

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



-Université Ferhat Abbas Sétif-1
Faculté de **Technologie**
Département de **Génie des Procédés**

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE: Sciences et Techniques

FILIÈRE: Génie des Procédés

OPTION : Matériaux Polymères

: Thème

**Elaboration d'Agro-Composite PEHD/Farine de Genêt
d'Espagne: Formulations et Caractérisations**

Présenté Par : M^{elle} BEDREDDINE Meriem

Encadré par : Pr. NEKKA Sorya

.Date de soutenance: Juin 2014

:Jury de Soutenance

-Président: BENANIBA Med Tahar	Professeur	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1
-Encadreur: NEKKA Sorya	Professeur	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1
Membre invitée: IKHLEF Samah	Poste-gradué	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1
-Examineur: GUESSOUM Melia	Maître de conférences	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1

-1

Promotion 2013/2014

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce précieux travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur " **Pr. NEKKAA Sorya**", pour son précieux conseil et son aide durant toute la période de travail, et mon co-encadreur " **M^{elle} IKHLEF Samah** " pour l'aide compétitive qu'elle m'a apporté et son encouragement.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail.

*Je voudrais aussi remercier les membres des laboratoires de l'unité **CHIALI***

***PROFIPLAST** et l'unité **MAPROGAZ** de m'avoir accueilli au sein de leurs laboratoires.*

*Je voudrais aussi remercier ma chère amie "**Khaoula**" que je lui souhaite tout le bonheur, la joie et la réussite.*

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, particulièrement monsieur **BOUHANK Salim** pour ses encouragements et son aide qui m'ont été très précieux.

Dédicaces

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorde santé, longue vie et bonheur.

A la mémoire de mon Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A ma très chère sœur Mounira et son époux A. Elkrim

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

A toute ma famille, petits et grands

Un remerciement sincère pour mes adorables sœurs et frères. Aussi Pour mon oncle " **Fatih** " et sa famille. Que dieu les gardes et les protèges.

A mes meilleures amies

Zouina, Khaoula, Asma.

Je dédie ce travail



Sommaire

JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts

© 2008-2010 JLLPPT.com. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of JLLPPT.com.

<i>Sommaire</i>	<i>Pages</i>
Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Sommaire.....	iii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Liste des schémas.....	xii
Introduction générale.....	1

Partie théorique

Chapitre I: Les fibres végétales

I.1. Généralités.....	3
I.2. Les fibres végétales.....	3
I.2.1. Le Genêt d'Espagne.....	4
I.2.2. Le Coco.....	5
I.2.3. Le Coton.....	5
I.3. La composition chimique des fibres végétales.....	6
I.3.1. La Cellulose.	7
I.3.2. Les hémicelluloses.....	8
I.3.3. La lignine.....	10
I.3.4. Les pectines.....	10
I.3.5. Les cendres, les cires et les extractibles.....	11
I.4. Propriétés des fibres végétales.....	12
I.4.1. Propriétés physiques et mécanique.....	12
I.4.2. Propriétés thermiques.....	12

I.4.3. Propriétés hydrophiliques.....	13
I.5. Avantages des fibres végétales et limites d'utilisation.....	13
I.6. Les principales applications.....	13

Chapitre II: Compatibilité et adhésion charge végétale- matrice thermoplastique

II.1. Généralité sur le développement durable.....	15
II.2. Les agro-composites à matrice thermoplastiques.....	16
II.3. Notion d'adhésion fibre-matrice.....	18
II.3.1. Théorie thermodynamique de l'adhésion.....	18
II.3.1.1. Définition du mouillage.....	19
II.3.1.2. Définition de l'énergie de surface.....	19
II.4. Modification des charges végétales.....	20
II.4.1. Les traitements physiques.....	20
II.4.2. Les traitements chimiques.....	22
II.4.2.1. Le traitement par mercerisation.....	22
II.4.2.2. Le traitement par les silanes.....	24
II.4.2.3. Acétylation.....	26
II.5. Mise en œuvre des agro-composites à matrice thermoplastique.....	26
II.5.1. Procédé de compoundage et extrusion.....	27
II.5.2. Procédé d'injection.....	28

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériaux et techniques expérimentales

III.1. Matériaux utilisés.....	29
III.1.1. Le polyéthylène haute densité.....	29

III.1.2. Genêt d'Espagne « <i>Spartium junceum</i> ».....	29
III.1.3. Les produits chimiques utilisés.....	29
III.1.3.1 L'agent de couplage Silane.....	29
III.1.3.2. L'hydroxyde de sodium.....	30
III.1.3.3. L'acide acétique.....	30
III.2. La mise en œuvre des matériaux.....	33
III.2.1. Préparation de la farine de Genêt d'Espagne.....	33
III.2.1.1. La récolte de l'arbuste de Genêt d'Espagne.....	33
III.2.1.2. Lavage de GE.....	33
III.2.1.3. Séchage et broyage.....	33
III.2.1.4. Tamisage.....	33
III.2.1.5. Prétraitement de la farine de GE par lavage.....	33
III.2.2. La modification de la farine de Genêt d'Espagne.....	33
III.2.3. La préparation des composites.....	34
III.2.4. Préparation des éprouvettes.....	34
III.3. Techniques expérimentales.....	34
III.3.1. L'essai spectrométrique (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier IRTF)	34
III.3.2. Les essais mécaniques.....	35
III.3.2.1. La résistance au Choc (Izod)	35
III.3.2.2. La dureté (Shore D)	35
III.3.3. Les essais rhéologiques.....	36
III.3.3.1. L'indice de fluidité.....	36
III.3.3.2. Gonflement au jonc.....	36

III.3.4. Les essais thermiques.....	37
III.3.4.1. Analyse thermogravimétrique (ATG) et (DTG).....	37
III.3.4.2. Analyse calorimétrique différentielle (DSC).....	37
III.3.5. L'absorption d'eau.....	38
III.3.6. Le taux d'humidité.....	38
 <i>Chapitre IV: Résultats et discussions</i> 	
IV.1. Analyse spectroscopique par infrarouge à transformé de Fourier.....	39
IV.2. Propriétés mécaniques.....	40
IV.2.1. Test de choc.....	40
IV.2.2. La dureté (Shore D).....	42
IV.3. Propriétés rhéologique.....	44
IV.3.1. L'indice de fluidité.....	44
IV.3.2. Gonflement au jonc.....	46
IV.4. Les propriétés thermiques.....	48
IV.4.1. Etude thermique par thermogravimétrie (ATG)	48
IV.4.2. Analyse calorimétrique différentielle (DSC).....	54
IV.5. Etude du caractère hydrophilique des composites PEHD/GE par le test d'absorption d'eau.....	58
IV.5.1. Etude du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE.....	58
IV.5.2. Effet d'absorption d'eau sur la résistance au choc a_n des composites PEHD/GE.....	61
IV.6. Test d'absorption d'humidité.....	62
Conclusion.....	64
Perspectives.....	66
Références bibliographiques.....	67

Annexe A I
Annexe B IV

<i>Liste des tableaux</i>	<i>Pages</i>
Tableau I.1. Propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales.....	12
Tableau II.1. Domaines d'applications et parts de marché des composites à fibres naturelles.....	17
Tableau IV.1. Les valeurs cinétiques de la dégradation thermique de farine de Genêt d'Espagne, de PEHD et des composites PEHD/GE.....	54
Tableau IV.2. Comparaison de la température de fusion et du taux de cristallinité du PEHD et des composites PEHD/GE.....	56

<i>Liste des figures</i>	<i>Pages</i>
Figure I.1. Image de l'arbuste Genêt d'Espagne.....	5
Figure I.2. Image de coco.....	5
Figure I.3. Image de coton.....	6
Figure I.4. Vue perspective d'une paroi ligneuse.....	7
Figure II.1. Les trois piliers du développement durable.....	16
Figure II.2. Angle de contact à l'équilibre sur une surface solide.....	19
Figure II.3. Effet Corona (activation de la surface d'un polymère par oxydation).	21
Figure II.4. Passage Cell I => Cell II pendant la mercerisation.....	23
Figure III.1. Plan de travail expérimental, partie A.....	31
Figure III.2. Plan de travail expérimental, partie B.....	32
Figure III.3. Appareil type pour la détermination de l'indice de fluidité.....	36
Figure IV.1. Spectre IRTF de la farine non traitée et traitée.....	40
Figure IV.2. Variation de la résistance au choc (Izod) des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.....	41
Figure IV.3. Variations de la résistance au choc (Izod) des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.....	42
Figure IV.4. Variation de la dureté des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.....	43
Figure IV.5. Variations de la dureté des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.....	44
Figure IV.6. Variation de l'indice de fluidité des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.....	45
Figure IV.7. Variations de l'indice de fluidité des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.....	46

Figure IV.8. Variation du taux de gonflement des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.....	47
Figure IV.9. Variations taux de gonflement des composites PP/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.....	48
Figure IV.10. Thermogrammes TG et DTG de la farine non traitée	48
Figure IV.11. Thermogrammes TG de la farine non traitée et traitée.....	49
Figure IV.12. Thermogrammes DTG de la farine non traitée et traitée.....	50
Figure IV.13. Thermogrammes TG et DTG de PEHD.....	50
Figure IV.14. Thermogrammes TG des composites PEHD/GE (80/20), PEHD/GE (70/30), PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.....	52
Figure IV.15. Thermogrammes DTG des composites PEHD/GE (80/20), PEHD/GE (70/30), PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.....	52
Figure IV.16. Thermogrammes TG des composites PEHD/GE (70/30) à farine non traitée et traitée.....	53
Figure IV.17. Thermogrammes DTG des composites PEHD/GE (70/30) à farine traitée et non traitée.....	53
Figure IV.18. Thermogrammes DSC de PEHD et des composites PEHD/GE (80/20), PEHD/GE (70/30), PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.....	55
Figure IV.19. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (80/20) à farine traitée et non traitée.....	56
Figure IV.20. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (70/30) à farine traitée et non traitée.....	57
Figure IV.21. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (60/40) à farine traitée et non traitée.....	57
Figure IV.22. Variations du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE non traitée en fonction du temps.....	59

Figure IV.23. Variations du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE (80/20) à farine traitée et non traitée en fonction du temps.....	60
Figure IV.24. Variations du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE (60/40) à farine traitée et non traitée en fonction du temps.....	61
Figure IV.25. Variations de la résistance au choc a_n avant et après absorption d'eau à des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.....	61
Figure IV.26. Variations de la résistance au choc a_n après absorption d'eau des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine traitée et non traitée.....	62
Figure IV.27. Variations du taux d'absorption d'humidité des farines de Genêt d'Espagne traitée et non traitée.....	63

<i>Liste des schémas</i>	<i>Pages</i>
Schéma I.1. Classification des différentes fibres végétales en fonction de leurs origines.....	4
Schéma I.2. Structure d'une fibre végétale.....	7
Schéma I.3. La structure de la cellulose.....	8
Schéma I.4. Molécule de l'hémicellulose.....	9
Schéma I.5. Les principaux sucres constitutifs des hémicelluloses.....	9
Schéma I.6. Alcools phénylpropénoïques composant la lignine.....	10
Schéma I.7. Structure d'une chaîne d'acide polygalacturonique.....	11
Schéma I.8. Représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique.....	11
Schéma II.1. Réaction de traitement par le silane.....	25



Introduction générale

La transition vers une économie durable et plus respectueuse de l'environnement s'effectue tout d'abord par un changement dans les cultures des plantes, la consommation alimentaire, la production d'énergie, la quête de ressources renouvelables, ainsi que l'incitation aux cultures non vivrières, afin de réduire la production pétrochimique et l'émission des gaz à effet de serre. C'est dans cette perspective que l'intérêt pour les fibres ligno-cellulosiques provenant de tissus végétaux s'est accru, tenant compte du fait qu'elles constituent des ressources renouvelables. Ces dernières se voient ainsi très prometteuses pour la transition vers une économie durable [1].

Au cours des deux dernières décennies, de nouveaux matériaux composites ont émergé dans le paysage industriel. Les contraintes environnementales ont poussé les industriels à développer de nouveaux matériaux issus de ressources renouvelables. L'introduction de fibres naturelles dans des matrices polymères (biodégradables ou non) peut apporter des avantages notoires par rapport aux fibres traditionnellement utilisées dans les composites (ex les fibres de verre) : faibles densités, bonnes propriétés mécaniques, faibles coûts [2]. Les composites ainsi formés trouvent des applications dans le secteur de l'automobile (pare-chocs, panneaux de portes, tableau de bord...) et de la construction et de l'habitat (isolants, plinthes, huisseries, mobilier de jardin...) [3].

En effet les fibres végétales de Genêt d'Espagne sont en abondance dans le territoire Algérien, et présentent de bonnes résistances dans son environnement naturel. Cela nous a permis d'envisager leur utilisation comme renfort dans les matériaux composites. La présence des groupements hydroxyles à la surface des fibres confère un caractère hydrophile. Ce dernier les rend incompatibles avec les matrices organiques à caractère fortement hydrophobe. L'adhérence fibre-matrice peut être améliorée par la modification de la topologie de la surface de la fibre. Les modifications chimiques des fibres végétales visent à améliorer l'adhésion avec les matrices polymériques. Les traitements chimiques des fibres végétales les plus adaptés sont généralement : l'acétylation, traitement alcalin et traitement par les silanes.

Notre travail consiste à élaborer et caractériser des agro-composites à base de polyéthylène haute densité renforcés par la farine de Genêt d'Espagne (GE) à différents taux 20, 30 et 40 (% m). Avant d'incorporer la farine à la matrice il est nécessaire de la traiter afin d'améliorer l'adhésion interfaciale charge/matrice. La farine a été modifiée par deux méthodes :

un traitement alcalin par l'hydroxyde de sodium (1.25 N) et l'utilisation d'un agent de couplage qui est le vinyltriméthoxysilane (5% m) VTMS.

Les mélanges obtenus ont été soumis à plusieurs techniques de caractérisation à savoir le test structural par infrarouge à transformé de Fourier (IRTF), les tests mécaniques (choc et dureté), et rhéologiques (Indice de fluidité et le gonflement au jonc), thermiques l'analyse thermogravimétrique (ATG) et l'analyse calorimétrique différentielle à balayage (DSC), et enfin les tests d'absorption d'eau et d'humidité.

Le mémoire se divise en quatre parties: Dans le premier chapitre nous présentons les fibres végétales, leur composition chimique, leurs propriétés usuelles, leurs avantages et inconvénients et leurs applications.

Le deuxième chapitre présente des généralités sur le développement durable et les agro-composites à matrice thermoplastique, la notion d'adhésion fibre-matrice, les méthodes de modification de la surface des fibres végétales et enfin la mise en œuvre des agro-composites à matrice thermoplastique.

Le troisième chapitre décrit les différentes techniques expérimentales utilisées et les conditions d'élaboration des composites étudiés.

Le quatrième chapitre est consacré à la discussion de l'ensemble des résultats obtenus à partir des différents tests effectués.

Pour finir, les principaux résultats sont synthétisés dans la conclusion générale qui ouvre également quelques perspectives.



Chapitre I

JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts
©2008-2014 JLLPPT.com All Rights Reserved. Contact Us



I. Les fibres végétales

I.1. Généralités

Les fibres naturelles regroupent les fibres d'origine animale (mouton, chèvre..., mais aussi ver à soie), les fibres d'origine végétale (coton, lin, alfa, chanvre...) et les nouvelles fibres artificielles 100 % naturelles comme les fibres de bambou, de maïs, de soja... [4].

Les fibres végétales sont des filaments minces et allongés. Elles entrent dans la composition des végétaux en particulier le bois, la tige ou les racines de certaines plantes naturelles [5].

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte qui est principalement composée, d'hémicelluloses, de lignine et de pectines. Elle est soit isolée soit regroupée avec d'autres en un faisceau. Il est primordial de ne pas confondre fibre unitaire (ou fibre élémentaire) et faisceau de fibres. Une fibre unitaire correspond à une cellule élémentaire fibreuse regroupée avec d'autres, qui forme un faisceau de fibres; le lien interstitiel entre les fibres unitaires étant composé principalement de pectines et d'hémicelluloses. Ce sont généralement des faisceaux de fibre qui sont communément appelés « fibres végétales » [6].

Les fibres végétales sont très présentes dans notre quotidien, avec notamment le textile et les papiers ou cartons dans leurs diverses déclinaisons. Elles sont de plus en plus utilisées comme renfort dans des pièces plastiques, et ce dans de plusieurs secteurs d'activité. Elles constituent en effet une ressource renouvelable, naturellement biodégradable, et disposant de nombreuses qualités techniques élevées [7].

Toutes les fibres naturelles sont biodégradables, ce qui veut dire que la nature peut les dégrader jusqu'à leurs composants de base sans intervention de l'homme. Autrefois les fibres naturelles étaient dépassées par les fibres synthétiques qui étaient moins chères et plus faciles à produire et qui avaient des propriétés supérieures [8].

I.2. Les fibres végétales

Les fibres végétales qui comprennent: les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton); les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie...) ; les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre), d'enveloppes de fruits (noix de coco) [9]. Dans notre étude, nous avons utilisé le Genêt d'Espagne qui est l'un des fibres extraites de tiges de plantes qui a des propriétés mécaniques supérieures.

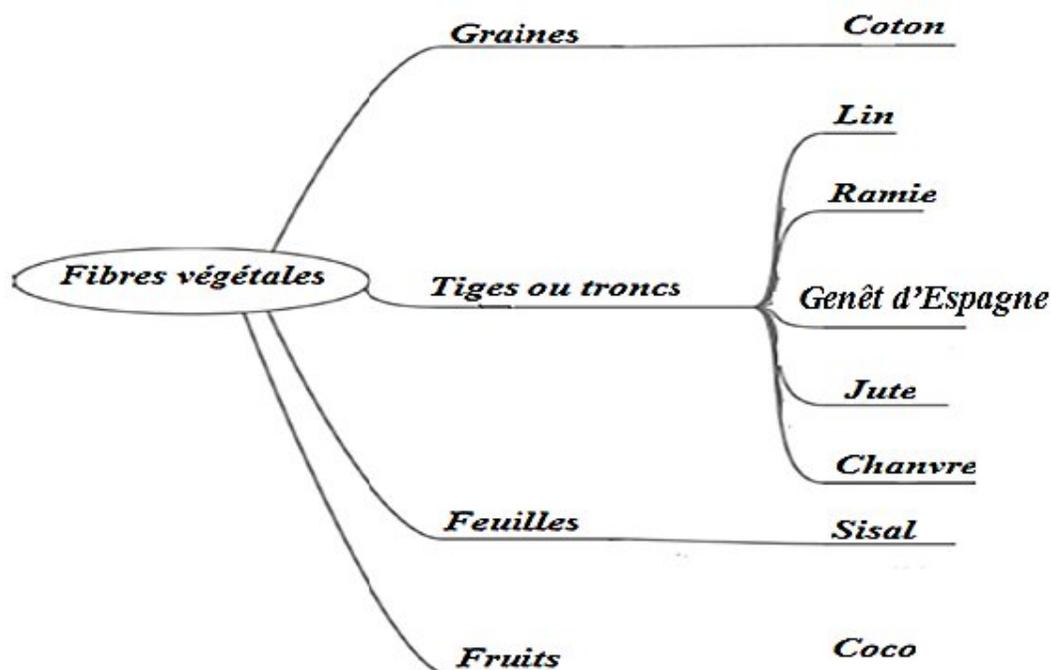


Schéma I.1. Classification des différentes fibres végétales en fonction de leurs origines [6].

I.2.1. Le Genêt d'Espagne

Le *Genêt d'Espagne*, en anglais, « *Spanish broom* » arbuste aux fleurs jaune-vif, ses tiges, souvent sans feuilles, restent vertes une bonne partie de l'année. C'est une plante qui peut atteindre 2 mètres de haut, et qui supporte autant les grandes sécheresses que les froids torrides. On le trouve le plus souvent en plaine et dans les maquis. L'un des deux genres, qui comporte environ cinquante espèces, est caractérisé par des feuilles à trois folioles, et par l'absence d'épines, l'espèce la plus connue de ce genre est le genêt à balais qui atteint 3 mètres de haut.

Le Genêt d'Espagne est un arbrisseau très décoratif, qui appartient à la famille des Fabacées (ou Papilionacées). Ses rameaux cylindriques sont creux, avec très peu de feuilles.

Les fleurs sont disposées en grappes (Figure I.1). Autrefois, le genêt était cultivé pour la fibre qui servait à confectionner de la toile. Les tiges de genêt d'Espagne sont utilisées en vannerie et produisent des fibres pour la fabrication des cordages et toiles grossières [10].



Figure I.1 Image de l'arbuste Genêt d'Espagne [11].

I.2.2. Le Coco

La fibre de coco entoure le fruit du cocotier. Les fibres de coco mesurent jusqu'à 35 cm de longueur pour un diamètre allant de 12 à 14 μm . La fibre de coco présente l'une des teneurs en lignine les plus élevées de toutes les fibres végétales. La fibre de coco sert fréquemment à lutter contre l'érosion. Elle entre ainsi dans la composition de certains géotextiles tissés utilisés à cette fin, et favorise alors la végétation nouvelle en absorbant l'eau et en empêchant la strate superficielle du sol de s'assécher [12].



Figure I.2. Image de coco [10].

I.2.3. Le Coton

Le Coton est une fibre végétale qui entoure les graines des cotonniers, un arbuste de la famille des Malvacées. Cette fibre est généralement transformée en fil qui est tissé pour la fabrication des tissus. Le coton est la plus importante des fibres naturelles produites dans le

monde. Son arbre le cotonnier peut mesurer jusqu'à 10 mètres à l'état naturel. Lorsqu'il est cultivé, on diminue sa taille à 1 ou 2 mètres de façon à en faciliter le ramassage [13].



Figure I.3. Image de coton [10].

I.3. La composition chimique des fibres végétales

La paroi cellulaire végétale est un édifice multimoléculaire qui assure la rigidité et qui évolue en fonction de l'âge des tissus végétaux. Elle entoure chaque cellule végétale et est essentiellement constituée de polyphénols, protéines et de glucides (90% de la masse de matière sèche) qui peuvent être des hémicelluloses, des pectines ou de la cellulose. Ces différents constituants forment un réseau complexe de macromolécules responsable des propriétés mécaniques de la paroi cellulaire. Elle a par ailleurs une double spécificité: elle doit à la fois être rigide pour jouer le rôle de squelette et de barrière et assurer une certaine élasticité pour permettre la croissance du végétal. Néanmoins, les échanges intercellulaires doivent pouvoir se faire. Ces contraintes paradoxales sont à l'origine de la complexité de la paroi végétale dont l'organisation repose sur trois territoires bien identifiés (Figure I.4) :

- ✓ La lamelle moyenne, jonction intercellulaire, permet la cohésion cellulaire. Elle est riche en pectines et dépourvue de cellulose ;
- ✓ La paroi primaire, est composée de pectines, de cellulose et d'hémicelluloses. Sa structure et sa composition chimique évoluent au gré de la croissance cellulaire ;
- ✓ La paroi secondaire est constituée des éléments de la paroi primaire dans lesquels s'est insérée de la lignine. Elle est plus rigide que la paroi primaire et ne permet plus la croissance cellulaire. On constate une plus grande proportion de cellulose, dont les microfibrilles sont disposées en hélices et en strates (S1, S2 et S3) de la

(Figure I.4). Elle est située en-deca de la paroi primaire car elle est synthétisée postérieurement à celle-ci [14].

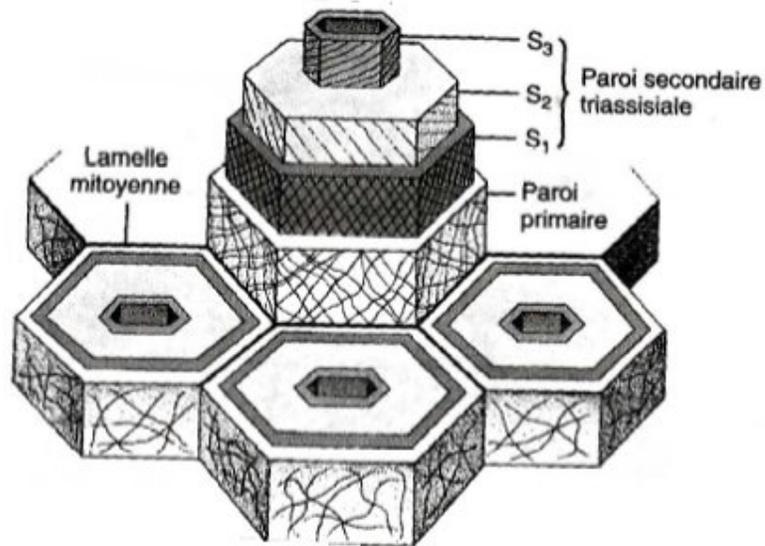


Figure I.4. Vue perspective d'une paroi ligneuse [14].

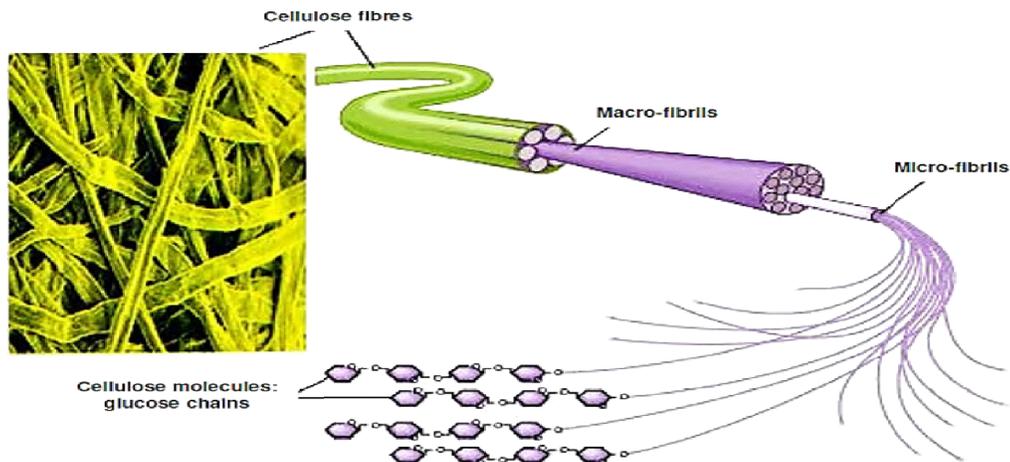


Schéma I.2. Structure d'une fibre végétale [15].

I.3.1. La Cellulose

La cellulose est la molécule organique la plus abondante sur la terre (plus de 50 % de la biomasse). La cellulose est un polymère linéaire, qui est le principal constituant des parois végétales. La cellulose est également rencontrée comme constituant presque unique du coton et des fibres textiles du type lin, chanvre, jute et ramie. A ce titre, elle a toujours joué dans la vie de l'homme sous forme de textiles ou de papiers un rôle important [16].

La cellulose est une macromolécule à très longue chaîne stéréorégulière et appartient à la famille β -D-glucanes. Elle est constituée exclusivement d'unités β -D-glucose reliées entre elles par des liaisons de type β (1-4). L'unité répétitive, composé de l'association de deux glucoses (β -D-glucopyranoses), est appelée cellobiose [17].

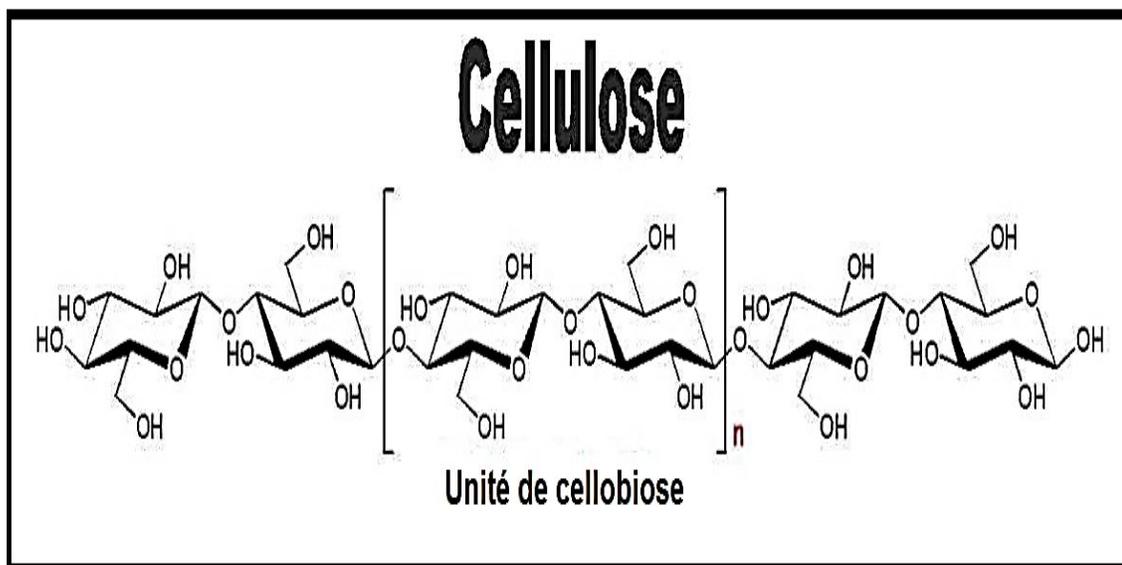


Schéma I.3. La structure de la cellulose [18].

Le degré de polymérisation (DP), ou le nombre de monomères de la cellulose varie en fonction de son origine et de son prétraitement; il peut être de 12000 pour une fibre de coton et 9000 pour des fibres de chanvre, le lin et le ramie [19]. La cellulose possède des régions cristallines et des régions amorphes. Les liaisons hydrogènes étant beaucoup plus nombreuses dans la première. Le taux de cristallinité de la cellulose est de 60% pour le coton et supérieur à 70% pour certaines algues marines [20].

I.3.2. Les hémicelluloses

Au sein de la paroi cellulaire végétale, les hémicelluloses sont un groupe hétérogène de polymères branchés matriciel, qui sont associés à la cellulose et à d'autres polymères. Elles se lient étroitement à la surface des microfibrilles de cellulose et d'une microfibrille à l'autre, par liaison hydrogène, et dans ce sens sont des glycanes assurant une réticulation. Contrairement à la cellulose, les hémicelluloses sont des polymères plus courts ou ramifiés de sucres à 5 atomes de carbone (pentoses), tels que le xylose, ou de sucres à 6 atomes de carbone (hexoses) autres que le glucose. Elles sont de structure amorphe et forment avec la lignine la gangue dans laquelle sont enrobées les fibrilles de cellulose [21].

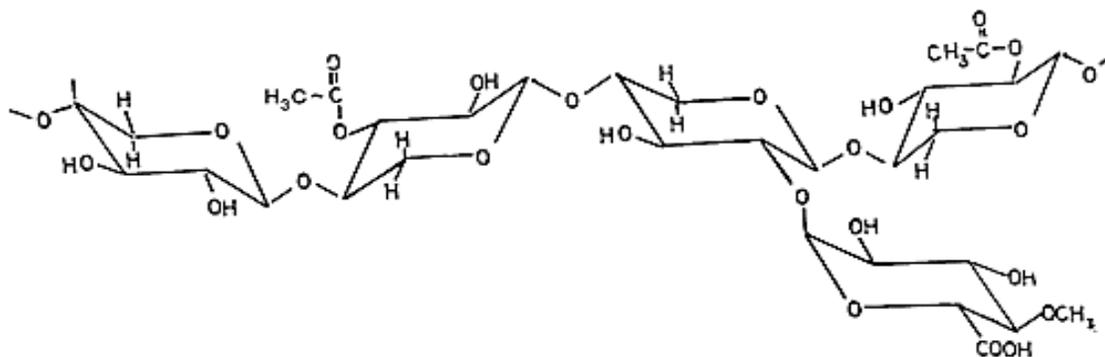


Schéma I.4. Molécule de l'hémicellulose [22].

Les hémicelluloses représentent environ 20-35% de la biomasse lignocellulosique et son degré de polymérisation est relativement faible (200-300). A la différence de la cellulose, les hémicelluloses ne sont pas chimiquement homogènes. Ce sont des polymères hétérogènes [23].

Elles sont définies structurellement comme des polysaccharides dont le squelette est composé de résidus β -(1,4)-D-pyranose, où l'atome d'oxygène est en position équatoriale. De courtes chaînes latérales sont fixées sur le squelette. Les sucres constitutifs des hémicelluloses peuvent être divisés en groupes : les pentoses, les hexoses, les acides hexuroniques et les désoxyhexoses [23].

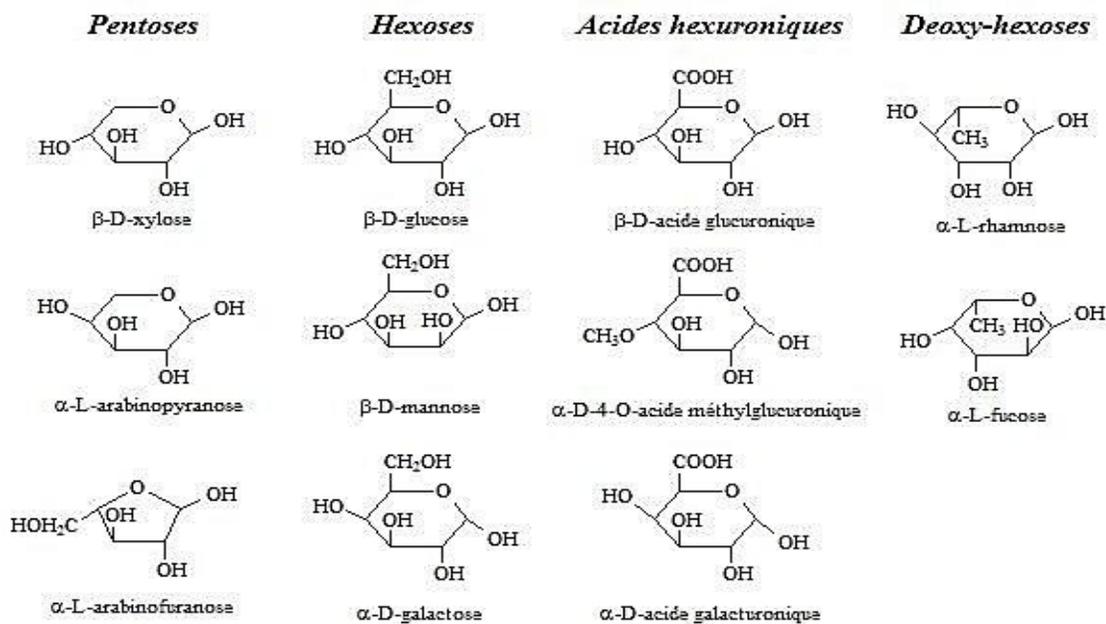


Schéma I.5. Les principaux sucres constitutifs des hémicelluloses [24].

I.3.3. La lignine

La lignine est le polymère naturel le plus abondant dans le monde après la cellulose. À l'échelle mondiale la production annuelle de biomasse est estimée à 172 milliards de tonnes de matière sèche. La lignine est extrêmement résistante à la dégradation. En formant des liaisons à la fois avec la cellulose et les hémicellulose [25].

La lignine ou les lignines sont des polymères tridimensionnels provenant de la polymérisation radicalaire de trois alcools phénylpropénoïques (l'alcool coumarylique, l'alcool coniférylique et l'alcool sinapylique) (Schéma I.6), dont la structure dépend également de l'espèce végétale. On ne peut pas de ce fait leur attribuer une structure moléculaire définie. Elles sont composées de constituants aliphatiques et aromatiques [26].

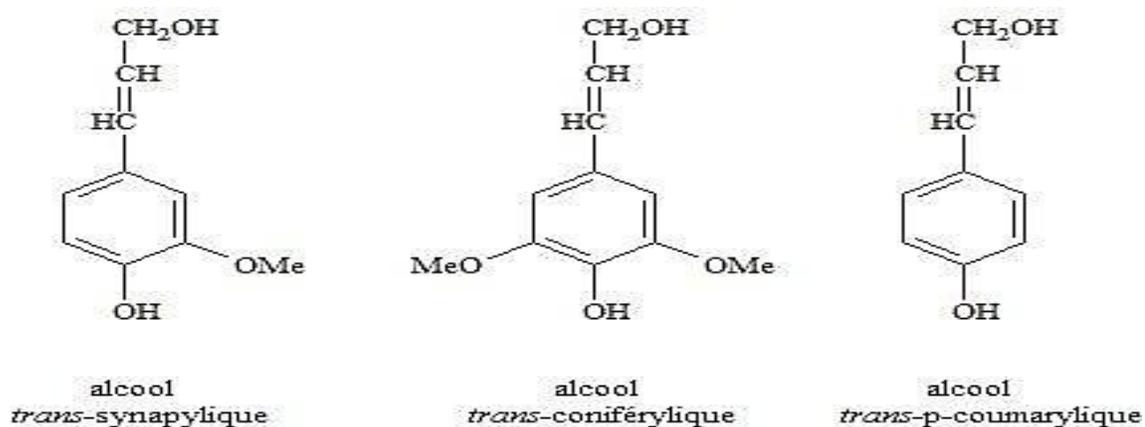


Schéma I.6. Alcools phénylpropénoïques composant la lignine [25].

II.3.4. Les pectines

Les pectines sont essentiellement des composés structuraux des parois cellulaires, de feuilles et de tiges. Ces polysaccharides essentiellement de l'acides galacturoniques liés en α -(1-4) et de résidus L-rhamnose liés en α -(1-2). De courtes chaînes d'arabinose et des résidus alactose peuvent être fixés sur les résidus rhamnose. Les pectines existent sous trois formes: les rhamnogalacturonanes de type I, les rhamnogalacturonanes de types II, et les homogalacturonanes [27].

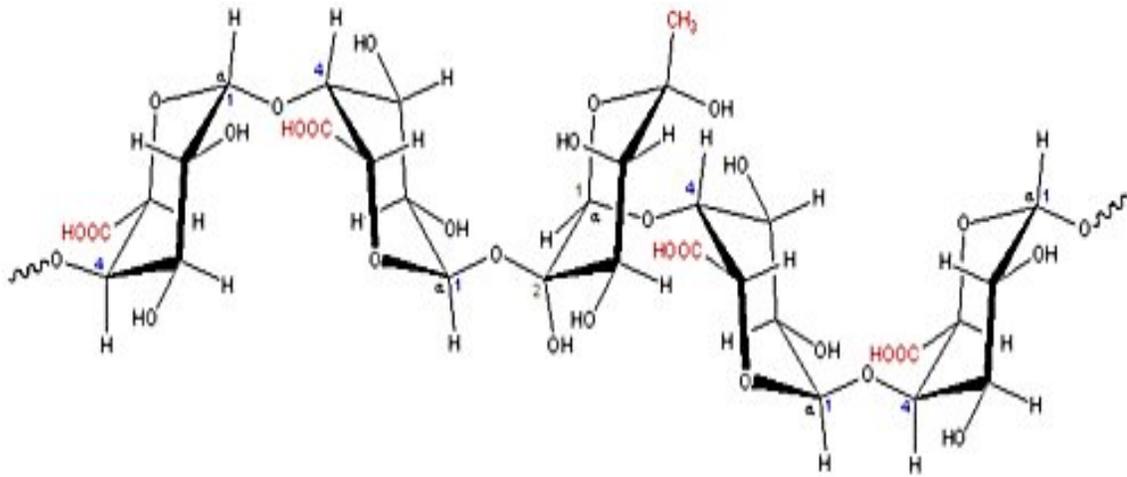


Schéma I.7. Structure d'une chaîne d'acide polygalacturonique [28].

I.3.5. Les cendres, les cires et les extractibles

Sucres et protéines, lipides, graisses et cires, stérols, dérivés phénoliques, terpènes, substances volatiles, minéraux, calcium, potassium, magnésium, manganèse, sodium, phosphore, et chlore se retrouvent dans les cendres. Ces extractibles en quantités infinies sont souvent à l'origine de la couleur ou de l'odeur des fibres végétales (cèdre, santal..) un extractible important pour des diverses utilisations est la colophane, base des vernis, encres, colles, et chewing-gums [29].

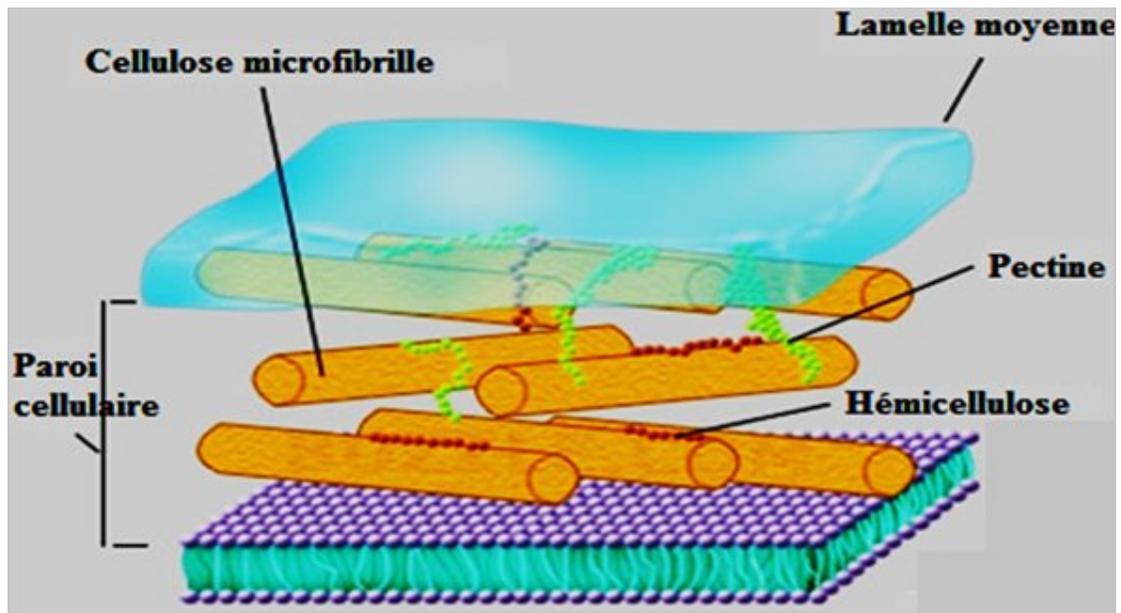


Schéma I.8. Représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique [30].

I.4. Propriétés des fibres végétales

I.4.1. Propriétés physiques et mécaniques

Les fibres naturelles présentent une variabilité qui peut constituer un frein au développement de composites structuraux biosourcés. Les conditions, l'âge et le procédé de plantation influencent les propriétés mécaniques et physiques de ces fibres.

La densité des fibres végétales est de 1,5, soit près de 2 fois moins que la fibre de verre. Cette propriété en fait une matière de choix dans l'industrie des transports. Le tableau I.3 présente les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.

Tableau I.1. Propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales [31-33].

Fibre	Diamètre (μm)	Contrainte à la rupture (MPa)	Module d'élastique (GPa)	Déformation (%)	Densité (g/cm^3)
Lin	12-30	500-900	50-70	1,5-4,0	1,45
Chanvre	16-50	350-800	30-60	1,6-4,0	1,48
Jute	5-25	300-700	20-50	1,2-3,0	1,3
Sisal	100-400	300-500	10-30	2-5	1,5
Coco	-	150-180	4-6	20-40	1,2
Genêt d'Espagne	5-10	220,6	22	2,5-12	0,686

I.4.2. Propriétés thermiques

Concernant la conductivité thermique, aucune étude n'a été réalisée sur les performances d'isolation propre à chaque fibre végétale. La notion de résistance thermique est importante car elle traduit les performances d'isolation d'un matériau. Il a été constaté des niveaux de résistance thermique très intéressants pour les matériaux isolants à base de fibres végétales.

La dégradation thermique des fibres végétales est induite par augmentation de la température qui va modifier la composition chimique des fibres végétales et qui va affecter leurs performances. Les facteurs de variation de cette dégradation sont la température et la

durée d'exposition. La faible stabilité thermique des fibres végétales est une caractéristique intrinsèque importante à prendre en compte pour leur utilisation [34].

I.4.3. Propriétés hydrophiliques

Les hémicelluloses, la cellulose et la pectine présentent de nombreux groupements hydroxyles attribuant aux fibres végétales. Ce caractère hydrophile favorise l'absorption d'eau. Le taux d'humidité des fibres végétales est une caractéristique importante à prendre en compte puisqu'il peut modifier les propriétés de la fibre et perturber les procédés de mise en forme.

I.5. Avantages des fibres végétales et limites d'utilisation

Les fibres végétales présentent des avantages par rapport aux fibres synthétiques en citant :

- ✓ Coût relativement faible ;
- ✓ Ressource renouvelable ;
- ✓ Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité);
- ✓ Moyennement abrasif pour les outillages ;
- ✓ Biodégradabilité ;
- ✓ Peu d'énergie pour être produite ;
- ✓ Neutre vis à vis de l'émission de CO₂ ;
- ✓ Pas d'irritation cutanée lors des manipulations ;
- ✓ Pas de résidus après leur incinération ;
- ✓ Propriétés d'isolation thermique et acoustique [28].

Par contre, leur utilisation à échelle industriel est limitée due à la:

- ✓ Demande de la gestion d'un stock ;
- ✓ Possibilité d'absorption d'eau ;
- ✓ Variation de qualité (par rapport au lieu de croissance, de la météo, technique culturale...);
- ✓ Faible résistance à la chaleur (de 200 à 230°C max) ;
- ✓ Biodégradabilité [28].

I.6. Les principales applications

Les fibres végétales sont utilisées depuis des temps immémoriaux pour fabriquer outils et instruments, cordes et emballages, ou encore pour l'habillement, la literie et le logement.

Aujourd'hui, les considérations environnementales ont ravivé l'intérêt d'une production agro-industrielle de ces fibres et ce pour un grand nombre d'applications...

Les fibres textiles: les plus populaires au monde est le coton, qui compte pour 33% de la production textile mondiale [35].

Les papiers: papiers à usage graphique (journal, magazine, papier à lettre, livres...), les cartons (boîtes divers et pliables), papiers industriels spéciaux (cigarette, condensateurs, thermosensibles...), les papiers domestiques et sanitaires [26].

Le bâtiment: planché, clôtures, palissades, portes et fenêtres, bardage...

Les infrastructures: voies ferrées, murs anti-bruit.

L'emballage: palettes, boîtes, sacs de grande contenance, emballage alimentaire...) [26].

L'automobile/transport: panneaux de portes, aillons arrières, revêtements de sol remorques [35].



OLLPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts
© 2008-2014 OLLPT.com. All rights reserved.

II. Compatibilité et adhésion charge végétale-matrice thermoplastique

II.1. Généralités sur le développement durable

Par définition, le développement durable est présenté comme « un développement qui assure les besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ». Les fibres végétales répondent parfaitement à ce concept et leur industrie avance selon des pratiques respectueuses de l'environnement, socialement équitables et économiquement viables, comme le souhaite la charte du développement durable (Figure II.1) [36].

Donc c'est dans un contexte de diminution des émissions de gaz à effet de serre pour les pays industrialisés, que les matériaux bio-sourcés et en particulier les fibres végétales présentent un grand nombre d'intérêts permettant d'allier performances environnementales et performances techniques. En effet, le lin et le chanvre peuvent être assimilés à des puits de carbone puisque la synthèse de leur squelette carboné capte le CO₂ atmosphérique pour produire, via la photosynthèse, des sucres, blocs élémentaires de leur squelette. Ces cultures ne demandent pas un travail important de préparation du sol, ni d'apport complémentaire en eau. Seulement un faible apport d'azote est requis pour certaines plantes. De plus, ces cultures permettent de rompre le cycle de développement des maladies et des ravageurs et de lutter naturellement contre le développement des mauvaises herbes. Ainsi, le bilan environnemental des cultures est très positif [1].

De point de vue économique, ces matériaux permettent d'explorer de nouveaux marchés et de développer d'autres. Les autres fibres végétales, par exemple le lin, le chanvre ou le miscanthus, peuvent être transformées en matériau. Les opportunités sont réelles, notamment dans les secteurs des sports et du transport, deux secteurs à la recherche de matériaux légers et résistants. Outre les fibres, d'autres composantes peuvent également être extraites et transformées pour différents usages industriels. Elles permettent ainsi, d'accroître la productivité et, par la suite, la compétitivité mondiale et de réduire les coûts.

Enfin, toutes ces actions économiques et environnementales vont à leur tour développer le volet social, par la création des emplois, la réduction de l'écart Sud / Nord mais aussi par l'encouragement à l'insertion des individus dans la chaîne économique et l'amélioration de leurs conditions de vie (santé, éducation, habitat...) [36].

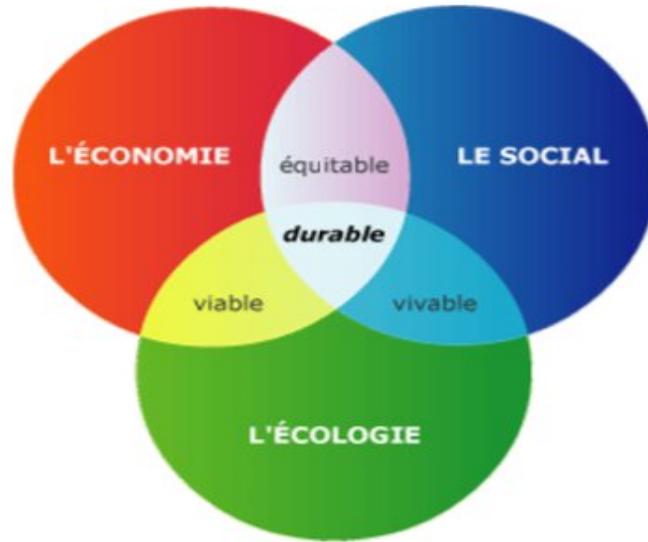


Figure II.1. Les trois piliers du développement durable [36].

Dans ce contexte les matériaux agro-composites ou bio-composites connaissent une croissance exceptionnelle dans les dernières années. Ils concernent des secteurs d'application diversifiés tels que le transport, le bâtiment, le sport et les loisirs, la santé (prothèses).

Les agro-composites désignent tous types de matériaux produits à base de dérivés du pétrole aux quels sont associés des agro-matériaux comme des poils séminaux des graines (ex: coton), des tiges de plantes (ex: lin, chanvre, jute), des feuilles (ex : sisal) ou l'enveloppe des fruits (ex : noix de coco) [36]. Ci-après, nous appuyons sur les agro-composites à matrice thermoplastique.

II.2. Les agro-composites à matrice thermoplastiques

Les fibres naturelles ainsi que leurs composites trouvent une large gamme d'applications dans différents domaines tels que l'industrie automobile et le bâtiment. Les tendances actuelles d'utilisation des fibres naturelles et leurs parts de marché correspondantes sont résumées dans le Tableau II.1 [37].

Tableau II.1. Domaines d'applications et parts de marché des composites à fibres naturelles [37].

Domaine d'application	Part de marché
Bâtiment	30%
L'industrie automobile	25%
Equipement industriels	10%
Electronique	9%
Sport	8%
La construction navale et l'industrie de l'acier	6%
Génie électrique	6%
Industries de l'aviation et l'espace	3%
Médecine	1%
Chemins de fer	1%
Les éoliennes	1%

Grâce à leurs propriétés particulières et leurs applications polyvalentes, la demande en matière de composites à renfort naturel est croissante. Les pays de l'union européenne (UE) affichent une augmentation d'utilisation de matières premières végétales pour la production des agro-composites à matrice thermoplastique [37].

Il existe deux types de thermoplastiques à base de fibres végétales: les thermoplastiques renforcés de fibres végétales qui utilisent des fibres [mm] à [dm] et les thermoplastiques chargés de fibres végétales qui utilisent de la farine végétale. Il n'est pas exclu qu'à moyen et long terme des granulats puissent être utilisés [34].

Les propriétés de ces matériaux dépendent fortement des caractéristiques physicochimiques des constituants primaires: renfort (fibres, particules, etc.) et matrice. Mais le comportement résultant du composite ne peut pas être représenté comme une combinaison simple des propriétés de chacun des constituants. D'autres facteurs aussi importants que le choix des constituants sont liés directement à la performance du composite le procédé de fabrication de ce composite et les propriétés de l'interface entre les fibres et la matrice [38].

La zone de collage fibre et matrice est de première importance pour les matériaux composites. Cette zone, peut être le siège de nombreux phénomènes complexes, (ségrégation de phase, création de liaisons, interdiffusion, interactions physiques...) assure le transfert de charge entre les fibres et la matrice et permet d'obtenir des matériaux à hautes performances mécaniques [39].

II.3. Notion d'adhésion fibre-matrice

La connaissance approfondie de la relation entre la structure morphologique, la composition et les caractéristiques des matériaux composites polymère–fibres naturelles biodégradables fait possible le développement de matériaux performants, ayant des propriétés mécaniques excellentes [40].

La notion d'adhésion ne peut être dissociée de la nature des surfaces impliquées. De telles interfaces sont le siège de phénomènes physico-chimiques complexes. Ces derniers sont dus aux interactions moléculaires entre les fibres et la matrice de nature et de propriétés différentes. Ces interfaces doivent être en mesure de supporter toutes contraintes mécaniques, résiduelles ou externes, et les transmettre de la matrice à la fibre pour que les matériaux composites présentent les propriétés mécaniques requises [41].

L'adhésion entre les fibres et la matrice est sans doute le point le plus important au niveau des caractéristiques des matériaux composites. En effet, leurs propriétés mécaniques chutent si l'adhésion fibre/matrice est mauvaise. Ce phénomène est lié au fait que les fibres végétales sont hydrophiles et polaires alors que les polymères thermoplastiques couramment utilisés pour ces composites, sont hydrophobes et apolaires. Les études menées jusqu'à présent ont cherché à renforcer l'affinité de la matrice et des fibres de manière à en augmenter la force d'adhésion [42].

Une meilleure compréhension des phénomènes d'adhésion est requise pour tenter de les améliorer. La complexité de ceux-ci a généré diverses théories [43].

II.3.1. Théorie thermodynamique de l'adhésion

C'est le modèle le plus utilisé dans l'approche des phénomènes d'adhésion. La théorie thermodynamique de l'adhésion est fondée sur le principe que l'adhésion est essentiellement le résultat des forces interatomiques et intermoléculaires existant à l'interface. Les forces interfaciales les plus communes proviennent des interactions de van der Waals et des interactions acide-base de Lewis. L'amplitude de ces forces est reliée à des grandeurs thermodynamiques [44].

L'énergie libre de surface des substrats dans le cas de matériaux composites, il est donc nécessaire de caractériser l'état de surface de la charge et celui de la matrice pour optimiser l'interface et les propriétés des composites. L'énergie de surface peut être calculée par des mesures de mouillabilité [43].

II.3.1.1. Définition du mouillage

C'est un paramètre fondamental dans un grand nombre d'applications industrielles comme l'automobile, les textiles, les peintures et les adhésifs. Le terme mouillage recouvre tous les phénomènes apparaissant quand un liquide est mis en contact avec un liquide immiscible ou un solide. Le mouillage de la surface est le pouvoir qu'aura une surface à former un film homogène lorsqu'elle est en contact avec un liquide. Un film homogène de liquide sur une surface est obtenu quand l'énergie de surface du liquide est inférieure ou égale à celle du solide [45, 46].

II.3.1.2. Définition de l'énergie de surface

Pour un système solide-liquide, l'équilibre de mouillage peut être défini par le profil d'une goutte de liquide déposée sur une surface solide plane, présenté sur la Figure II.2 [45].

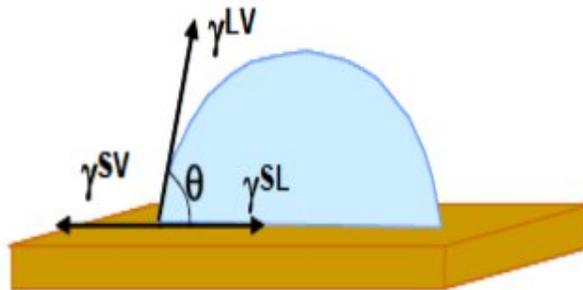


Figure II.2. Angle de contact à l'équilibre sur une surface solide [47].

Avec γ_{LV} , γ_{SV} et γ_{SL} les tensions interfaciales liquide - vapeur, solide – vapeur et solide - liquide respectivement. L'équation de Young (1805) reliant l'énergie de surface du solide au point triple (solide, liquide, vapeur) à l'angle de contact à l'équilibre θ_s écrit suivant l'équation II.1.

$$\dots\dots\dots(II.1)$$

Le terme γ_{SV} est sensiblement inférieur à l'énergie libre de surface γ_s du solide. La différence entre ces deux énergies est appelée la pression d'étalement de la vapeur sur le solide. Il est généralement considéré que la vapeur adsorbée est négligeable pour des matériaux de faible énergie de surface comme c'est le cas pour les polymères. L'équation de Young prend alors la forme de l'équation (II.2).

$$\dots\dots\dots(II.2)$$

L'énergie libre de surface équation (II.3) correspond à la variation d'enthalpie libre G mise en jeu pour accroître la surface d'une unité d'aire A .

$$\gamma = \left(\frac{\delta G}{\delta A} \right)_{T,P,n} \text{ à température, pression et nombre de moles fixés. (II.3)}$$

Pour un solide, on parle généralement d'énergie de surface et pour un liquide de tension superficielle. L'unité est le mJ.m^{-2} ou le mN.m^{-1} . Un classement des surfaces solides est effectué en fonction de leur énergie γ .

- ✓ surface hydrophobe ne présentant pas ou peu d'adhésivité, $10 < \gamma < 35 \text{ mJ.m}^{-2}$;
- ✓ surface hydrophile présentant une bonne adhésivité, $\gamma > 50 \text{ mJ.m}^{-2}$;
- ✓ surface amphiphile, $35 < \gamma < 50 \text{ mJ.m}^{-2}$ [43].

La cohésion entre les fibres végétales et la matrice de polymère demeure l'un des verrous technologiques du développement de ces matériaux. En effet, la cellulose, principal constituant des fibres végétales, est généralement pas ou peu compatible avec les matrices thermoplastiques. De nombreuses études ont donc porté sur l'amélioration de ces propriétés [48].

II.4. Modification des charges végétales

En raison de la faible compatibilité entre les fibres lignocellulosiques et les matrices thermoplastiques, il est essentiel de traiter la fibre et/ou la matrice. Les différents traitements pouvant être appliqués sont généralement classés en deux catégories: physiques et chimiques.

II.4.1. Les traitements physiques

Les méthodes physiques entraînent des changements au niveau de la surface et de la structure de la matrice thermoplastique ou de la fibre végétale. Parmi les méthodes physiques on a l'étirement, le calandrage, les traitements thermiques etc... Ces modifications ont fait l'objet de multiples études mais ne sont pas les plus utilisées pour le traitement de surface des fibres celluloses. Ces méthodes sont utilisées surtout pour purifier les fibres lignocellulosique en enlevant les impuretés sur la surface du substrat [49].

Les méthodes par décharge électrique sont reconnues efficaces pour des substrats de polymères non actifs comme le polystyrène, le polyéthylène, le polypropylène, etc. Ces méthodes sont utilisées avec succès sur des fibres celluloses pour réduire la viscosité à

l'état fondu des composites cellulose/polyéthylène et pour améliorer les propriétés mécaniques des composites cellulose/polyéthylène [50, 51].

Le traitement corona est l'une des méthodes les plus intéressantes pour l'oxydation et l'activation de la surface. Cette technique modifie l'énergie de surface des fibres cellulosiques et dans le cas du bois, l'activation accroît le nombre de groupements aldéhydes [49].

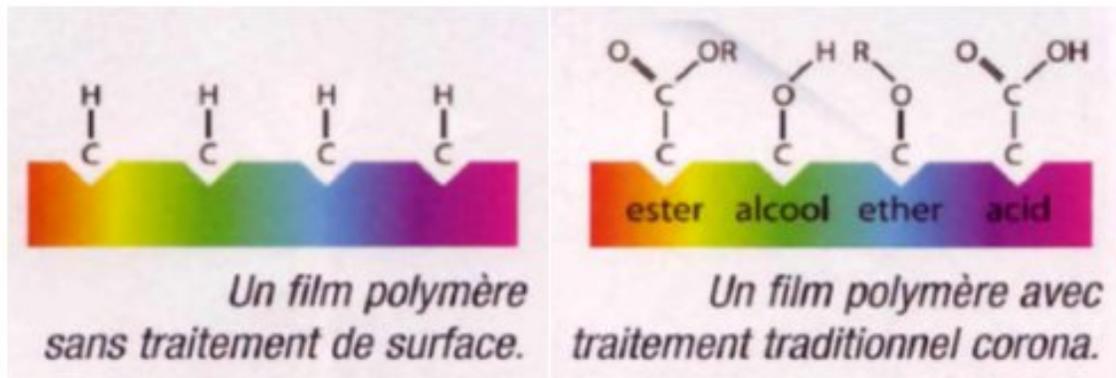


Figure II.3. Effet Corona (activation de la surface d'un polymère par oxydation) [49].

Foerch et ses collaborateurs [52], étudient l'effet d'une post-décharge O_2 sur le PE. Après 1 seconde de traitement a une puissance de 45 Watts, 30% d'oxygène est greffé à la surface du PE. Des traitements plus longs ne permettent pas d'améliorer ce résultat. Dans ce cas-ci, l'identification des espèces greffées est beaucoup plus simple que dans le cas de traitement par plasma azote. En effet, seul de l'oxygène est greffé à la surface de l'échantillon. Les types de groupements greffés à la surface sont: des hydroxyles (R-OH), des éthers (R-O-R), des carbonyles (C=O) et des esters (O=C-OR). Les traitements oxygène sont plus rapides que les traitements azote pour modifier les surfaces du poly (fluorure de vinylidène) (PVDF). Dans le cas du traitement N_2 , c'est après 5 secondes de traitement que la quantité d'azote maximale a été greffée. Dans le cas des plasmas O_2 , la valeur maximale d'oxygène greffé est atteinte après seulement 1 seconde.

Les effets similaires peuvent être obtenus par le traitement au plasma froid. Dépendamment de la nature et du type de gaz utilisé, diverses modifications des surfaces peuvent être obtenues. La réticulation de la surface peut être introduite, l'énergie de surface peut être réduite ou augmentée, les radicaux et groupements réactifs peuvent être générés.

Oraji [53] a étudié l'effet de traitement plasma sur les fibres de lin, il a montré que ce traitement a exposé une capacité significative dans le changement des caractéristiques superficielles de fibres de lin. Les résultats de la microscopie électronique à balayage ont

montré que le traitement plasma a modifié la surface de fibre bientôt (15 minutes) que le traitement chimique (4 heures). La modification chimique a enlevé des matières noncellulosiques des craquements et le présent de fosses sur la surface de fibre. Tandis que, la modification plasma a affecté la surface de fibre dans une façon différente surtout comme la gravure de plasma et la séparation de couches minces de la surface de fibre. Les résultats de diffraction des rayons X (DRX) ont montré que la structure des fibres traitées par plasma a été significativement changée (en 15 minutes) (par exemple la cristallinité) en comparaison à des fibres traitées chimiquement (4 heures). Autrement dit, le processus de modification plasma semble être achevé dans environ 15 minutes tandis que dans le traitement chimique beaucoup d'étapes comme le lavage et le séchage sont impliquées après le traitement chimique consommant un grand temps et une énergie.

II.4.2. Les traitements chimiques

La modification de la surface par des méthodes chimiques a pour objectif de rendre compatibles deux matériaux. Parmi ces méthodes, on retrouve principalement, les réactions de couplage chimique (réactions de copolymérisation et/ou greffage de chaînes de polymères linéaires ou de molécules organiques simples) et les réactions d'oxydation.

Les méthodes chimiques visent d'abord à dissoudre et éliminer les constituants amorphes de lamelle moyenne qui assure la jonction entre deux cellules adjacentes (lignines, hémicelluloses, pectines...); un deuxième effet recherché est la dissolution des lignines qui peuvent incruster les parois, de manière à obtenir des fibres cellulosiques de haute qualité et qui renferment peu ou pas d'autre constituants pariétaux [40].

On va appuyer ci-après sur les deux méthodes réalisées dans notre étude pour modifier la farine utilisée pour élaborer nos différentes formulations qui sont la mercerisation et le traitement par silane.

II.4.2.1. Le traitement par mercerisation

La mercerisation ou mercerisage est un procédé chimique inventé par John Mercer en 1844 et qui consiste à traiter une étoffe de coton (cellulose) afin d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques des fibres, comme de leur donner un aspect lustré. Cette technique est couramment pratiquée dans l'industrie textile du coton [33].

La définition standard du mercerisage (proposée par la norme ASTM D 1965) est la suivante: procédé qui consiste à soumettre une fibre végétale à une interaction avec une solution aqueuse concentrée d'une base forte, dans le but de provoquer un gonflement

important résultant en des changements dans la structure fine, la dimension, la morphologie et les propriétés mécaniques [54].

Pendant la mercerisation, les solutions aqueuses d'hydroxyde de sodium agissent sur la structure de la cellulose en changeant la structure cristalline de cellulose I en cellulose II. Quand ceci est effectué, il en résulte une variation de la longueur des fibres ainsi que de propriétés d'absorption. Un autre effet est le fait que le lumen des fibres de coton (la cavité centrale) est rempli presque entièrement avec de la soude ce qui fait que la fibre devient parfaitement cylindrique donnant ainsi une texture plus douce. En fonction du type de cellulose utilisée (coton, ramie, lin, fil ou du tissu) différentes températures de traitement sont nécessaires. Les conditions le plus souvent utilisées sont pour des concentrations comprises entre 18-23% NaOH et des températures de 25-40°C et pendant quelques minutes (maximum trois minutes) [55].

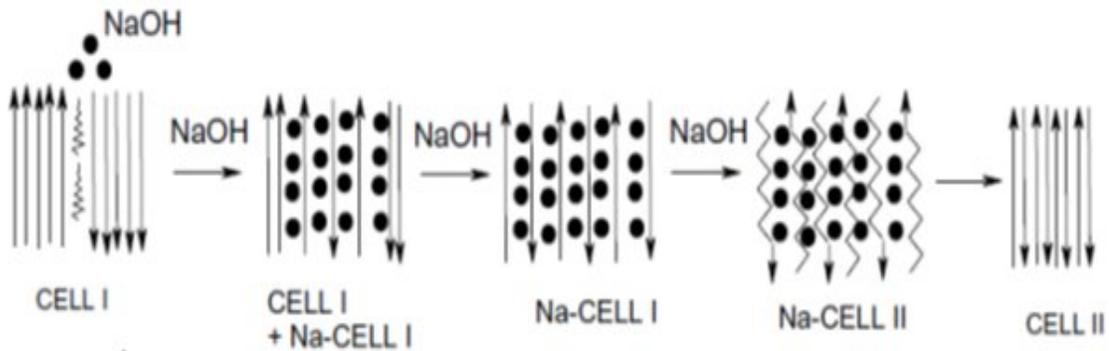


Figure II.4. Passage Cell I => Cell II pendant la mercerisation [56].

Ray et ses collaborateurs [57], se sont intéressés à l'étude des propriétés mécaniques des composites vinylester renforcé par les fibres de jute qui ont subi un traitement alcalin. Les fibres de jute traitées avec 5 % en masse de NaOH à la température ambiante pour différents temps, montrent une amélioration des propriétés des composites. Les fibres traitées ont une faible quantité d'hémicellulose, une cristallinité élevée et une réduction des défauts. Les résultats ont montré une amélioration des propriétés des fibres à des temps de traitement de 6-8 heures; alors que les composites ont des meilleurs propriétés à un taux de fibres de 35 % en masse traitées pendant 4 heures.

Ikhlef [11] s'est intéressée à l'élaboration et la caractérisation des composites à base de polyéthylène basse densité renforcé par différents taux de farine de Genêt d'Espagne obtenue à partir des tiges de l'arbuste. La charge a été traitée avec une solution d'hydroxyde de sodium

(1,25 N) à différents temps et à différentes températures. Les composites obtenus ont été soumis à plusieurs techniques de caractérisations.

Les résultats obtenus en infrarouge ont montré que la structure de farine de Genêt d'Espagne a changé après le processus de traitement. Le pic à 3400 cm^{-1} assigné à la vibration du groupe hydroxyle (-OH) et le pic à 1052 cm^{-1} assigné à la vibration du groupe (C-O) de l'hémicellulose et de la lignine sont nettement réduits de fait de l'élimination partielle de l'hémicellulose et de la lignine. La bande d'absorption à 1644 cm^{-1} qui correspond à l'absorption d'eau, due au caractère hydrophilique de la farine de Genêt d'Espagne disparaît après le traitement. Aussi, la présence d'un pic à 1248 cm^{-1} caractéristique de l'élongation des liaisons C-O-C du groupement d'éther de la lignine qui a également disparaît après le traitement.

L'évolution du pourcentage de perte en masse est progressivement importante au cours des 48 premières heures de traitement, puis elle commence à se stabiliser après une durée de traitement de 48 heures.

L'étude des propriétés mécaniques (traction) a montré que la contrainte et l'allongement à la rupture des composites diminuent avec l'augmentation du taux de farine. Mais il y a une certaine amélioration de ces derniers par le traitement. Le module d'élasticité croît progressivement. L'augmentation de la température de traitement (40°C) a provoqué une diminution des propriétés en traction.

II.4.2.2. Le traitement par les silanes

Les silanes de formule générale R-Si (OR')_3 , sont des agents de couplage organiques-inorganiques qui donnent de bonnes performances et sont utilisés dans les matériaux composites à base de fibres cellulosiques. L'attachement du silane aux groupes hydroxyles de la cellulose ou de la lignine est effectué directement aux groupes alkoxy (-OR') attachés au silicium ou par son produit hydrolysé (silanol) par des liaisons hydrogène ou par des liaisons d'éthers [58]. Le groupe fonctionnel R dans le silane aussi influence l'action du couplage.

Abdelmouleh et ses collaborateurs [59], ont travaillé sur la modification chimique de la surface des fibres cellulosiques avec les organofonctionnels dans un milieu liquide (éthanol/eau), suivi par un traitement à chaud. Les fibres modifiées ont été caractérisées par la spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (IRTF) et par la mesure de l'angle de contact. La présence des liaisons Si-O-Cellulose et Si-O-Si sur la surface des fibres cellulosiques confirme que le silane adhère efficacement à la surface des fibres cellulosiques

par condensation avec les groupes hydroxyles de la cellulose et la condensation entre les groupes silanols. Les résultats de mesure de l'angle de contact ont montré que le caractère hydrophile des fibres cellulosiques a diminué après le traitement par silane.

Demir et ses collaborateurs [60], ont étudié l'effet de traitement de surface par les agents de couplage 3-(triméthoxysilyl)-1-propanethiol et (3-aminopropyl)-triéthoxysilane sur les propriétés mécaniques, morphologiques et l'absorption d'eau de composite PP/fibres de luffa. Les résultats mécaniques ont montré que le traitement de la fibre augmente la déformation à la rupture ainsi que le module d'élasticité de composites. Le composite à base de fibre traitée par le 3-(triméthoxysilyl)-1-propanethiol exhibe des propriétés mécaniques meilleurs par rapport au composite à base de fibre de luffa traitée par le (3-aminopropyl)-triéthoxysilane. Les résultats de la microscopie à force atomique montre que le traitement par le silane diminue les irrégularités de la fibre de luffa. Le traitement par le silane des fibres de luffa diminue la capacité de l'absorption de l'eau de composite PP/fibres de luffa.

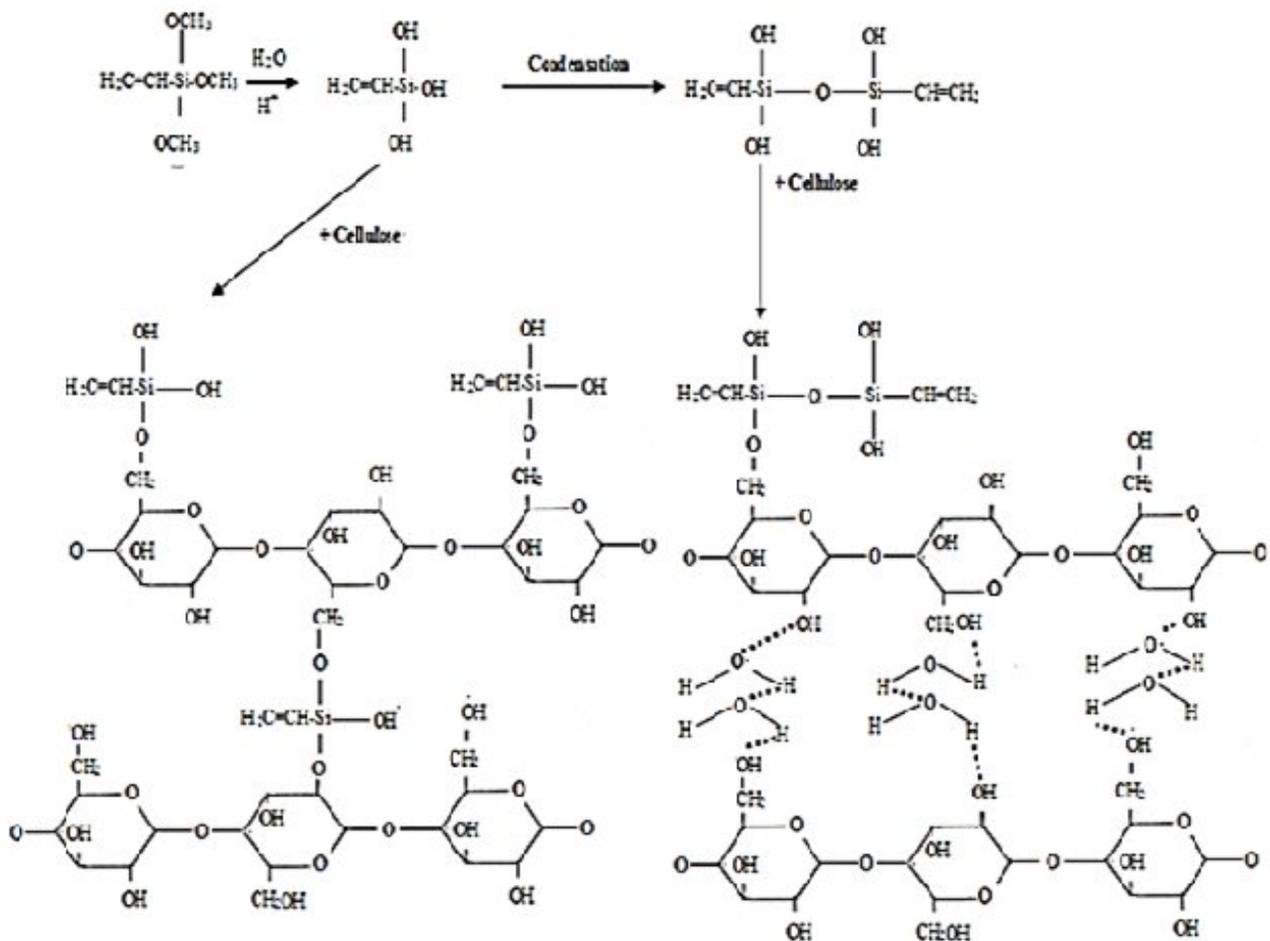


Schéma II.1. Réaction de traitement par le silane [61].

II.4.2.3. Acétylation

L'acétylation est une méthode plutôt attrayante pour modifier la surface des fibres naturelles et la rendre plus hydrophobe. Elle a été utilisée pour réduire le gonflement du bois dans l'eau et a été étudiée plus que toute autre réaction chimique des matériaux lignocellulosiques. Le principe de la méthode est de faire réagir les groupes hydroxyles (-OH) de la fibre avec les groupements acétyls ($\text{CH}_3\text{CO}-$), et donc de rendre ainsi la surface de la fibre plus hydrophobe. Les groupes hydroxyles qui réagissent sont ceux des constituants mineurs de la fibre, c'est-à-dire la lignine et les hémicelluloses, et ceux de la cellulose amorphe. Les groupes hydroxyles des régions cristallines de la fibre sont étroitement compactés grâce à des liaisons intermoléculaires fortes, et sont inaccessibles aux réactifs chimiques [31].

Rana et ses collaborateurs [62], ont étudié les propriétés thermiques et la morphologie de surface des fibres de jute acétylées. Les courbes d'analyse thermogravimétrique des fibres de jute acétylées montrent que la décomposition de l'hémicellulose a disparu, et que la perte de poids associée à l'étape principale de dégradation (373°C) a augmenté. La température de décomposition principale a augmenté de 363 à 373°C , indiquant que la stabilité thermique des fibres de jute acétylé est supérieure à celle des fibres non traitées. Les mêmes conclusions ont été faites par **Albano** et ses collaborateurs [63], lors de l'étude de l'acétylation des fibres de sisal.

II.5. Mise en œuvre des agro-composites à matrice thermoplastique

Le choix du procédé de transformation est guidé à la fois par la nature du matériau (thermoplastique ou thermodurcissable), la forme de la pièce à réaliser, les performances visées et les impératifs de production en termes de quantité et de cadence. Les procédés de mise en forme des matériaux polymères et composites à matrice organique ont des caractéristiques communes qui sont essentiellement:

- ✓ La complexité du comportement rhéologique des fluides en présence et la forte sensibilité de ce comportement aux paramètres thermodynamiques : température, pression, taux de cisaillement;
- ✓ Le caractère non-uniforme des champs de températures et de contraintes;
- ✓ La brièveté de l'opération de mise en forme par rapport à la plupart des constantes de temps des processus à l'œuvre : relaxation, cristallisation, réactions chimiques, etc.

Le composant principal des fibres naturelles étant la cellulose qui se dégrade à partir de 220°C, les seuls polymères utilisables pour le renforcement par des fibres naturelles sont ceux dont la température de transformation reste inférieure à 220°C environ.

Les paramètres de mise en œuvre sont pratiquement identiques à ceux utilisés pour les polymères vierges avec quelques caractéristiques particulières aux fibres de cellulose:

- ✓ Les composites sont normalement conditionnés avec une humidité résiduelle inférieure à 0,5%. Cependant, après un stockage de plusieurs mois ou de plusieurs heures en sac ouvert, il est nécessaire de procéder à la dessiccation avant la mise en œuvre;
- ✓ La température de mise en œuvre est en général légèrement plus basse que celle utilisée pour les polymères seuls. Il faut éviter dans tous les cas des températures de masse fondue supérieures à 220°C;
- ✓ Il est conseillé d'éviter les augmentations trop brutales des forces de cisaillement et de veiller à la bonne adaptation des seuils d'injection à la viscosité du composite. Le comportement des polymères renforcés en fibre est très pseudo-plastique;
- ✓ Les fibres naturelles contenant une certaine quantité de pectines, celles-ci sont dégradées à partir de 160°C environ et engendrent une coloration légèrement brunâtre des produits sans que leurs propriétés s'en trouvent affectées. Cependant, la coloration brune foncée accompagnée d'une forte odeur indique des conditions de transformations inadaptées.

Les composites fibres végétales-polymère revêtent différentes formes et constituants selon leur usage. Ces multiples associations nécessitent plusieurs procédés de fabrication [64].

II.5.1. Procédé de compoundage et extrusion

Le compoundage consiste à mélanger un thermoplastique préalablement chauffé jusqu'à la fusion avec des fibres discontinues dans un mélangeur centrifuge. L'extrusion consiste à mélanger dans une extrudeuse munie d'un ou deux vis, un thermoplastique fondu et des fibres. Le taux de renforcement est généralement maîtrisé par des dosages lors de l'alimentation en matières premières. A la sortie, la matière est extrudée à travers une filière, puis refroidie. Le mélange consolidé peut alors être coupé en granulés pour utilisation dans l'injection de pièces par exemple [37].

II.5.2. Procédé d'injection

Elle consiste à ramollir la matière plastique pour l'amener à l'état fondu, à l'injecter dans un moule pour la mettre en forme. Pendant la phase de plastification, la vis de la presse à injecter tourne pour faire fondre la matière et homogénéiser les granulés qui arrivent de la trémie. Elle achemine la matière vers l'avant de la vis pour la stocker. Au fur et à mesure du dosage, la vis recule.

Pendant la phase d'injection, la vis avance et joue le rôle de piston. La matière est injectée dans l'empreinte du moule. La matière est ensuite compactée, maintenue sous pression puis refroidie et la pièce est éjectée. Pendant le refroidissement, un nouveau cycle d'injection commence [43].



JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts
ITToolbox.com - professional software and hardware reviews

III. Matériaux utilisés et techniques expérimentales

Notre travail consiste à élaborer et caractériser des agro-composites à base de polyéthylène haute densité renforcé par la farine de Genêt d'Espagne (GE) à différents taux 20, 30 et 40 (% m). Avant d'incorporer la farine à la matrice il est nécessaire de la traiter afin d'améliorer l'adhésion interfaciale fibre/matrice. La farine a été traitée par deux méthodes : un traitement alcalin par l'hydroxyde de sodium (NaOH) et par l'utilisation d'un agent de couplage de type silane qui est le vinyltriméthoxysilane (VTMS). Les propriétés structurales, mécaniques, rhéologiques, thermiques, et environnementales des agro-composites ont été évalué en fonction du taux de farine et du traitement.

III.1. Matériaux utilisés

III.1.1. Le polyéthylène haute densité

Le polyéthylène utilisé dans cette étude est un produit commercialisé sous la marque M80064 PEHD grade injection, sous forme granulés transparents. Ce PEHD est un homopolymère qui a un indice de fluidité de 8 g/10min (2,16 kg/190°C) ; et une densité de 0.964.

III.1.2. Genêt d'Espagne « *Spartium junceum* »

Le Genêt d'Espagne est un arbrisseau pouvant atteindre 4 mètres de hauteur. Il prend souvent un port en boule. Les rameaux sont verts, allongés, semblables à des joncs. Les feuilles sont simples, alternes, peu nombreuses, petites et rapidement caduques. Les fleurs apparaissent de mai à juin en grappes au sommet des rameaux. Les fruits sont des gousses aplaties ne possédant aucun poil.

III.1.3. Les produits chimiques utilisés

III.1.3.1 L'agent de couplage Silane

Le silane est un agent de couplage fournis par la société Aldrich. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Nom: Vinyltriméthoxysilane (VTMS) ;
- ✓ Formule: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$;
- ✓ Etat et couleur : liquide, transparent ;
- ✓ Densité : 0.971.

III.1.3.2. L'hydroxyde de sodium

La soude est un produit fourni par Biochem-Chemopharma

- ✓ Formule chimique: NaOH
- ✓ Mw = 40 g/mol
- ✓ Carbonate (Na₂CO₃)%: 2.0 max
- ✓ Chlore (Cl)% : 0.01 max
- ✓ Phosphate (PO₄)% : 0.001 max

III.1.3.3. L'acide acétique

L'acide acétique est un produit fourni par Biochem-Chemopharma

- Formule chimique: C₂H₄O₂
- Mw = 60.04 g/mol
- Densité (à 20°C) : 1.0480 à 1.051
- Point de cristallisation °C: 16.3 °C

Notre technique expérimentale est subdivisée en deux parties :

- 1) Partie A: Préparation et traitement de la farine
- 2) Partie B: Préparation des composites et leurs caractérisations.

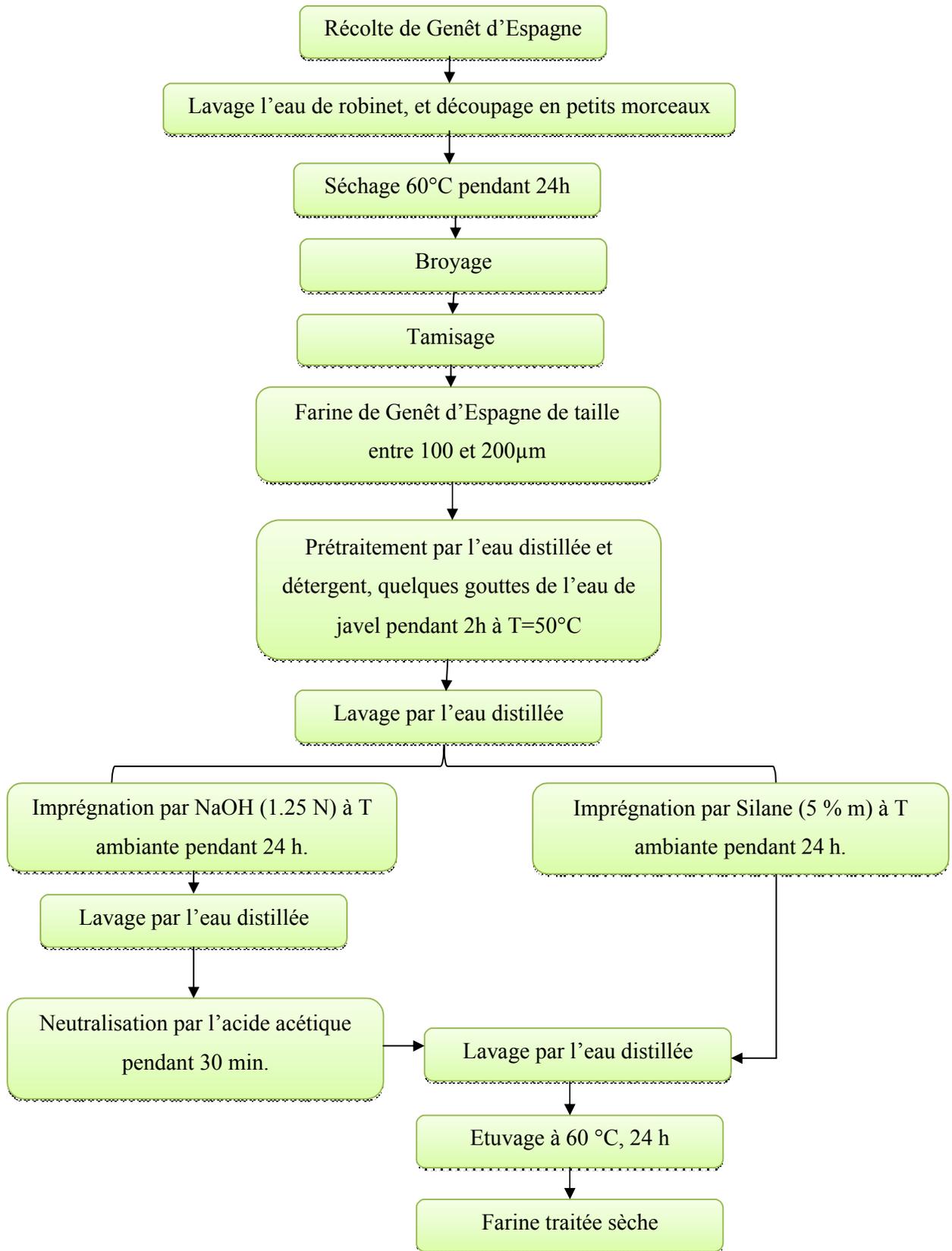


Figure III.1. Plan de travail expérimental partie A.

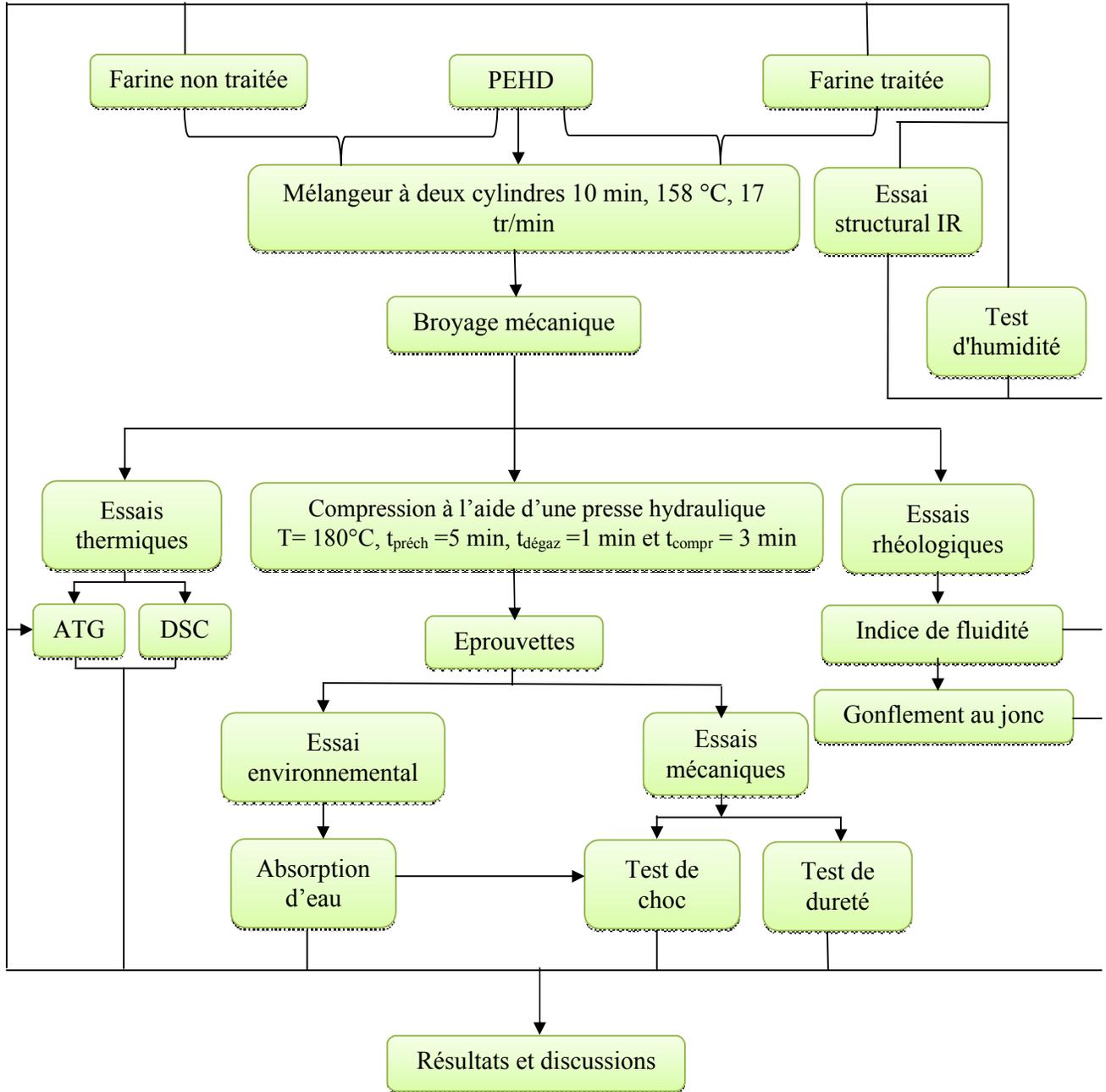


Figure III.2. Plan de travail expérimental, partie B.

III.2. La mise en œuvre des matériaux

III.2.1. Préparation de la farine de Genêt d'Espagne

III.2.1.1. La récolte de l'arbuste de Genêt d'Espagne

La récolte pour la production de la farine s'effectue entre le début et la fin de fleuraison afin d'obtenir la meilleure qualité de la charge. La récolte a été faite au niveau de la région de Sétif (Bougaa).

III.2.1.2. Lavage de GE

Après la récolte, les tiges du Genêt d'Espagne ont été lavées par l'eau de robinet.

III.2.1.3. Séchage et broyage

Les tiges lavées ont été laissées à l'air libre sept jours pour réduire le taux d'humidité. Ensuite, coupées en petits morceaux, étuvées à une température ambiante, enfin elles ont subi un broyage mécanique.

III.2.1.4. Tamisage

Pour avoir les mêmes dimensions (entre 100 et 200 μ m), les tiges broyées ont été tamisées en utilisant un tamis selon la norme ISO 3310, la marque de la tamiseuse est Restesch, model AS 200.

III.2.1.5. Prétraitement de la farine de GE par lavage

Avant le traitement, la farine a subi un prétraitement par l'eau, détergent et quelques gouttes de l'eau de javel pendant 2 h à T=50°C avec agitation, la farine récupérée a été lavée avec l'eau distillée, puis séchée dans une étuve à 60°C pendant 48 heures.

III.2.2. La modification de la farine de Genêt d'Espagne

La farine obtenue a subi deux traitements différents, une partie a été immergée dans une solution de NaOH (1.25 N), et une autre partie a été traitée par le vinyltriméthoxysilane (VTMS) (5 % m) dans l'eau à la température ambiante pendant 24 heures. Après le traitement, un lavage de la farine avec de l'eau distillée a été effectué plusieurs fois. Dans le cas du traitement par NaOH, on a effectué une neutralisation avec une solution d'acide acétique pendant 20 min à la température ambiante, ensuite un lavage avec l'eau distillée. Enfin la farine a été séchée.

III.2.3. La préparation des composites

Les mélanges polyéthylène haute densité/farine GE ont été préparés sur mélangeur à deux cylindres de marque SCHWABENTHAN/BERLIN, au niveau du laboratoire de l'unité CHIALI PROFIPLAST à Sétif, avec une vitesse de rotation de 17 tr/min à la température 158°C et un temps de mélangeage de 10 min. Les feuilles obtenues ont été découpées en petits morceaux, puis elles ont subi un broyage mécanique au niveau du laboratoire de Génie des Procédés à l'université Sétif 1, à l'aide d'un broyeur de type BREHER-BRABENDER.

III.2.4. Préparation des éprouvettes

A partir des différents composites à farine non traitée et traitée, on a fabriqué des éprouvettes à l'aide d'une presse hydraulique de marque "CARVER", pour les tests de choc et dureté, sous une pression de 150 kg/cm², à une température de 180°C, un temps de préchauffage 10 min, un temps de dégazage 1 min et un temps de compression 4 min.

III.3. Techniques expérimentales

Les différentes techniques expérimentales utilisées dans ce travail sont :

- ✓ Les essais structurales : spectroscopie : IRTF ;
- ✓ Les essais mécaniques : test de choc et de dureté ;
- ✓ Les essais rhéologiques : l'indice de fluidité, le gonflement au jonc ;
- ✓ Les essais thermiques : Calorimétrie Différentielle à Balayage (DSC) ; Analyse Thermogravimétrique (ATG et DTG) ;
- ✓ Les essais d'environnement : l'absorption d'eau, le taux d'humidité.

III.3.1. L'essai spectrométrique (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier IRTF)

L'appareil utilisé est un spectromètre de marque Perkin Elmer FT-IRPECTRUM TOW, Nombre de scan = 10 et résolution = 2. Pour appliquer cette technique dans le cas d'échantillons solides, il est nécessaire, au préalable, de mélanger une petite quantité de farine finement broyée à un composé transparent dans le domaine spectral étudié (4000 - 400 cm⁻¹). Pour cela, nous avons employé le bromure de potassium (KBr). Les échantillons à analyser sont préparés sous forme de pastilles en mélangeant 2.5 % en masse de farine préalablement étuvée (traitée ou non) avec 97.5 % en masse de KBr. La spectroscopie IR est l'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 [28]. Les différents spectres montrant la transmittance (%) en fonction du nombre d'onde (cm^{-1}) ont été obtenus pour la farine non traitée et traitée.

III.3.2. Les essais mécaniques

III.3.2.1. La résistance au Choc (Izod)

L'éprouvette, supportée comme une poutre en console verticale, est rompue par un seul choc de percuteur, la ligne de choc étant située à distance fixe du serrage de l'éprouvette. Le test a été réalisé à l'aide d'un appareil de marque CEAST, type RESILIMPACTOR, avec un marteau de 7,5 Kg au niveau du laboratoire de Génie des procédés, selon la norme EN ISO 180:2000 [65].

Calcul de la résilience : La résistance au choc d'éprouvettes est exprimée par la relation:

$$a_n = \frac{A_n}{b.h} \text{ (KJ /m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{ (III.1)}$$

a_n : Résilience de l'éprouvette sans entaille;

A_n : Energie cinétique pour rompre l'éprouvette sans entaille en joules;

B : Largueur de l'éprouvette en millimètres;

h : Épaisseur de l'éprouvette en millimètres.

III.3.2.2. La dureté (Shore D)

Chaque éprouvette a été placée sur une surface rigide, horizontale et plane. On a tenu le duromètre en position verticale, la pointe du pénétreur étant à au moins 12 mm du bord de l'éprouvette.

On a appliqué le pied presseur sur l'éprouvette aussi rapidement que possible, sans choc, le pied restant parallèle à la surface de l'éprouvette. Une pression juste suffisante a été appliquée pour obtenir un contact étroit entre le pied presseur et l'éprouvette. On a enregistré deux lectures, une lecture instantanée (au bout de 1s) et une lecture au bout de 15 ± 1 s.

Les mesures de dureté ont été effectuées en cinq emplacements différents de l'éprouvette, distants d'au moins 6 mm, en calculant la valeur moyenne, en utilisant le duromètre existant au laboratoire de Génie des Procédés, selon la norme NF EN ISO 868 [66].

III.3.3. Les essais rhéologiques

III.3.3.1. L'indice de fluidité

Le test a été réalisé au moyen d'un appareil type "MELT-INDEXER" modèle 5 au niveau du laboratoire de Génie des Procédés, qui constitue d'un cylindre C d'axe vertical placé dans un four et se termine à son extrémité par une filière standard de longueur 8 mm et de diamètre 2,09 mm (Figure III.1). Les essais ont été effectués selon la norme ASTM D-1238 sous une charge de 2,16 Kg à une température de 230°C [67].

Calcul de l'indice de fluidité par la relation:

$$\text{---} \quad (\text{g} / 10 \text{ min}) \dots \dots \dots \text{(III.2)}$$

IF : Indice de fluidité;

m : Masse moyenne de l'extrudât en grammes;

t : Intervalle de temps entre deux coupes d'un extrudât.

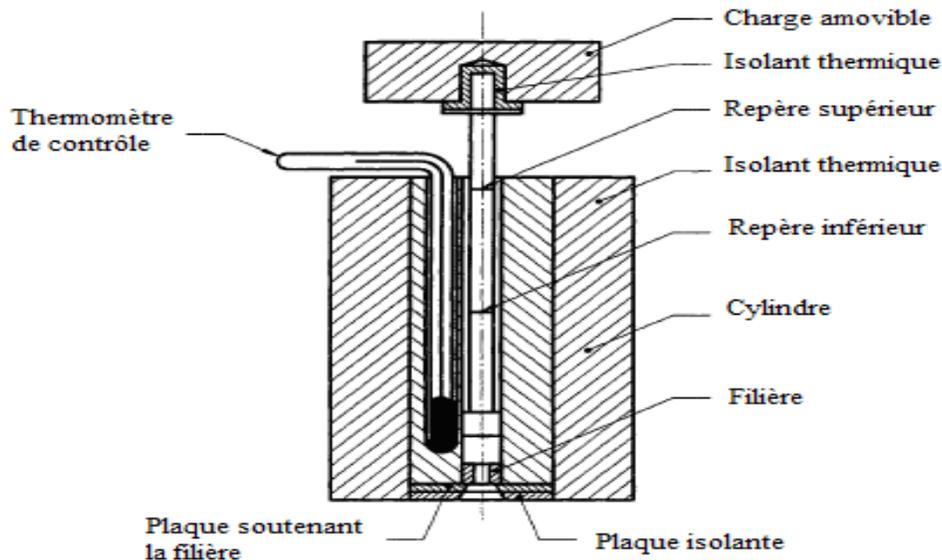


Figure III.3. Appareil type pour la détermination de l'indice de fluidité [67].

III.3.3.2. Gonflement au jonc

Le test du gonflement au jonc a été effectué sur les extrudats de l'indice de fluidité par mesure du diamètre de chaque extrudât après refroidissement, en calculant le taux de gonflement par rapport au diamètre de la filière selon l'équation [68].

$$G = \frac{D}{D_0} \dots \dots \dots (III.3)$$

Sachant que :

G : Gonflement au jonc.

D_0 : Diamètre de la filière (mm)

D: Diamètre de l'extrudât (mm).

III.3.4. Les essais thermiques

III.3.4.1. Analyse thermogravimétrique (ATG) et (DTG)

Les analyses thermogravimétriques (ATG) sont réalisées à l'aide d'un équipement Perkin Elmer TGA 4000. Toutes les caractérisations sont menées sur des échantillons farine et composite avec une vitesse de montée en température de 10°C/min, de 25°C à 600°C et sous azote. Cette méthode permet de déterminer la température de dégradation des matériaux et donc la stabilité thermique des composites [21].

III.3.4.2. Analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Cette technique est utilisée pour étudier les différentes transitions thermiques des polymères lorsqu'ils subissent une variation de température. Son principe de fonctionnement est de mesurer la différence d'énergie entre un creuset contenant l'échantillon et un creuset vide de référence, en fonction de la température. Lorsqu'une différence de température est générée entre l'échantillon et la référence, le calorimètre ajuste la puissance d'entrée de manière à réduire cette différence. Un signal proportionnel à la puissance fournie à l'échantillon (ou à la référence) est enregistré [69].

Les mesures ont été effectuées au moyen d'un calorimètre différentiel à balayage démarque "NETZSCH5.DSC 200 PC" avec des échantillons de 15,5 mg dans la gamme de température allant de 20°C à 300°C, pour une vitesse de chauffage de 10°C/min niveau du laboratoire MAPROGAZ à El Eulma. Les échantillons ont été analysés deux fois. Les enthalpies de fusion ΔH_m ont été évaluées à partir de l'aire des pics de fusion. Le taux de cristallinité X_c est alors déterminé par la relation:

$$(X_c \%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_\infty} \times 100 \dots \dots \dots (III.4)$$

X_c (%) : Taux de cristallinité ;

ΔH_m : Enthalpie de fusion expérimentale ;

ΔH_{∞} : Enthalpie de fusion d'un échantillon de PEHD % cristallin ; la valeur de ΔH_{∞} utilisé est de 290 J/g [69].

III.3.5. L'absorption d'eau

Les échantillons sont séchés à 70 °C pendant 24 heures. Ils sont ensuite mis dans l'eau. Ils sont tirés au fur et à mesure de l'eau. Essuyé et ensuite pesés. On refait l'essai jusqu'à la saturation de l'échantillon. Le taux d'absorption d'eau est calculé selon la formule suivante:

$$AE = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \dots \dots \dots (III.5)$$

Où:

m_0 : La masse, en milligrammes, de l'éprouvette après séchage initial et avant immersion;

m : La masse, en milligrammes, de l'éprouvette après immersion.

III.3.6. Le taux d'humidité

Les farines non traitée et traitées (dont la masse est de 5 grammes) ont été séchées à la température de 105°C dans une balance à humidité (humidimètre) de marque Sartorius MA45, jusqu'à l'obtention d'une masse constante (0% d'humidité), selon la norme NF V03 903. Après évaporation totale de l'eau absorbée par la farine le taux d'humidité s'affiche directement sur l'écran en pourcent.



JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts

Website: www.jllppt.com

IV. Résultats et discussions

IV.1. Analyse spectroscopique par infrarouge à transformé de Fourier

La structure de la farine de GE non traitée, traitée par le NaOH et traitée par (VTMS) est analysée en transmission à partir des pastilles Farine/KBr. Les spectres obtenus sont représentés sur la Figure IV.1.

On observe une large bande à 3441 cm^{-1} elle est due principalement aux groupements (OH) liés, existants dans la structure de la farine. Une bande d'intensité moyenne à 2926 cm^{-1} traduit les vibrations d'élongation des liaisons C-H du groupe $-\text{CH}_2$ des segments de la cellulose ou de la lignine.

On constate aussi la présence d'un pic à 1739 cm^{-1} qui est associé à la vibration de d'élongation des groupements carbonyles (C=O) des groupes acétyles des substances d'hémicelluloses (xylanes) ou de pectines dans la farine de Genêt d'Espagne. Ce pic a disparu après les traitements. Ces résultats s'accordent avec ceux trouvés par **Benyahia** et ses collaborateurs [70].

Le pic à 1507 cm^{-1} correspond à la vibration d'élongation symétrique des liaisons (C=C) du noyau aromatique dans la lignine. Le pic à 1390 cm^{-1} est lié à la déformation de la cellulose et celui à 1012 cm^{-1} correspond à la vibration de la chaîne cellulosique. Ces pics sont assignés aussi aux vibrations d'élongation des liaisons siloxanes Si-O-Si formées suite à une condensation des silanes en polysiloxane. On remarque aussi des bandes à 1260 cm^{-1} et 1100 cm^{-1} qui sont caractéristiques des vibrations de liaisons Si-O-Cellulose et Si-O-Si. Enfin, un pic vers 603 cm^{-1} lié à la rotation hors du plan du groupement (-OH). Ces résultats s'accordent avec ceux trouvés par **Noureddine Abidi** et ses collaborateurs [61].

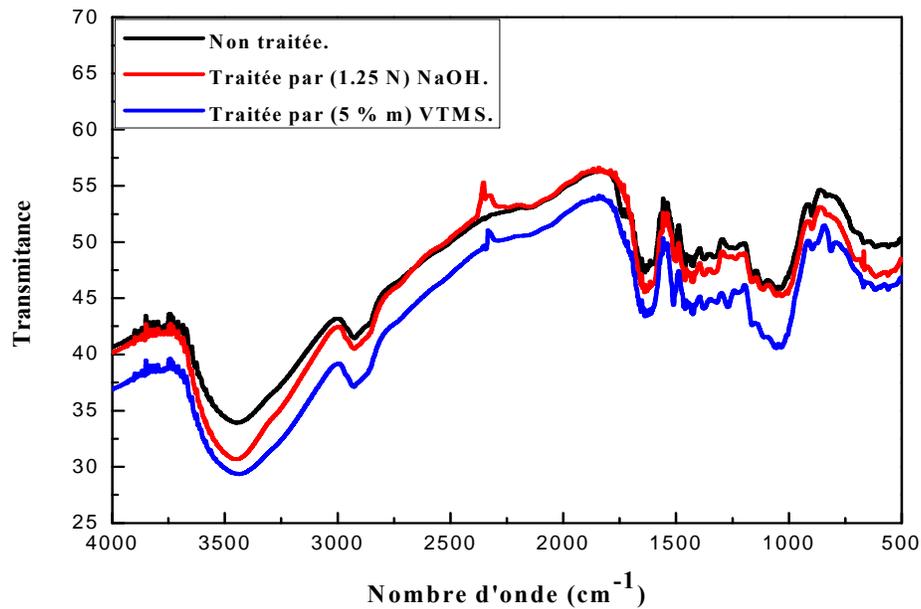


Figure IV.1. Spectre IRTF de la farine non traitée et traitée.

IV.2. Propriétés mécaniques

IV.2.1. Test de choc

a) Effet du taux de farine

La Figure IV.2 présente les résultats du test de choc Izod des échantillons des composites PEHD/Farine de GE. Les échantillons de la matrice pure n'ont pas subi de rupture, alors que l'incorporation de la farine a montré une diminution de la résistance au choc des composites. Les charges végétales sont responsables de cette diminution. La charge de GE qui a une rigidité supérieure à celle du PEHD, augmente considérablement la rigidité du matériau composite, ce qui provoque également une diminution de la résistance au choc. Les résultats trouvés par **El-Shekeil** et ses collaborateurs [71], s'accordent beaucoup avec nos résultats.

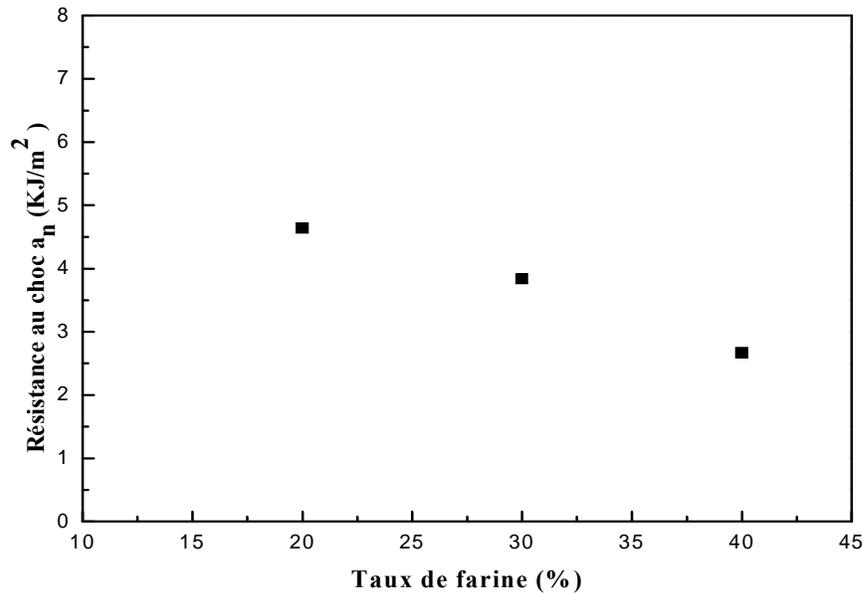


Figure IV.2. Variation de la résistance au choc (Izod) des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.

a) Effet du traitement

La Figure IV.3 montre les variations de la résistance au choc des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée par NaOH et par VTMS. On observe que les deux traitements améliorent la résilience des composites. Ceci est dû à l'amélioration de la compatibilité et aussi le traitement favorise la capacité à dissiper l'énergie lors de la fracture. Ces résultats sont en grand accord avec ceux trouvés par **Mylsamy** et **Rajend** [72]. Ils ont trouvé que les valeurs de la résistance au choc des composites à fibres d'avagase traitées sont supérieures à ceux des composites avec des fibres non traitées car le traitement contribue à améliorer la résistance interfaciale entre les fibres et la matrice ce qui affecte la résistance au choc des composites.

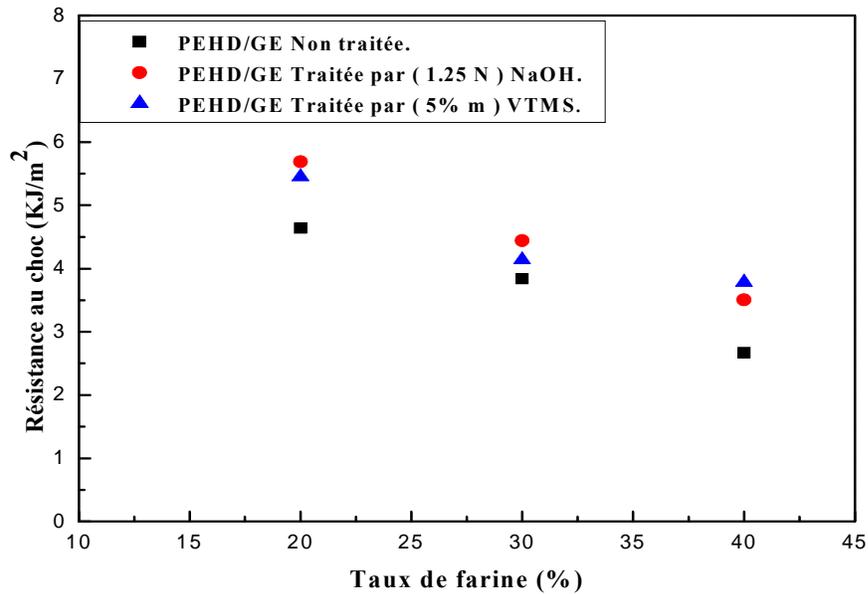


Figure IV.3. Variations de la résistance au choc (Izod) des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.

IV.2.2. La dureté (Shore D)

a) Effet du taux de farine

D'après la Figure IV.4 qui montre l'évolution de la dureté des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée, on remarque qu'il n'y a pas de variation des valeurs de dureté des matériaux composites.

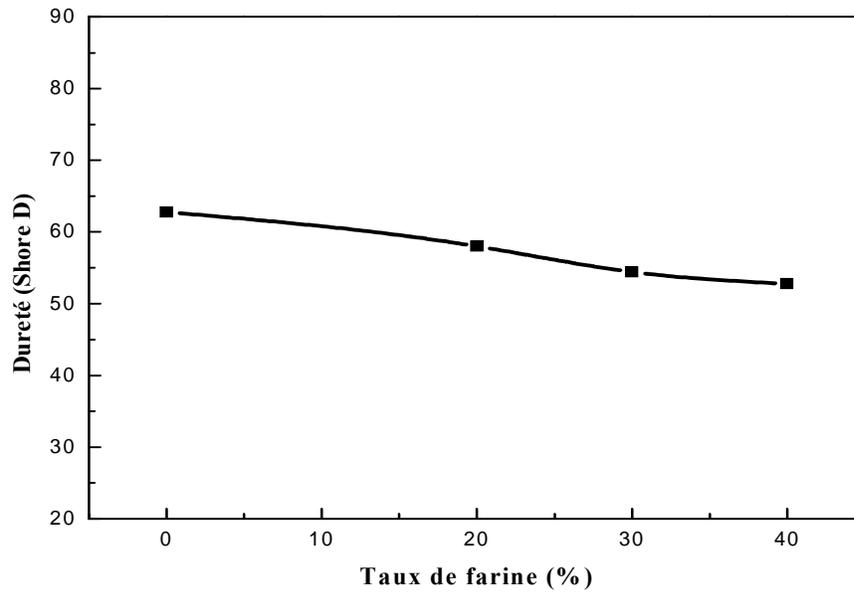


Figure IV.4. Variation de la dureté des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.

b) Effet du traitement

La Figure IV.5 représente les variations de la dureté des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée. D'après la figure, on peut dire que le traitement n'a pas montré une influence significative sur la variation de la dureté.

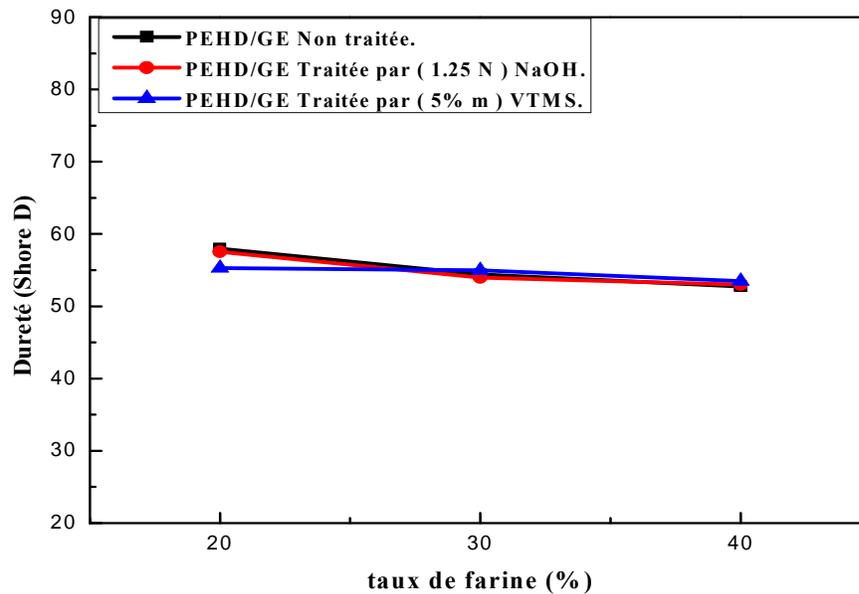


Figure IV.5. Variations de la dureté des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.

IV.3. Propriétés rhéologique

IV.3.1. L'indice de fluidité

a) Effet du taux de farine

La Figure IV.6 illustre l'évolution de l'indice de fluidité des composites PEHD/Farine de Genêt d'Espagne, en fonction du taux de farine non traitée. On observe une diminution de l'indice de fluidité avec l'augmentation du taux de farine. Ceci est dû à l'agglomération de la farine de Genêt d'Espagne qui constitue des obstacles aux mouvements libres des chaînes polymériques et empêchent l'écoulement du matériau. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Nekkaa [32].

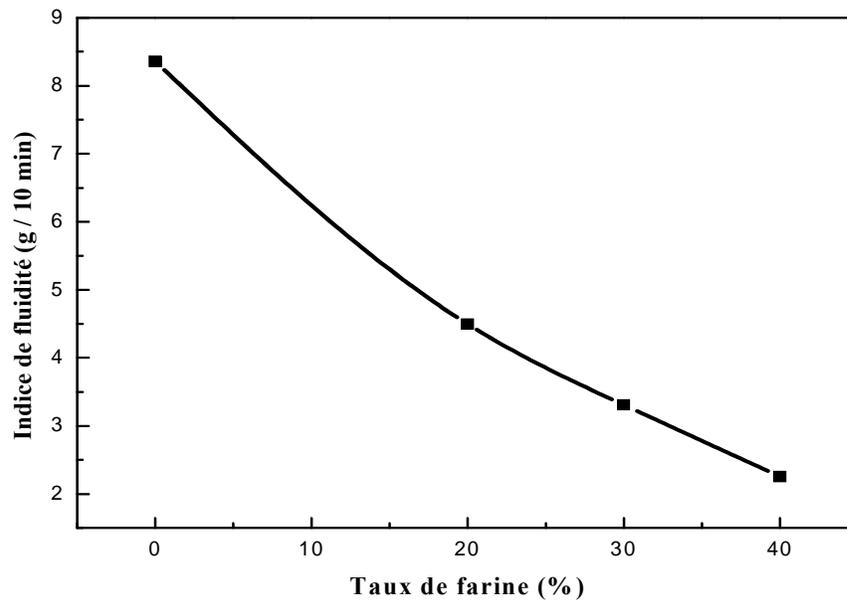


Figure IV.6. Variation de l'indice de fluidité des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.

b) Effet du traitement

La Figure IV.7 montre les variations de l'indice de fluidité des composites PEHD/GE à farine non traitée, traitée par NaOH et par VTMS. On constate une légère augmentation des valeurs de l'indice de fluidité dans le cas des composites à farine traitée par VTMS que celles des composites à farine non traitée. Ceci confirme l'amélioration de la dispersion de la farine (modifiée par le silane) due à une meilleure mouillabilité de cette dernière par la matrice.

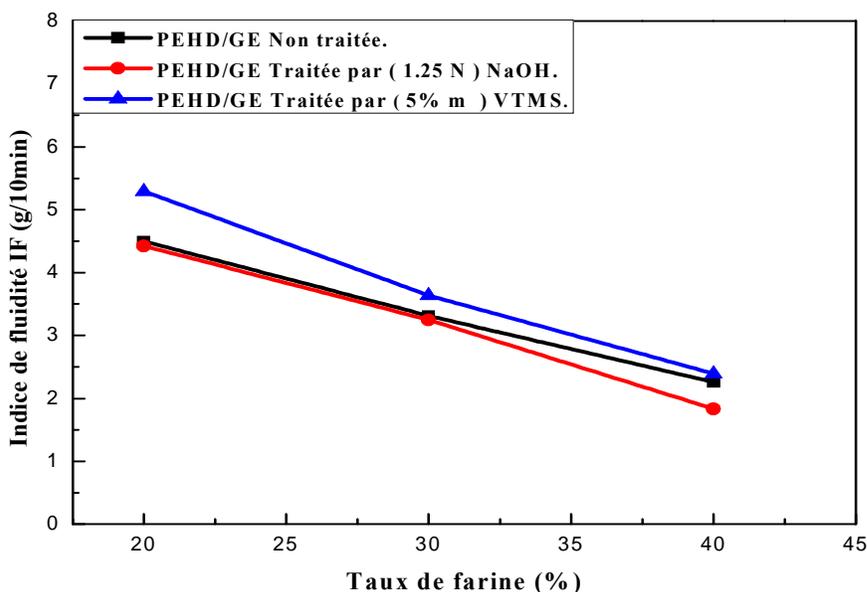


Figure IV.7. Variations de l'indice de fluidité des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.

IV.3.2. Gonflement au jonc

a) Effet du taux de farine

La Figure IV.8 représente la variation du taux de gonflement au jonc des composites PEHD/Genêt d'Espagne en fonction du taux de farine de GE. D'après la figure, on constate une diminution du gonflement au jonc en augmentant le taux de GE. Ceci est dû à l'effet de dilution, l'augmentation du taux de GE dans les composites PEHD/GE implique une diminution du taux de la matrice PEHD qui est le seul responsable du gonflement. Aussi, l'ajout de la farine de GE réduit le volume libre dans la matrice ce qui affecte les mouvements des chaînes polymériques.

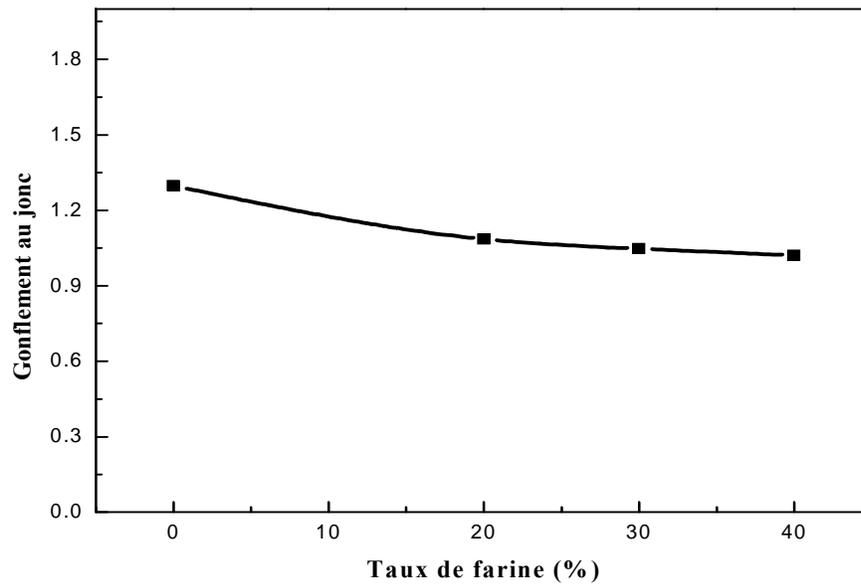


Figure IV.8. Variation du taux de gonflement au jonc des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.

b) Effet du traitement

D'après la Figure IV.9 on constate que le traitement n'a pas d'influence sur le gonflement au jonc des composites.

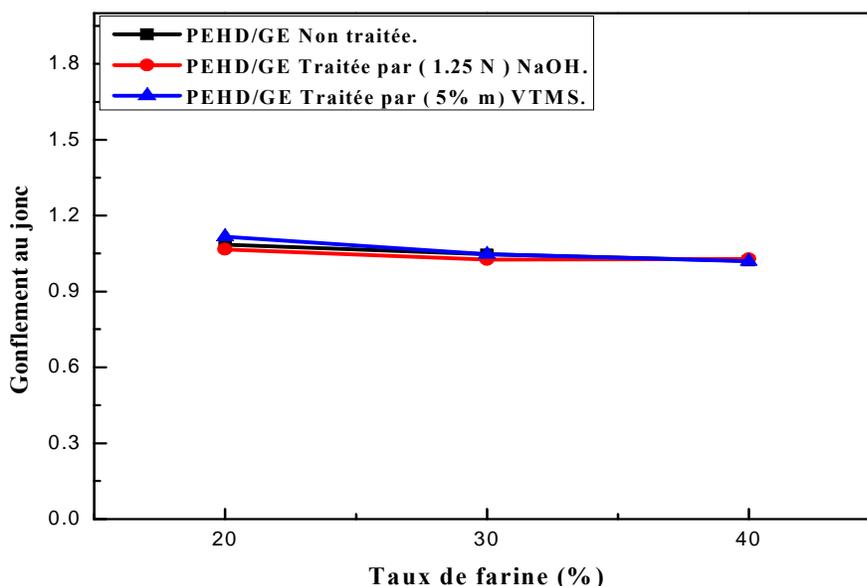


Figure IV.9. Variations taux de gonflement au jonc des composites PP/GE en fonction du taux de farine non traitée et traitée.

IV.4. Les propriétés thermiques.

IV.4.1. Etude thermique par thermogravimétrie (ATG)

La Figure IV.10 montre la courbe de la perte de masse de la farine de GE non traitée. La décomposition thermique montre trois stades. Le premier stade, autour de 96°C est dû à l'évaporation de l'eau absorbée par la farine. Le deuxième stade est entre 200°C et 360 °C dont 200°C correspond à la température de début de décomposition des hémicelluloses et des liaisons glycosidiques présents dans la cellulose, et 360°C correspond à la décomposition thermique de la cellulose. Le troisième stade entre 360°C et 560°C est dû à la décomposition thermique de la lignine. La température de décomposition thermique maximale de la farine de Genêt d'Espagne $T_{dmax} = 363^{\circ}\text{C}$.

D'après le Tableau IV.1, on constate que la perte de masse à la température de décomposition maximale et le résidu est de 61,72 % et 18,61%, respectivement. Ce résidu peut être lié aux matières minérales (cendres) présentes dans la charge.

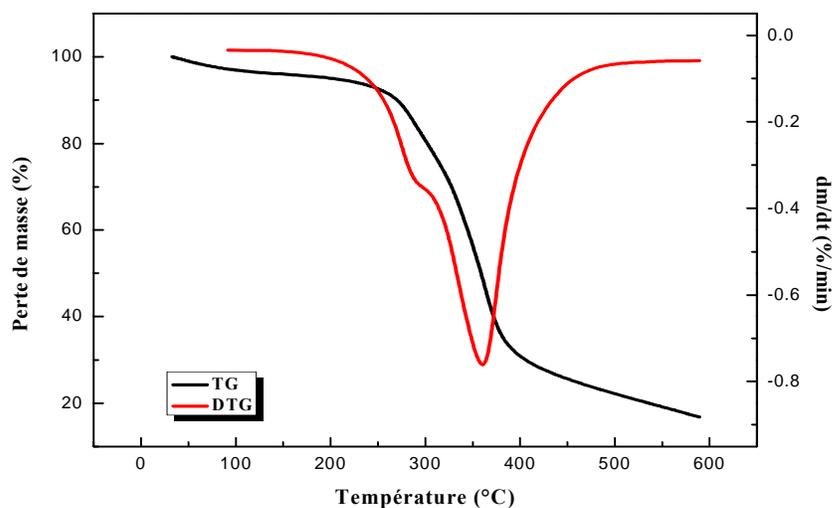


Figure IV.10. Thermogrammes TG et DTG de la farine non traitée.

D'après les Figures IV.11 et IV.12, et le Tableau IV.1, on remarque qu'il y a une augmentation considérable de l'ordre de 28°C dans la température de début de décomposition après le traitement par VTMS par rapport à celle non modifiée. L'accroissement de la stabilité thermique de la farine de GE traitée par le VTMS peut être attribuée à la protection thermique de la farine causée par l'imprégnation de la farine par le silane d'où la formation des liaisons Si-O-Si par condensation. Ces liaisons peuvent former une barrière thermique autour de la charge. Ces résultats s'accordent largement avec ceux trouvés par **Barreto** et ses collaborateurs [73].

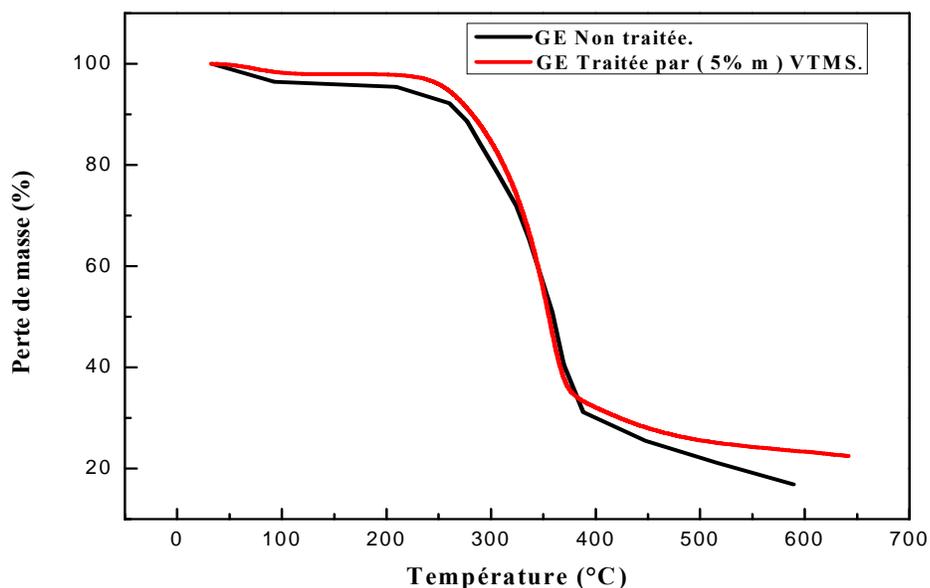


Figure IV.11. Thermogrammes TG de la farine non traitée et traitée.

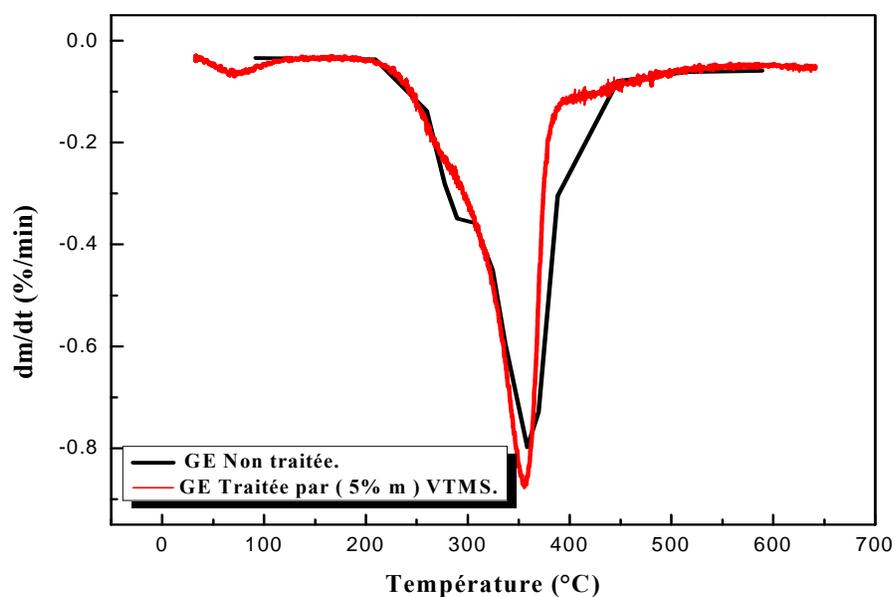


Figure IV.12. Thermogrammes DTG de la farine non traitée et traitée.

La Figure IV.13 montre les courbe TG et DTG du polyéthylène vierge. La décomposition thermique montre un seul stade décomposition où le début de décomposition est à 422.79°C et la décomposition maximale $T_{dmax} = 487.86^{\circ}\text{C}$. Alors que la perte de masse à la température décomposition de maximale est de 65.764%.

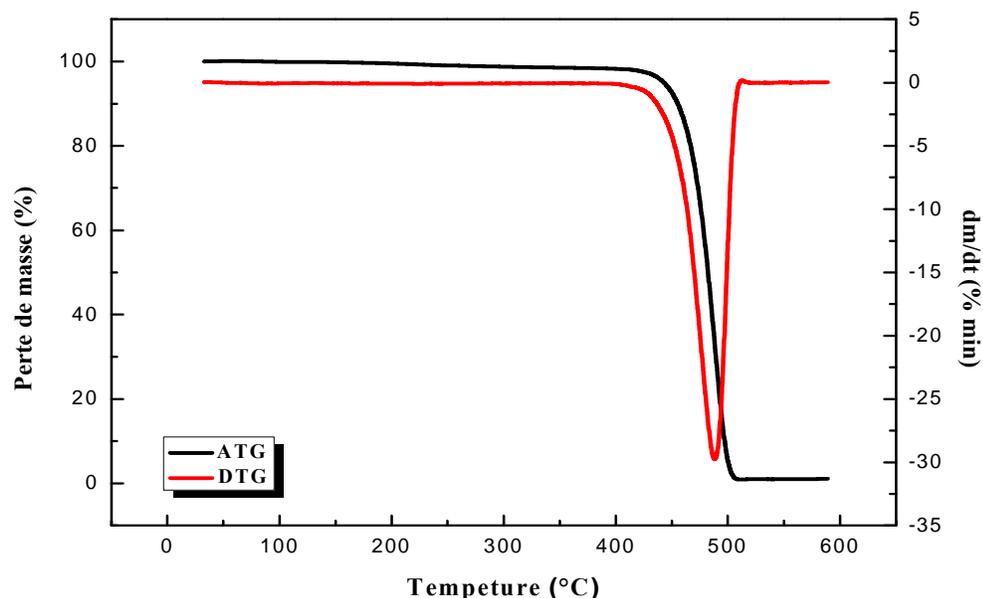


Figure IV.13. Thermogrammes TG et DTG de PEHD.

a) Effet du taux de farine et du traitement

Les Figures IV.14 - IV.17 montrent les courbes de la perte de masse des composites (PEHD/GE) à farine non traitée et traitée, en fonction de la température.

Les courbes de la perte de masse montrent deux stades de décomposition due à la charge. L'incorporation de la farine non traitée dans la matrice polymérique conduit à une diminution de la température de début de décomposition. Elle est de 422°C pour le PEHD vierge, de 254, 254 et 243 °C pour les échantillons renforcés avec 20, 30 et 40 (% m) de farine non traitée, respectivement. Cette diminution de Td est due au constituant principal de la fibre (cellulose). Cette dernière possède une température de décomposition inférieure à celle du polyéthylène ; son introduction dans le polymère diminue la température de décomposition du composite. Egalement, on enregistre que l'introduction de la charge non modifiée n'a pas d'influence sur les températures de décomposition maximales. Ces résultats sont confirmés par ceux trouvés par **Arrakhiz** et ses collaborateurs [74].

D'autre part, le traitement fait accroître les températures de début de décomposition thermique des composites PEHD/GE, par contre la température de décomposition maximale n'a pas subi une modification significative. Ce résultat confirme que le traitement améliore l'interdiffusion des chaînes polymériques ce qui rend la farine bien mouillée par le polymère

ce qui implique une amélioration de la stabilité thermique de l'ensemble des composites analysés.

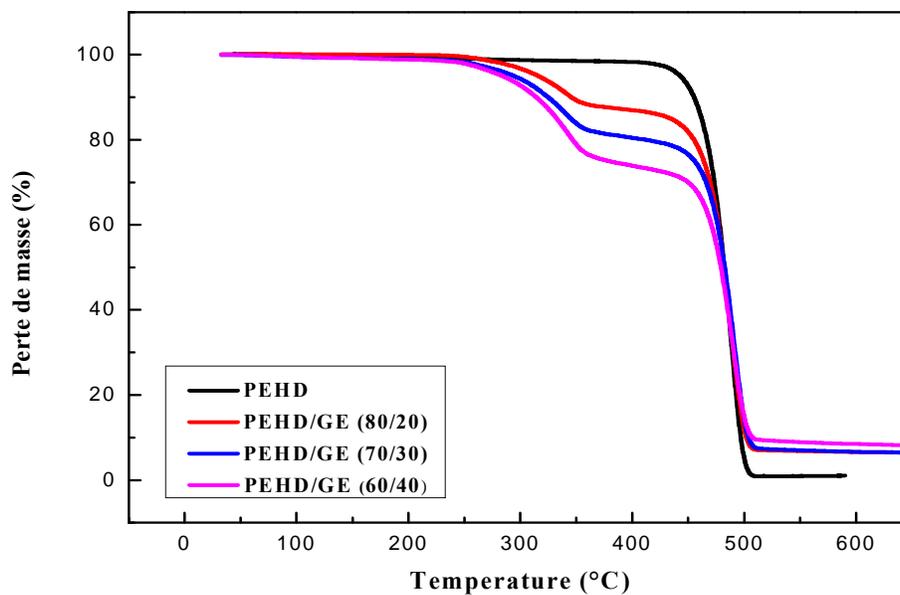


Figure IV.14. Thermogrammes TG des composites PEHD/GE (80/20), PEHD/GE (70/30), PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.

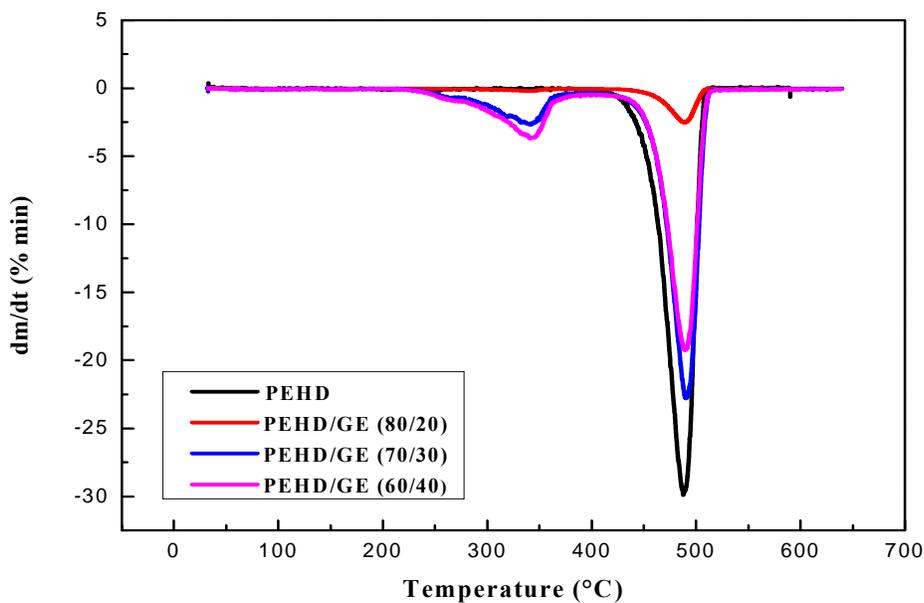


Figure IV.15. ThermogrammesDTG des composites PEHD/GE (80/20), PEHD/GE (70/30), PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.

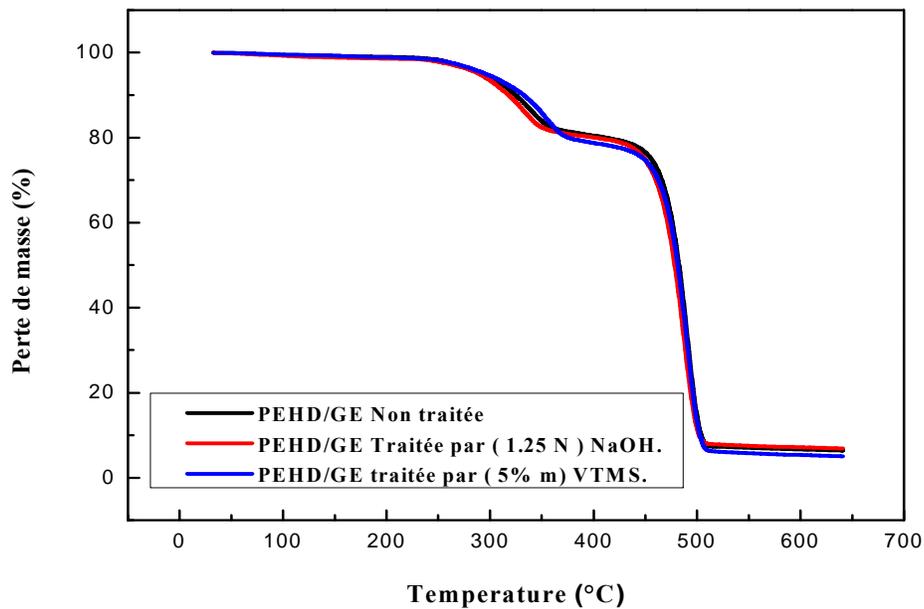


Figure IV.16. Thermogrammes TG des composites PEHD/GE (70/30) à farine non traitée et traitée.

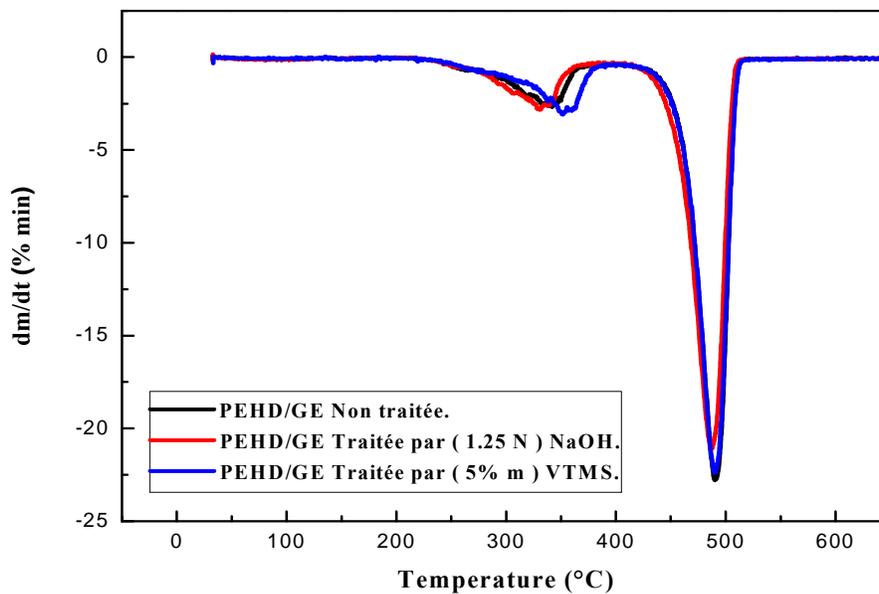


Figure IV.17. Thermogrammes DTG des composites PEHD/GE (70/30) à farine traitée et non traitée.

Tableau IV.1. Les valeurs cinétiques de la dégradation thermique de farine de Genêt d'Espagne, de PEHD et des composites PEHD/GE.

Echantillon	T _d (°C)	T _{dmax} (°C)	V _d (%min) 1 ^{ère} Stade	V _d (%min) 2 ^{ème} Stade	Perte de masse (%)	Résidus (%)
Farine non traitée	200	363	0,6	0,05	6,72	18,61
Farine traitée par (5% m) VTMS.	228	357	0,54	0,06	51,74	22,96
PEHD	422	487	2,34		61,86	1,16
PEHD/GE non traitée (80/20)	254	489	1,45	0,03	63,3	6,65
PEHD/GE non traitée (70/30)	254	488	1,68	0,04	67,1	6,65
PEHD/GE non traitée (60/40)	243	485	1,74	0,04	64,92	8,21
PEHD/GE traitée par (1.25 N) NaOH	257	489	1,56	0,05	63,69	7,23
PEHD/GE traitée par (5% m) VTMS	259	490	1,39	0,04	58,38	5,03

IV.4.2. Analyse calorimétrique différentielle (DSC)

a) Effet de taux de farine

Les mesures de DSC ont été réalisées afin d'étudier l'effet de l'introduction de farine de Genêt d'Espagne sur le point de fusion et sur le taux de cristallinité de la matrice thermoplastique PEHD. D'après la Figure IV.18, on voit clairement que l'augmentation de la teneur en farine non traitée n'a pas une grande influence sur l'allure du pic ou sur la valeur de la température de fusion T_f . Ces résultats s'accordent avec ceux présentés par **Bendahou** et ses collaborateurs [75], **Avérous** et ses collaborateurs [76] et **Digabel** et ses collaborateurs [77].

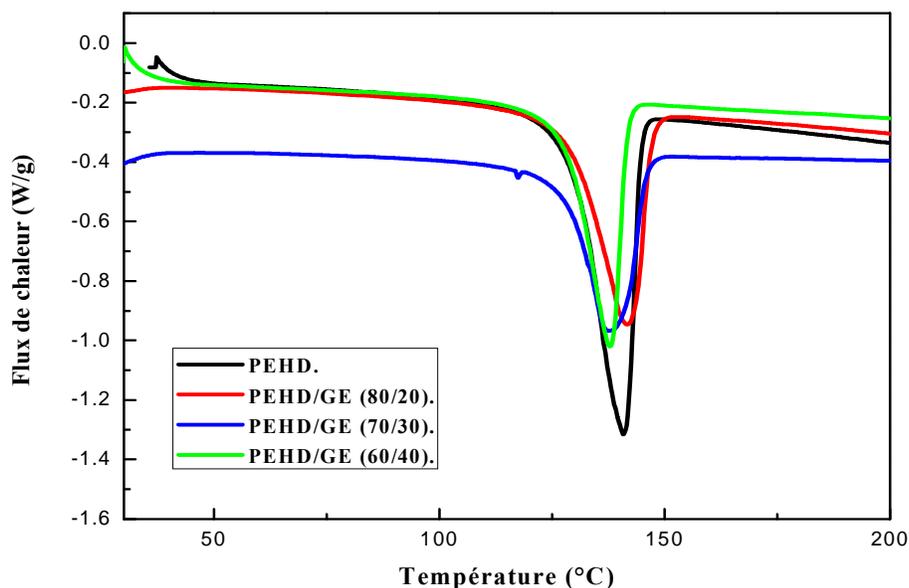


Figure IV.18. Thermogrammes DSC de PEHD et des composites PEHD/GE (80/20), PEHD/GE (70/30), PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.

Le point de fusion (T_f), l'enthalpie de fusion ΔH_m et le taux de cristallinité des composites PEHD/GE à farine non traitée sont illustrés sur le Tableau IV.2. D'après le tableau, on voit que l'augmentation du taux de farine de Genêt d'Espagne diminue considérablement le taux de cristallinité des composites. Il est probable que la présence des charges cellulosiques empêche partiellement les chaînes de PEHD de se cristalliser lors du refroidissement consécutif à la mise en œuvre du matériau. La vitesse de formation des cristaux est ainsi réduite et après refroidissement, une fraction plus importante des chaînes de PEHD sont figées dans l'état amorphe. Une baisse du taux de cristallinité des matériaux se traduit bien entendu par un matériau globalement plus amorphe, donc présentant une structure plus désordonnée [78].

Tableau IV.2. Comparaison de la température de fusion et du taux de cristallinité des composites PEHD/GE.

Echantillon	T _f (°C)	Δ H _m (J/g)	X _c (%)
PEHD	140,90	106,22	36,62
PEHD/GE (80/20) non traitée	141,53	87,20	30,27
PEHD/GE (70/30) non traitée	139,02	81,54	28,11
PEHD/GE (60/40) non traitée	137,76	79,26	27,33
PEHD/GE (80/20) traitée NaOH	140,59	71,10	24,51
PEHD/GE (70/30) traitée NaOH	140,27	78,79	27,16
PEHD/GE (60/40) traitée NaOH	140,27	79,16	27,29
PEHD/GE (80/20) traitée VTMS	139,33	91,97	31,71
PEHD/GE (70/30) traitée VTMS	139,02	79,90	27,34
PEHD/GE (60/40) traitée VTMS	138,02	79,67	27,47

b) Effet du traitement

Les Figures IV.19- IV.21 montrent la comparaison des thermogrammes DSC des composites PEHD/GE à farine traitée par NaOH et par VTMS. D'après le Tableau IV.2, on constate que le traitement n'a pas d'effet sur la température de fusion ou sur le taux de cristallinité. Ces résultats s'accordent avec ceux trouvés par **N.Khanam** et **A. AlMaadeed [79]**, qui ont étudié l'effet de l'ajout d'anhydride maléique sur la température de fusion des composites à base des fibres de palme. Ils ont constaté qu'aucune modification n'a été signalée sur la température de fusion après le traitement.

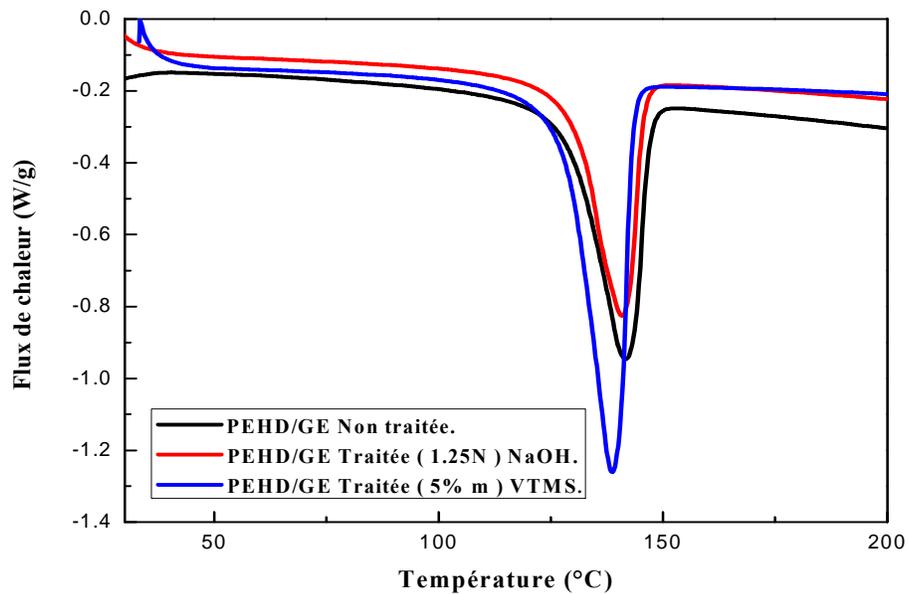


Figure IV.19. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (80/20) à farine traitée et non traitée.

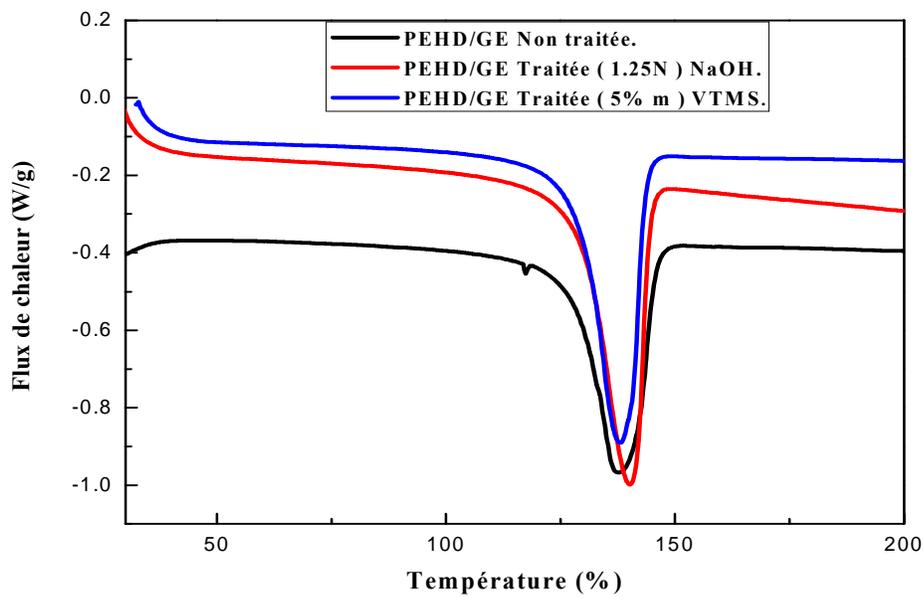


Figure IV.20. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (70/30) à farine traitée et non traitée.

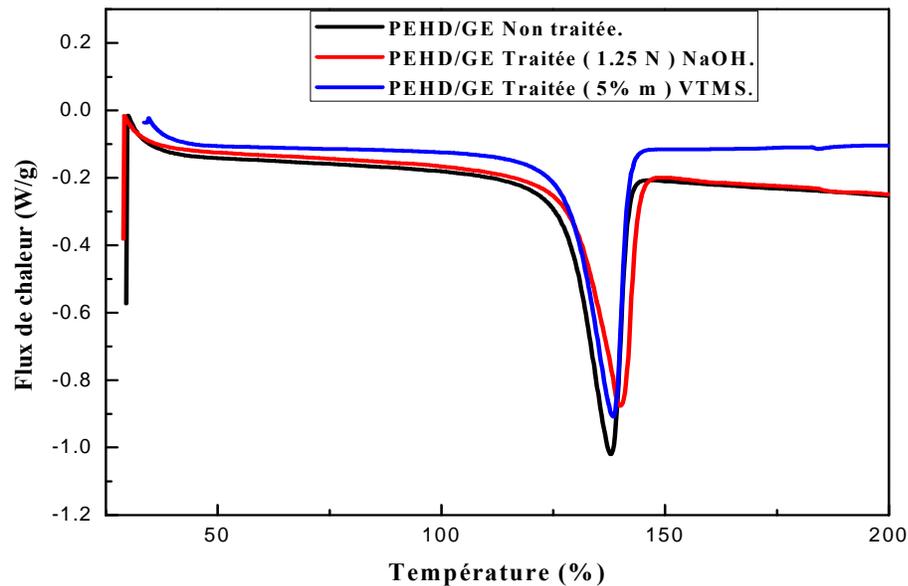


Figure IV.21. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (60/40) à farine traitée et non traitée.

IV.5. Etude du caractère hydrophilique des composites PEHD/GE par le test d'absorption d'eau

IV.5.1. Etude du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE

a) Effet du taux de farine

La Figure IV.22 qui représente les variations du taux d'absorption d'eau en fonction du temps des composites PEHD/GE à farine non traitée, montre clairement qu'il dépend du temps et de la quantité de la farine présente dans le composite. D'après cette figure, on remarque que la vitesse d'absorption d'eau des échantillons est rapide dans l'intervalle de temps (0-24 heures), puis elle diminue au fur est à mesure que le temps augmente jusqu'à la saturation où le taux d'absorption d'eau devient constant. Le caractère hydrophilique de la farine de Genêt d'Espagne est responsable de l'absorption d'eau dans les composites. Ainsi, les composites PEHD/GE à un taux de farine élevé ont le taux d'absorption d'eau le plus élevé.

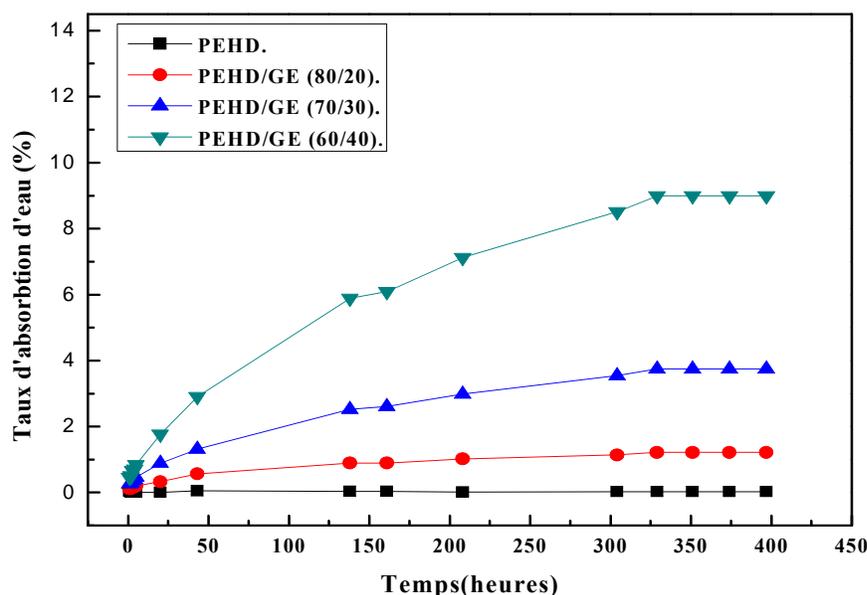


Figure IV.22. Variations du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE non traitée en fonction du temps.

b) IV.5.1.2. Effet de traitement

Les Figures IV.23 et IV.24 illustrent les courbes d'évolution du taux d'absorption d'eau en fonction du temps des composites PEHD/GE (80/20), (70/30) et (60/40) à farine traitée et non traitée. Nous remarquons d'une façon générale que le traitement par NaOH et sa durée contribuent à une croissance du taux d'absorption d'eau des composites. Ce comportement est dû au NaOH qui conduit à une cellulose (cellulose II) ayant une structure cristalline différente de celle de la cellulose native (cellulose I). La cellulose II a une capacité d'absorption d'eau plus élevée que la cellulose I. Sous l'effet de l'humidité, une dimension du réseau de la cellulose II augmente du fait de l'entrée de l'eau dans le réseau cristallin. Ceci ne peut pas se produire dans la cellulose I à cause d'un arrangement différent des molécules de cellulose. La reprise d'eau de la cellulose I se produit uniquement à la surface de la cellulose cristalline et de ce fait est relativement limitée. Même si la cellulose amorphe absorbe plus d'eau que la forme cristalline, la présence de la cellulose cristalline II à la place de la cellulose I se traduit donc par une reprise d'eau bien plus élevée [31]. Pour le cas du traitement par le silane, nous remarquons que le traitement de la farine contribue à une décroissance du taux d'absorption d'eau des composites. Ceci est dû à une diminution des groupements hydroxyles qui réagissent avec l'agent de couplage.

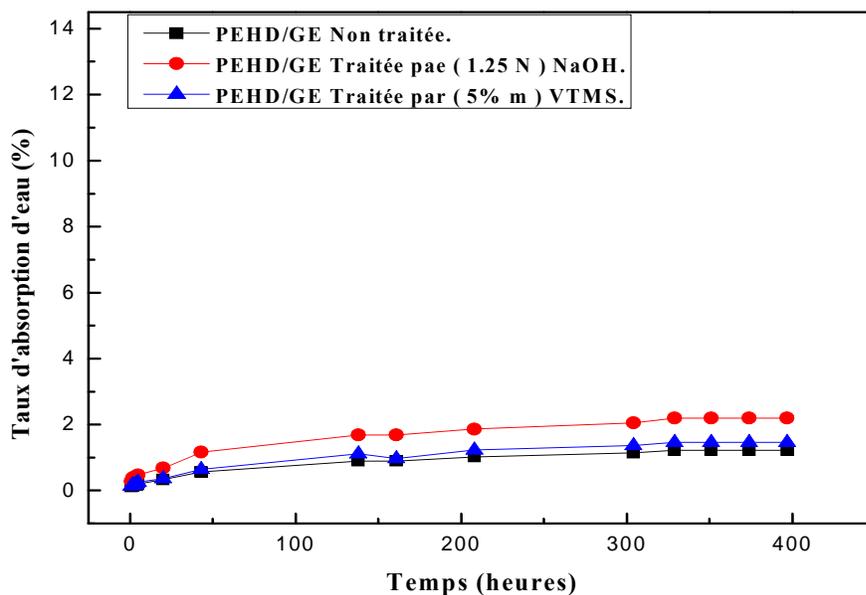


Figure IV.23. Variations du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE (80/20) à farine traitée et non traitée en fonction du temps.

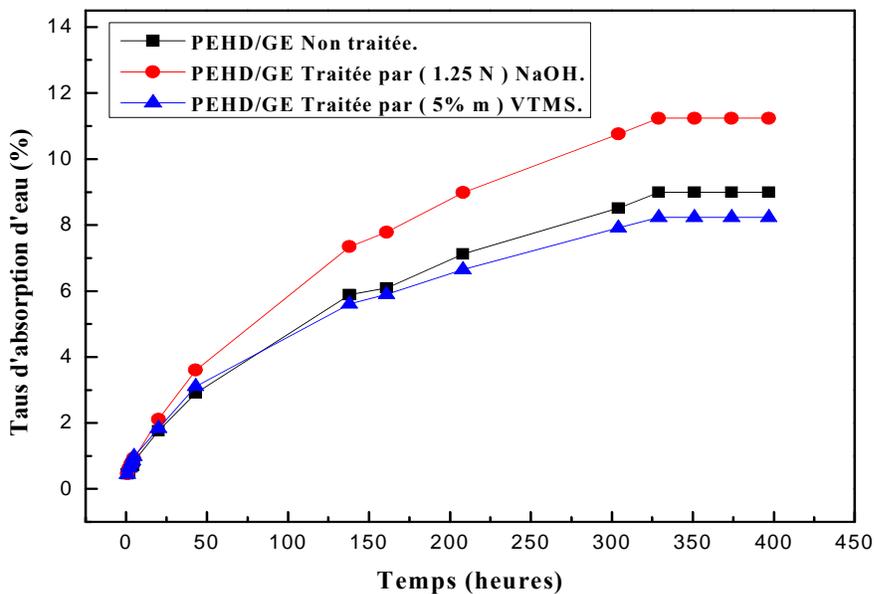


Figure IV.24. Variations du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/GE (60/40) à farine traitée et non traitée en fonction du temps.

IV.5.2. Effet d'absorption d'eau sur la résistance au choc a_n des composites PEHD/GE

a) IV.5.2.1. Effet de taux

La Figure IV.25 propose l'évolution de la résistance au choc des éprouvettes des composites PEHD/GE à farine non traitée avant et après absorption d'eau. Cette figure met en évidence une augmentation de la résistance au choc de ces matériaux après l'absorption d'eau. Car, l'eau absorbée rompt la rigidité de la structure de la cellulose et agit en tant que plastifiant, ce qui implique que la cellulose devient mous et acquiert la capacité de changer la dimension sous l'application de forces.

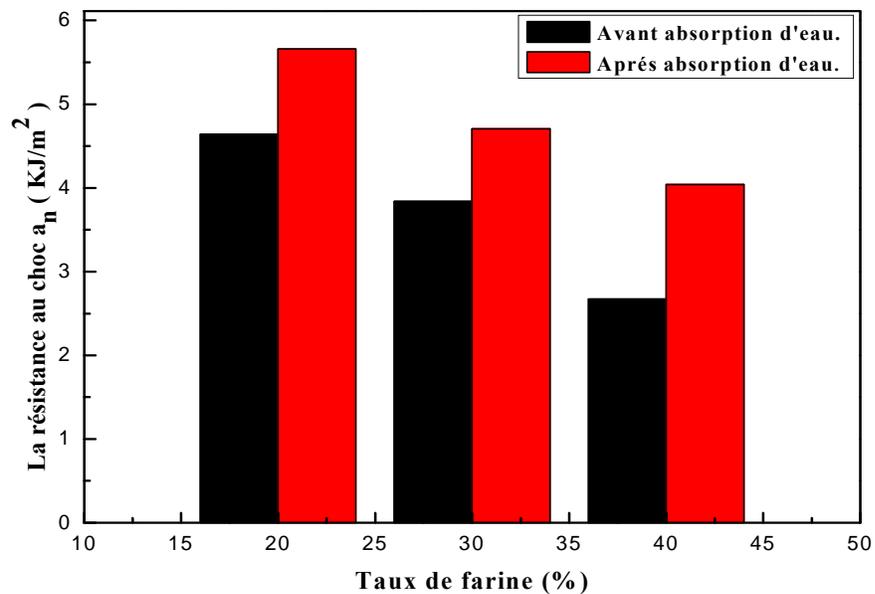


Figure IV.25. Variations de la résistance au choc (Izod) avant et après absorption d'eau à des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine non traitée.

b) Effet de traitement

La Figure IV.26 propose l'évolution de la résistance au choc des éprouvettes des composites PEHD/GE à farine traitée avant et après absorption d'eau. On remarque que le traitement de la farine améliore la résistance au choc des composites. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Dhakal** et ses collaborateurs [80].

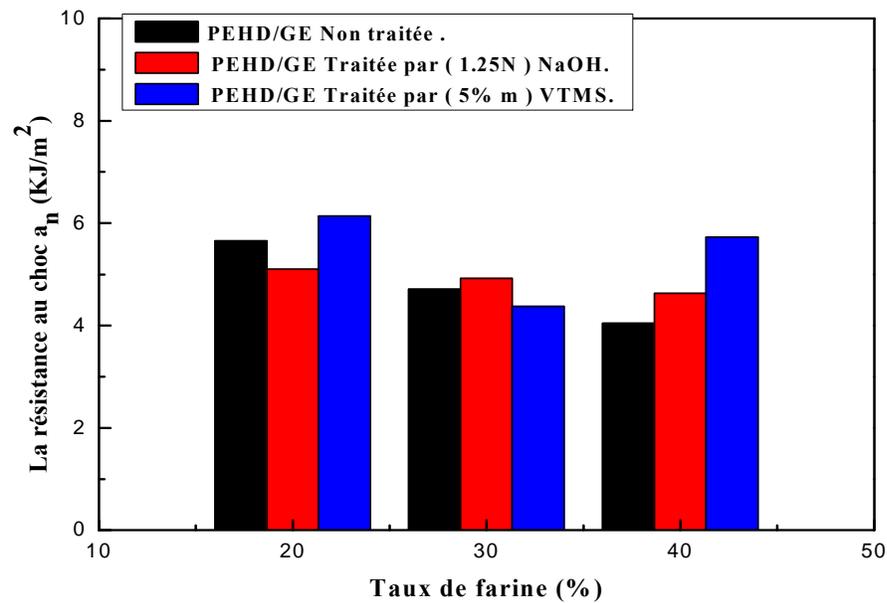


Figure IV.26. Variations de la résistance au choc(Izod) après absorption d'eau des composites PEHD/GE en fonction du taux de farine traitée et non traitée.

IV.6. Test d'absorption d'humidité

Le taux d'absorption d'humidité est un paramètre primordial pour l'élaboration des composites. En particulier les matrices polymériques sont de nature hydrophobe. La présence d'eau est très néfaste. La Figure IV. 27 illustre la variation du taux d'humidité de la farine du Genêt d'Espagne en fonction du traitement. On observe qu'il y a une diminution du taux d'humidité de la farine en fonction du traitement. Le traitement alcalin cause la rupture de la liaison hydrogène dans la structure de réseau de la farine. Par conséquent, il réduit l'absorption d'humidité par les fibres végétales. Ce résultat est en accord avec celui trouvé par Faalouse [33].

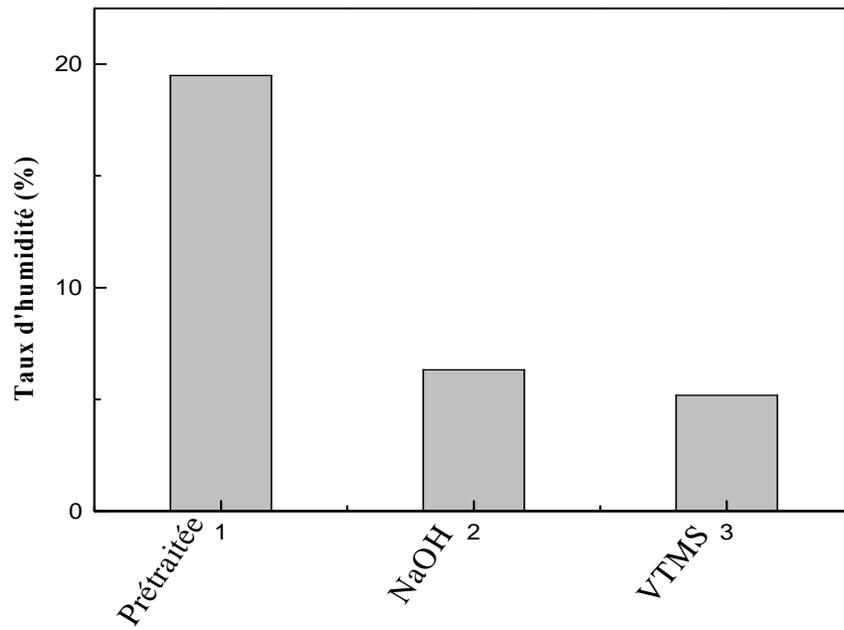


Figure IV.27. Variations du taux d'absorption d'humidité de farine de Genêt d' Espagne traitée et non traitée.

Conclusions

Le traitement des fibres végétales est très important pour obtenir des agrocomposites avec de bonnes propriétés mécaniques, thermiques et une résistance aux conditions de l'environnement.

L'étude réalisée dans ce travail avait pour objectif d'élaborer des agrocomposites à base de polyéthylène haute densité et de farine de Genêt d'Espagne traitée par le NaOH et par le VTMS, et d'évaluer l'effet de taux de farine et le type de traitement sur le comportement structurale, mécanique et thermique des composites.

Les résultats obtenus en infrarouge ont montré que la structure de la fibre de Genêt d'Espagne a changé après le processus de traitement. Cette modification a été montrée par la disparition de pic à 1739 cm^{-1} après le traitement. Aussi l'existence des bandes à 1260 cm^{-1} et 1100 cm^{-1} qui sont caractéristiques des vibrations de liaisons Si—O—Cellulose et Si—O—Si.

L'étude des propriétés mécaniques (choc) a montré que la résistance au choc a diminué avec l'augmentation du taux de farine non traitée. Mais il y a une amélioration de cette dernière par la modification. Alors que, les résultats de la dureté n'ont pas été affectés par le taux de charge ou par la modification.

La caractérisation rhéologique de différentes formulations des composites a montré une diminution de l'indice de fluidité avec l'augmentation du taux de farine non traitée. Le traitement par VTMS a montré une légère augmentation des valeurs de l'indice de fluidité des composites.

Les résultats du taux de gonflement au jonc ont montré une diminution de ce dernier avec l'augmentation du taux de charge.

L'analyse thermogravimétrique a montré que le traitement a amélioré la stabilité thermique de la farine de GE traitée par le VTMS.

Analyse calorimétrique différentielle a permis de montrer que l'incorporation de la farine de Genêt d'Espagne non traitée à la matrice du polyéthylène n'a pas d'influence sur la valeur de la température de fusion, mais une diminution du taux de cristallinité est observée.

Le taux d'absorption d'eau dépend du temps et du taux de farine de Genêt d'Espagne dans le matériau composite. Les composites à un taux de charge élevé ont le taux d'absorption le plus élevé. Le traitement par le silane a montré une décroissance du taux d'absorption d'eau

des composites. Aussi, il y a une diminution du taux d'humidité de la farine après le traitement. Les résultats de la résistance au choc des composites ont montré une augmentation de cette dernière après absorption d'eau.



JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagonals and Charts

ITToolbox.com - Perspectives - PowerPoint - Download - 1024x768

Perspectives

Pour la poursuite de ce travail, nous avons formulé les perspectives suivantes:

- ✓ Faire une étude morphologique par microscopie électronique à balayage (MEB).
- ✓ La valorisation d'autres charges végétales existantes dans notre pays.
- ✓ L'utilisation d'autres traitements économiques.
- ✓ Effectuer une caractérisation structurale par DRX de la farine de Genêt d'Espagne non traitée, traitée et des composites PEHD/GE.



***Références
bibliographiques***

JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts

© 2008-2014 JLLPPT.com. All Rights Reserved. Contact: jllppt@gmail.com

Références bibliographiques

- [1] A. Mahfoudh, « **Etude de la production et de la caractérisation de composites bois-plastiques** », Mémoire de maître ès science, Faculté des sciences et de génie, Département de génie chimique, Université Laval Québec (Canada), 2013, 101 p.
- [2] S. Mouhoubi, H. Osmani, T. Bali, S. Abdeslam, « **Elaboration et étude des propriétés des composites polyester/Alfa traitée et non traitée** », Verres Céramiques & Composites, Vol. 2, 2012, pp 34-40.
- [3] R. Benamara, « **Effet du traitement de la surface des fibres sur les propriétés du composite polypropylène/fibres de Genêt d'Espagne** », Mémoire de magister, Faculté de technologie, Département génie des procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif, (Algérie), 2010, 72 p.
- [4] C. Belkacemi, « **Étude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renfort en matière végétale** », Mémoire de magister, Département de génie des matériaux, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Boumèdes (Algérie), 2006, 131 p.
- [5] C. Pouteau, « **Matériaux composites à renforts fibres naturelles d'origine végétale, supplément Technique** », [en ligne], 2004, Disponible sur : <http://www.poleplasturgie.net/site/download/relais_journal/VISIONSFiche7.pdf>. (Consulté le: 27. 02. 2014).
- [6] D. G. Hepworth et al. , « **The manufacture and mechanical testing of thermosetting natural fibre composites** », Journal of Materials Science, Vol. 35, 2000, pp 293-298.
- [7] L. Averous, « **Nouvelles valorisations industrielles des agroressources** », Journée Ecrin NVIA «Valofibres», Université Reims cedex (France), 2002, 61 p.
- [8] E. Rogge, « **Extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa (Espartogross) en vue d'applications textiles** », Mémoire d'ingénieur, Filière textile et fibres, Ecole nationale supérieure d'ingénieurs Sud-Alsace (France), 2010, 76 p.
- [9] C. Baley, « **Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites** », Technique de l'ingénieur, Vol.AM 5130, (Paris), 2004, 12 p.
- [10] S. Ikhlef, « **Etude du comportement de composites PEBD/Farine de Genêt d'Espagne avant et après traitement** », Mémoire de magister, Faculté de technologie, Département génie des procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif (Algérie), 2011, 112 p.

- [11] A. Fadel et H. Hazem, « **Etude des propriétés d'agromatériaux composites PEBD/farine Genêt d'Espagne avant et après mercerisation** », Mémoire d'ingénieur, Faculté de technologie, Département génie des procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif (Algérie), 2010, 74 p.
- [12] T.N. Ho Thi, « **Etude de l'influence de la température et de l'humidité sur les propriétés mécaniques en traction des fibres de chanvre et de coco** », Thèse de doctorat, Département de génie mécanique, Université du Québec (Canada), 2008, 234 p.
- [13] S. Benhadi, « **Greffage de cyclodextrines modifiées par traitement corona sur matériaux cellulosiques** », Thèse de doctorat, Département de formation doctorale sciences du bois, Université Henri Poincaré Nancy 1 (France), 2010, 155 p.
- [14] A. Barbat, « **Extraction, caractérisation chimique et valorisation biologique de glucuronoxylanes de bois de chataignier** », Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Gay Lussac, Sciences pour l'Environnement, l'Université de Limoges (France), 2009, 216 p.
- [15] P. Elchinger, « **Réticulation de fibres lignocellulosiques et d'amidon vers de nouveaux matériaux pour l'industrie papetière** », Thèse de doctorat, Faculté des sciences et techniques, Université de Limoge (France), 2013, 141 p.
- [16] B. Monties, « **Les polymères végétaux polymères pariétaux et alimentaires non azotes** », Paris : Gauthier-Villars, 1980, 185 p.
- [17] S. Givry, « **Optimisation de procédés de fermentation lactique sur sirop de son de blé et purification et caractérisation d'une arabinose isomérase de lactobacillus bifermantans** », Thèse de doctorat, Laboratoire de microbiologie industrielle, Université de Reims Champagne-Ardenne (France), 2006, 221 p.
- [18] B. Khennaoui, « **Etude, synthèse et obtention de matériaux composites à partir de cellulose de polyacrylamide et de polystyrène** », Mémoire de magister, Faculté des sciences, Université Mentouri (Algérie), 2009, 118 p.
- [19] O. Biganska, « **Etude Physico-chimique des solutions de cellulose dans la N-Methylmorpholine-N-Oxyde** », Thèse de Doctorat, L'école des Mines paris (France), 2002, 133 p.
- [20] M. Mazza, « **Modification chimique de cellulose en milieu liquide ionique et CO₂ supercritique** », Thèse de doctorat, Institut nationale polytechnique, Université de Toulouse (France), 2009, 172 p.

- [21] C. Jammes, « **Co-valorisation d'effluents gras et de résidus lignocellulosiques: déshydratation mécanique et compostage** », Thèse de doctorat, Faculté des sciences et techniques, Université de Limoges (France), 2007, 193 p.
- [22] M. Benmansour, « **Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés aux applications de l'isolation thermique dans le bâtiment** », Mémoire de magister, Faculté des sciences, Université El Hadj Lakhdar (Algérie), 2011, 86 p.
- [23] P. Navi et F. Hege, « **Comportement thermo-hydrromécanique du bois, applications technologiques et dans les structures** », 1^{ère} édition, Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005, 320 p.
- [24] A. Tayebi, « **Obtention de papiers composites à partir d'une cellulose d'origines différentes et de macromolécules synthétiques polystyrène et polyacrylamide** », Mémoire de magister, Faculté des sciences exactes, Université Mentouri (Algérie), 2007, 80 p.
- [25] G.H. Delmas, « **La biolignine : structure et application à l'élaboration des résines époxy** », Thèse de doctorat, L'institut National Polytechnique, Université de Toulouse (France), 2011, 144 p.
- [26] P. Colonna, « **La Chimie Verte** », Paris: TEC & DOC, 2006, 532 p.
- [27] R. Zeitoun, « **Procédés de Fractionnement de la matière végétale : application à la production de polysaccharides du son et de la paille de blé** », Thèse de doctorat, L'institut national polytechnique, Université de Toulouse (France), 2011, 288 p.
- [28] D. Sedan, « **Étude 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, Ecole doctorale sciences - technologie – sante, Université de Limoges (France), 2007, 129 p.
- [29] J. M. Ballu, « **Bois de musique : la forêt berceau de l'harmonie** », Paris : GERFAUT, 2004, 160 p.
- [30] Buzzel, « **Organelles and Their Functions** », [En ligne], 2013, disponible sur : <<http://www.buzzle.com/articles/organelles-and-their-functions.html>>. (Consulté le 12.04.2014)
- [31] D. Thi-Vi-Vi, « **Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non** », Thèse de doctorat, Université de Grenoble et Université des sciences de Hochiminh ville (France), 2011, 189 p.

- [32] S. Nekkaa, «**Etude des propriétés d'un nouveau matériau composite à base de polypropylène renforcé par des fibres végétales locale le Genêt d'Espagne** », Thèse de doctorat d'Etat, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département de génie des procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif (Algérie), 2007, 148 p.
- [33] N. Falous, « **Influence du traitement par mercerisation sur les propriétés physiques, mécaniques, structurale et morphologique des fibres de Genêt d'Espagne** », Mémoire d'ingénieur, Faculté de technologie, Université Ferhat Abbas- Sétif (Algérie), 2011, 50 p.
- [34] ADAME, «**Evaluation de la disponibilité et l'accessibilité de fibres végétale à usages matériaux en France** », [en ligne], Paris, 2011, 84 p, Disponible sur : <www.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=76290&p1=30&ref=12441>. (Consulté le : 27. 02. 2014).
- [35] C. Johansson et al. , « **Review: packaging materials** », Bioresources, Vol. 7, 2012, 47 p.
- [36] M. Dallel, « **Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil** », Thèse de doctorat, Université de Haute Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT) (France), 2012,141 p.
- [37] S. Bouzouita, « **Optimisation des interfaces fibre/matrice de composites à renfort naturel** », Thèse de doctorat, Spécialité génie des matériaux, Ecole nationale d'ingénieurs de Monastir et L'école centrale de Lyon (France), 2011, 179 p.
- [38] I.M. Haisam, « **Elaboration de matériaux composites modèles unifilamentaires à fibres longues sic et matrice silice sol-gel et caractérisation micromécanique de l'interface** », Institut national des sciences appliquées de Lyon, Ecole doctorale des matériaux de Lyon (France), 1997, 188 p.
- [39] A. Le Duigoul et al. , «**L'étude des mécanismes d'adhérence entre une fibre de lin et le PLLA- Influence d'un traitement faiblement impactant à l'eau**», Comptes Rendus, Laboratoire d'ingénierie des matériaux de Bretagne, Université de Bretagne Sud (France), 2011, 9 p.
- [40] D. M. Panaitescu et al. , « **L'effet de l'interface dans les composites de fibres naturelles et de matières plastiques** », Revue Roumaine de Chimie, Vol. 52, 2007, pp 409-414.

- [41] L. Yahiaoui, « **Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)** », Mémoire magister, Institut d'optique et de mécanique de précision, Université Ferhat Abbas-Sétif (Algérie), 2011, 194 p.
- [42] L. Augier, « **Étude de l'élaboration de matériaux composites PVC/bois à partir de déchets de menuiserie : formulation, caractérisation, durabilité et recyclabilité** », Thèse de doctorat, Institut national polytechnique, Université de Toulouse (France), 2007, 240 p.
- [43] F. Le Digabel Houllier, « **Incorporation de coproduits de paille de blé dans des matrices thermoplastiques approche de la compatibilité charge- matrice et propriétés des composites** », Thèse de doctorat, Ecole doctorale sciences – santé, Université de Reims Champagne - Ardenne (France), 2004, 196 p.
- [44] M. Ragoubi, « **Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice via un traitement sous décharge couronne** », Thèse de doctorat, Ecole doctorale sciences et ingénierie des ressources procédés produits et environnement, Université Henri Poincaré Nancy 1 (France), 2010, 186 p.
- [45] L. Khaloufi, « **Adhésifs et techniques de collage: caractérisation de l'adhérence** », Thèse de magistère, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département génie des procédés industriels, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes (Algérie), 2007, 101 p.
- [46] C. Badre, « **Etude de la réactivité de surface par mesure d'angle de contact: Influence de la fonctionnalisation et de la structure Applications aux films d'oxyde de zinc électrodéposés**», Thèse de doctorat, Spécialité Chimie Physique et Chimie Analytique, Université Pierre et Marie Curie-Paris (France), 2007, 123 p.
- [47] A. Marchand, « **Mouillage statique et dynamique: Influences géométriques aux échelles moléculaires** », Thèse de doctorat, École doctorale de physique de la région parisienne, Université Paris VII – Denis Diderot (France), 2011, 330 p.
- [48] P. N. Triet et G. Villoutreix, « **Rôle du processus de traitement de surface sur les propriétés mécaniques du composite pp/fibres de bambou vietnamienne** », Overseas Vietnamese Chemistry and Chemical Technology Conference, 2008, pp 7-9.
- [49] T. Benmbarek, « **Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites bois/plastique 'WPC'** », Thèse de doctorat, Ecole doctorale des sciences exactes, Université de Pau et des Pays de l'Adour (France), 2011, 167 p.

- [50] M. Ragoubi et al. , « **Evaluation du comportement mécanique des matériaux composites chanvre- PP sous traitement plasma** », Comptes Rendus des journées nationales sur les composites JNC 16, Faculté des sciences et techniques, université Nancy (France), 2009, 7 p.
- [51] R. Ntenga, « **Modélisation multi-échelles et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites**», Thèse de doctorat, Ecole doctorale sciences pour l'ingénieur de Clermont-Ferrand et Ecole nationale supérieure polytechnique, Université blaise Pascal - Clermont 2 et université de Yaoundé 1 (France), 2007, 184 p.
- [52] R. Foerch, J. Izawa et G. Spears, « **A comparative study of the effects of remote nitrogen plasma, remote oxygen plasma, and corona discharge treatments on the surface properties of polyethylene** », Journal of Adhesion Science Technology, Vol. 5, 1991, pp 549-56.
- [53] R. Oraji, « **The effect of plasma treatment on flax fibres** », Mémoire de master, Département de l'Agriculture et de Génie des Bioressources, Université de Saskatchewan (Canada), 2008, 117 p.
- [54] S. Bouhank, « **Effet d'absorption d'eau sur le comportement mécanique des composites PP/ Farine cellulosique** », Mémoire de Master, Faculté de Technologie, Département Génie des Procèdes, Université Ferhat Abbas Sétif (Algérie), 2012, 56 p.
- [55] M. Spinu, « **Evaluation des paramètres physiques et physico-chimiques qui influencent l'accessibilité de la cellulose** », Thèse de doctorat, Institut Sciences et Génie des Matériaux, l'École nationale supérieure des mines de Paris (France), 2010, 169 p.
- [56] J. Le roux, « **Modification des fibres cellulosiques amélioration des propriétés hydrophiles des pates bisulfites** », Thèse de doctorat, Ecole doctorale des sciences chimiques, Université Bordeaux 1 (France), 2003, 187 p.
- [57] D. Ray et al. , « **The mechanical properties of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali-treated jute fibers**», Composites part A: applied science and manufacturing, Vol. 32, 2001, pp 119-127.
- [58] B.V. Kokta et al. , « **Composites of polyvinyl chloride-wood fibers. Iii: effect of silane as coupling agent** », Journal of Vinyl and Additive Technology, Vol. 12, 1999, pp 146-153.

- [59] M. Abdelmouleh et al. , « **Modification of cellulose fibers with functionalized silanes: effect of the fiber treatment on the mechanical performances of cellulose–thermoset composites** », International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 24, 2004, pp 43-54.
- [60] H. Demir et al. , « **The effect of fiber surface treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene-luffa fiber composites** », Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 37, 2006, pp 447-456.
- [61] N. Abidi et al. , « **Functionalization of cotton fabric with vinyltrimethoxysilane** », Textile Research Journal, Vol. 77, 2006, 669 p.
- [62] A. K. Rana et al. , « **Studies of acetylation of jute using simplified procedure and its characterization**», Journal of Applied Polymer Science, Vol. 64,1997, pp 1517-1523.
- [63] C. Albano et al. , « **Thermal stability of blends of polyolefins and sisal fiber polymer degradation and stability** », Materials Research Innovations, Vol. 66, 1999, pp 179-190.
- [64] K. Bourai, « **Étude du comportement thermique d'un composite bois-polymère pour une application en rotomoulage** », Mémoire de maître ès science, Faculté des sciences et de génie, Département de génie chimique, Université Laval Québec (Canada), 2010, 118 p.
- [65] ISO, « **Détermination de la Résistance au Choc Izod** », EN ISO 180:2000 F, Belgique, (2000), pp 3-4.
- [66] ISO, « **Détermination de la dureté par pénétration au moyen d'un duromètre (dureté shore)** », EN ISO 868:1997 F, Belgique, 1999, pp 2-3.
- [67] ISO, « **Détermination de l'indice de fluidité à chaud des thermoplastiques, en masse (mfr) et en volume (mvr)** », EN ISO 1133:1999 F, Belgique, 1999, pp 2-8.
- [68] R. Crawford, « **Plastics engineering** », 3^{ème} édition, Oxford: Butterworth Heinemann, 1998, 505 p.
- [69] ISO, « **Analyse calorimétrique différentielle (DSC)** », EN ISO 11357-1:1997 F, Belgique, 1997, 1 p.
- [70] A. Benyahia, et al. , « **Study the effect of alkali treatment of natural fibers on the mechanical behavior of the composite unsaturated Polyester-fiber Alfa** », 21ème Congrès Français de Mécanique Bordeaux, 2013, 6 p.

- [71] Y. A. El-Shekeil et al. , « **Influence of fiber content on mechanical, morphological and thermal properties of kenaf fibers reinforced poly(vinyl chloride)/thermoplastic polyurethane poly-blend composites** », *Materials and Design*, Vol. 58, 2014, pp 130–135.
- [72] K. Mylsamy et I. Rajendran, « **The mechanical properties, deformation and thermomechanical properties of alkali treated and untreated Agave continuous fibre reinforced epoxy composites** », *Materials and Design*, Vol. 32 , 2011, pp 3076–3084.
- [73] A. C. H. Barreto et al. , « **Properties of sisal fibers treated by alkali solution and their application into cardanol-based biocomposites** », *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 42, 2011, pp 492-500.
- [74] F. Z. Arrakhiz et al. , « **Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene** », *Materials and Design*, Vol. 43, 2013, pp 200-205.
- [75] A. Bendahou, Y. Habbibi, H. Kaddami et A. Dufresne, « **Matériaux composites à base des fibres lignocellulosiques et de matrices thermoplastiques (PP et PEBD)** », *Revue Roumaine de Chimie*, Vol. 54, 2009, pp 557-563.
- [76] L. Avérous, C. Fringant et L. Moro, « **Plasticized starch-cellulose interactions in polysaccharide composites** », *Polymer*, Vol. 42, 2001, pp 6565-6572.
- [77] F.L. Digabel et al. , « **Properties of thermoplastic composites based on wheat-straw lignocellulosic fillers** », *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 93, 2004, pp 428-436.
- [78] H. Babacar, « **Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose** », Thèse de doctorat, Ecole doctorale des matériaux et génie des procédés, Grenoble, France, 2008, 218 p.
- [79] P. NoorunnisaKhanam, M. A. AlMaadeed, « **Improvement of ternary recycled polymer blend reinforced with date palm fibre**», *Materials and Design*, Vol. 60, 2014, pp 532–539.
- [80] H.N. Dhakal, Z.Y. Zhang and et M.O.W. Richardson, « **Effect of water absorption on the mechanical properties of hem fiber reinforced unsaturated polyester composites** », *Composites Science and Technology*, Vol. 67, 2007, pp 1674-1683.



JLLPPT.com - Free PowerPoint Templates, Diagrams and Charts

Website: www.jllppt.com



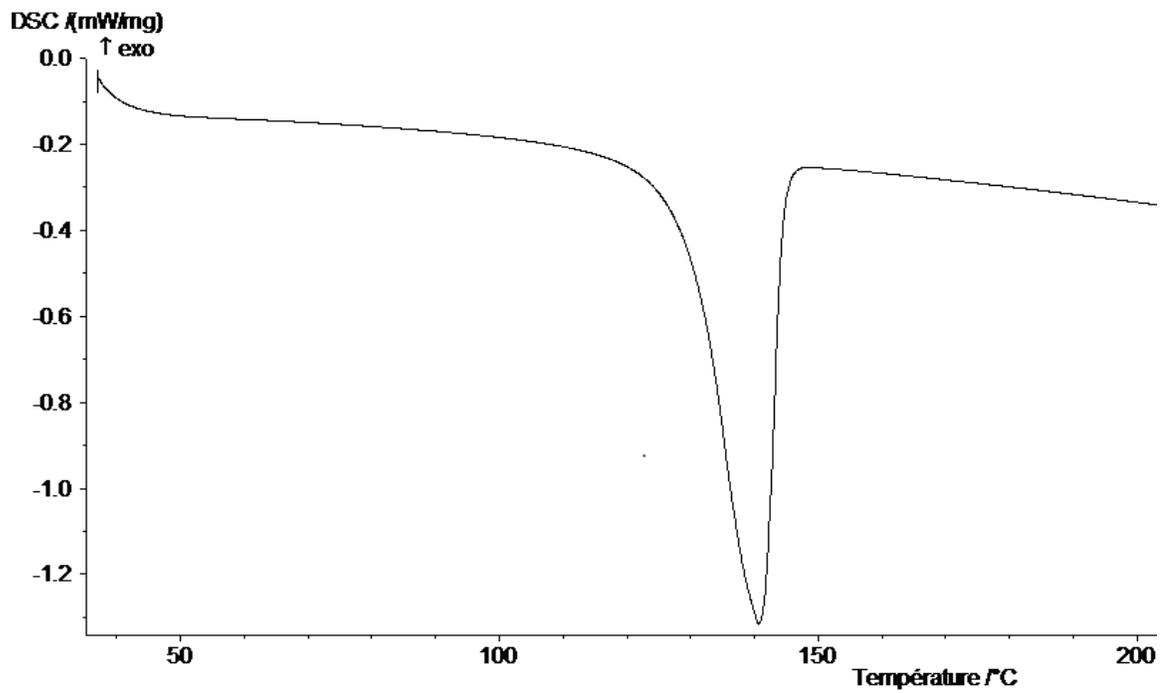


Figure.1. Thermogrammes DSC de PEHD.

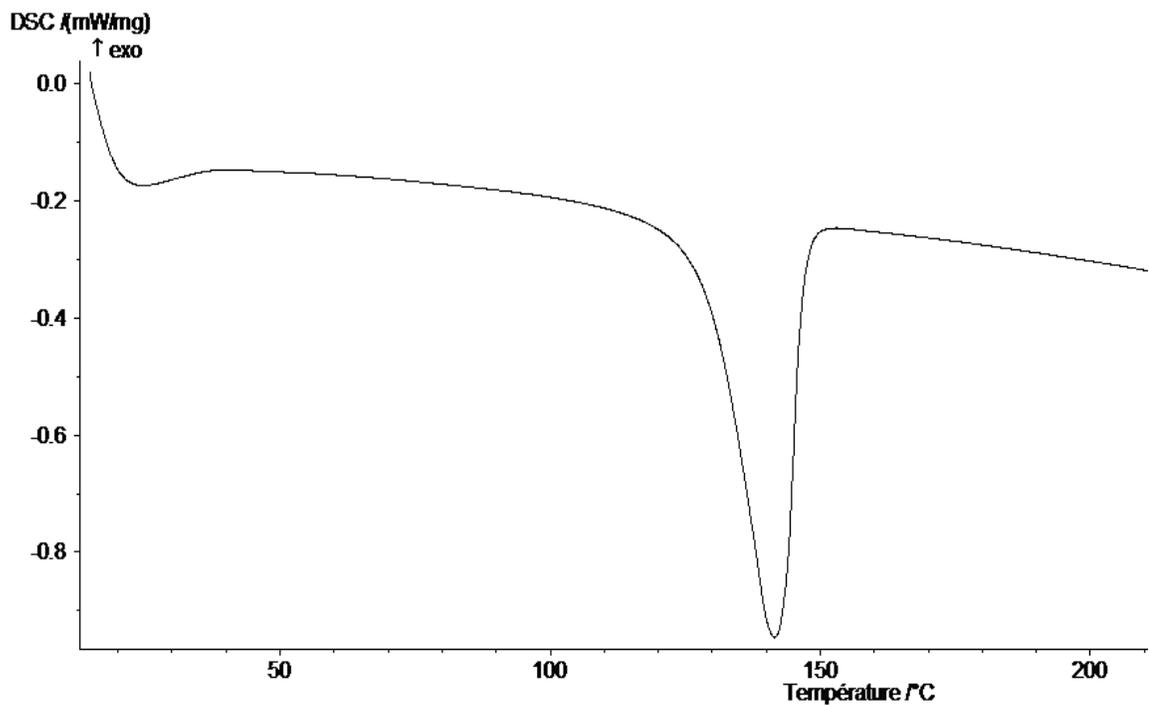


Figure.2. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (80/20) à farine non traitée.

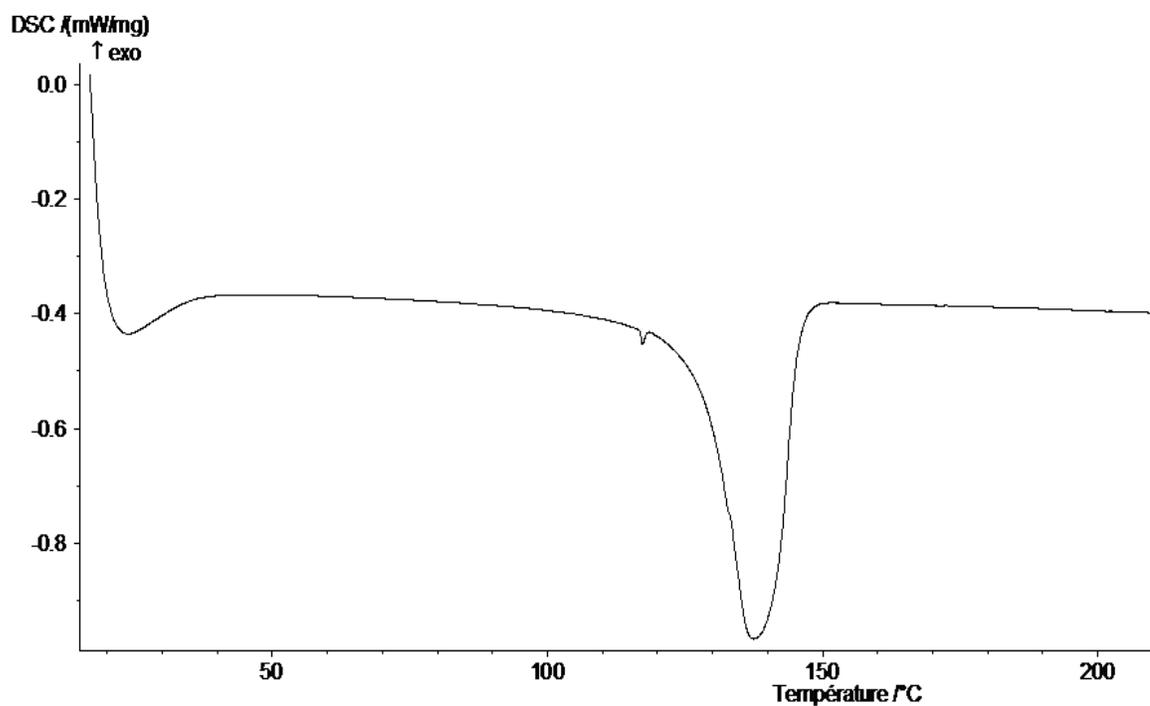


Figure.3. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (70/30) à farine non traitée.

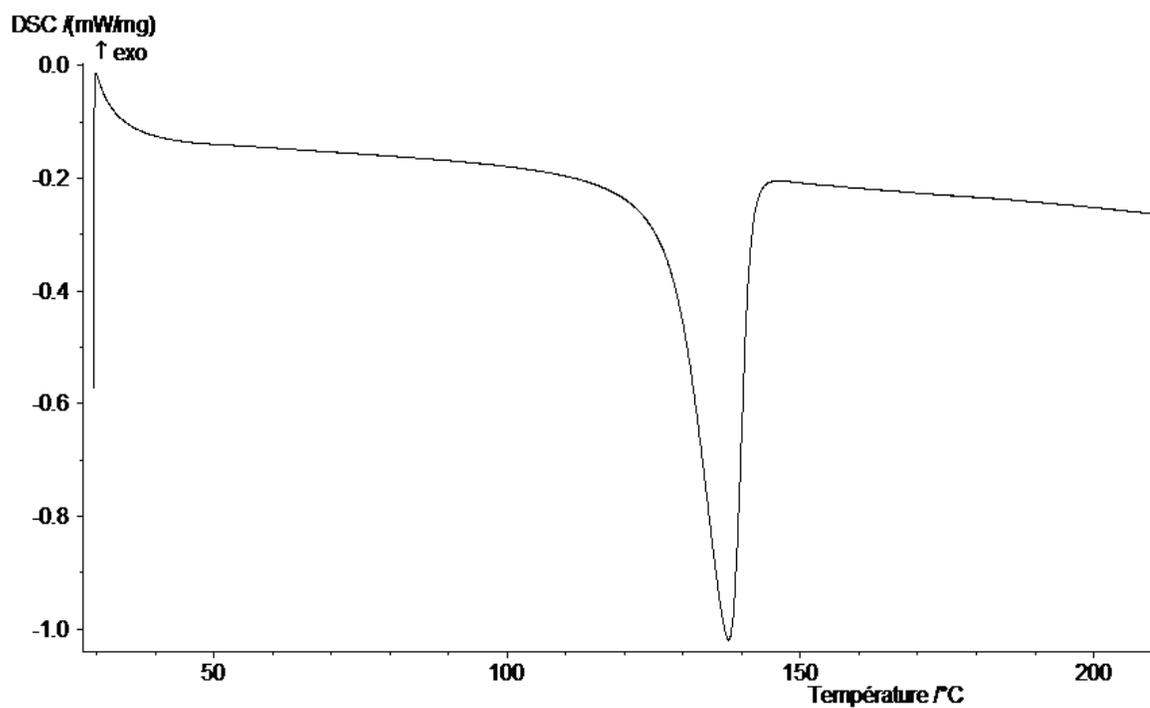


Figure.4. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (60/40) à farine non traitée.

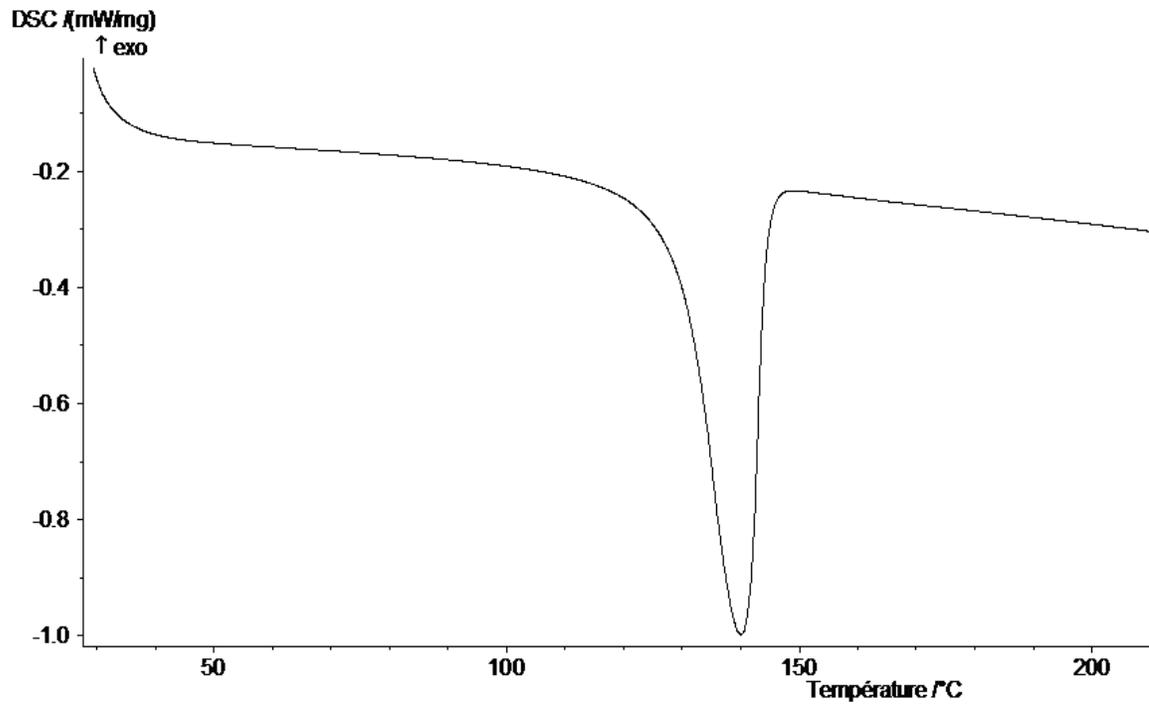


Figure.5. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (70/30) à farine traitée par (1.25N) NaOH.

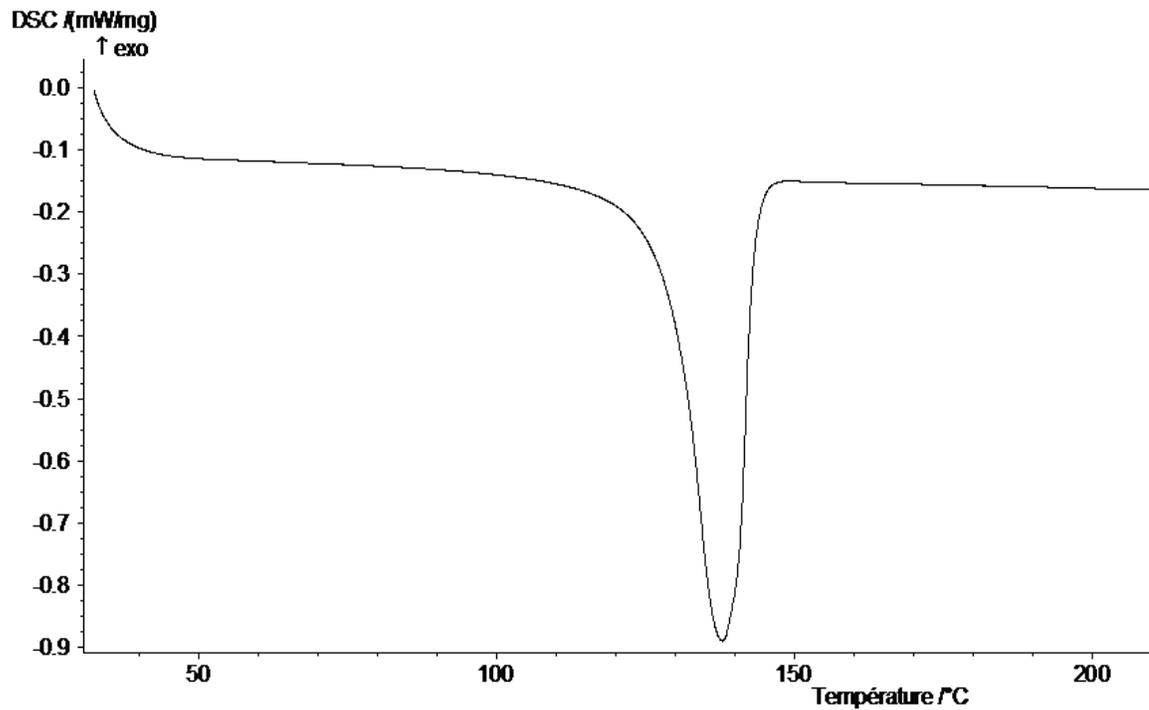


Figure.6. Thermogrammes DSC des composites PEHD/GE (70/30) à farine traitée par (5% m) VTMS.

Tableau.1. Valeurs du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/farine de Genêt d'Espagne non traitée.

Temps (heures)	PEHD	PEHD/GE (80/20)	PEHD/GE (70/30)	PEHD/GE (60/40)
1	0.03611	0.12070	0.26803	0.4587
2	0.02152	0.13123	0.29918	0.50276
3	0.01027	0.16409	0.36632	0.67052
4	0.01643	0.17471	0.40643	0.70753
5	0.01676	0.20312	0.47039	0.84231
20	0.01471	0.33798	0.89917	1.76587
43	0.05288	0.56671	1.31973	2.90285
138	0.04206	0.89598	2.52302	5.89131
16	0.03547	0.89975	2.60740	6.09374
208	0.0255	1.02384	2.98880	7.12339
304	0.02909	1.14547	3.54797	8.51563
329	0.02790	1.21817	3.74628	9.00034
351	0.02790	1.21817	3.74628	9.00034
374	0.02790	1.2181	3.74628	9.00034
397	0.02790	1.2181	3.74628	9.00034

Tableau.2. Valeurs du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/farine de de Genêt d'Espagne traitée par 5% NaOH.

Temps (heures)	PEHD	PEHD/GE (80/20)	PEHD/GE (70/30)	PEHD/GE (60/40)
1	0.03611	0.28026	0.46760	0.47151
2	0.0215	0.38757	0.67326	0.62842
3	0.01027	0.41479	0.72157	0.75363
4	0.01643	0.40361	0.74250	0.82482
5	0.01676	0.47476	0.86699	0.93917
20	0.01471	0.68723	1.54736	2.12165
43	0.05288	1.16633	2.42335	3.60126
138	0.04206	1.68401	4.16767	7.35148
161	0.03547	1.68410	4.31564	7.78508
208	0.02552	1.86949	4.87764	8.99196
304	0.02909	2.05449	5.60678	10.7600
329	0.02790	2.19719	5.92520	11.23813
351	0.02790	2.19719	5.92520	11.23813
374	0.02790	2.19719	5.92520	11.23813
397	0.02790	2.19719	5.92520	11.23813

Tableau.3. Valeurs du taux d'absorption d'eau des composites PEHD/farine de de Genêt d'Espagne traitée par 5% VTMS.

Temps (heures)	PEHD	PEHD/GE (80/20)	PEHD/GE (70/30)	PEHD/GE (60/40)
1	0.03611	0.15046	0.71228	0.45064
2	0.0215	0.18667	0.81963	0.64736
3	0.01027	0.16911	0.88784	0.75758
4	0.01643	0.22627	0.94151	0.86098
5	0.01676	0.25795	1.01196	0.98982
20	0.01471	0.36317	1.35972	1.83691
43	0.05288	0.64940	1.96466	3.11204
138	0.04206	1.11438	3.21815	5.61292
161	0.03547	0.96725	3.29643	5.89524
208	0.02552	1.22976	3.71351	6.64885
304	0.02909	1.36330	4.19881	7.91594
329	0.02790	1.45945	5.04864	8.24070
351	0.02790	1.45945	5.04864	8.24070
374	0.02790	1.45945	5.04864	8.24070
397	0.02790	1.45945	5.04864	8.24070

Résumé:

Au cours des dernières années, en raison de la croissance des préoccupations environnementales et le prix du pétrole, il y a eu une croissance de l'intérêt pour les fibres dérivées de sources naturelles et durables, en raison de leur utilisation dans les matériaux composites haute performance.

Dans la présente étude, nous proposons de valoriser la plante végétale de Genêt d'Espagne, sous forme de farine en vue de renforcer le Polyéthylène haute densité PEHD. L'élaboration de composites PEHD/GE après traitement a permis de montrer que le taux et le type de traitement de farine GE influencent les propriétés des matériaux.

Mots clés: Genêt d'Espagne, Mercerisation, Polyéthylène haute densité, Traitement de surface, Matériaux composites.

Abstract:

In recent years, due to growing environmental concerns and the price of oil, there has been a growing of interest in fibers derived from natural sustainable sources, as a result of their use in high performance composite materials.

In this study, we propose to valorize flour of Spartium Junceum plant to reinforce high density polyethylene HDPE. The preparation of HDPE / treated flour SJ composite has shown that the flour content and type of treatment influence materials properties.

Keywords: Spartium Junceum, Mercerisation, High density polyethylene ,surface Treatment, Composite materials.

ملخص:

بسبب تزايد المخاوف البيئية وارتفاع أسعار النفط في السنوات الأخيرة ، كان هناك اهتمام أكثر بالألياف المشتقة من المصادر الطبيعية المستدامة التي تستخدم في المواد المركبة عالية الأداء.

نقترح في هذه الدراسة ترمين ألياف الطرطاق، المستعملة في شكل بودرة لتقوية البولي اثيلين عالي الكثافة. لقد أظهر إعداد المواد المركبة mbe a Id b بعد العلاج أن نسبة بودرة الطرطاق و نوع المعالجة السطحية لها تأثير علي خصائص المواد المركبة.

كلمات مفتاحية: الطرطاق، المعالجة قلويا، البولي اثيلين عالي الكثافة، المعالجة السطحية، المواد المركبة.