

VERROUS À DÉPASSER POUR OPTIMISER LES PERFORMANCES ET DÉVELOPPER LES APPLICATIONS DES BIOCOMPOSITES

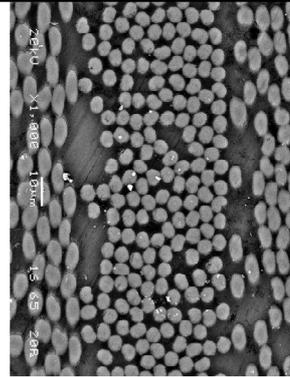
Christophe BALEY
Limatb / Université de Bretagne Sud
Lorient / christophe.baley@univ-ubs.fr
Mecamat Aussois 2014



● ● ● | Sommaire

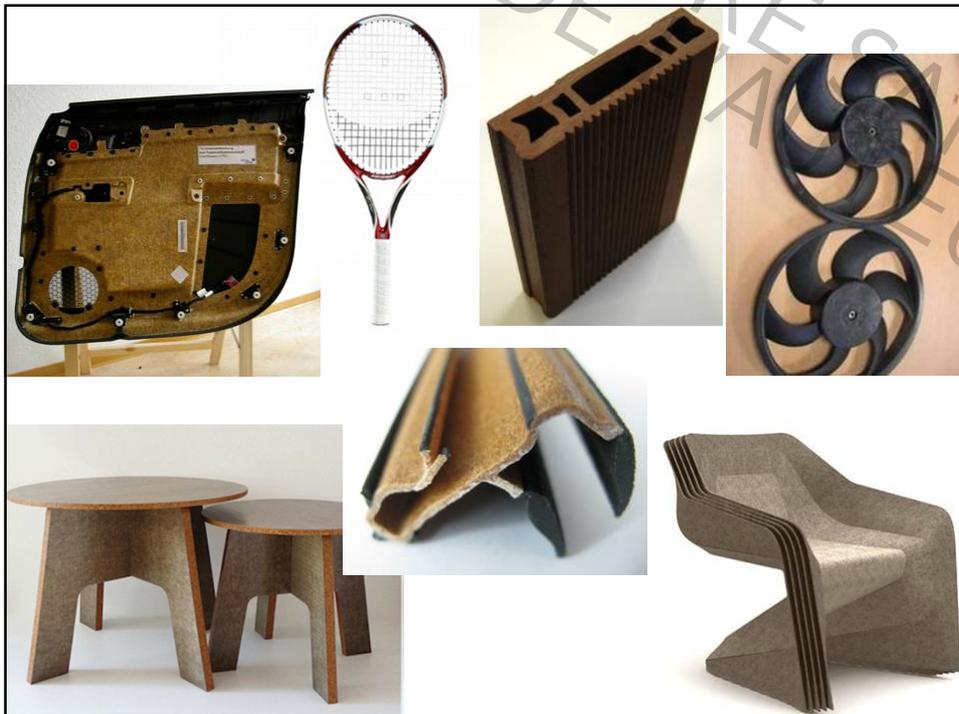
- Introduction
- 10 Verrous
- Bilan

● ● ● | **Introduction**
Contexte

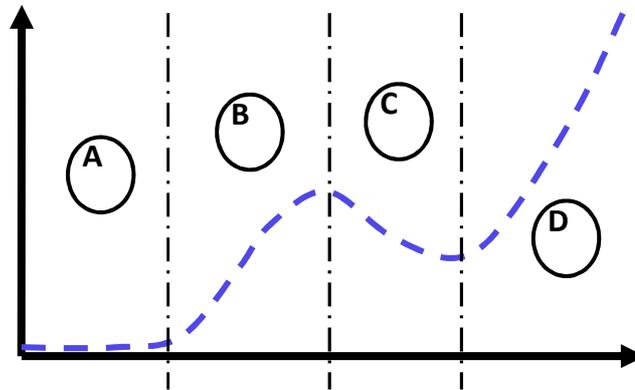


Le développement des Biocomposites est une démarche d'innovation,

Ceci impose des approches pluriculturelle, pluridisciplinaire, transdisciplinaire, multi-échelle et pluri-partenariales



● ● ● | **État d'avancement ?**



4 phases : la recherche et développement (A), l'industrialisation (B), une période de désillusion (C), et une phase de développement proprement dite (D).

[Baley 2004][Baley 2007][Baley 2009]

● ● ● | **Verrou 1 :
Savoir pourquoi on utilise
les biocomposites**

**Valoriser une ressource locale?
Réduire les impacts sur l'environnement?**

● ● ● | Spécificités des fibres végétales

- * Une origine renouvelable.
- * Elles sont durables (dans le sens durabilité) et biodégradables.
- * Les performances mécaniques spécifiques de certaines fibres sont importantes.
- * Elles demandent peu d'énergie pour être produites (en comparaison avec les fibres de verre).
- * Elles ont peu d'impact sur la santé humaine.
- * Leur incinération permet de récupérer de l'énergie...

Pourquoi utiliser des fibres végétales comme renfort de matériaux composites ?

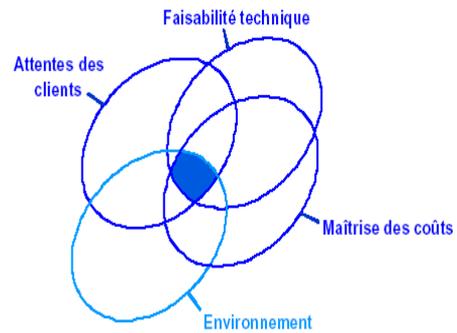
- 3 arguments discutables:**
- ▶ la diminution des coûts,
 - ▶ le lessivage écologique (greenwashing),
 - ▶ un effet de mode.

Par contre :

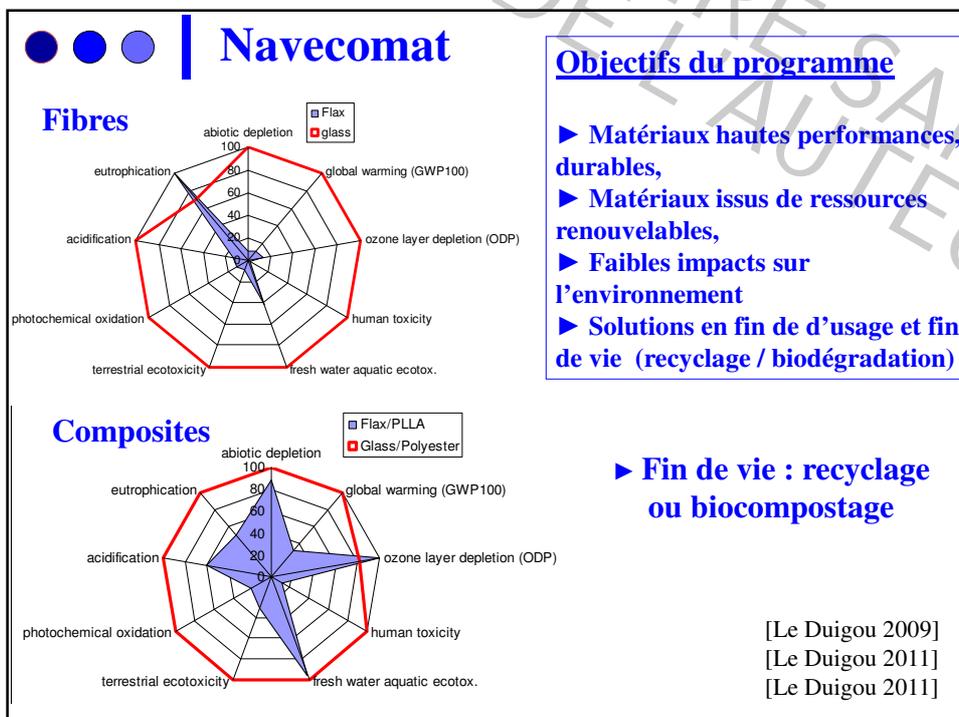
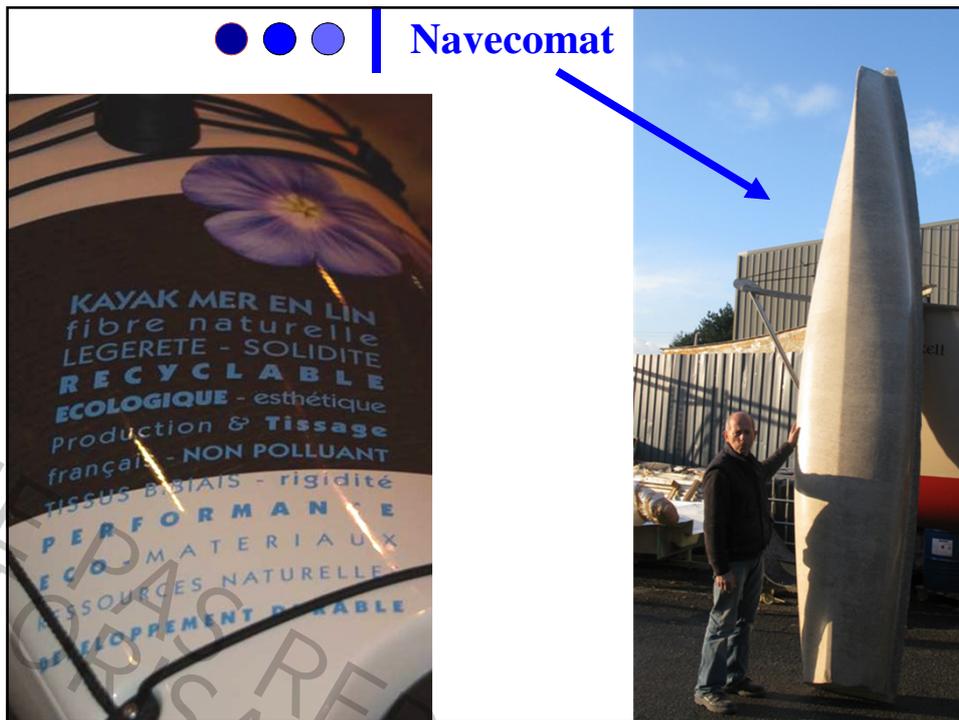
- ▶ la diminution des impacts environnement (ACV),
- ▶ pièces avec des propriétés mécaniques spécifiques importantes,
- ▶ un ensemble de solutions de fin vie,
- ▶ la possibilité de donner un caractère (une finition) naturel,
- ▶ la réduction des impacts sur la santé humaine,
- ▶ REACH (règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques) ,
- ▶ la valeur stratégique pour l'entreprise

● ● ● | **Verrou 2 :**
Apprendre à éco-concevoir

**ACV = Outil à utiliser
en // du développement
des matériaux**



7 oct 2012 / Supermarché (propriété d'un groupe allemand) en Autriche



● ● ● | **Verrou 3 :**
Définir un langage commun
entre tous les acteurs



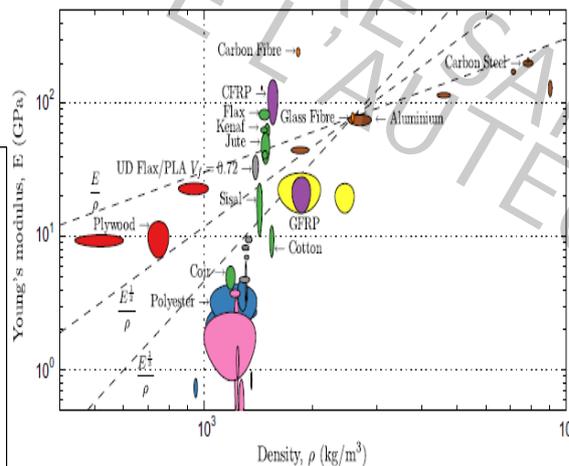
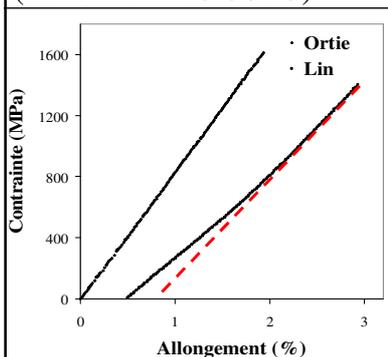
Fiches Techniques
Normes
Références...

Essai traction fibre de lin

(Afnor XP T 25-501-1)

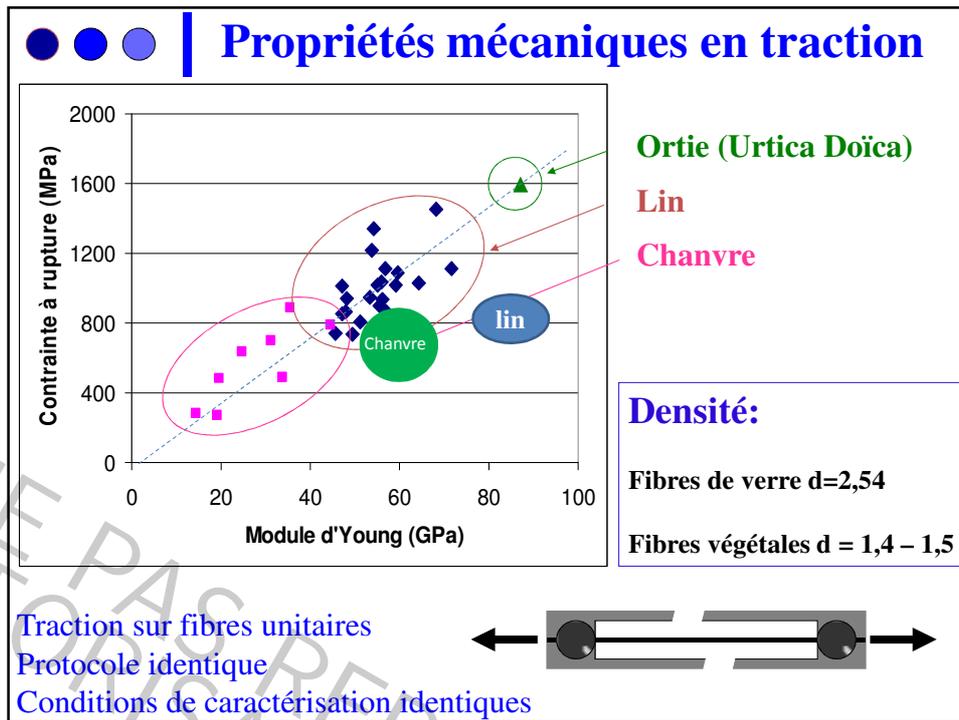
(Afnor XP T 25-501-2)

(Afnor XP T 25-501-3)



Dicker et al., Composites: Part A 56 (2014) 280–289

	d	Prix USD/kg	E (Gpa)	σ (Mpa)	A (%)	L fibre (mm)	D fibre (microns)
Flax	1470	2.1–4.2	75–90	750–940	1.2–1.8	5–900	12–600
Hemp	1495	1–2.1	55–70	550–920	1.4–1.7	5–55	25–500

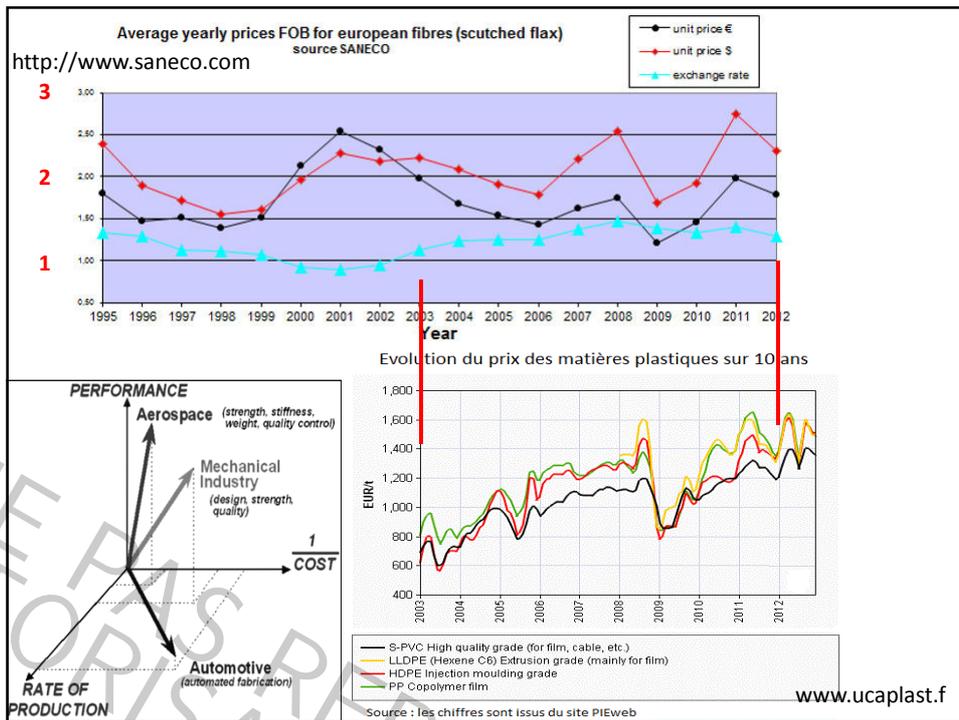


Name	Young's modulus (GPa)	Stress at break (MPa)	Strain at break (%)	Tested fibres diameter (μm)
Hermes	48.9 ± 12.0	1066 ± 342	2.8 ± 0.8	18.6 ± 3.9
Andrea	48.3 ± 13.8	841 ± 300	2.2 ± 0.8	18.1 ± 3.9
Marylin	57.1 ± 15.5	1135 ± 495	2.1 ± 0.6	13.9 ± 2.7
Glass	70.3 ± 5.8	1765 ± 432	2.9 ± 1.0	17.9 ± 1.9

Reproductibilité des propriétés?

Dispersion?

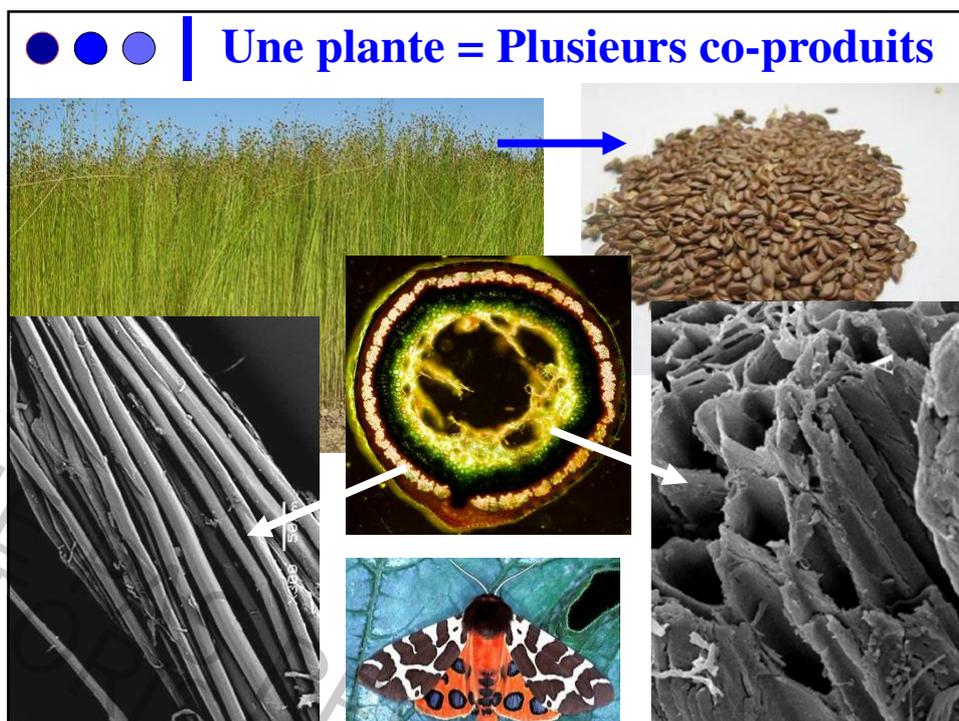
[Coroller 1013]



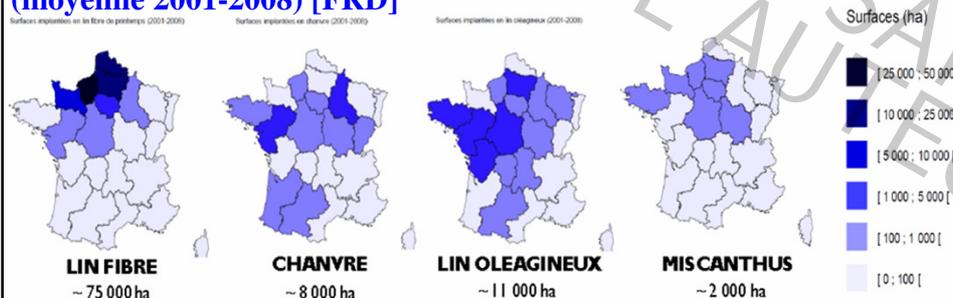
● ● ● | **Verrou 4 :**
Disposer d'une culture scientifique et technique élargie sur les fibres végétales

Flax harvesting,
"Sennedjem"'s tomb, Ancient Egypt.

BEHUARD - Le Rouissage du Chanvre
1895
40t
Edition Mariet, Tabac, Beauvais
www.delcampe.net



Répartition sur le territoire français des surfaces de plantes à fibres (moyenne 2001-2008) [FRD]



Année	VOLUMES (t)		Surfaces Nécessaires (lin et chanvre)
	Fibres végétales	Granulats	
2005	8 000	2 000	2 977 ha
2015	159 000	219 000	157 000 ha
2030	317 000	340 000	290 000 ha

La SAU (Surface Agricole Utile) française représente environ 29 millions d'hect.

Ademe / H. Bewa / Fibres végétales: une disponibilité régulée de la ressource / JEC 4 octobre 2012 Paris

Agriculture

Évolution du prix de quelques céréales
(Bourse de Chicago)

Maïs
en cents par boisseau (25,4 kg)

Janv. 2012: 646
Juin: 556
Août: 803
+19,5% depuis janvier



Blé
en cents par boisseau (27,2 kg)

Janv. 2012: 653
Mai: 634
Août: 880
+35,9%



Riz
en cents par livre (500 g)

Janv. 2012: 14,41
Avril: 14,88
Août: 15,61
+7,7%

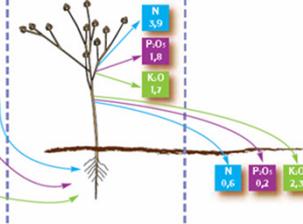


Quest France le 4 août 2012

Des délais, même avec des plantes annuelles

Juin 2012 on chois des cultures 2013

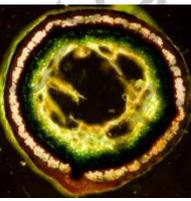
- Printemps 2013 semailles
- Récole en septembre 2013
- Teillage janvier 2014

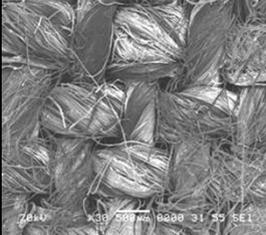
Besoins	Exportations unités/q (récolte)	Restitutions unités/q
<p>ENGRAIS</p> <p>N (azote) 4,5 u/q soit pour 25 q 113 u</p> <p>P₂O₅ (acide phosphorique) 2 u/q soit pour 25 q 50 u</p> <p>K₂O (potasse) 4 u/q soit pour 25 q 100 u</p>	 <p>N 3,9 P₂O₅ 1,8 K₂O 1,7</p>	<p>N 0,6 P₂O₅ 0,4 K₂O 2,3</p>

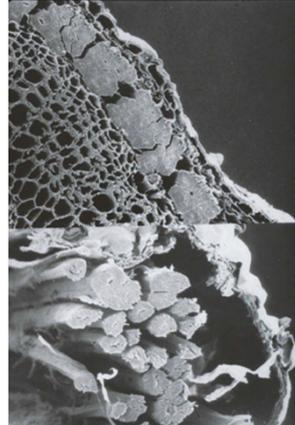
Source: ICOMAF

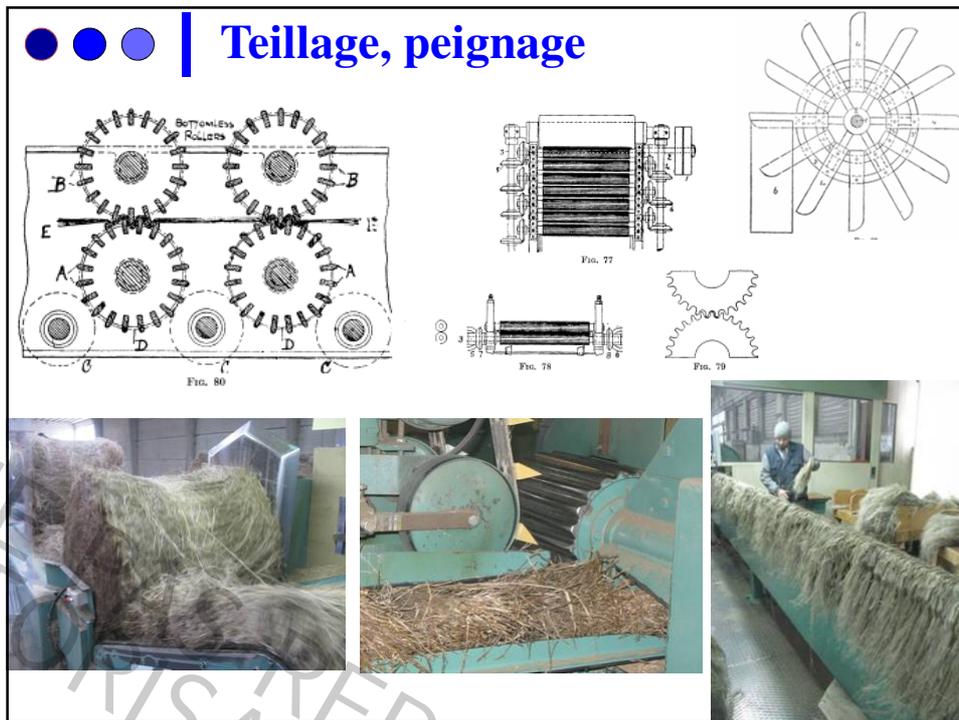
Etapes de production des fibres de lin









● ● ● | **Influence du rouissage sur les propriétés**

R1 **R3** **R6**

Rouissage faible **Rouissage optimun**

----->

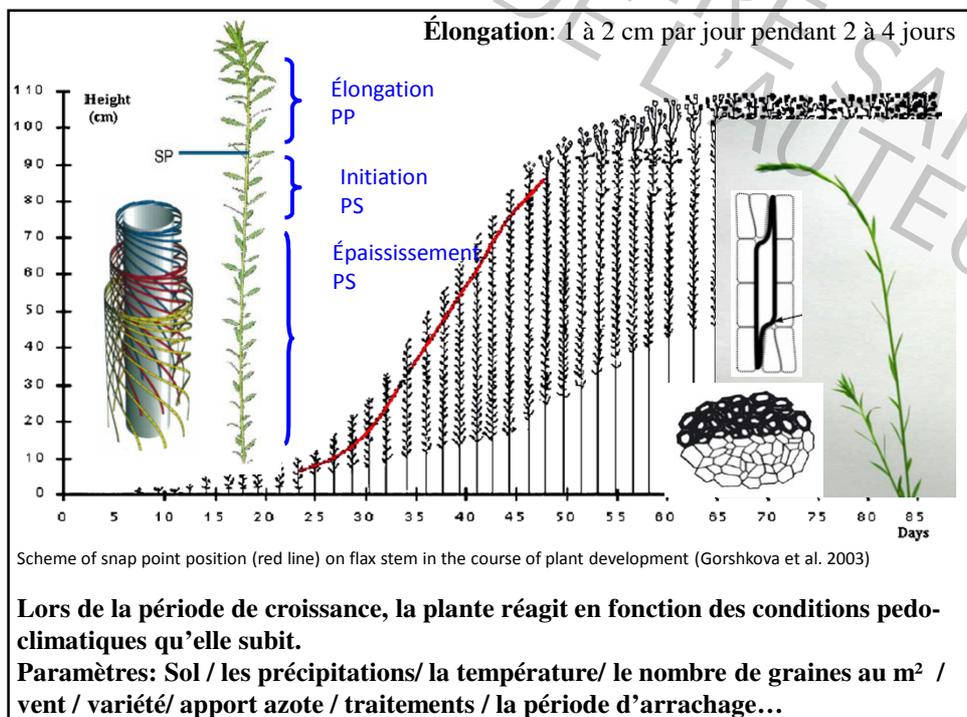
Rouissage optimun pour des applications textiles

Lots	E (GPa)	σ (MPa)	A (%)
R1	38.6	792	2.2
R3	48.6	935	2.2
R6	55.6	1036	1.9

[Martin et al. 2013]

Influence du temps de rouissage sur les propriétés mécaniques en traction de fibres élémentaires

● ● ● | **Verrou 5 :**
Mieux connaître les tissus
de soutien



Microstructure of a vegetable fiber

Hemp

Flax

Fig. 3. A diagram of Z-twist (left) and S-twist (right).
[Bergfjord 2010]

Consequence: Flax is a anisotropic fiber $E_{FT} \sim 5-8$ GPa

Cellulose $E = 130$ Gpa à 170 GPa
 $\sigma = 8000$ Mpa

	Orientation
Flax	S
Nettle	S
Hemp	Z

Paroi de fibre de lin. MET / Coupe transversale : lamelle moyenne (plus sombre), paroi primaire mince et paroi secondaire très épaisse, on distingue les microfibrilles cellulosiques.

Paroi primaire S1

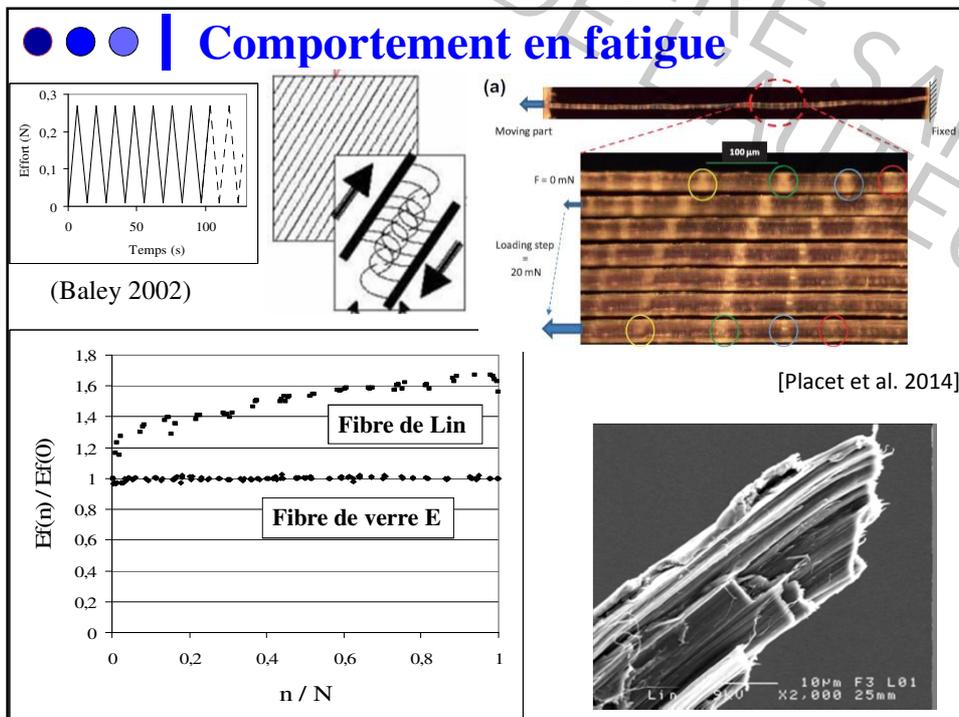
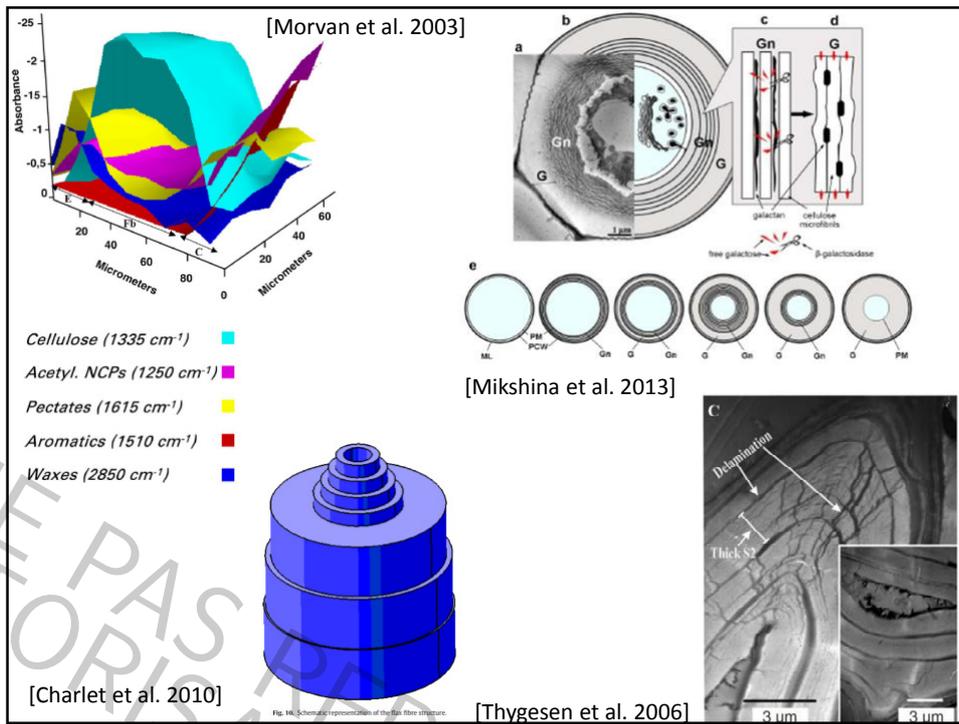
S2

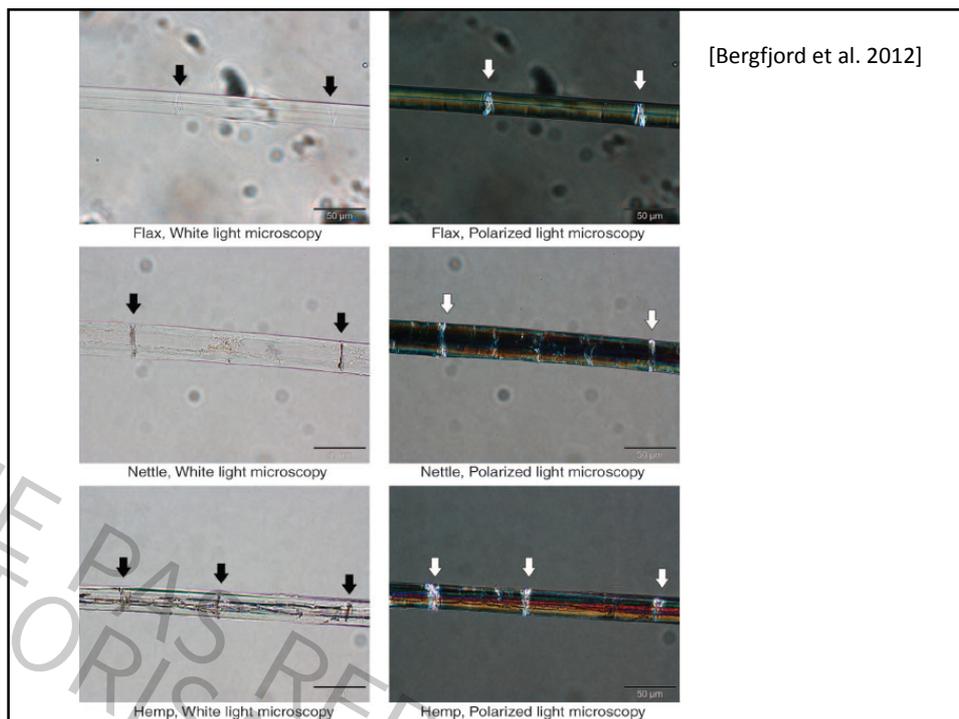
S3
Lumen

Détail de la transition S2-S3.

Détail de la transition S1-S2.

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/textiles/08-lin-fibre.html>
Roland 1995





● ● ● | Verrou 6 : Le choix des constituants

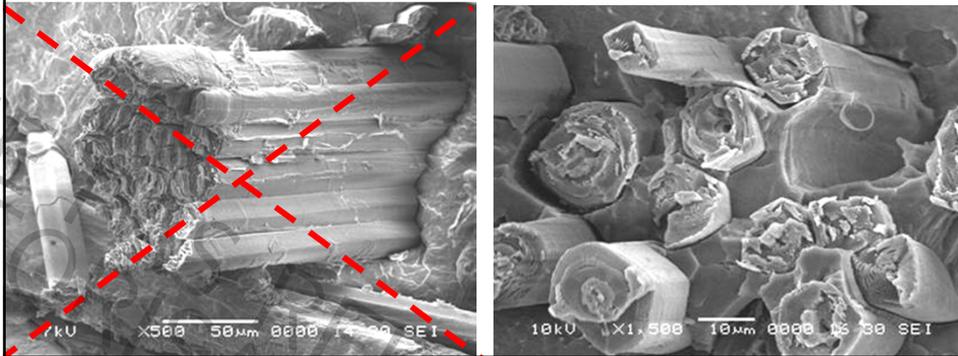
Matrice ? Fibres Végétales ? Traitements des fibres?

Matrice = Mucilage?

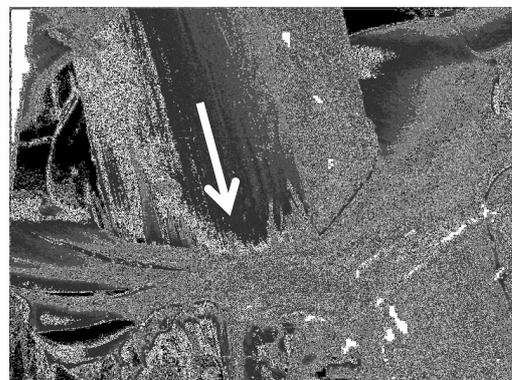
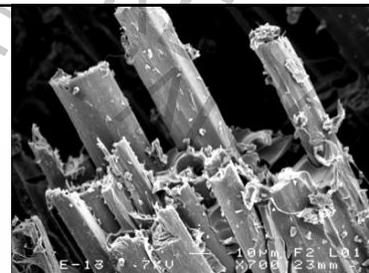
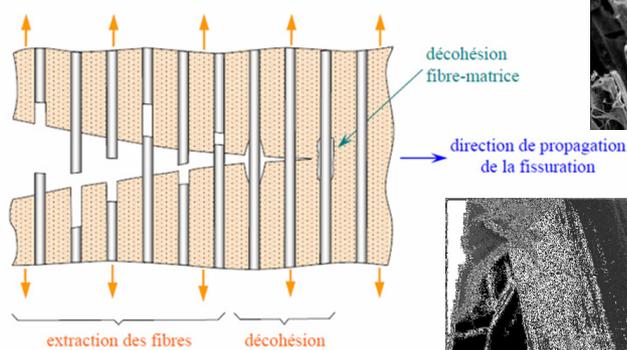
(pectines, des sucres et des protéines) [Alix et al. 2008]

● ● ● | Traitements des fibres

Extraction, division, nettoyage des surfaces, modification de la compatibilité fibre/matrice (mouillage, adhérence), diminution de la tendance hydrophile, modification de la couleur, réduction du dégagement d'odeur, amélioration de la tenue au feu, introduction d'un agent fongicide, favoriser la transformation ...

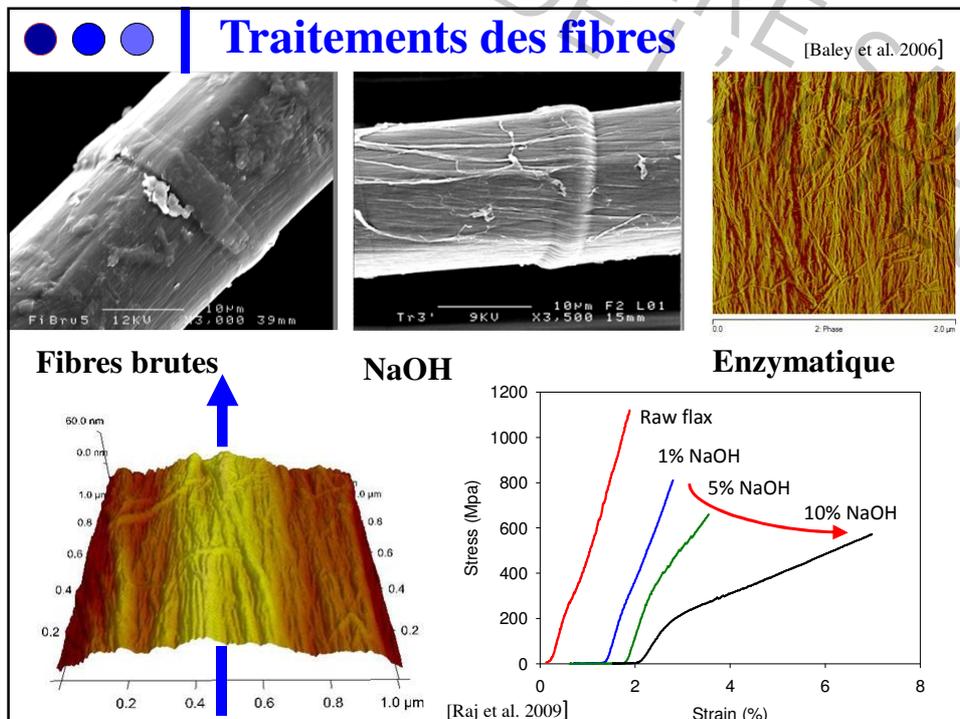
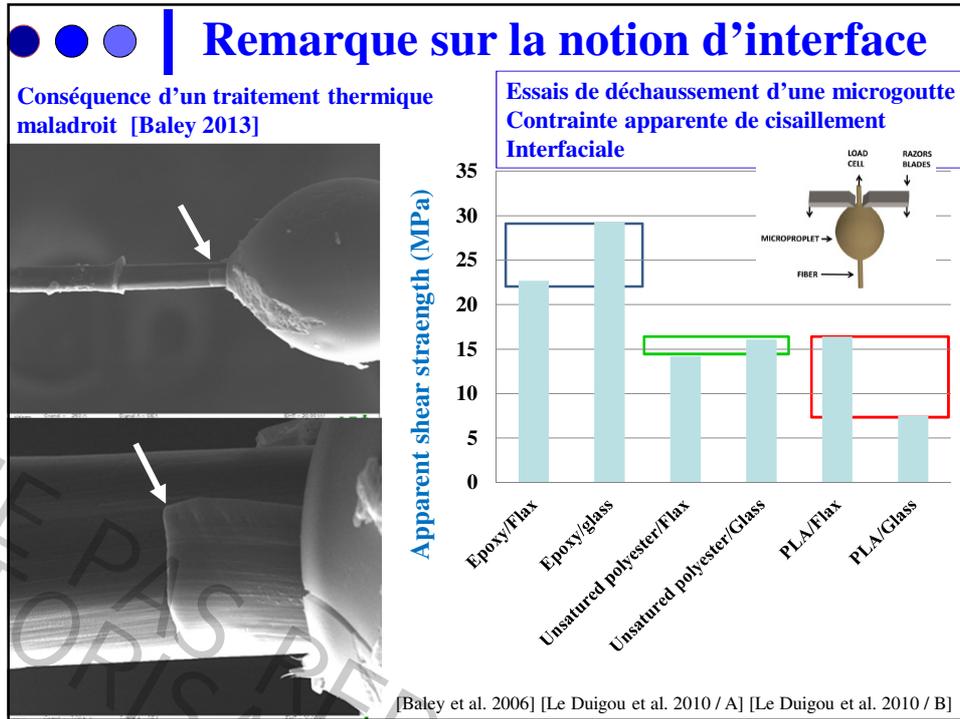


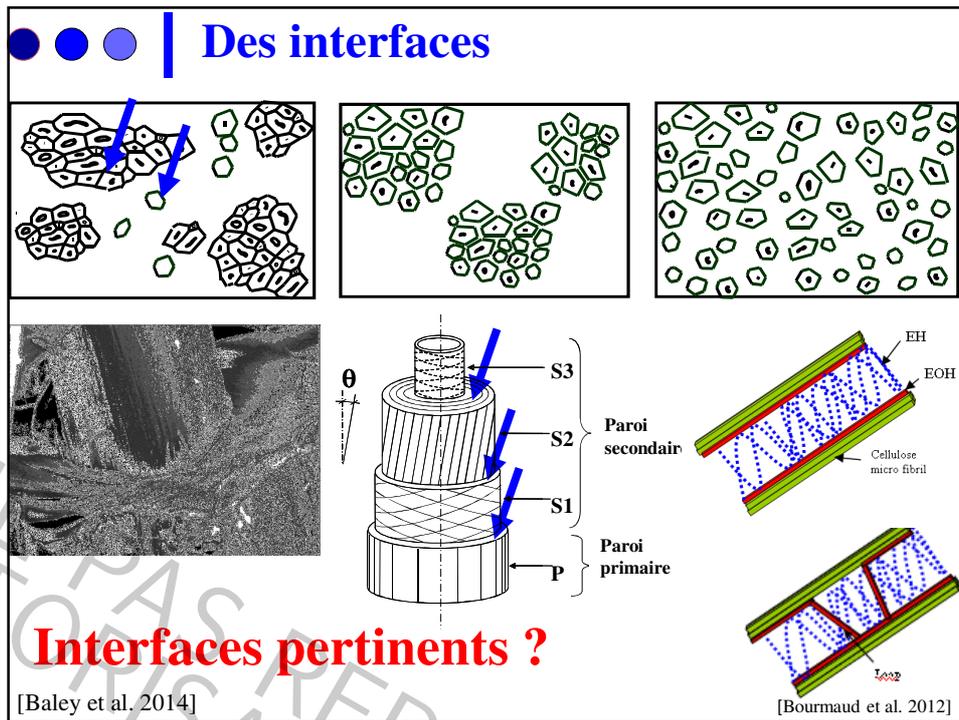
● ● ● | UD lin/époxy



Habituellement: rupture de fibres, de matrice, d'interface + déchaussement de fibres

Fibre végétale = empilement





● ● ● | **Verrou 7 :**
Adapter le process de
transformation pour
respecter les parois

● ● ● | Composition d'une fibre de lin

Composition d'une fibre de lin: 65 – 75% de cellulose + 11-17 % hémicelluloses + 2-3 % pectines + 6-8 % eau + cires + lignine

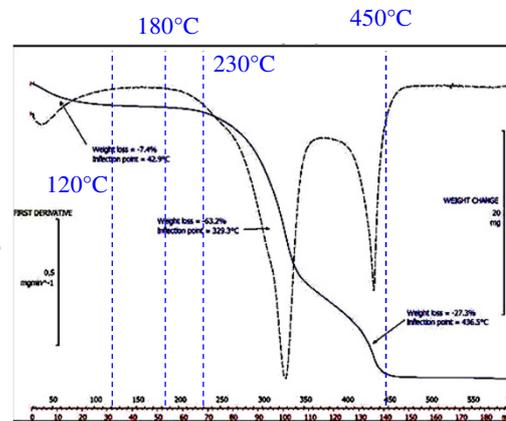
Et si on chauffe ?

Libération de l'eau

A 120 °C il n'y a plus d'eau
+ dégradation des cires,

A 180°C dégradation des pectines

A 230°C on note une dégradation
des hémicelluloses et cellulose

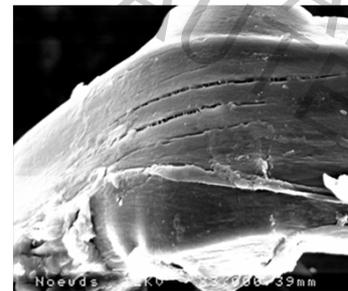


Paramètres: temps et température

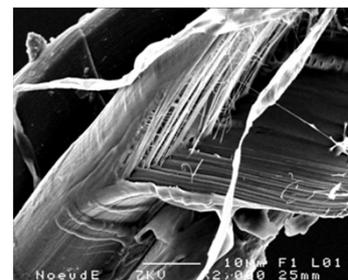
Evolution des performances avec un cycle thermique

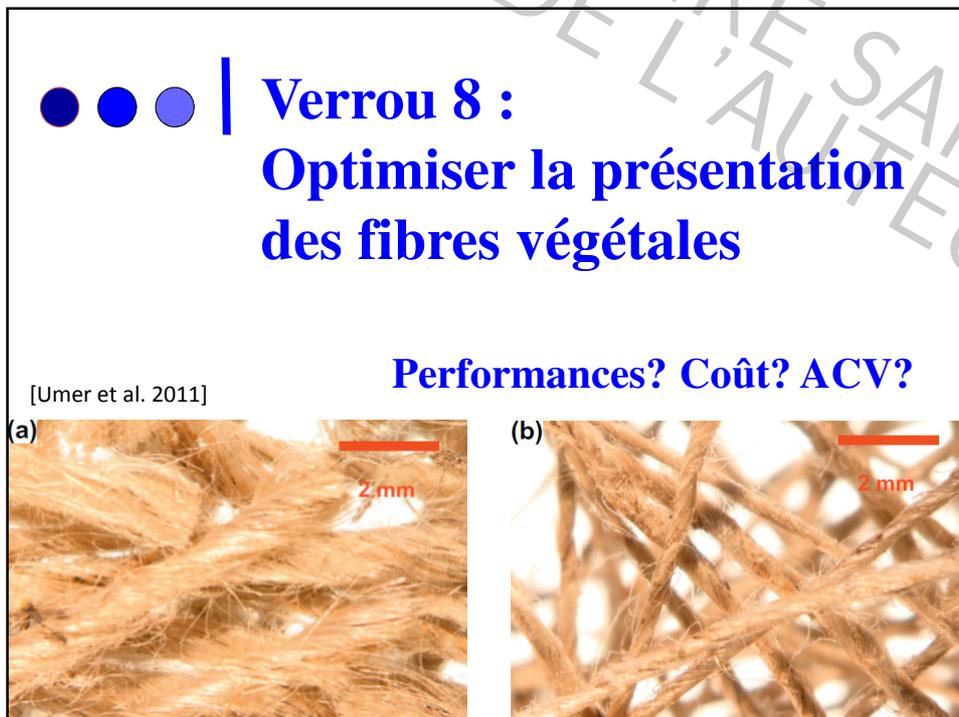
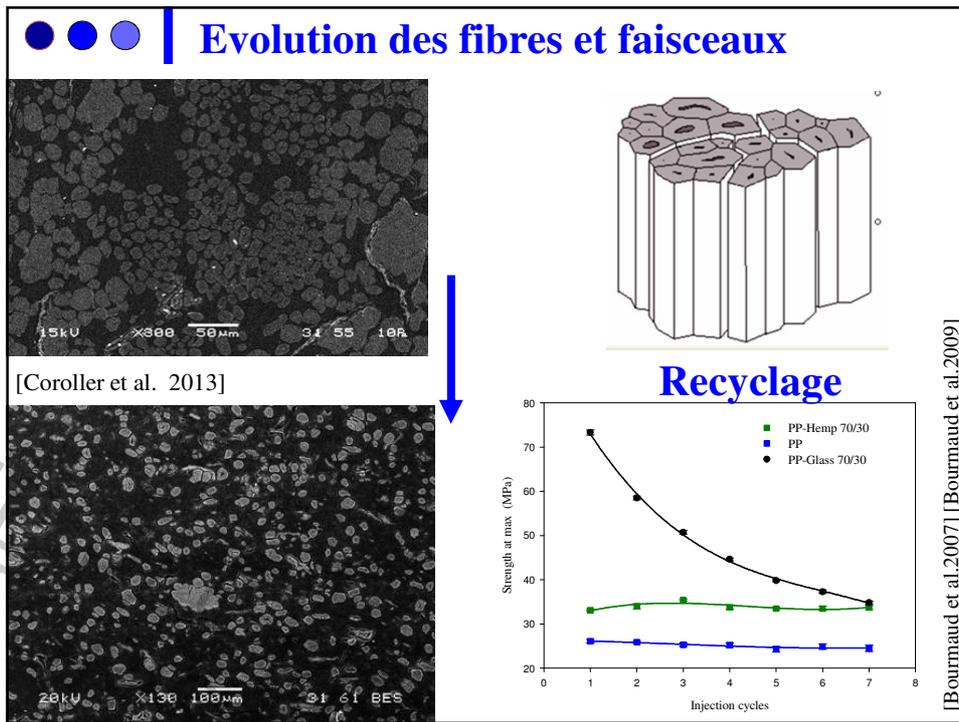
● ● ● | Fibre de lin - Influence de l'eau absorbée

**Fibre avec
7% d'eau
absorbée**



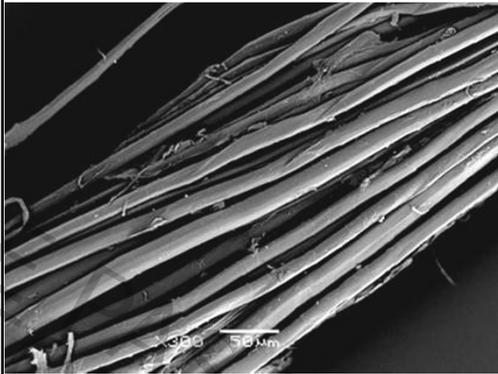
**Fibre de lin
après un
traitement
thermique de
12h à 105 C**



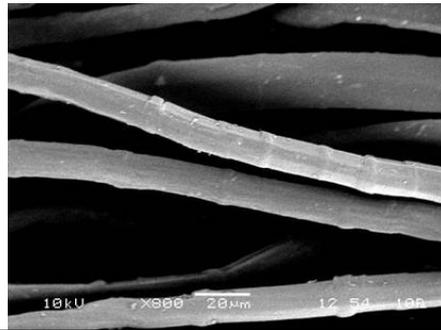


La logique de l'individualisation des fibres

Mais comment les manipuler ?



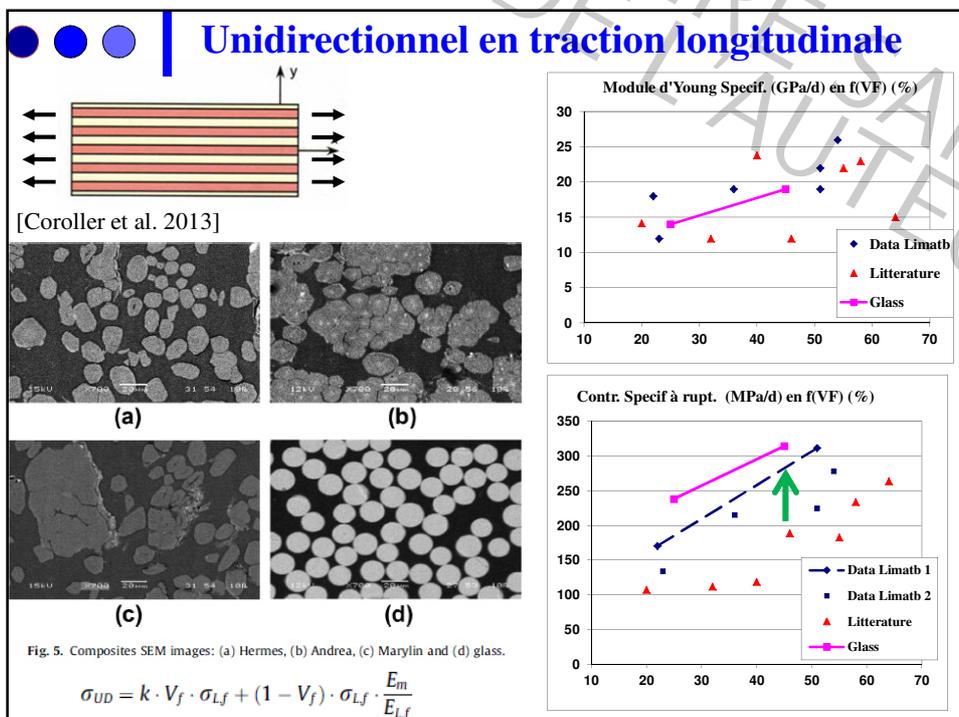
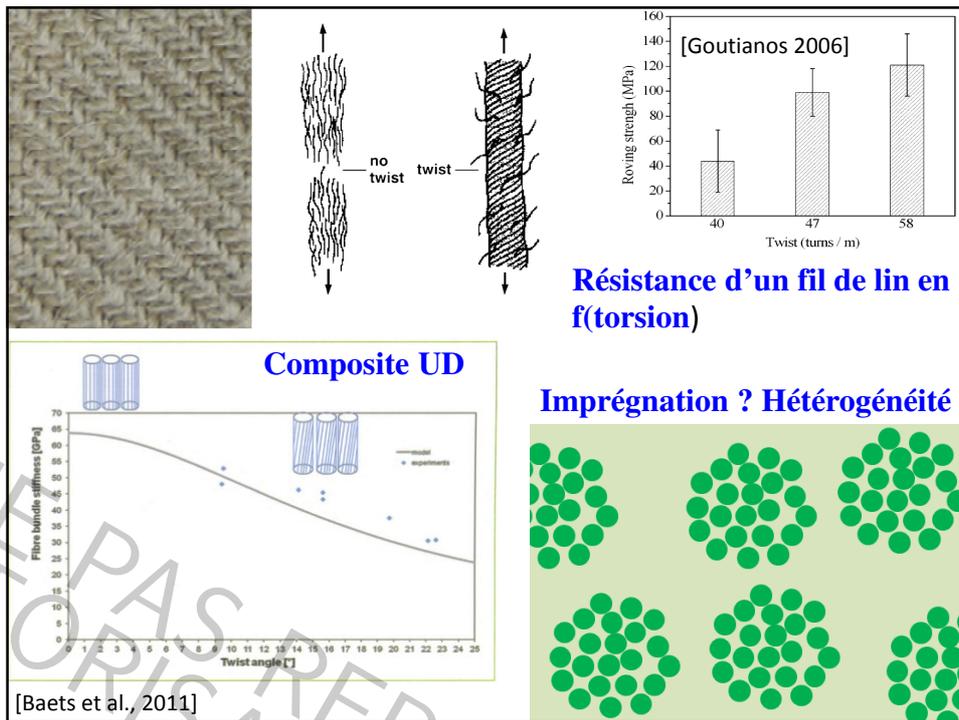
Un fil de lin est composé de fibres élémentaires torsadées

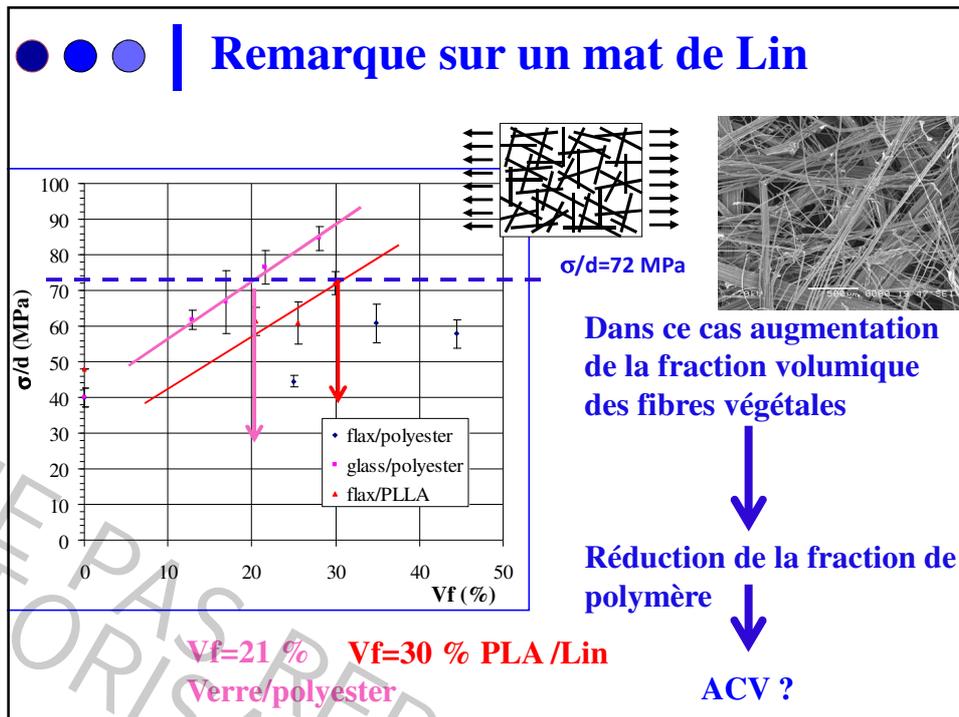


Attention aux ACV

● ● ● | 1/2 produits

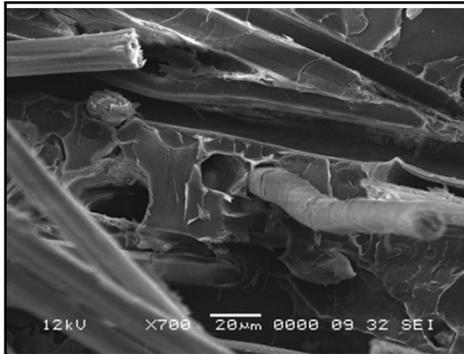






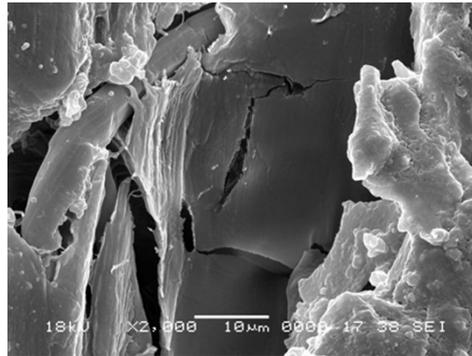
● ● ● | **Verrou 9 :**
Connaitre et maîtriser
l'évolution des propriétés
au cours du temps

Vieillessement en milieu humide, fatigue mécanique, couplages....
Biodégradation contrôlée, recyclabilité ...



SEM micrograph of injected biocomposite after 3 months' immersion at 20 C

[Le duigou et al, 2012]



SEM micrograph of film stacked biocomposite after 1 months' immersion at 40 C

Matériaux modèles

Impacts du process sur les propriétés des fibres, des interfaces, de la matrice

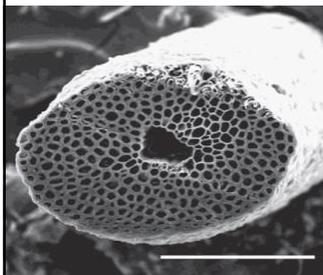
Absence de défaut (porosité, mé-alignment..)

Connaissance de la matrice

Fibres individualisées

Maîtrise de l'orientation et de la distribution des fibres

Connaissance des fibres (géométrie, section, présence d'un lumen, propriétés initiales, Adhérence fibre/matrice, ...)



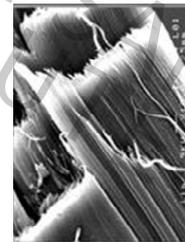
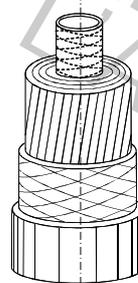
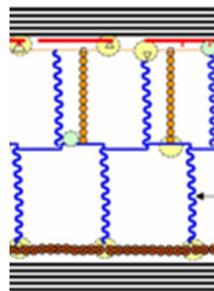
Sisal

[Franck, 2000]

● ● ● | **Verrou 10 :**
Modéliser et simuler avec
des données robustes

NE PAS REPRODUIRE
 AUTORISATION DE L'AMC SUR

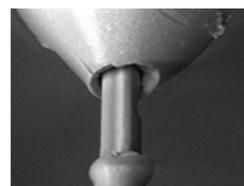
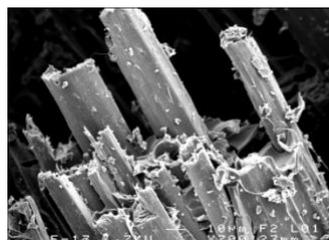
● ● ● | **Enjeux scientifiques**



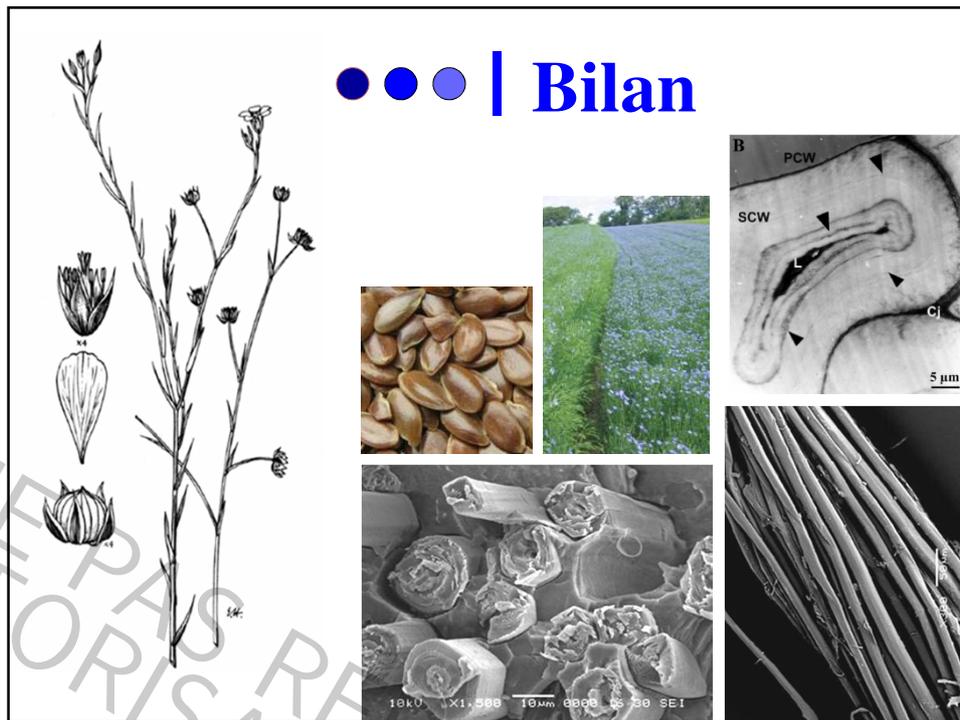
Interfaces

+ Usage
 Recyclage

Biodégradation



Procédé de transformation



● ● ● | **10 Verrous**

Verrou 1 : Savoir pourquoi on utilise les biocomposites,

Verrou 2 : Apprendre à éco-concevoir,

Verrou 3 : Définir un langage commun entre tous les acteurs,

Verrou 4 : Disposer d'une culture scientifique et technique élargie sur les fibres végétales,

Verrou 5 : Mieux connaître les tissus de soutien,

Verrou 6 : Le choix des constituants,

Verrou 7 : Adapter le process de transformation pour respecter les parois,

Verrou 8 : Optimiser la présentation des fibres végétales,

Verrou 9 : Connaître et maîtriser l'évolution des propriétés au cours du temps

Verrou 10 : modéliser et simuler avec des données robustes

● ● ● | Biocomposites / Questions de base sur:

- Les **propriétés des fibres** (origine, reproductibilité, paramètres pertinents)
- L'extraction, la présentation des fibres et la transformation du composite en **respectant les parois cellulaires**,
- La **dispersion des fibres dans un polymère** pour réaliser un matériau composite performant (maîtrise de la dispersion et de l'orientation, du mouillage, de la liaison fibre/matrice...), durable avec une (ou +) solutions de fin de vie,
- Comment « **Penser Biocomposite** » en s'inspirant des **éco-systèmes** naturels. Ce qui impose des approches multi-échelles et pluridisciplinaires. Il est nécessaire de tenir compte des spécificités des fibres végétales et d'**éco-concevoir** en tenant compte de l'anisotropie,
- La **cohérence de l'usage des fibres végétales** comme renfort (choix du polymère, des traitements, du process...)

« Ce n'est pas seulement du blé qui sort de la terre labourée, c'est une civilisation toute entière. »

Lamartine

Merci de votre attention.