des caractéristiques diélectriques du composite.



**Figure. III.13.** L'étuve à convection électrique utilisée pour le vieillissement thermique

### III.4.2.3. Vieillissement Sous UV

#### a) Dispositif expérimental

Le dispositif que nous avons utilisé pour le vieillissement de nos échantillons de composite est constitué de deux éléments principaux :

#### ✚ La chambre réactionnelle

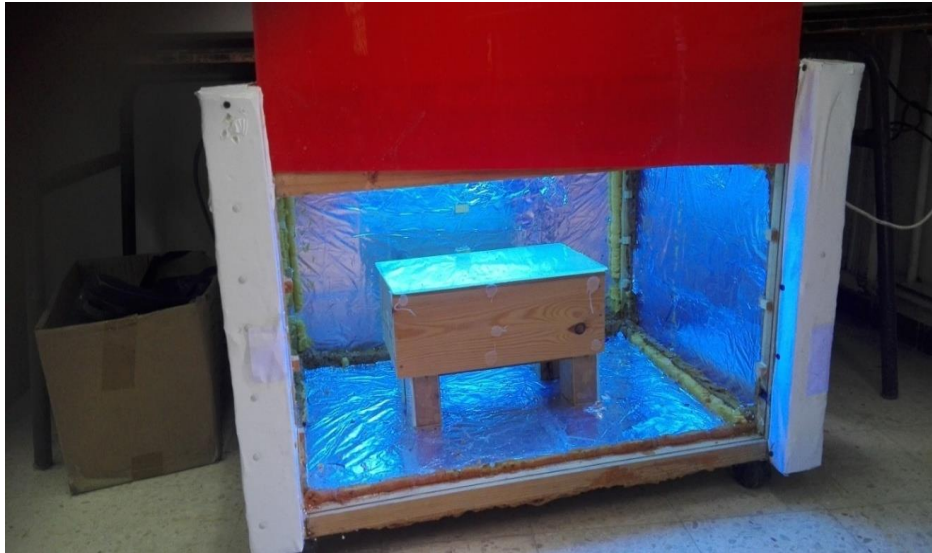
Elle est constituée d'un boîtier en plexi glace, recouvert à l'intérieur avec un couvert épais pour assurer l'isolation thermique et empêcher la pénétration des rayons lumineux, avec



deux trous percés pour permettre la circulation d'azote dans le milieu réactionnel car la polymérisation radicalaire est sensible à la présence de l'oxygène qui peut inhiber la réaction.

### ✚ La source lumineuse (ou source UV)

C'est l'élément principal du dispositif, il est constitué d'une lampe, cette dernière est placée dans un boîtier en bois avec une porte coulissante permettant l'introduction à la chambre réactionnelle. (Figure III.14).



**Figure.III.14.** Dispositif de photo-polymérisation UV.

Après avoir eu des échantillons vieillis sous UV, nous avons procédé à la mesure des caractéristiques diélectriques du composite.

## III.5. Appareils D'analyse et de Mesure

### III.5.1. Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)

La Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau [43].

#### Principe

Lorsque la longueur d'onde (l'énergie) apportée par le faisceau lumineux est voisine de l'énergie de vibration de la molécule, cette dernière va absorber le rayonnement et on enregistre une diminution de l'intensité réfléchié ou transmise. Le domaine infrarouge entre  $4000\text{cm}^{-1}$  et  $400\text{cm}^{-1}$  ( $2.5\text{-}25\text{ }\mu\text{m}$ ) correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules. L'analyse s'effectue à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier (Agilent Cary 640 FTIR) qui

envoie sur l'échantillon un rayonnement infrarouge et mesure les longueurs d'onde auxquelles le matériau absorbe et les intensités de l'absorption. Le faisceau infrarouge provenant de la source A est dirigé vers l'interféromètre de Michelson qui va moduler chaque longueur d'onde du faisceau à une fréquence différente. Dans l'interféromètre le faisceau lumineux arrive sur la séparatrice.

La moitié du faisceau est alors dirigée sur le miroir fixe, le reste passe à travers la séparatrice et il est dirigé sur le miroir mobile. Quand les deux faisceaux se recombinent, des interférences destructives ou constructives apparaissent en fonction de la position du miroir mobile. Le faisceau modulé est alors réfléchi des deux miroirs vers l'échantillon, où des absorptions interviennent.

Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en signal électrique.



**Figure.III.15.** Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).

### III.5.2. Impédancemètre

L'impédancemètre est un appareil de mesure de la résistance, de l'inductance, de la capacitive et du facteur de dissipation. Le modèle utilisé dans le laboratoire de génie électrique de l'université de Tizi Ouzou est de marque GWINSTEK LCR 817. (Figure III.16).

Les valeurs de mesure sont prises pour des fréquences allant de 0,5KHz à 10 KHz avec un pas de 0,5 KHz.



Figure.III.16. L'impédancemètre.

## III.6. Résultat Et Discussion

### III.6.1. Analyse par FTIR

Dans le but d'identifier les différents groupements fonctionnels du composite, d'identifier les changements structuraux éventuels pouvant apparaître à l'échelle moléculaire et d'identifier les composés (impuretés) susceptibles de s'introduire dans le matériau durant le processus de fabrication, une analyse spectroscopique FTIR est menée pour l'échantillon vierge ainsi que le modèle vieilli thermiquement.

Nous avons utilisé un spectromètre type JASCO 4200 du laboratoire du département de génie chimie de l'université de Bouira.

III.6.2.1. Spectre du composite

La figure IV.17 montre le spectre FTIR du composite vierge pour différents angles.

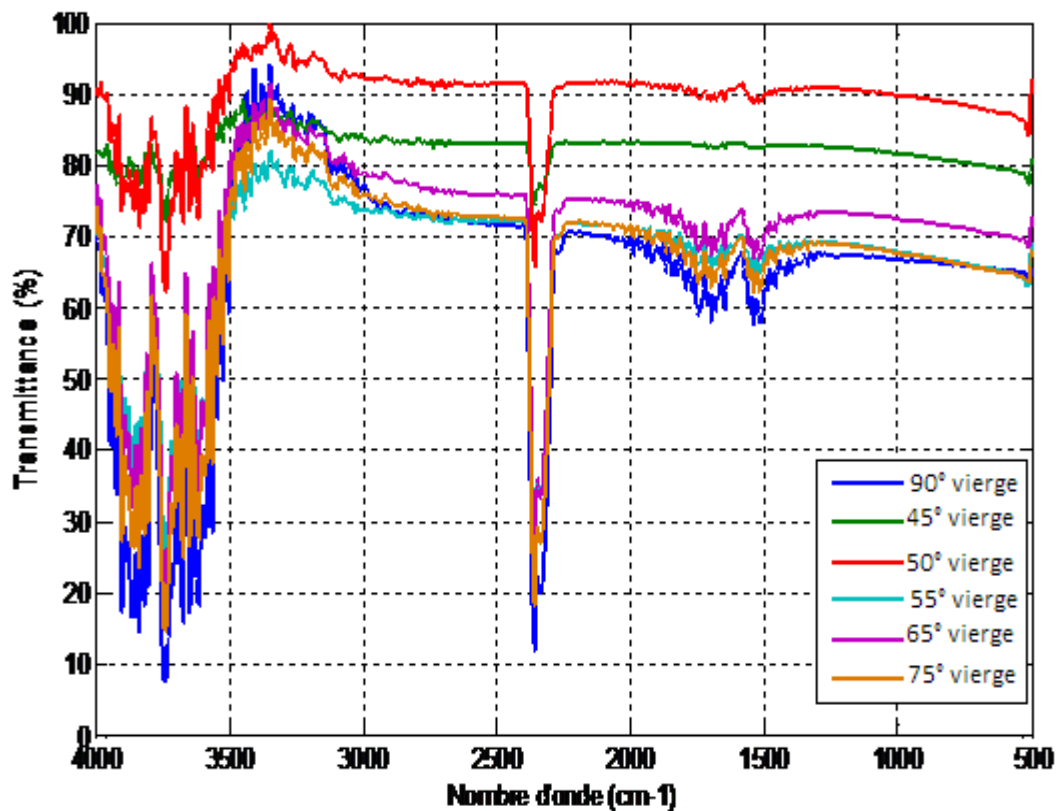


Figure.III.17. Spectre infrarouge du composite vierge.

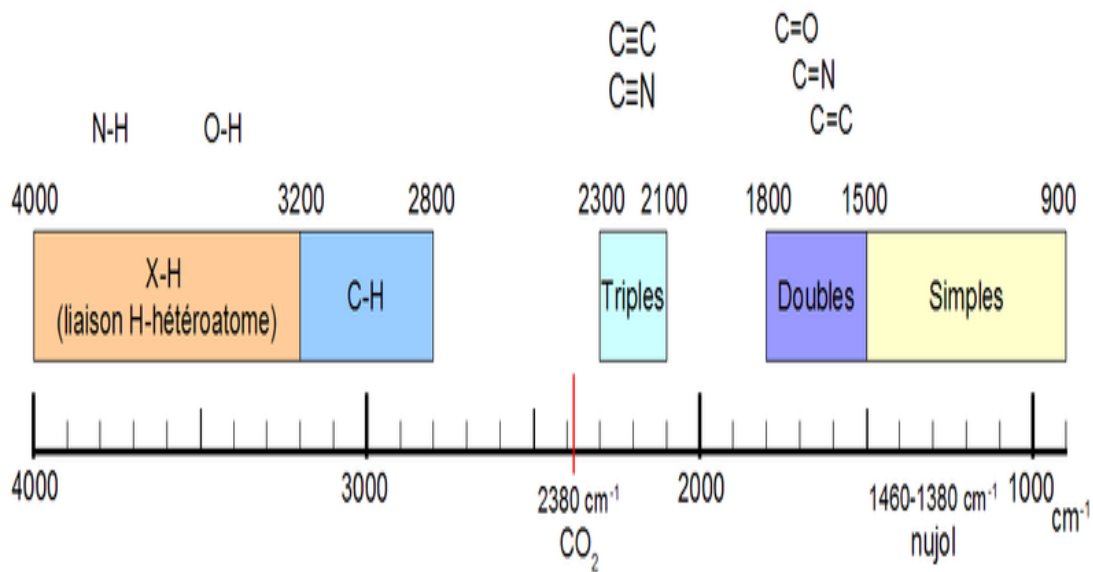
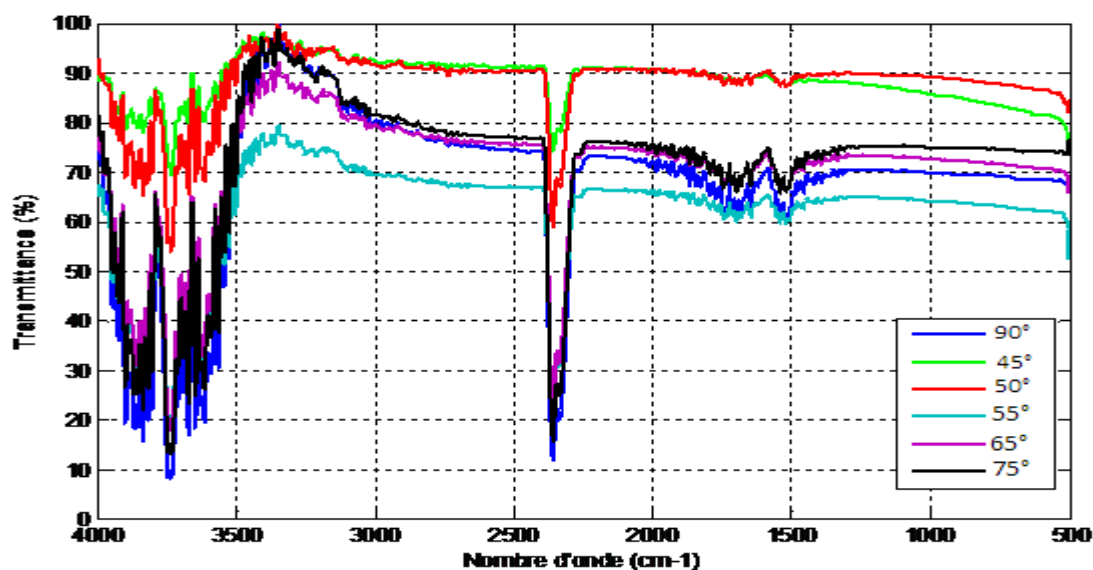


Figure. III.18. Aperçu des longueurs d’ondes d’absorption pour les molécules organiques.

La figure III.19 montre le spectre FTIR du composite vieilli thermiquement à 120°C



**Figure III.19.** Spectre infrarouge du composite vieilli thermiquement (120°C).

Le spectre FTIR présente la même allure pour l'ensemble des échantillons analysés (vierge, vieilli) indiquant l'apparition des mêmes bandes d'absorption avec la même évolution des spectres chimiques en présence.

Les pics appartenant à la bande allant de 2000  $\text{cm}^{-1}$  à 2500  $\text{cm}^{-1}$  dus à l'absorption du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  sont maintenues après l'échauffement. Ceci témoigne de la production d'un même mécanisme d'oxydation pour l'ensemble des échantillons.

Le groupement hydroxyle OH est observé avant et après vieillissement entre 4000  $\text{cm}^{-1}$  et 3200  $\text{cm}^{-1}$ . A remarquer que la position des bandes d'absorption n'a pas changé, sans pour autant avoir disparition ou apparition de pics, ce qui signifie que le matériau n'a pas subi de modification dans sa structure moléculaire mais une légère altération liée à l'oxydation.

Les bandes significatives et leurs longueurs d'ondes correspondantes sont indiquées par le tableau III.4.

Fréquence de vibration ( $\text{cm}^{-1}$ )	Vibration caractéristique (bande)
4000 à 3200	O-H
3200 à 2800	C-H
2500 à 2000	$\text{CO}_2$
1500 à 2000	C=C
1500 à 900	C-C

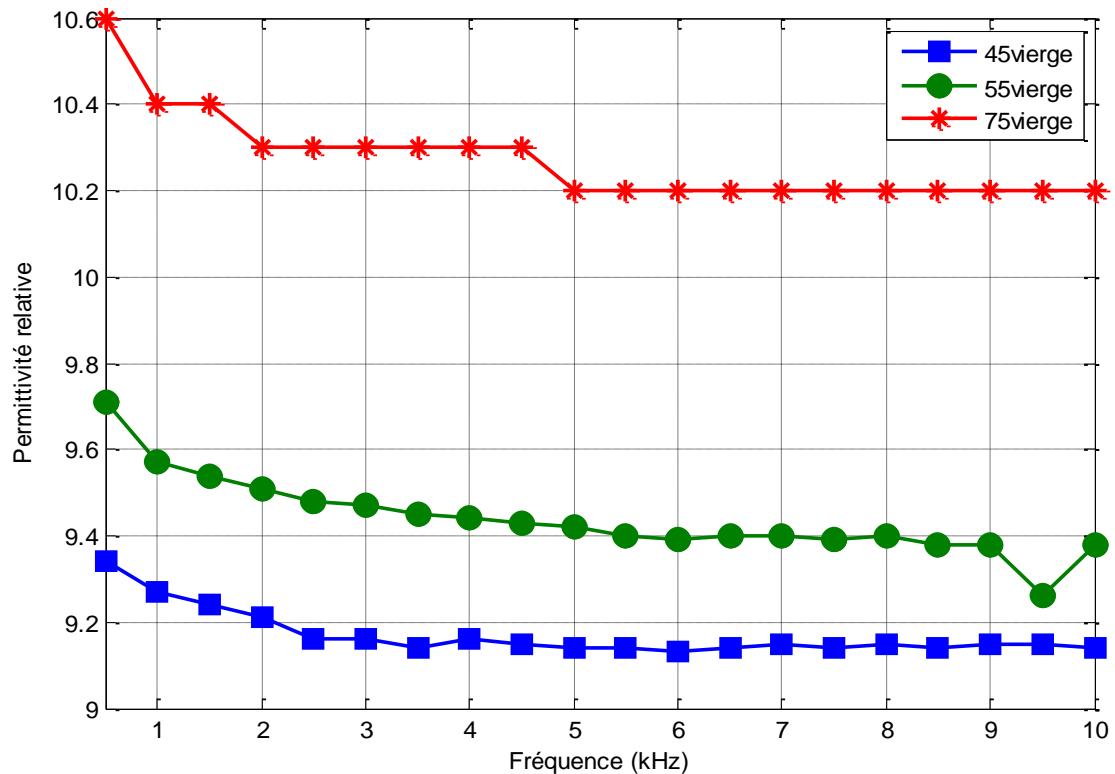
**Tableau.III.4.** Absorptions caractéristiques des groupements fonctionnels du composites.



### III.6.2. Propriétés diélectriques

#### A. Permittivité relative

Les figures III.20, III.21 et III.22 montrent respectivement l'influence de la fréquence et de l'angle d'inclinaison sur la permittivité relative du composite vierge et vieilli.



**Figure. III.20** Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence du composite vierge pour différents angles

La figure précédente montre que la permittivité relative diminue avec l'augmentation de la fréquence.

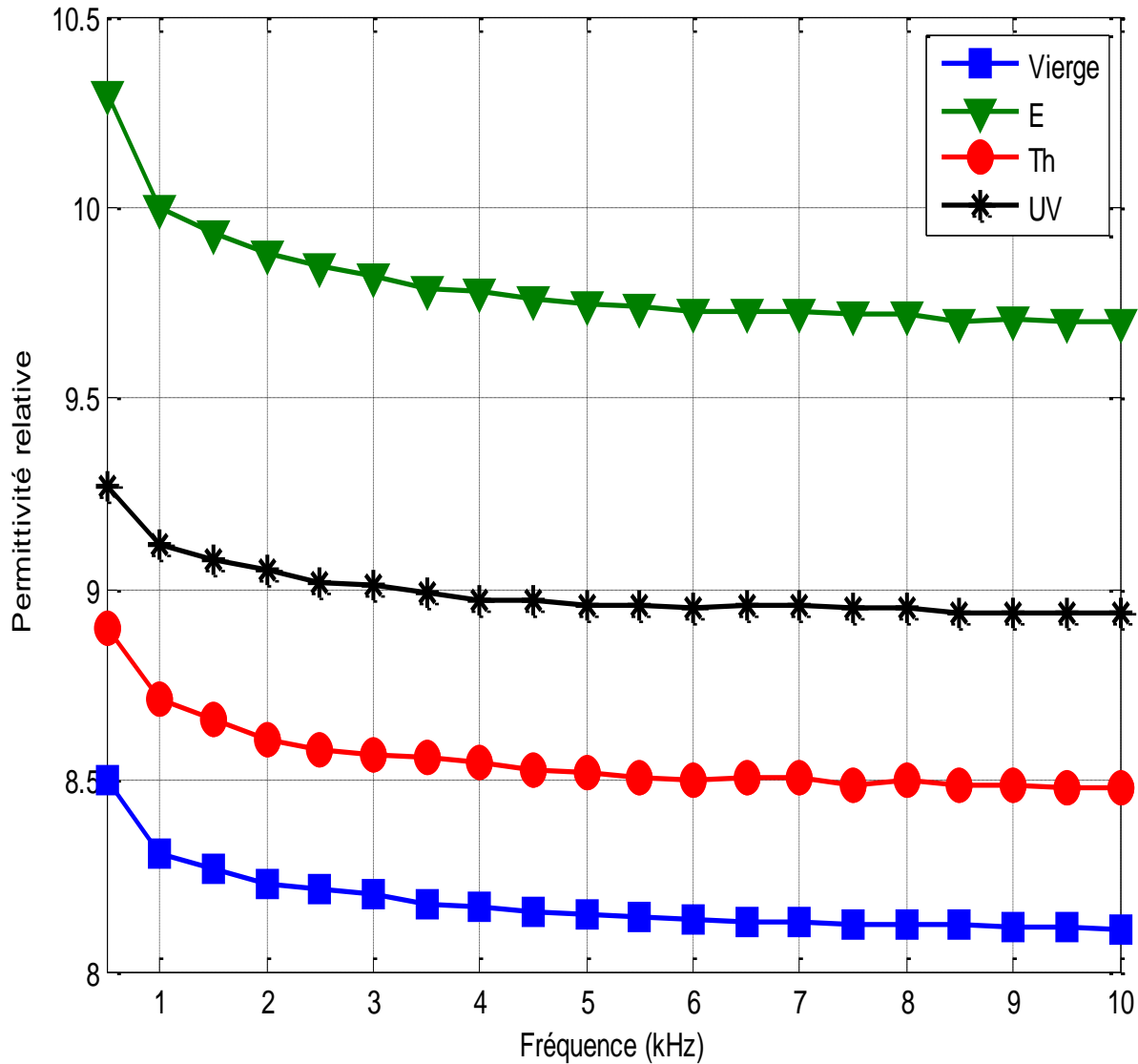
Entre 0,5 KHz et 5 KHz, La diminution de la permittivité relative est plus significative, elle passe de 10,6 à 10,2 pour l'angle 75°, et elle passe de 9,7 à 9,4 pour l'angle 55° et elle passe de 9,35 à 9,15 pour l'angle 45°.

Entre 5 KHz et 10 KHz nous remarquons que la permittivité relative est pratiquement constante.

En fonction de l'angle d'inclinaison, la valeur de la permittivité relative est nettement importante pour les angles plus élevés.



La figure suivante (III.21) montre la variation de la permittivité relative du composite vierge et vieilli en fonction de la fréquence pour différents types de vieillissements.



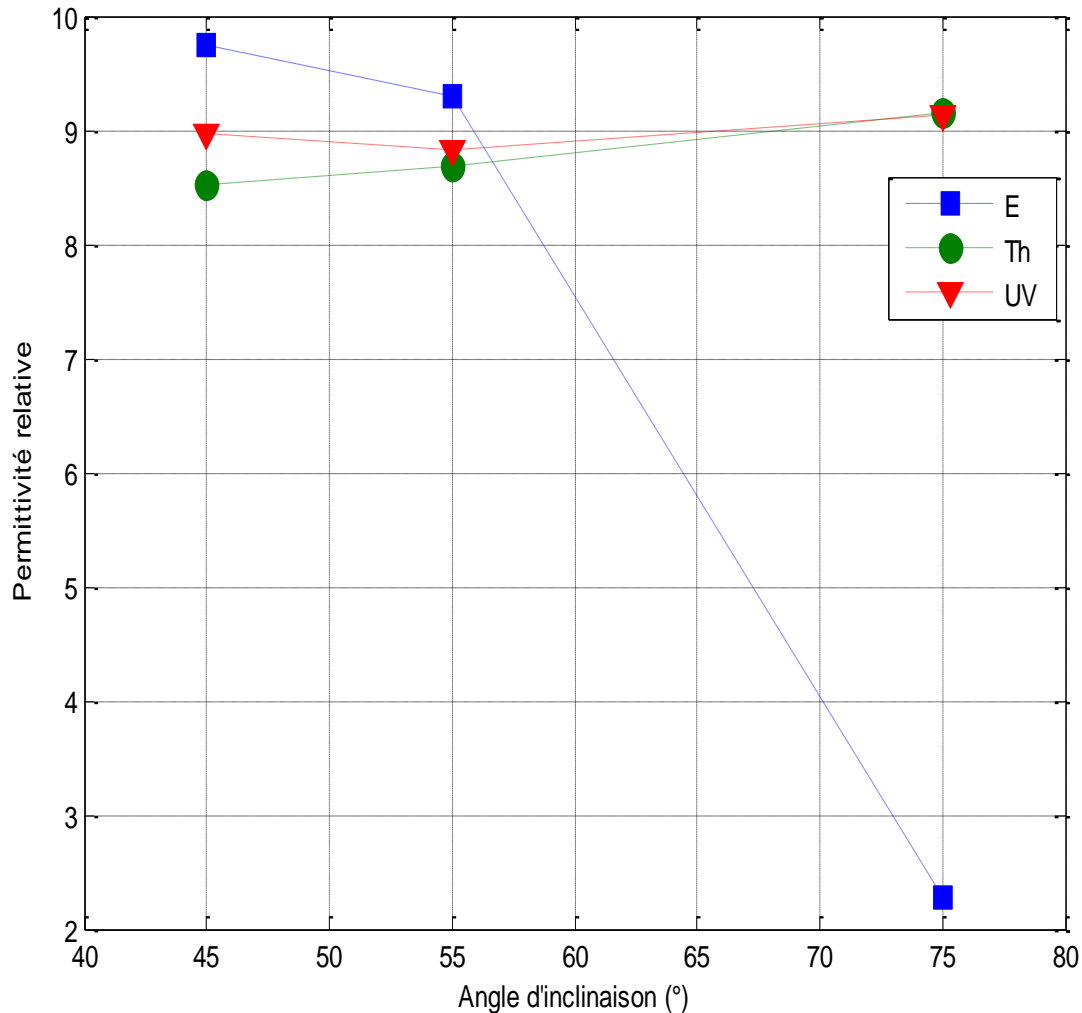
**Figure III.21** Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli.

En générale les courbes présentent la même allure pour l'ensemble des échantillons (vierge et vieilli) indiquant la diminution de la permittivité relative avec l'augmentation de la fréquence.

Nous remarquons que l'influence du vieillissement sur la permittivité relative est remarquable, ce qui signifie que le matériau perd ses qualités d'isolation. La perte de ces qualités est plus significative pour le vieillissement électrique.

## A.1. L'influence de l'angle de l'inclinaison

La figure suivante (III.22) nous montre les trois graphes caractérisant la variation de la permittivité relative en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents vieillissements.



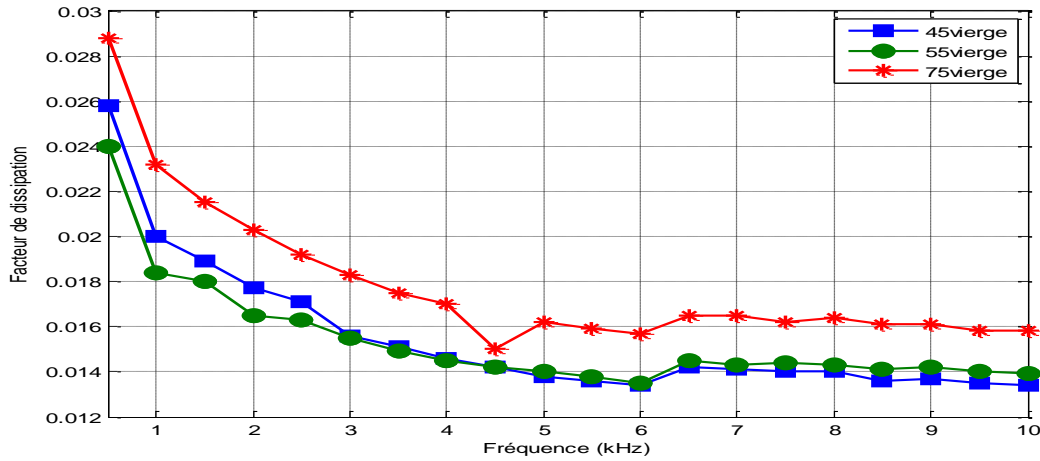
**Figure III.22** Variation de la permittivité relative en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents vieillissements

En générale, et pour le vieillissement thermique et sous UV, la permittivité relative augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison. Ce qui n'est pas le cas pour le vieillissement électrique où la permittivité relative diminue avec la variation de l'angle.

A cet effet, la permittivité relative garde sa valeur autour de 9 pour les vieillissements thermiques et sous UV, alors que pour le vieillissement électrique elle présente une grande variation et elle diminue jusqu'à la valeur de 2,2 pour l'angle 75°.

**A. Facteur de dissipation**

Les figures III.23, III.24 et III.25 montrent respectivement l'influence de la fréquence et de l'angle d'inclinaison sur le facteur de dissipation du composite vierge et vieilli.



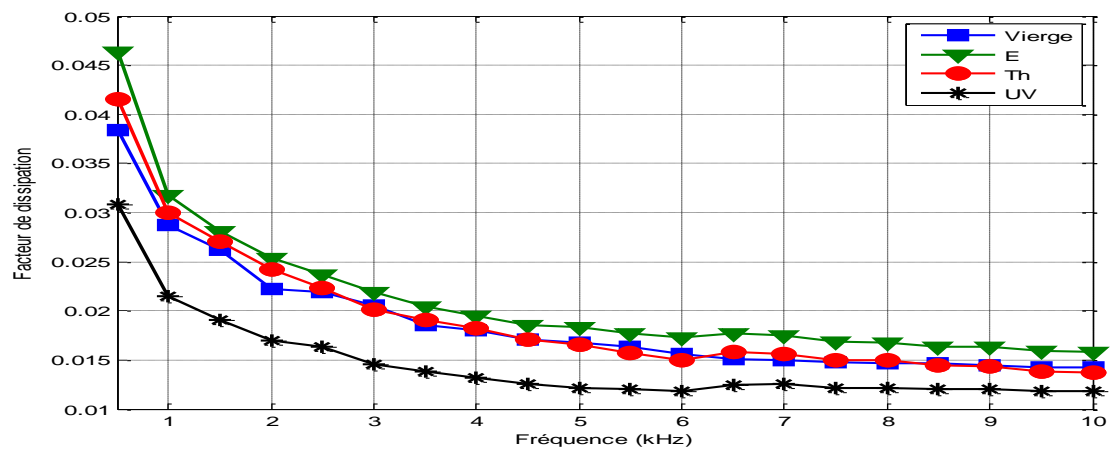
**Figure. III 23.** Variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence du composite vierge pour différents angles

La figure précédente montre que le facteur de dissipation est inversement proportionnel avec la fréquence.

Entre 0.5 KHz et 5 KHz la pente de la courbe est très importante par rapport à celle correspondant aux hautes fréquences où le facteur de dissipation est presque constant.

Nous remarquons aussi que le facteur de dissipation augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison.

La figure suivante (III.24) montre la variation de facteur de dissipation du composite vierge et vieilli en fonction de la fréquence pour différents types de vieillissements.



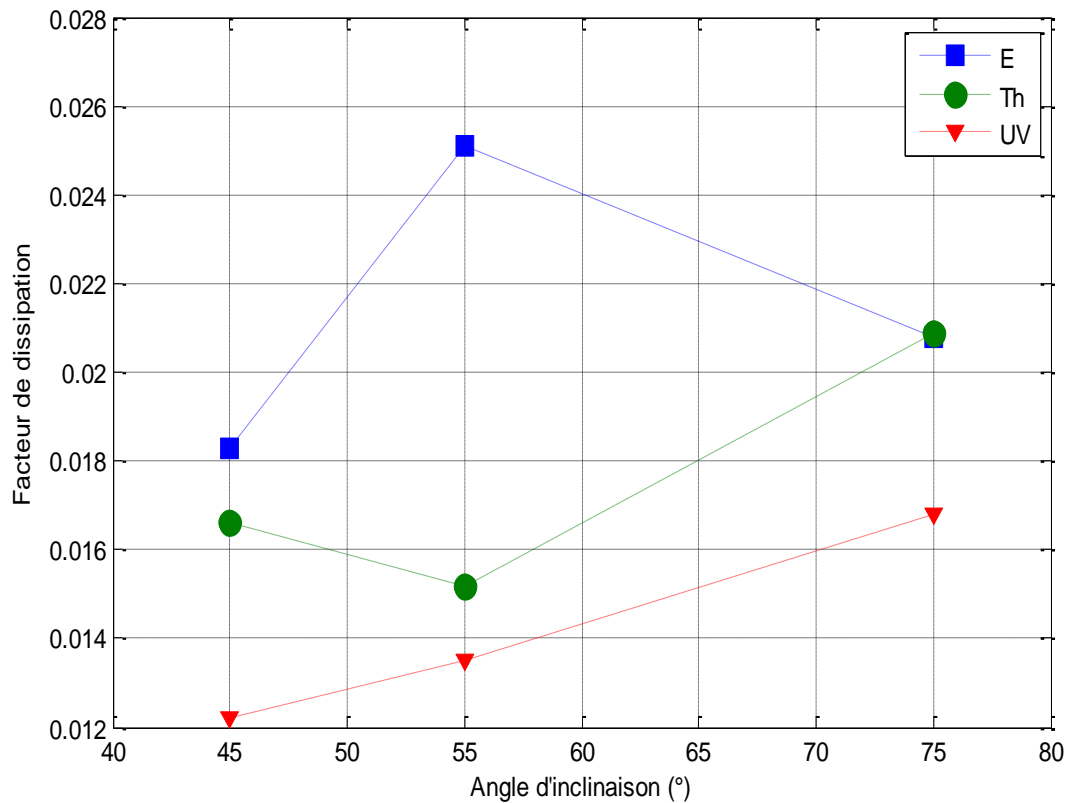
**Figure. III 24.** Variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli.

Généralement les courbes ont la même allure décroissante avec l'augmentation de la fréquence.

Outre le vieillissement sous UV, nous observons que le facteur de dissipation augmente sous l'influence du vieillissement thermique et électrique, et ceci peut être dû à l'insuffisance des effets du vieillissement.

### B.1. L'influence de l'angle de l'inclinaison

La figure suivante (III.25) nous montre les trois graphes caractérisant la variation du facteur de dissipation en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents types de vieillissements.



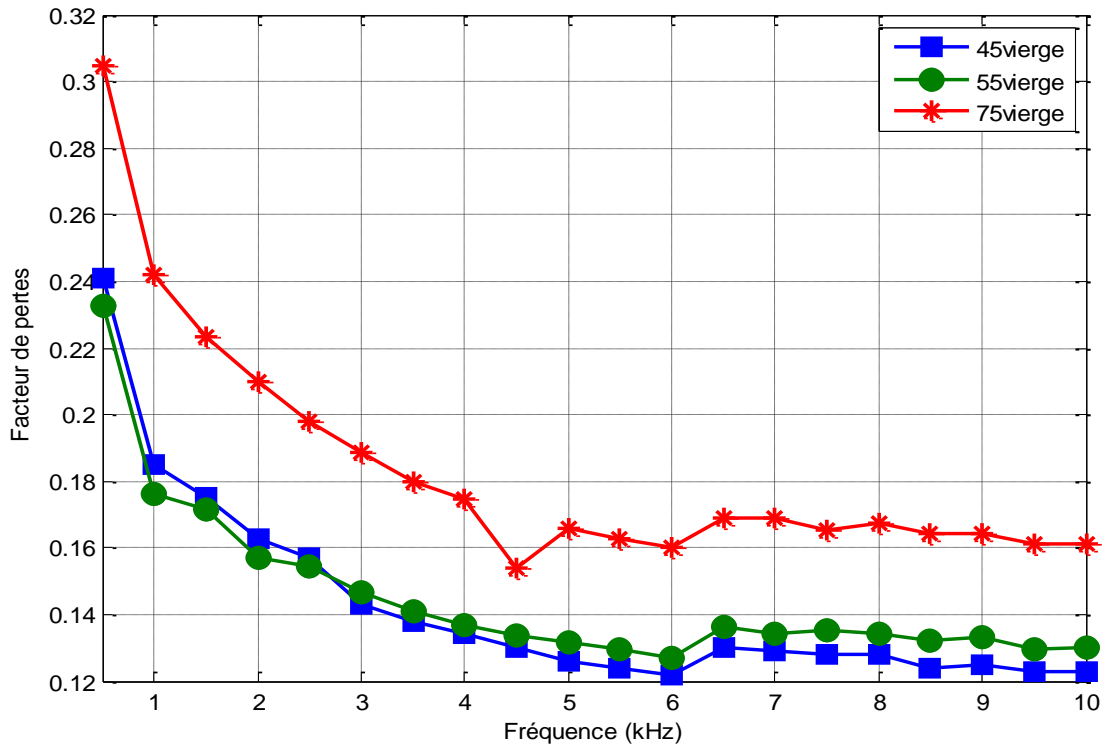
**Figure. III.25.** Variation du facteur de dissipation en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents vieillissements

En général, le facteur de dissipation augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison.

Pour un angle déterminé, nous remarquons que le facteur de dissipation est plus élevé pour l'échantillon vieilli électriquement, que celui vieilli thermiquement et celui vieilli sous UV.

### C. Facteur de pertes diélectriques

Les figures III.26, III.27 et III.28 montrent respectivement l'influence de la fréquence et de l'angle d'inclinaison sur le facteur de pertes diélectriques vierge et vieilli.



**Figure. III.26.** Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fonction du composite vierge pour différents angles

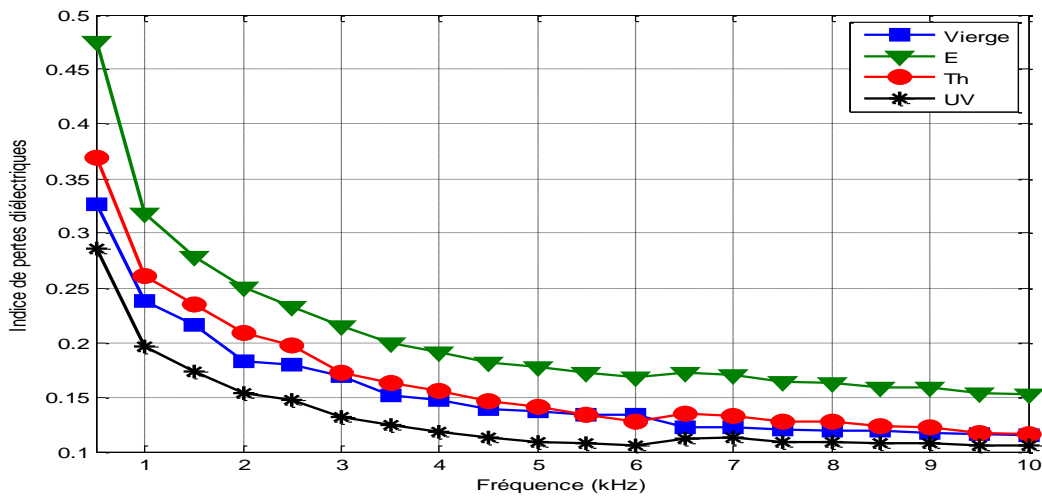
Dans La figure précédente, nous remarquons que le facteur de pertes diélectriques diminue avec l'augmentation de fréquence.

Entre 0.5 KHz et 5 KHz la pente de la courbe est très importante. Au contraire, à partir de 5 KHz  $\epsilon''$  tend vers une valeur constante.

En fonction de l'angle de fibre de verre, le facteur de pertes diélectriques est assez important lorsqu'on augmente la valeur de l'angle.

L'évolution du facteur de pertes diélectriques nous renseigne sur la puissance perdue dans le composite, donc toute augmentation ou diminution du facteur de pertes diélectriques correspond à une augmentation ou diminution de la puissance perdue dans le matériau composite.

La figure suivante (III.27) montre la variation du facteur de pertes diélectriques du composite vierge et vieilli en fonction de la fréquence pour différents types de vieillissements.

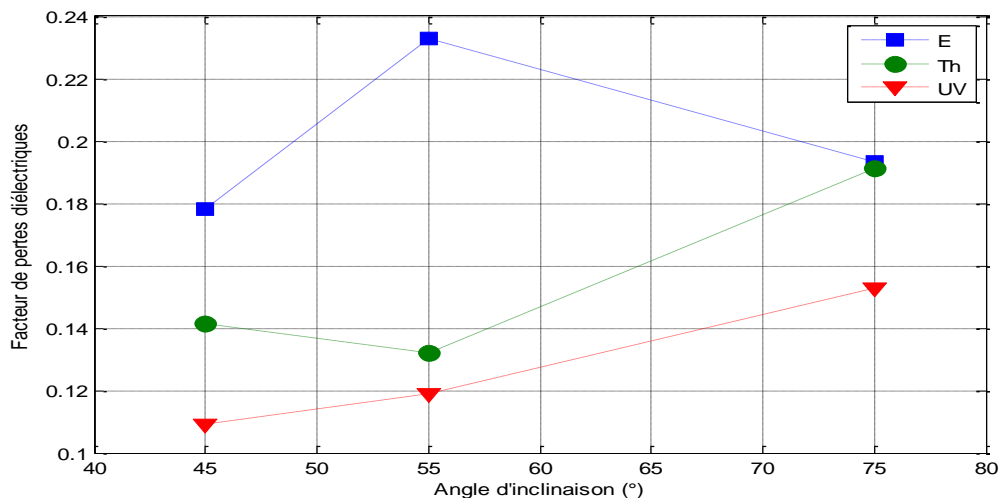


**Figure. III 27.** Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli.

Les courbes ont la même allure décroissante avec l'augmentation de la fréquence. Le facteur de pertes diélectriques est plus important lors du vieillissement électrique. Il est moins important pour les deux autres types de vieillissement notamment lors de vieillissement sous UV où il est plus faible.

**C.1. L'influence de l'angle de l'inclinaison**

La figure suivante (III.28) nous donne les trois graphes caractérisant la variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents types de vieillissements.



**Figure. III.28.** Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de l'angle d'inclinaison pour différents vieillissements.

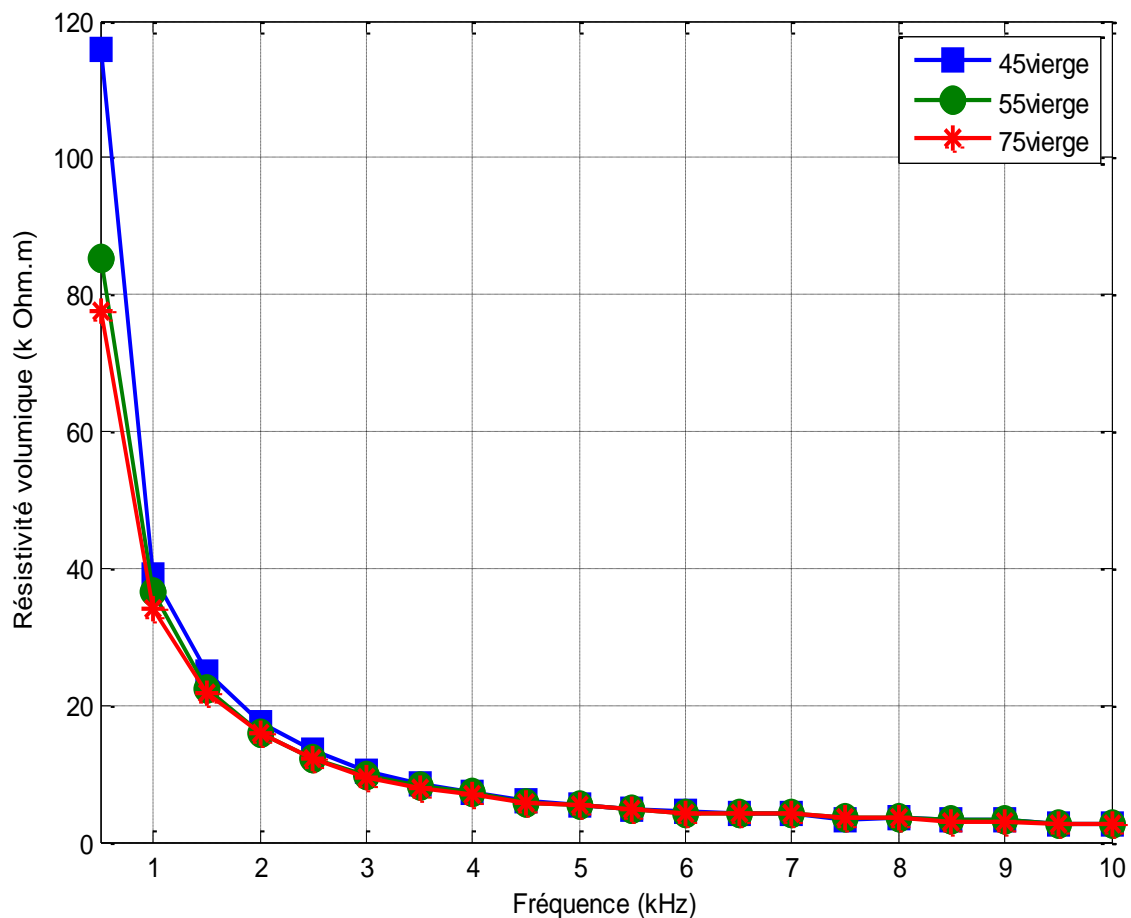


La figure III.28 nous montre que Le facteur de pertes diélectrique augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison, pour différents types de vieillissements.

A cet effet, et pour un angle donné, le facteur de pertes diélectrique est plus grand pour le vieillissement électrique et il est minime sous l'effet des rayons UV.

#### D. Résistivité volumique

Les figures III.29, III.30 et III.31 montrent respectivement l'influence de la fréquence sur la résistivité volumique du composite vierge et vieilli.

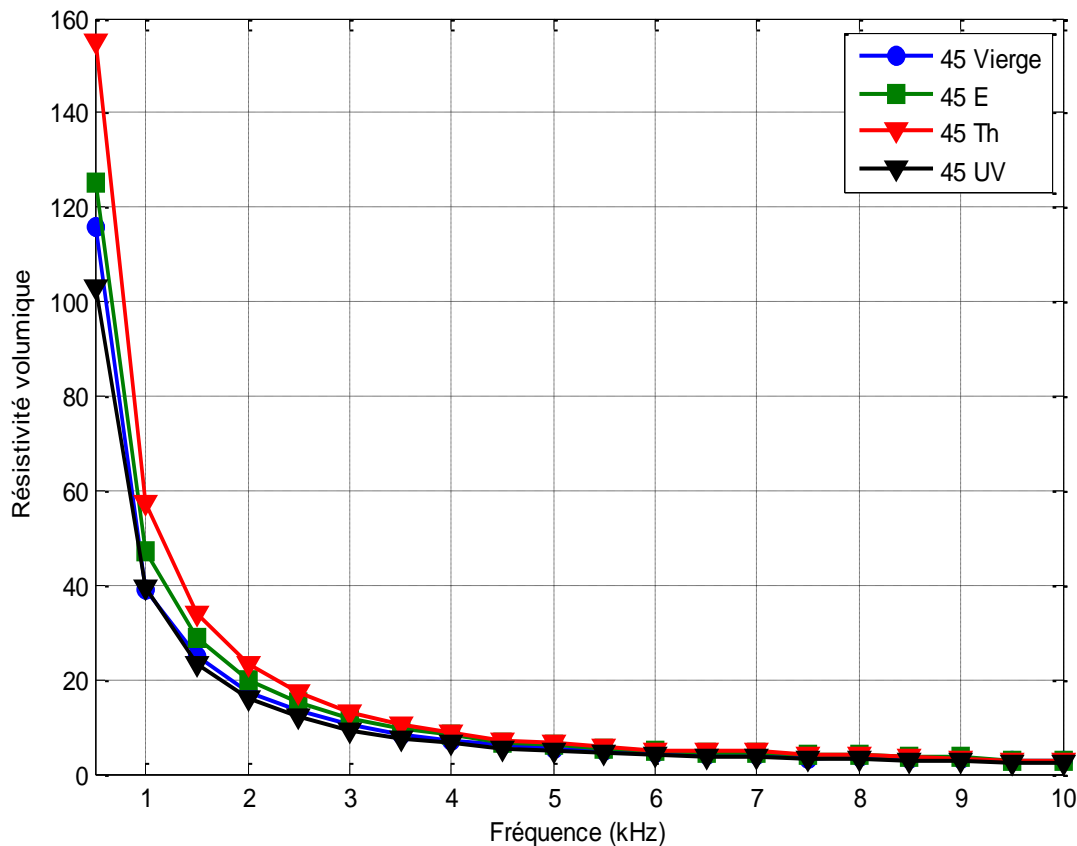


**Figure. III.29.** Variation de la résistivité volumique en fonction de la fréquence du composite vierge pour différents angles.

Dans La figure précédente, nous remarquons que la résistivité volumique diminue avec l'augmentation de fréquence.

A part la valeur de 0.5 KHz, la variation de l'angle d'inclinaison n'a pratiquement aucun effet sur résistivité volumique.

La figure suivante (III.30) montre la variation de la résistivité volumique du composite vierge et vieilli en fonction de la fréquence pour différents types de vieillissements.



**Figure III.30.** Variation de la résistivité volumique en fonction de la fréquence du composite vierge et vieilli.

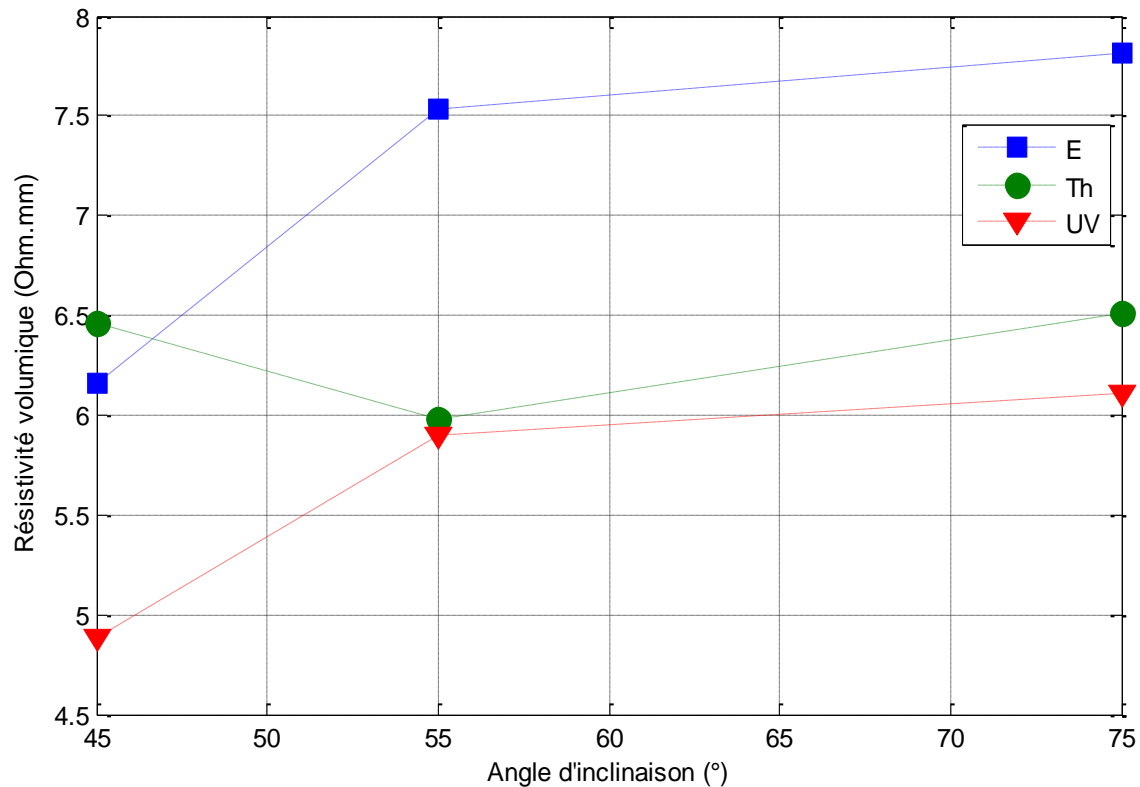
La figure III.30 montre que les courbes présentent la même allure pour l'ensemble des échantillons (vierge et vieilli) indiquant la diminution de la résistivité volumique avec l'augmentation de la fréquence.

On peut décomposer la gamme des courbes en trois phases, la première de 0.5 KHz à 3 KHz où la pente de la courbe est très importante par rapport à celle qui est entre 3 KHz et 6 KHz ayant une pente minimale. Par contre dans la bande allant de 6 KHz à 10 KHz la courbe est pratiquement constante.

En général, les valeurs de la résistivité volumique se convergent jusqu'à qu'elles soient égales à partir du point de 4KHz. Ce qui signifie que le matériau garde ses qualités d'isolation, et ceci peut être dû à l'insuffisance des facteurs de vieillissement.

### D1. L'influence de l'angle de l'inclinaison

La figure suivante (III.31) nous montre les trois graphes caractérisant la variation de la résistivité volumique en fonction de l'angle de la fibre de verre par rapport au jute, aux différents vieillissements.



**Figure. III. 31.** La variation de la résistivité volumique en fonction de l'angle de la fibre de verre par rapport au jute, aux différents vieillissements.

D'après la figure III.31, La résistivité volumique augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison, pour différents types de vieillissements.

A cet effet, et pour un angle donné, La résistivité volumique est plus grande pour le vieillissement électrique et elle est minime sous l'effet des rayons UV.

### III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu une étude théorique sur les différents modes de vieillissement, ainsi que des brèves définitions sur les paramètres diélectriques d'un matériau. Ensuite nous avons passé en revue les différents dispositifs expérimentaux utilisés pour l'élaboration, l'analyse et les mesures de nos échantillons.

Les résultats obtenus lors de nos essais sont présentés sous forme de graphes, ils ont montré que la variation de la fréquence, de l'angle d'inclinaison et l'impact du vieillissement a une influence sur les propriétés diélectriques du composite.

Les résultats ont montré aussi que les propriétés diélectriques des échantillons varient d'une manière remarquable dans la bande appartenant aux basses fréquences contrairement aux hautes fréquences où elles gardent pratiquement les mêmes valeurs.

Pour l'influence de la variation de l'angle d'inclinaison sur le comportement de nos échantillons, les résultats ont montré l'utilité d'utiliser de faibles angles d'inclinaison afin d'améliorer les propriétés diélectriques du composite.

Quant à l'impact des effets de vieillissement, nous avons remarqué que notre composite garde mieux ses caractéristiques diélectriques face aux vieillissements thermique et sous rayons UV.

## *Conclusion générale*

Notre Projet de Fin d'Etudes porte sur deux volets de travail, le premier consiste à l'élaboration d'un matériau composite par le procédé d'enroulement filamentaire avec un renfort naturel qui est la fibre de jute, alors que le deuxième est basé sur une approche expérimentale pour illustrer le comportement des paramètres diélectrique des échantillons réalisés face aux variations de fréquence, de l'angle d'inclinaison de fibres de verre, ainsi qu'aux différents modes de vieillissements.

Notre idée est basée sur l'exploitation de technique de l'élaboration des matériaux composites en utilisant des renforts de fibres de verre et de fibres de jute. Dans ce cadre, une machine qui a été présentée au deuxième chapitre et qui a été fabriquée auparavant au sein de l'atelier technique de monsieur Djamel Eddine KARI, sis à Haizer wilaya de Bouira, a été mise à notre disposition.

Les résultats obtenus montrent que notre matériau composite répond bien dans la bande de basses fréquences en matériau de la résistivité volumique. Par contre pour l'évolution des pertes puissances, il est utile de travailler dans les hautes fréquences.

Nous avons montré que l'angle d'inclinaison des fibres de verre influe d'une manière remarquable sur les propriétés diélectriques du composite, ces derniers augmentent tous avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison de fibre de verre.

Les résultats des vieillissements aux quels sont soumis nos échantillons ont montré que l'exposition de ces derniers aux différents contraintes influe aussi sur leurs propriétés diélectriques.

Ce travail constitue une introduction dans le domaine d'identification des propriétés diélectriques des matériaux composites. Nous souhaitons que d'autres initiatives continuent à développer ce Projet de Fin d'Etudes par la réalisation des échantillons convenants à différentes procédures du projet.

## *Bibliographie*

- [1] L. Teddy, « Analyse par thermographie infrarouge de l'endommagement des structures composites sous sollicitations quasi statiques ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse III Paul Sabatier France, 2014.
- [2] J. M. Berthelot, « Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures ». Tec & Doc, livre 4<sup>ème</sup> édition 2005.
- [3] Maurice Reyne, « Le plastiques ». Hermès science publication, Livre 3<sup>ème</sup> édition 1998.
- [4] GAY. DANIEL, « Matériaux composites ». Hermès science publication, Livre 6<sup>ème</sup> édition 2005.
- [5] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, « Fundamentals of heat and mass transfer, fitted », 2002.
- [6] E. J. JULES, "Couplages entre propriétés thermiques, réactivité chimique et viscosité des matériaux composites thermodurcissables en relation avec les conditions de leur Elaboration fondée sur l'hystérésis diélectrique." Ecole nationale supérieure d'arts et métiers, 2001.
- [7] H.-H. Kausch, N. Heymans, C. J. Plummer, and P. Decroly, « Matériaux polymères : propriétés mécaniques et physiques », 2001.
- [8] P. BARDONNET, "Résines époxydes (EP)," *Techniques de l'Ingénieur*, vol. A3465, 2006.
- [9] M. CHEVALIER, "Phénoplastes ou phénols-formols PF," *Techniques de l'Ingénieur*, vol. A3435, 2006.
- [10] J.-M. Berthelot. « Matériaux composites, Comportement mécanique et analyse des structures ». Tec & Doc, livre, 2<sup>ème</sup> édition 1996.
- [11] M. Laarej, « Etude par spectroscopie raman et modélisation d'une résine composite RTM ». Thèse de doctorat, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, 2010.
- [12] I. Krupa, A. Boudenne, and L. Ibos, "Thermo physical properties of polyethylene filled with metal coated polyamide particles," *European Polymer Journal*, vol. 43, pp. 2443- 2452, 2007.
- [13] J. T. Mottram and R. Taylor, "Thermal transport properties," *International encyclopedia of composite*, pp. 476-496, 1991.
- [14] C. PROFETA and M. THOUVENIN, "Mesure Des Propriétés Thermo physiques," *Projet de mécanique 1<sup>ère</sup> année Ecole des Mines de Nancy*, pp. 1-25, 2004.
- [15] Hanane, o. (2015, juin 16). Mémoire magister en génie mécanique. « Conception et réalisation d'une machine d'roulement filamentaire ». Génie mécanique.
- [16] Do This, V. V. (2011). « Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradable », *Doctoral dissertation, Université de Grenoble*.



- [17]. Kriker, A. « Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers en forcés par ces fibres en climat chaud et sec ». Thèse de doctorat université de Algérie 2005.
- [18]. Hadadi. Manel, « Etude numérique avec comparaison expérimentale des propriétés thermophysiques des matériaux composites à matrice polymère ». Mémoire de magister, Université de Ferhat Abbas, Sétif, Algérie 2011.
- [19]. S. Bensaid, "Contribution à la caractérisation et à la modélisation électromagnétique et thermique des matériaux composites anisotropes," l'Université de Nantes,2006.
- [20]. N. Gupta, " Characteration of Syntactic Foams and Their Sandwich Composites: Modeling and Experimental Approaches," the Graduate Faculty of the of the Louisiana state University and Agricultural and Mechanical college, 2003.
- [21]. J. M. Berthelot, « Matériaux composites, Comportement mécanique et analyse de structure ». Tec & Doc, livre 5ème édition 2010.
- [22]. J. M. Berthelot, « Matériaux composites, Comportement mécanique et analyse de, structure ». Tec & Doc, livre 3 ème édition 1999.
- [23]. Jean-Marie Berthelot, « Mécanique des matériaux et structure composites ». Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés, le Mans, France 2006.
- [24]. A. Mezli. Fiche Pratiques ABC Plastique, « 0985 Pré imprégnés phénoliques (PSMC, PBMC) : transformation, façonnage, rec. yclage ». Techniques de l'ingénieur, France 2016.
- [25] O. Hanane, « conception et réalisation d'une machine d'enroulement filamentaire », mémoire de master, ENP. 2015.
- [26]. KARI DJ E. Brevets d'invention N°00043 du17/01/2017 « Machine d'enroulement filamentaire à deux axes pour tubes en composites à l'échelle de laboratoire », Bouira (Haizer). 2017.
- [27]. KARI, DJ « Simulation et conception d'une machine de packaging ». Mémoire master 2 Génie mécanique, Algérie. (2013).
- [28] C. VRIGNON et M. THENAISIE « Notice d'utilisation de l'automate siemens logo ! » référence : rcpulogo24rc 2005.
- [29] Saad MUTASHER; Nazim MIR-NASIRI; Lee CHAILIN, « small- scale filament winding machine for producing fiber composite products». Journal of Engineering Science and Technology 2012.
- [30] P. Paloniemi, « Theory of equalization of thermal ageing processes of electrical insulation materials in thermal endurance tests. 1: Review of theoretical basis of test methods and chemical and physic all aspects of ageing », IEEE, Trans on. Elect. Ins, N°. 1, Vol. EI-16, pp.1-5, February 1981.

- [31] Y. Mecheri, « Influence du mode de vieillissement thermique sur les propriétés du Polyéthylène réticulé chimiquement utilisé dans l'isolation des câbles moyenne tension », Thèse de Doctorat, ENP 2008.
- [32] J. Verdu, « Vieillissement des plastiques », Afnor technique, Edition Eyrolles, Paris 1984.
- [33] J. Verdu, « Vieillissement physique », Techniques de l'ingénieur, A 3150, 1980.
- [34] J. Verdu, « Comportement à long terme », Techniques de l'ingénieur, A 3150, A 9 I, 1980.
- [35] C. Laurent et C. Mayoux, « Part XI: Limitations to PD as a diagnostic for Deterioration and Remaining Life », IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.8, pp.14 - 17, 1992.
- [36] C. Mayoux, « Aging of Polymeric Insulating Materials in Power Cables », IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol.4, pp.665 - 673, 1997.
- [37] S.W. ROWE, « Electrical ageing of composites: An industrial perspective », Proc. 2007 IEEE Int.Conf. Sol. Dielectr., Winchester UK, pp 401 - 406, 2007.
- [38] MIKE. ASHBY. « Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science, DoITPoMS ». On-line courses, University of Cambridge 2014.
- [39] M. Abba, Synthèse, « caractérisation et étude Des propriétés Piézo-électriques des céramiques de type PZT :  $\text{Pb}_{1-y}\text{La}_y[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}(\text{Mo}^{1/3}\text{In}^{2/3})_{1-(x+z)}]_{1-y/4}\text{O}_3$  ». Doctorat en sciences, Univ. Biskra, (2013).
- [40] N. Abdesslem, « La frontière morphotropique de phase (FMP) dans le système ternaire :  $x\text{PbZrO}_3 - y\text{PbTiO}_3 - z\text{Pb}(\text{Cr}^{1/5}\text{Zn}^{1/5}\text{Sb}^{3/5})\text{O}_3$  », mémoire de magistère en Sciences des matériaux, Univ. Biskra (Algérie), (2001).
- [41] K. Kato, V.N. Vasilets, M.N. Fursa, M. Meguro, Y. Ikada, K. Nakamae, « Surface Oxidation of Cellulose Fibers », (1998) 357–361.
- [42] D. Zhang, Q. Sun, L.C. Wadsworth, « Mechanism of corona treatment on polyolefin films, Polym ». Eng. Sci. 38 (1998) 965–970.
- [43] Ben Romdhane H., « Les Méthodes De Synthèse Macromoléculaire », Faculté des Sciences de Département de Chimie à l'Universitaire 2092 EL Manar Tunis, Tanisie 2010.

## **Résumé :**

Le matériau composite a fait ses preuves dans le domaine mécanique grâce à leur très grande résistance et rigidité spécifique, étude propriétés diélectrique dans le domaine électrique et d'identifier les différents paramètres influant sur son comportement d'isolement.

Ce travail est basé sur basé sur deux volets, le premier est conceptuel, consiste à élaborer un matériau composite par le procédé d'enroulement filamentaire avec un renfort naturel qui est la fibre de jute. La deuxième partie fait l'objet d'une étude expérimentale portant sur l'influence de différents paramètres (tel que la fréquence, l'angle d'inclinaison et les vieillissements), sur les caractéristiques diélectriques du composite réalisé.

Les résultats obtenus montrent que notre matériau composite répond bien dans la bande de basses fréquences. Nous avons montré que l'angle d'inclinaison des fibres de verre influe d'une manière remarquable sur les propriétés diélectriques du composite. Les résultats des vieillissements aux quels sont soumis nos échantillons ont montré que l'exposition de ces derniers aux différentes contraintes influe aussi sur leurs propriétés diélectriques.

**Motsclés :** composite, résine époxy, fibre de Jute, fibre de verre, fréquence, angle d'inclinaison, vieillissement,

## **Abstract :**

The composite material has proven itself in the mechanical field grâce to its very high resistance and specific rigidity, dielectric study in the electric domain and different influences on insight on its behavior of isolation.

This work is based on parts, the first is conceptual, consists in developing a composite material by the filament winding process with a natural reinforcement that is jute fibre. The second part is the subject of an experimental study concerning the influence of various parameters (such as frequency, angle of and aging) on the dielectric characteristics of the realized composite.

The results obtained show that our composite material responds well in the low frequency band. We have shown that our composite. The aging results to which our samples are submitted have shown that the exposure of these latter to different also influences their dielectric properties.

**Key words :** composite, resin epoxy , jute fiber, fiber glass, frequency, angle of inclination, aging,