

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : des sciences

DEPARTEMENT : De chimie

N° : .....



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Chimie

OPTION : Chimie de l'environnement

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par:

Korichi Asma

Tiaiba Wafa

Intitulé

*Amélioration et élaboration d'un matériau  
composite à base d'une matrice  
thermodurcissable (iso et ortho polyester  
insaturé) renforcé par les déchets de  
MAGHREB PIPE "M'sila"*

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. Deghfel Nadir

Université de M'sila

Président

Mr. Benyahia Azzedine

Université de M'sila

Rapporteur

Mr. Farsi Chouki

Université de M'sila

Examineur

*Année universitaire : 2018 /2019*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes très chers parents : « **Saad** » et « **Layla** ».  
Je leurs remercie pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs soutien,  
l'aide et les encouragements qui m'ont apporté durant toutes ces  
années d'étude sans eux, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.*

*Je dédie ce travail également*

*A mes frères: «**Taher**» et «**Mohamed**» et ma petite sœur «**Malek**».*

*A mon oncle et tantes chacun par son nom.*

*A toute ma famille et surtout mes cousines : « **Amira** » et « **Khawla** »*

*Et mes amis : « **Nawel** », « **Madjeda** », « **Mouna** »*

*Sans oublier ma chère binômes « **Wafa** » pour son collaboration, afin  
de nos permettre arriver de réaliser ce projet.*

*Enfin, je n'oublierai pas d'associer dans mes remerciements à  
l'ensemble des mes collègues, les plus chers surtout*

*« **Hadjer** » et « **Fatima** ».*

*A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à ce travail.*

*« **Korichi Asma** »*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A ma famille qui m'a doté d'une éducation digne particulièrement à mes parents **Hadj et Rebeh** pour tous les sacrifices qu'ils ont faits et pour tout le soutien qu'ils ont offert tout au long de mes études.*

*A mes grands-parents paternelle et maternel **Massouda, Omar, Saadi, Fatima** que ce modeste travail soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières*

*A mes chers frères **Housseem, Issam, Islam** et ma sœur **Asma** pour leurs encouragements et soutiens.*

*A mes tantes **fouzia, nabila, malika.***

*Sans oublier ma chère binômes « **Asma** » pour son collaboration, afin de nos permettre arriver de réaliser ce projet.*

*A mes amis **khadidja, Hanane, Mouna, Rima** pour leur encouragement et pour tous les bons moments qu'on a vécus ensemble.*

*A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à ce travail.*

*« **Tiaiba Wafa** »*

# *Remerciement*

Nous tenants tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous à donné la force, la volenté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercîments très respectueusement avec notre profonde gratitude notre encadreur monsieur : **Dr. Benyahia Azzedine** pour avoir proposé le sujet de notre mémoire pour son suivi de notre travail ses suggestions et remarques pertinentes.

Nous remercîments vont également à monsieur **Deghfel Nadir** qui à accepter de précider le jury.

Nous remercîments très respectueusement à monsieur **Farsi Chouki** de nous avoir fait l'honneur d'être membre du jury et d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous vifs remercîments vont également au personnels de l'entreprise  
« **MAGHREB PIPE** » M'sila.

Tout notre reconnaissance au membre du laboratoire de chimie université  
M'sila qui nous à faciliter la réalisation des tests (IRTF, ATG).

Nous tenants enfin à remercier tous ceux et celles qui contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

# Résumé

L'objectif de ce travail, c'est la valorisation des déchets de verre de l'entreprise « **MAGHREB PIPE** » M'sila.

Dans ce contexte on a été préparé des matériaux à base des deux matrices thermodurcissables (isophthaléique et orthophthaléique polyester insaturé) renforcés par les déchets de verre, déchets de verre-sable et mélange déchets de verre-fibres Alfa (10,20, 30, 40, 50 %).

Les résultats des tests de flexion à trois points montrent que le taux de charge de déchets à un effet positif sur la résistance de flexion et le module d'Young de ce matériau.

Les valeurs les plus élevées pour la résistance de flexion et le module d'Young de flexion étaient respectivement 66, 119 MPa pour le composite à base de la matrice orthophthaléique polyester saturé renforcé par 10 % de déchets de verre.

Enfin, on peut dire que les déchets de l'entreprise « **MAGHREB PIPE** » M'sila ont un avenir très prometteur pour les matériaux composites.

**Mots clés :** fibres de verre, Alfa, polyester insaturé, composite, flexion à trois points.

## Abstract

The objective of this work is the recycling of the company's glass waste (MAGHREB PIPE). In this context we have prepared materials based on two thermosetting matrices (isophthalic and orthophthalic unsaturated polyester) reinforced by glass waste, glass-sand waste and Alfa glass-fiber waste mixture (10,20, 30, 40, 50%).

The results of the three-point bending tests show that the waste charge rate has a positive effect on the bending strength and the Young's modulus of this material.

The highest values for flexural strength and flexural Young's modulus were 66, 119 MPa for the saturated polyester orthophaea matrix composite reinforced with 10% glass waste.

Finally, it can be said that the company's waste (MAGHREB PIPE) has a very promising future for composite materials.

**Key words:** glass fibers, Alfa, unsaturated polyester, composite, three-point flexion.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو إعادة تدوير النفايات الزجاجية لشركة "مغرب أنابيب". في هذا السياق، قمنا بإعداد مواد تعتمد على نوعين من المصفوفات المتصلبة حرارياً ( ايزوفتاليك و اورثوفتاليك بولي استر غير مشبع ) معززة بالنفايات الزجاجية ، نفايات زجاج-رمل وخليط زجاج- ألياف نباتية " حلفاء" (10،20،30،40،50%).

تظهر نتائج اختبارات الانحناء ثلاثية النقاط أن معدل شحن النفايات له تأثير إيجابي على قوة الانحناء ومعامل يونغ للثني لهذه المادة.

كانت أعلى قيم لقوة الانحناء ومعامل يونغ هي 66 ، 119 ميغا باسكال على التوالي للمصفوفة اورثوفتاليك بولي استر المقواة بالنفايات الزجاجية بنسبة 10٪.

أخيراً، يمكن القول أن نفايات الشركة "مغرب أنابيب" لها مستقبل واعد جداً للمواد المركبة.

**الكلمات المفتاحية:** الألياف الزجاجية ، حلفاء، بولي استر غير مشبع ، مركب ، انثناء ثلاثي النقاط.

# *Sommaire*

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Liste des symboles	
Introduction générale.....	1
Références bibliographiques.....	3

## *Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites et les déchets*

I.1. Définition.....	4
I.2. Les constituants des matériaux composites.....	4
I.2.1. La matrice .....	5
I.2.1.1. La matrice organique.....	5
a) Les matrices thermodurcissables (TD).....	5
b) Les matrices thermoplastiques (TP) .....	8
c) Les matrices thermostables (TS).....	9
I.2.1.2. La matrice minérale .....	9
a) la matrice céramique .....	9
b) la matrice métallique.....	9
I.2.2. Les renforts .....	9
I.2.2.1. Les type des renforts.....	10
I.3. Fibre végétales .....	13
I.3.1. Définition de fibres végétales .....	13
I.3.2. Classification des fibres végétales .....	13
I.3.3. La composition chimique d'une fibre végétale.....	13
I.3.4. Propriétés usuelles des fibres végétales .....	16
I.3.4.1. Propriétés physiques des fibres végétales.....	16
I.3.4.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales .....	16
I.3.4.3. Propriétés chimiques des fibres végétales.....	16
I.3.5. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites .....	17

I.4. 1. Définition d'un déchet.....	19
I. 4.2. La classification des déchets.....	19
I. 4.2.1. Classement selon l'origine des déchets.....	19
I.4.2.2. Classement selon la nature des déchets .....	20
I.5. Définition du déchet industriel.....	20
I.5.1. Les impacts des déchets industriels sur l'environnement .....	21

## ***Chapitre II : Matériaux et technique expérimentales***

II.1.1. Présentation de Maghreb pipe.....	24
II.1.2. Compositions de PRV .....	25
II.1.3. Les résines .....	26
II.1.4. Fibre de verre .....	26
II.1.5. Avantages du PRV .....	28
II.1.6. Applications .....	28
II.2. Matériaux utilisées .....	31
II.2.1. Caractérisation des matrices .....	31
II.2.2. Caractérisation des renforts .....	32
a) Les déchets.....	32
b) Fibre végétale.....	34
II.2.3. Méthodes et matérielle.....	36
II.2.3.1. Préparation des moules utilisées .....	36
II.2.3.2. Elaboration des éprouvettes.....	36
II.2.4. Infrarouge à transformée de fourier « IRTF » .....	40
II.2.5. Analyse thermogravimétrique l'ATG .....	41
II.2.6. Essai de flexion trois points.....	42

## ***Chapitre III : Résultats et discussion***

III.1. Analyse spectroscopique par infrarouge à transformé de Fourier (IRTF).....	45
III.2. Etude thermique par thermogravimétrie (ATG).....	46
III.3. Propriétés mécaniques.....	48
III.3.1 Matériaux composites à base d'un polyester insaturé (IP).....	48
a) Effet de la teneur en déchets de verre.....	48
b) Effet de la teneur en déchets de verre-sable.....	49
c) Effet de la teneur en mélange: déchets de verre sable et Alfa.....	50
III.3.2 Matériaux composites à base d'un polyester insaturé (OP).....	51
a) Effet de la teneur en déchets de verre.....	51
b) Effet de la teneur en déchets de verre-sable.....	52
IV.2. Appareil photo numérique .....	54
Conclusion générale.....	56
Annexe 1.	
Annexe 2.	

## *Liste des figures*

<b>Fig.1:</b> Représentation schématique d'un matériau composite.....	4
<b>Fig. 2 :</b> Classification de différentes familles de matrice.....	5
<b>Fig. 3 :</b> Classification de différents types de renforts.....	10
<b>Fig. 4 :</b> Différents types de fibres de verre.....	10
<b>Fig.5 :</b> Fibres naturelles.....	12
<b>Fig.6 :</b> Classification des fibres naturelles.....	12
<b>Fig. 7 :</b> Représentation de la chaîne de cellulose.....	14
<b>Fig.8 :</b> Principaux glucides constituant les hémicelluloses.....	15
<b>Fig.9:</b> Motifs élémentaires de la lignine.....	16
<b>Fig. 10 :</b> Plante et les fibres d'Alf.....	18
<b>Fig. 11 :</b> Classification de différents types des déchets.....	19
<b>Fig.12:</b> localisation de Maghreb pipe.....	24
<b>Fig.13:</b> composition de la paroi du tuyau.....	25
<b>Fig.14 :</b> Revêtement interne de tuyau.....	25
<b>Fig.15 :</b> Revêtement extérieur de tuyau.....	26
<b>Fig.16 :</b> les domaines d'application de PRV.....	30
<b>Fig.17 :</b> Obtention de poudre fibres de verre. ....	33
<b>Fig.18 :</b> Les étapes de préparation des déchets.....	34
<b>Fig.19:</b> Les différentes étapes de traitement chimique de la fibre Alfa.....	35
<b>Fig.20 :</b> Préparations des moules.....	36

<b>Fig.21</b> : Etapes d'élaboration des éprouvettes (déchet + résine).....	38
<b>Fig.22</b> : Etapes d'élaboration des éprouvettes (déchet + fibre végétale + résine).....	39
<b>Fig.23</b> : L'appareille d'IRTF.....	40
<b>Fig.24</b> : L'appareille de l'ATG.....	41
<b>Fig.25</b> : Essais de flexion à trois points sur de matériau composite étudié.....	42
<b>Fig.26</b> : Spectres IR des FDSIP, FDIP et FIP0.....	45
<b>Fig.27</b> : Spectres IR des FDSOP, FDOP et FOP0.....	46
<b>Fig.28</b> : Analyse thermogravimétrique de la résine FIP0.....	47
<b>Fig.29</b> : Analyse thermogravimétrique de la FDATIP.....	47
<b>Fig.30</b> : Courbes contrainte/déformation de composite FDIP.....	49
<b>Fig.31</b> : Evolution du module de Young de composite FDIP.....	47
<b>Fig.32</b> : Courbes contrainte/déformation de composite FDSIP.....	50
<b>Fig.33</b> : Evolution du module de Young de composite FDSIP.....	50
<b>Fig.34</b> : Courbes contrainte/déformation de composite FDATIP.....	51
<b>Fig.35</b> : Evolution du module de Young de composite FDATIP.....	51
<b>Fig.36</b> : Courbes contrainte/déformation de composite FDSOP.....	52
<b>Fig.37</b> : Evolution du module de Young de composite FDSOP.....	52
<b>Fig.38</b> : Courbes contrainte/déformation de composite FDOP.....	53
<b>Fig.39</b> : Evolution du module de Young de composite FDOP.....	53
<b>Fig.40</b> : micrographies optiques des surfaces de rupture en flexion de FDSOP et FDATIP.....	54

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau.1:</b> Principales caractéristiques mécaniques des résines polyestres.....	6
<b>Tableau.2:</b> Compositions des verres de type E, D et R.....	11
<b>Tableau .3:</b> Composition chimique de quelques fibres végétales.....	16
<b>Tableau .4:</b> Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales.....	17
<b>Tableau.5:</b> Quelques caractéristiques de la résine Isophtalique .....	31
<b>Tableau.6:</b> Quelques caractéristiques de la résine Orthophtalique.....	32
<b>Tableau.7 :</b> Les normes des éprouvettes utilisées.....	36
<b>Tableau.8:</b> La masse de chaque composante.....	37
<b>Tableau.9:</b> Principales bandes d'absorption infrarouge.....	46
<b>Tableau.10:</b> Valeurs des paramètres de dégradation thermique de FDATIP et FIP0.....	48

## *Liste des abréviations*

**ASTM** : American Society for Testing Material.

**ATG** : Analyse thermogravimétrique.

**CFW**: Continuous filament winding, Enroulement filamentaire continu0

**DFW**: Discontinuous filament winding, Enroulement filamentaire discontinu.

**FDATIP** : Eprouvette a base de Déchet avec sable et Alfa Traité Isophtaliquee Polyestre.

**FDIP** : Eprouvette a base de Déchet avec sable et Isophtaliquee Polyestre.

**FDOP** : Eprouvette a base de Déchet avec sable et Orthophtalique Polyestre.

**FDSIP** : Eprouvette a base de Déchet Sans sable et Isophtaliquee Polyestre.

**FDSOP** : Eprouvette a base de Déchet Sans sable et Orthophtalique Polyestre.

**IRFT** : Infrarouge à transformée de Fourier.

**IS**: Isophtalique polyester.

**OP**: Orthophtalique polyester.

**PRV** : Polyester Renforcé par fibre de Verre.

**TD** : Matrice Thermodurcissable.

**T<sub>a</sub>**: Température de début de décomposition.

**T<sub>dmax</sub>** : Température de décomposition maximale.

**TP** : Matrice Thermoplastique.

**TS** : Matrice Thermostable.

## *Liste des symboles*

**$\epsilon$** : Déformation (%)

**$b$** : largeur de l'éprouvette.

**$E$** : le module de YOUNG.

**$E$** : Module d'élasticité.

**$\sigma$** : Contrainte.

**$h$** : épaisseur de l'éprouvette.

**$L$** : la distance entre appuis.

**$l$** : Longueur finale de l'éprouvette.

**$l_0$** : Longueur initiale de l'éprouvette.

**$y$** : la flèche.

**$\epsilon_{rup}$** : la déformation à la rupture.

**$\sigma_{max}$** : la contrainte maximale.

**$F$** : l'effort à la rupture de l'éprouvette.

# *Introduction générale*

Depuis plusieurs décennies, l'utilisation des matériaux composites dans divers applications connaît un progrès considérable à cause des excellentes propriétés mécaniques de ce type de matériau par rapport au poids. Cette utilisation est plus croissante dans le domaine du transport et l'aéronautique où la légèreté est très demandée [1].

De nos jours les polymères renforcés par des fibres synthétiques sont présents dans la vie de chaque individu, ils sont utilisés dans plusieurs applications qu'il serait très difficile de s'en passer. Mais au delà de leurs nombreux atouts, ils génèrent des déchets volumineux qui posent d'énormes problématiques liées à leur traitement en fin de vie [2].

La problématique dans ces composites réside du fait que ceux-ci ne sont pas durables. Ils ont également un impact néfaste sur l'environnement pendant la fabrication et après leur utilisation finale, où les déchets solides générés ont un effet toxique sur le sol. Ces raisons augmentent l'importance des composites bio-sourcés et biodégradables.

La recherche mondiale actuelle encourage le développement de nouveaux matériaux composites renforcés de fibres végétales (bio-sourcé et biodégradables) dans différentes secteurs, pour maintenir la santé humaine et l'environnement.

La fibre naturelle est un type de sources renouvelables et une nouvelle génération de renforts et de suppléments pour les matériaux à base de polymères. Le développement des matériaux composites à base de fibres naturelles ou de composites écologiques a récemment été un sujet brûlant en raison de la sensibilisation mondiale croissante à l'environnement. Les fibres naturelles sont des matériaux qui peuvent remplacer les matériaux synthétiques et ses produits connexes pour les applications avec moins de poids et d'économie d'énergie.

Le développement des composites renforcés de fibres naturelles a été l'une des réalisations remarquables dans le domaine de la science des matériaux au cours du siècle dernier [3].

L'Algérie possède les capacités qui la qualifient pour être un pays leader dans l'utilisation de nombreux types de produits agricoles tels que la canne de blé, l'alfa et les fibres de palmier dattier qui peut être utilisé dans les produits composites biodégradables.

En Algérie Les déchets industriels sont souvent un problème et parfois brûlés comme moyen d'élimination. Ces déchets peuvent être utilisés comme charges (renforts en polymère ou ciment) pour développer les propriétés des matériaux bio-composites.

L'objectif de ce travail consiste à apporter une contribution à la valorisation des déchets industriels de l'entreprise « **MAGHREB PIPE** » dans la zone de la ville de M'sila. Dans ce contexte, nous avons pensé à l'utilisation deux types de déchets et matrices (Isophtalique et Orthophtalique), disponibles dans l'entreprise de « **MAGHREB PIPE** ».

Nous avons étudié particulièrement l'influence du différent pourcentage massique de déchets (déchets de verre, déchets de verre-sable et déchets de verre avec Alfa).

De plus, le comportement à la rupture de ce produit obtenu est aussi analysé pour déterminer la résistance et l'aptitude de tel matériau à la propagation de la fissure.

Notre mémoire comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre est une étude bibliographique sur les matériaux composites et une étude générale sur les déchets.
- Le deuxième chapitre, présentation générale sur MAGHREB PIPE où nous avons mené notre stage et les méthodes et les appareilles des essais mécaniques et les analyses du IRFT et ATG.
- Le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus avec des discussions.

Enfin une conclusion générale.

## ***Référence:***

[1] : Youcef Djebbloun, Mabrouk Hecini, Tarek Djoudi, and B. Guerira, "***Experimental determination of elastic modulus of elasticity and Poisson's coefficient of date palm tree fiber,***" *Journal of Natural Fibers*, published online, 11 Jan 2018.

[2] : M. B. H. Latifa, "***Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables,***" Thèse de doctorat, Université d'Oran 2, Algérie, 2016.

[3] : J. L. Toupe, "***Optimisation des propriétés mécaniques de composites à base de fibres naturelles: application à un composite de fibre de lin avec un mélange de polyéthylène/polypropylène d'origine post-consommation,***" Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada, 2015.

***Chapitre I :***  
***Généralité sur les***  
***matériaux composites***  
***et les déchets***

Dans ce chapitre nous présentons une description de matériau composite, et des différents constituants entrant dans la mise en forme de matériau composite en les regroupant par catégories (la matrice: résine polyester; le renfort: fiber de verre et fibre végétale), et on présente les principales caractéristiques de ces constituants.

Par la suite nous parlons en détail de fibres végétales.

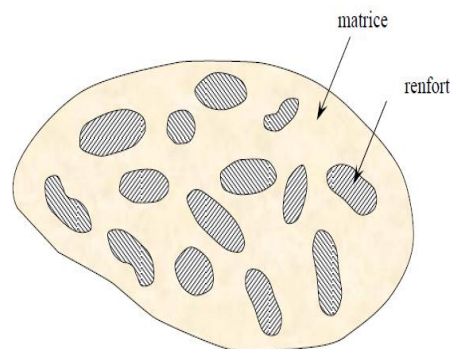
Enfin nous définissons les déchets et leurs origines et leurs caractéristiques ainsi que leurs différents types par la suite, nous décrivons les impacts de ces déchets industriels sur l'environnement (sur l'air, d'eau et de sol).

## ***1.1. Définition :***

Un matériau composite est défini comme étant un assemblage d'au moins deux constituants non miscibles, mais ayant chacun une forte capacité d'adaptation. Les qualités respectives des constituants se complètent pour former un matériau aux performances mécaniques, thermiques et/ou physico-chimiques améliorées. Il est possible de moduler les propriétés d'un composite en fonction du besoin spécifié. L'adaptabilité de ces matériaux en fait un atout majeur et les place en position concurrentielle des matériaux traditionnels (métaux, alliages, ...).

## ***1.2. Les constituants des matériaux composites :***

Un matériau composite est constitué d'un renfort et d'une matrice (Fig.1), L'importante diversité de renfort et de matrice permet de façonner les matériaux composites en fonction du besoin exprimé. L'amélioration des caractéristiques physicomécaniques de ces matériaux constitue une des clés de leur développement industriel. [1]



**Fig.1:** Représentation schématique d'un matériau composite. [1]

## 1.2.1. La matrice :

La matrice (aussi appelé résine) a pour rôles d'enrober les renforts produisant le lien entre ceux-ci. Elle transmet les efforts aux fibres et les répartit dans les différentes directions. De plus, la matrice protège les fibres des agressions extérieures et permet l'obtention de la forme désirée par un procédé de moulage [2].

La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la Fig. 2.

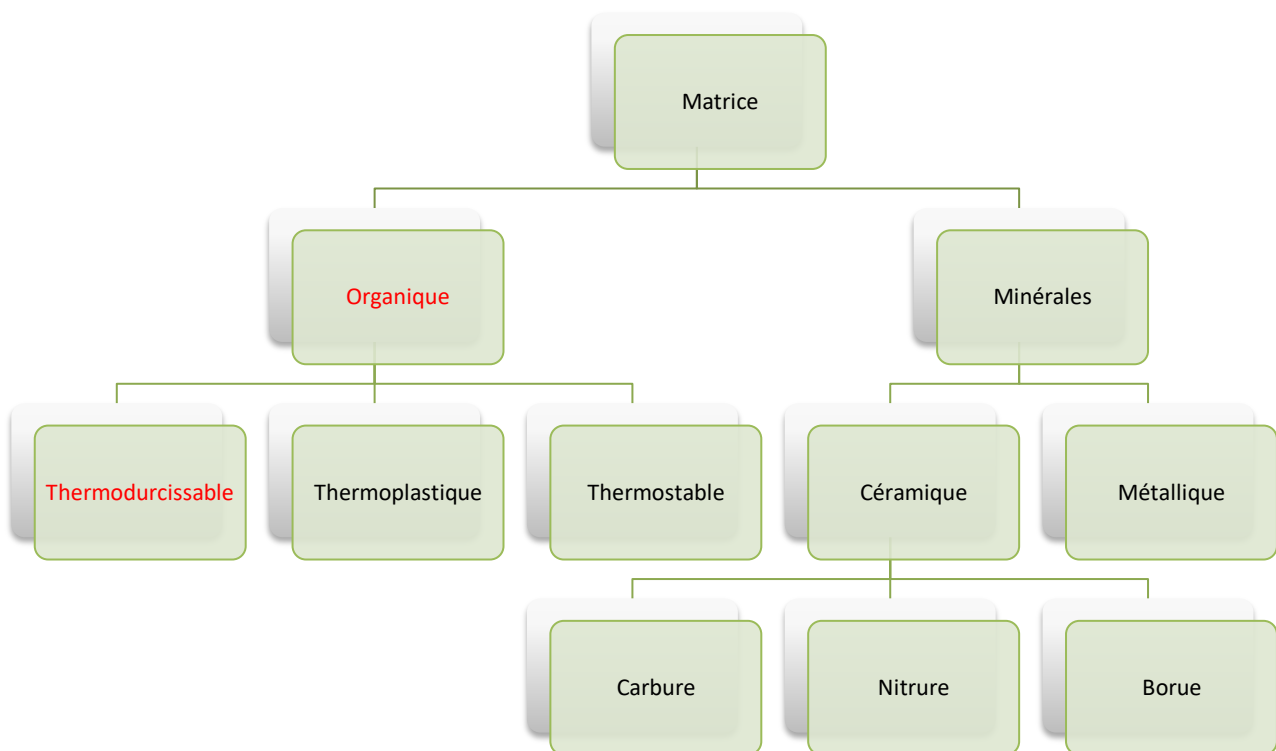


Fig. 2 : Classification de différentes familles de matrice. [3]

### 1.2.1.1. La matrice organique :

#### a) Les matrices thermodurcissables (TD) :

Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage :

- Les résines polyesters insaturées : polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques, etc.,
- Les résines de condensation : phénoliques, aminoplastes, etc.,
- Les résines époxydes.

- **Les résines polyesters :**

Les résines polyesters insaturées viennent de très loin en tête dans la mise en œuvre des matériaux composites. Leur développement est le résultat :

- d'un faible coût de production,
- de leur diversité offrant de multiples possibilités,
- d'une adaptation à des procédés de fabrication faciles à mettre en œuvre et à automatiser.

D'où un développement industriel sans cesse croissant.

Suivant leur module d'élasticité, les résines polyesters sont classées en :

- Résines souples.
- Résines semi-rigides.
- Résines rigides.

Les résines habituellement utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont du type rigide, et nous retiendrons pour ces résines durcies les caractéristiques suivantes :

**Tableau.1 :** Principales caractéristiques mécaniques des résines polyesters. [1]

Masse volumique ( $1200\text{kg/m}^3$ )	1 200
Module d'élasticité en traction (GPa)	2,8 à 3,5
Module d'élasticité en flexion (GPa)	3 à 4,5
Contrainte à la rupture en traction (MPa)	50 à 80
Contrainte à la rupture en flexion (MPa)	90 à 130
Allongement à la rupture en traction	2 à 5 %
Allongement à la rupture en flexion	7 à 9 %
Résistance en compression (MPa)	90 à 200
Résistance au cisaillement (MPa)	10 à 20
Température de fléchissement sous charge (1,8 MPa)	60 à 100 °C

Parmi les avantages des polyesters insaturés, nous retiendrons :

- une bonne rigidité résultant d'un module d'élasticité assez élevé,
- une bonne stabilité dimensionnelle,
- une bonne mouillabilité des fibres et des tissus,
- la facilité de mise en œuvre,

- une bonne tenue chimique,
- un faible coût de production,
- une bonne résistance chimique aux hydrocarbures (essence, fuel, etc.) à température ambiante, etc.

Parmi les inconvénients, nous noterons :

- une tenue médiocre en température : inférieure à 120 °C en service continu,
- une sensibilité à la fissuration, essentiellement dans le cas de chocs,
- un retrait important de l'ordre de 8 à 10 %,
- un mauvais comportement à la vapeur, à l'eau bouillante avec risque d'hydrolyse, d'où la nécessité de recouvrir les matériaux composites à résines polyesters d'une couche de "gel-coat" de manière à les rendre étanches,
- une dégradation à la lumière par les rayons ultraviolets,
- une inflammabilité.

- **Les résines de condensation :**

Les résines de condensation comportent les résines phénoliques et les aminoplastes.

- ✓ Les *résines phénoliques* : sont les plus anciennes des résines thermodurcissables dont la plus connue est la bakélite.

Parmi les avantages, nous citerons :

- une excellente stabilité dimensionnelle,
- une bonne tenue à la chaleur et au fluage,
- une bonne résistance aux agents chimiques,
- un faible retrait,
- de bonnes caractéristiques mécaniques,
- un faible coût.

Parmi les inconvénients, nous noterons :

- une mise en œuvre sous pression, donc à faibles cadences,
- les couleurs foncées des résines,
- une non adaptation à des utilisations alimentaires.

- ✓ Les caractéristiques des *résines aminoplastes* sont voisines de celles des résines phénoliques. Aux avantages de ces résines, il faut ajouter :

- la possibilité d'utilisations alimentaires,
- la possibilité de colorer les résines.

- **Les résines époxydes :**

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que de l'ordre de 5 % du marché composite, à cause de leur prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters).

Parmi les avantages des résines époxydes, nous retiendrons :

- de bonnes propriétés mécaniques (en traction, flexion, compression, choc, fluage, etc.) supérieures à celles des polyesters,
- une bonne tenue aux températures élevées : jusqu'à 150 °C à 190 °C en continu;
- une excellente résistance chimique,
- un faible retrait au moulage (de 0,5 à 1 %),
- une très bonne mouillabilité des renforts,
- une excellente adhérence aux matériaux métalliques.

Parmi les inconvénients, nous citerons :

- un temps de polymérisation long,
- un coût élevé,
- la nécessité de prendre des précautions lors de la mise en œuvre,
- une sensibilité à la fissuration.

### **b) Les matrices thermoplastiques (TP) :**

La famille des résines thermoplastiques (on parle de "plastiques") est très vaste, et peut être séparée en plastiques de grande diffusion et plastiques techniques (ou technopolymères).

Les plastiques de grande diffusion sont mis en œuvre soit par injection pour obtenir des objets moulés, soit par extrusion pour obtenir des films, des plaques, des tubes, des profilés, etc. Les plastiques techniques sont généralement mis en œuvre par injection.

Parmi les résines thermoplastiques, nous citerons : le polychlorure de vinyle, le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le polyamide, le polycarbonate, etc. L'intérêt des thermoplastiques réside dans leur faible coût, résultant à la fois de matières premières disponibles et des procédés de fabrication (injection, extrusion). Toutefois, ce faible coût est lié à des propriétés mécaniques et thermomécaniques faibles.

### ***c) Les matrices thermostables (TS):***

Les résines thermostables se distinguent des autres résines, précédemment considérées, essentiellement par leurs performances thermiques qui conservent leurs propriétés mécaniques pour des températures plus élevées que 200°C.

Dans la pratique nous retrouvons pour ces résines les deux grandes familles des résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Les résines thermostables sont développées surtout dans les domaines de l'aviation et de l'espace, où les laboratoires cherchent à mettre au point de nouvelles résines. Parmi les résines thermostables, les résines bismaléimides et polyimides sont les plus utilisées.

Les résines bismaléimides sont des résines dont le réseau est élaboré à des températures de 180 à 200°C. Les procédés de moulage sont identiques à ceux des composites à matrice thermodurcissable de type polyester ou époxyde.

Les résines polyimides sont apparues sur le marché vers 1970. Ce sont des résines à haute résistance thermique, mais de prix très élevé. Ces résines permettent d'obtenir des composites de résistance supérieure, à 250 °C, à la résistance de l'aluminium. [1]

### ***1.2.1.2. La matrice minérale :***

#### ***a) la matrice céramique :***

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils sont utilisés pour la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé.

#### ***b) la matrice métallique :***

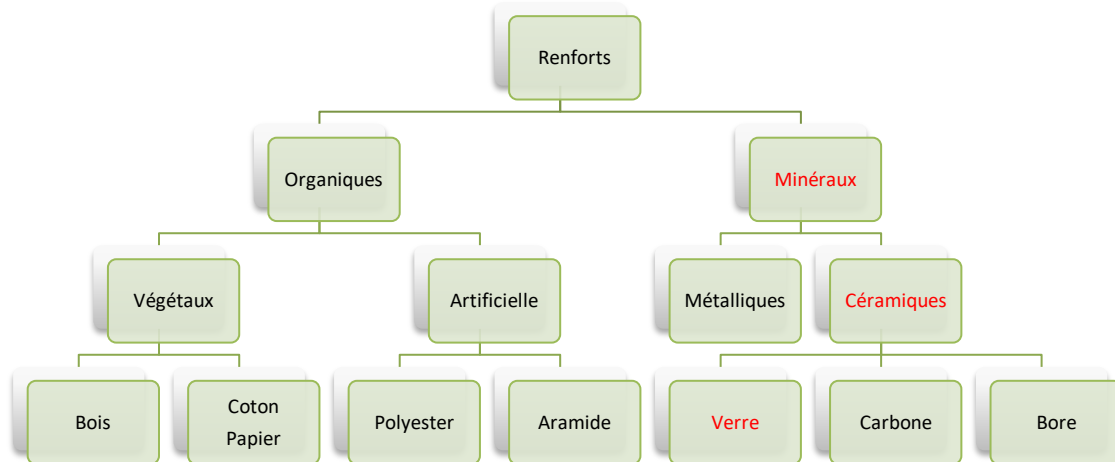
Les composites à matrice métallique possèdent une bonne tenue en température ainsi que de bonnes propriétés électrique et thermique. Par rapport aux métaux, ils ont une meilleure stabilité dimensionnelle, ainsi qu'une meilleure résistance à l'usure. [4]

### ***1.2.2 Les renforts :***

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques).

## 1.2.2.1. Différents types de renforts :

Il y a différents type de renfort (Fig.3)



**Fig. 3 :** Classification de différents types de renforts. [5]

### a) Fibre de verre :

Elles constituent le renfort essentiel des composites de grande diffusion (Fig.4). Elle est obtenue à partir de sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore). [7]

On distingue trois types de fibres :

- E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes.
- R : pour les composites hautes performances.
- D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).



a – Roving de verre



b – Tissu de verre



c – Mat de verre

**Fig. 4 :** Différents types de fibres de verre (documentation Ahlstrom)

**Tableau.2 :** Compositions des verres de type E, D et R. [1]

Constituants		Composition en masse (%)		
		Verre E	Verre D	Verre R
Silice	SiO <sub>2</sub>	53-54	73-74	60
Alumine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14-15.5		25
Chaux	CaO	}20-24	} 0.5-0.6	9
Magnésie	MgO			6
Oxyde de bore	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.5-9		
Fluor	F	0-0.7	22-23	
Oxyde de fer	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	} <1		
Oxyde de titane	TiO <sub>2</sub>		0.1-0.2	
Oxyde de sodium	Na <sub>2</sub> O	} <1		1.3
Oxyde de potassium	K <sub>2</sub> O		1.5	

**b) Fibre de carbone :**

C'est la fibre la plus utilisées dans les applications hautes performances. Elle est obtenue par carbonisation de la fibre de PAN (Polyacrylonitrile).

Selon la température de combustion, on distingue deux types de fibres:

- fibres haute résistance (HR) : pour une combustion de 1000 à 1500 °C.
- fibres haut module (HM) : pour une température de combustion de 1800 à 2000 °C.

**c) 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:

- la fibre basse module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles.
- la fibre haute module : employées dans le renforcement pour les composites hautes performances.

**d) Fibre 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.

**e) Fibres de polyéthylène de haut module :**

Elles présentent une très bonne résistance à la traction mais une mauvaise mouillabilité. Pour des structures peu sollicités, on peut encore utiliser des fibres synthétiques courantes de polyamide ou polyester. [6]

## f) *Fibres naturelles* :

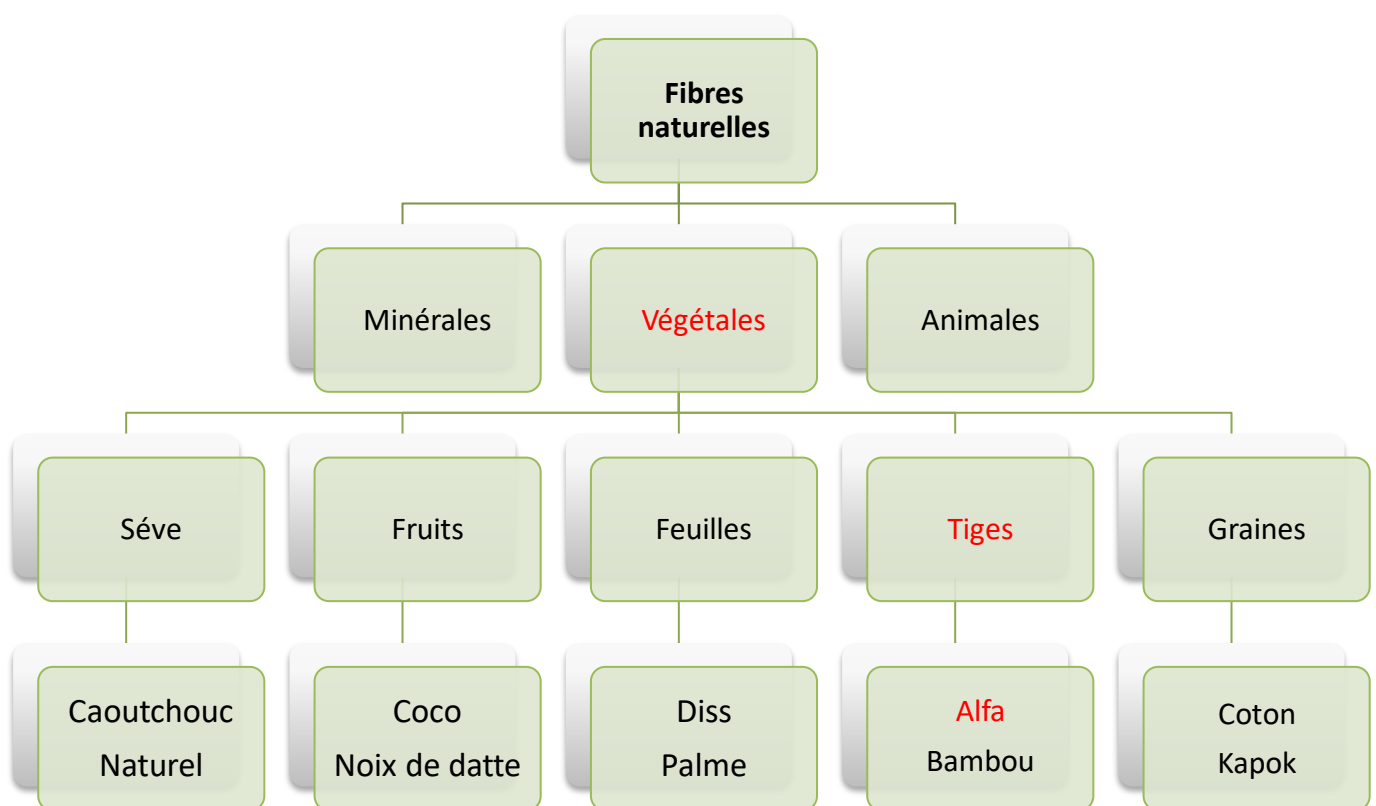
Les fibres naturelles telles que le lin, le coton... etc, commencent à être utilisées de plus en plus souvent comme fibres de renfort dans les composites (Fig.5). C'est surtout dans le secteur automobile et la construction (profilés de portes et de fenêtres, bardages etc.), plus écologique et faible cout. [7]



**Fig.5** : Fibres naturelles.

- **Classification des fibres naturelles** :

Les fibres végétales sont classées en trois groupes (Fig.6).



**Fig.6** : Classification des fibres naturelles. [8]

### ***1.3. Fibres végétales:***

#### ***1.3.1. Définition de fibre végétale:***

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales.

Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante.

#### ***1.3.2. Classification des fibres végétales:***

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres:

suyant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges ( jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abace, paille de graminée) .[9]

Suyant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin). [10]

Suyant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. Et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues. [9]

#### ***1.3.3. La composition chimique d'une fibre végétale :***

La composition chimique varie d'une plante à une autre et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante, des conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée. [11]

Les différents constituants des fibres végétales sont :

##### **• La Cellulose :**

L'existence de la cellulose comme matériau commun dans les parois cellulaires végétales était d'abord découverte par Anselm Payen en 1838. [12]

La cellulose représente la molécule biologique la plus abondante sur terre. D'un point de vue chimique, la cellulose est une macromolécule constituée par une très

longue chaîne stéréo-régulière composée de maillons de glucose  $C_6H_{12}O_6$  (Fig 7).

La cellulose possède une structure fibrillaire et partiellement cristalline. Les microfibrilles de cellulose sont constituées de zones cristallines ordonnées et de zones amorphes totalement désordonnées.

Dans la zone cristalline, les chaînes cellulosiques sont disposées parallèlement les unes aux autres, liées par des liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires. Toutes les propriétés de la cellulose sont étroitement corrélées à la forte densité des liaisons hydrogène qui se développent entre les chaînes. Les interactions moléculaires sont fortes et assurent l'essentiel de la cohésion tout en empêchant la pénétration des réactifs. Grâce à sa grande cohésion, la cellulose est insoluble dans la plupart des solvants. La cellulose est de nature très hydrophile. [13]

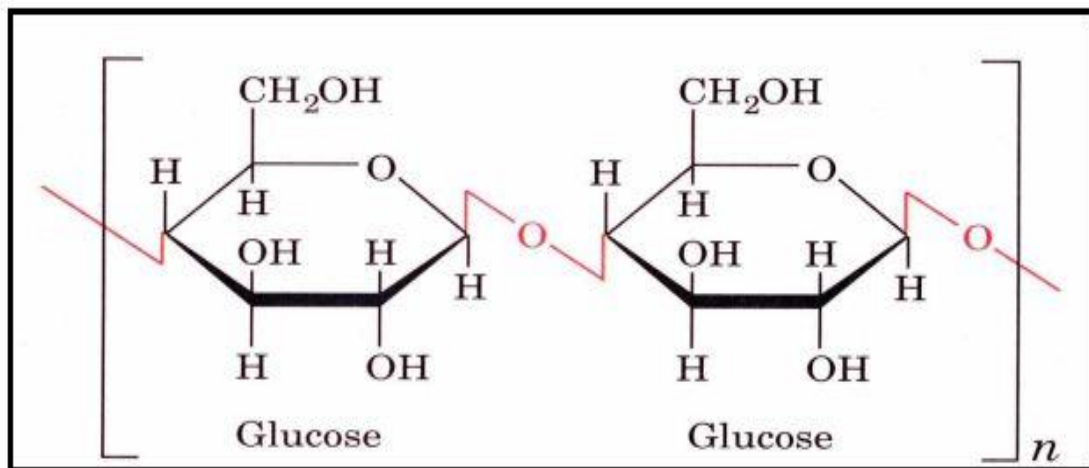


Fig. 7 : Représentation de la chaîne de cellulose. [14]

### • *Hémicellulose* :

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides. Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels, leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300. La figure 8 montre les unités monosaccharidiques les plus représentatives des différentes familles d'hémicelluloses. Ce sont des polysaccharides dont la chaîne principale linéaire est constituée respectivement de xylose, de mannose et de galactose. [15]

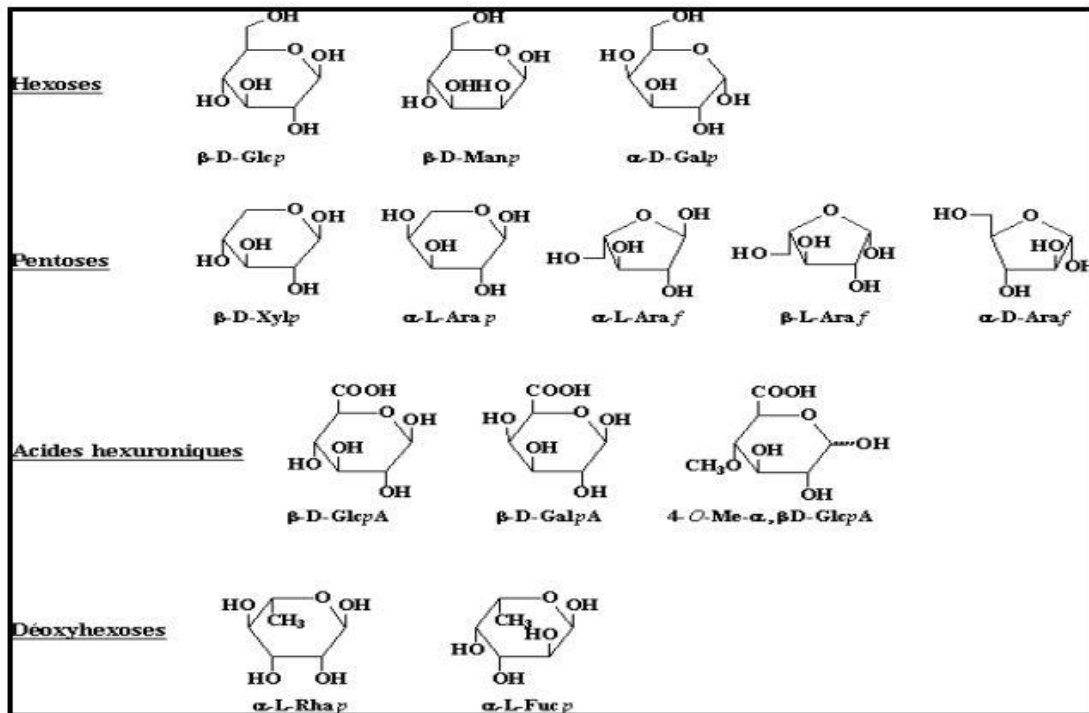


Fig.8 : Principaux glucides constituant les hémicelluloses. [15]

• **Lignine :**

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable et la plus abondante à la surface terrestre. La lignine originelle ou "protolignine" constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales. C'est la matière "incrustante" de la cellulose. La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes de type pénylopropane : les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique. [16]

Parce qu'il est impossible d'isoler la lignine native du bois sans la dégrader, sa masse moléculaire reste encore inconnue. Nous pouvons trouver des masses moléculaires approximatives dont les valeurs moyennes sont de 5000 à 10000 g/mol pour les bois durs (des feuillus), et de 20000 g/mol pour les bois tendres (des résineux). La figure 9 présentes les motifs élémentaires de la lignine.

La lignine est peu sensible à la dégradation biologique et contribue à la protection naturelle des végétaux contre certaines attaques parasites.[17]

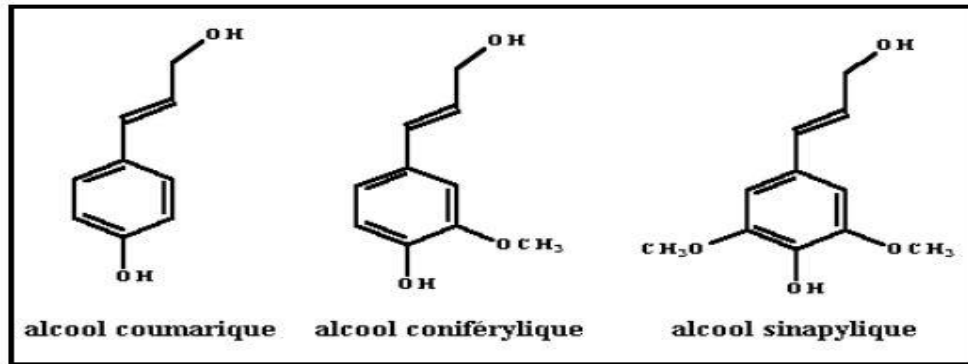


Fig.9: Motifs élémentaires de la lignine. [17]

### 1.3.4. Propriétés usuelles des fibres végétales:

#### 1.3.4.1. Propriétés physiques des fibres végétales :

Généralement une fibre végétale est caractérisée par son diamètre, sa densité, son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau.

#### 1.3.4.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales :

Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité. [18]

#### 1.3.4.3. Propriétés chimiques des fibres végétales:

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique (Tableau.3) qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins. [18]

Tableau .3 : Composition chimique de quelques fibres végétales. [19]

Fibres naturelles	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Pectine %	Graisses %	Eau %	Angle de Microfibrille (°)
Chanvre	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	6.2-12	2-6.2
Lin	71	18.6-20.6	2.2	2.3	1.7	8-12	5-10
Jute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	0.5	12.5-13.7	8
Coton	85-90	5.7	-	0-1	0.6	7.85-8.5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
Ramie	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	7.5-17	0.3	7.5
Kenaf	45-57	21.5	8-13	3-5	-	-	-

***1.3.5. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites:***

Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel qui est indiquées dans le (Tableau.4) ci-dessous. ..

**Tableau .4:** Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales. [20]

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Faible cout	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de CO <sub>2</sub>	Mauvaise tenue en vieillissement
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue thermique (200 à 230°C max)
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo.....
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité,....)	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

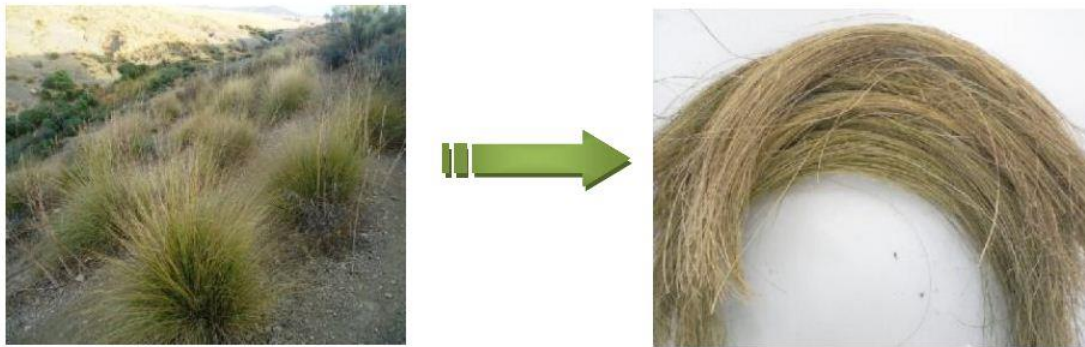
- **Fibres d'Alfa:**

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête (Figure .10). La fibre d'alfa est généralement employée dans la fabrication du papier de haute qualité mais aussi utilisée pour la fabrication de cordages, d'espadrilles, de tissus grossier, tapis et panier. Les principaux producteurs sont : Algérie (4.000.000 ha), Maroc (3.186.000 ha), Tunisie (600.000 ha), Lybie (350.000 ha) et Espagne (300.000 ha). [21]

***Nomenclature botanique***

Nom vulgaire : L'alfa, en anglais Esparto ;

Nom scientifique : *Stipa Tenacissima* L ;



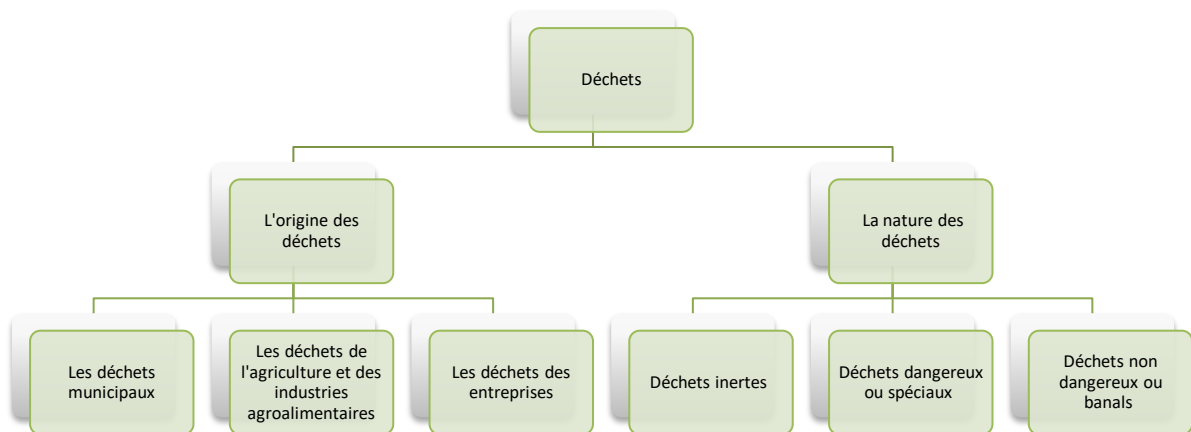
**Fig. 10** : Plante et les fibres d'Alfa.

## ***1.4.1. Définition d'un déchet :***

Selon la loi 28.00 relative à la gestion des déchets et leur élimination, un déchet est tout résidu résultant d'un processus d'extraction, exploitation, transformation, production, consommation, utilisation, contrôle ou filtration et d'une manière générale, tout objet et matière abandonnée ou que le détenteur doit éliminer pour ne pas porter atteinte à la santé, à la salubrité publique et à l'environnement. [22]

## ***1.4.2. La classification des déchets :***

On peut classer les déchets selon leur origine et leur nature (Fig.11).



**Fig. 11 :** Classification de différents types des déchets.

### ***1.4.2.1. Classement selon l'origine des déchets:***

- ***Les déchets municipaux :*** Ils comportent ;
  - ✓ les déchets ménagers : constitués pour l'essentiel d'ordures ménagères auxquelles s'ajoutent les déchets de jardinage, de bricolage, les encombrants, les déchets liés à l'usage de l'automobile, les déchets ménagers spéciaux (aérosols, acides, peintures, vernis, piles, etc.) ;
  - ✓ les déchets des collectivités : déchets du nettoyage, déchets des espaces verts publics, déchets de l'assainissement public (boues de station d'épuration des eaux usées, boues de curage d'égouts) ;
  - ✓ Les déchets d'origine commerciale ou artisanale assimilables aux ordures ménagères.

- **Les déchets des entreprises** : Il s'agit des déchets produits par les entreprises Industrielles, commerciales et artisanales. Ils comprennent des matériaux de natures divers (déchets de fabrication, emballages vides, sous-produits de production, etc....). Ils sont 5 souvent classés dans trois grandes catégories : déchets inertes, déchets banals (assimilables aux ordures ménagères) et déchets dangereux.
- **Les déchets de l'agriculture et des industries agroalimentaires** : Ils sont Composés de déchets essentiellement organiques, les autres déchets (films plastiques, emballages, etc.).
- **Les déchets d'activités de soin** : Souvent dénommés de façon réductrice "Déchets Hospitaliers ", ces déchets comprennent les déchets des établissements de soins ou déchets hospitaliers et les déchets des laboratoires médicaux. [23]

### ***1.4.2.2. Classement selon la nature des déchets :***

- **Déchets non dangereux ou banals** : Déchets non toxiques souvent assimilés Aux ordures ménagères qui proviennent de l'ensemble des activités économiques.
- **Déchets dangereux ou spéciaux** : Déchets qui peuvent générer des nuisances Pour l'homme ou l'environnement.
- **Déchets inertes** : Déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne Produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables.

### ***1.5. Définition du déchet industriel :***

Les déchets industriels sont typiquement les déchets générés par les entreprises appartenant à différents secteurs d'activités économiques tels que les industries manufacturiers, la construction, les services et l'agriculture.

Pour les industriels, le caractère de déchet est bien souvent lié à une valeur commerciale nulle ou négative, le déchet à valeur commerciale positive n'étant plus considéré comme déchet, ce qui induit une perception différente de celle des autorités compétentes.

La diversité des origines explique la nature et les caractéristiques très diverses des déchets qui constituent ce gisement. Ils peuvent être soit dangereux, soit non dangereux ou encore inertes. Cette diversité induit une multiplicité dans les traitements susceptibles d'être appliqués. [24]

### ***1.5.1. Les impacts des déchets industriels sur l'environnement :***

Les déchets industriels peuvent avoir des conséquences très néfastes pour l'environnement s'ils sont mal gérés. Leurs impacts sur l'air, l'eau et le sol ne sont pas négligeables.

- ***L'impact sur la pollution de l'air :*** (pollution atmosphérique). Les Décharges contiennent une large variété de déchets leur mélange (surtout entre déchets organiques et de l'eau) provoque l'apparition de méthane, un gaz à effet de serre.
- ***L'impact sur la pollution du sol :*** Elle est une préoccupation mineure par rapport à celle de l'eau et de l'air, et pourtant c'est un problème majeur. Aujourd'hui on estime que 70% des déchets sont enfouis, notamment les déchets nucléaires. Cela provoque l'érosion et la contamination des sols.
- ***L'impact sur la pollution de l'eau :*** Chaque année plus de six millions de tonnes de déchets différents sont rejetés dans les océans. La contamination des espèces aquatiques qui s'ensuit peut devenir dangereuse pour les réseaux trophiques. Les déchets biodégradables réagissent avec la pluie, provoquant ensuite des pluies acides qui polluent les rivières et les océans. Les rejets de déchets industriels dans des fleuves, rivières ou mers constituent évidemment une source plus directe de pollution de l'eau. Les industriels laissent ainsi les solvants, les produits chimiques et, en règle générale, les résidus 6 industriels dangereux utilisés dans l'industrie, se déverser dans les cours d'eau et la mer, sans se donner les moyens de contrôler le taux de pollution de l'eau. [25]

### **Référence :**

- [1]: Jean-Marie Berthelot " **Mécanique des Matériaux et Structures Composites** " Imprimé en France par Jean-Marie Berthelot ; Les Clousures, Chemin des Horts 05290 Vallouise Septembre 2013.
- [2]: Anh Dung Ngo, « **introduction sur les matériaux composites** », Ecole de technologie supérieure Montréal, Canada, 2013.
- [3]: Laurent Gornet, « **généralité sur les matériaux composites** », école centrale Nantes, France, 2011.
- [4]: Marianne le Troedec, « **caractérisation des interactions physico-chimique dans un matériau composite à base phyllosilicates, de chaux et de fibres cellulosiques** », thèse doctorat école science et technologies, université de Limoges, décembre 2009.
- [5]: A. AL-Maghribi, Comportement des matériaux composites à fibres courtes : applications à l'impact basse vitesse, thèse de doctorat, l'université Paul Sabatier, 2008
- [6]: CARMA, « **Glossaire des matériaux composites** », centre d'animation régional en matériaux avances, Décembre 2006.
- [7]: Christophe Paris, « **étude et modalisation de la polymérisation dynamique de composites à matrice thermodurcissable** », thèse de doctorat de l'université de Toulouse, novembre 2011.
- [8]: **R. Casey et C. Grove** « Fibers », Journal of Industrial & Engineering Chemistry, 39(10), pp.1213-1215 (October 1947)
- [9]: A. Y. Nenonene, " **Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage** ", thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.
- [10]: F. Michaud, " **Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage** " thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [11]: Mohamed Dallel, « **évaluation du potentiel textile des fibres halfa, caractéristique physico-chimique de la fibre au fil** », thèse doctorat, université de haute Alsace-Mulhouse, France, 2012.
- [12]: J. Biagiotti, D. Puglia, and J. M. Kenny, " **A review on natural fibre-based composites-part I: structure, processing and properties of vegetable fibres,** " *Journal of Natural Fibers*, vol. 1, pp. 37-68, 2004.

- [13]: M. Ragoubi, "*Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne*," Thèse de doctorat, Nancy 1, 2010.
- [14]: N.Joly, "*synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenues par acylation et réticulation de la cellulose* », thèse doctorat de l'université de Limoges, chimie des substances Naturelles, 2003.
- [15]: D, Hatsch, « *Interaction hôte/pathogène : étude du modèle Cumulus lupulus Fusarium graminearum. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène*, » thèse de doctorat de l'université de Louis Pasteur Strasbourg I, Sciences du Vivant – Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie.2004.
- [16]: S, Thiebaud, « *Valorisation chimique de composés lignocellulosiques : obtention de nouveaux matériaux* », thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, Sciences des Agroressources, 1995.
- [17]: C Couhert. Pyrolyse flash à haute température de la biomasse lignocellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse”, Thèse de pour obtenir le de Doctorat de l'Ecole des Mines de Paris Energétique.2007.
- [18]: Moktari Abdessamed, « *influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier* », université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [19]: Sofien Bouzouita, « *optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel* », thèse doctorat, école centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- [20]: CARMA, « *Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable* », centre d'animation régional en matériaux avances, Décembre 2006.
- [21]: D. Hammiche, A. Boukerrou, H. Djidjelli, A. Kervoëlen, and Y. Grohens, "*Étude des propriétés physico-chimiques, thermiques et mécaniques des fibres d'alfa*," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 25, pp. 7-24, 2015.
- [22] : ELHAFIANE Siham « *Gestion des déchets solides au niveau de la Commune Urbaine d'Agadir et leur impact sur le milieu naturel* » Faculté des sciences techniques Marrakech.année 2011-2012
- [23] : Guide régional des déchets dangereux, rapport 2007.
- [24] : <http://environnement.wallonie.be/eew2000/dechets/5dec52.htm>
- [25] : Léon crambade « *vers une meilleure gestion des déchets industriels commission de développement durable* ». Année 2012.

*Chapitre II:*  
*Matériaux et*  
*technique*  
*expérimentales*

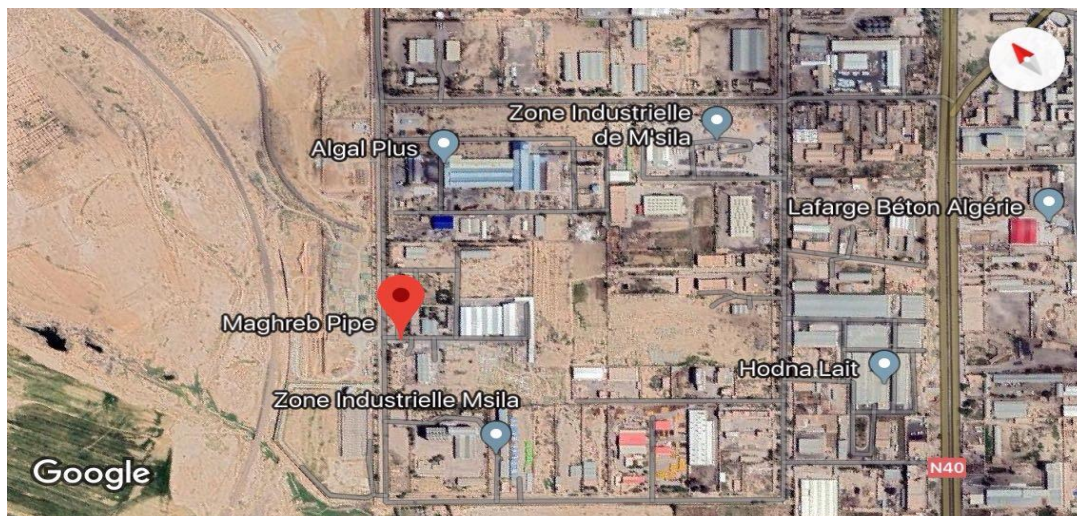
Cette chapitre divisée par deux partie, dans la première partie on présentées l'entreprise de notre stage « MAGHREB PIPE » et la deuxième partie présente l'ensemble des techniques et méthodes mise en œuvre pour la caractérisation des fibres et les composites élaborés.

### ***II.1.1. Présentation de MAGHREB PIPE :***

Créée en 2004, MAGHREB PIPE Industries a pour objet social la fabrication et la commercialisation de systèmes de canalisation en PRV.

L'usine de M'Sila, opérationnelle depuis Septembre 2009, présente les caractéristiques suivantes :

- ***Localisation*** : Zone industrielle de M'Sila (fig 12).
- ***Superficie*** : 03 ha 64 a 43 ca.
- ***Effectifs*** : 200 cadres et travailleurs.
- ***Capacité de production*** : 30.000 T/an, soit près de 500 km.
- ***Gamme de produits*** : Tuyaux, raccords et pièces spéciales.

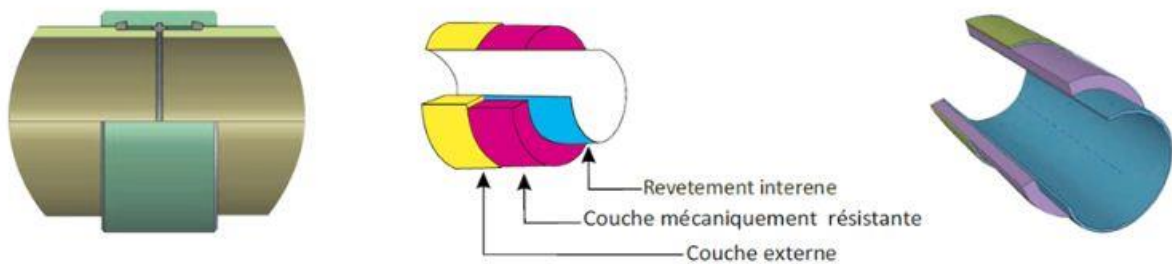


***Fig.12:*** localisation de MAGHREB PIPE.

### II.1.2. Compositions de PRV :

- **Composition de la paroi du tuyau :**

La paroi du tuyau PRV se compose de trois couches parfaitement adhérentes l'une à l'autre, chacune ayant différentes caractéristiques et propriétés en rapport à sa fonction. Différents renforcements et résines peuvent être employés dans chaque couche (fig.13).

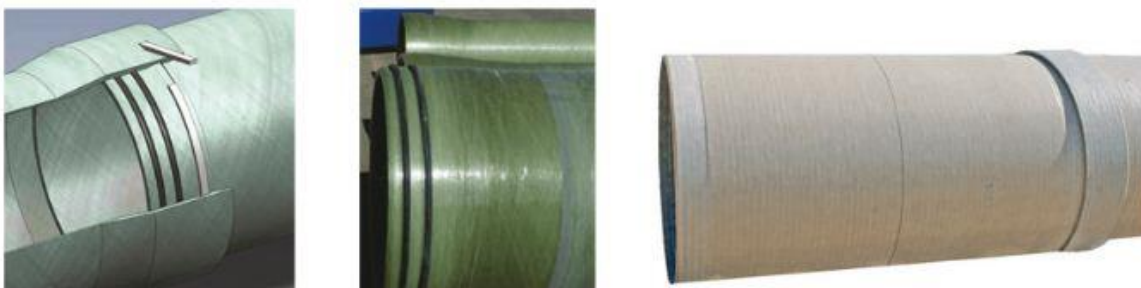


**Fig.13:** composition de la paroi du tuyau.

- **Revêtement interne :**

Le revêtement ou la couche chimiquement résistante est la couche interne de la tuyauterie ; elle est en contact direct avec le fluide transporté (fig.14). Cette couche a pour fonction de garantir la résistance maximum à la corrosion chimique et l'imperméabilité de tout le tuyau grâce à:

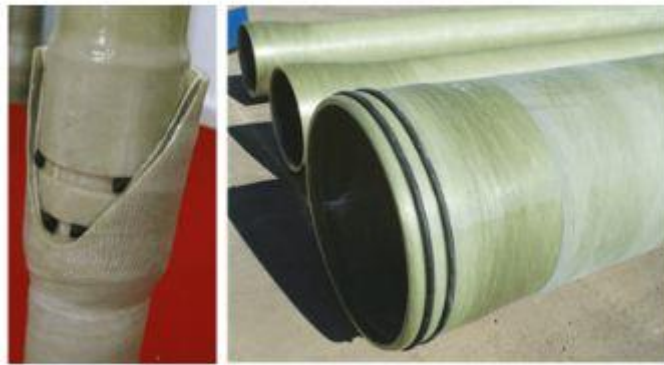
- Une teneur plus élevée en résine,
- Un genre spécial de résine utilisé,
- Un genre spécial de renforcement de verre utilisé.



**Fig.14 :** Revêtement interne de tuyau.

#### **Revêtement extérieur :**

La couche de finition est la couche externe du tuyau, elle a une épaisseur minimum de 0.2 ÷ 0.3 millimètre ou plus selon la spécification de la conception. Le revêtement extérieur peut avoir également un pigment blanc ou de couleur, sur demande (fig.15).



*Fig.15* : Revêtement extérieur de tuyau.

### ***II.1.3. Les résines :***

Maghreb Pipe Industries emploie habituellement trois types de résine :

- Polyester isophtalique
- Polyester orthophtalique
- Vinylester

Les résines ci-dessus présentent plusieurs caractéristiques intéressantes telles que :

- Durcissement à température ambiante
- Propriétés mécaniques élevés
- Inertie chimique
- Liaison très forte avec les fibres de verre.

La résine isophtalique et le résine orthophtalique ont une température de service maximum de 50° C environ. La résine d'ester de vinyle (Vinylester) combine une inertie chimique très bonne et des propriétés mécaniques élevées dans les stratifiés.

Les propriétés des résines sont mesurées chaque fois qu'il est nécessaire groupe simple selon le contrôle de qualité interne de Maghreb Pipe Industries et le plan d'inspection

### ***II.1.4. Fibre de verre :***

Les renforcements de verre sont faits à partir de deux types différents de composition de verre:

- Le verre « C » qui assure d'excellentes propriétés d'inerties chimique contre la corrosion chimique.

- Le verre « E » a une résistance mécanique très élevée. Les renforcements de verre indiqués par Maghreb Pipe Industries se composent de :
  - Voiles de surfaçage de verre « C », utilisés comme renforcement pour le premier pli du stratifié
  - Mats de fils coupés de verre « E », utilisés pour des opérations de moulage à la main telles que la fabrication des raccords
  - Stratifiés continus de verre « E » à enrouler, employés dans opérations d'enroulement pour obtenir des structures anisotropes où la distribution de la résistance mécanique dépend de l'orientation des fibres continues.
  - Stratifiés tissés, utilisés dans les opérations de moulage à la main en alternant des couches de stratifiés tissés avec des couches de mats pour améliorer la force mécanique du stratifié.

Le mélange résine-silice présente des propriétés mécaniques très élevés, ainsi qu'une bonne compatibilité avec des autres constituants.

Les tuyaux Maghreb Pipe Industries sont fabriqués selon deux procédés de fabrication :

- ***Enroulement filamentaire continu :***

Ce procédé utilise un mandrin de reformation sur lequel le tuyau de fibre de verre est fabriqué sans interruption pour être coupé à la longueur exigée (habituellement 12 m).

La résine, les fibres de verre coupées, le sable de grande pureté et les stratifiés continus et tendus sont appliqués dans des rapports prédéterminés afin de donner au tuyau les propriétés requises.

Les caractéristiques principales de ce procédé sont les suivantes :

- Assemblage par manchon
- Extrémités lisses

Les tuyaux fabriqués par enroulement filamentaire continu sont utilisés pour :

- L'écoulement gravitaire et les basses et moyennes pressions
- Les applications souterraines

- ***Enroulement filamentaire discontinu :***

Ce procédé fabrique des tuyaux en fibre de verre dans des longueurs standard (habituellement 12 m), sur un mandrin rotatif. En ajustant les vitesses relatives de rotation du mandrin et le mouvement de la tête de distribution du verre, le tuyau hélicoïdalement renforcé est formé. L'ajustement du rapport des matières premières, qui peut inclure un sable de silice de grande pureté, peut également charger les propriétés du tuyau.

Les caractéristiques principales de ce procédé sont les suivantes :

- Assemblage par tulipe et bout-uni
- Extrémités à tulipe et bout-uni monolithiques avec la paroi du tuyau en l'angle d'enroulement, des caractéristiques différentes d'axe et de bandage peuvent être obtenues.

*Les tuyaux fabriqués par enroulement filamentaire discontinu sont utilisés pour :*

1. L'écoulement gravitaire et les moyennes et hautes pressions.
2. Toutes applications souterraines et en surface.

### ***II.1.5. Avantages du PRV :***

Les propriétés chimiques, mécaniques, du PRV dépendent du type et de la qualité des matières premières utilisées ainsi que de la technologie employée pour le traitement du stratifié. Le système de canalisation PRV présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Résistance à la corrosion.
- ✓ Rapport résistance-poids.
- ✓ Poids léger.
- ✓ Propriétés électriques.
- ✓ Stabilité dimensionnelle.
- ✓ Un matériau flexible.
- ✓ Résistance chimique.
- ✓ Haute technologie de fabrication des tuyaux.

### ***II.1.6. Applications :***

**Maghreb Pipe Industries** fabrique et livre des systèmes de tuyaux PRV pour des applications dans les domaines suivants :

- Distribution de l'eau urbaine et industrielle ;
- Réseaux d'égouts urbains et industriels ;
- Transport d'eaux brutes ;
- Réseaux d'irrigation ;
- Réseaux de drainage ;
- Prises d'eau pour les systèmes d'eau de refroidissement ;
- Décharges des eaux résiduaires vers la mer ;
- Conduite marine et franchissements de fleuves ;
- Lignes de procédés pour les usines industrielles ;
- Réseaux de lutte anti-incendie ;
- Conduites forcées ;
- Désulfuration des gaz de combustion ;
- Réseau de manutention et de distribution d'essence ;
- Cheminée de gaz de combustion.



**Fig.16** : les domaines d'application de PRV.[1]

**II.2. Matériaux utilisées :****II.2.1. Caractérisation des matrices:**

Les résines utilisées dans ce projet sont :

- **Isophtalique** : est une résine polyester insaturé, pré-accélérée et thixotrope qui présente une excellente résistance à l'hydrolyse. La résine dispose d'un révélateur de catalyse.

➤ **Propriétés et avantages :**

<b>Propriétés</b>	<b>Avantages</b>
Mouillabilité accrue	Imprégnation rapide du renfort
Longue chaîne polymère	Excellente tenue à l'hydrolyse
Grande flexibilité	Excellente résistance à l'impact
Révélateur de catalyse	Sécurité quant à la présence de catalyseur

**Tableau.5 :** Quelques caractéristiques de la résine Isophtalique (Annexes 1) :

<b>Caractéristique</b>	<b>Valeur</b>	<b>Unité</b>
Masse spécifique du liquide à 25°C	1.06	Gr/cu.cm
Masse spécifique du solide à 25°C	1.16	Gr/cu.cm
Viscosité à 25°C	400	MPa*sec
Temps de gel	7	Min
Temps du pic de gel	15	Min
Température de pic	170	°C
Résistance à la traction	63	MPa
Module de traction	3.100	MPa
Allongement à la rupture	6.5	%
Résistance à la flexion	90	MPa
Module de flexion	3.900	MPa
Absorption d'eau	0.2	%poids

- **Orthophtalique** : est une résine polyester insaturé, pré-accélérée et thixotrope. La résine est formulée pour changé de couleur dès l'ajout du catalyseur.
- **Propriétés et avantages** :

<i>Propriétés</i>	<i>Avantages</i>
faible viscosité	Imprégnation rapide du renfort
Durcissement rapide	Rotation rapide des moules
Pic exotherme calmé	Production de stratifié et épais
Changement de couleur	Sécurité quant à l'ajout de catalyseur

**Tableau.6** : Quelques caractéristiques de la résine Orthophtalique (Annexes2) :

<i>Caractéristique</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Masse spécifique du liquide à 25°C	1.12	Gr/cu.cm
Masse spécifique du solide à 25°C	1.16	Gr/cu.cm
Viscosité à 25°C	400	MPa*sec
Temps de gel	14	Min
Temps du pic de gel	7	Min
Température de pic	185	°C
Résistance à la traction	72	MPa
Module de traction	3.100	MPa
Allongement à la rupture	4	%
Résistance à la flexion	90	MPa
Module de flexion	3.900	MPa
Absorption d'eau	0.45	% poids

### **II.2.2. Caractérisation des renforts :**

#### **a) Les déchets :**

Dans cette étude, nous avons utilisé du déchet de la poudre fibre de verre comme renfort. La poudre fibre de verre est une poudre résultant lors du tronçonnage des tuyaux PRV à l'usine de Maghreb Pipe (Fig.17).

Il est important à signaler qu'il y a deux types de poudres produites lors de tronçonnage des tuyaux en PRV. La différence entre les deux poudres réside dans le type du tuyau à partir duquel la poudre est extraite. Au niveau de MAGHREB PIPE, on produit deux types de tuyau : TUYAU PRV CFW (tuyau composé de la silice, résine et fibre de verre) et TUYAU PRV DFW (tuyau composé de résine et fibre de verre seulement).



*Fig.17* : Obtention de poudre fibres de verre. [2]

Nous avons travaillé sur les deux types de déchets, nous l'avons préparé selon les étapes suivantes :

- 1- Apportez une quantité de déchets.
- 2- Tamisage : se débarrasser de différents résidus (comme la fibre de verre).
- 3- Nous obtenons un matériau très fin. (Fig.18)



*Fig.18* : Les étapes de préparation des déchets.

***b) Fibre végétale :***

• ***Mode opératoire de traitement :***

Les fibres sont immergées dans une solution de 5% de NaOH et maintenues à la température constante (24°C) pendant 4h, ensuite les fibres sont rincées avec de l'eau douce et puis avec de l'acide acétique dilué afin de neutraliser le pH.

Enfin une dernière fois avec de l'eau distillée. Après 24h de séchage à l'air libre les fibres sont étuvées à 100°C pendant 6h.

Le matériau Alfa utilisé comme dans nos composites, a été broyé avec un broyeur à couteaux à découpe parallèle de type Retsch.

Nous avons des fibres de différentes longueurs entre 10 – 150 mm. (Fig.19)



**Fig.19:** Les différentes étapes de traitement chimique de la fibre Alfa.

### II.2.3. Méthodes et matérielle :

#### II.2.3.1. Préparation des moules utilisées :

Afin de caractériser les différents mélanges en flexion à trois points, selon les normes (tableau 7).

**Tableau.7 :** Les normes des éprouvettes utilisées.

	<i>La norme</i>	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i>Longueur (mm)</i>
<i>Flexion</i>	<i>ASTMD790</i>	<i>20</i>	<i>4</i>	<i>110</i>

Nous avons utilisé un moule de bois (5 éprouvettes), nous mettons une couche de Paraffine pour de faciliter l'étape d'émouillage. (Fig.20)



**Fig.20 :** Préparations des moules

#### II.2.3.2. Elaboration des éprouvettes:

Dans ce travail on a choisi la technique de moulage par contact, le principe de ce procédé est de réaliser les différents (déchets et résines) à température ambiante.

La résine polyester polymérise par adjonction de catalyseur (durcisseur) et diluant. Un durcisseur portant les terminaisons chimiques qui réagissent sur les terminaisons époxydes des autres ingrédients pour constituer, en fin de cycle de polymérisation, un solide, c'est un liquide ou un solide (poudre, paillette, bloc soluble ou fusible qui peut fondre, passer à l'état liquide sous l'effet de la chaleur ).

Dans les proportions suivantes, le pourcentage est adapté en fonction des besoins

- 0.8% minimum (temps de travail moyen).
- 2% maximum (temps de travail court).

Un diluant (styrène) réactif (avec des terminaisons époxydes, en général) ou non réactif (solvants organiques, en général) ; c'est un liquide très fluide, dont le rôle est d'abaisser la viscosité du système lorsque le mélange est effectué. (Tableau 8)

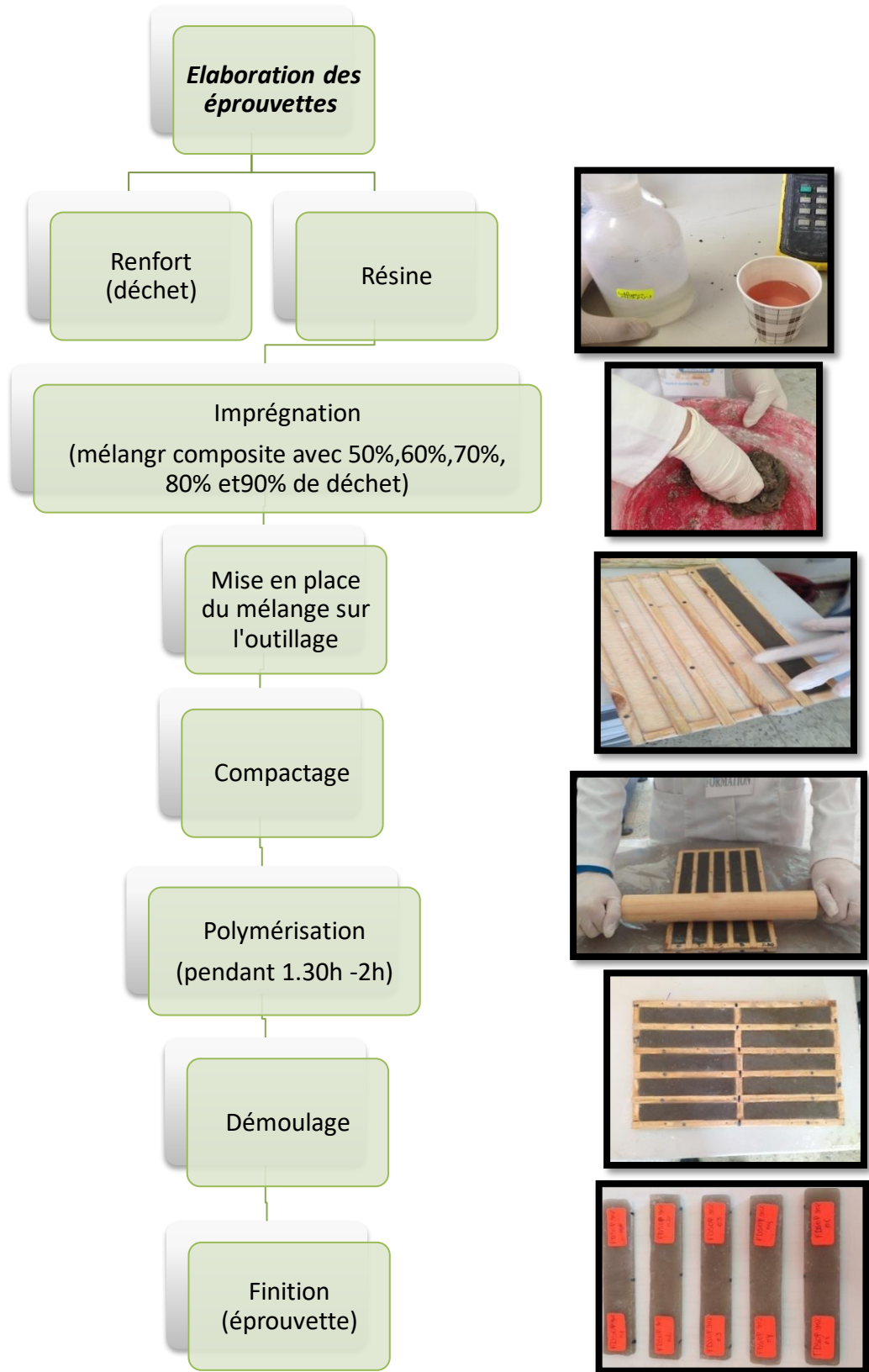
**Tableau 8:** La masse de chaque composante.

<b>Pourcentages des matériaux (%)</b>	<b>Résines (OP et IS-phtalique) (g)</b>	<b>Déchets (fibre de verre avec sable et sans sable) (g)</b>	<b>Fibre végétale + déchet (g)</b>	<b>Durcisseur (catalyseur) (g)</b>	<b>Diluant Styrène (g)</b>
50	75	150	70 + 5	0.97	2.25
60	90	150	70 + 5	1.17	2.7
70	105	150	70 + 5	1.36	3.15
80	120	150	70 + 5	1.56	3.6
90	135	150	70 + 5	1.75	4.05

On dispose le mélange renfort dans un moule après qu'il soit imprégné de résine, puis, on procède au compactage de l'ensemble pour chasser l'air restant.

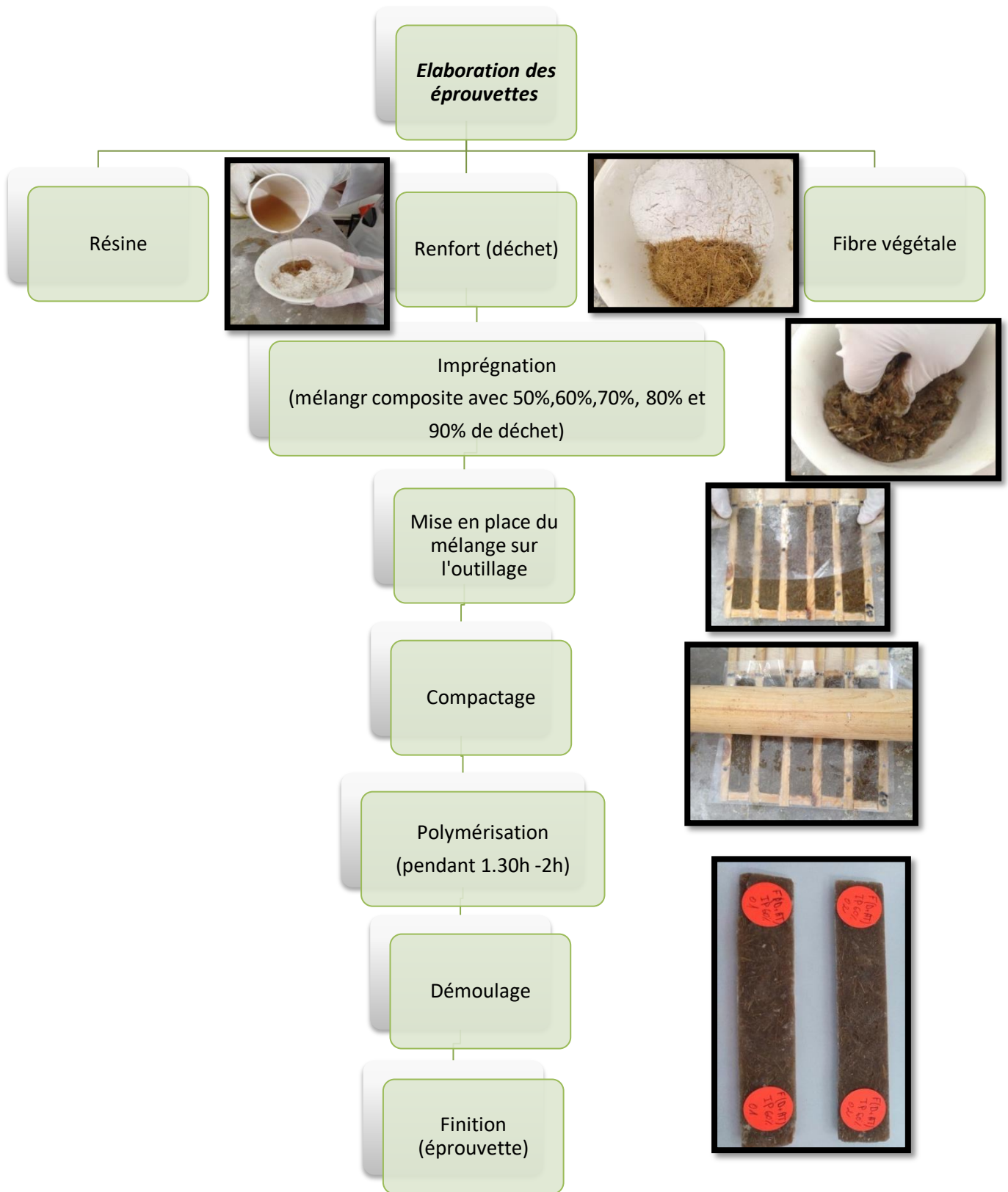
Le mélange renfort résine ne devient un véritable matériau composite qu'après la phase de durcissement (réticulation) de la matrice, pendant laquelle cette dernière passe de l'état liquide à l'état solide par apport d'énergie. Le comportement thermique des thermoplastiques est comparables à celui des métaux ; par contre les thermodurcissables, à la température de leur injection dans le moule, atteignent une phase pâteuse puis subissent une transformation chimique interne irréversible qui durcit définitivement la matrice [3]. (Fig 21 et 22)

- **Renfort (déchet) + résine :**



**Fig.21** : Etapes d'élaboration des échantillons (déchet + résine)

- *Déchet + fibre végétale + résine :*



**Fig.22** : Etapes d'élaboration des éprouvettes (déchet + fibre végétale + résine)

#### ***II.2.4. Infrarouge à transformée de Fourier « IRTF » :***

Les essais appliquée au niveau de laboratoire de université de M'sila, L'appareil utilisé est un spectromètre de marque (SHIMADZU). (Fig.23)

Nombre de scan = 40 et résolution = 4cm-1. Pour appliquer cette technique dans le cas d'échantillons solides, il est nécessaire, au préalable, de mélanger une petite quantité d'échantillons finement broyé a un composé transparent dans le domaine spectral étudié (4000 - 400 cm-1). A cette fin, nous employons le bromure de potassium (KBr). Les échantillons à analyser sont préparés sous forme de pastilles on obtenues avec la presse de mélangeant 2,5 % en masse d'échantillon préalablement broyées (traitées ou non) avec 97,5 % en masse de KBr. La spectroscopie IR est une des méthodes les plus efficaces pour l'identification des molécules organiques et inorganiques à partir de leurs propriétés vibrationnelles. En effet, le rayonnement IR, excite des modes de vibration (déformation, élongation) spécifiques de liaisons chimiques [4].

Les différents spectres montrant la transmittance (%) en fonction du nombre d'onde (cm-1).



***Fig.23*** : L'appareil de IRTF.

### ***II.2.5. Analyse thermogravimétrique l'ATG :***

La thermogravimétrie (ATG) est l'une des techniques expérimentales couramment utilisées pour étudier la stabilité thermique des polymères.

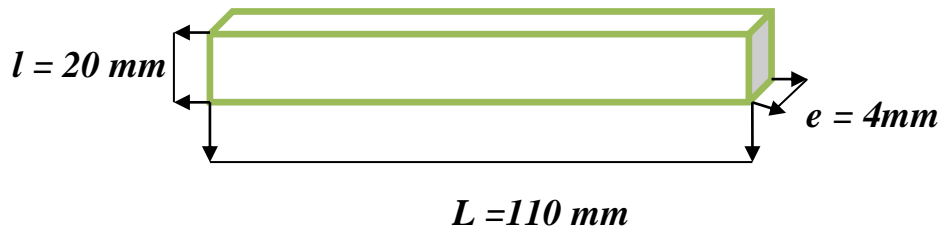
L'ATG permet de quantifier la variation de la masse de la fibre associée à des transitions ou des processus de dégradation. Le principe de mesure consiste à chauffer l'échantillon soit à une vitesse de chauffe constante, soit à une température constante, ou peut également être soumis à des programmes de température spécifiques. En outre, l'environnement où se déroule l'expérience, qui peut être réactif ou inerte, joue un rôle important dans le processus thermique. Les résultats d'une mesure ATG sont généralement affichés sous forme de courbe dans laquelle la masse ou le pourcentage massique varie en fonction de la température ou du temps. Les résultats peuvent être également présentés sous forme de variation de la dérivée première de la courbe ATG en fonction de la température ou du temps.

Cette dérivée nous renseigne sur la vitesse à laquelle le changement de masse se produit et elle est connue sous le nom de la thermogravimétrie différentielle ou la courbe DTG. Le changement de masse se produit lorsque l'échantillon perd de la matière ou réagit avec l'atmosphère environnante [5, 6].

Les données thermogravimétriques des fibres végétales et la résine ont été obtenues en mode dynamique par un analyseur TGA-51 de SHIMADZU dans une plage de température 900 °C avec une vitesse de chauffe de 10 °C/min (fig.24).



***Fig.24:*** L'appareil de l'ATG.

**II.2.6. Essai de flexion à trois points :**

L'essai de flexion à trois points permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture.

Notre éprouvette de (110 × 20 × 4mm) pour l'essai de flexion à trois points, on appliquée une charge à mi-distance des appuis, et la distance entre appuis est de 90mm par une vitesse constant de 2 mm/min et de force 5 kN .Les essais appliquée au niveau de laboratoire de MAGHREB PIPE, sur une machine de « YL-25- Machine Overview » numéro de série 12417 en 2008 Allemagne, capacité 250 KN. (Fig.25)



**Fig.25 :** Essais de flexion trois points sur de matériau composite étudié.

- *Les paramètres d'étude :*

Dans cet essai nous avons étudié la contrainte à la flexion et le module de flexion en utilisant les trois relations suivantes :

$$\sigma_{max} = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (1)$$

Ou :

$\sigma_{max}$  : est la contrainte maximale en (N/mm<sup>2</sup>) ;

F : est l'effort à la rupture de l'éprouvette en (N) ;

b : largeur de l'éprouvette en (mm) ;

h : épaisseur de l'éprouvette en (mm) ;

L : est la distance entre appuis en (mm).

$$\epsilon_{rup} = \frac{6 \times h \times y}{L^2} \quad (2)$$

$\epsilon_{rup}$  : est la déformation à la rupture sans unité ;

y : est la flèche en (mm) ;

$$E = \frac{L^3}{4 \times b \times h^3} \left( \frac{\Delta F}{\Delta y} \right) \quad (3)$$

E : est le module de YOUNG en (MPa) ;

**Référence :**

[1] : [www.maghrebpipes.com](http://www.maghrebpipes.com)

[2] : Haouassi, E., Kadri, S. (2018). « *L'effet d'ajout de la poudre de fibre de verre sur le comportement du béton polymère* »

[3]: Narayanan S., Schadler L.S., « *Mechanisms of Kink-band Formation in Graphite/Epoxy Composites : a Micromechanical Experimental Study* », Composite Materials and Technology, vol. 59, (1999),

[4]: D. Sedan. « *Etude des Interactions Physico-Chimiques aux Interfaces Fibres de Chanvre/Ciment. Influence sur les Propriétés Mécaniques du Composite* ». Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, France, 2007,

[5]: Wikberg, H., Liisa Maunu, S. (2004). « *Characterisation of thermally modified hard and softwoods by <sup>13</sup>C CPMAS NMR* ».

[6]: Santoni, L., Callone, E., Sandak, A., Sandak, J., Dirè, S. (2015). « *Solid state NMR and IR characterization of wood polymer structure in relation to tree provenance* ».

***Chapitre III :***  
***Résultats et discussions***

Dans ce chapitre, les résultats expérimentaux obtenus des différents tests effectués, seront présentés et interprétés dans ce dernier chapitre.

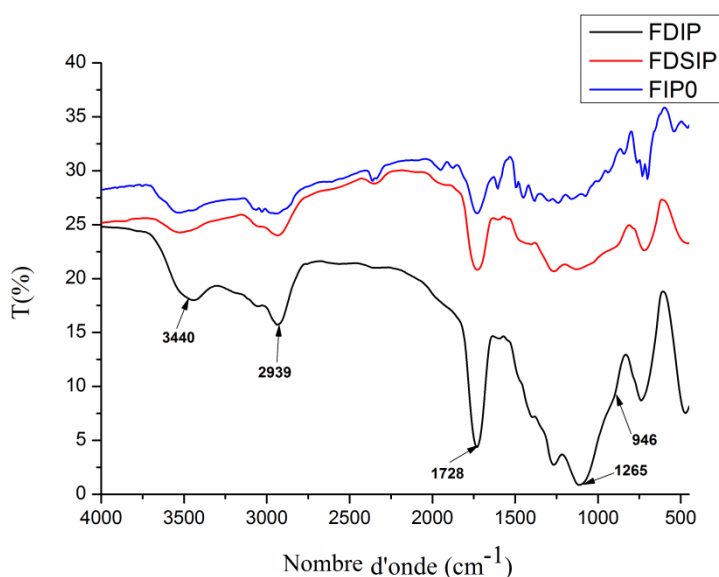
Au premier lieu, nous allons présenter des analyses des matériaux constituant nos composites (IRTF, ATG). Enfin nous discutons l'évolution des caractéristiques mécaniques des matériaux composites en fonction des paramètres de leur élaboration (flexion à 3 points).

### ***III.1. Analyse spectroscopique par infrarouge à transformé de Fourier (IRTF):***

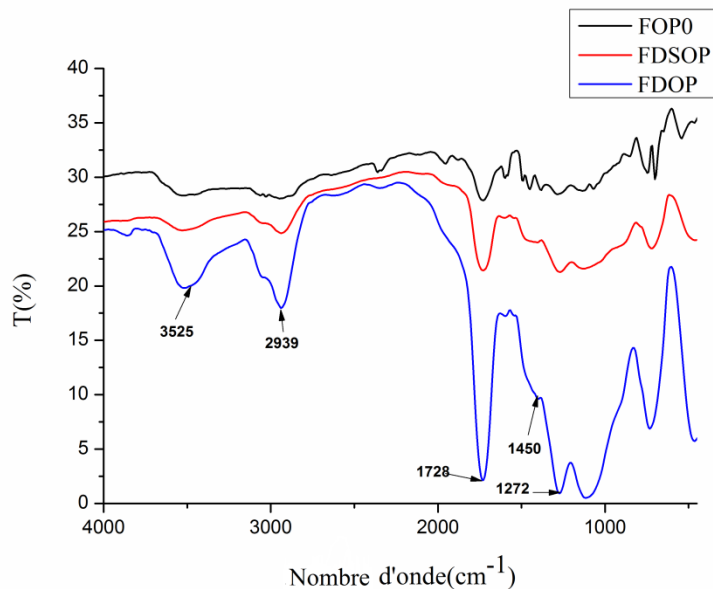
Les spectres IRTF des composites FIP0, FDIP, FDSIP, FOP0, FDOP et FDSOP sont présentés à la figure (26, 27) Le pic autour de  $3440-3525\text{ cm}^{-1}$  est dû à la vibration d'étirement des liaisons hydrogène (O-H).

Le pic aux alentours de  $2900\text{ cm}^{-1}$  est associé à la vibration de la liaison C-H. On remarque aussi une bande à  $2360\text{ cm}^{-1}$  dans le composite FIP0 qui peut être attribuée aux vibrations des groupements formant la structure du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) se trouvant dans l'air de la chambre d'analyse.

Le pic à  $1728\text{ cm}^{-1}$ , correspondant à la vibration d'étirement C=O, suggère l'existence de groupes acide carboxylique et/ ou ester, supposés se trouver dans les acides gras. Les bandes d'absorption se trouvant entre  $1450$  et  $1412\text{ cm}^{-1}$  sont essentiellement dues aux vibrations de déformation des groupements  $-\text{CH}_2$  et  $-\text{CH}_3$ . La bande à  $1272.9\text{ cm}^{-1}$  est caractéristique de la déformation des groupes acétyle.



**Fig.26:** Spectres IR des FDSIP, FDIP et ISO.



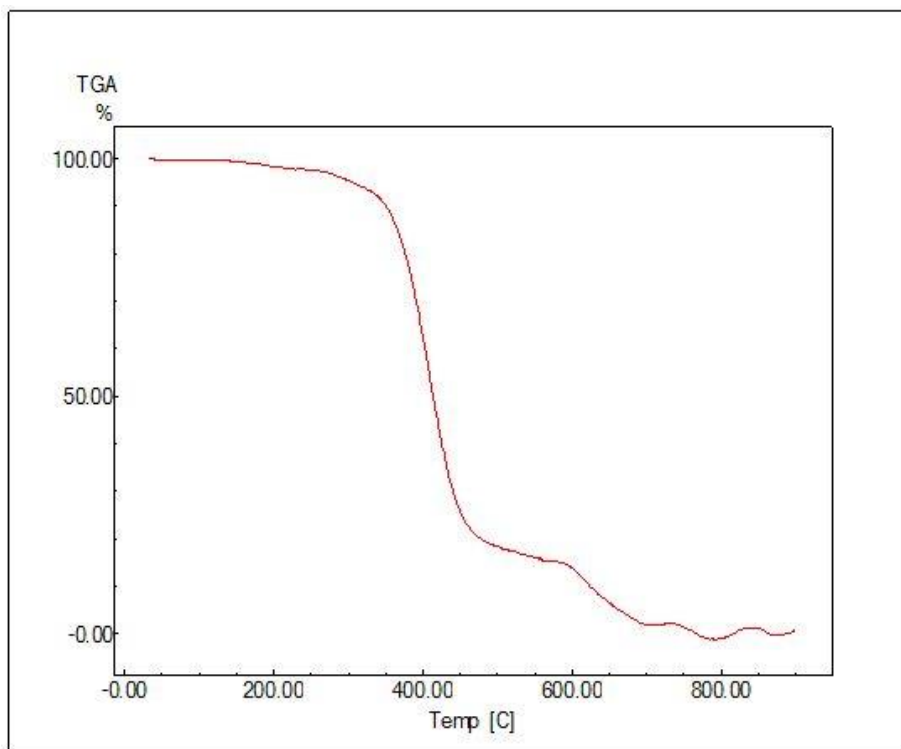
**Fig.27:** Spectres IR des FDSOP, FDOP et Ortho.

**Tableau.9:** Principales bandes d'absorption infrarouge. [1]

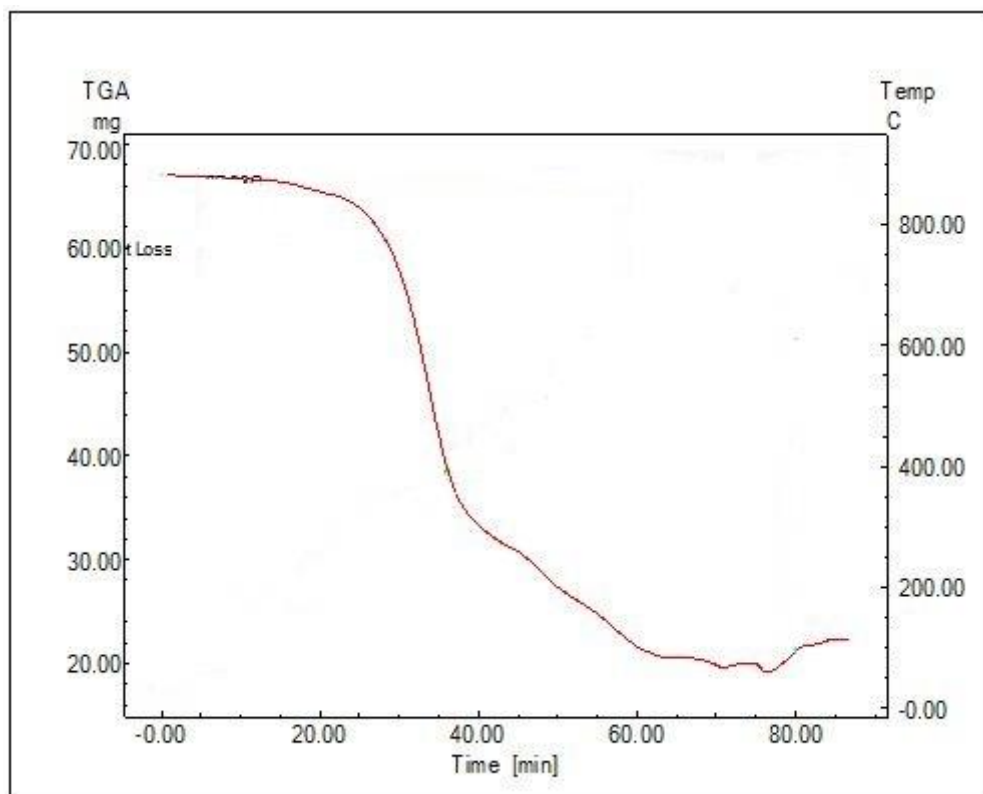
<i>Nombre d'onde (cm<sup>-1</sup>)</i>	<i>Liaison</i>	<i>Fonction</i>
3500 – 3700	O-H	Alcool (libre)
3000 – 2800	C-H	Alcane
2120 – 2360	C-O <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
1650 – 1730	C=O	Carbonyle
1050 – 1450	C-O	Alcool, acide, ester
900 - 950	O-H	Acide

### **III.2. Etude thermique par thermogravimétrie (ATG):**

Les figures 28 et 29, représentent le thermogramme TG des composites FDIATIP et FIP0%, les résultats sont résumés sur le tableau 10. On observe une diminution de la température de dégradation (Td) pour les composites FDIATIP par rapport à ceux FIP0. Ceci peut être expliquée par la présence de fibres Alfa dans le mélange (déchet de verre sable et les fibres Alfa) comme renfort dans le composite.



*Fig.28:* Analyse thermogravimétrique de la résine FIP0.



*Fig.29:* Analyse thermogravimétrique de la FDIATIP.

**Tableau.10** : Valeurs des paramètres de dégradation thermique de FDATIP et FIPO.

	<i>Premier région</i>			<i>Deuxième région</i>		
	$T_d$	$T_{dmax}$	<i>Perte de masse à <math>T_{dmax}</math> (%)</i>	$T_d$	$T_{dmax}$	<i>Perte de masse à <math>T_{dmax}</math> (%)</i>
<b><i>FIPO</i></b>	400	450	70	450	800	20
<b><i>FDATIP</i></b>	850	300	32	300	100	14

### ***III.3. PROPRIETES MECANIQUES :***

#### ***Test flexion à trois points :***

Les propriétés mécaniques des composites préparés ainsi que la matrice à base d'une résine thermodurcissable (polyester insaturé) sont évaluées par des tests de flexion à trois points.

#### ***III.3.1 Matériaux composites à base d'un polyester insaturé (IP):***

##### ***a) Effet de la teneur en déchets de verre:***

D'après la figure 30 nous observons que l'introduction des déchets jusqu'à 30 % par rapport au composite accroît la contrainte à la rupture de 24.48 % mais diminue l'allongement à la rupture. Il a été constaté qu'une augmentation considérable des modules de Young pour les composites avec un renforcement de 10 % de déchets (Fig. 31): le module d'élasticité est de 32.72 MPa pour la résine sans renforcement FDIP0% alors qu'une valeur allant jusqu'à 88.96 MPa pour le composite FDIP10%.

Cette amélioration est due aux fortes interactions entre les déchets de verre contenu dans la matrice qui entraînent un bon transfert de contrainte entre la matrice et le renfort. [2]

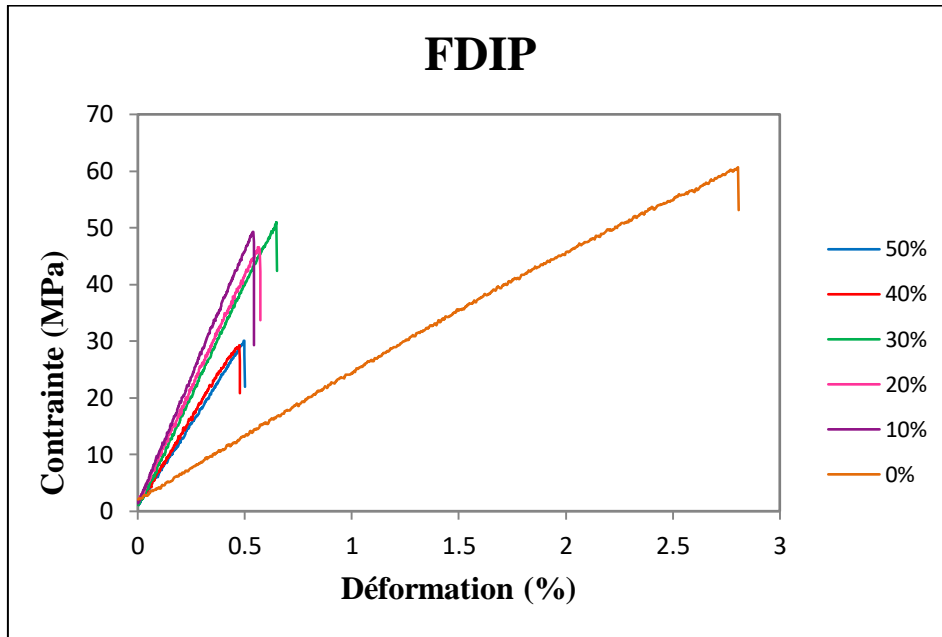


Fig.30: Courbes contrainte/déformation de composite FDIP.

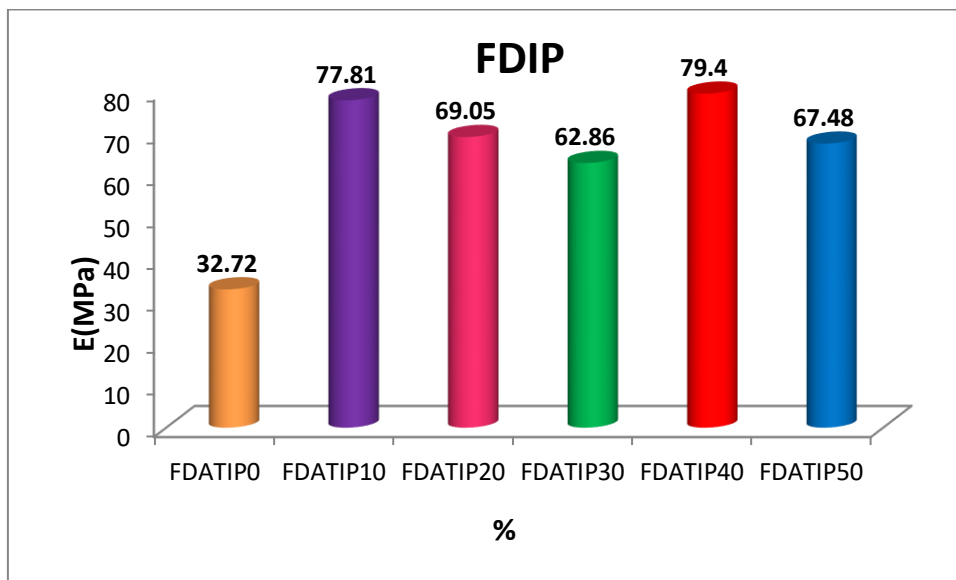


Fig.31: Evolution du module de Young de composite FDIP.

**b) Effet de la teneur en déchets de verre/sable:**

La figure 32 montre que la contrainte augmente graduellement jusqu'à une valeur maximale puis chute brusquement provoquant l'endommagement de l'éprouvette.

On constate que plus le pourcentage des déchets est élevé, plus la valeur de contrainte est grande. La valeur maximale de contrainte est 57 MPa dans le composite FDSIP30%.

Il a été constaté qu'une augmentation considérable des modules de Young pour les composites avec un renforcement de 30% de déchets (Fig. 33): le module d'élasticité

est de 32.72 MPa pour la résine sans renforcement (FDSIP0) alors qu'une valeur allant jusqu'à 72.15 MPa pour le composite FDSIP30%.

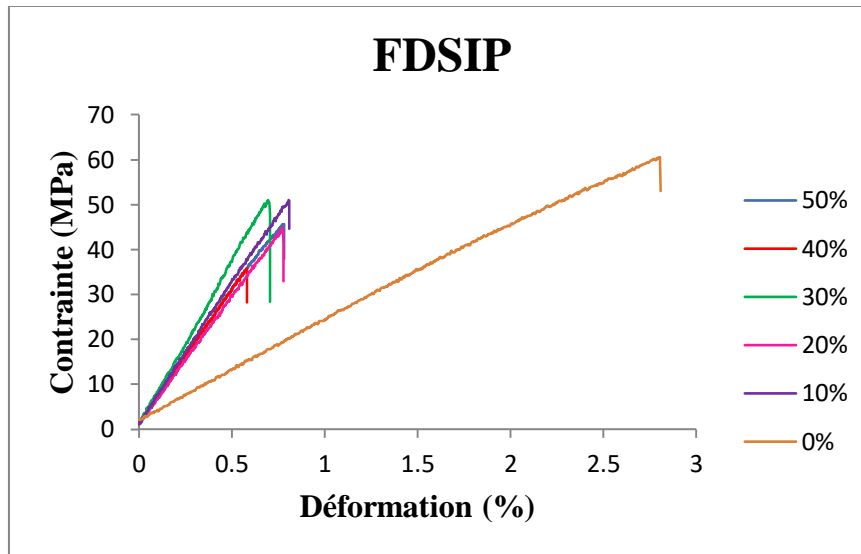


Fig.32: Courbes contrainte/déformation de composite FDSIP.

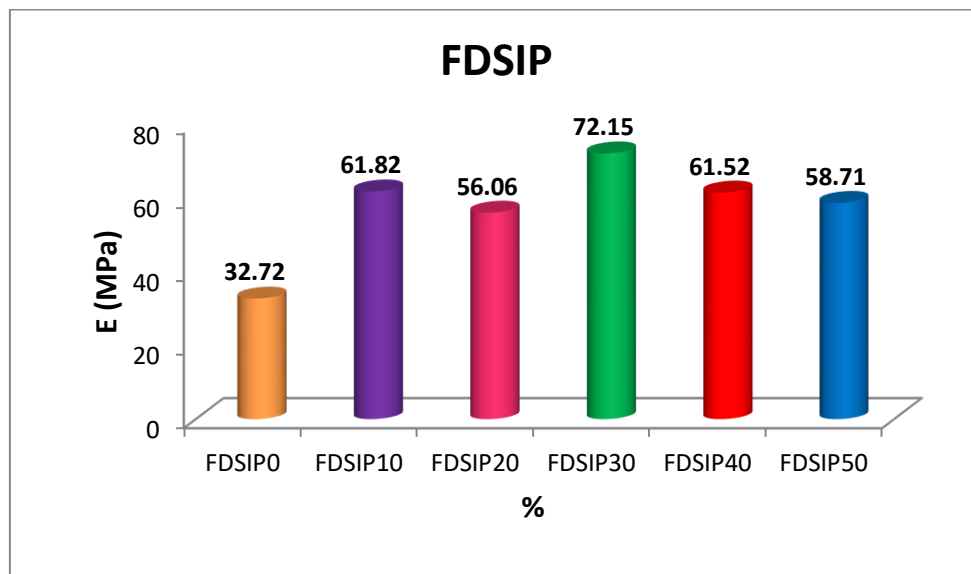


Fig.33: Evolution du module de Young de composite FDSIP.

### C ) Effet de la teneur en mélange: déchets de verre sable et Alfa:

La figure 34 montre que la valeur maximale de contrainte est 34 MPa dans le composite FDATIP40%.

Le module d'Young atteint une valeur maximale 79.4 (MPa) pour le composite FDATIP40%. (Fig 35).

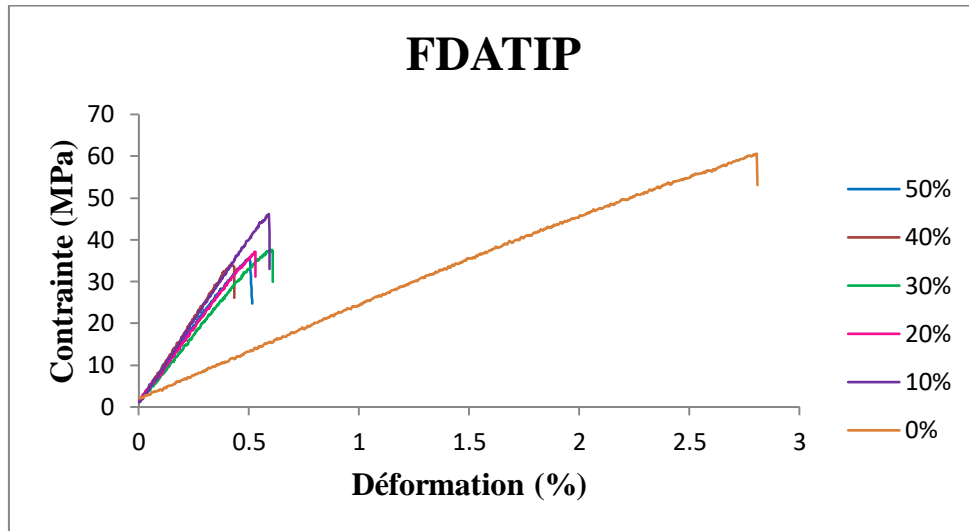


Fig.34: Courbes contrainte/déformation de composite FDATIP.

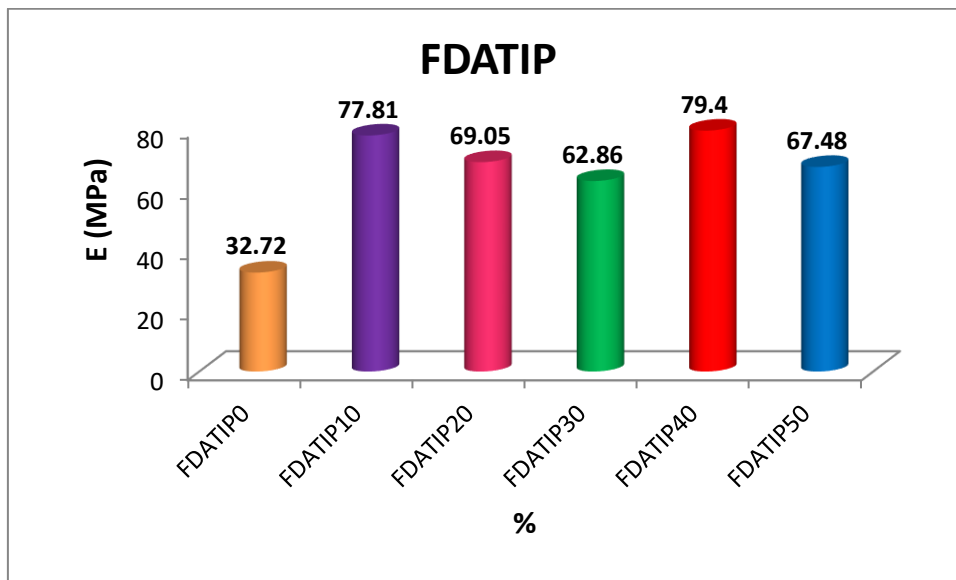


Fig.35: Evolution du module de Young de composite FDATIP.

### III.3.2 Matériaux composites à base d'un polyester insaturé (OP):

#### a) Effet de la teneur en déchets de verre:

D'après la figure 36 nous observons que l'introduction des déchets jusqu'à 10 % par rapport au composite accroît la contrainte à la rupture de 80 % mais diminue l'allongement à la rupture. Il a été constaté qu'une augmentation considérable des modules de Young pour les composites avec un renforcement de 10 % de déchets (Fig. 37): le module d'élasticité est de 28.93 MPa pour la résine sans renforcement FDSOP0% alors qu'une valeur allant jusqu'à 119 MPa pour le composite FDSOP10%.

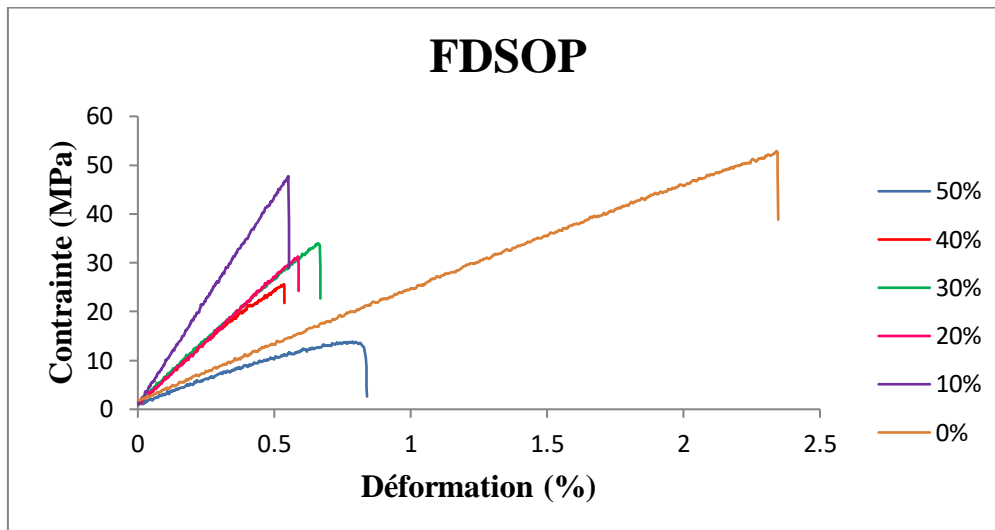


Fig.36: Courbes contrainte/déformation de composite FDSOP.

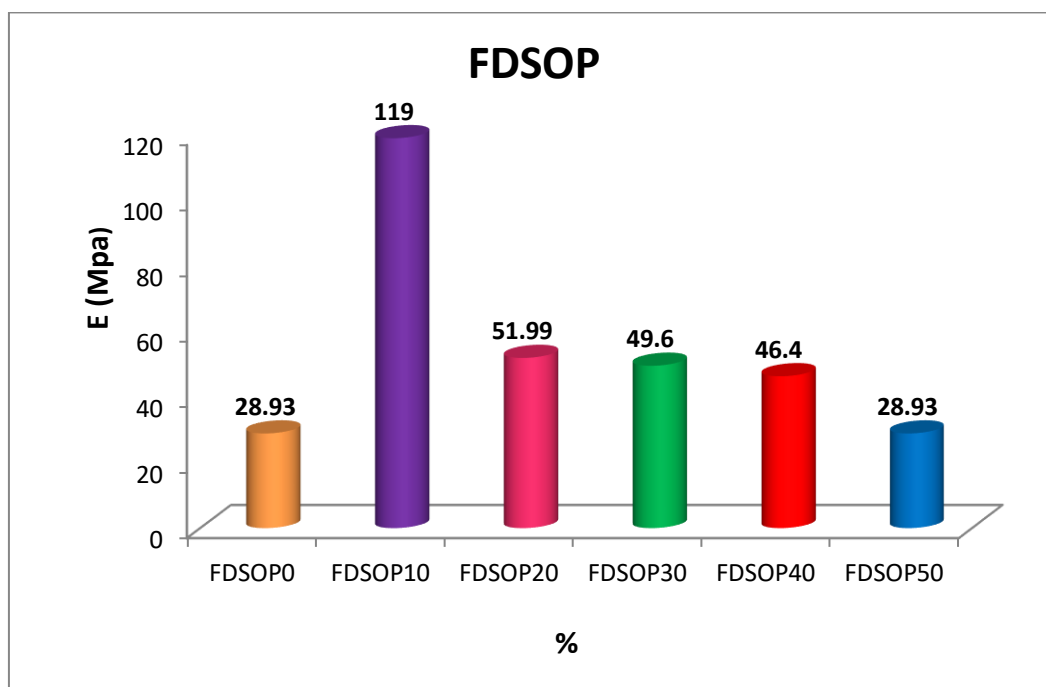


Fig.37: Evolution du module de Young de composite FDSOP.

### ***b) Effet de la teneur en déchets de verre/sable:***

La figure 38 montre que la contrainte augmente graduellement jusqu'à une valeur maximale puis chute brusquement provoquant l'endommagement de l'éprouvette.

On constate que plus le pourcentage des déchets est élevé, plus la valeur de contrainte est grande.

La valeur maximale de contrainte est 46 MPa dans le composite FDSOP10%

Il a été constaté qu'une augmentation considérable des modules de Young pour les composites avec un renforcement de 10 % de déchets (Fig. 39): le module d'élasticité

est de 28.93 MPa pour la résine sans renforcement FDOP0% alors qu'une valeur allant jusqu'à 95.43 MPa pour le composite FDOP10%.

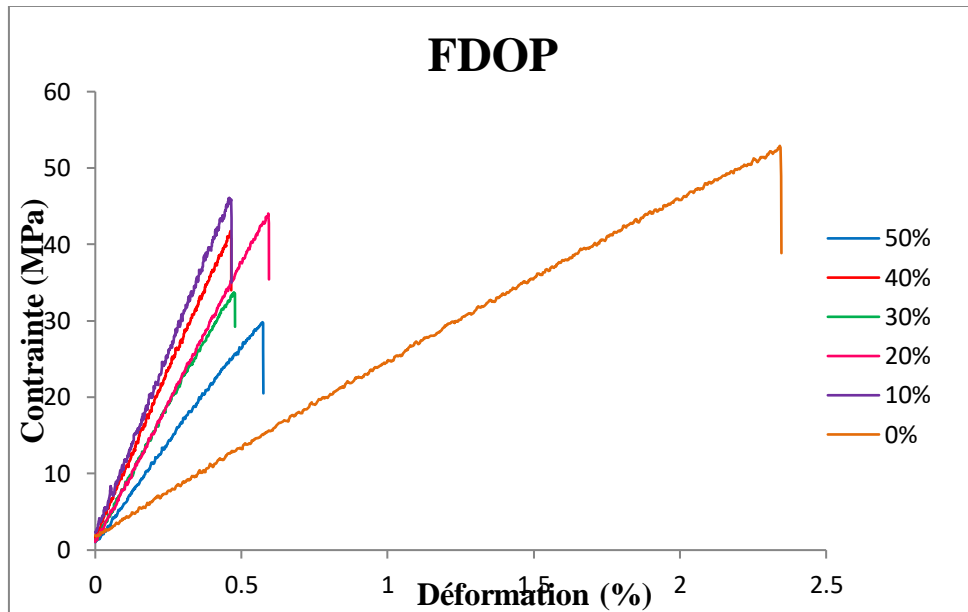


Fig.38: Courbes contrainte/déformation de composite FDOP.

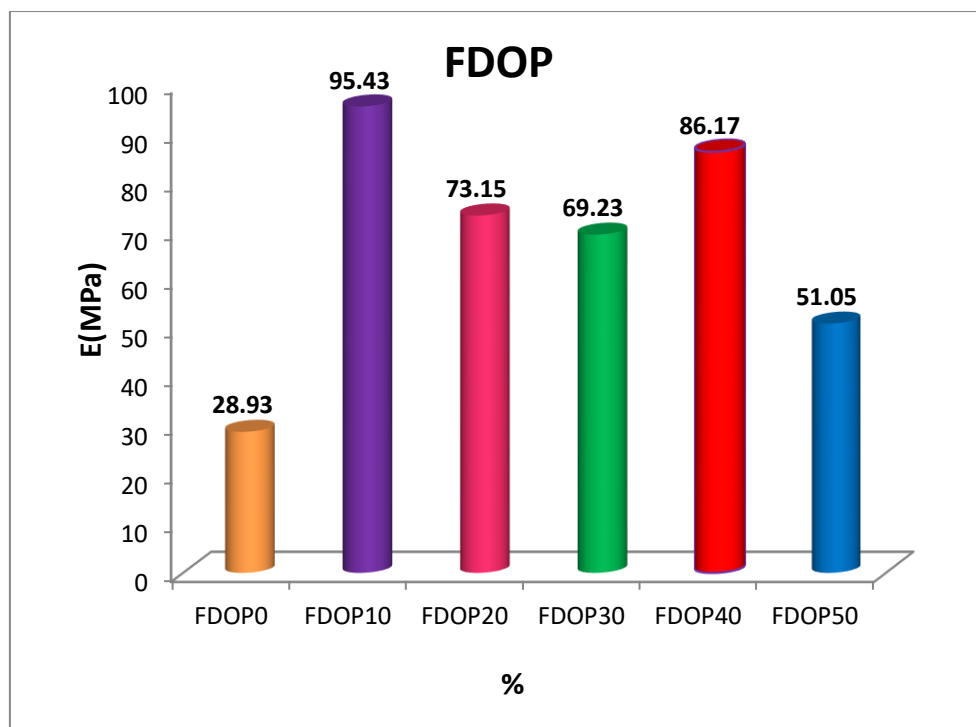


Fig.39: Evolution du module de Young de composite FDOP.

Les matériaux FDSIP et FDSOP montre une contrainte maximale successivement de 57 et 66 MPa,

Ces améliorations se traduisent par :

- Une bonne adhésion entre fibre/matrice.
- Une bonne répartition des fibres.
- La résistance des fibres.

Les autres matériaux FDOP, FDIP et FDATIP enregistrent une réduction remarquable de la contrainte successivement de : 46, 49 et 34 MPa.

Cette réduction s'explique par :

- La mauvaise adhésion fibre/matrice,
- Mauvaise répartition des fibres (homogénéité).

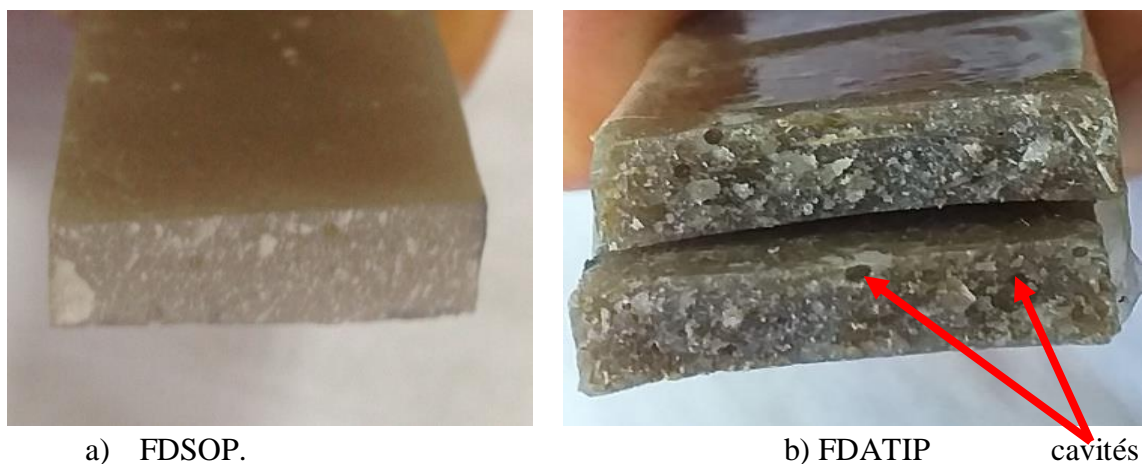
#### ***IV.2. Appareil photo numérique :***

La figure 40 montre des micrographies optiques des surfaces de rupture en flexion d'un composite. En observant les zones de fractures des composites, il est possible d'évaluer l'interface Déchets/matrice en fonction du profil observé.

Au sein de la matrice FDSOP, on observe une interface homogène et sans défaut étant (fig.40.a).

En revanche (FDAIP), l'adhésion déchet/matrice n'est pas optimale. On note l'apparition de plusieurs trous qui résultent de l'arrachement des filaments au sein de la matrice. L'adhésion n'étant pas assez bonne, (fig.40.b).

L'apparition de petites cavités indique également un manque d'adhésion, les défauts sont des initiateurs de fractures, il faut donc les éviter au maximum.



***Fig.40:*** micrographies optiques des surfaces de rupture en flexion de FDSOP et FDATIP.

**Référence :**

[1] : <https://www.bac-s.net/document/physique-chimie/analyse-spectrale-spectroscopie-infrarouge--3150.html>

[2] :Zainuddina SY, Ahmada I, Kargarzadeha H, Abdullaha I, Dufresneb A. Potential of using multiscale kenaf fibers as reinforcing filler in cassava starch-kenaf biocomposites. Carbohydr Polym. 2013; 92:2299–305.

## *Conclusion générale*

Les avantages les plus importants des polymères sont la facilité de mise en œuvre, la productivité et la réduction des coûts. Pour de nombreuses applications, les propriétés des polymères sont modifiées en utilisant des renforts pour optimiser les propriétés mécaniques. Les matériaux polymères renforcés par des fibres synthétiques, comme les fibres d'aramide, les fibres de carbone ou les fibres de verres.

Les fibres de verres sont les plus utilisées grâce à leur faible coût, leur facilité de production et leurs propriétés mécaniques spécifiques importantes.

L'objectif principal de ce travail était l'exploitation des déchets de fibre de verre pour élaborer un nouveau matériau composite déchet/ matrice.

Nous avons effectué les tests suivants : Analyse par IRTF, Analyse thermogravimétrique (ATG) et le test de flexion à trois points afin d'identifier le comportement mécanique de cet matériau.

On a subdivisé notre travail en trois types de composites :

1. Matériaux composites à base d'une matrice isophtalique polyester insaturée renforcée par les déchets de verre à différentes concentrations massiques (10,20, 30,40, 50 %).
2. Matériaux composites à base d'une matrice isophtalique polyester insaturée renforcée par les déchets de verre-sable à différentes concentrations massiques (10,20, 30,40, 50 %).
3. Matériaux composites à base d'une matrice isophtalique polyester insaturée renforcée par les déchets de verre avec fibres végétales (Alfa) à différentes concentrations massiques (10,20, 30,40, 50 %).
4. Matériaux composites à base d'une matrice orthophtalique polyester insaturée renforcée par les déchets de verre à différentes concentrations massiques (10,20, 30,40, 50 %).
5. Matériaux composites à base d'une matrice orthophtalique polyester insaturée renforcée par les déchets de verre-sable à différentes concentrations massiques (10,20, 30,40, 50 %).

D'après les résultats obtenus dans cette étude on ce trouve que:

- Dans le premier cas (IP renforcé par deux types de déchets et la fibre végétale) les déchets sans sable qui donne un bon résultat par rapport aux déchets avec sable : l'adhésion de déchet sans sable a vie un effet positive sur les propriétés mécaniques de composite étudié et la valeur la plus élevée pour la résistance à la flexion ( $\sigma$ ) et le module de Young de flexion d'environ 49 et 88.96 MPa respectivement pour le composite FDIP10% de plus, la valeur maximale de la résistance à la flexion et le module de Young est de l'ordre de 50.9 et puis 72 MPa pour le composite FDSIP30%.
- Dans le deuxième cas (OP renforcé par deux types de déchets) les déchets sans sable qui donne un bon résultat par rapport aux déchets avec sable :L'adhésion de déchet sans sable a vie un effet positive sur les propriétés mécaniques de composite étudié et la valeur la plus élevée pour la résistance à la flexion ( $\sigma$ ) et le module de Young de flexion d'environ 46 et 95.43 MPa respectivement pour le composite FDOP10% de plus, la valeur maximale de la résistance à la flexion et le module de Young est de l'ordre de 66 et puis 119 MPa pour le composite FDSOP10%.

En peut conclue le meilleur résultat est FDSOP10%.

# Annexe 1

TUYAUX PRV – MANUEL DES MATIERES PREMIERES



## RÉSINE ORTHOPHTALIQUE POUR STRATIFIE STRUCTURAL

CARACTÉRISTIQUES	PROCEDURE STANDARD	UNITE	VALEUR	TOLE-RANCE
Masse spécifique du liquide à 25°C	ASTM D1298	gr/cu.cm	1.12	±0.02
Masse spécifique du solide à 25°C	ASTM D792	gr/cu.cm	1.16	±0.02
Viscosité à 25°C	ASTM D2393	mPa*sec	400	±100(a)
Temps de gel	ASTM D2471	min	14	±3(b)
Temps du pic de gel	ASTM D2471	min	7	±3(b)
Température du pic	ASTM D2471	°C	185	±15(b)
Indice d'acidité	ASTM D 1639	mgKOH/gr	22	±3
Teneur en styrène		%poids	41	±2
Retrait volumique	ASTM D2566	%	9	±0.5
Transition vitreuse	ASTM D3418	°C	130	±10
H.D.T.	ASTM D648	°C	80	±20(c)
Dureté Barcol	ASTM D2583	°Barcol	40	±5
Résistance à la traction	ASTM D638	MPa	72	±10
Module de traction	ASTM D638	MPa	3,100	±100(d)
Allongement à la rupture	ASTM D638	%	4	±0.5(d)
Résistance à la flexion	ASTM D790	MPa	90	±10
Module de flexion	ASTM D790	MPa	3,900	±100(d)
Absorption d'eau	ASTM D570	%poids	0.45	/

### NOTES AUX TABLEAUX :

(a) à 25°C, mandrin 1, t/min. 10

(b) à 25°C, avec 0,5 % de naphthénate de cobalt à 6% et 1 % de Butanox M60

(c) après durcissement dans le four à 80°C pendant 30 minutes

(d) échantillons prédurcis à 100°C durant 3 heures

## Annexe 2

**TUYAUX PRV – MANUEL DES MATIERES PREMIERES**



### **RÉSINE ISOPHTALIQUE POUR LE REVETEMENT**

CARACTÉRISTIQUES	PROCEDURE STANDARD	UNITE	VALEUR	TOLÉ-RANCE
Masse spécifique du liquide à 25°C	ASTM D1298	gr/cu.cm	1.06	±0.02
Masse spécifique du solide à 25°C	ASTM D792	gr/cu.cm	1.16	±0.02
Viscosité à 25°C	ASTM D2393	mPa*sec	400	±100(a)
Temps de gel	ASTM D2471	min	7	±3(b)
Temps du pic de gel	ASTM D2471	min	15	±3(b)
Température de pic	ASTM D2471	°C	170	±15(b)
Indice d'acidité	ASTM D 1639	mgKOH/gr	17	±3
Teneur en styrène		%poids	41	±2
Retrait volumique	ASTM D2566	%	9	±0.5
Transition vitreuse	ASTM D3418	°C	130	±10
H.D.T.	ASTM D648	°C	93	±20(c)
Dureté Barcol	ASTM D2583	°Barcol	40	±5
Résistance à la traction	ASTM D638	MPa	63	±10
Module de traction	ASTM D638	MPa	3,100	±100(d)
Allongement à la rupture	ASTM D638	%	6.5	±0.5(d)
Résistance à la flexion	ASTM D790	MPa	90	±10
Module de flexion	ASTM D790	MPa	3,900	±100(d)
Absorption d'eau	ASTM D570	%poids	0.2	/

NOTE :

(a) à 25°C, mandrin 1, t/min. 10

(b) à 25°C, avec 0.5% de naphthénate de cobalt à 6% et 1 % de Butanox M60

(c) après durcissement dans le four à 80°C pendant 30 minutes

(d) échantillons prédurcis à 100°C durant 3 heures