



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** »?

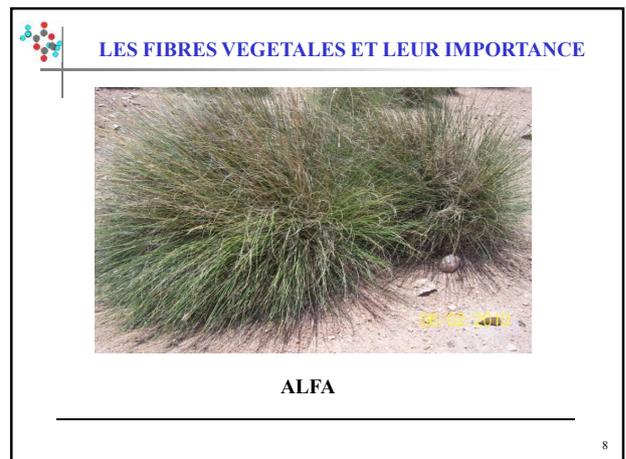
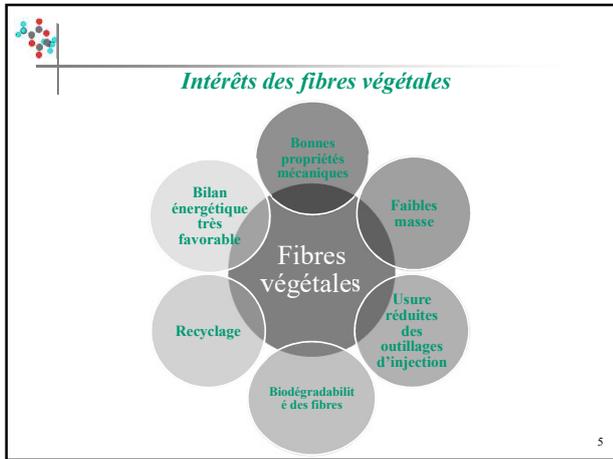
3/32



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 liquide en perspectives des matériaux de recouvrement

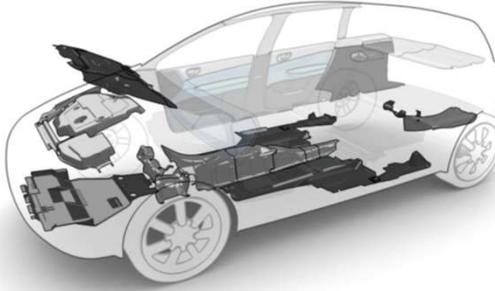
Parmi les domaines d'applications.....

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

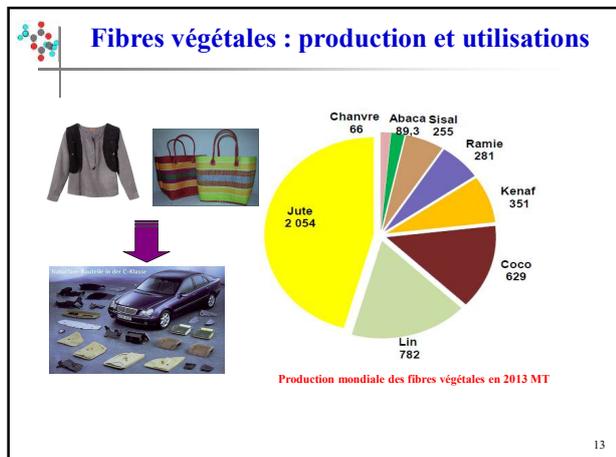
Exemples de pièces à bases de composites à fibres végétales.



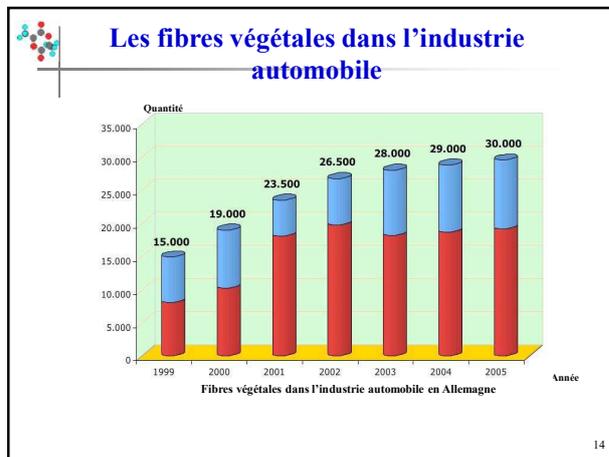
Les constructeurs automobiles utilisent des pièces à base de composites à fibres végétales.



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

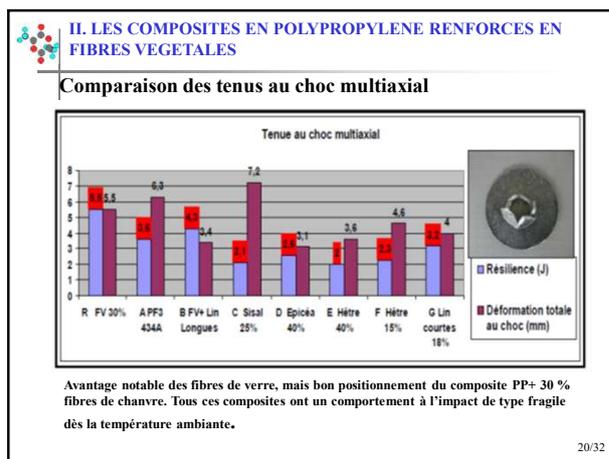
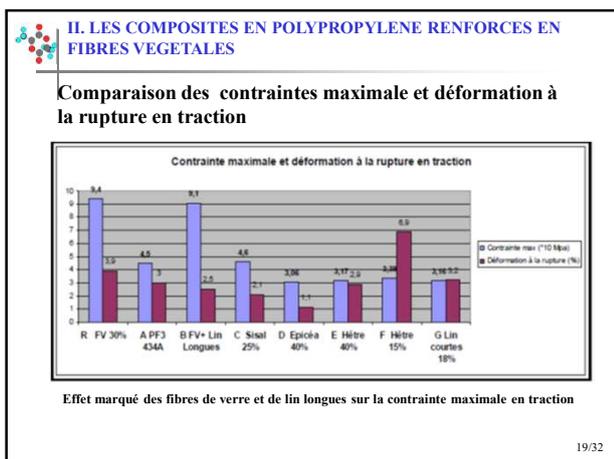
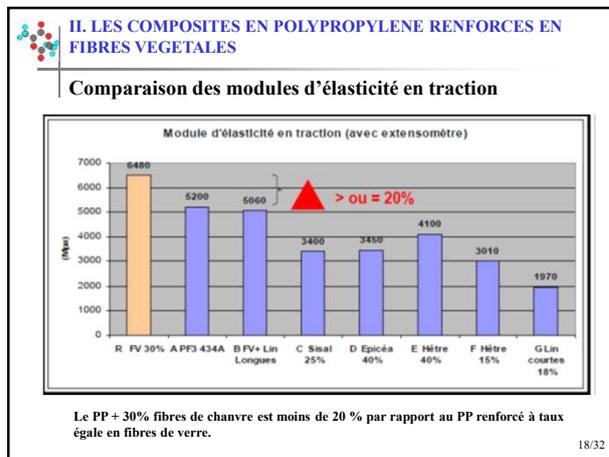
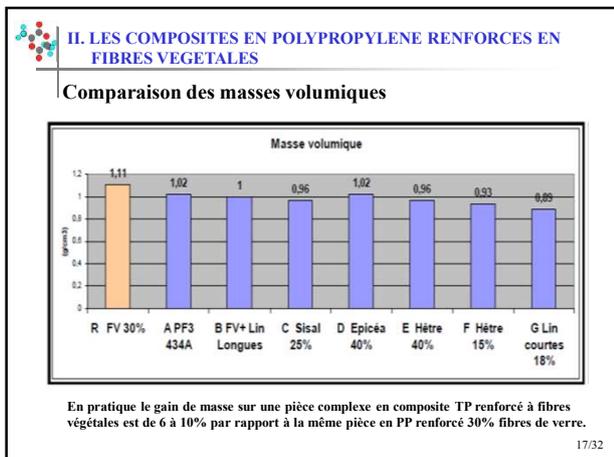
II. LES COMPOSITES EN POLYPROPYLENE RENFORCES EN FIBRES VEGETALES

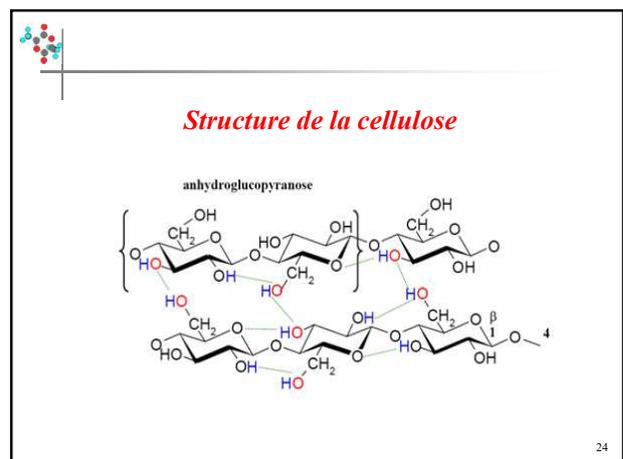
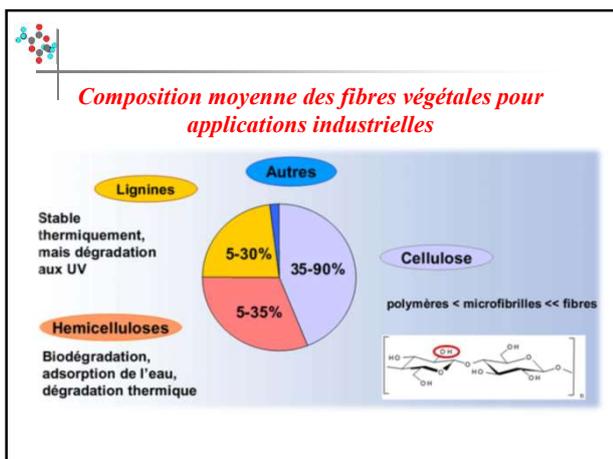
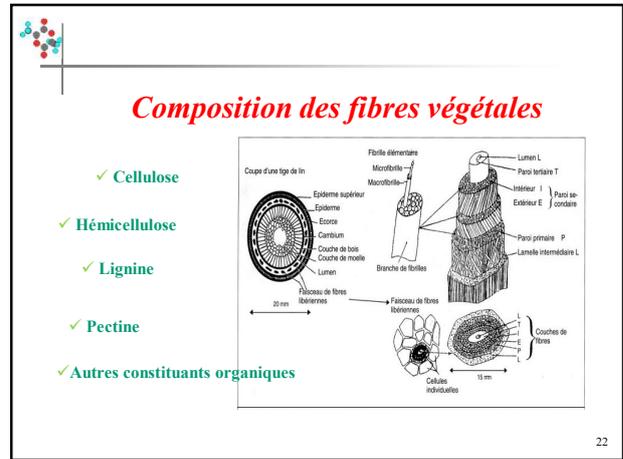
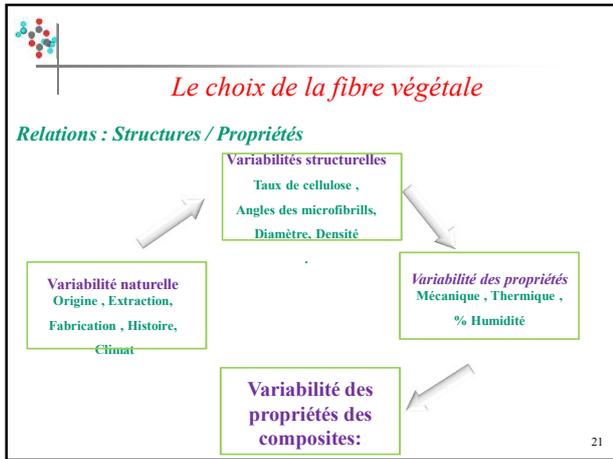
Comparaison des propriétés des composites PP à fibre de verre et à fibres végétale :

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% |

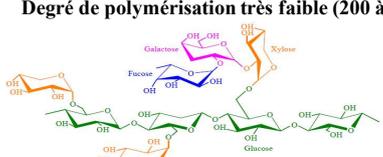
16/32





L'Hémicellulose

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

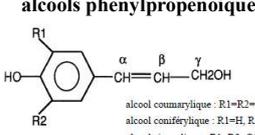


Structure d'un type de xyloglucanes

25

La lignine

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

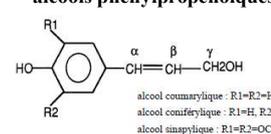


Formule chimique de l'alcool coumarylique, coniferylique et sinapylique.

26

La lignine

- La matrice des fibres cellulosiques
- 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 | 191-308 | 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

Etapes 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

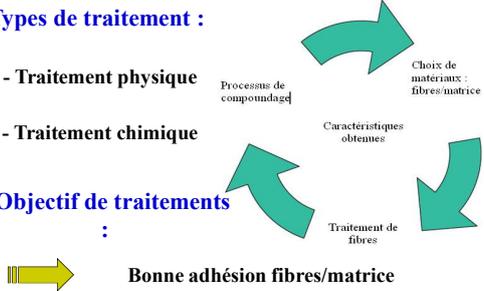
- Types de traitement :
 - Traitement physique
 - Traitement chimique
- Objectif de traitements :
 - Bonne adhésion fibres/matrice

Choix de matériaux : fibres/matrice

Processus de compoundage

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

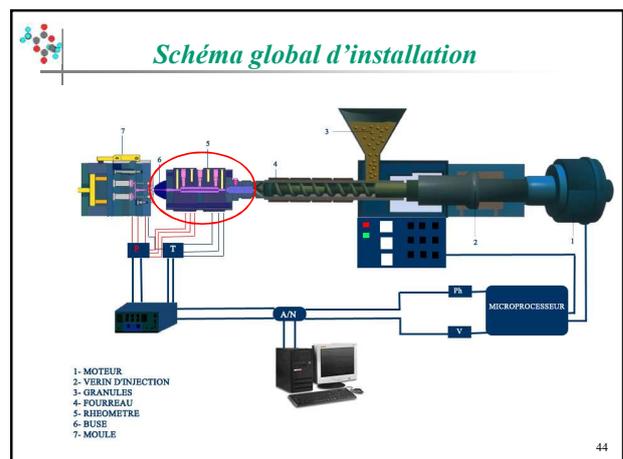
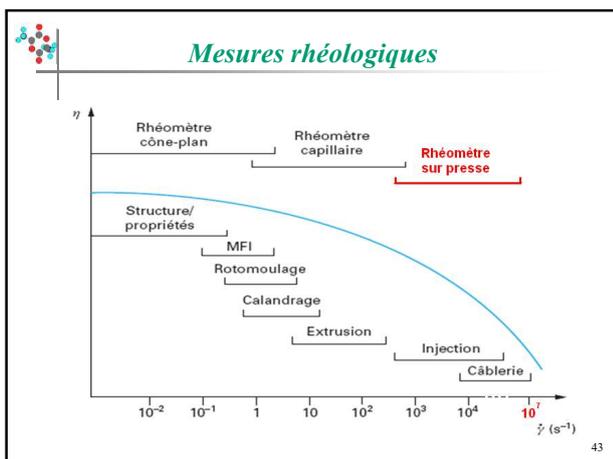
Matériel utilisé: Extrudeuse

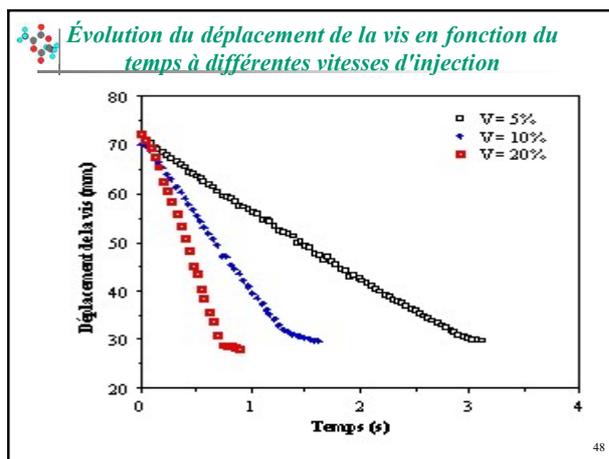
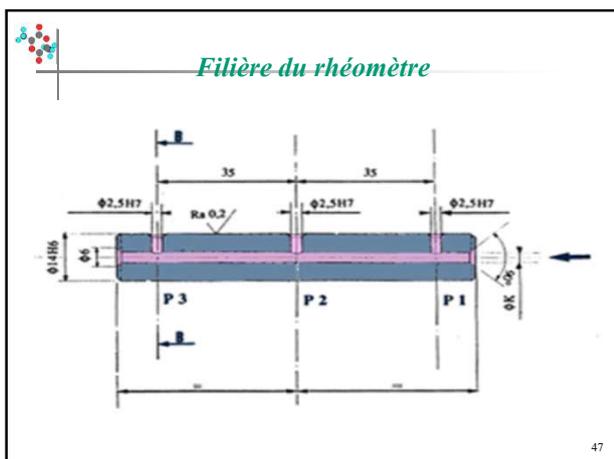
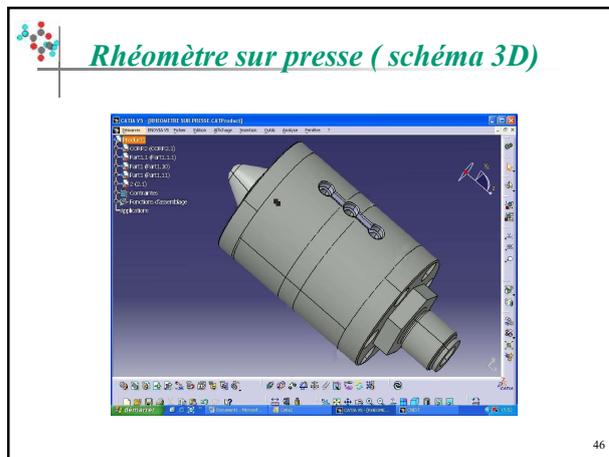
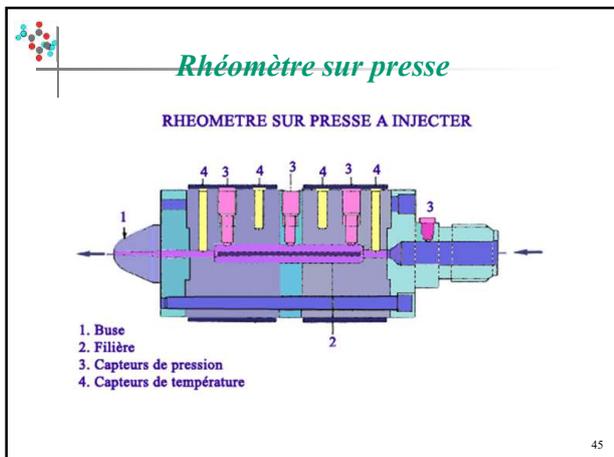


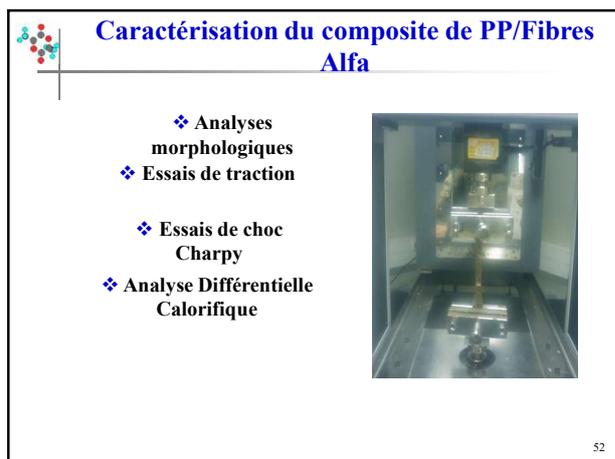
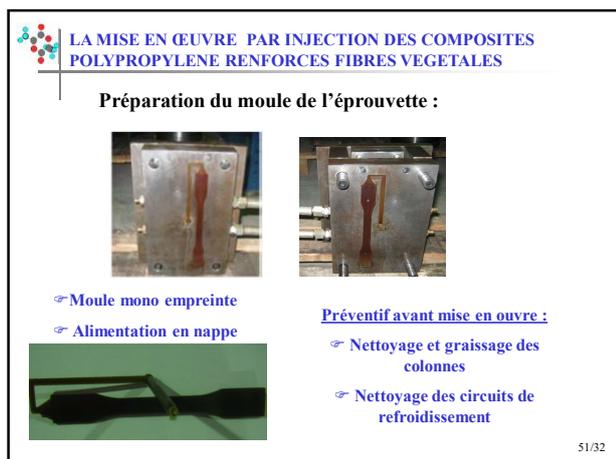
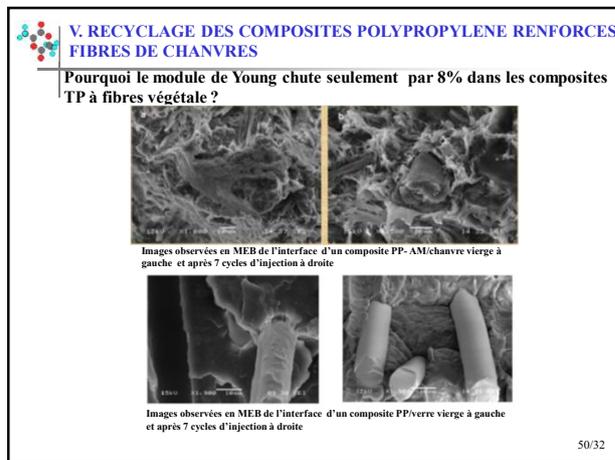
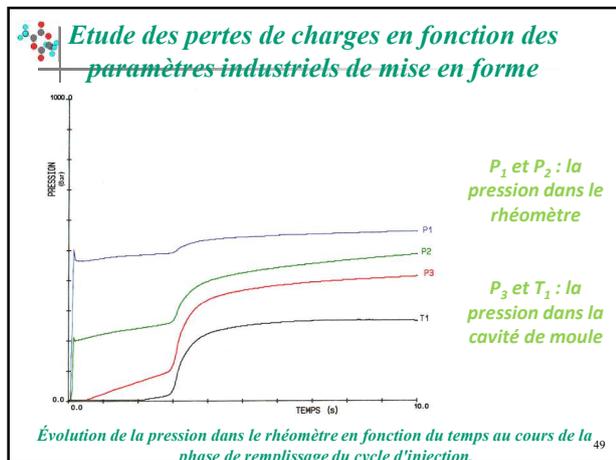

Monovis de diamètre de vis 30.

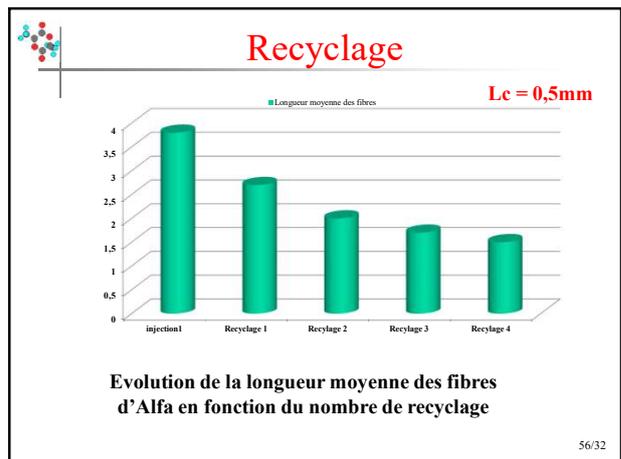
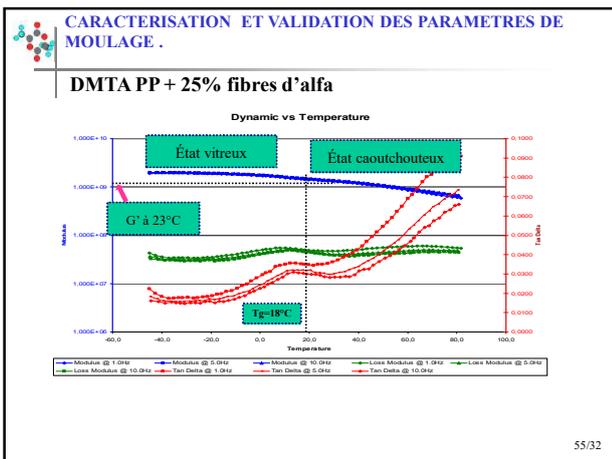
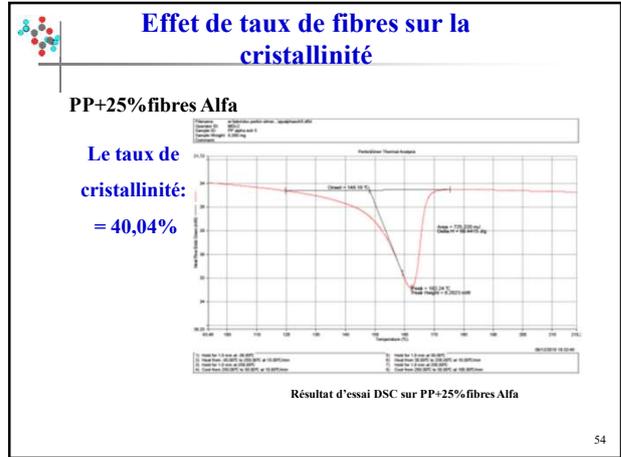
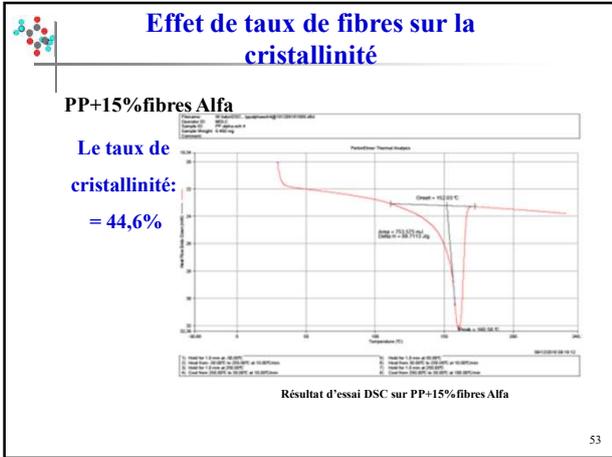
- Maîtrise de la température
- Distribution des fibres dans la matrice à l'entrée de la vis

42









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

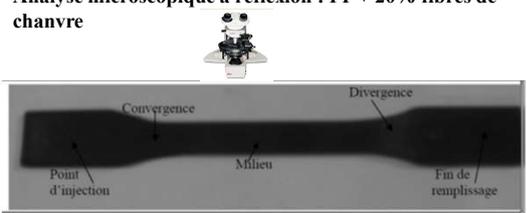
Choix des paramètres de mise en œuvre de l'éprouvette

- 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



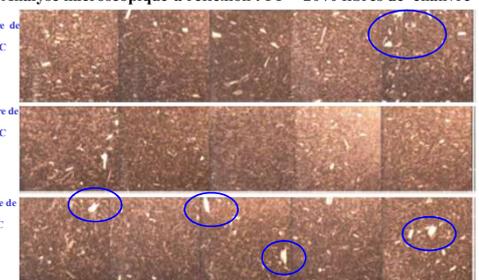
L'observation en microscopie optique à réflexion réalisé au niveau de plusieurs zone de l'éprouvette , afin d'étudier l'effet des paramètres de moulage sur l'orientation , la distribution et la casse des fibres .

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



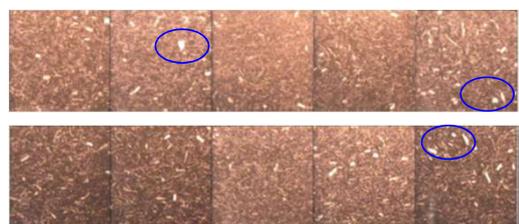
- ☞ Présence de fibres de différentes taille → Agglomération
- ☞ Distribution homogène : aucune effet de la température
- ☞ Pas de casse remarquée

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



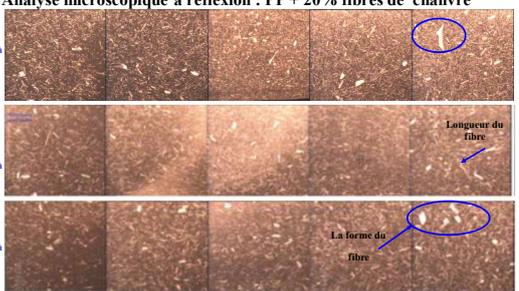
- ☞ Présence de fibres de différentes taille → Agglomération
- ☞ Distribution homogène : aucun effet de la température du moule

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 granules 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

Comparaison des modules de young du PP + 20% fibres de chanvre

Modulo de young (MPa)

PP 20 % chanvre PP 20% chanvre recyclé 4X

Composite TP à fibres végétale

= 8%

PP + 20% verres

Comparaison des modules de young du PP+ 20% fibres de verre

Modulo de young (MPa)

PP 20% fibres de verres PP - verre 20%

Composite TP à fibres végétale

= 42%

71/32

Merci de Votre
Attention

72