



Matériaux composites d'origine naturelle

G. Montay

X126

Plan du cours

1. Introduction
2. Applications – Mise en contexte
3. Fibres naturelles : Nature, type et origine
4. Intégration dans un polymère
5. Influence du vieillissement
6. Conclusions



2. Applications

Déjà anciennes



Figure 1.13 Round hay baler. The panel containing name John Deere was made from soy based resin^[72].



Figure 1.10 Henry Ford, in 1941, using axe on Soy based car to show its strength.

<http://www.youtube.com/watch?v=ryO2JLzFPTY>

Et plus moderne

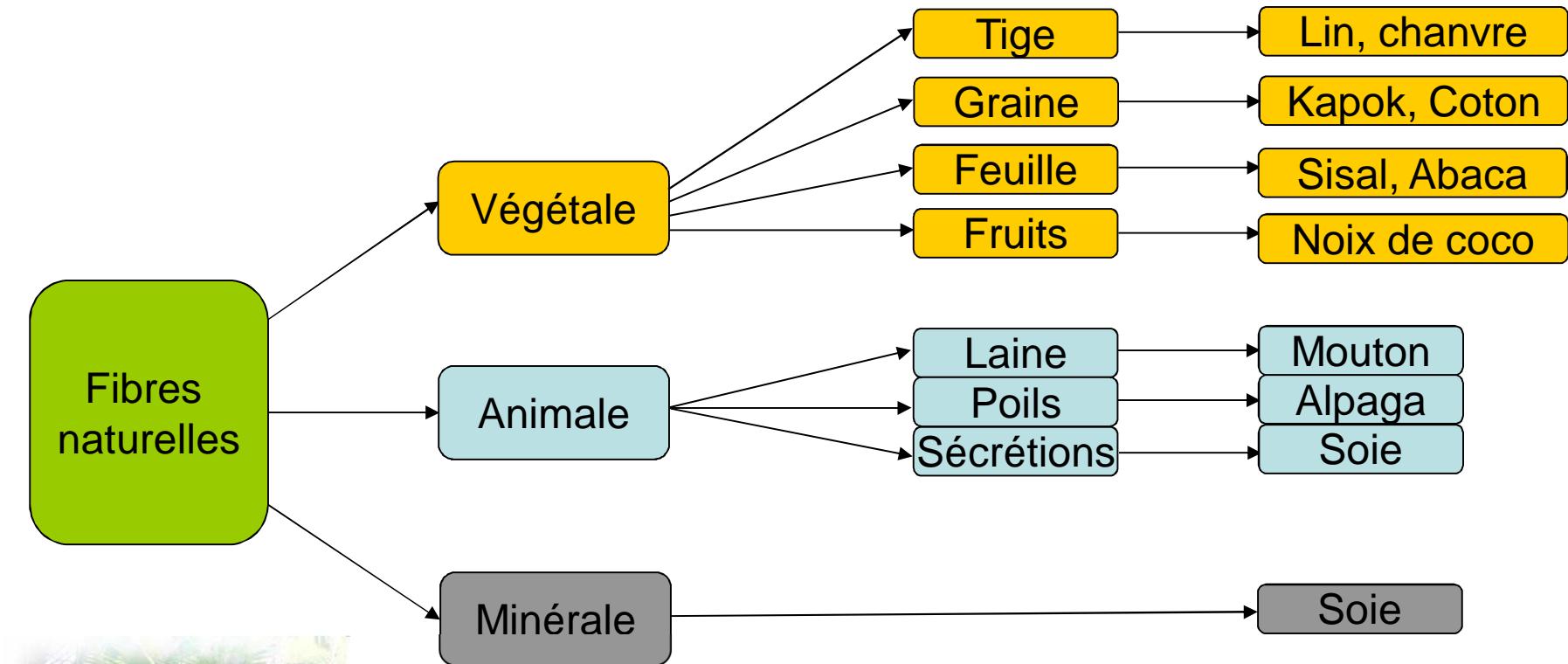


<http://www.youtube.com/watch?v=aIT6sOnAje8&feature=related>

2. Applications



3. Fibres naturelles



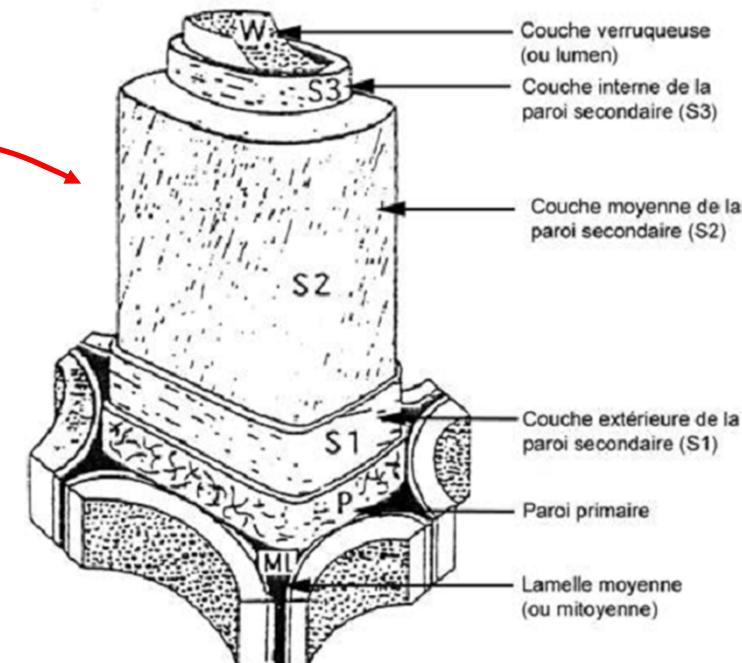
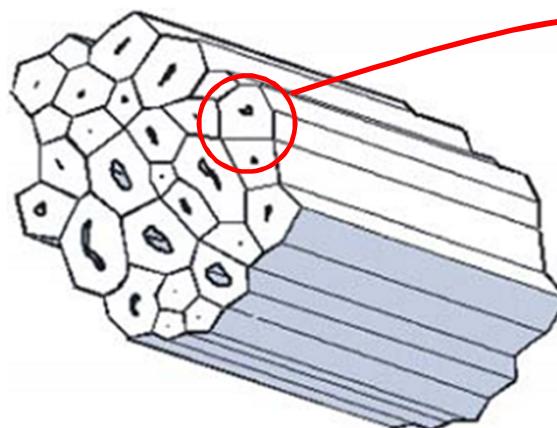
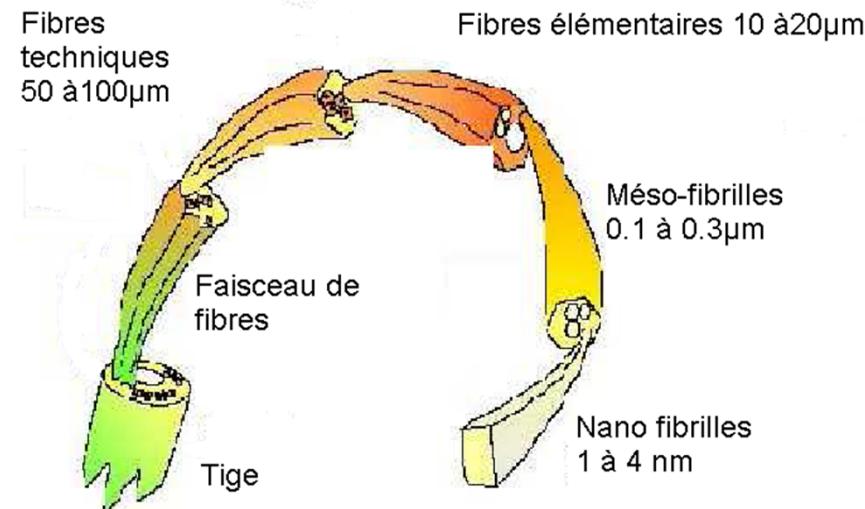
3. Fibres naturelles



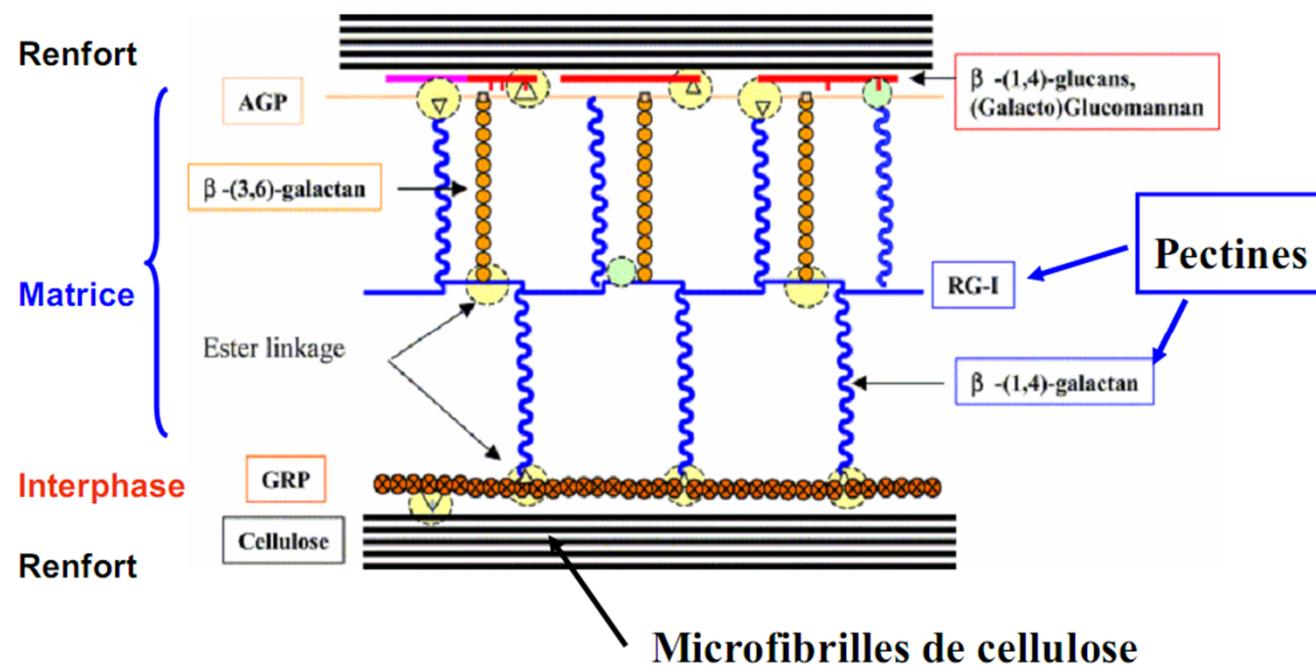
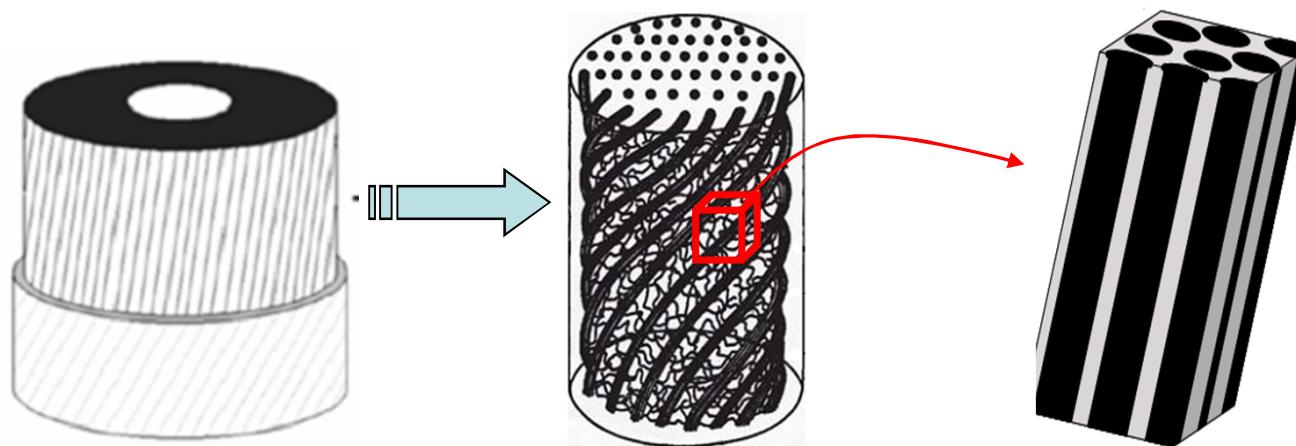
3. Fibres naturelles

Composée d'un empilement de plis composites constituée
d'une paroi primaire
d'une paroi secondaire

La couche S2 est la plus épaisse et conditionne le comportement de l'ensemble de la fibre.



3. Fibres naturelles



3. Fibres naturelles

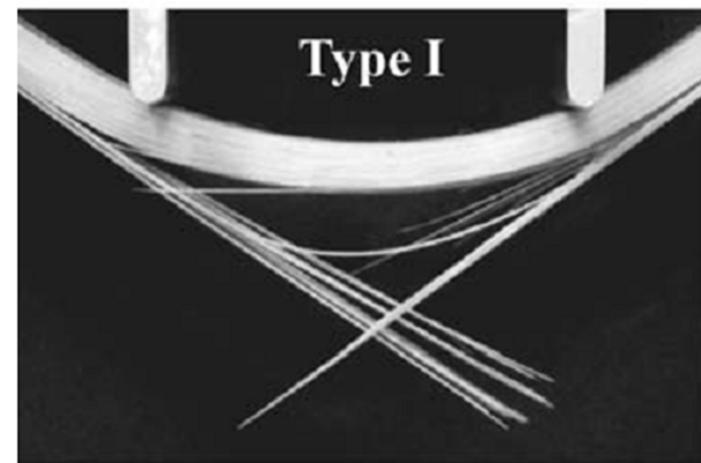
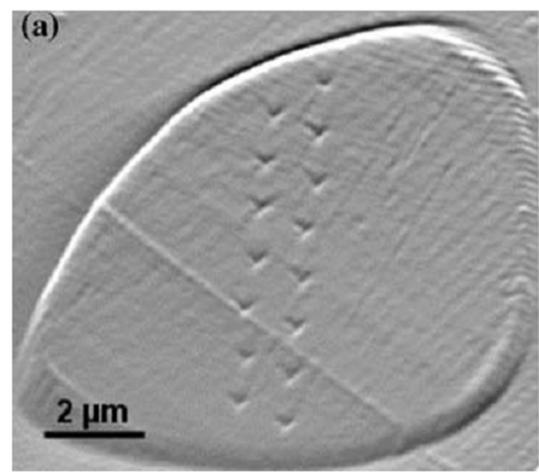
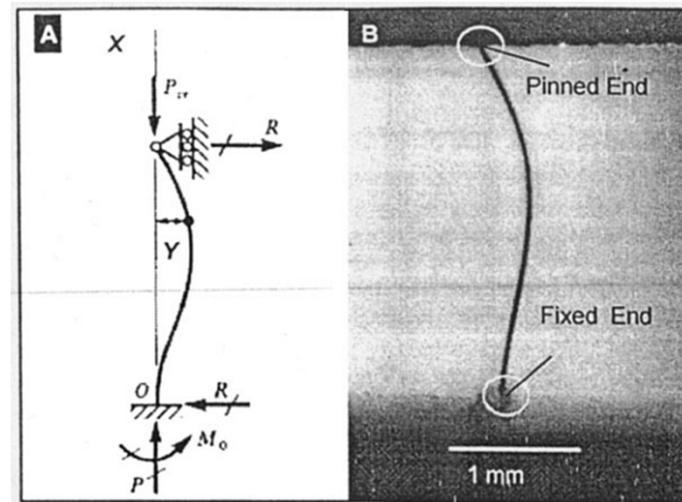
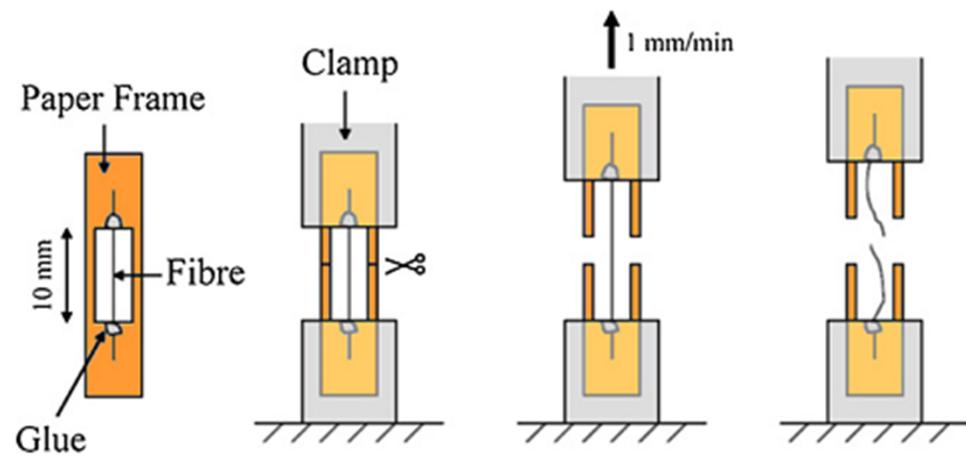
Mais surtout

- Bonne résistance
- Bonne rigidité
- Bon absorbeur de vibration
- Bon isolant phonique
- Bon isolant thermique
- Faible densité

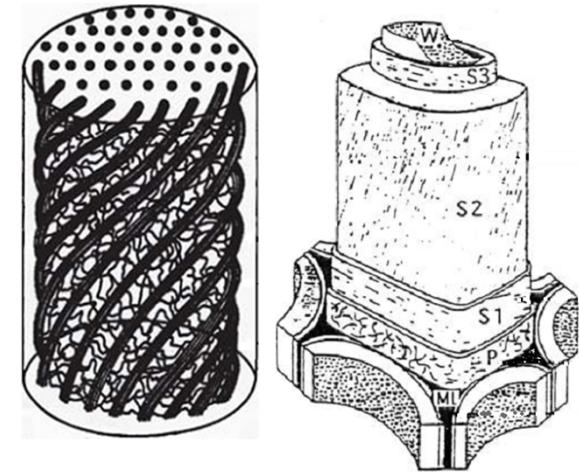
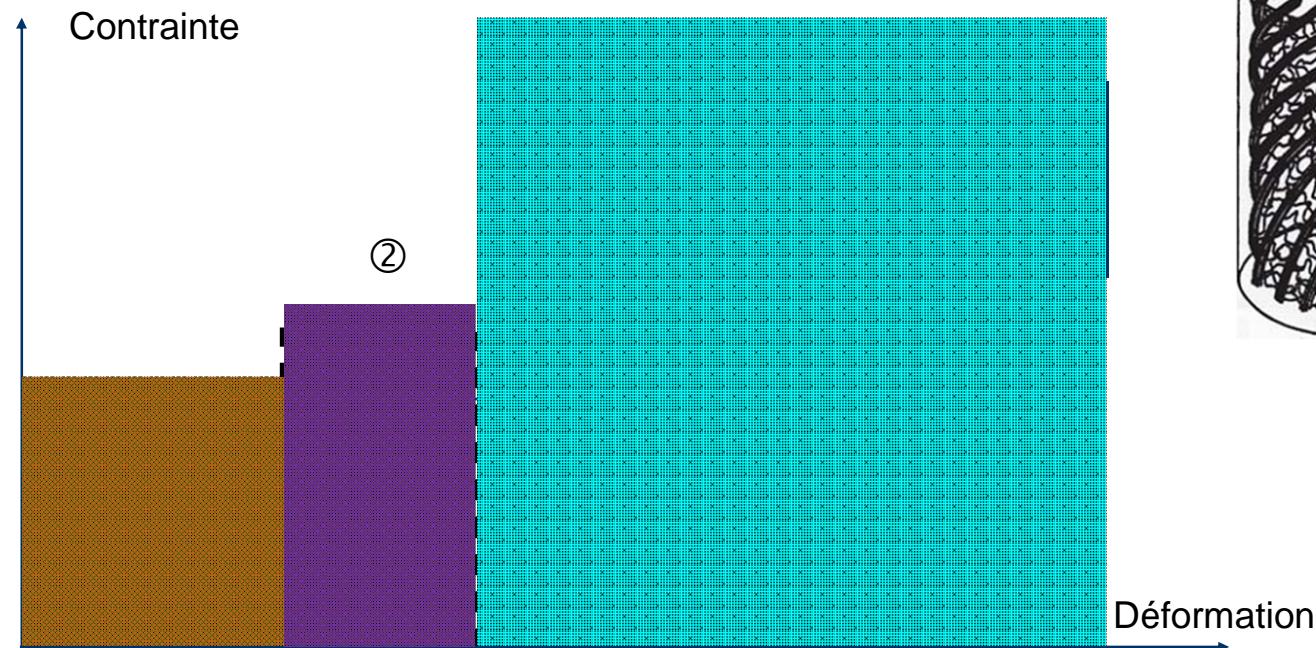


Tout ceci peut se traduire par des caractéristiques ou des propriétés **dimensionnables**.

3. Fibres naturelles



3. Fibres naturelles

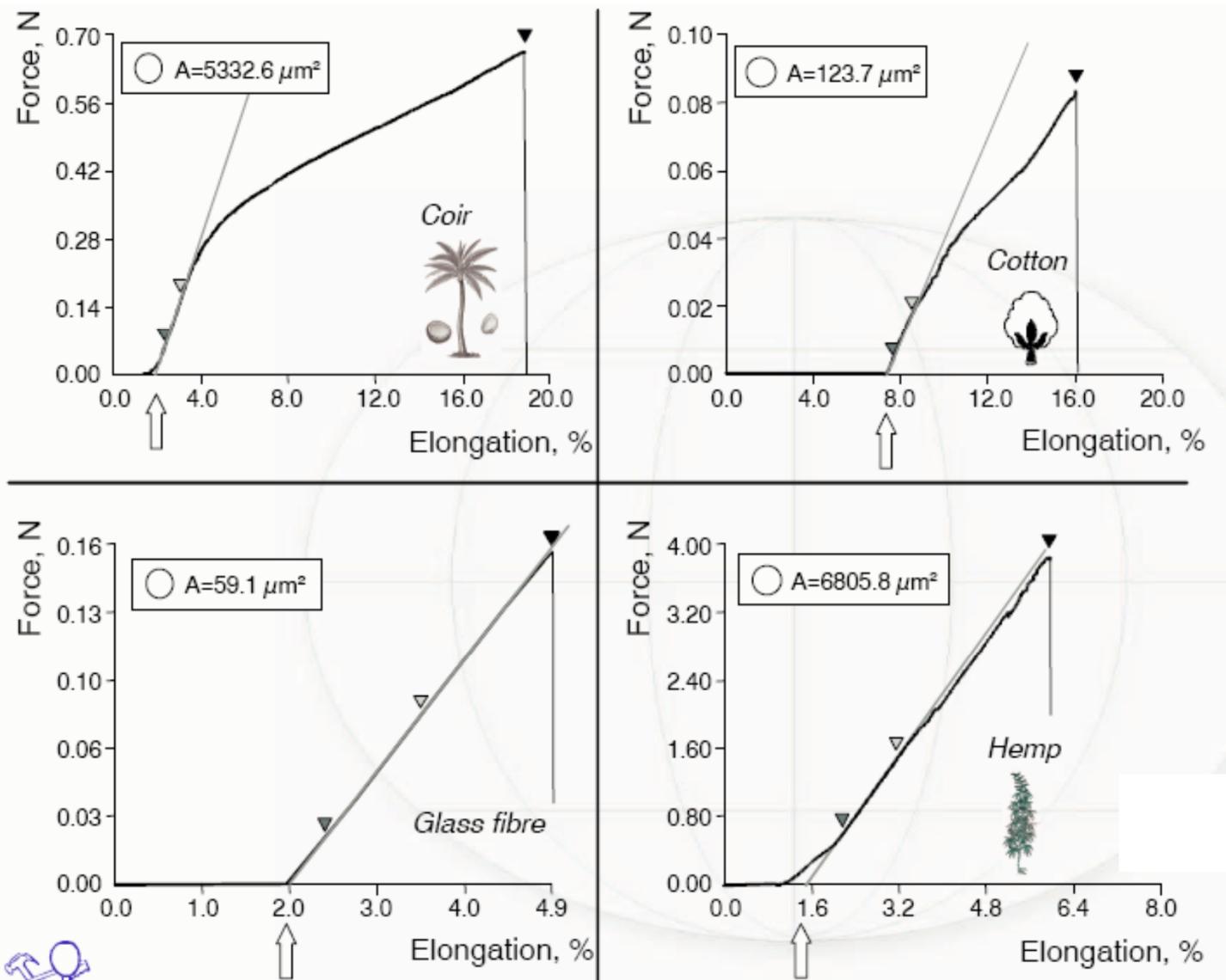


- 1: Mise en tension des fibres.
2. Endommagement
3. Tension des microfibrilles.

3. Fibres naturelles

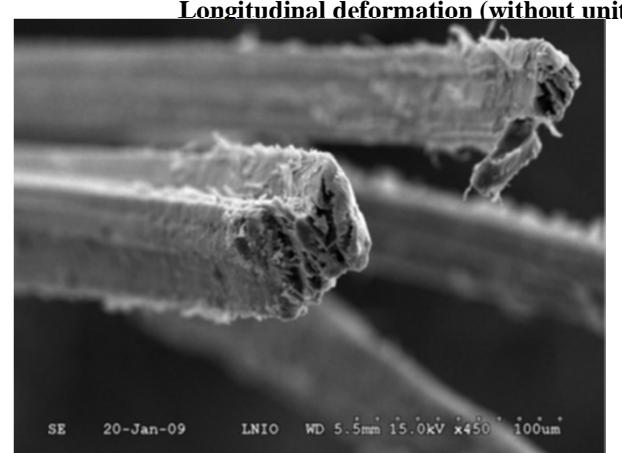
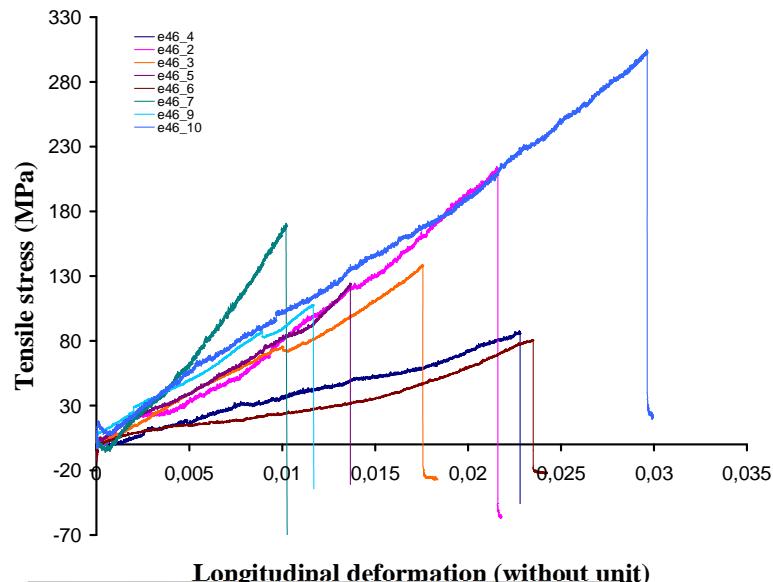
	% cellulose	Angle microfibrillaire	Diamètre (µm)	Longueur (mm)	E(Gpa)	A(%)	Contrainte	densité
Lin	64-71	10	6-76	4-77	60	1-4	600-2000	1,5
Ramie	83	7,5	16-126	40-250	60-130	3	700	1,5
Chanvre	78	6,2	10-51	5-55	35	1,6	389	1,06
Jute	61-71	8	25-200		27	1,65	393-774	1,44
Sisal	67-78	20	7-47	0,8-8	9-21	3-8	350-701	1,45
Noix de coco	43	45	12-24	0,3-1	4-6	15-41	131-176	1,15

3. Fibres naturelles



3. Fibres naturelles

Sur plusieurs fibres unitaires issues de la même plante



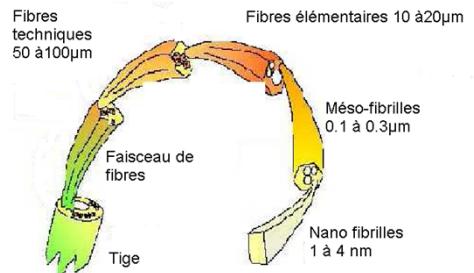
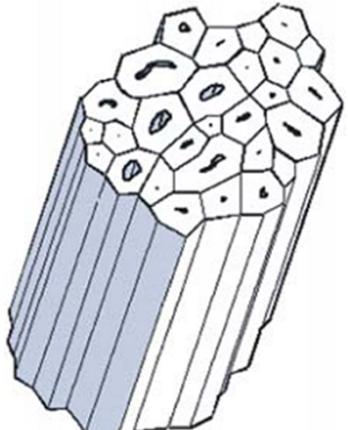
Pourquoi une dispersion des propriétés ?

- La composition chimique
- Le degré de cristallisation de la cellulose
- La présence de défauts
- La position sur la tige
- La croissance de la plante

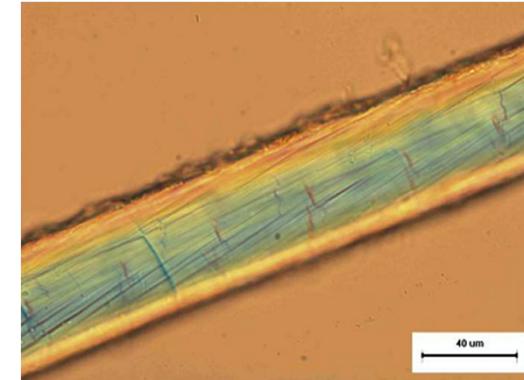


3. Fibres naturelles

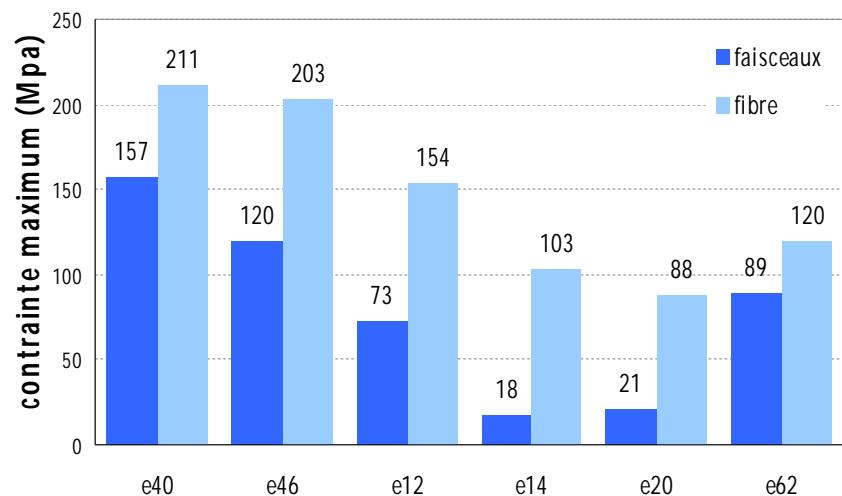
Faisceau



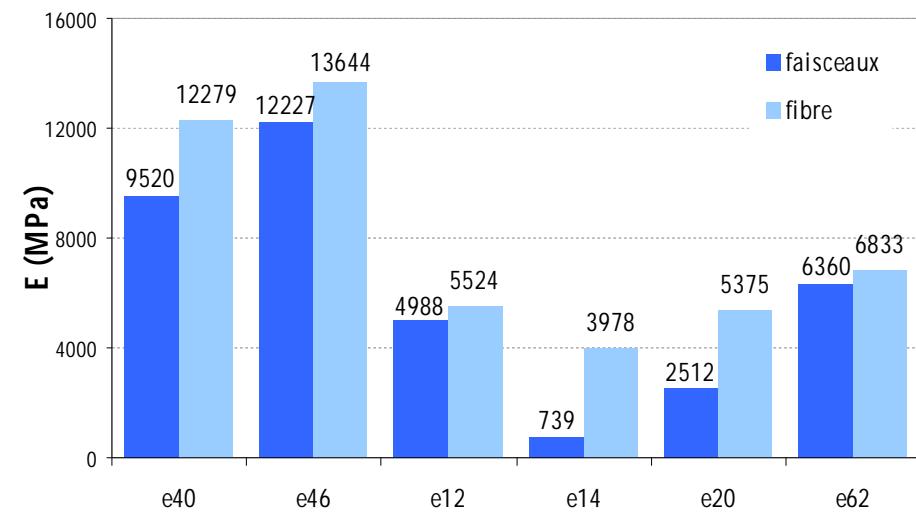
Fibre



Contrainte maximum en fonction du type de chanvre



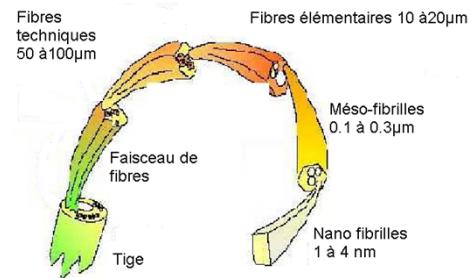
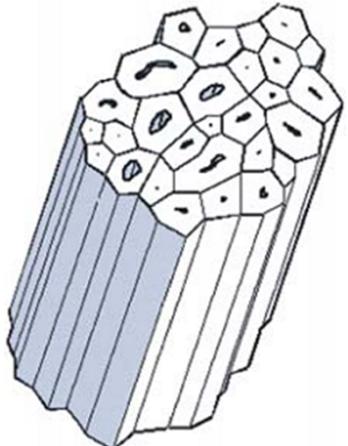
Module d'Young en fonction du type de chanvre



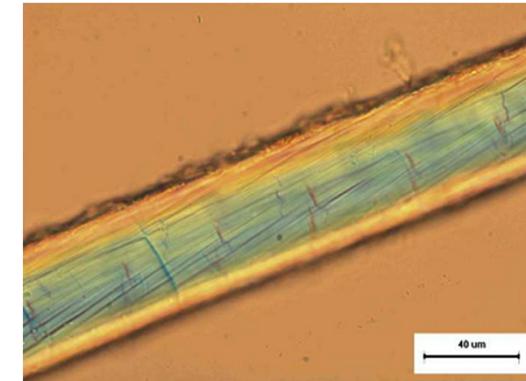
Pourquoi de telles différences ?

3. Fibres naturelles

Faisceau



Fibre

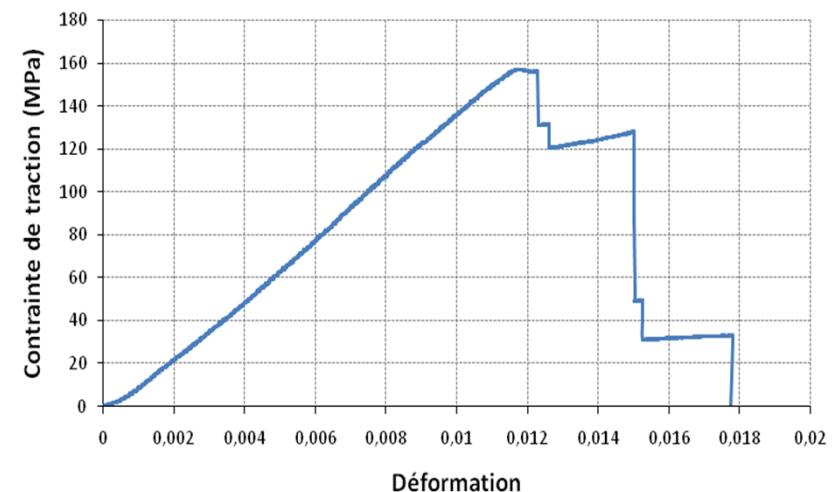


Parce que:

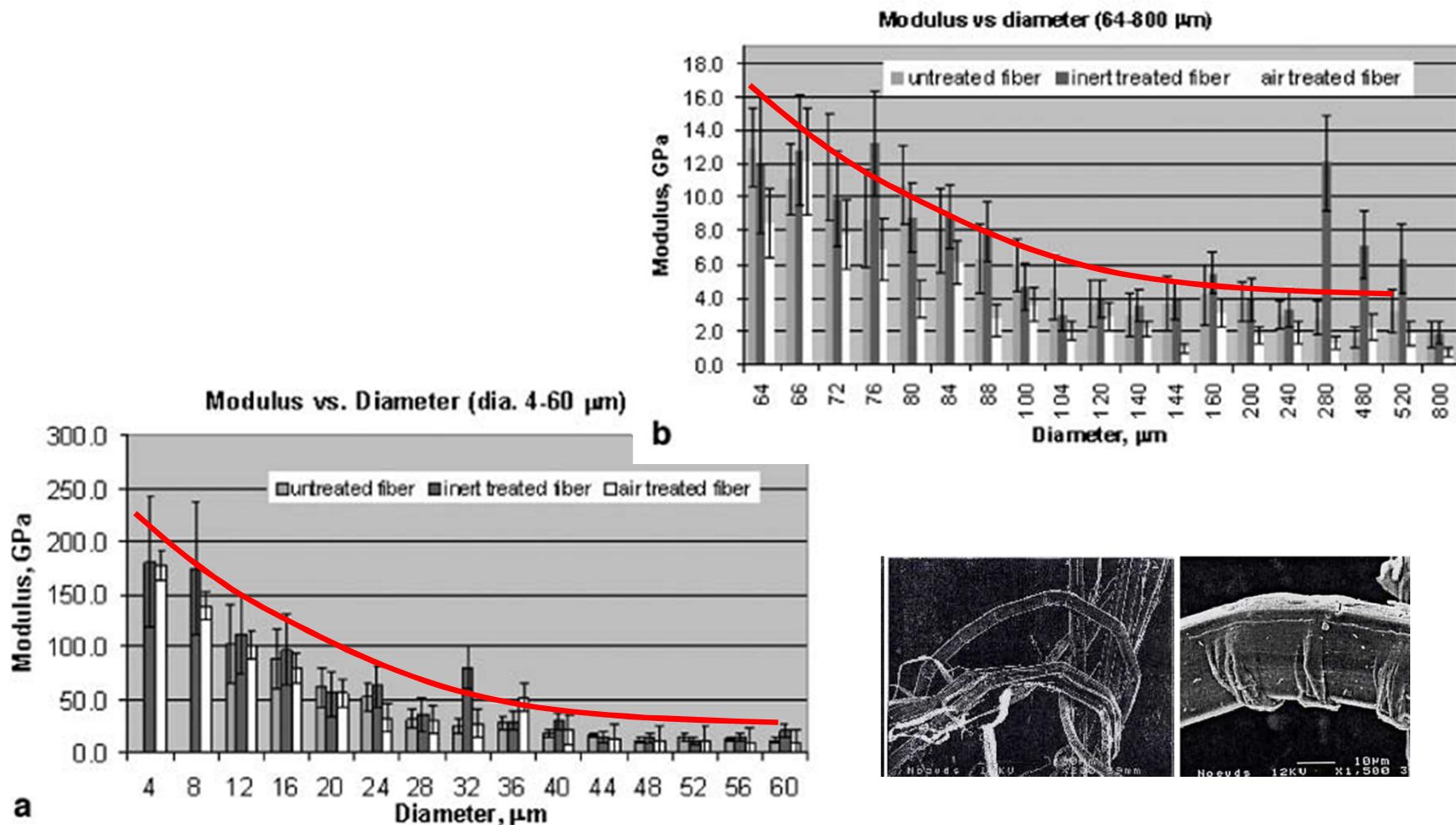
Il y a des interactions entre les fibres elles mêmes (cisaillement-frottement)

Toutes les fibres ne peuvent sollicitées

Le comportement est bien particulier



3. Fibres naturelles

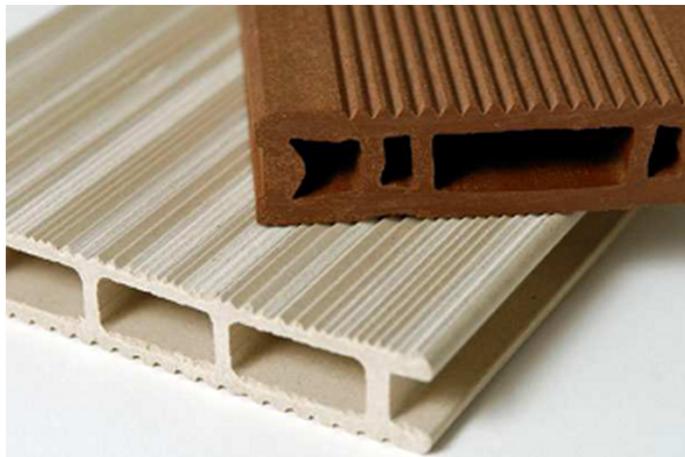


Mat Res Innovat (2003) 7:231–238

Bhuwan M. Prasad · Mohini M. Sain

Mechanical properties of thermally treated hemp fibers in inert atmosphere for potential composite reinforcement

4. Intégration dans un polymère

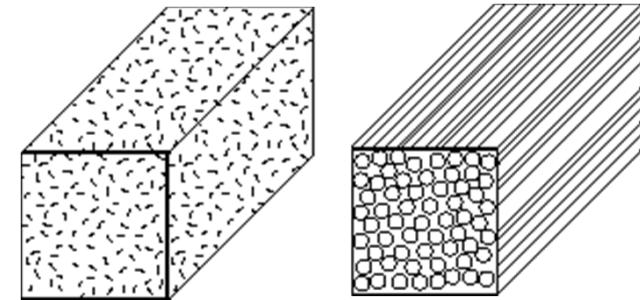


Finalement que fabrique-t-on?

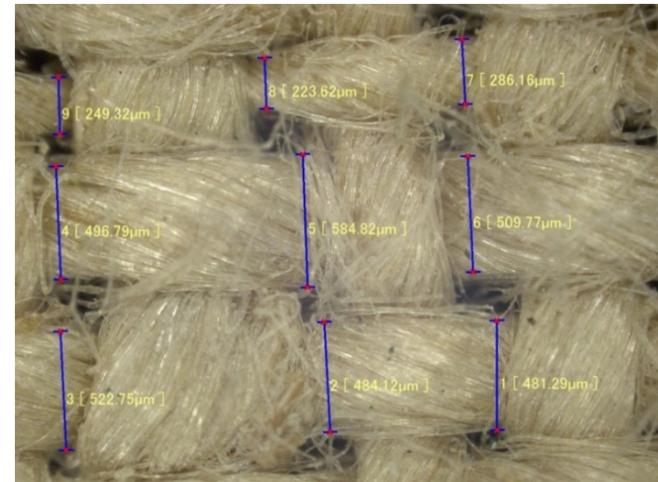
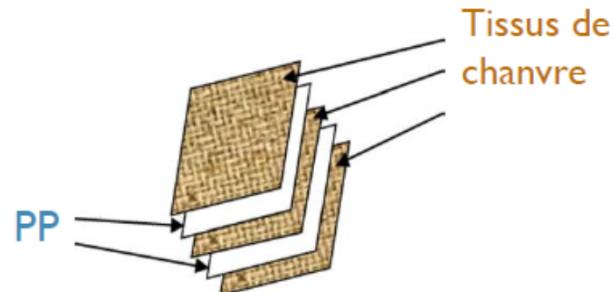
4. Intégration dans un polymère

Que fabrique-t-on???

PVC	PP	ABS	PE	PS	Bio polymère PLA
Chanvre	Sisal	Lin	Kenaf	Miscanthus	Bambou



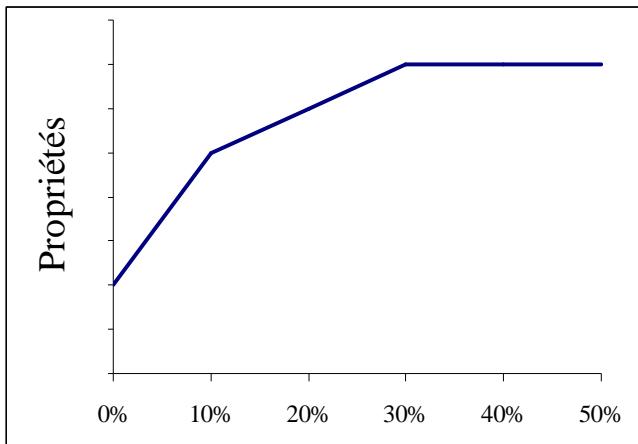
10, 20, 30 % en masse de fibres



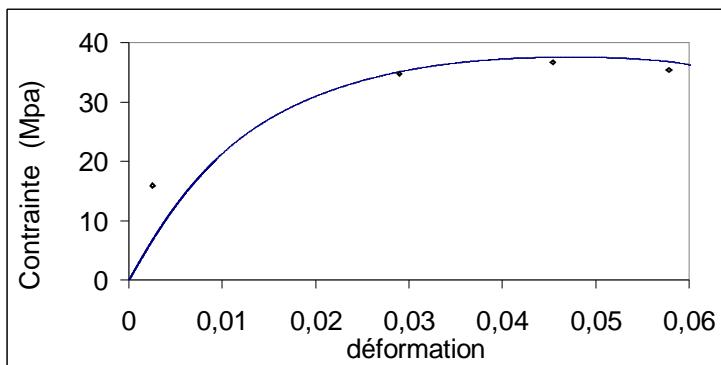
Les propriétés sont données par **les matériaux** et par **le procédé**

Injection ou Themoformage

4. Intégration dans un polymère

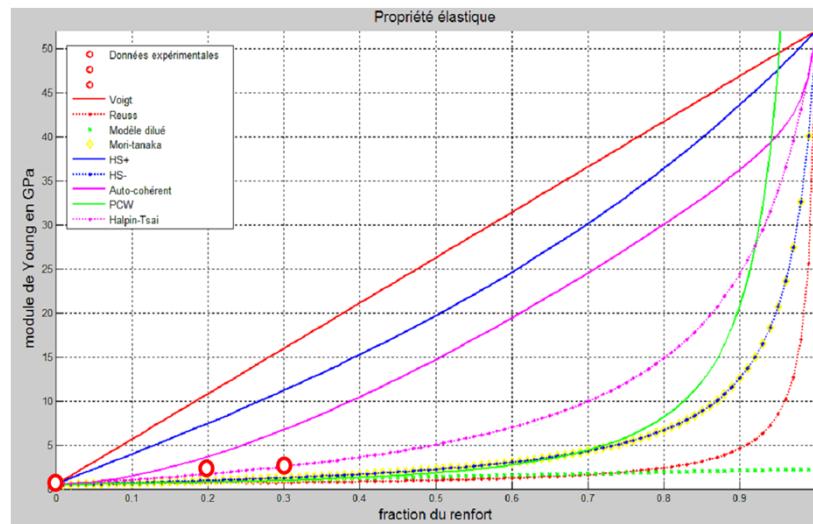


Globalement les propriétés augmentent avec le taux de renfort



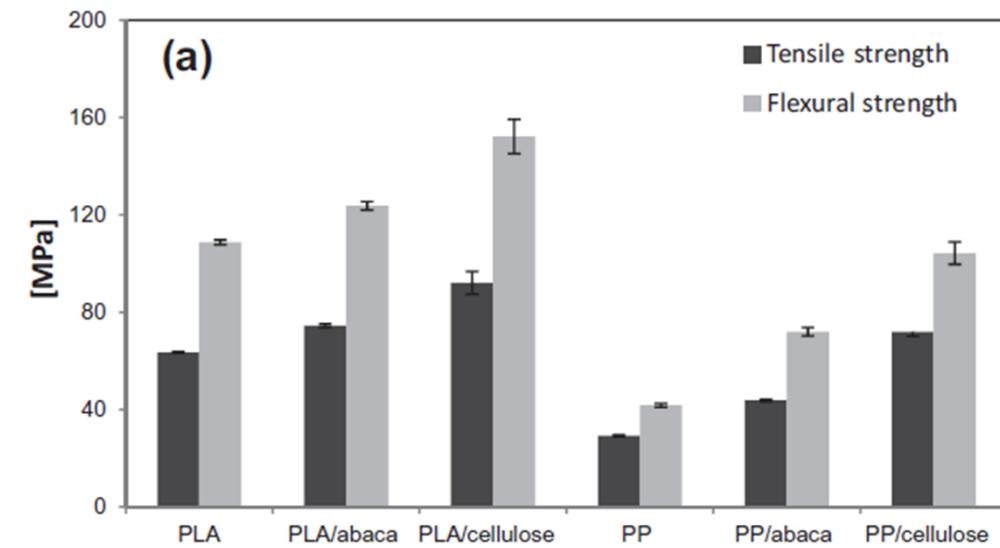
La longueur des fibres augmente aussi les propriétés

Le polymère et les fibres jouent leur rôle

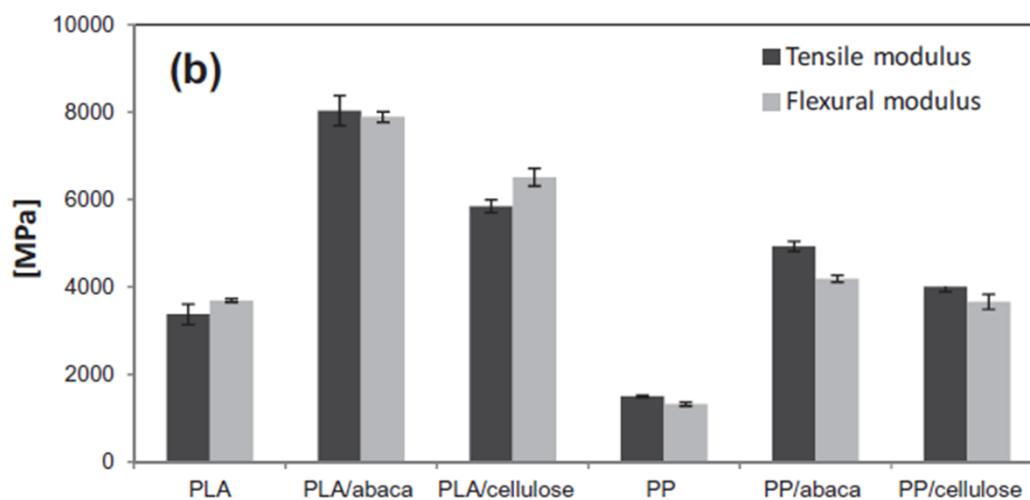


On peut s'inspirer des modèles d'homogénéisation

4. Intégration dans un polymère

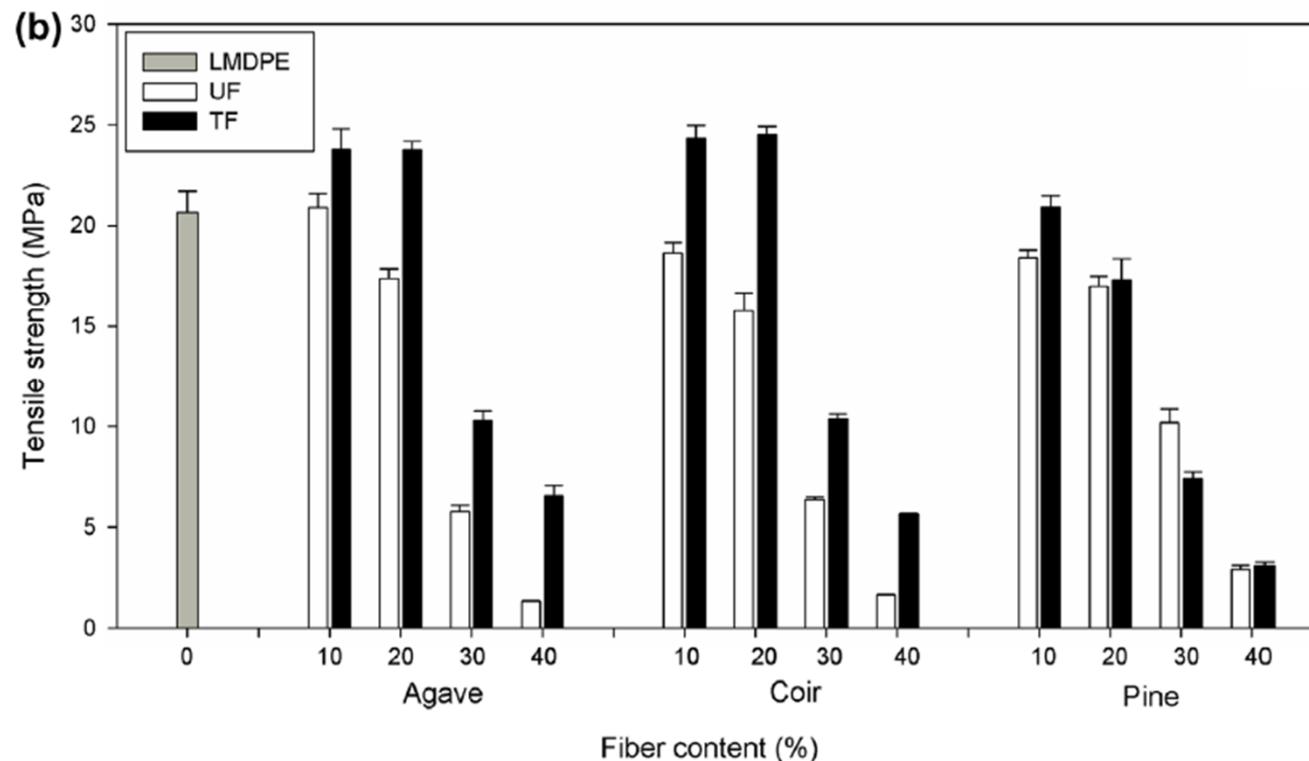


Le type de polymère et le type de fibres influencent le comportement.



30% en masse

4. Intégration dans un polymère



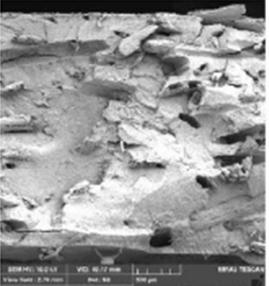
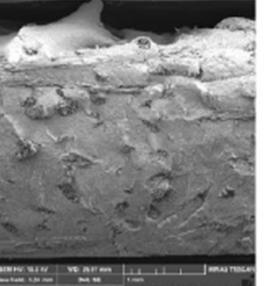
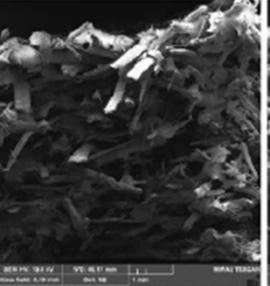
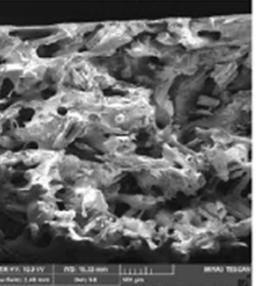
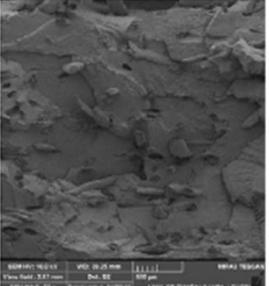
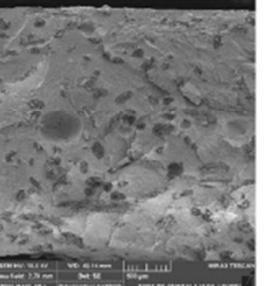
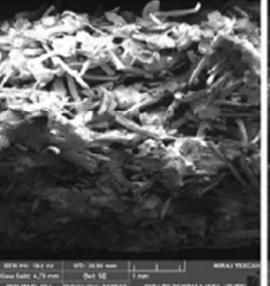
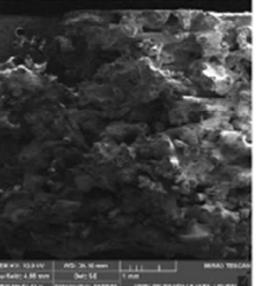
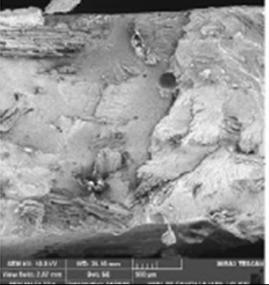
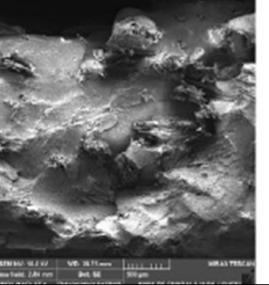
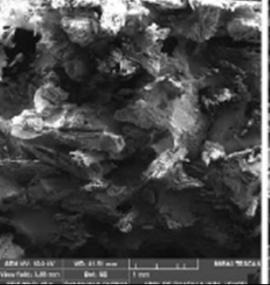
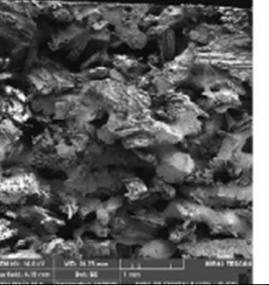
LMDPE: Linear Medium Polyethylene

UF: Untreated Fibers

TF: Treated Fibers (MAPP Maleic Anhydride-Grafted Polypropylene)

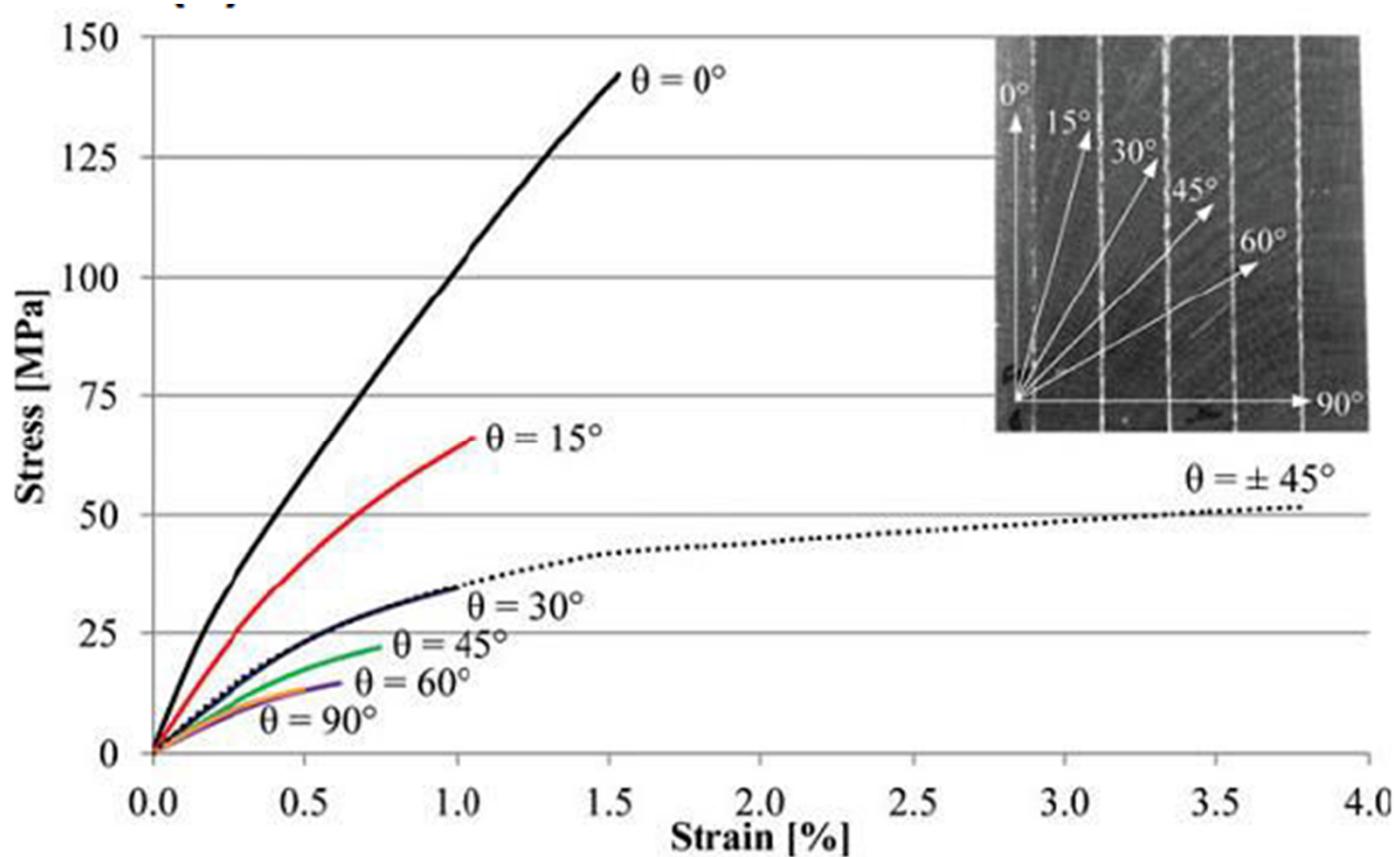
Fiber	Extractives	Lignin	Holocellulose	Fiber length (mm)	Fiber diameter (mm)	L/D
		(% wt.)				
Agave	6–7	21–24	68–75	2.43	0.23	10.4
Coir	4–6	37–41	58–61	1.58	0.19	8.5
Pine	18–20	27–30	52–60	0.67	0.34	2.0

4. Intégration dans un polymère

Fiber content	20%	40%
A G A V E	 	 
C O I R	 	 
P I N E	 	 
	UF	TF
	UF	TF

4. Intégration dans un polymère

Influence de l'orientation des mèches de fibres dans un unidirectionnel Lin/polyester



5. Influence du vieillissement

Le vieillissement est :

une évolution lente et irréversible d'une ou plusieurs propriétés du matériau, résultant de sa propre instabilité et/ou d'effet de son environnement



PHYSIQUE

Tous processus conduisant à une altération des propriétés d'utilisation des matériaux sans qu'il y ait de modification chimique du matériau.

CHIMIQUE

Tous processus entraînant une altération de la structure chimique du matériau.



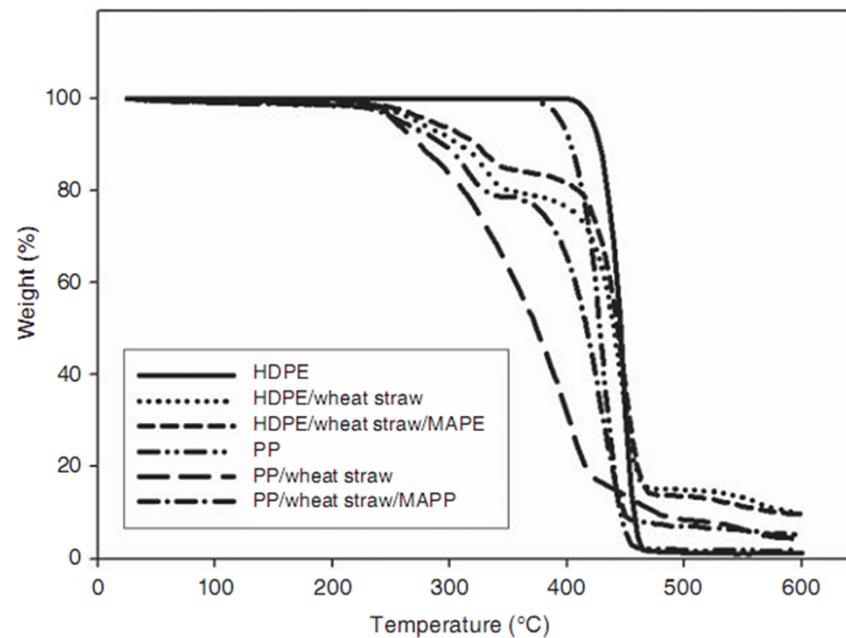
5. Influence du vieillissement

Et tout ceci va aussi **vieillir**

A la température

A l'humidité

Aux U.V.



À cause de quoi ??

5. Influence du vieillissement

Vieillissement : principe général

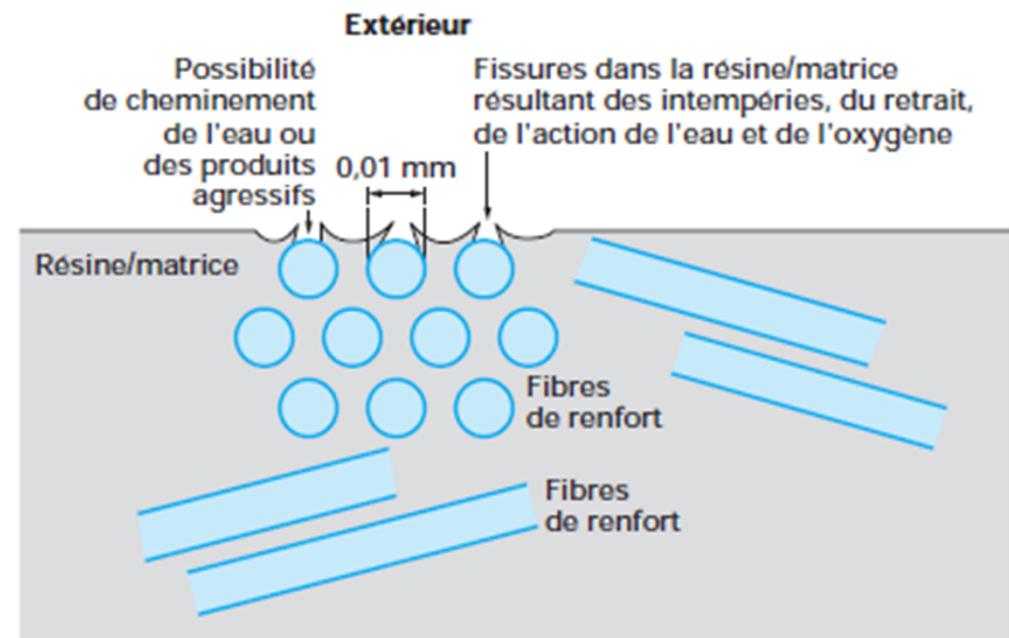
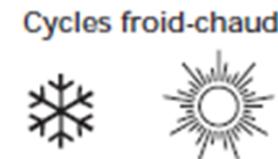
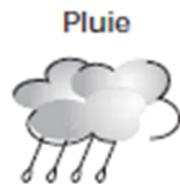
Le rayonnement solaire

La température

L'eau

Le temps

La composition chimique de
l'environnement



5. Influence du vieillissement Aux UV

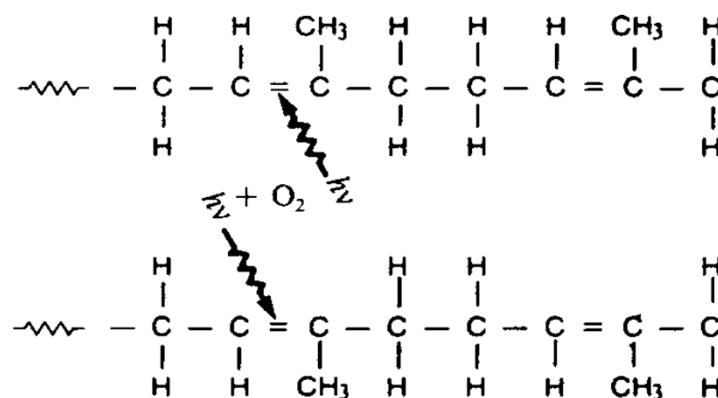
Lorsque les polymères sont exposés aux rayonnements solaires, ils peuvent se dégrader suite à l'absorption **d'énergie lumineuse** par les groupes chimiques présents.

Physiquement:

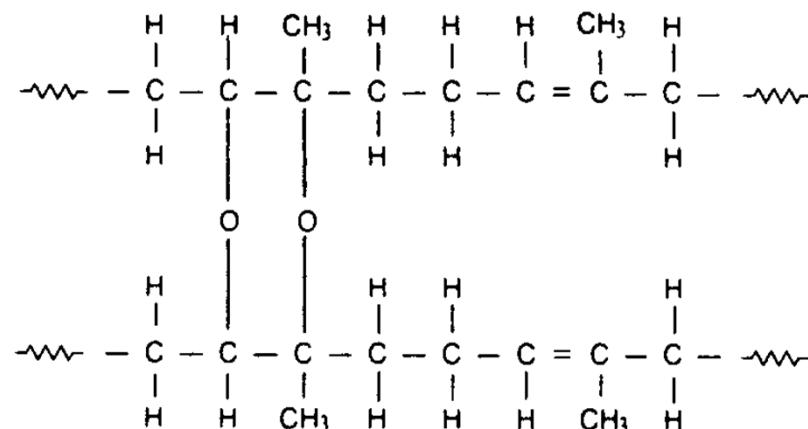
Cette absorption provoque:

- Photolyse = Rupture des liaisons chimiques (radicaux libres).

- Photo dégradation



- Réticulation entre les chaines



5. Influence du vieillissement

Aux UV

Par exemple

Un Composite **PEHD + Farine de bois**

+ Agent absorbeur (UVA): Pigment de ferrite de zinc (P)

Deux phases d'étude:

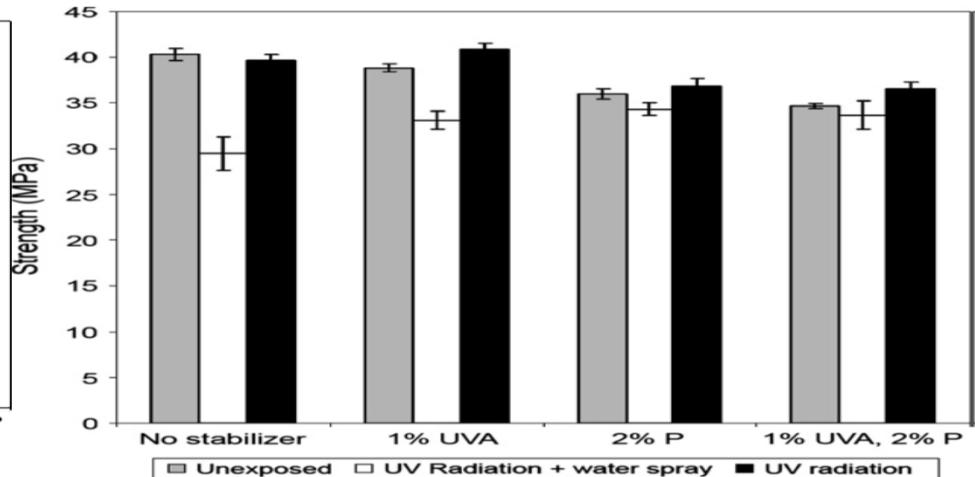
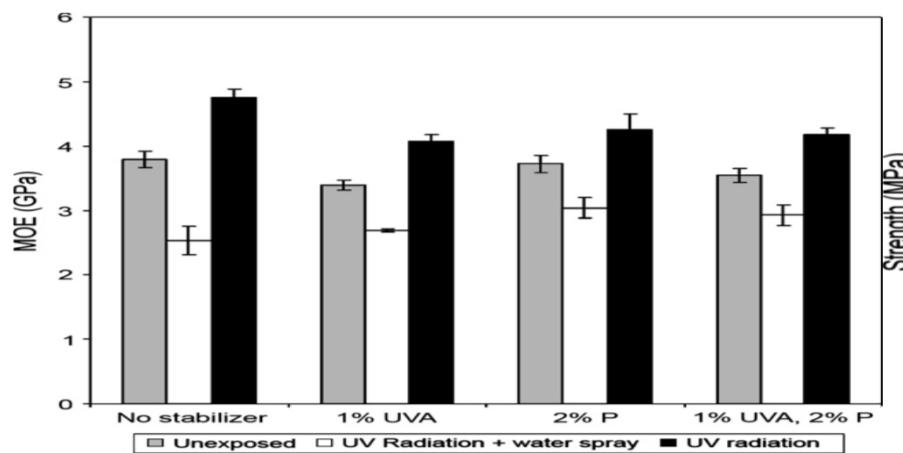
- ❖ L'exposition a été sur un cycle de 2 h, composé de 108 min de rayonnement UV, suivies de 12 min d'un jet d'eau
- ❖ les échantillons ont été exposés aux UV en rayonnements continus

5. Influence du vieillissement

Aux UV

Par exemple:

PEHD + Farine de bois

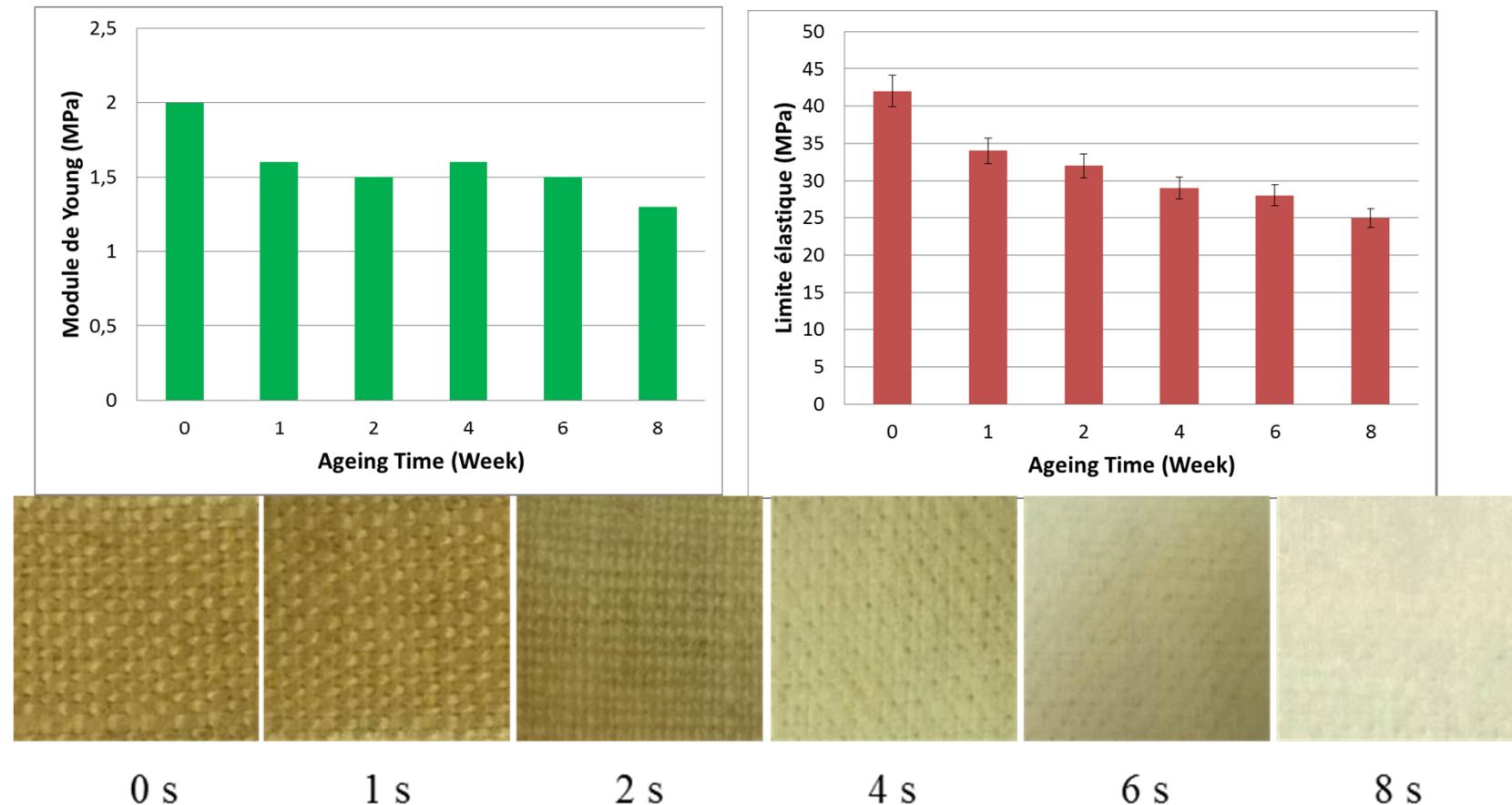


Formulation	Chang des propriétés (%)	
	Module d'élasticité	
	UV+ Eau	UV seul
Pas de stabilisation	-33	25
1 % UVA	-21	20
2 % P	-18	14
1 % UVA, 2 % P	-16	18

5. Influence du vieillissement

Aux UV

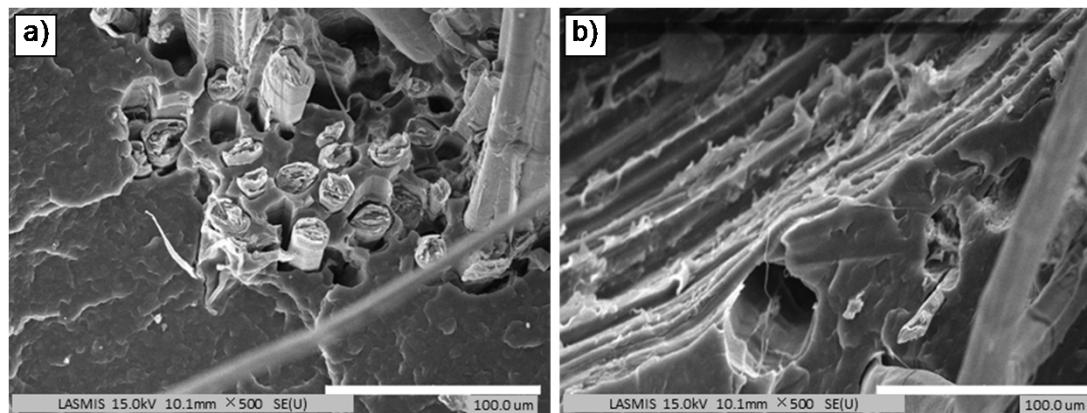
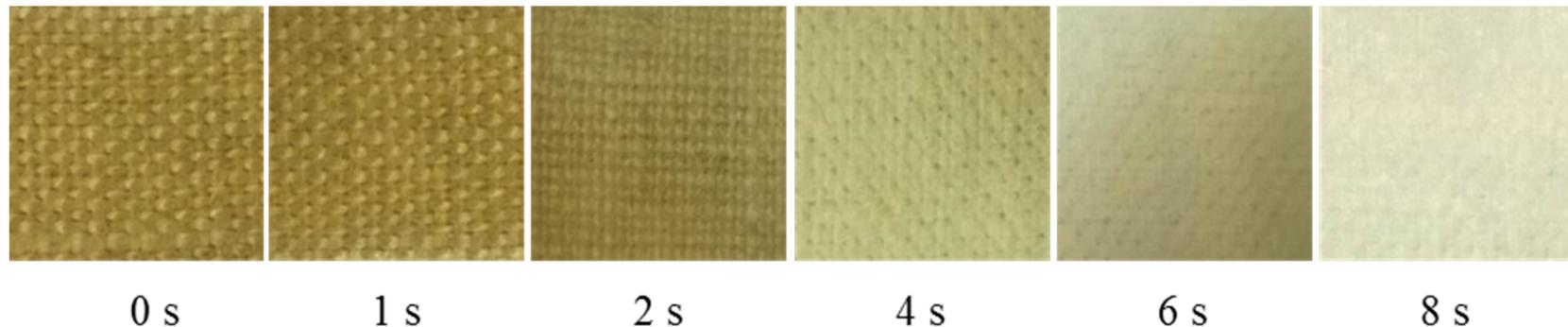
Par exemple: PP/tissé de chanvre



5. Influence du vieillissement

Aux UV

Par exemple:



Les modes de dégradation sont essentiellement
du glissement aux interfaces
avec une fissuration du polymère

5. Influence du vieillissement

Aux UV

Solution

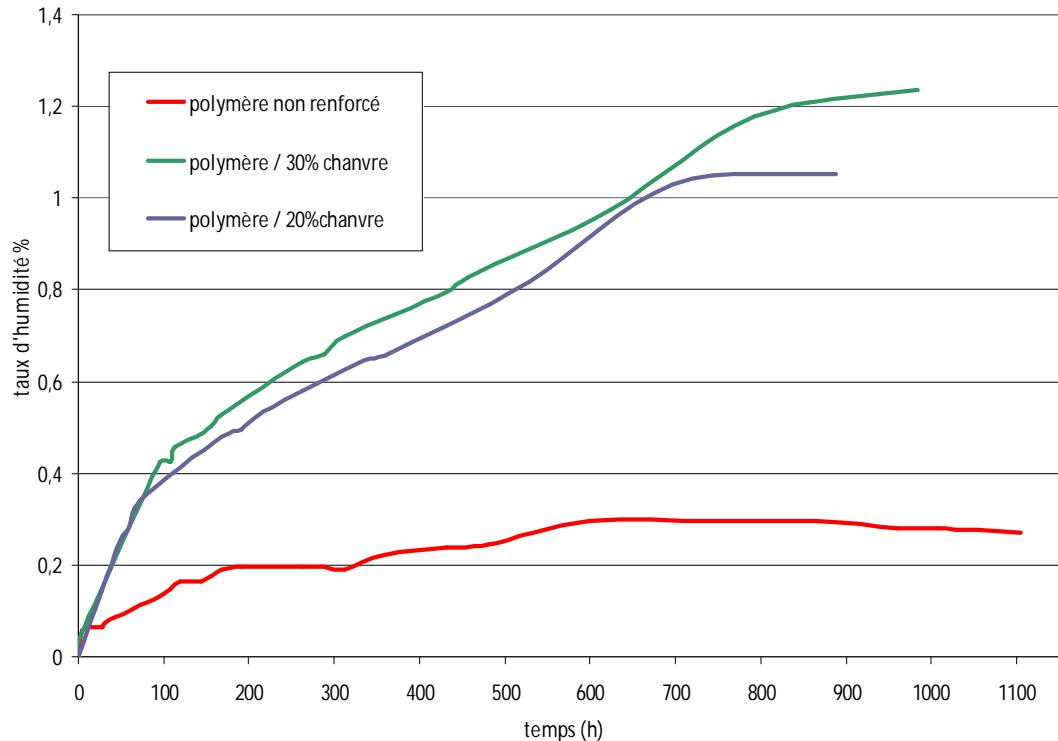
Pour lutter contre ces dégradations, on utilise des **Agents anti-UV** tel que:

- ✓ **Antioxydants** : Ils assurent une bonne protection des polymères sensibles à l'oxydation.
- ✓ **Pigments** : sont des absorbants ou des réfléchissants dans l'ultraviolet.

C'est le cas des noirs de carbone, qui sont de bons antioxydants et qui présentent également une forte absorption dans l'ultraviolet.

- ✓ **Oxyde de titane** : sont des absorbeurs ultraviolets efficaces, Cette charge est couramment utilisée dans les fibres afin de leur conférer un aspect mat et structurer la surface pour obtenir une friction contrôlée

5. Influence du vieillissement A l'eau



Le taux d'humidité augmente en fonction du temps. Ainsi il y une augmentation de la masse.

Le pourcentage de masse d'eau absorbée peut se retrouver par le modèle de Fick:

$$M_t = \frac{M_a - M_0}{M_0} \times 100 (\%)$$

M_t Masse d'eau à l'instant t

M_a La masse de l'échantillon vieilli

M_0 La masse de l'échantillon non vieilli

5. Influence du vieillissement A l'eau

La masse d'eau M_t varie en fonction du temps

$$M_t = f\left(\frac{\sqrt{t}}{h}\right) \quad h \text{ étant l'épaisseur}$$

On peut aussi déterminer la diffusion D

$$D = \pi \left(\frac{k}{4M_\infty} \right) \quad k \text{ la pente de } M_t \text{ et } M_\infty \text{ la masse à saturation}$$

5. Influence du vieillissement A l'eau

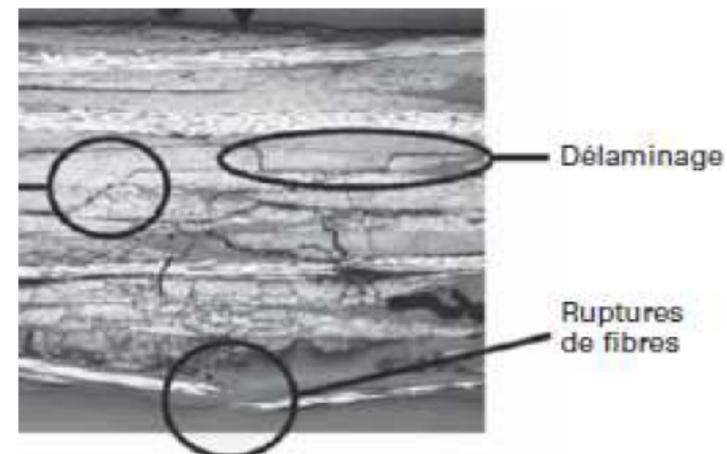
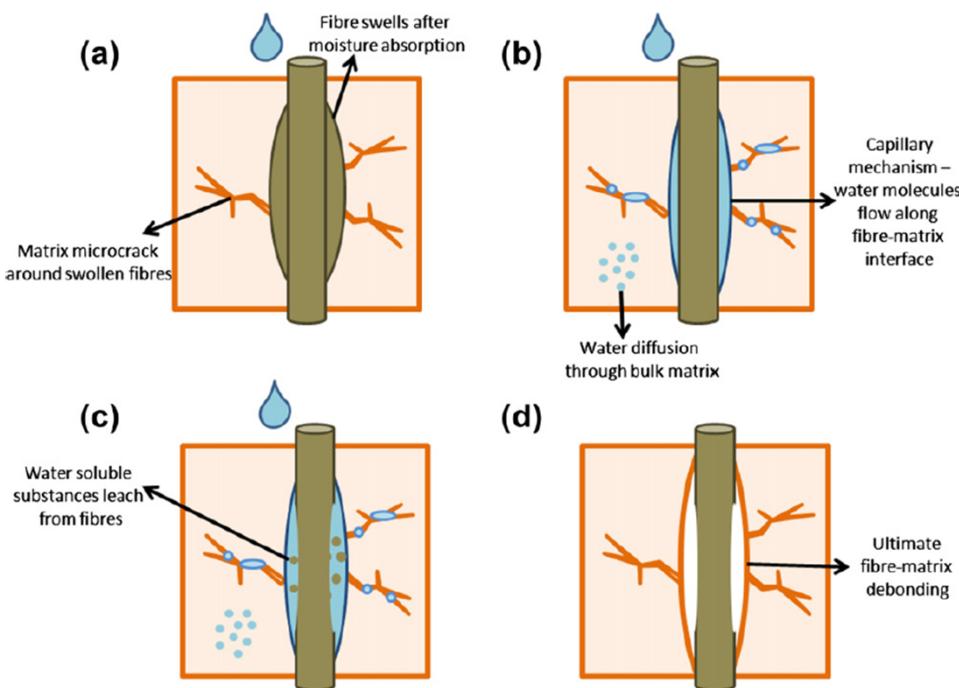
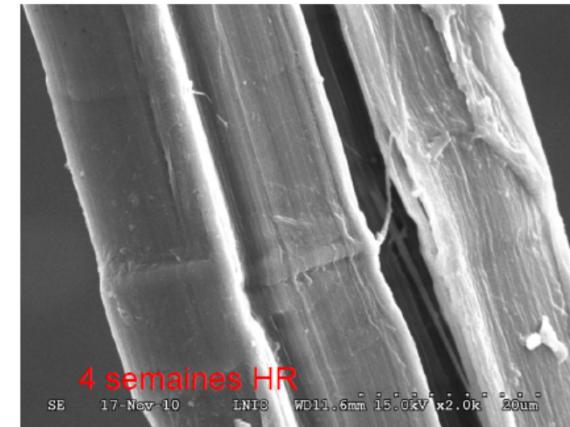
Conséquences:

Gonflement des fibres

Dégénération des interfaces

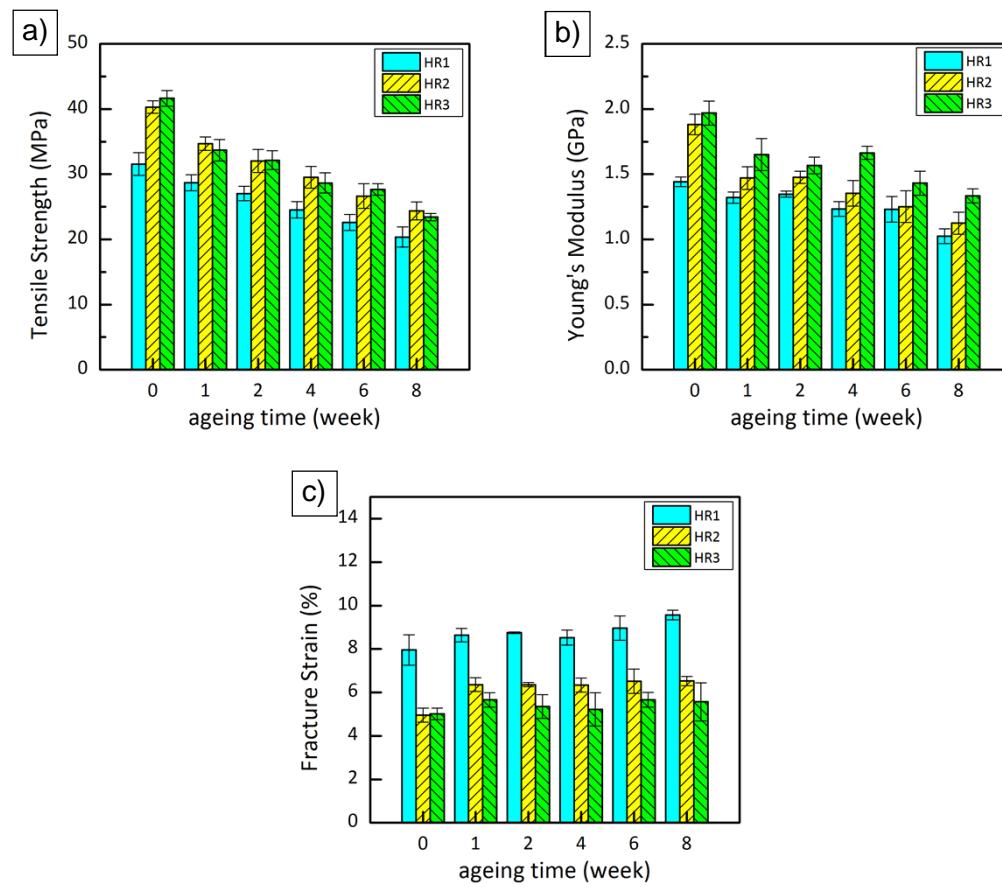
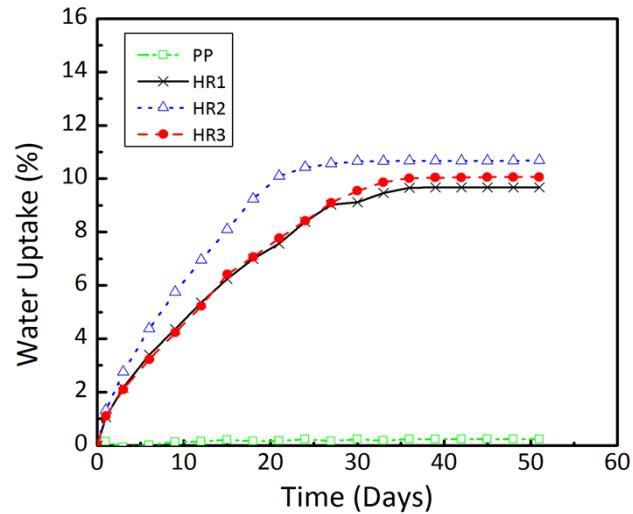
Dégénération des fibres surtout la paroi primaire

Microfissures



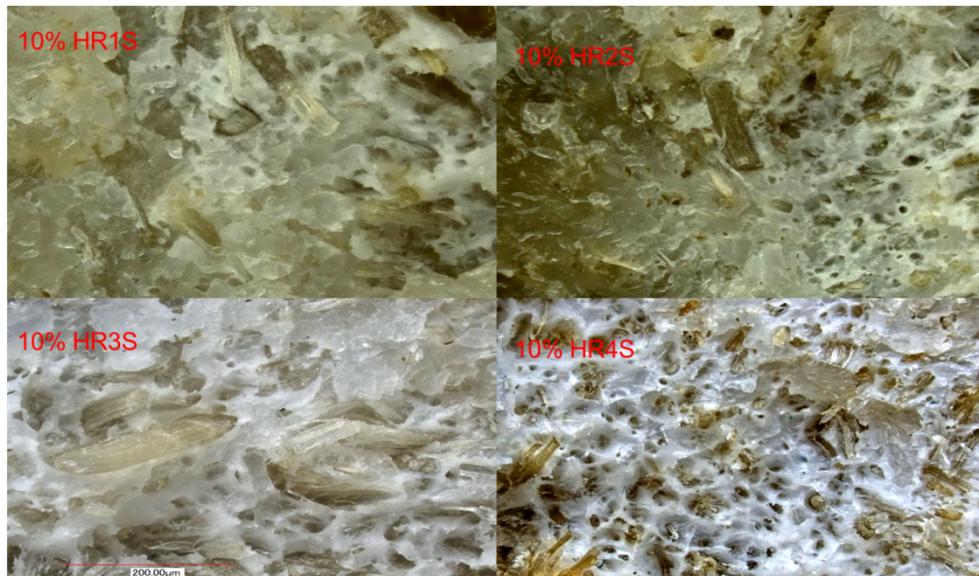
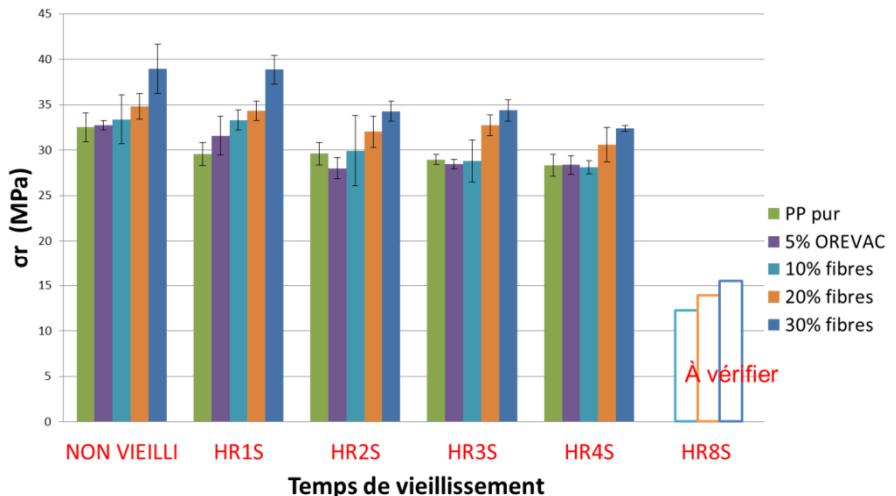
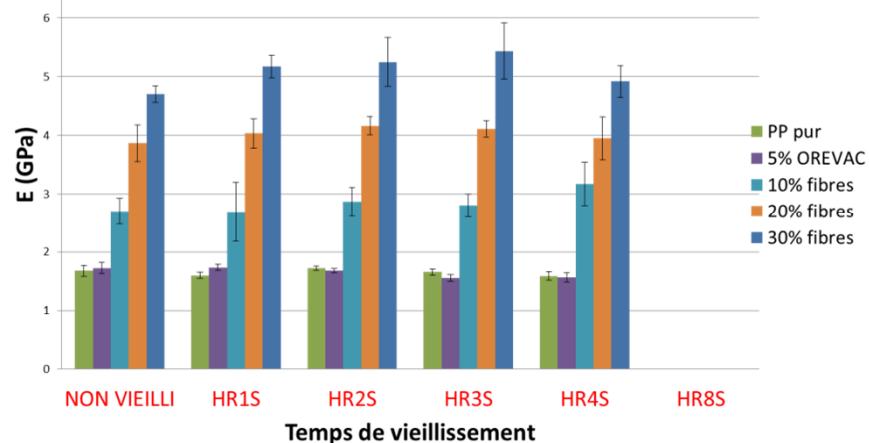
5. Influence du vieillissement A l'eau Par exemple

PP/tissé chanvre
11% (bleu) et 20%



5. Influence du vieillissement A l'eau

Par exemple PP/ chanvre fibres courtes

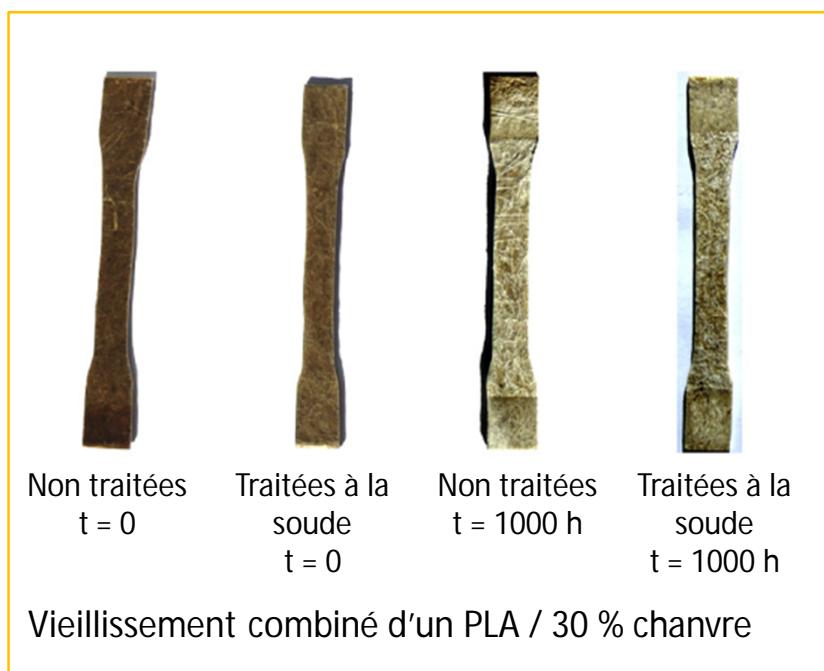


5. Influence du vieillissement

A l'eau

Solutions

Traitement des fibres végétales : → Améliorer l'interface fibres / matrice
→ Diminuer le caractère hydrophile des fibres



Il existe des traitements

- chimiques
NaOH (par exemple) pour modifier la composition de surface des fibres et créer des liaisons chimiques avec le polymère,
- physico-chimiques
le plasma froid et l'irradiation sous faisceau électronique.
- thermiques réalisés sous atmosphère inerte, qui améliorent la stabilité dimensionnelle et la durabilité.

5. Influence du vieillissement

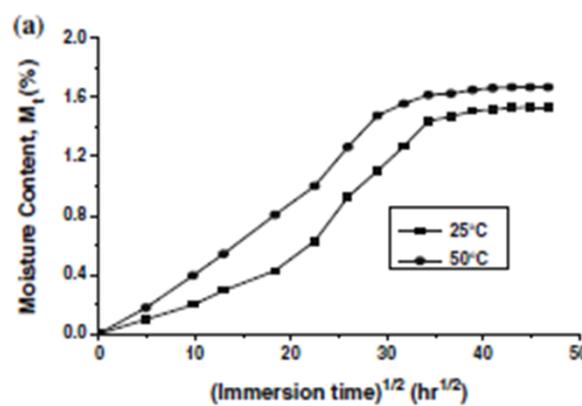
A l'eau

Solutions

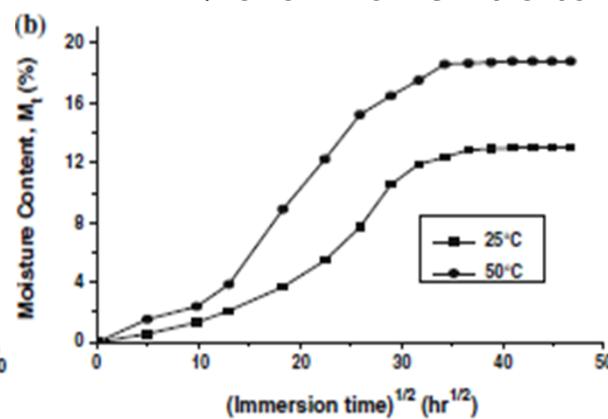
Fibrillation



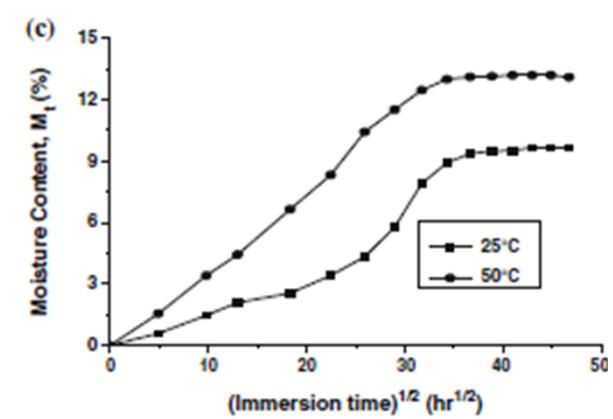
PLA



PLA / chanvre non traité



PLA / chanvre traité



Réduction du caractère hydrophile

M. S. Islam et al. Influence of Hygrothermal Ageing on the Physico-Mechanical Properties of Alkali Treated Industrial Hemp Fibre Reinforced Polylactic Acid Composites. J Polym Environ DOI 10.1007/s10924-010. 2010

A. Stamboulis et al. Effects of environmental conditions on mechanical and physical properties of flax fibers. Composites Part A (2001) 1105 – 1115.

5. Influence du vieillissement

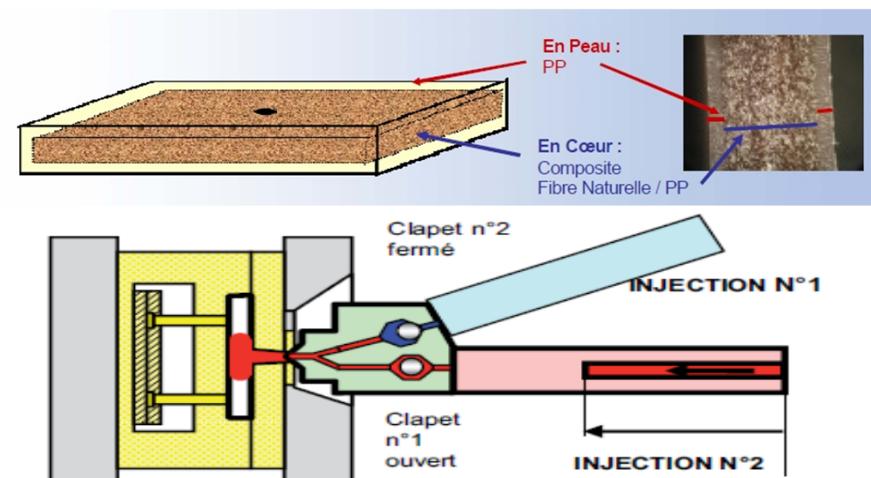
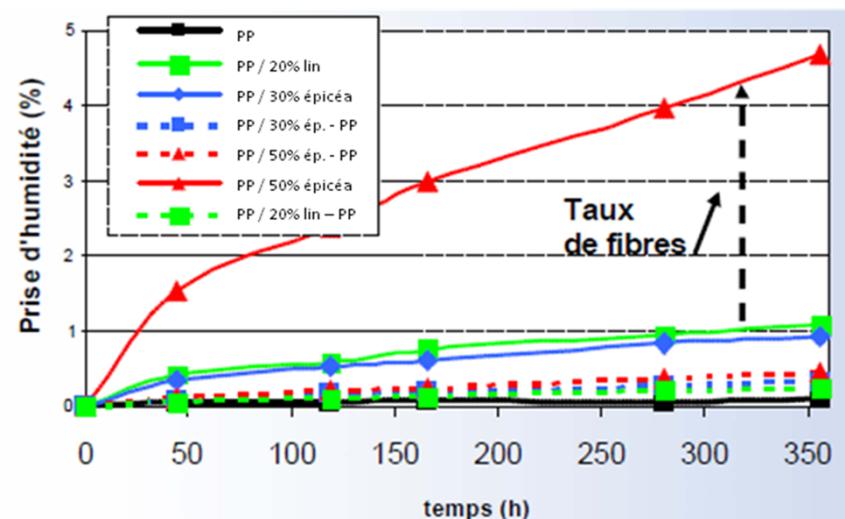
A l'eau

Solutions

Injection sandwich

Injection bi-matière dans un même cycle

Cœur → Agro-composite
Peau → Polymère non renforcé



Conséquences :

- Propriétés en traction
- ↗ Résistance aux chocs
- ↘ Prise d'humidité avec ↗ épaisseur

Limite :

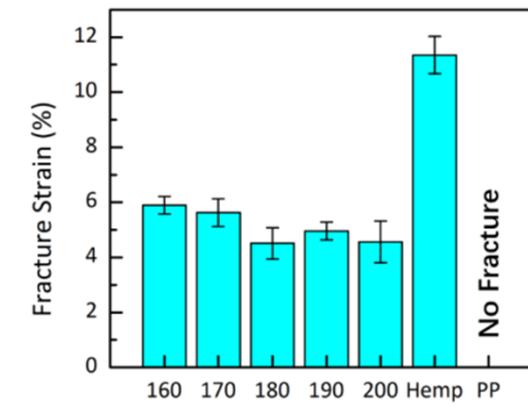
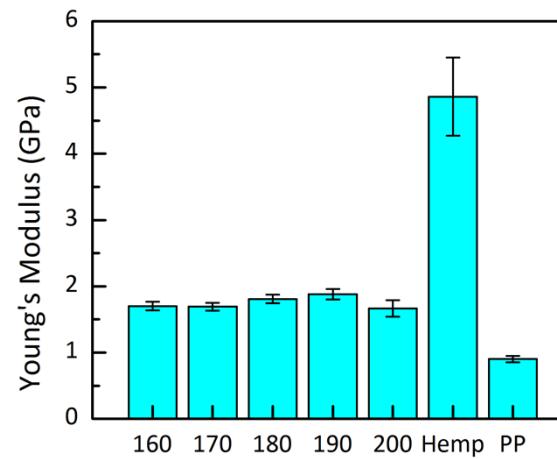
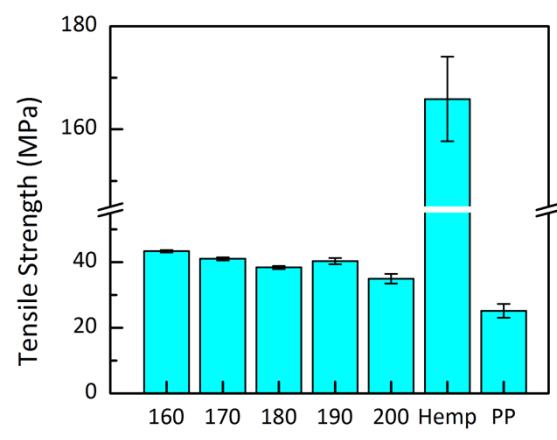
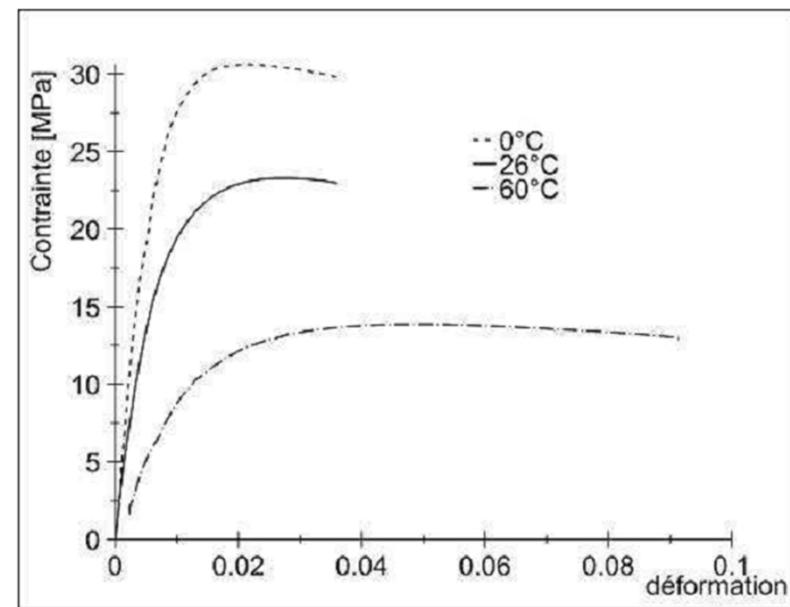
Décollement des peaux par délamination

5. Influence du vieillissement A la température

Les agro matériaux composites peuvent être sensibles à la température

Aux températures plus élevées, les matériaux:

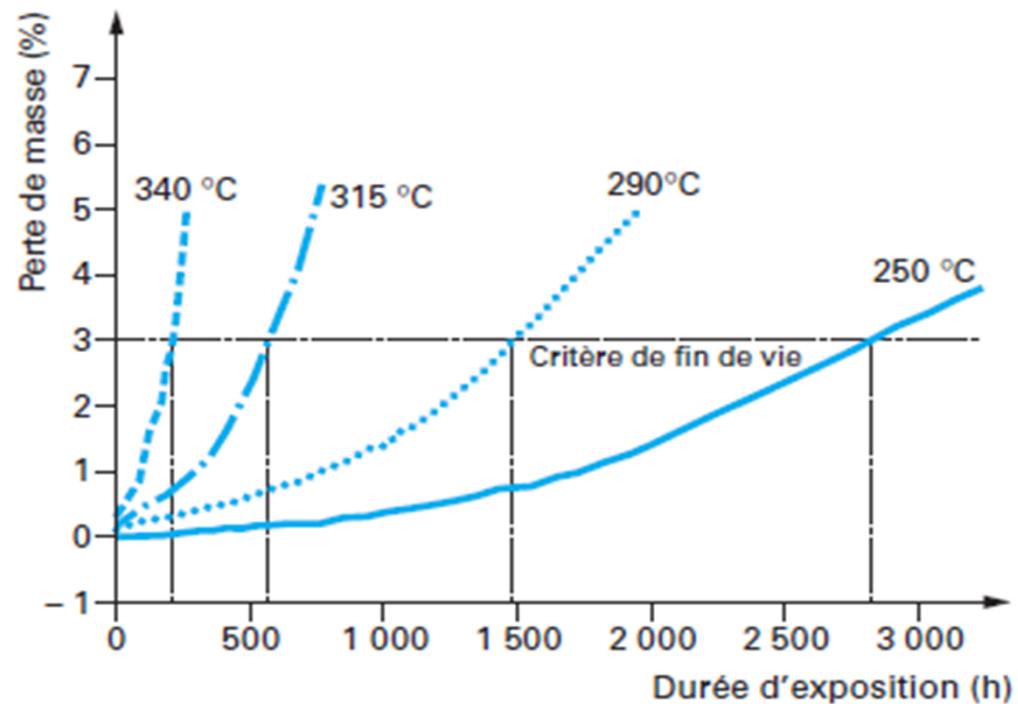
- se décomposent
- brûlent
- changements des propriétés physico-chimiques



Propriétés des composites en fonction de la température d'élaboration

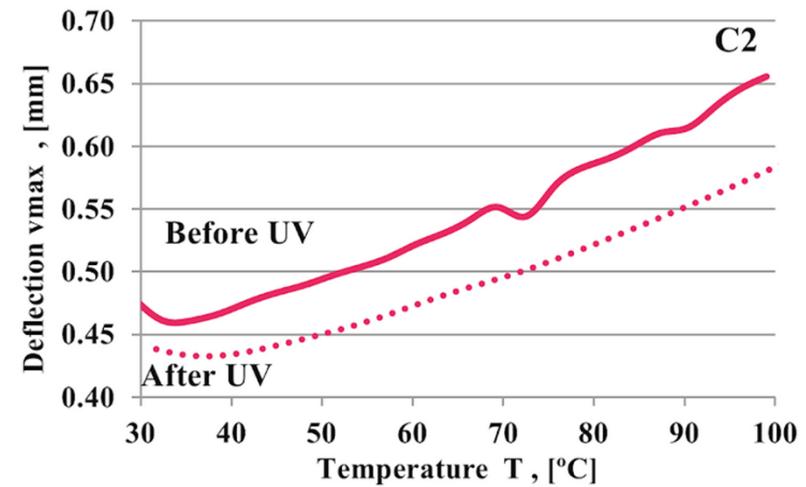
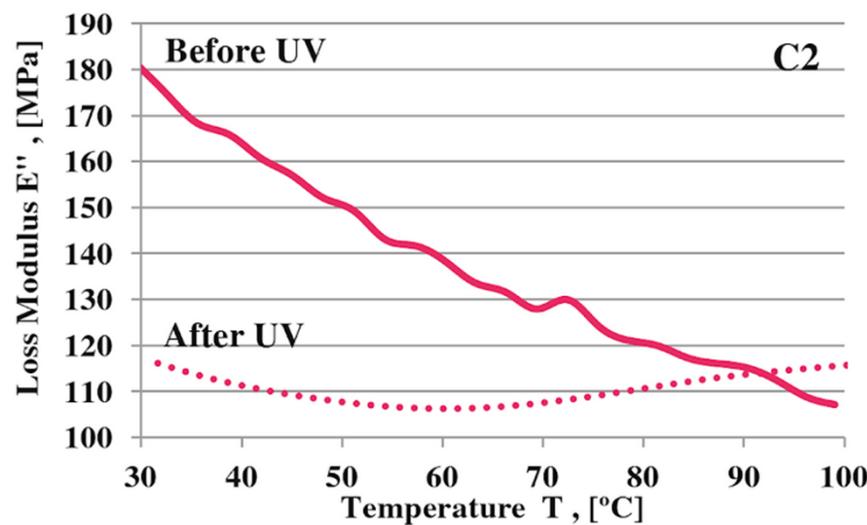
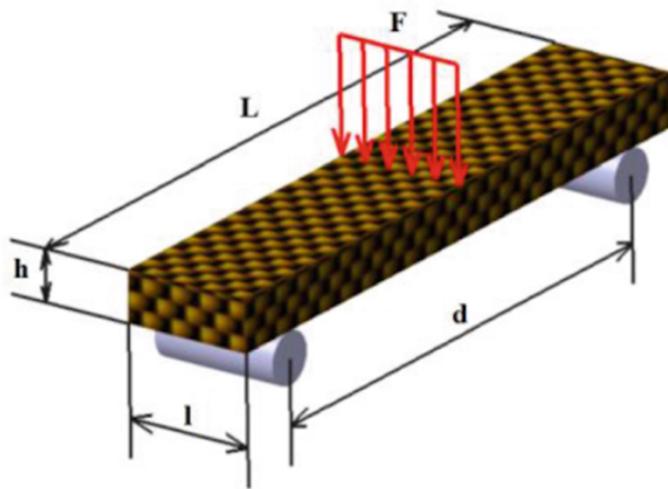
5. Influence du vieillissement A la température

Sous l'effet de la température, il se produit une **perte de masse**

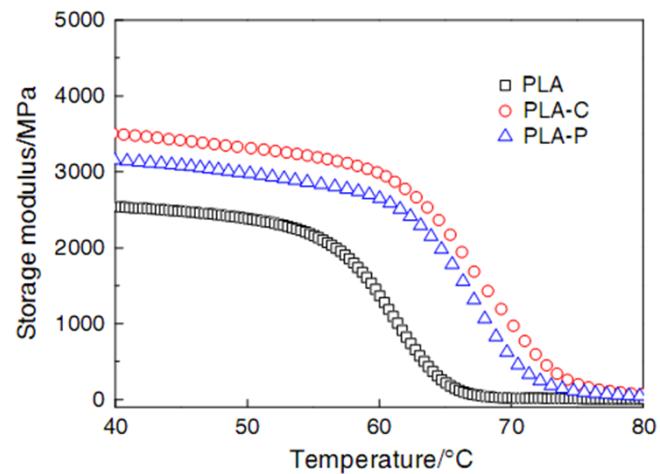
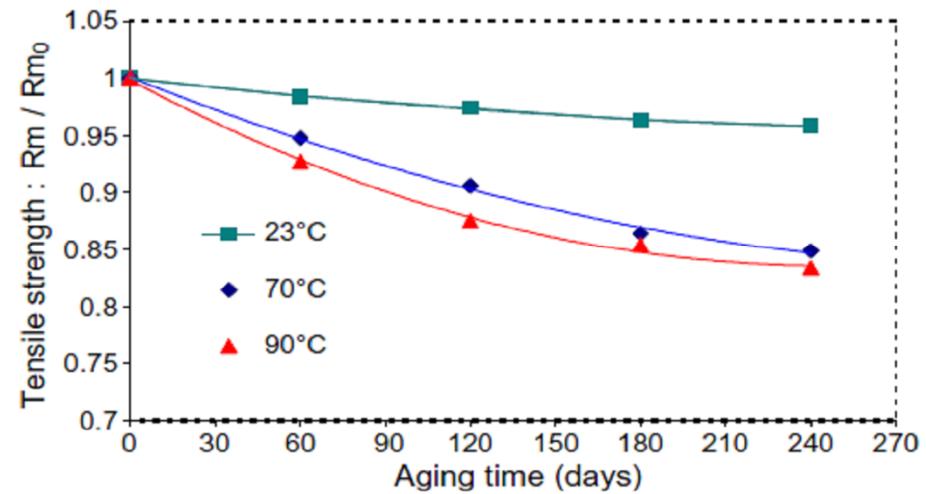
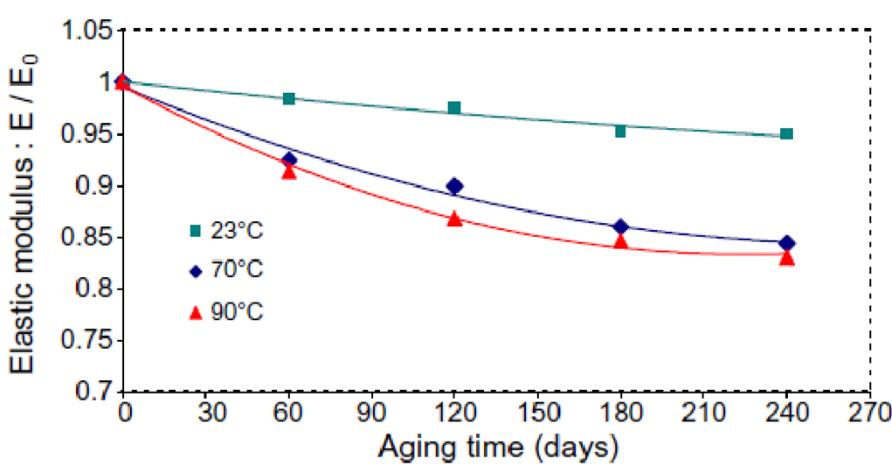


5. Influence du vieillissement A la température

PE/chanvre 30%

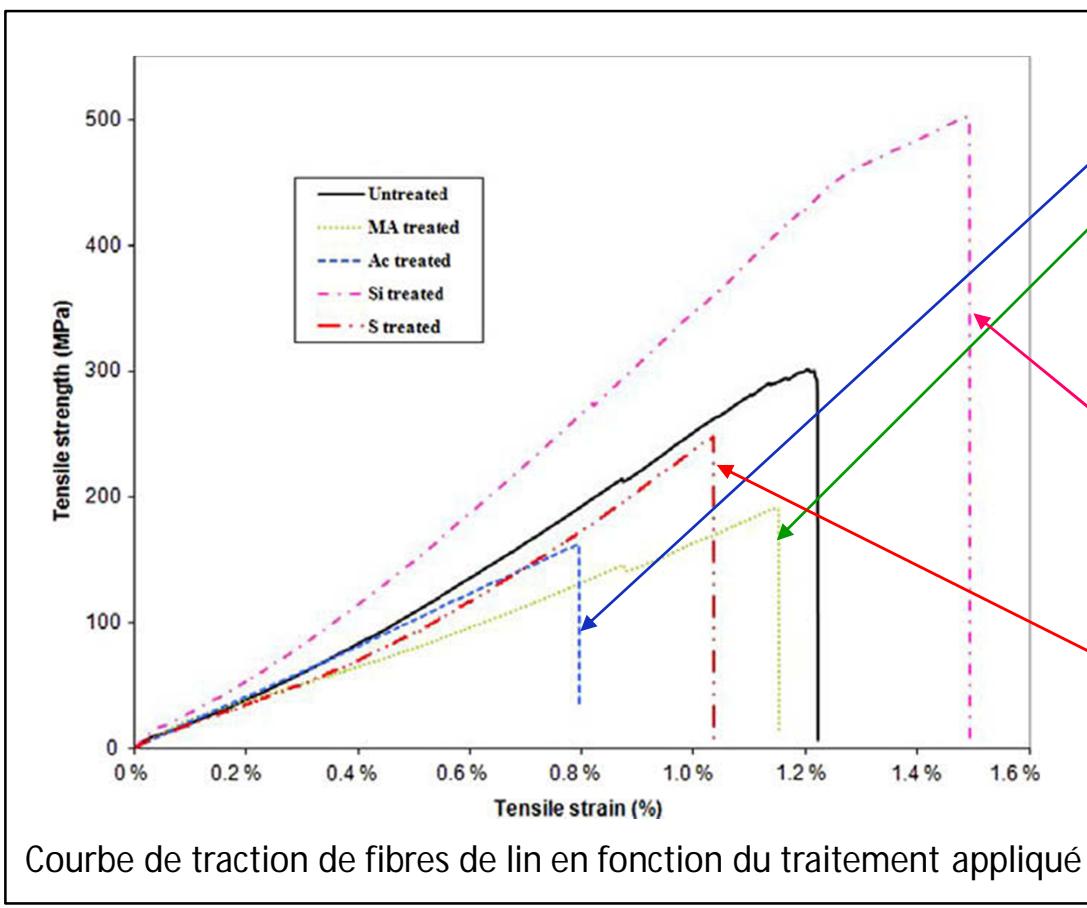


5. Influence du vieillissement A la température



Influence du type de fibres sur la température d'usage

5. Influence du vieillissement Solution générale

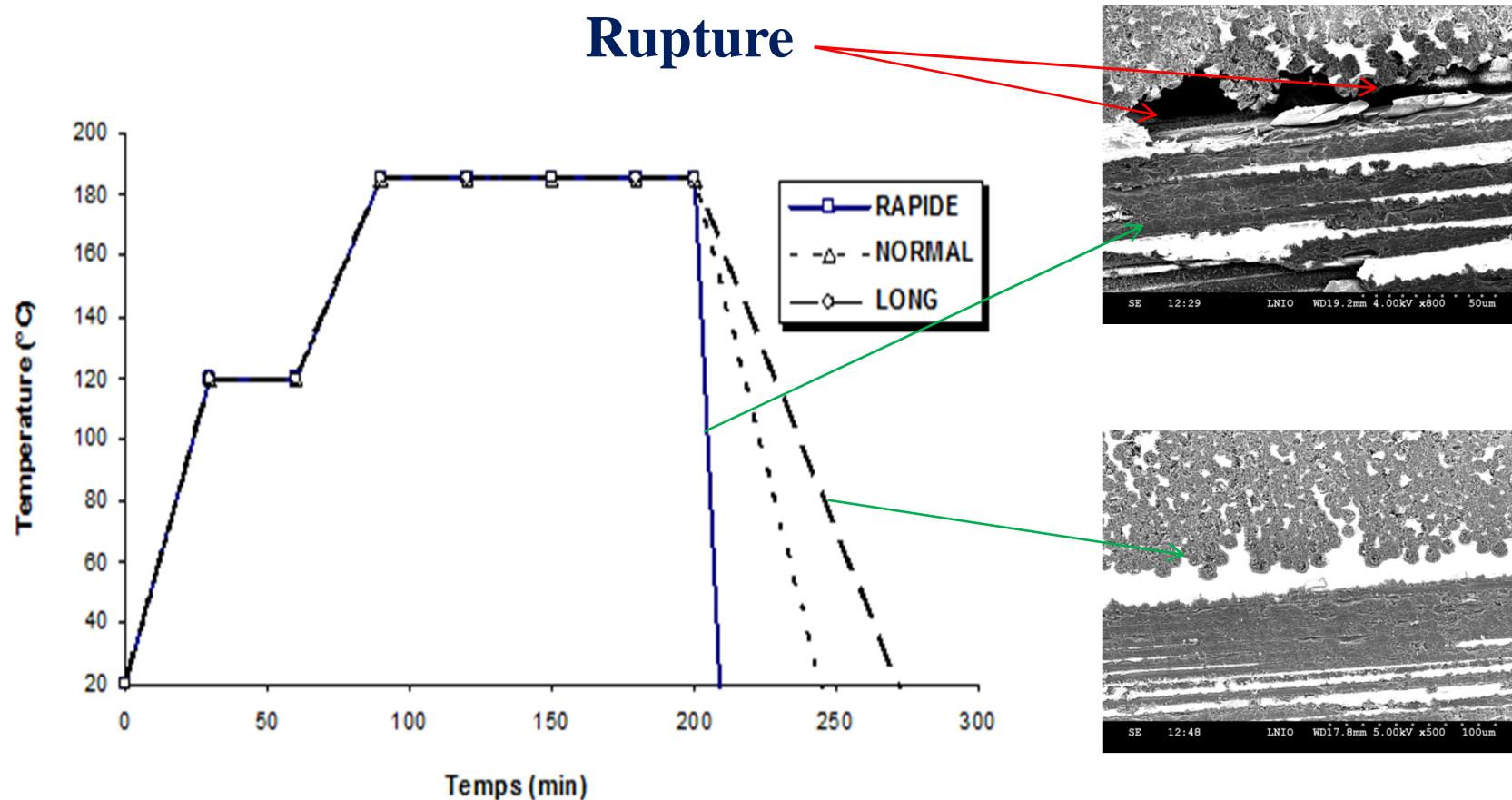


Choix du traitement en fonction des propriétés désirés :

- Ac : Acide acétique (acétylation)
- MA : Anhydride maléique (estérification)
 - ↳ module et résistance en traction de la fibre mais meilleure interface
 - ↳ hydrophilie
- Si : Silane
 - ↗ propriétés mécaniques
 - hydrophilie
- S : Styrène
 - Bonne compatibilité matrice en résine polyester
 - ↳ hydrophilie
 - propriétés mécaniques

5. Influence du vieillissement Solution générale

- ✓ Thermique : Cycle de refroidissement (Cycle long)



Mais ceci a un certain cout

6. Conclusions

Intérêt et enjeu

Comportement et variété des composites d'origine naturelle

Comportement face au vieillissement (conditions d'utilisation)

Points non abordés:

L'élaboration (depuis la croissance de la plante jusqu'au composant)

Problèmes liés aux procédés et aux cycles thermiques en particulier

Problématiques liées aux interfaces

Fin de vie et recyclage des composants

Etc.

PS: Pour le TD n'oubliez pas votre calculatrice

