




Les composites à fibres végétales

Prof. Abdellah HADDOUT




PLAN

Introduction

- I. Les fibres végétales et leur importance
- II. Application industrielle : pièce automobile
- III. Structure et propriétés des fibres végétales
- IV. Composites en polypropylène renforcés à fibres Alfa
- V. Mise en œuvre par injection des composites en polypropylène renforcés fibres d'Alfa
- VI. Caractérisation et validation des paramètres de moulage
- VII. Recyclage de composites en polypropylène /fibres végétales
- VIII. Conclusion et perspectives

2/32




INTRODUCTION

Matériaux composites verts :

- ☞ Est-ce qu'ils sont « **meilleurs pour l'environnement** »?
- ☞ Est-ce qu'ils sont « **plus légers** » ?
- ☞ Est-ce qu'ils sont « **moins chers** »?
- ☞ Est-ce qu'ils sont « **plus compliqués à transformer** » et **nécessitent des équipements particuliers** »?
- ☞ Est-ce qu'ils sont « **recyclables** »?
- ☞ Est-ce qu'ils ont de « **meilleures propriétés mécaniques** »?
- ☞ Est-ce qu'ils « **peuvent remplacer les composites à fibres de verre** »?
- ☞ Est-ce qu'ils ont aujourd'hui « **des applications Industrielles** »?

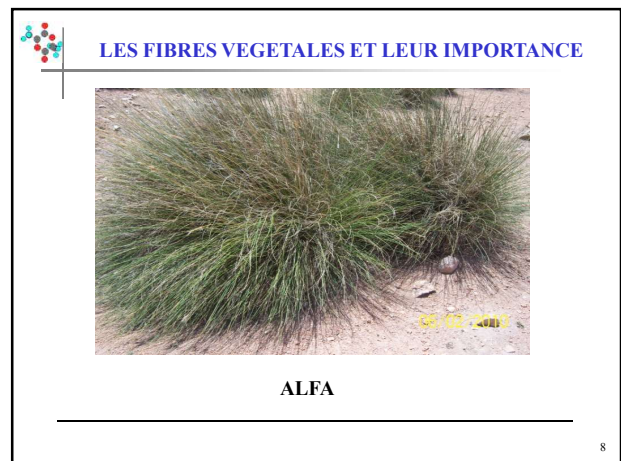
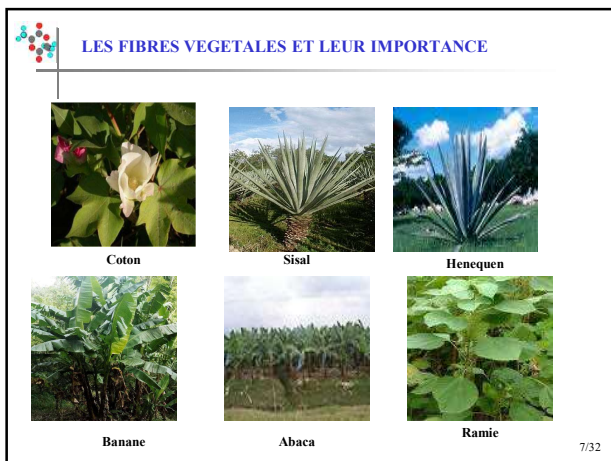
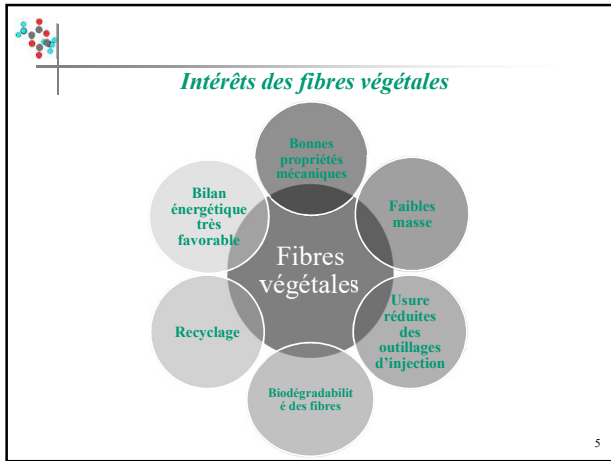
3/32



INTRODUCTION

- Les matériaux composites à base de fibres végétales suscitent beaucoup d'intérêts de la part des industriels.
- Les contraintes environnementales et les nouvelles réglementations sur le recyclage des matériaux composites ont leur rôle dans les perspectives de développement de ces produits
- L'introduction de fibres naturelles dans des matrices polymères (biodégradables ou non) peut apporter des avantages très significatifs par rapport aux fibres traditionnelles
- Faibles densités, bonnes propriétés mécaniques, faibles coûts

4/32



Le caoutchouc silicone liquide en perspectives des matériaux de recherche

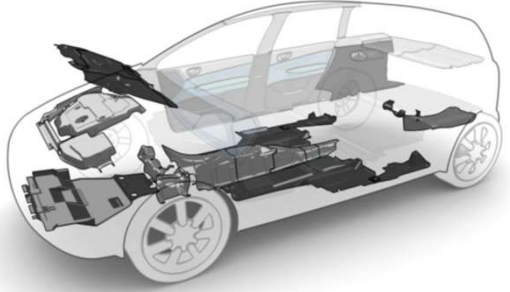
Parmi les domaines d'applications.....

L'exemple de l'industrie automobile



9

Application Industrielle dans le secteur automobile



10

Exemple d'autres Applications possibles

Les types de pièces pour automobile



11

VI. APPLICATION INDUSTRIELLE

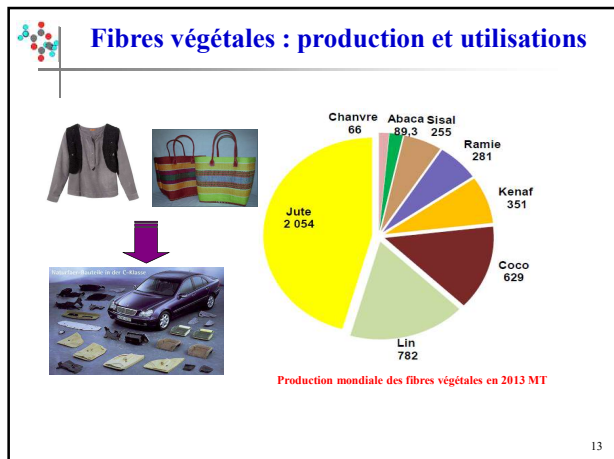
Exemples de pièces à bases de composites à fibres végétales.



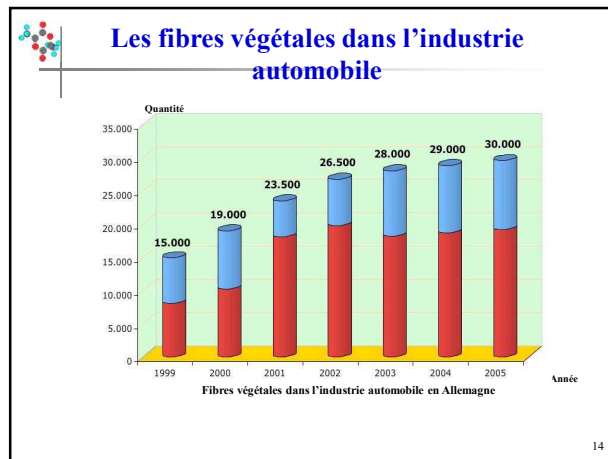
Les constructeurs automobiles utilisent des pièces à base de composites à fibres végétales.



12/32



13



14

- ### Intérêts des fibres végétales
- ☞ **Bonnes propriétés mécaniques couplées à une faible masse .**
 - ☞ **Usure réduites des outillages d'injection du fait de leur abrasivité faible .**
 - ☞ **Bilan énergétique très favorable .**
 - ☞ **Biodégradabilité des fibres .**
 - ☞ **Recyclage**

15/32

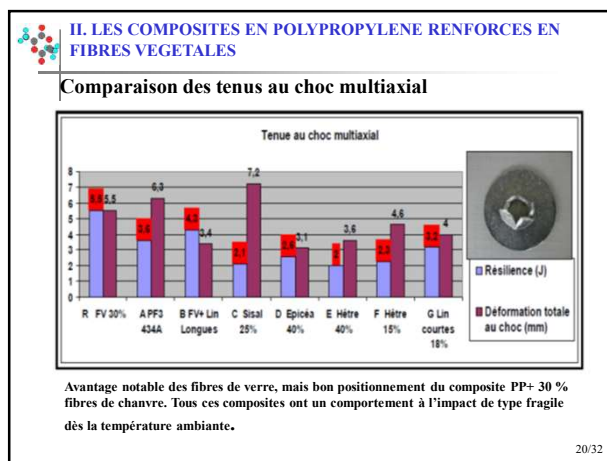
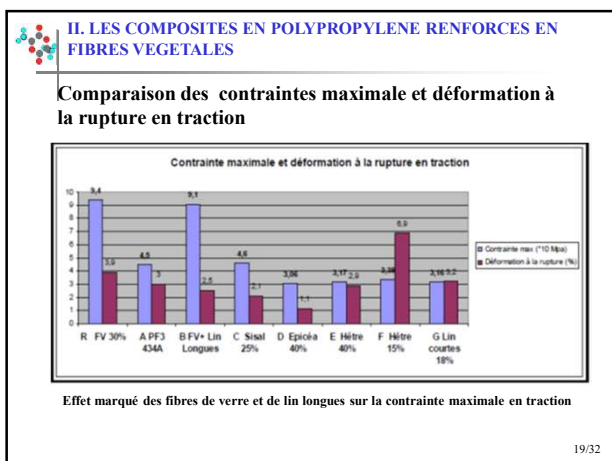
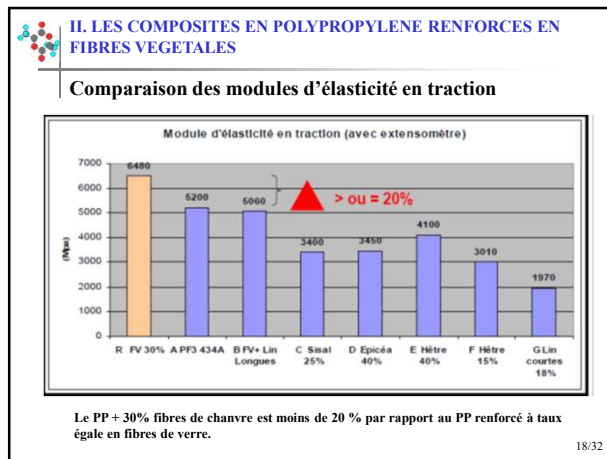
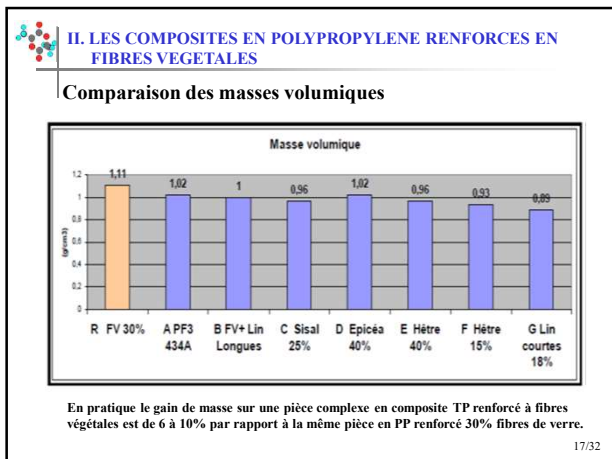
II. LES COMPOSITES EN POLYPROPYLENE RENFORCES EN FIBRES VEGETALES

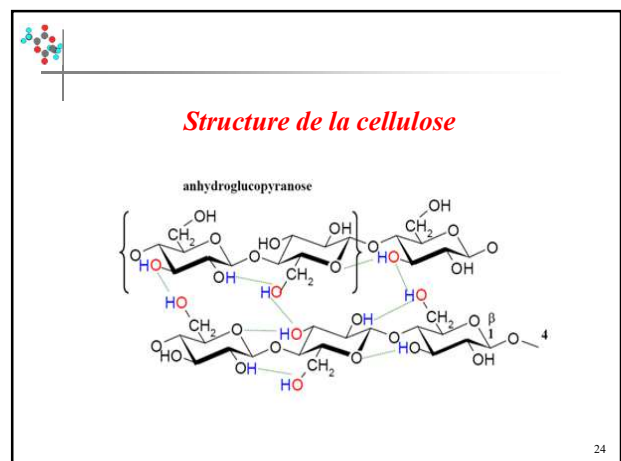
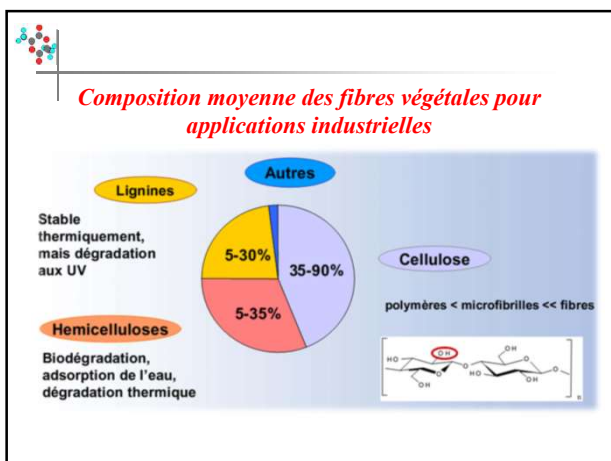
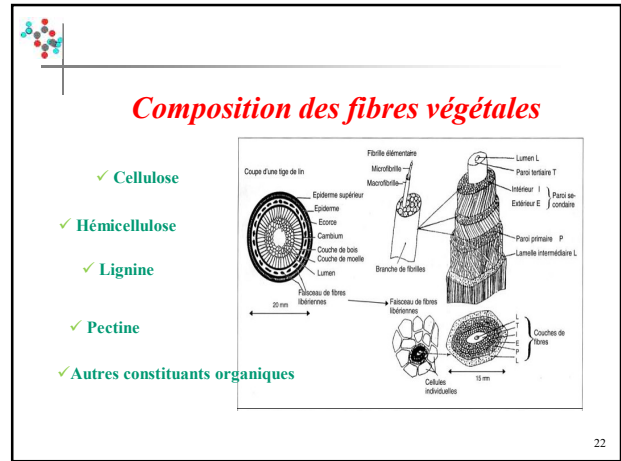
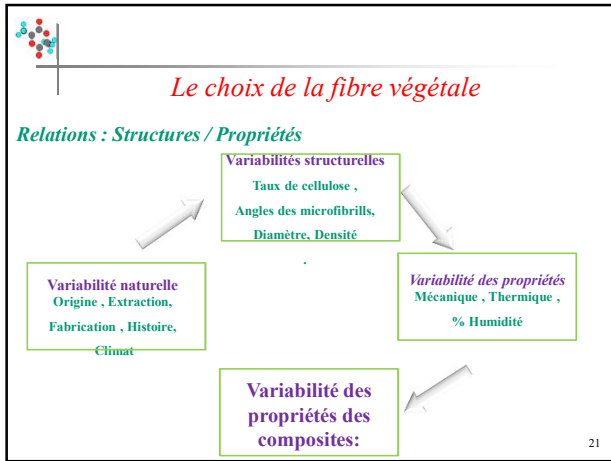
Comparaison des propriétés des composites PP à fibre de verre et à fibres végétale :

Les matériaux évalués sont des composites à matrice polypropylène disponible commercialement .

Code	Type de renfort	Taux de renfort (en masse)
R	Fibres de verre ensimées	30%
A	Fibres de chanvre traitées mécanique	30%
B	Fibres de verre longues/ lin longues	15% - 15%
C	Fibres de sisal	25%
D	Fibres de bois(Epicéa)	40%
E	Fibres de bois (Hêtre)	40%
F	Fibres de bois (Hêtre)	15%
G	Fibres de lin	18%

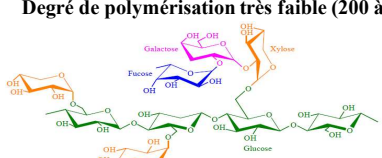
16/32





L'Hémicellulose

- ➔ Molécules identiques aux celluloses avec différentes ramifications
- ➔ Degré de polymérisation très faible (200 à 300)

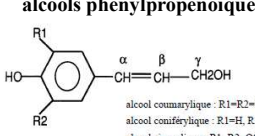


Structure d'un type de xyloglucanes

25

La lignine

- La matrice des fibres celluliques
- Leur variabilité dépend de l'espèce végétale
- Issue de polymérisation radicalaire de trois alcools phenylpropénoïques

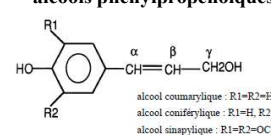


Formule chimique de l'alcool coumarylique, coniferylique et sinapylique.

26

La lignine

- La matrice des fibres celluliques
- Leur variabilité dépend de l'espèce végétale
- Issue de polymérisation radicalaire de trois alcools phenylpropénoïques



Formule chimique de l'alcool coumarylique, coniferylique et sinapylique.

27

Variabilité de la composition des fibres végétales

Fibres	Cellulose (%)	Lignine (%)	Hémicellulose (%)	Pectine (%)	Cendre (%)
Fibres de tige					
Bambou	46-58	20-22	16-20	8-10	-
Kénaf	37-49	15-21	18-24	-	2-4
Jute	41-48	21-24	18-22	-	0,8
Fibres d'écorce					
Fibres de lin	71	2,2	18,6-20,6	2,3	-
Kénaf	31-57	15-19	21,5-23	-	2-5
Jute	45-71,5	12-26	13,6-21	0,2	2-5
Chauvre	57-77	3,7-13	14-22,4	0,9	0,8
Ramie	68,6-91	0,6-0,7	5-16,7	1,9	-
Fibres de feuillage					
Abaca	56-63	7-9	15-17	-	3
Sisal	47-78	7-11	10-24	10	0,6-1
Hènequen	77,6	13,1	4-8	-	-

Composition chimiques de quelques fibres végétales

28

LE CHOIX DE LA FIBRE VEGETALE ET SON IMPORTANCE

Comparaison des propriétés des fibres végétales avec les fibres de verre :

Fibre	Densité (g/cm3)	Diamètre (µm)	Taux de cellulose (%)	Angle Microfibrillaire (°)	Absorption d'humidité (%)	Contrainte de rupture en traction (MPa)	Module d'Young initial (GPa)	Elongation à rupture (%)	Contrainte spécifique en traction (MPa)
Abaca	1.5		55			980	-	-	655
Banane	1.35	50-250	65	11		914	32	10	680
Bois (bâchés)	1.5		45			90	11		225
Chanvre	1.48		73	6.2	8	900	70	2	610
Coir (coco)	1.15	100-450	40	43	10	175	6	40	115-150
Coton	1.55		90			800	13	8	530
Henequen	1.49	20-500	55			580	13	5	390
Jute	1.37	25-200	66	8	12	800	30	2	600
Lin	1.50		71	10	7	1100	80	3	730
Paille (blé)	1.49		70			45	3		30
Ramie	1.50		83	7.5	15	938	128	4	625
Sisal	1.45	50-200	73	20	11	640	38	7	440
Fibre de verre	2.5					2600	70	3	1000

29/32

Pourquoi les fibres Alfa?

Les quantités? Les qualités? Les possibilités? ...etc.



30

Objectif

Notre objectif est de mettre en valeur les qualités de cette fibre en tant que renfort pour les matrices thermoplastiques et la possibilité d'en faire une alternative pour les composites à base de fibres de verre dans l'industrie automobile.

31/32

La plante Alfa

- ❖ Herbe vivace du bassin de la méditerranée, de tige circulaire qui mesure plus d'un mètre.
- ❖ 3,2 million d'Hectares au Maroc
- ❖ L'Alfa du Maroc fait partie du domaine de la HCEFLCD: la bonne protection, la bonne qualité
- ❖ Programmes de l'Etat pour la valorisation de l'Alfa: un budget de 200MD

32

La composition de la fibre d'Alfa

Cellulose	Hémicellulose	Lignine	Cires	Cendre
45%	25%	23%	5%	2%

Cette composition lui confit une souplesse et une finesse importante.

Les fibres sont présentes sous forme de paquet de en forme tubulaire

33

Images observées au microscope

Les fibres

Les paquets de fibres

34

Caractéristiques spécifiques de la fibre d'Alfa

Fibre	Density (g/cm ³)	Strain at break(%)	Specific stress at break (MPa)	Specific Young modulus (GPa)
Alfa	1.4	1.5-2.4	134-220	13-17.8
Agave	1.4	20	350	4.2
Cotton	1.5	7-8	191-398	3.6-8.4
Jute	1.3	1.5-1.8	300-600	20
Flax	1.5	2.7-3.2	230-690	18
Hemp	1.5	1.6	460	17
Ramie	1.5	3.6-3.8	266-630	42-86
Sisal	1.5	2-2.5	340-423	6-14
Wood	1.5	-	666	26
E Glass	2.6	2.5	770-1345	27
S Glass	2.6	2.8	1750	33
Kevlar	1.4	3.3-3.7	2140-2250	45-48
Carbon	1.7	1.4-1.8	2350	140

Comparaison des caractéristiques mécaniques des fibres végétales et synthétiques

35

Préparation des fibres d'Alfa

Étapes importantes de la chaîne de préparation des fibres Alfa

Récolte des fibres

Rouissage

Teillage et cardage des fibres

Peignage et décorticage

Broyage/coupe des fibres

Traitement des fibres

36

La récolte des fibres


Conditionne

↓

La qualité des fibres

↓

La reproductibilité



37

Traitement des fibres Alfa

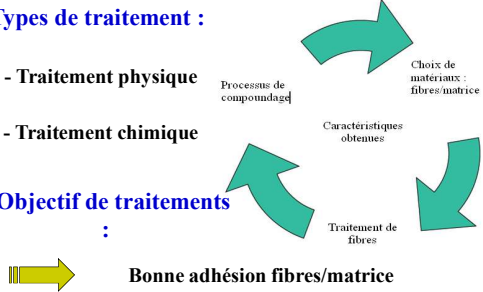
- Types de traitement :
 - Traitement physique
 - Traitement chimique
- Objectif de traitements :
 - Bonne adhésion fibres/matrice

Processus de compoundage

Choix de matériaux : fibres/matrice


Caractéristiques obtenues

Traitement de fibres




38

Produits obtenus




Fibres de 5 mm



Fibres de 2 mm

39

La bonne adhésion fibres/matrice



10 μm 288kV 284E3 5127/00 CONTACT

10 μm 295kV 155E3 5814/00 ECH 4

40

Coumpoundage

• **Matériaux utilisés**



PP homopolymère



Fibres Alfa



PPAM

41

Coumpoundage

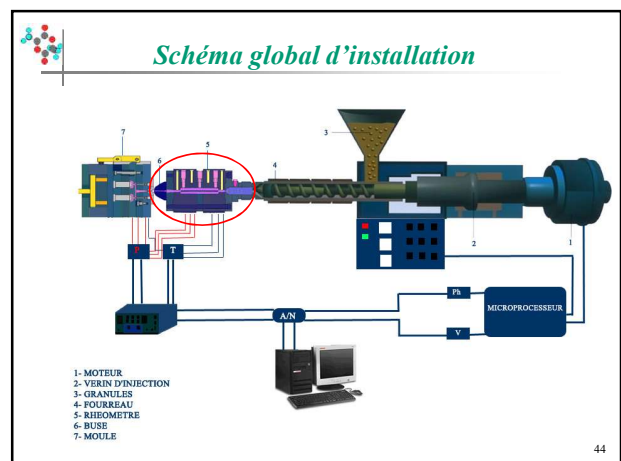
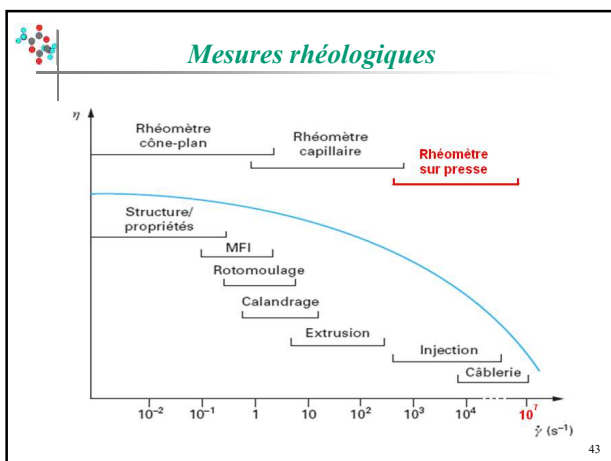
Matériel utilisé: Extrudeuse

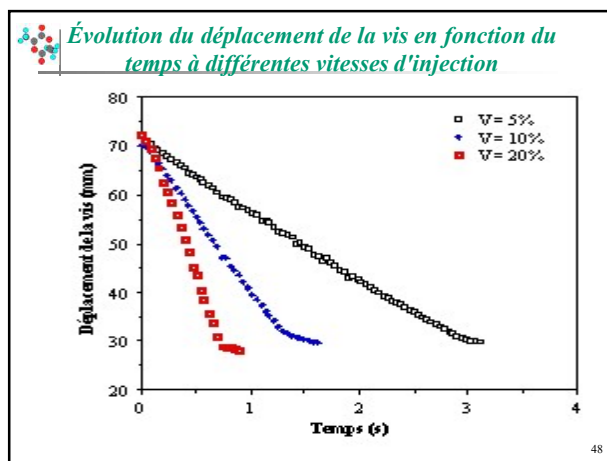
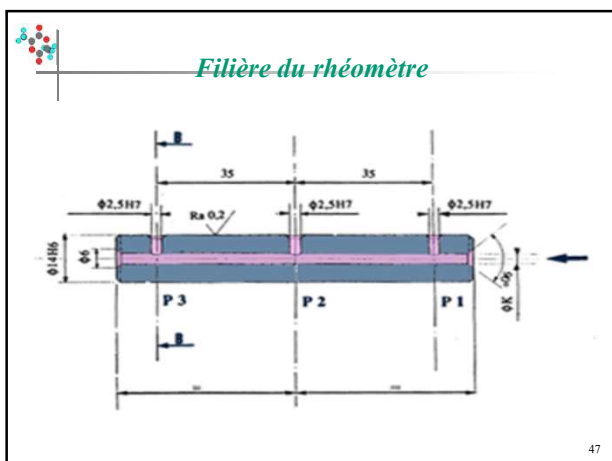
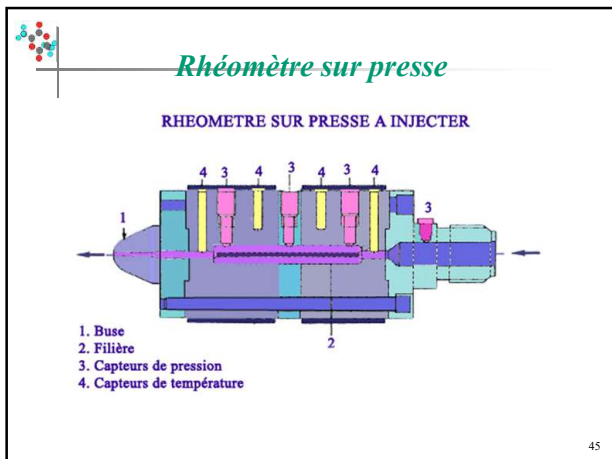


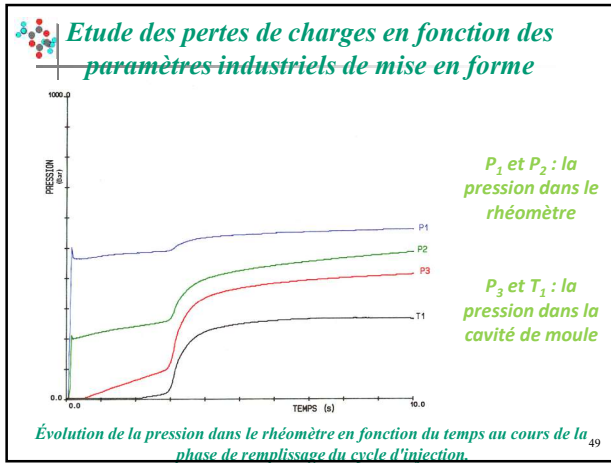

Monovis de diamètre de vis 30.

- Maîtrise de la température
- Distribution des fibres dans la matrice à l'entrée de la vis

42







V. RECYCLAGE DES COMPOSITES POLYPROPYLENE RENFORCES FIBRES DE CHANVRES

Pourquoi le module de Young chute seulement par 8% dans les composites TP à fibres végétale ?

Images observées en MEB de l'interface d'un composite PP-AM/chanvre vierge à gauche et après 7 cycles d'injection à droite

Images observées en MEB de l'interface d'un composite PP/verre vierge à gauche et après 7 cycles d'injection à droite

50/32

LA MISE EN ŒUVRE PAR INJECTION DES COMPOSITES POLYPROPYLENE RENFORCES FIBRES VEGETALES

Préparation du moule de l'éprouvette :

- ☞ Moule mono empreinte
- ☞ Alimentation en nappe

Préventif avant mise en œuvre :

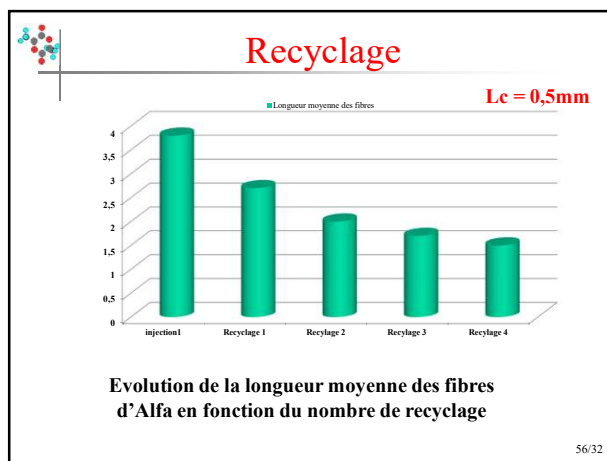
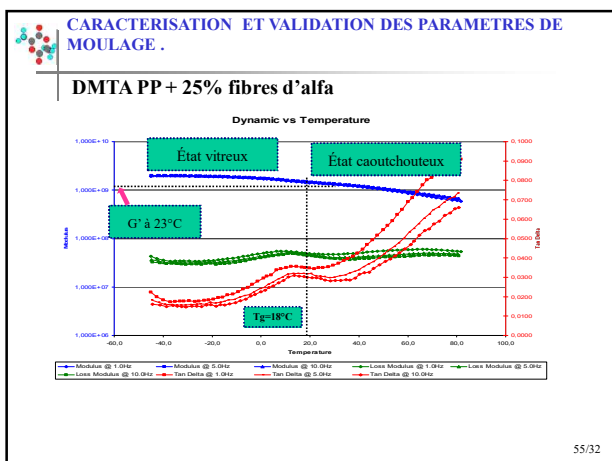
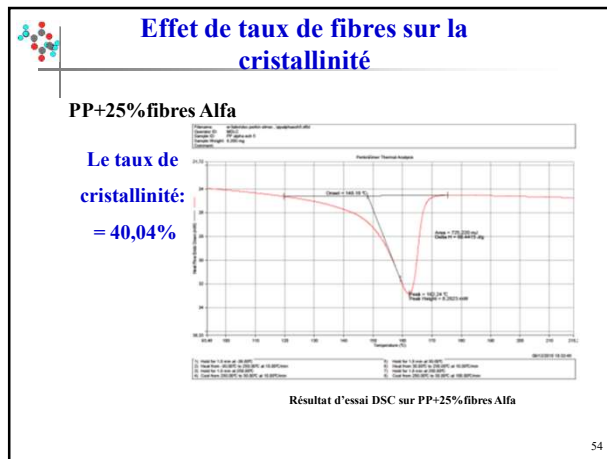
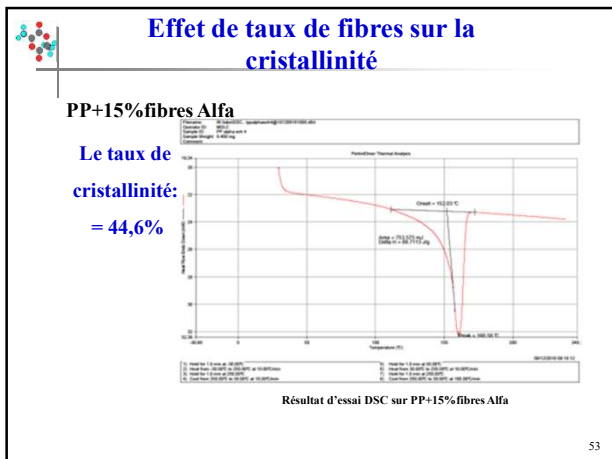
- ☞ Nettoyage et graissage des colonnes
- ☞ Nettoyage des circuits de refroidissement

51/32

Caractérisation du composite de PP/Fibres Alfa

- ❖ Analyses morphologiques
- ❖ Essais de traction
- ❖ Essais de choc Charpy
- ❖ Analyse Différentielle Calorifique

52



Processus global

De la fibre...
A l'éprouvette

57

Un exemple d'application

Pièce injectée par PP + Fibres Alfa

Support mini rupteur

58

Conclusion

De la plante... A la pièce

Préparation
Traitement
Coumpoudage

Mise en œuvre
Caractérisation
Application

59

LA MISE EN ŒUVRE PAR INJECTION DE COMPOSITES POLYPROPYLENE/ FIBRES D'ALFA

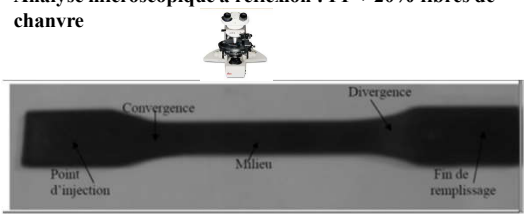
Choix des paramètres de mise en œuvre de l'éprouvette

- Température de moulage: 170°C à 190°C
- Température de moule à: 80°C
- Température de démoulage: 100°C
- Pression injection: 65 Bars
- Pression de maintien: 25 Bars
- Vitesse de rotation de la vis: 20 rev/min
- Vitesse d'injection: 40 mm/s
- Contre de pression: 10 bars
- Matelas: 7.5 mm
- Temps de refroidissement: 40 s
- Temps d'injection: 1.30 s
- Temps de maintien: 5 s
- Temps de cycle: 60 s
- Course de dosage: 45 mm
- Point de commutation: 8 mm

60/32

IV. CARACTERISATION ET VALIDATION DES PARAMETRES DE MOULAGE .

Analyse microscopique à réflexion : PP + 20% fibres de chanvre



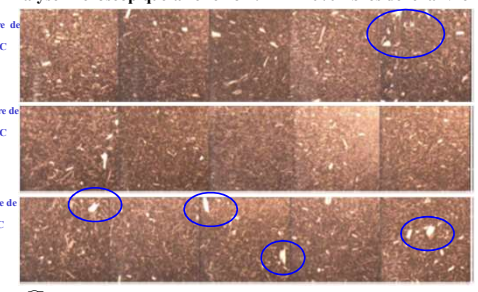
L'observation en microscopie optique à réflexion réalisé au niveau de plusieurs zone de l'éprouvette , afin d'étudier l'effet des paramètres de moulage sur l'orientation , la distribution et la casse des fibres .

61/32

IV. CARACTERISATION ET VALIDATION DES PARAMETRES DE MOULAGE .

Analyse microscopique à réflexion : PP + 20% fibres de chanvre

- Température de 170 à 180°C
- Température de 180 à 200°C
- Température de 200 à 220°C



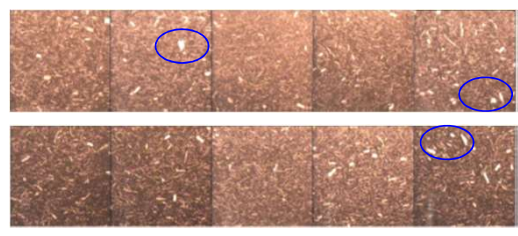
- ☞ Présence de fibres de différentes taille → Agglomération
- ☞ Distribution homogène : aucune effet de la température
- ☞ Pas de casse remarquée

62/32

IV. CARACTERISATION ET VALIDATION DES PARAMETRES DE MOULAGE .

Analyse microscopique à réflexion : PP + 20% fibres de chanvre

- Température de moule à 30°C
- Température de moule à 70°C



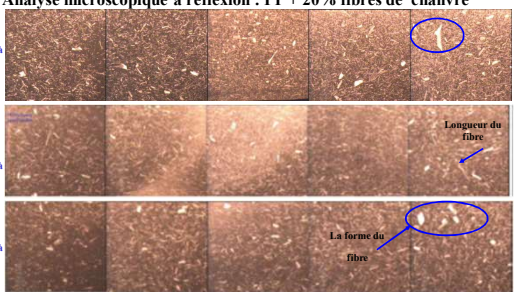
- ☞ Présence de fibres de différentes taille → Agglomération
- ☞ Distribution homogène : aucun effet de la température du moule

63/32

IV. CARACTERISATION ET VALIDATION DES PARAMETRES DE MOULAGE .

Analyse microscopique à réflexion : PP + 20% fibres de chanvre

- Vitesse d'injection à 30 mm/s
- Vitesse d'injection à 50 mm/s
- Vitesse d'injection à 70 mm/s



- ☞ Présence de fibres de différentes taille surtout en fin de remplissage pour la vitesse de 70mm/s
- ☞ Distribution homogène : aucune effet de la vitesse d'injection
- ☞ Orientation aléatoire , et longueur des fibres n'est pas uniforme .

64/32

IV. CARACTERISATION ET VALIDATION DES PARAMETRES DE MOULAGE .

Analyse microscopique à réflexion : PP + 20% fibres de chanvre

Vitesse de rotation de la vis 144 tr/mi

Vitesse de rotation de la vis 240 tr/mi

Vitesse de rotation de la vis 336 tr/mi

- Présence de fibres de différentes tailles
- Distribution homogène
- Orientation aléatoire , et longueur des fibres n'est pas uniforme
- La longueur des fibres chute à des vitesses élevées

65/32

APPLICATION INDUSTRIELLE

Choix des paramètres de mise en œuvre de la pièce industriel

- Vitesse de rotation de la vis: 29 127 rpm
- Vitesse d'injection: 55 mm/s
- Contre de pression: 80 bars
- Temps de refroidissement: 15 s
- Temps d'injection: 1.38 s
- Temps de cycle: 80 s
- Temps de maintien: 5 s
- Point de commutation: 15 mm
- Course de dosage: 151 mm
- Matelas: 12 mm
- Pression de maintien: 1000 Bars
- Pression injection: 1200 Bars
- Température de démoulage: 100°C
- Température de moule à 20°C
- Température de moulage: 230 à 190°C

66/32

APPLICATION INDUSTRIELLE

Contrôle d'aspect

Caractéristiques d'aspects à contrôler	Résultat
Pas d' incomplet en général et principalement au niveau de la fin de remplissage.	Conforme
Absence de bavures dans les passages de gaine rendant impossible le montage	Conforme
Absence de bavures sur les clips rendant impossible ou difficile leur fonctionnalité	Conforme
Absence de bavures dans les zones du passage du câble	Conforme
Absence de porosité	Conforme
Présence des 14 trous de passage des colliers débouchants « sans bavures »	Conforme
La couleur comparée à l'échantillon en PP 20% fibres de verre	Couleur noir moins brillant

67/32

APPLICATION INDUSTRIELLE

Le choix de la pièce d'étude :

- Boîte de dérivation de câblage du véhicule qui est en composite PP renforcés fibres de verre à un taux de 20 %
- Maîtriser la mise en œuvre par injection d'une pièce de géométrie complexe .
- Valider l'aspect et le dimensionnelle de la pièce
- Valider la stabilité du processus d'injection

68/32

IV. CARACTERISATION ET VALIDATION DES PARAMETRES DE MOULAGE .

Synthèse des paramètres de moulage adéquat pour le PP + 20% fibres de chanvre

Fiche de moulage de composites en PP renforcés par des fibres végétales	
Températures en °C	
Température de moulage	170 à 190
Température de moule	30
Température de démoulage	60
Temps en s	
Temps de refroidissement	40
Temps de maintien	5
Temps de dosage	1,38
Vitesses	
Vitesse de rotation vis tr/min	30
Vitesse d'injection mm/s	40
Courses en mm	
Course de dosage	42
Point de commutation	8
Matelas en cm ³	7,5
Pression en bars	
Pression d'injection	65
Pression de maintien	85

69/32

V. RECYCLAGE DE COMPOSITES EN POLYPROPYLENE RENFORCÉ DE FIBRES DE CHANVRES

1 Conditions de recyclage

Des éprouvettes injectées dans les bonnes conditions

Broyeur Moditec 180/180 à vitesse lente

Des granulés du PP + 20% chanvre recyclés

Étuvage 2 heures à 105°C

Presse d'injection utilisée

70/32

V. RECYCLAGE DE COMPOSITES EN POLYPROPYLENE RENFORCÉS FIBRES DE CHANVRES

Comparaison des modules de Young de composites TP recyclées : PP + 20% chanvres et PP+20% verres

PP + 20% chanvres

Composite TP à fibres végétale	Module de young (MPa)
PP 20 % chanvre	~1650
PP 20% chanvre recyclé 4X	~1770 (+8%)

PP + 20% verres

Composite TP à fibres végétale	Module de young (MPa)
PP 20% fibres de verres	~3500
PP - verre 20%	~5000 (+42%)

71/32

Merci de Votre Attention

72