



**GdR MBS**  
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



# DEPESTELE

## Culture et transformation du lin

Ecole d'automne 2024, Obernai

Antoine BARBULEE

# Chiffres clés lin textile

**3/4 de la production mondiale de fibres longues\* est réalisée en France, Belgique, Pays-Bas**

\*Fibres Longues : principal produit issu du teillage, à destination de l'industrie textile

**L'Europe, 1<sup>er</sup> producteur mondial de Lin fibre**



**+133%** d'augmentation de la surface agricole Lin **entre 2010 et 2020**

**150 000 ha en Europe de Lin en 2023** [dont 87% en France : 131 000ha]

**152 000 tonnes de fibres longues en 2022** [dont 125 000 tonnes en France]

Les fibres de Lin\* représentent aujourd'hui **< 0,5%** de la production mondiale de fibres textiles

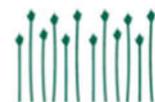
\*Fibres longues + fibres courtes

## FOCUS FRANCE

**3 régions principales linières en France :**  
**Normandie**  
**Hauts-de-France**  
**Ile-de-France**



**125 000 tonnes de fibres longues produites en 2022**



## Conditions à réunir pour qu'une production de lin soit viable

- Terres limoneuses et profondes
- Un climat tempéré au printemps (pas trop chaud, ni trop froid et humide)
- Un été pluvieux : rouissage du lin
- Suffisamment d'agriculteurs pour alimenter un teillage dans un rayon de 30 km
- Savoir-faire culture et teillage

## DEPESTELE

- 1<sup>er</sup> producteur privé mondial (10%)
- 5 usines : 3 Teillages, 1 peignage, 1 usine rovings, unité tissage (r&d)
- Entreprise très innovante

# Croissance du lin



Stades de croissance	levée	Stade 4 cm	Stade 10 cm	croissance rapide	stade mi-floraison	Stade capsule	stade maturité
Jour	> 15 <sup>ème</sup>	> 30 <sup>ème</sup>	> 40 <sup>ème</sup>		> 80 <sup>ème</sup>	> 90 <sup>ème</sup>	> 110 <sup>ème</sup>
Phénotype							
Hauteur de la tige	< 1 cm	4 cm	10 cm		60 cm	80 cm	90 cm
Somme cumulée des températures (cf. Equ.1 et 2)	50°C	120°C	250°C		550°C	680°C	950 à 1100°C
Teneur massique en fibres					37%	39%	41%

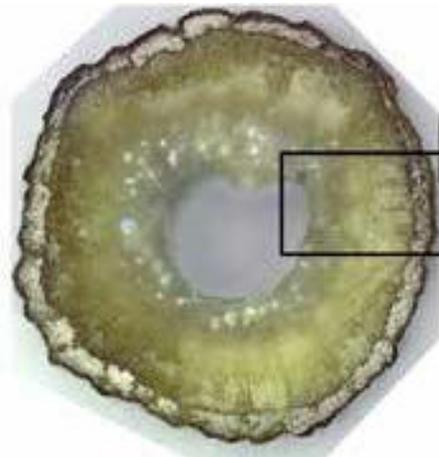
$$Cumul_{températures} = \sum_{j=1}^i \frac{T_{mini} + T_{maxi}}{2} - 5$$

# Morphologie

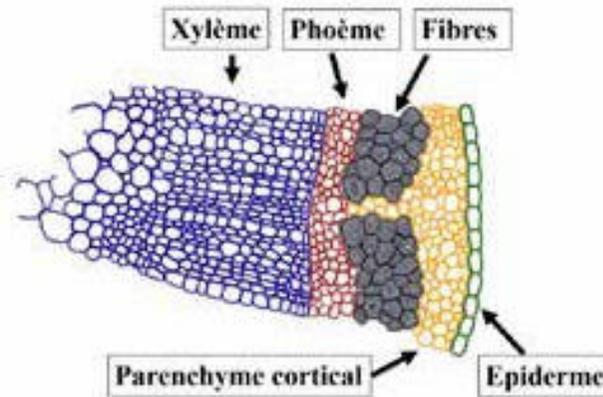


Hauteur  
90 cm

Coupe transversale



Diamètre  
2mm



Rapport de forme = Hauteur / Diamètre

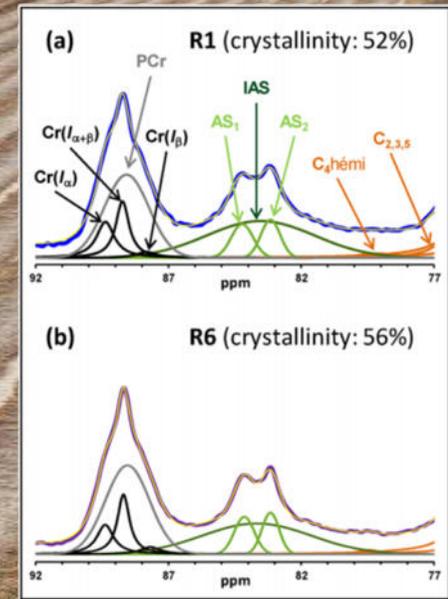
Espèce	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Rapport de forme
Lin	0,90	0,002	<b>450</b>
Chanvre	3	0,020	200
Bambou <i>Phyllostachys spp.</i>	35	0,15	233
Sequoia sempervirens	115	2	60

Depestele

# Arrachage du lin



# Rouissage du lin



Batch	Batch diameter ( $\mu\text{m}$ )	Tensile test diameter ( $\mu\text{m}$ )	$E$ (GPa)	$\sigma$ (MPa)
R1	$13.3 \pm 4.4$	$14.0 \pm 2.7$	$38.6 \pm 17.3$	$792 \pm 374$
R3	$13.0 \pm 4.0$	$14.5 \pm 2.6$	$48.6 \pm 11.8$	$935 \pm 317$
R6	$14.8 \pm 4.4$	$15.9 \pm 2.5$	$55.6 \pm 11.8$	$1036 \pm 270$

Depestele

# Récolte du lin



# Teillage

Déroutage de la balle



Broyage de la paille



Battage de la paille



Tri manuel



8% Graines  
0,5 €/kg



50% anas de lin  
0,05 €/kg



10% étoupes  
2 €/kg



20% filasse  
5 €/kg



# Classements des lins

## Classement 5 chiffres

NATURE	COULEUR	FORCE	FINESSE	HOMOGENÉITÉ/ LONGEUR
6 : GRAS 5 : STANDARD 4 : MAIGRE	7 : ARGENTÉ 6 : BLEU 5 : DEMI BLEU 4 : BLOND/LIÈVRE 3 : MALADE 2 : JAUNE 1 : NOIR	4 : TRES FORT 3 : FORT 2 : MOYEN 1 : FAIBLE	4 : TRES FIN 3 : FIN 2 : MOYEN 1 : FAIBLE	3 : HOMOGENÈ 2 : VEINÉ 1 : DÉFAUT/ LONGUEUR



## NOS MÉTIERS

### LE PEIGNAGE

La filasse issue du teillage est d'abord peignée avec des peignes de plus en plus fins. Cette opération permet d'éliminer tous les petits morceaux de paille restant et surtout de séparer petit à petit, toutes les fibres entre elles.

Ces fibres peignées sont ensuite rassemblées pour constituer un long ruban continu d'environ 35 g/m.



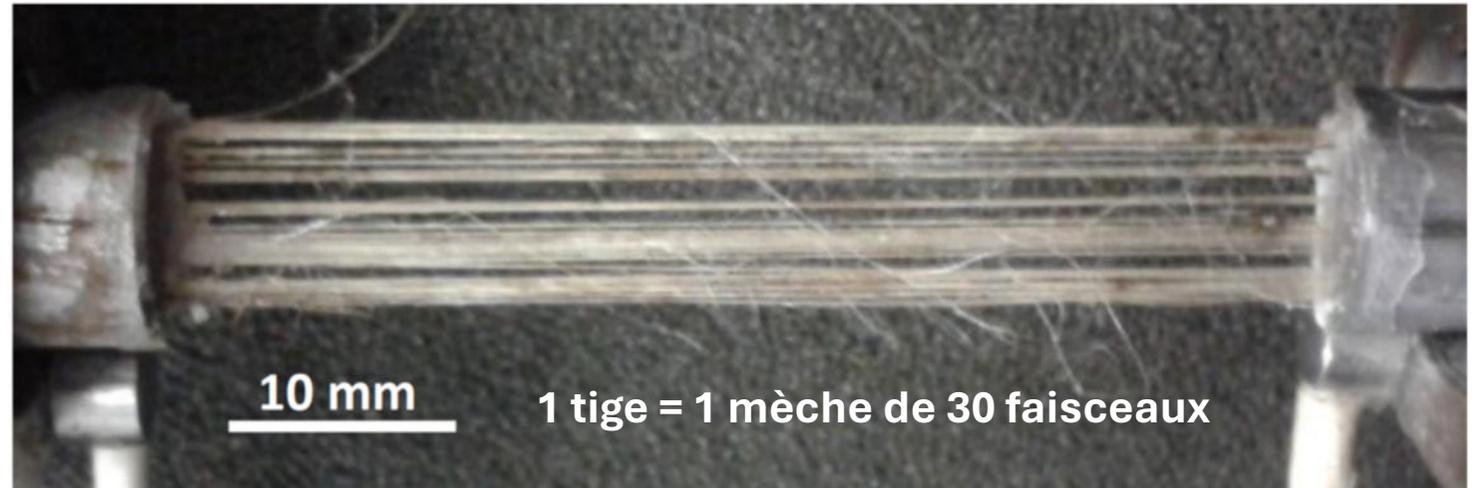
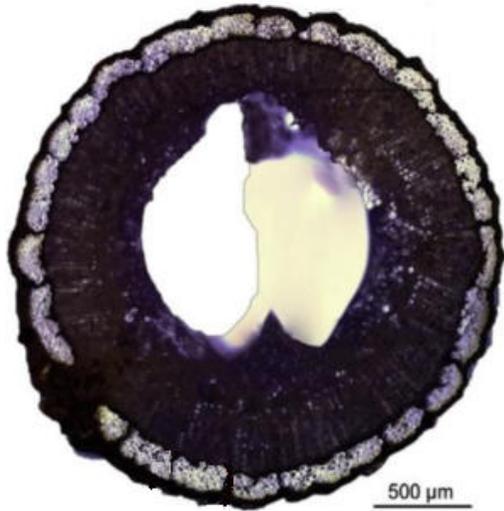
Depestele



# Peignage du lin



# Propriétés mécaniques des faisceaux de fibres



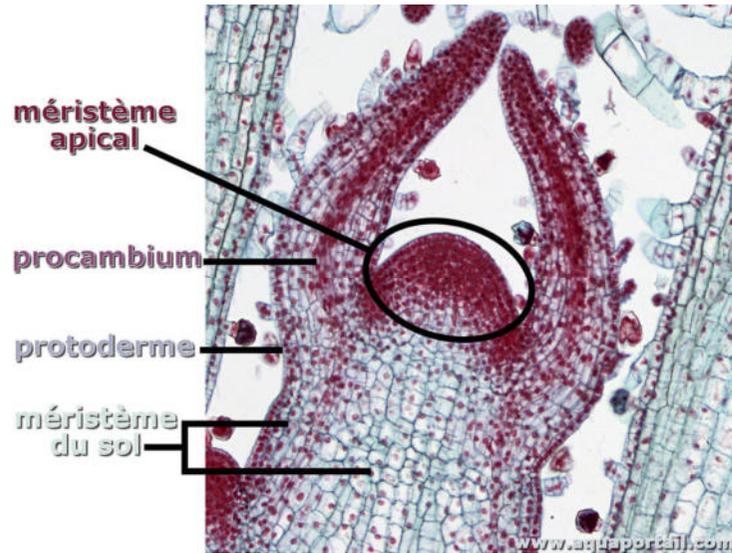
Espèce	Module d'Young en traction	Contrainte à rupture
Faisceau de lin	50 GPa	800 MPa
Faisceau de chanvre	40 GPa	500 MPa
Bambou	30 GPa	300 MPa
Bois	6 à 20 GPa	60 à 150 MPa

Cohésion entre les fibres du faisceau

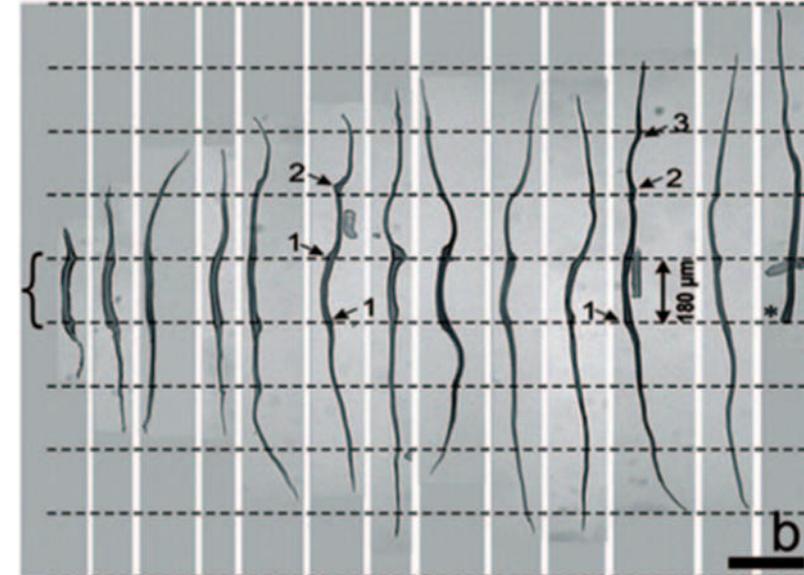
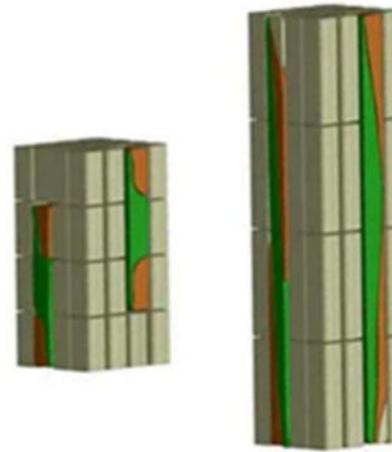
Composition et structure fibres

# Formation des faisceaux de fibres

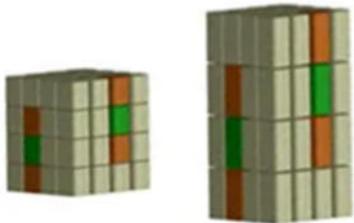
## 1) Création et spécialisation des cellules végétales



## 3) 2ème Elongation dite Intrusive



## 2) 1ère Elongation dite coordonnée



Lieu:

0 à 1mm du MAC

Dans tous les tissus

L0mm=20 microns

L1mm=200 microns

Lieu:

1mm à 50mm du MAC

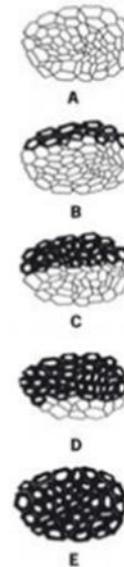
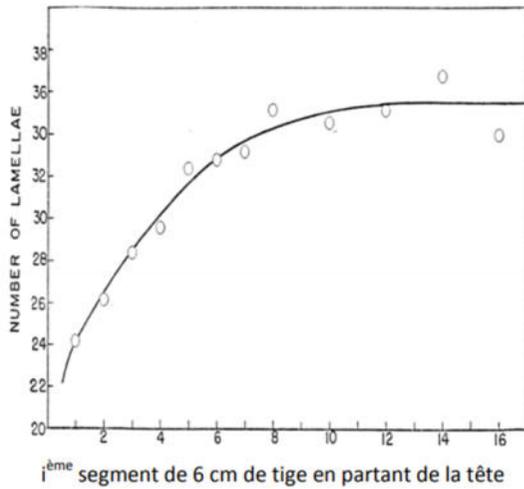
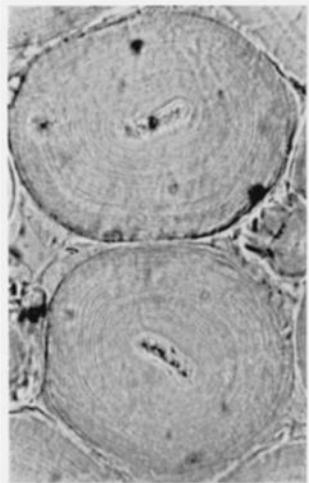
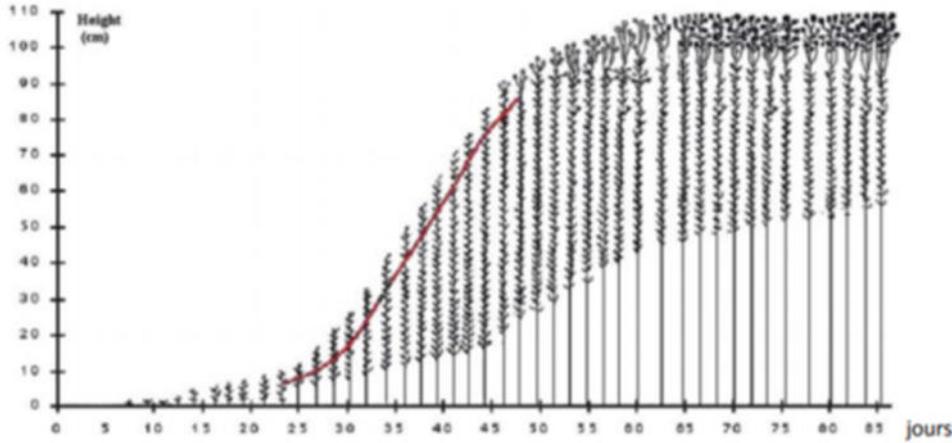
Uniquement dans cellules des faisceaux de fibres

L1mm=200 microns

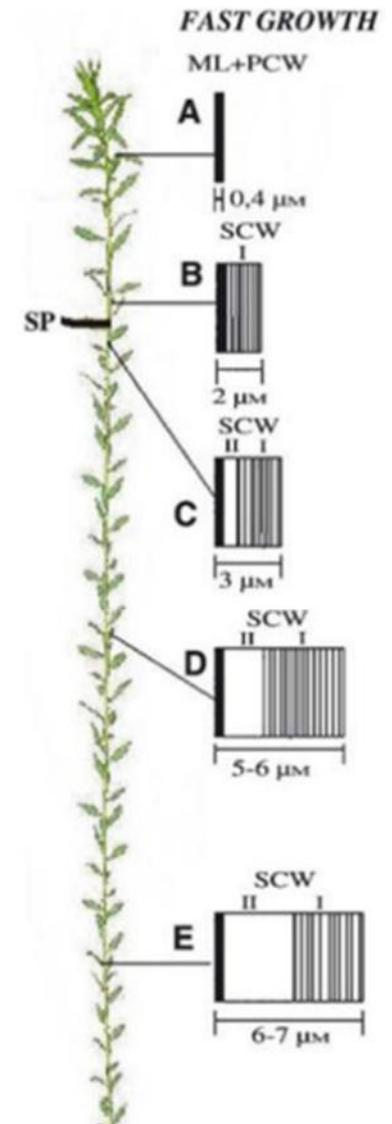
L50mm=2 centimètres (x100)

# Formation des faisceaux de fibres

## 4) Croissance en épaisseur



20 cm

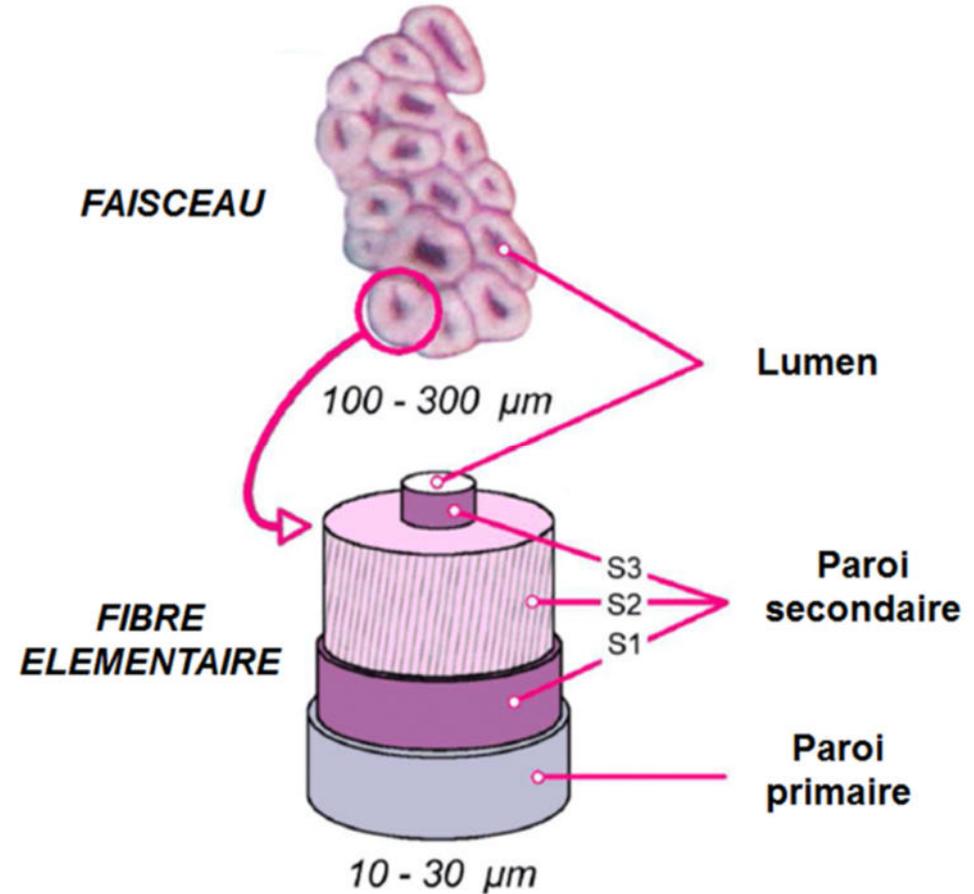
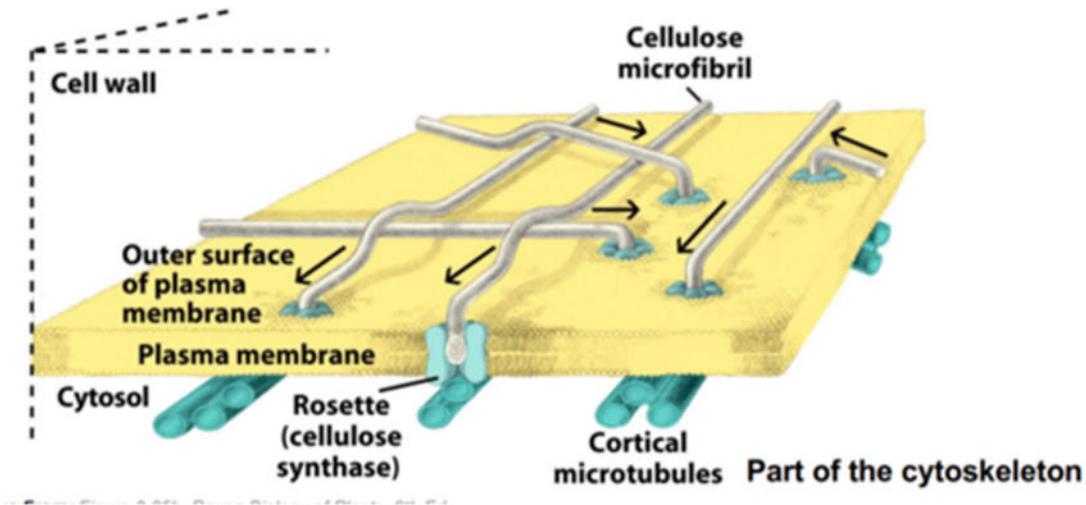


Hock, C. W. Microscopic structure of flax and related bast fibers. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 29, 41-49. 1942.

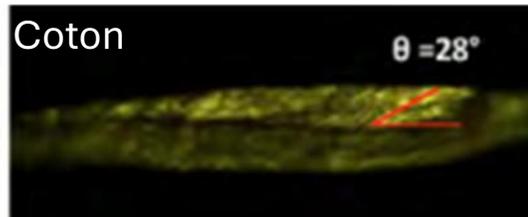
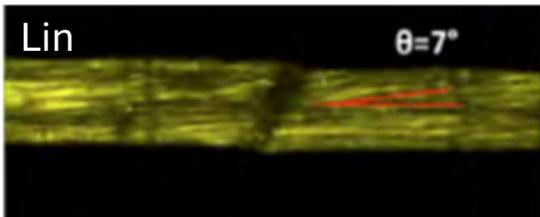
Gorshkova TA, Sal'nikov VV, Chemikosova SB, Ageeva MV, Pavlencheva NV, van Dam JEG. The snap point: a transition point in *Linum usitatissimum* bast fiber development. Ind Crops Prod 2003;18:213-21. doi:10.1016/S0926-6690(03)00043-8.

# Formation des fibres

## 1) Polymérisation de la cellulose



Angle microfibrillaire



Thèse Alessia Melelli

### Propriétés mécaniques de la fibre unitaire

Module d'Young : 60 Gpa

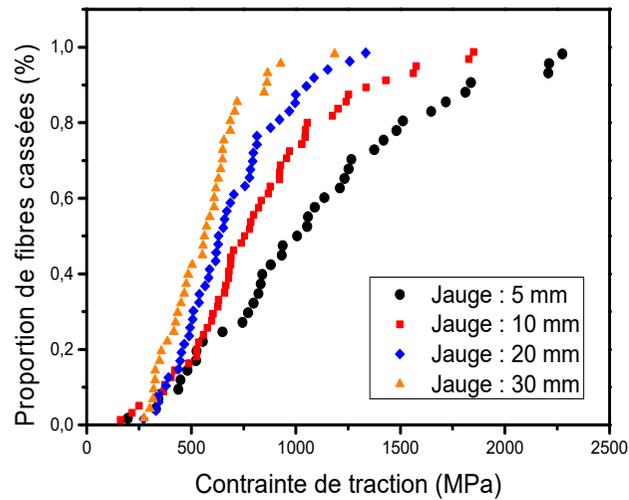
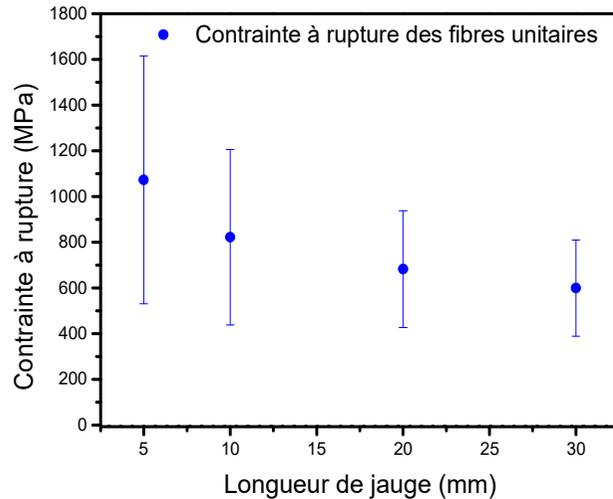
Contrainte à rupture de 1100 Mpa

D=1,4

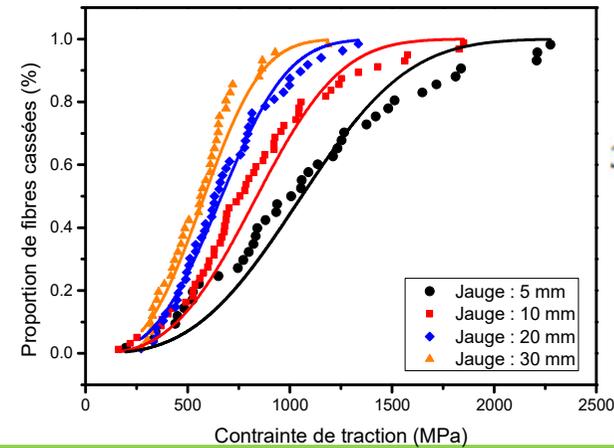
# Effet de la longueur de jauge sur les propriétés mécaniques des fibres

## - Contrainte à rupture des fibres

### Données expérimentales



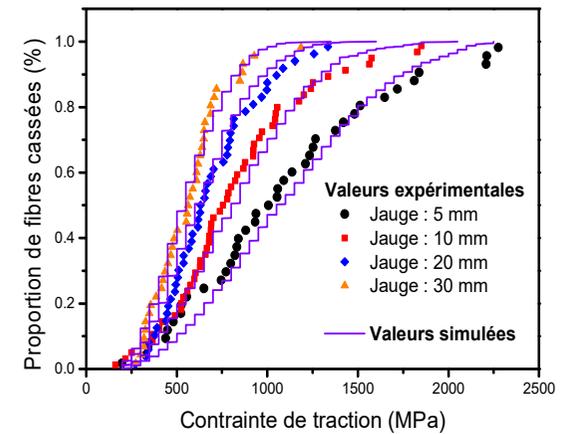
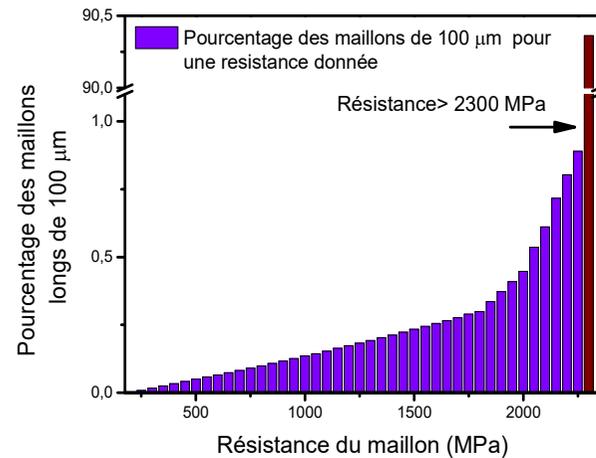
### Analyse de Weibull



$$y = 1 - \exp\left(-\left(\frac{L}{L_0}\right) * \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right)$$

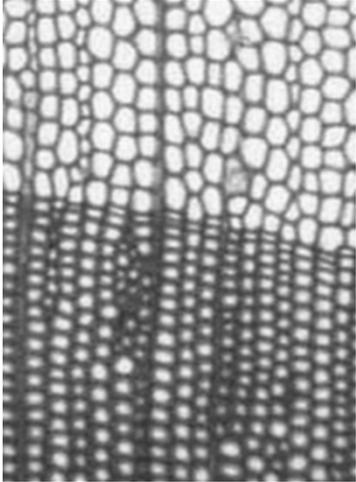
m : facteur de forme  
 $\sigma_0$  : facteur d'échelle

### Modélisation numérique

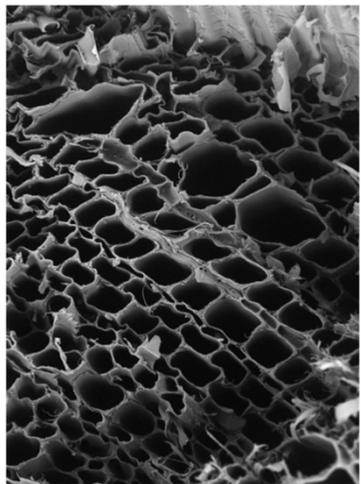
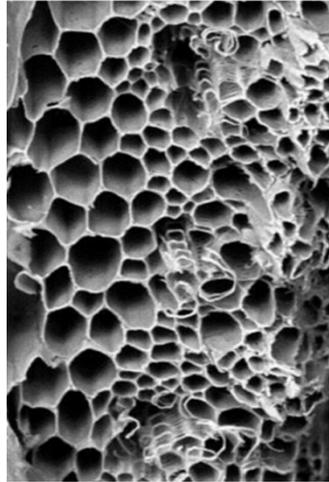


# Tige de lin : le xylème

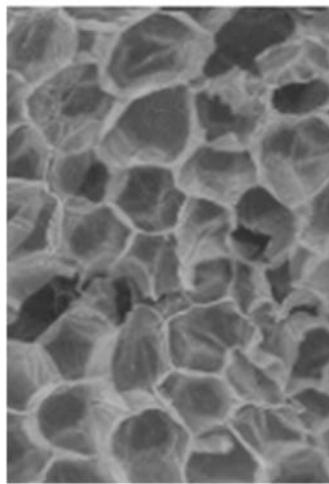
Pin



Anas de lin



Chênevotte



Moelle de tournesol

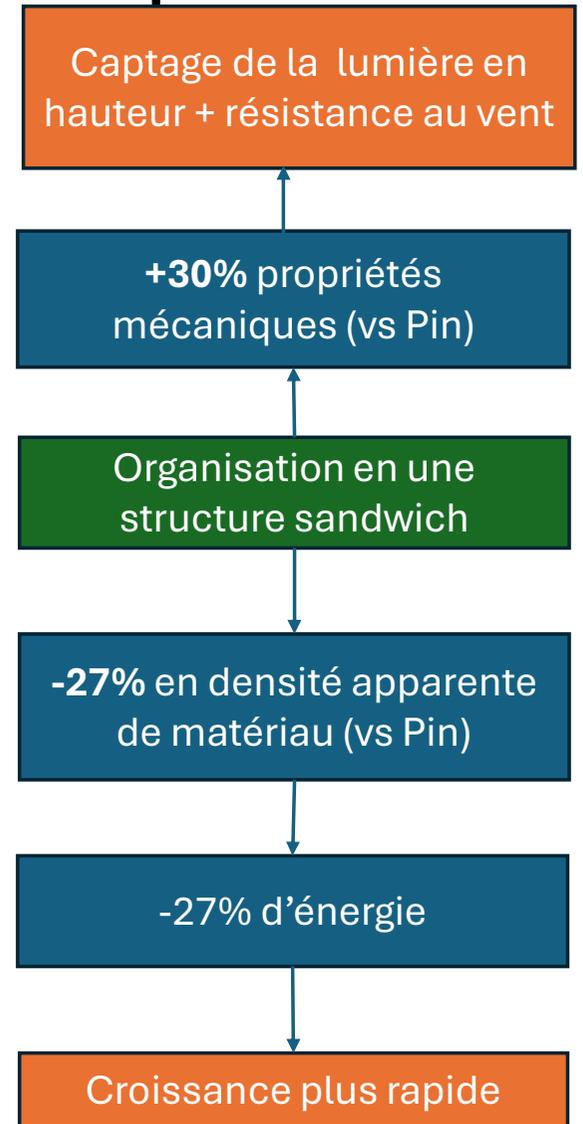
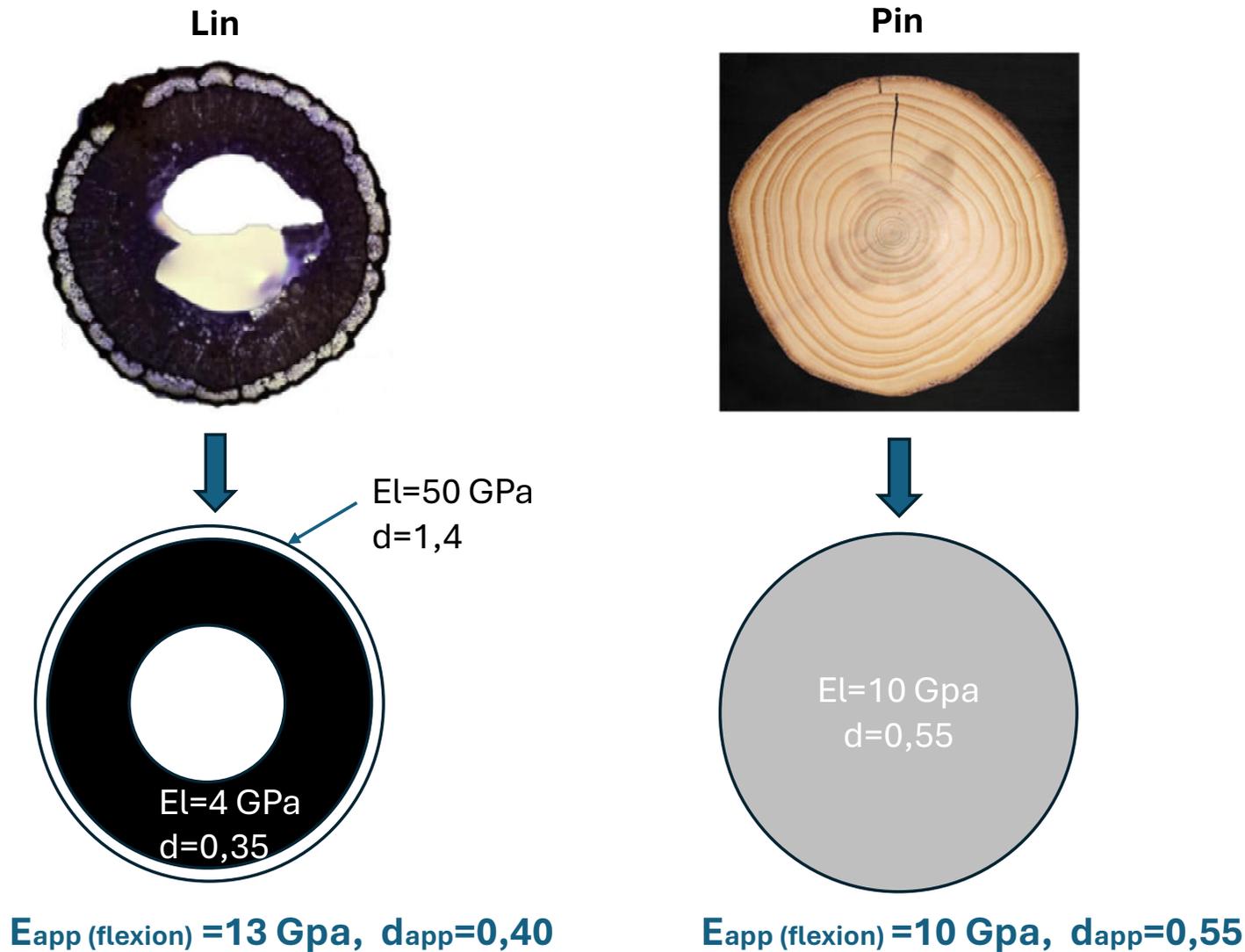
Espèce	Densité** approximative	Module longitudinal
Pin	0,55	10 GPa
Lin (xylème)	0,35	4* GPa
Lin (faisceau de fibres)	1,4	50 GPa
Chanvre	0,3	4* GPa
Tournesol (xylème?)	0,1*	?

\*Estimations, \*\* densité=masse sèche/(volume paroi + volume lumen)

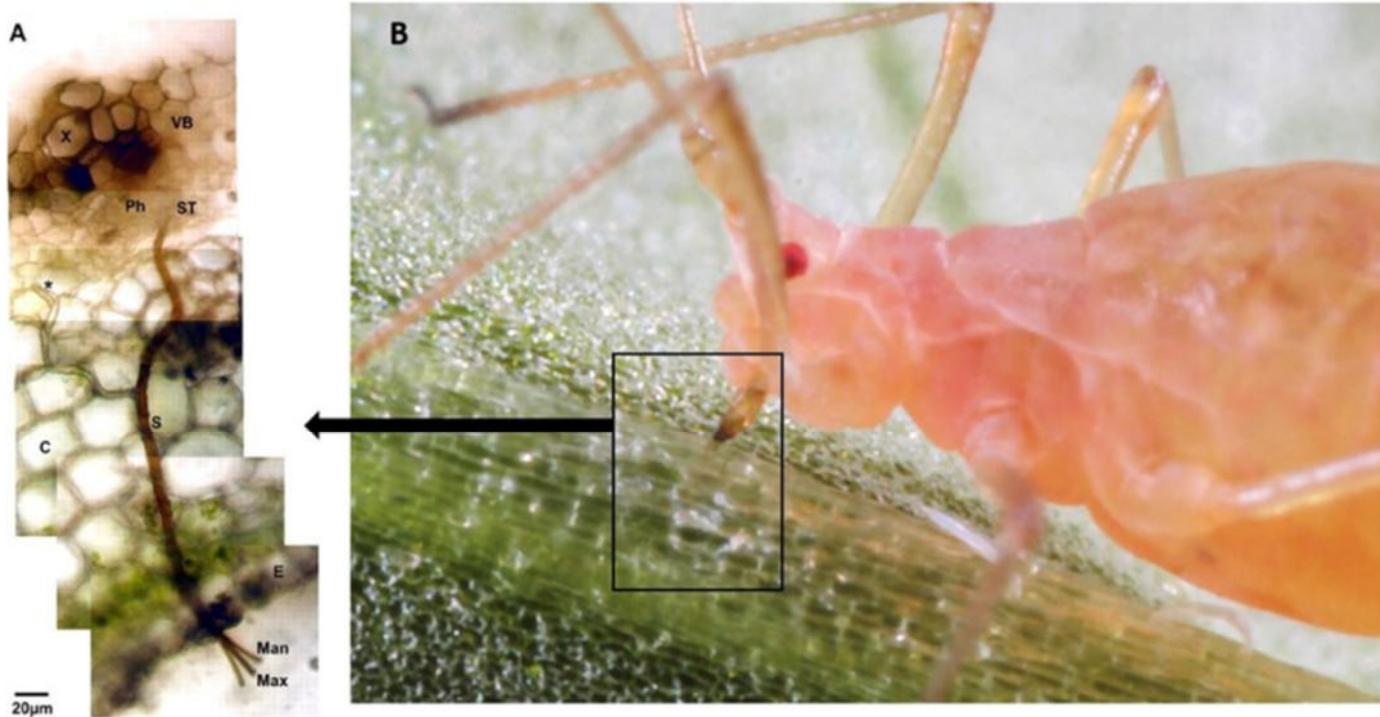


Anas de lin, densité vrac 0,1

# Tige de lin : modélisation mécanique simplifiée



# Tige de lin : Autres avantages de l'organisation en structure sandwich



Trajet des stylets du puceron dans les tissus de la plante (A) Observation en microscopie optique du trajet des stylets du puceron *Megoura viciae* dans *V. faba* (Hewer, 2011). (B) Photographie du puceron *Acyrtosiphon pisum* lors de la prise d'un repas sur *V. faba* (crédit : Bruno Serrate, INRAE CBGP).

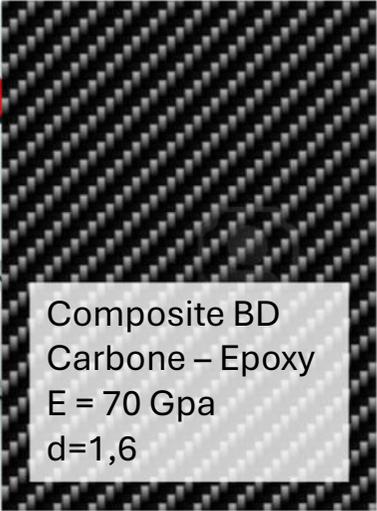


Production Locale de la matière première pour construire les faisceaux de fibres

# Analogies



→  
-33 % d'émissions de CO2



Composite BD  
Carbone – Epoxy  
E = 70 Gpa  
d=1,6

→  
-1000% d'émissions  
de CO2



BD Lin – Epoxy = 12 GPa



Composite BD  
Lin – Epoxy  
E = 12 Gpa  
d=1,32

# Applications Bâtiment



Fibre de lin coupée



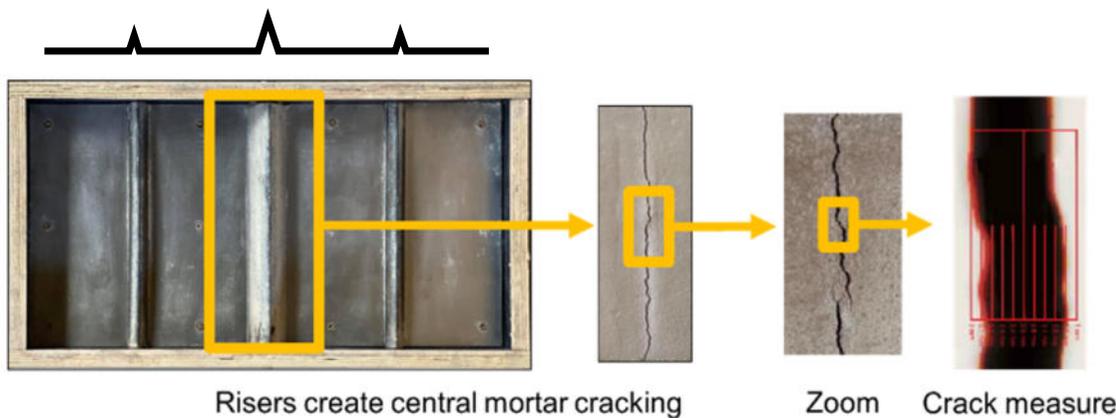
- Longueur = 12 à 36mm
- Panneaux de facade préfabriqués
- Amélioration des propriétés mécaniques du béton au jeune âge quand le béton n'a pas atteint sa résistance maximale
- Perte de propriétés ensuite (alkalinité du béton)

# Intérêts des fibres de lin pour le mortier

Travaux IUT Tarbes, Saad, Kaboré, Pouani, Sabathier

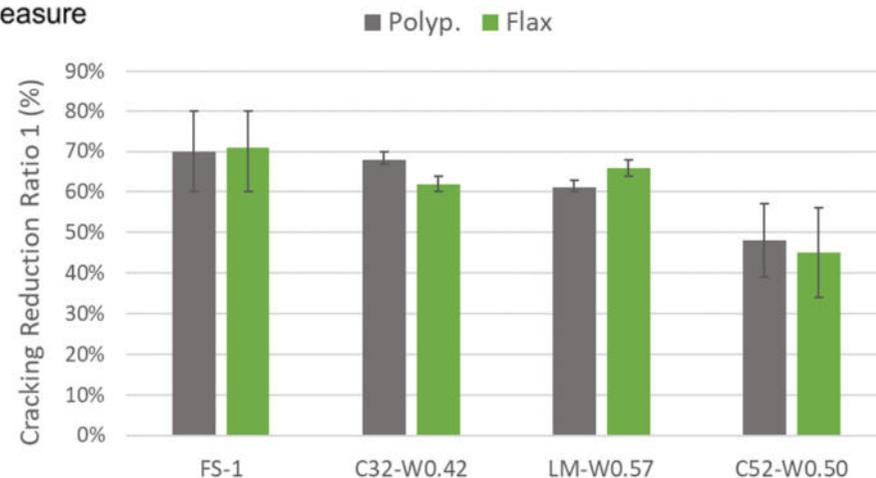
Contexte réglementaire : fibres naturelles : alternatives aux fibres de PP dans les bétons (microplastiques)?

Fissuration au jeune âge  
0,3 % fibres en masse de liant

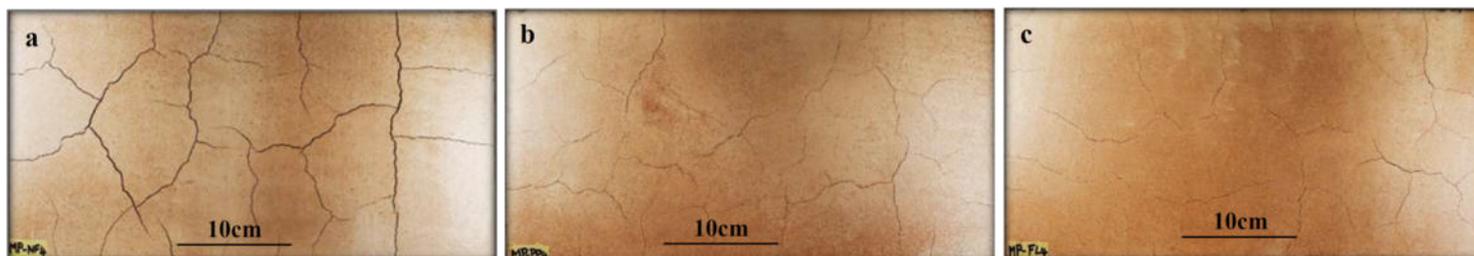


$$CRR_1(\%) = \left(1 - \frac{W_f}{W_{nf}}\right) \times 100$$

Quantification via essai sur moules avec surélévations pour plusieurs formulations de référence



## Enduit sur bloc de chanvre

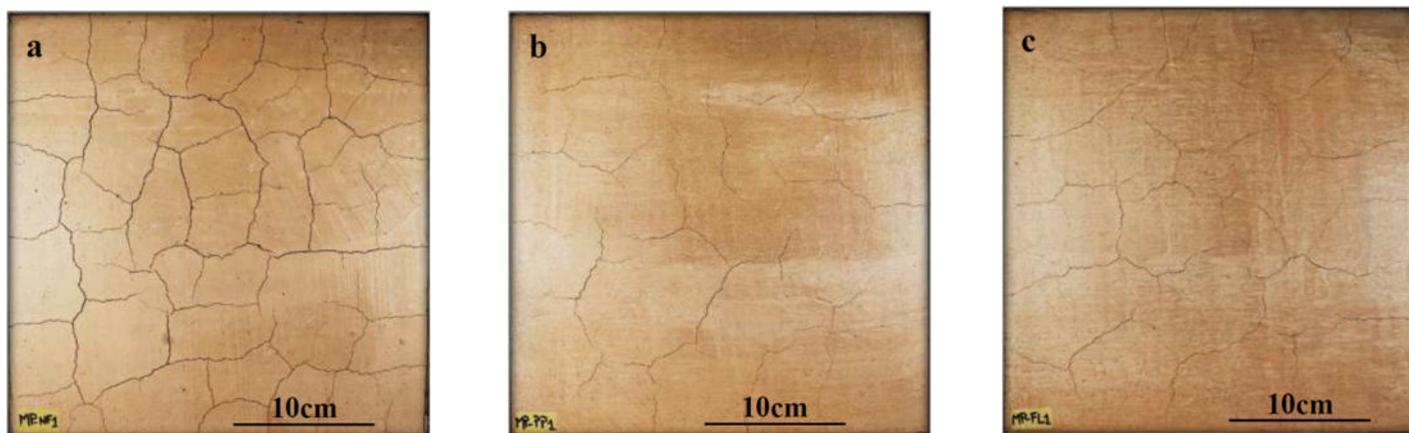


NF

PP

Lin

Fissuration au jeune âge  
0,3 % fibres en masse de liant



## Enduit sur fibre de bois rigide

# Intérêts des fibres de lin pour les enduits

Travaux IUT Tarbes, Saad, Kaboré, Pouani, Sabathier



Contexte réglementaire : fibres naturelles : alternatives aux fibres de PP dans les bétons (microplastiques)?

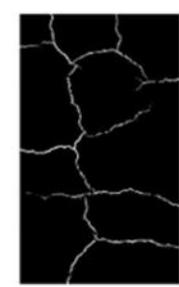
Fissuration au jeune âge



$$CRR_2(\%) = \left(1 - \frac{A_f}{A_{nf}}\right) \times 100$$



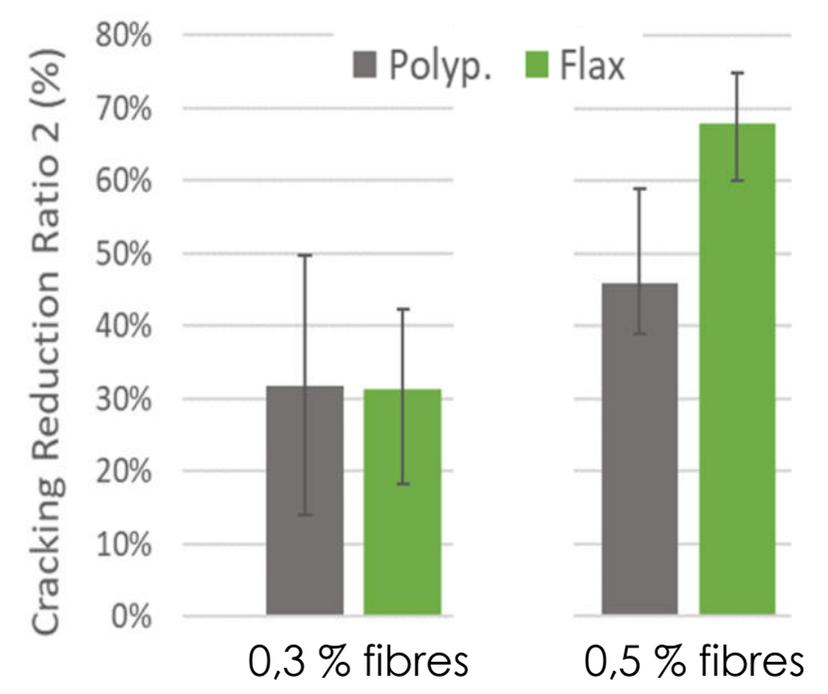
Surface picture



Numerical treatment

White / Black Pixel counting

Quantification via essai sur briques



# Intérêts des fibres de lin pour le mortier

Travaux IUT Tarbes, Saad, Kaboré, Pouani, Sabathier



TARBES

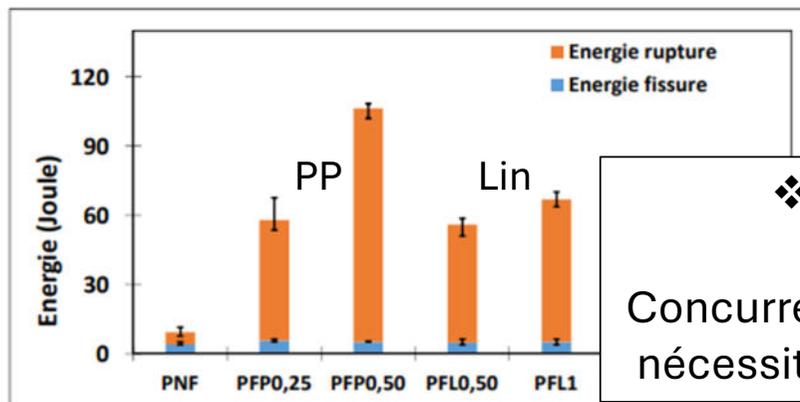
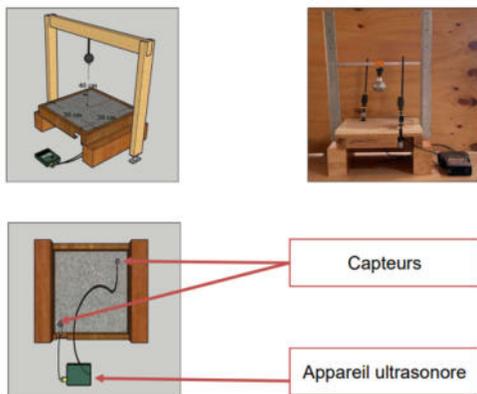
UNIVERSITÉ TOULOUSE III

**Contexte réglementaire :** fibres naturelles : alternatives aux fibres de PP dans les bétons (microplastiques)?

Fissuration au jeune âge

- ❖ **Fibres de lin FlaxFibF12** Alternative efficace aux fibres de PP
- ❖ Poursuite des travaux dans un projet ADEME **Colibri 2024-2027**

Résistance à l'impact



❖ **Fibres de lin FlaxFibF12**  
 Concurrence plus difficile des fibres de PP, nécessité de dosage plus important en lin

# Les Bétons Isolants



# Les Bétons Isolants de Lin



1. Leger: 320 kg/m<sup>3</sup>
2. Isolant: 0,071 W/m/K – R=4,2 en 30cm
3. Perspirant et hygro-régulant
4. Fort déphasage et faible effusivité
5. Confort acoustique (absorption et isolation)
6. Bas carbone

BLOC STRUCTUREL



ISOLANT PROJETE



## Objectif

Mettre au point le **1<sup>er</sup> bloc structurel et isolant** en béton **biosourcé**

- > **Bloc porteur** : classe mini B30
- > Conductivité thermique :  $R=1$  (20 cm)
- > Neutre en carbone



**Builders  
FOR SOCIETY**  
ÉCOLE D'INGÉNIEURS

Recrutement  
d'un post doc

**Applications composites**



**JEC WORLD**  
**2024** The Leading International  
Composites Show  
March 5-7, 2024 | PARIS-NORD  
VILLEPINTE





2012 D-01  
FR-G SAILS



Merci de votre attention

Antoine BARBULEE  
abarbulee@depestele.com

<https://groupe-depestele.com/>