

Vie de la fibre dans l'élaboration des polymères chargés. Particularité de l'utilisation des fibres végétales

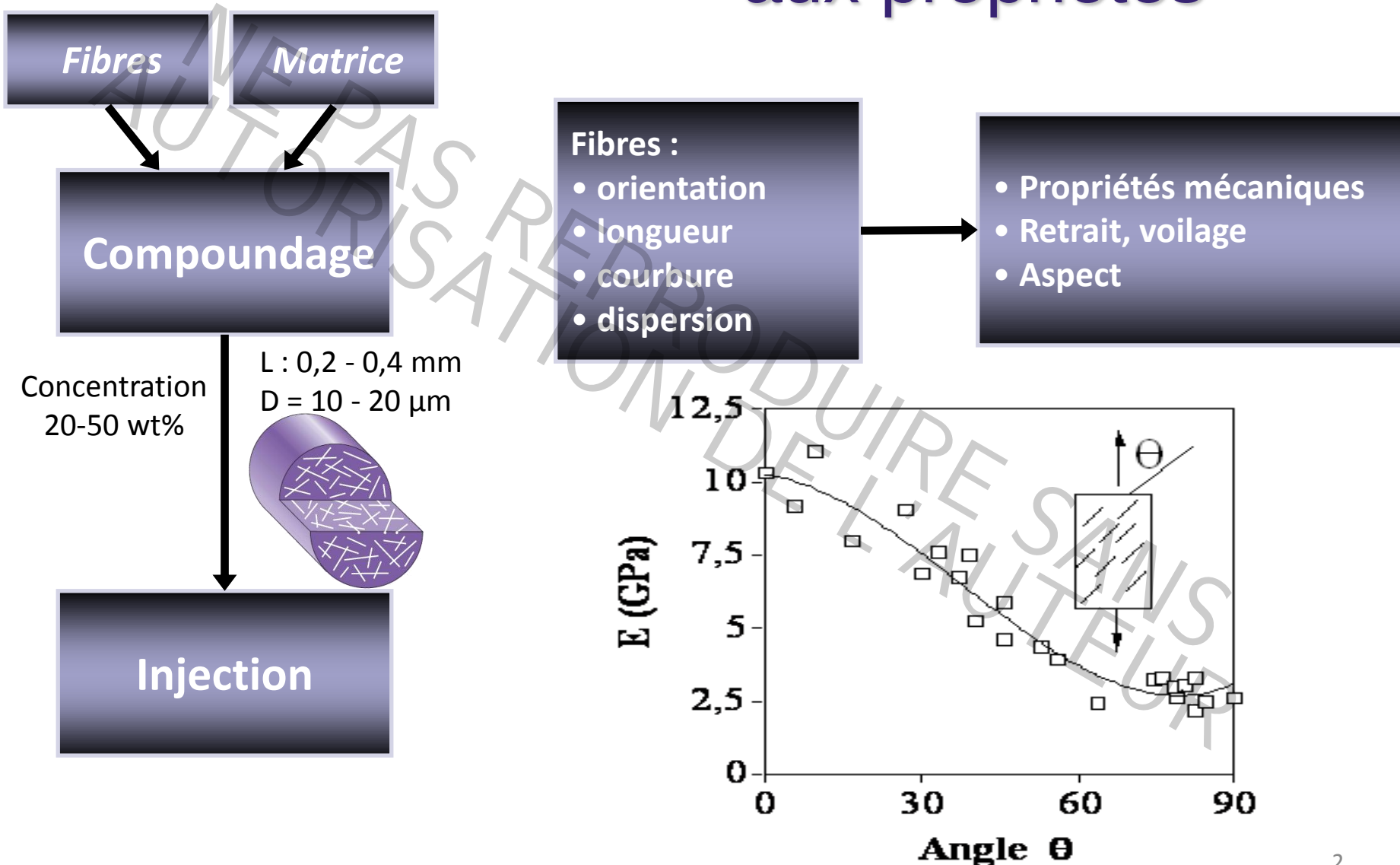
M. Vincent, T. Budtova, R. Valette, B. Vergnes

Cemef, MINES ParisTech, UMR CNRS 7635
Sophia Antipolis

Associés : P. De Micheli, A. Durin, F. Inceoglu, P. Laure,
A. Le Duc, N. Le Moigne, L. Silva, J. Ville

Chaire bioplastiques : Arkema, l'Oreal, Nestle, PSA et
Schneider Electric

Des constituants aux propriétés



Plan

❑ Réalisation du mélange fibres – matrice

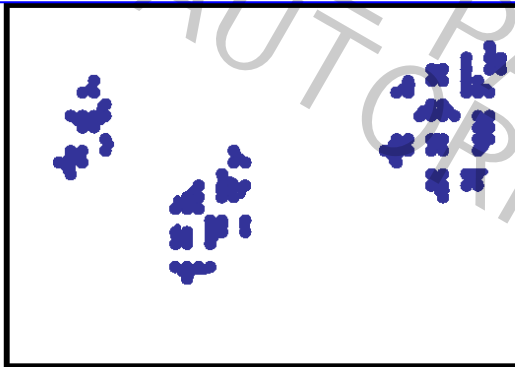
- L'extrusion bivis
- Fibres de verre : longueur, mécanismes de casse
- Fibres végétales: longueur, mécanismes de casse

❑ Mise en forme par injection

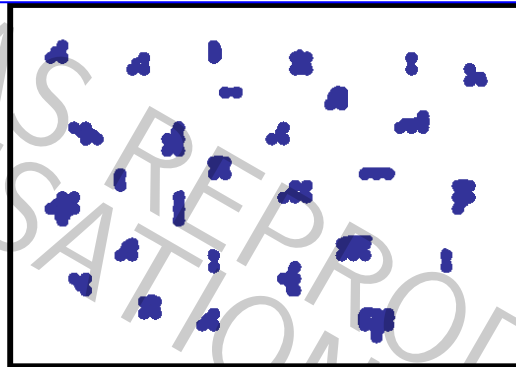
- L'injection
- Fibres de verre :
 - Taux de fibres
 - Longueur
 - Orientation
- Les fibres végétales

Le compoundage : réalisation du semi produit

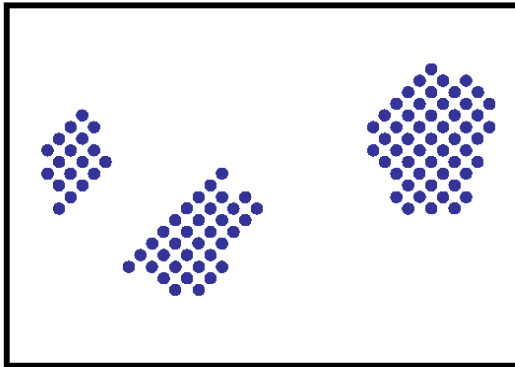
Deux types de mélange :



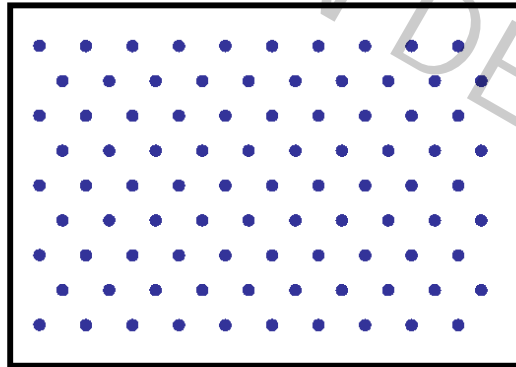
Mauvaise distribution, mauvaise dispersion



Bonne distribution, mauvaise dispersion



Mauvaise distribution, bonne dispersion



Bonne distribution, bonne dispersion

Distributif :

homogénéiser la
répartition des charges

Dispersif :

casse des agrégats

Fibres végétales : séparation des
faisceaux en fibres

en minimisant la casse des fibres

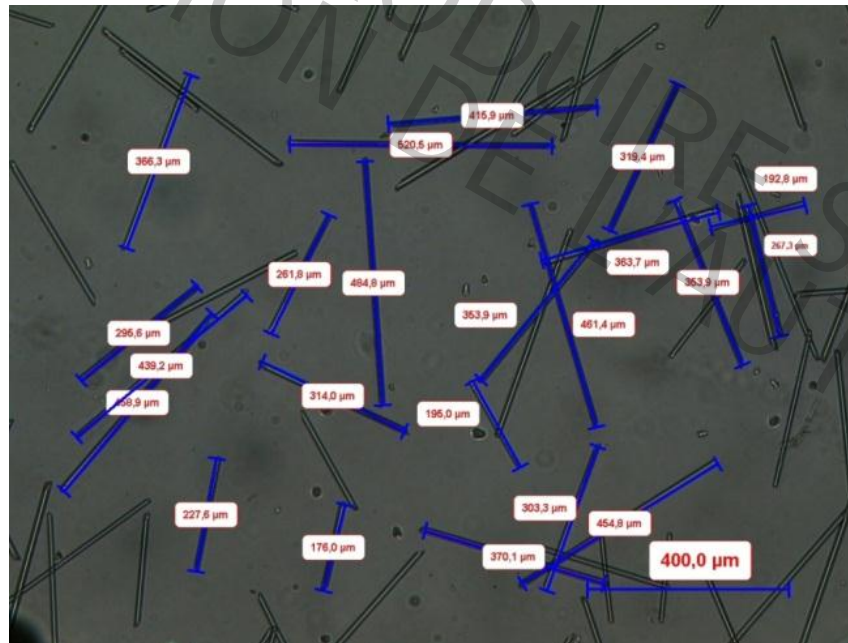
L'extrusion bivis



Vers le
granulateur

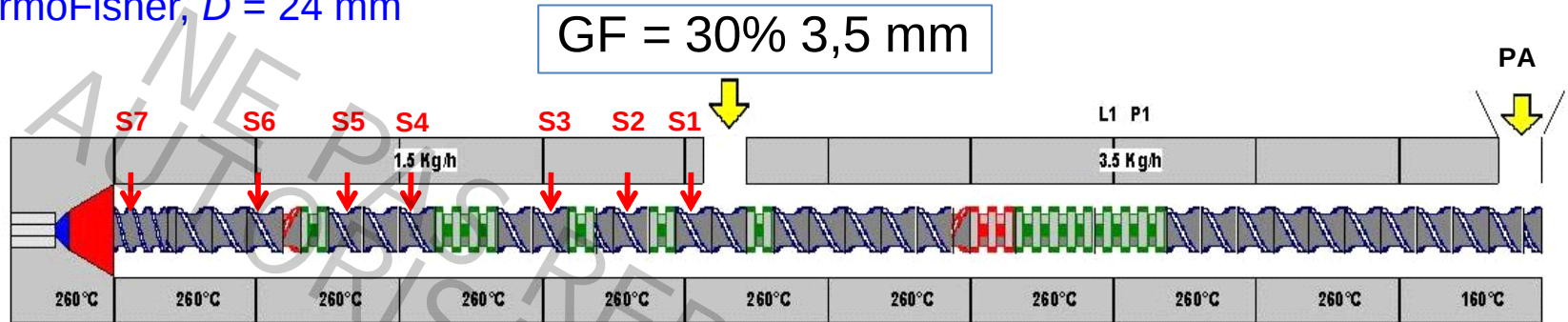
Fibres de verre

Evolution de la longueur en extrusion bivis Mécanismes de casse

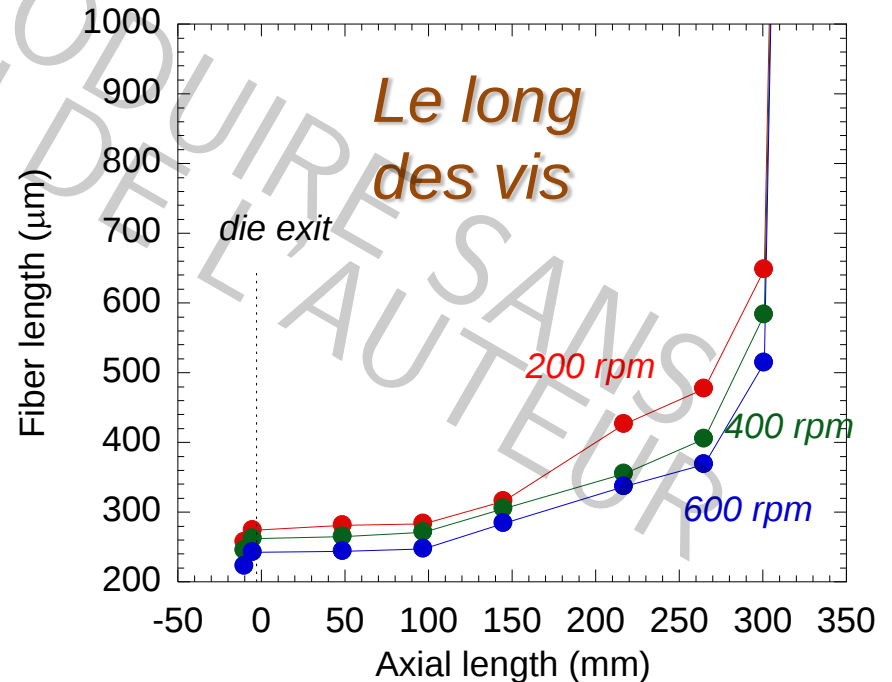
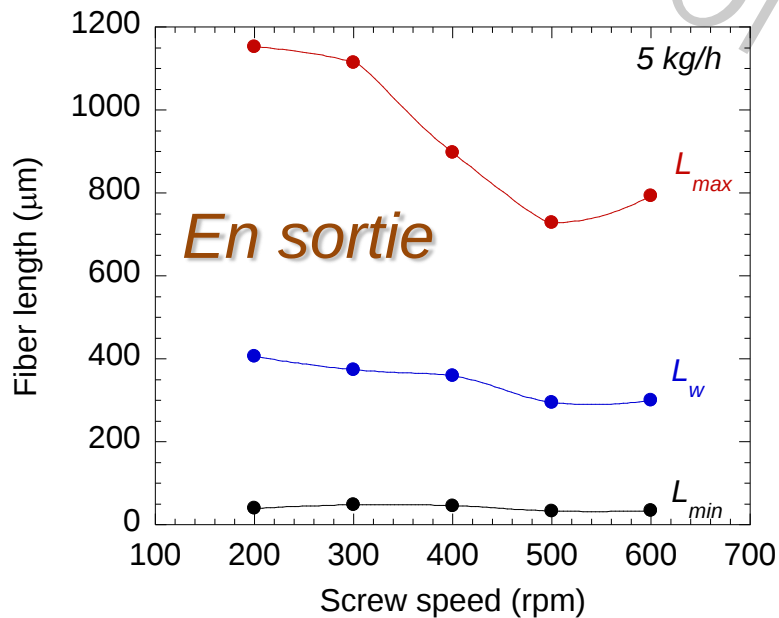


Longueur des fibres de verre

Extrudeuse de laboratoire
ThermoFisher, $D = 24$ mm



Influence de la vitesse de rotation

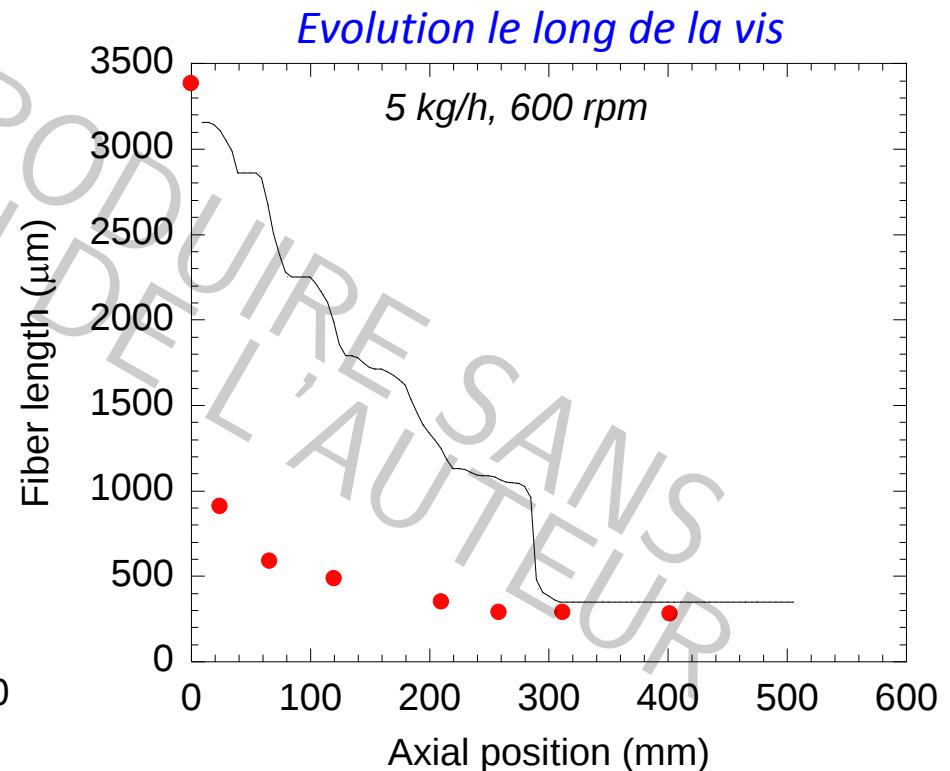
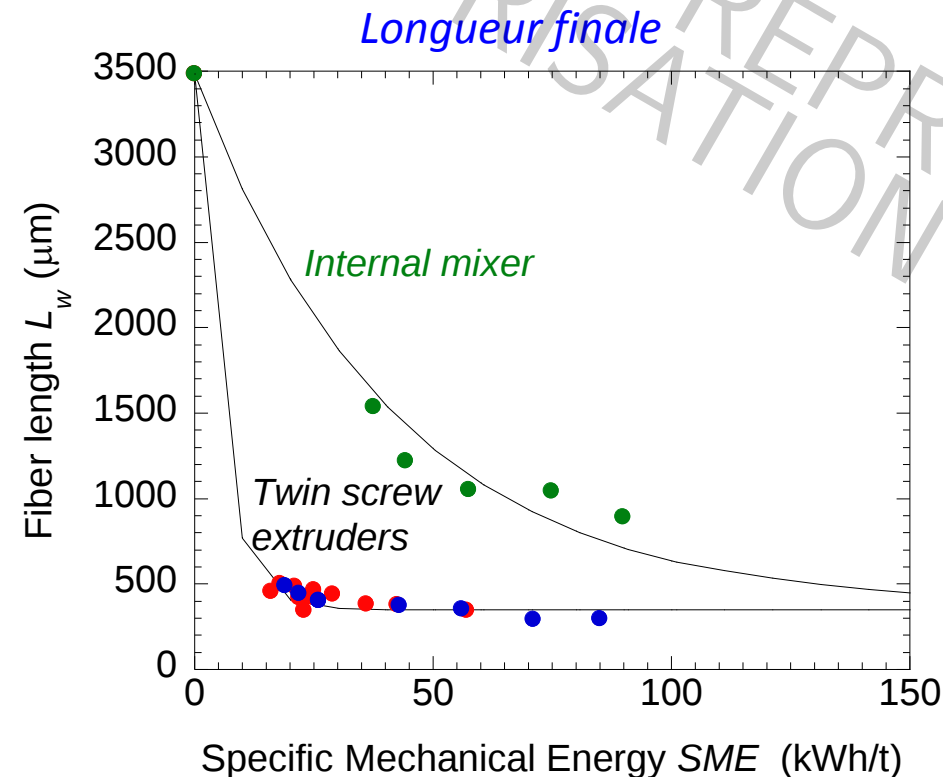


Ville *et al.*, Inceoglu *et al.*

Modélisation globale de la casse des fibres

Modèle de Shon, Liu, White modifié
avec Energie Mécanique Spécifique SME

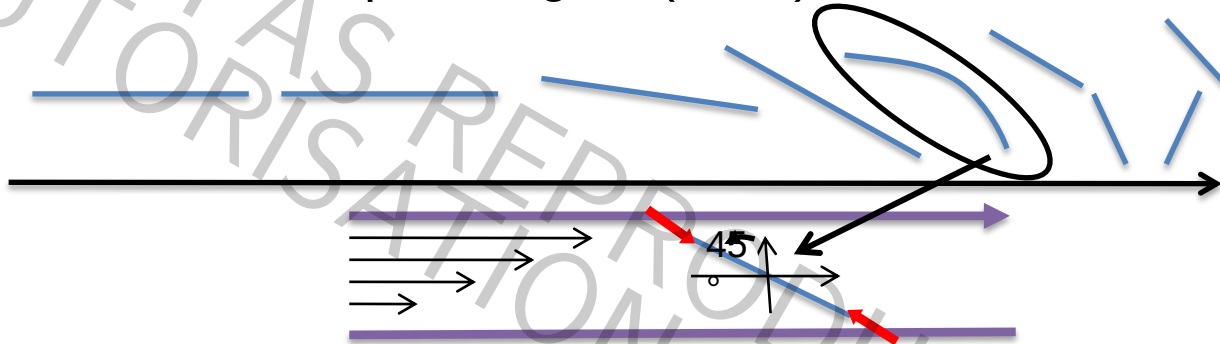
$$L_n(t) = (L_0 - L_\infty) \exp(-k' \text{SME}) + L_\infty$$



Casse des fibres en écoulement de cisaillement (Forgacs et Mason, 1959)

Mouvement décrit par Jeffery (1922)

Contraintes calculées par Burgers (1938)



Hypothèses principales :

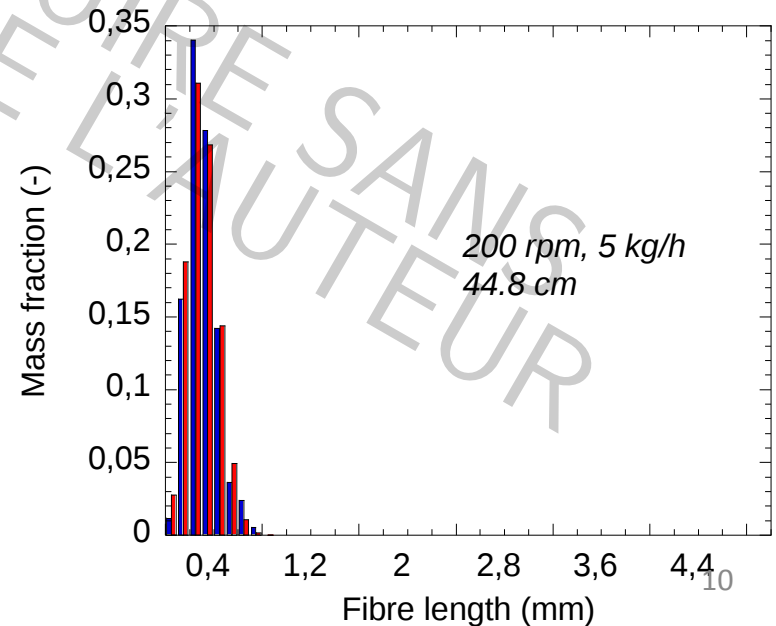
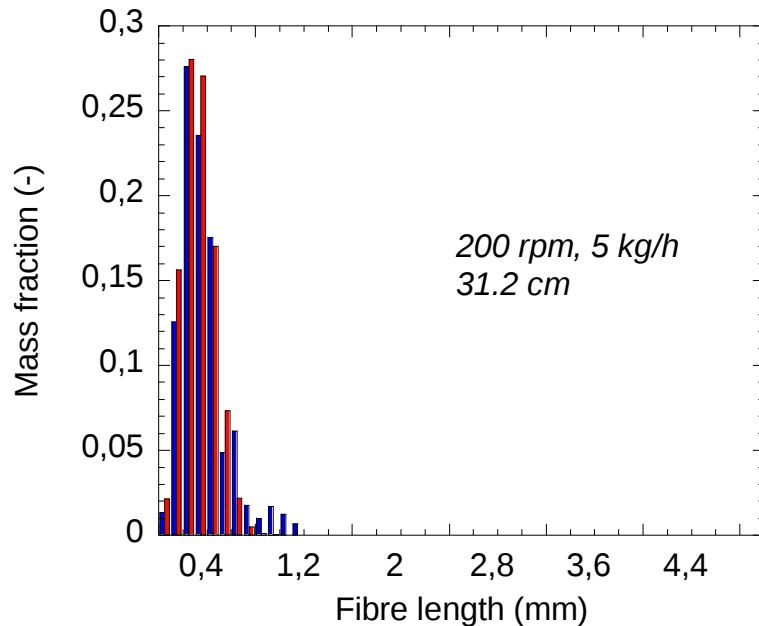
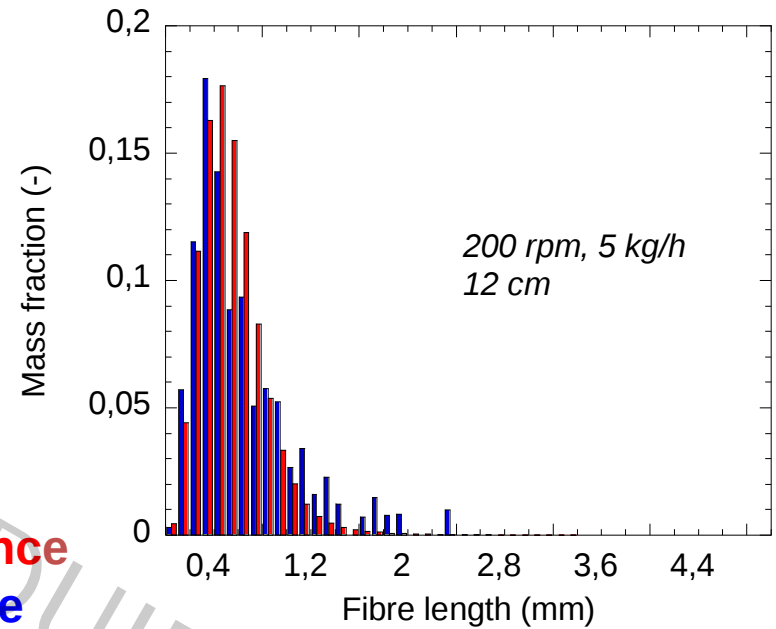
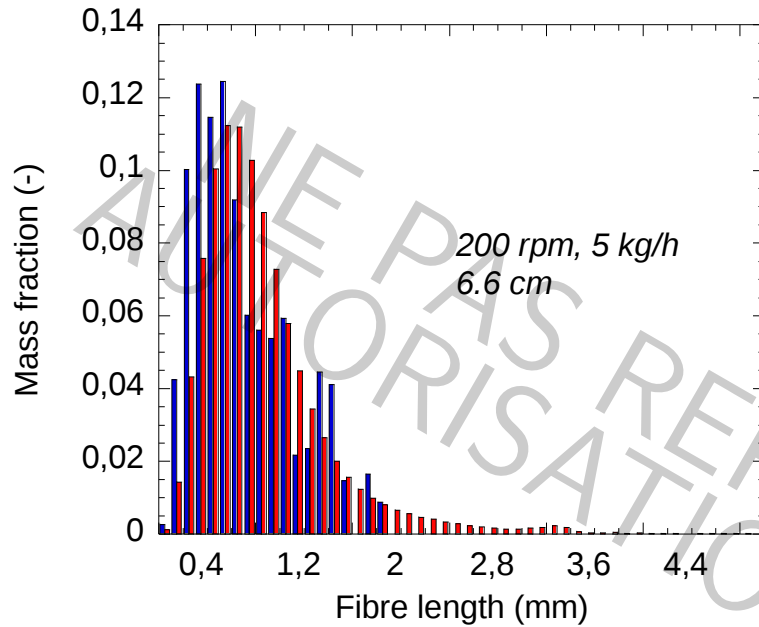
- écoulement de cisaillement
- rotation sans le plan de cisaillement
- forces appliquées aux extrémités des fibres
- flambage = casse **vrai pour des fibres sans défauts**

Mais les vraies fibres ont des défauts !

- seuil de flambage pour la casse
- rupture pas nécessairement au milieu

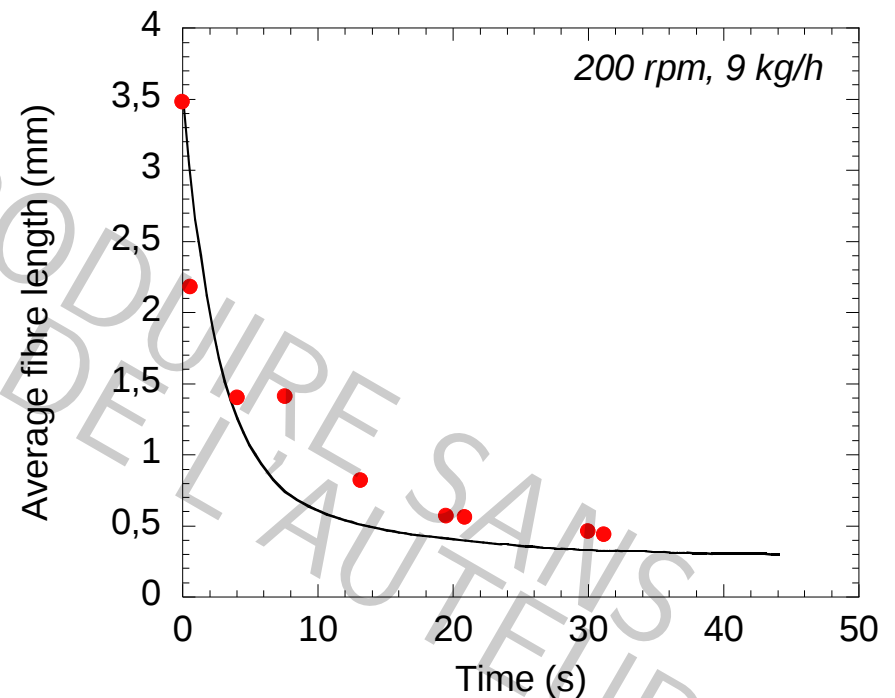
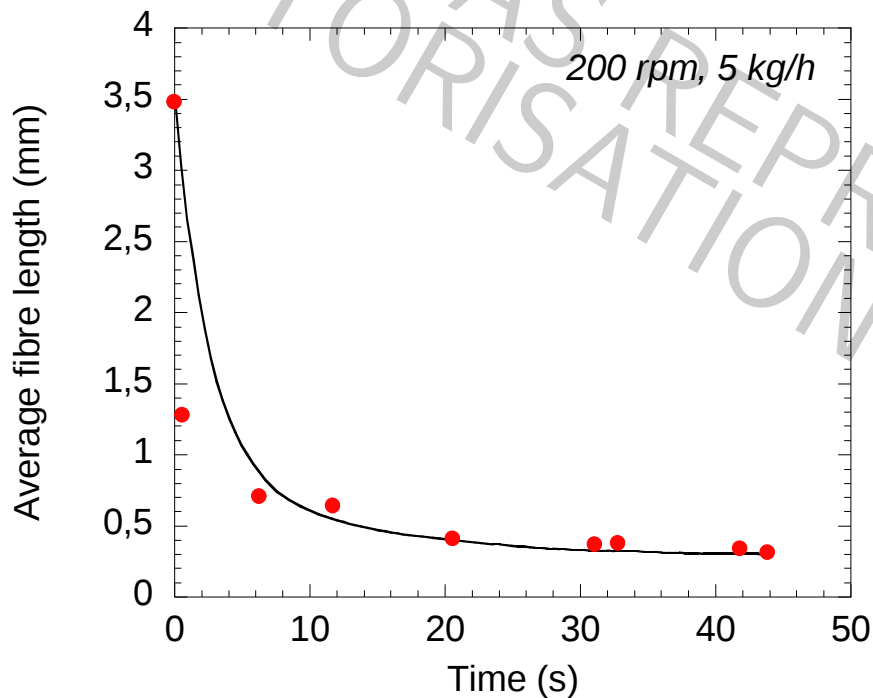
Résultats - Confrontation

Durin *et al.*, Comp. Part A, 2013



Modèle mécanistique

Comparaison avec l'expérience, longueurs moyennes

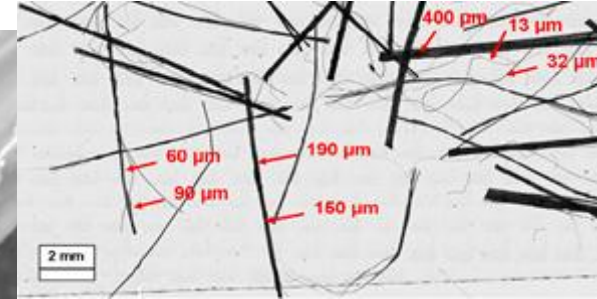
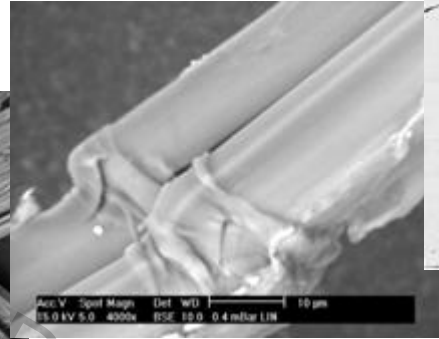
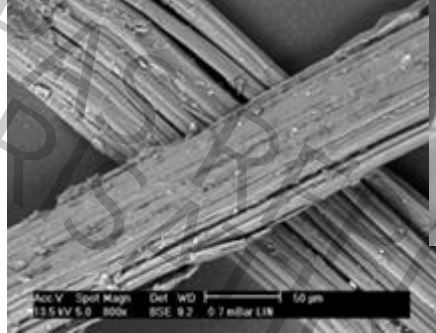
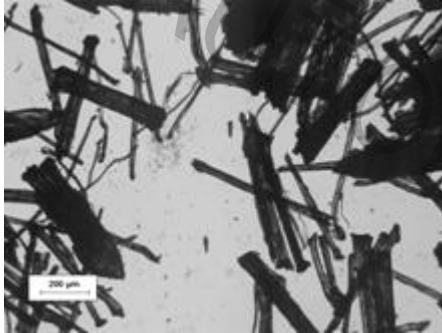


Fibres végétales

Evolution de la longueur en extrusion bivis
Mécanismes de casse

Spécificités des fibres végétales

Lin : 0,5 mm, 2 mm, 9 mm

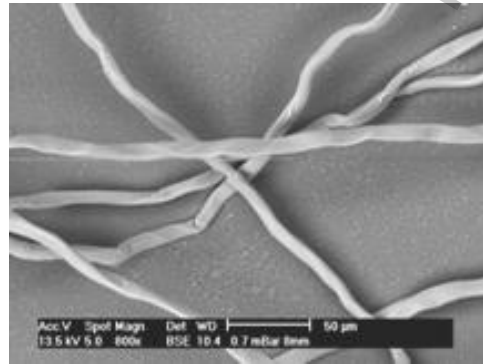


Faisceaux

Défauts

Dispersion de diamètres

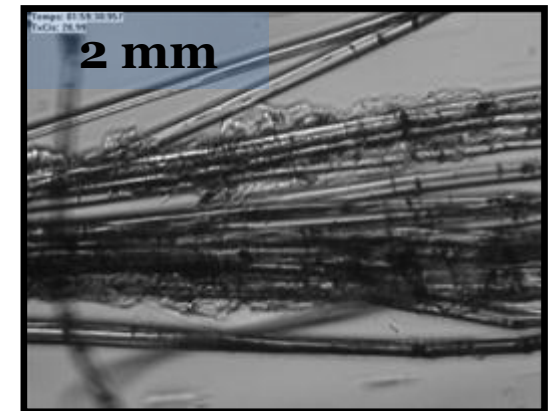
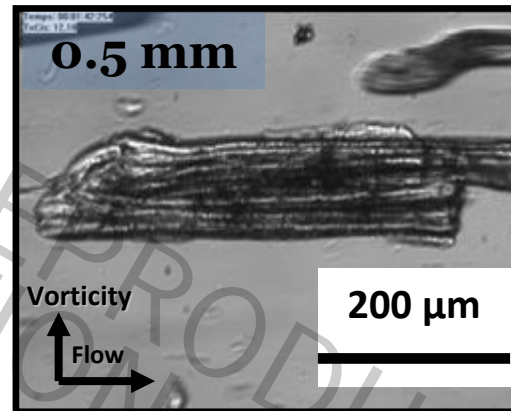
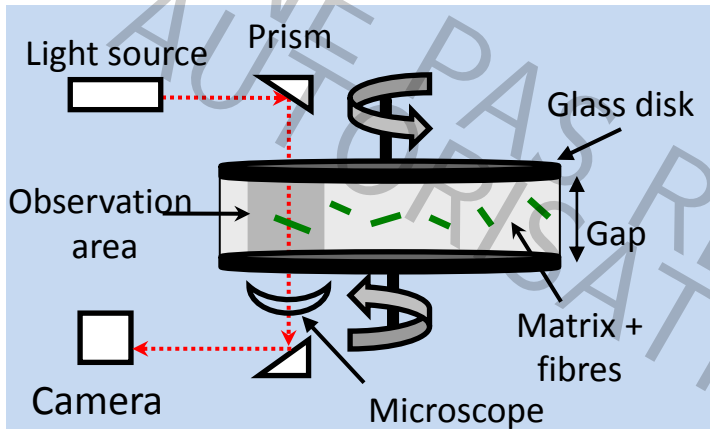
Fibres Tencel® : 0,5 mm, 2 mm, 6 mm, 8 mm



Diamètre
homogène
 $d = 10-11 \mu\text{m}$

Rhéoptique : fibres de lin

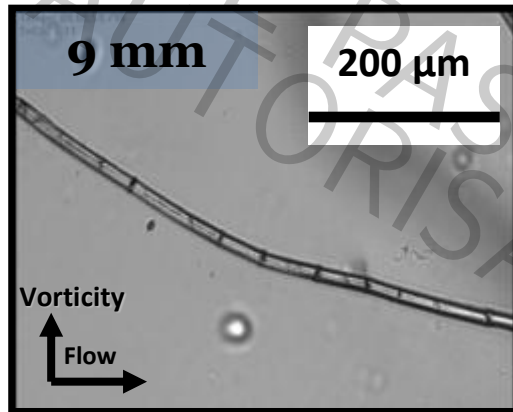
Longueur initiale : 0.5 mm, 2 mm, 9 mm)



Same cumulated strain and cumulated mechanical energy

- Dissociation des faisceaux courts plus difficile
- Grande variabilité des faisceaux (taux de lignine...)
- dissociation des faisceaux puis rupture longitudinale

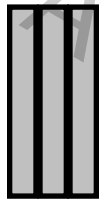
Casse des fibres de lin (9 mm)



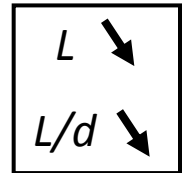
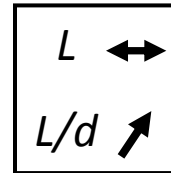
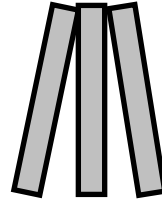
- Rupture par fatigue, aux « défauts »
- Peu d'agglomérats

Influence de la taille initiale (lin)

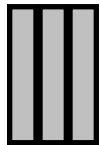
1) Fibres de 2 mm



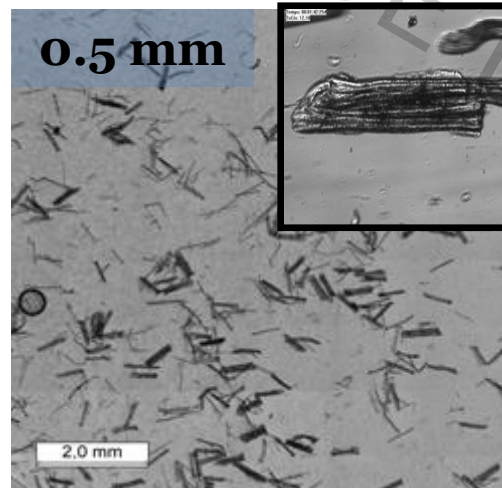
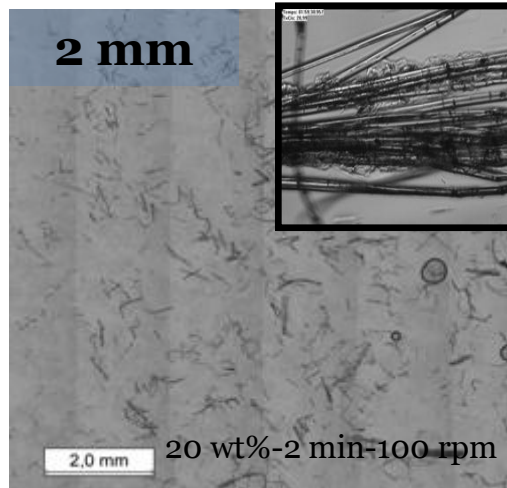
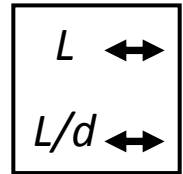
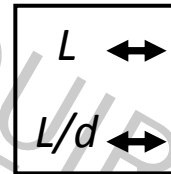
Higher L/d
=> easier dissociation



2) Fibres de 0.5 mm



Smaller L/d
=> harder dissociation

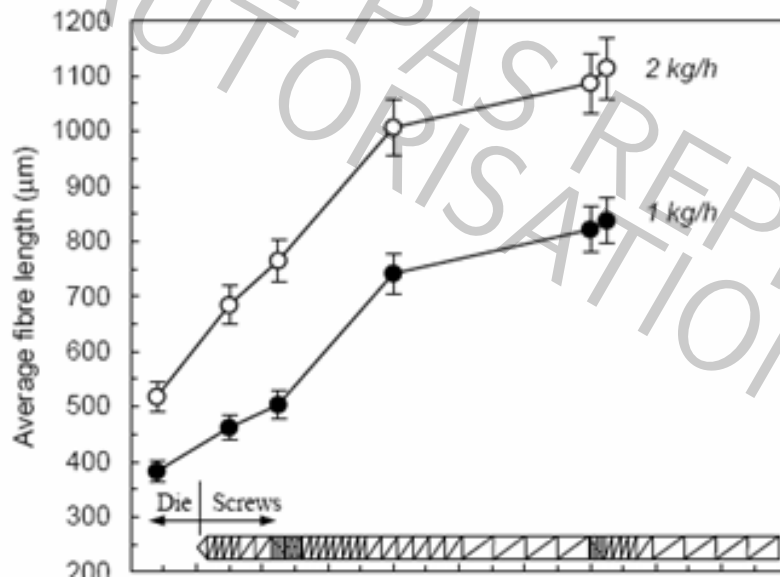


Finalement,
même L/d

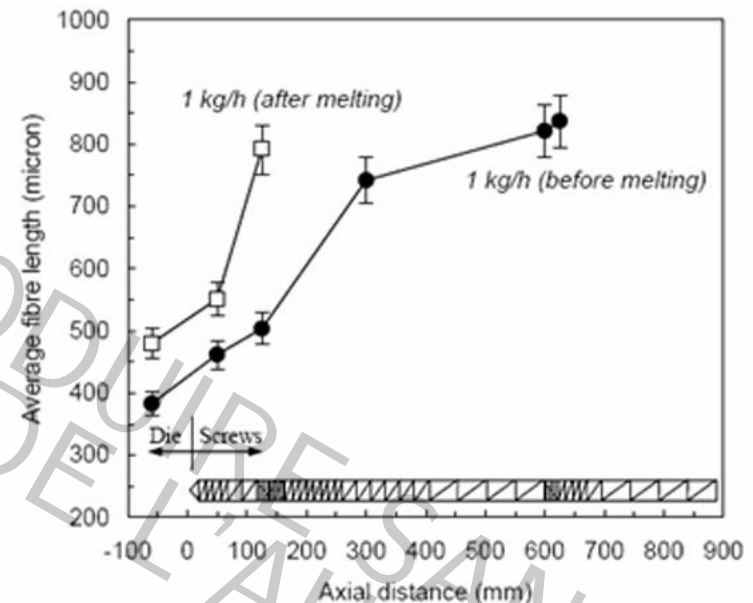
Le Duc *et al.*,
Comp. Part A, 2011

Evolution des longueurs le long des vis

Chanvre (3 mm) + caprolactone



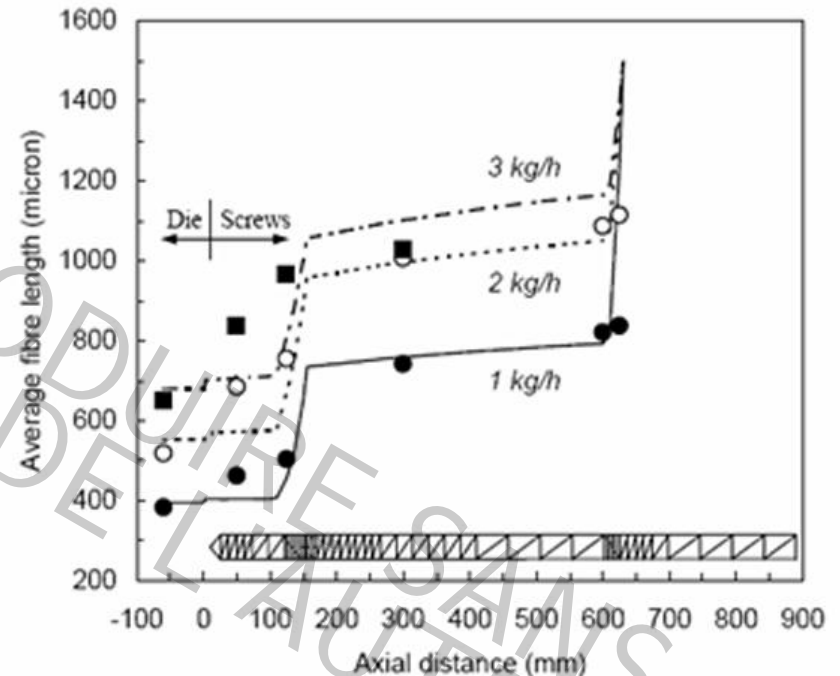
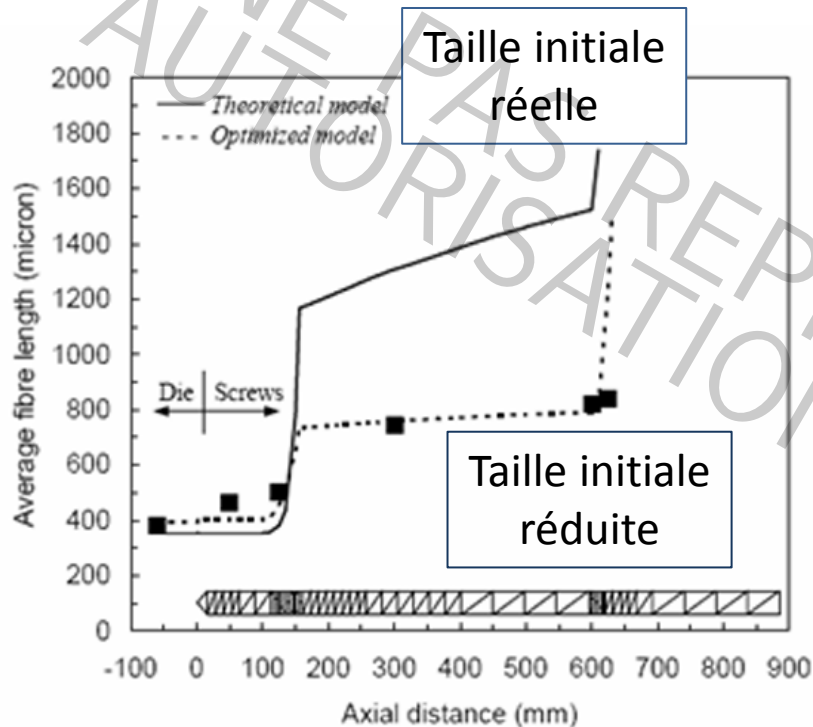
Fibres et matrice introduites
au même point



Fibres et matrice introduites
au même point ou après la fusion

Modélisation de la casse des fibres végétales

Modèle de Shon et al. modifié



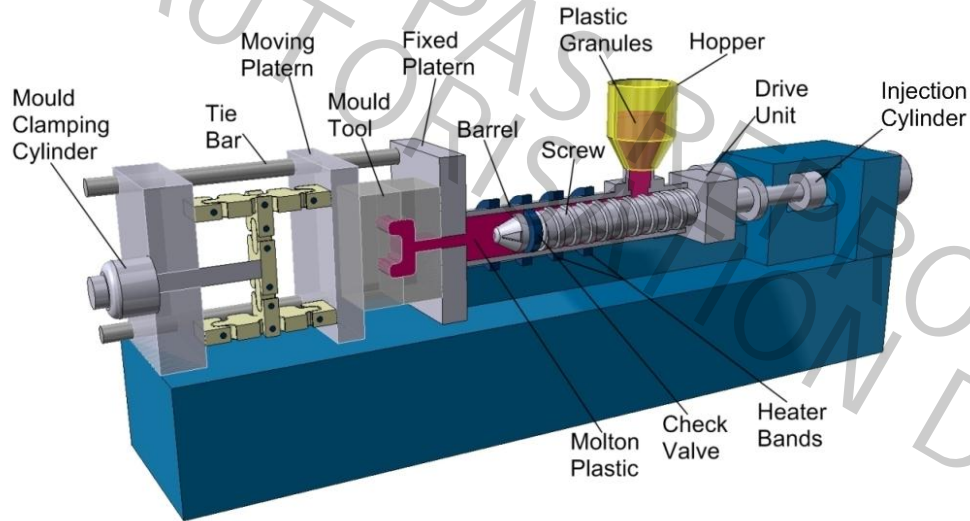
Bon paramètre : SME ou déformation cumulée ?

L'injection

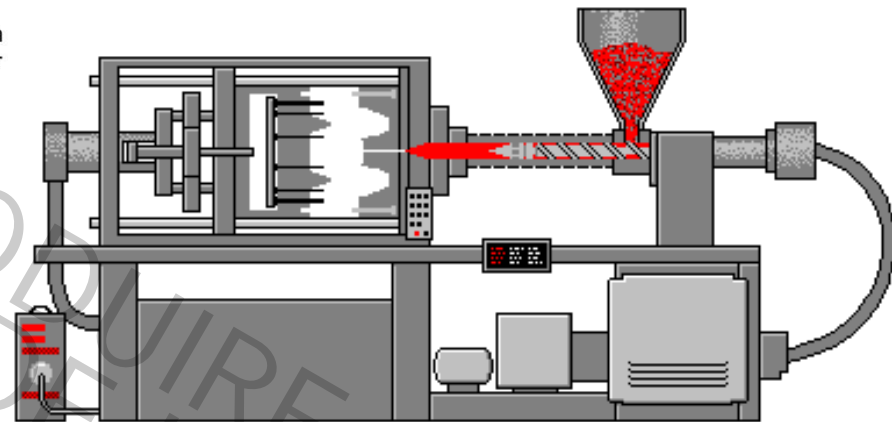
NE PAS REPRODUIRE SANS
AUTORISATION DE L'AUTEUR

L'injection des polymères

- Procédé haute pression (2000 bar / 200 MPa)
- Temps de cycle : 3 s – 2 min



Clamping Injection Cooling Ejection



10^{-3} g $\longrightarrow$ 10 kg



Taux et longueur de fibres de verre

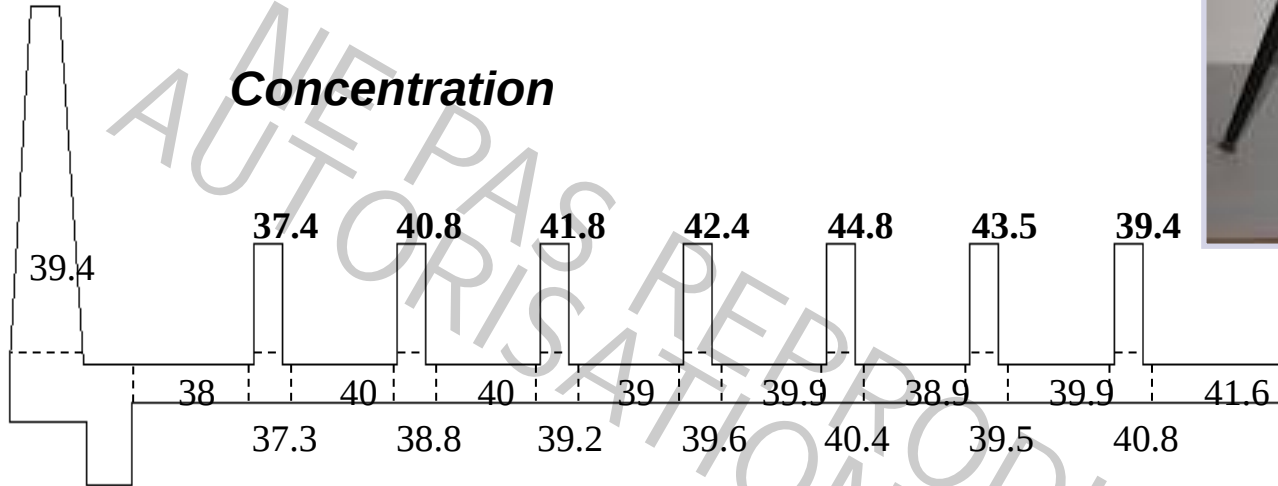
Concentration - Longueur

PP + fibres de verre

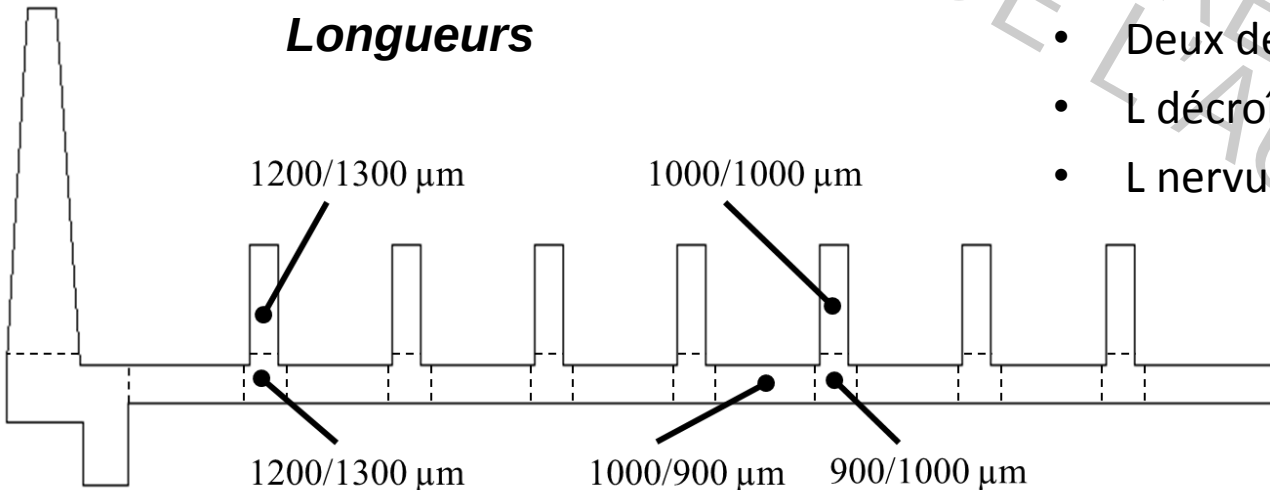


Plaque Arkema

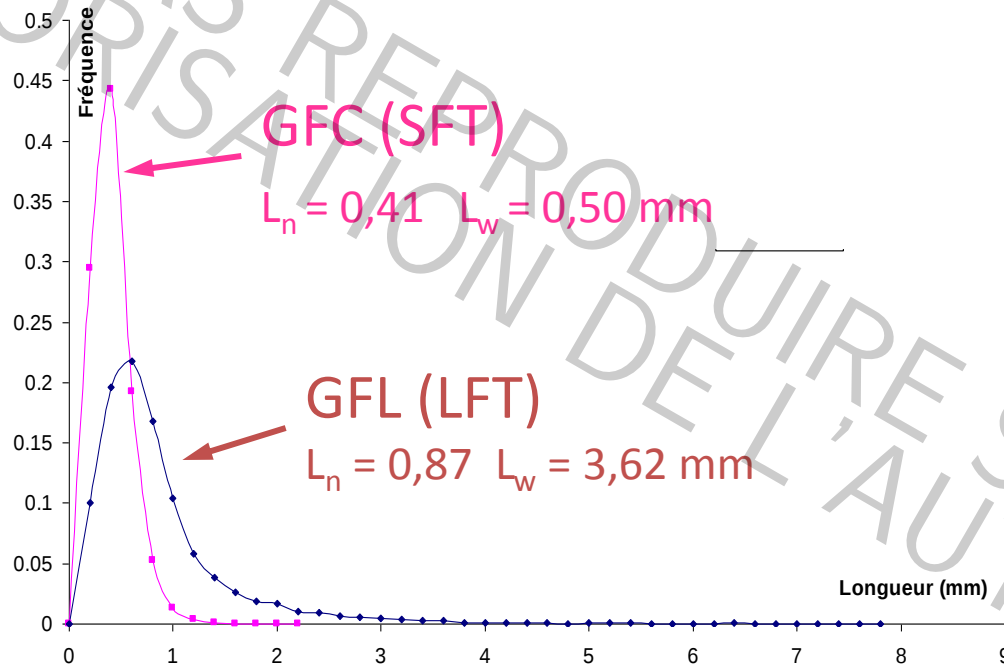
Concentration



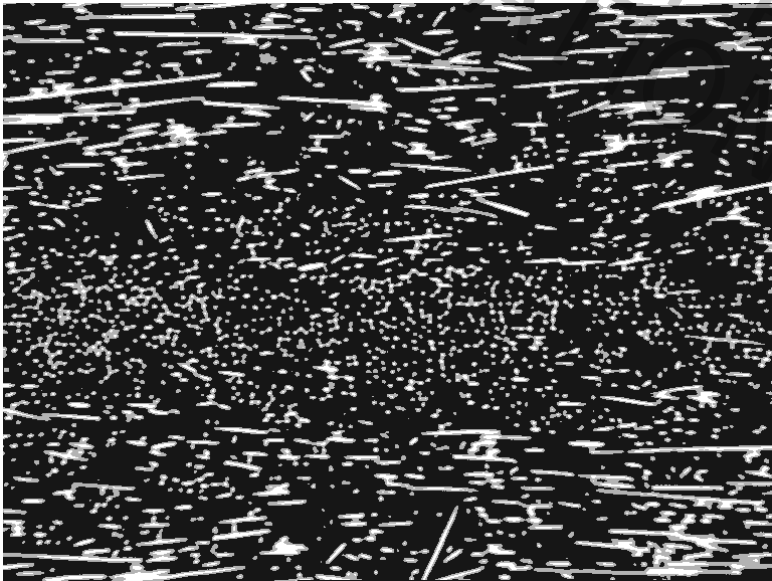
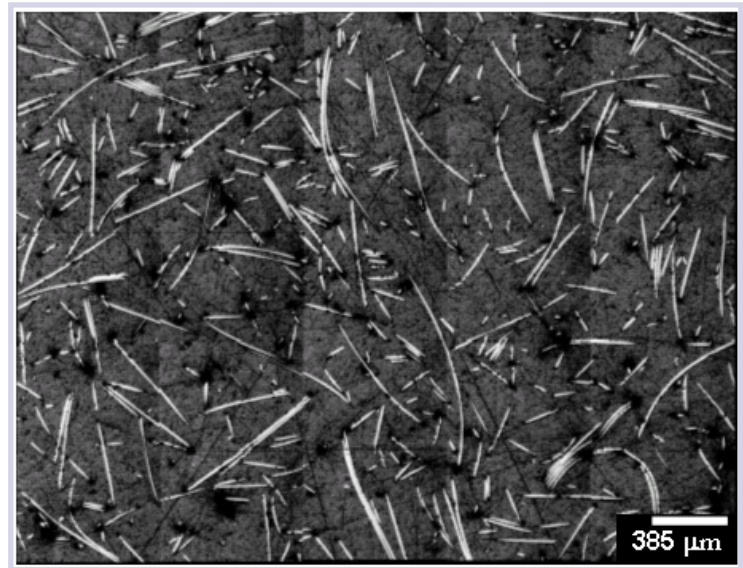
Longueurs



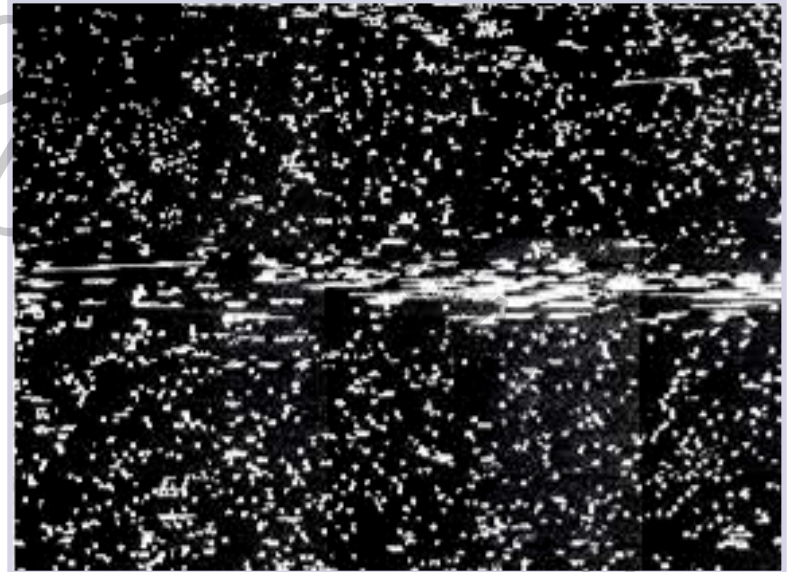
- Deux débits : $9 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ / $122 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- L décroît le long de l'écoulement
- L nervure $\approx$ L plaque

[illegible]

Orientation des fibres de verre



// direction de l'écoulement



⊥ direction de l'écoulement

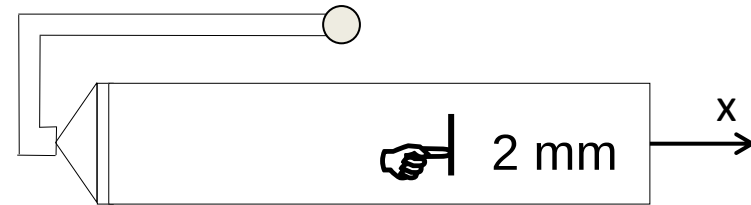
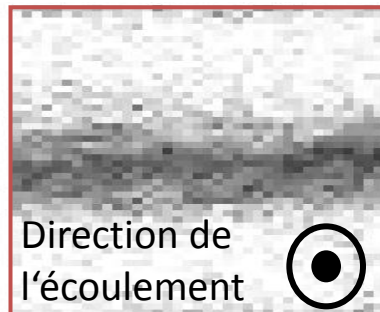
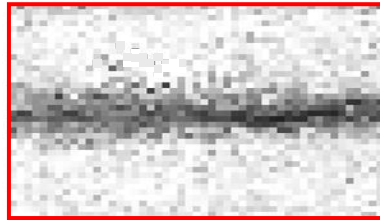


Orientation dans l'épaisseur

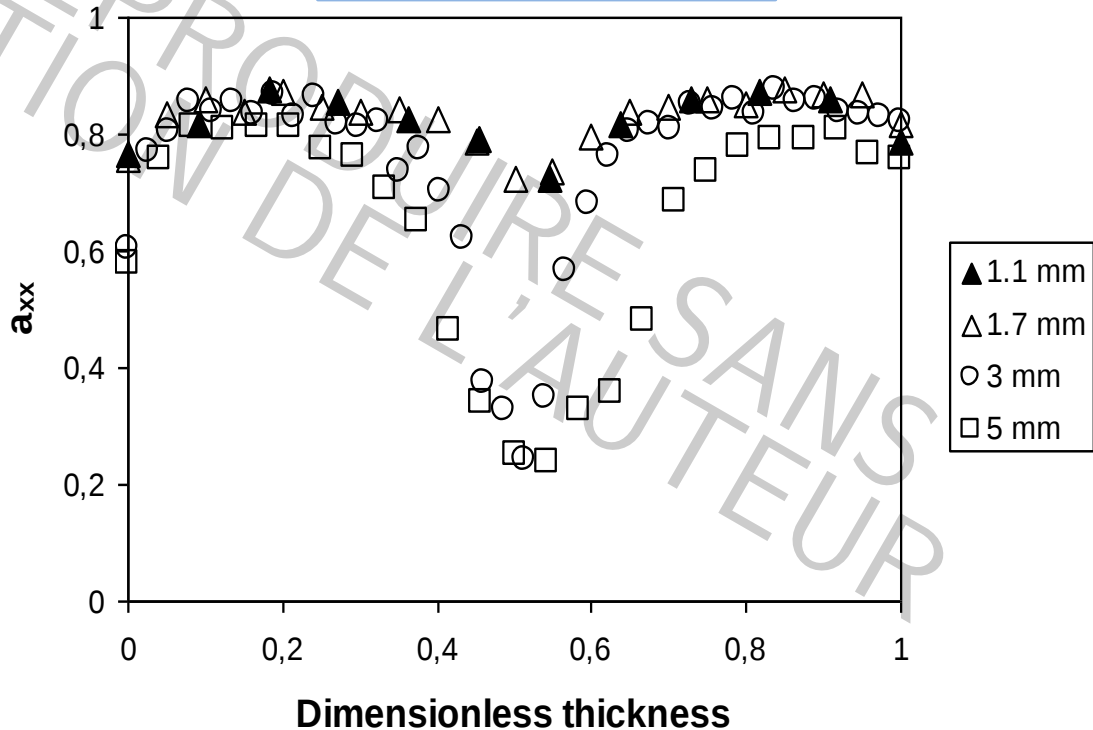
- Fibres courtes (Polyarylamide, 30 %)



L=20 mm
50000 fibres

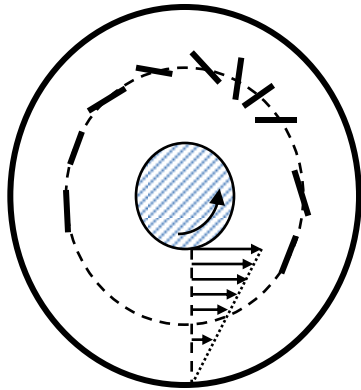
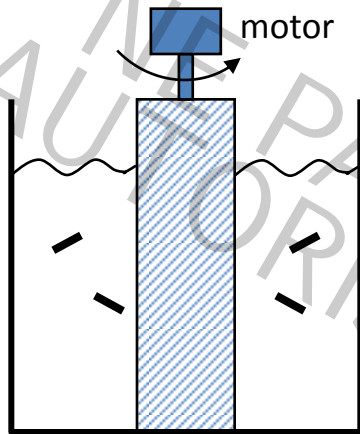


$$a_{ij} = \int_{\mathbf{p}} \psi(\mathbf{p}) p_i p_j d\mathbf{p}$$

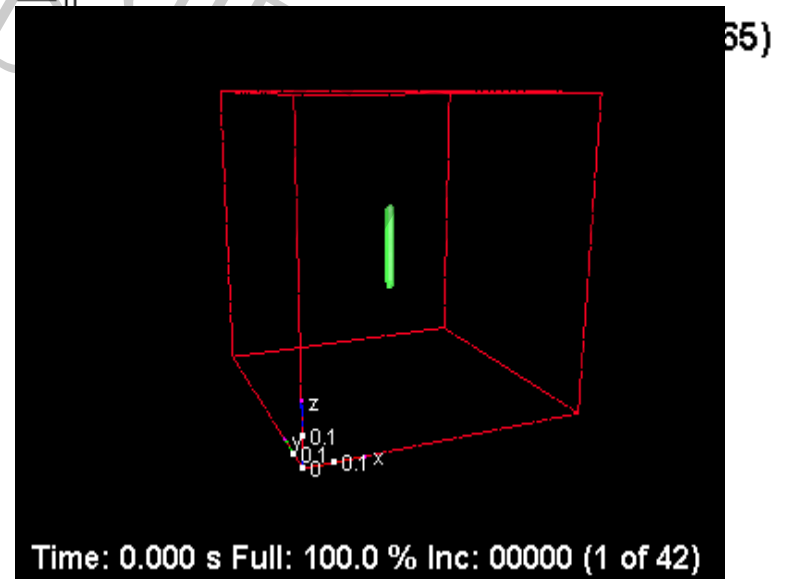
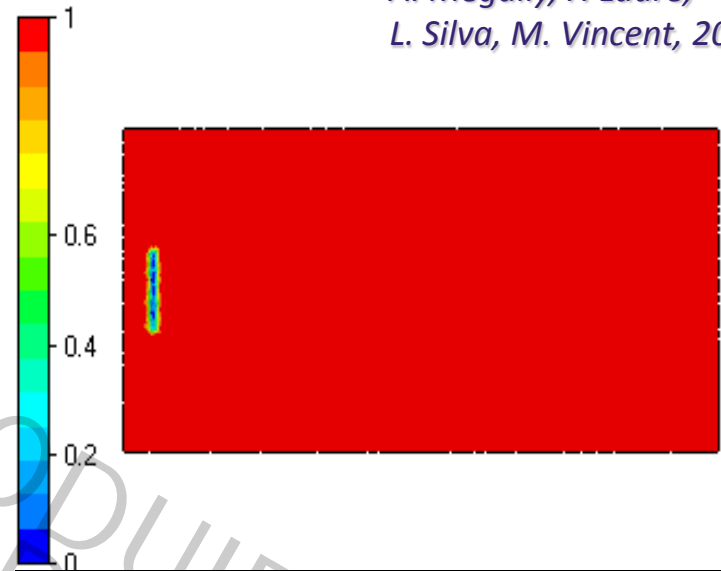


Orientation en cisaillement

Observation : Couette

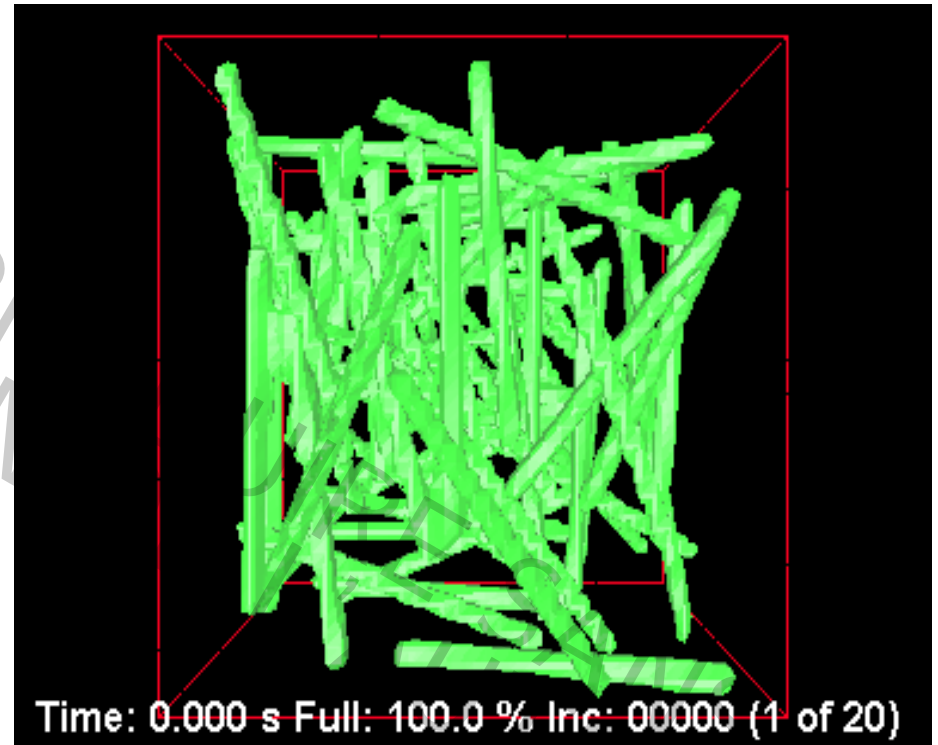
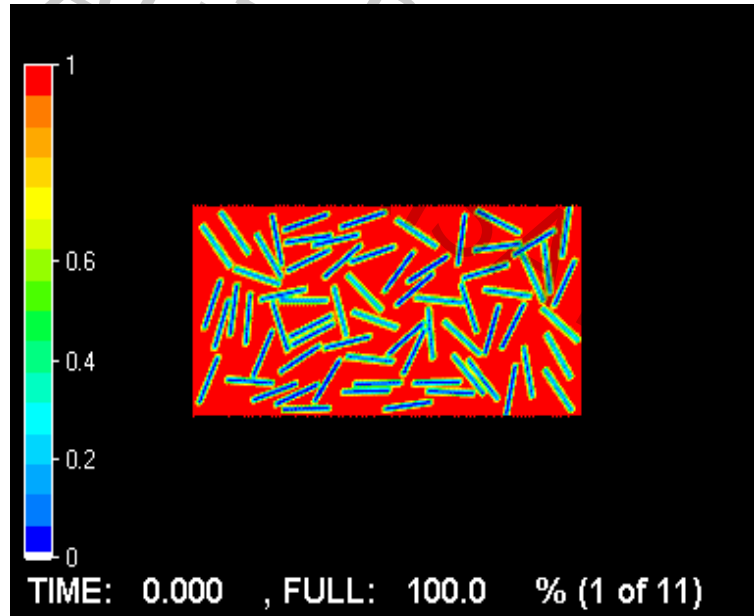


*A. Megally, P. Laure,
L. Silva, M. Vincent, 2010*



Plusieurs fibres : interactions

Calcul direct (Megally *et al.*)



Écoulement élongationnel



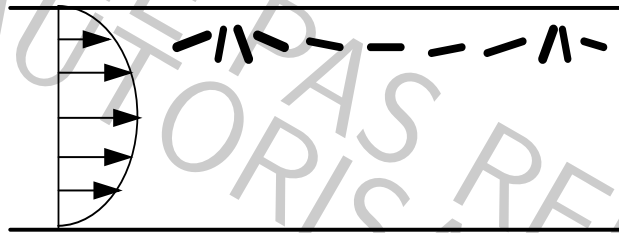
PS + quelques fibres



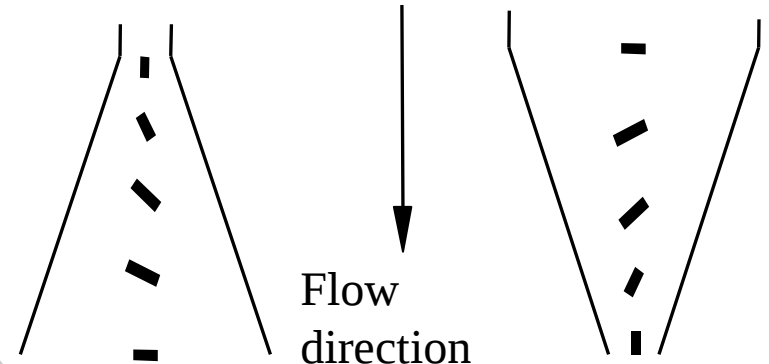
PP fibres longues

Règles d'orientation : résumé

Écoulement de cisaillement



Écoulement élongationnel



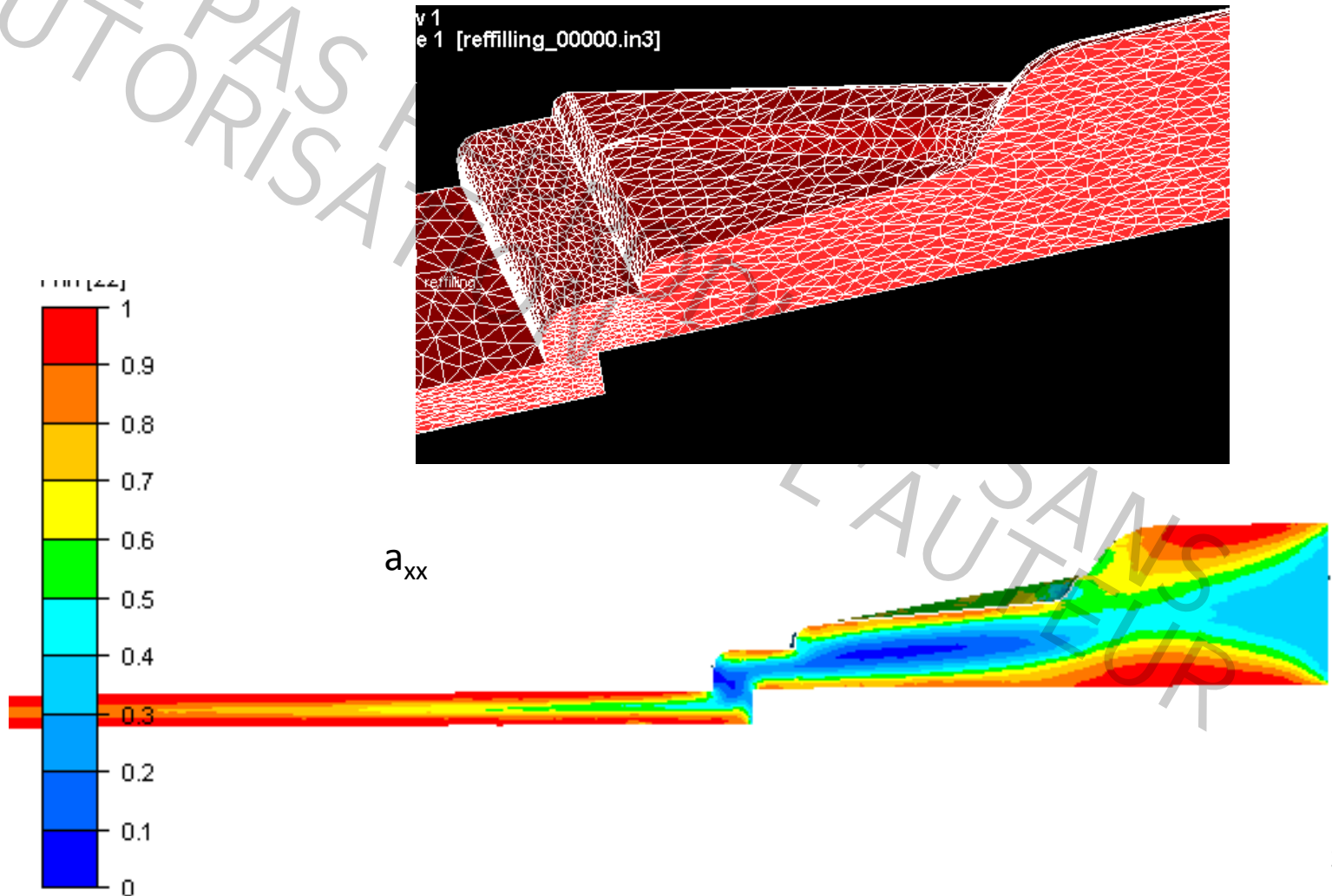
situation réelle complexe :

écoulement combinaison de cisaillement et élongation

→ orientations // ou $\perp$

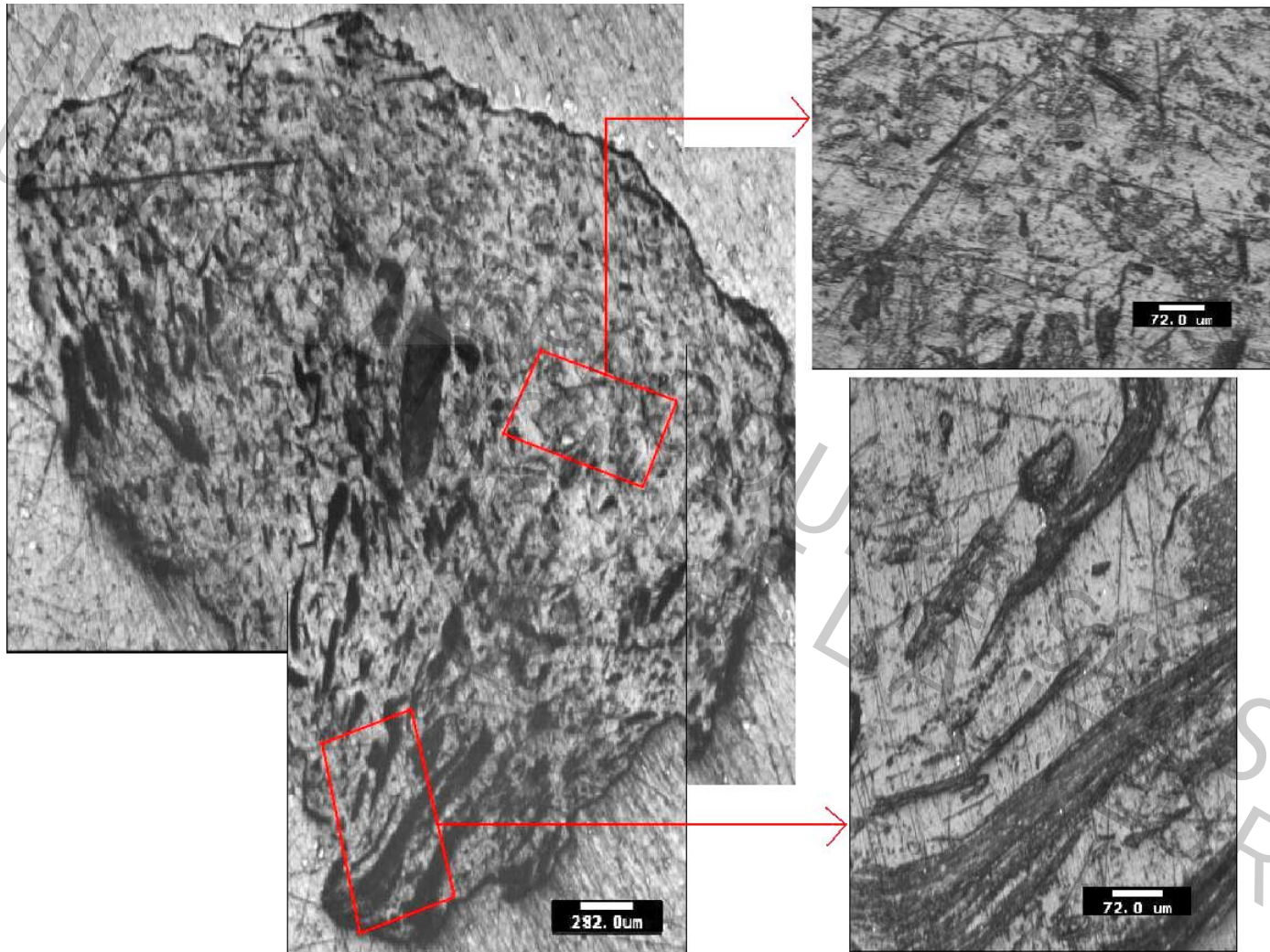
Calcul de l'orientation

$$\frac{d\mathbf{a}_2}{dt} = \boldsymbol{\Omega} \cdot \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_2 \cdot \boldsymbol{\Omega} + \lambda (\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} \cdot \mathbf{a}_2 + \mathbf{a}_2 \cdot \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} - 2\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} : \mathbf{a}_4) + 2C_I \dot{\gamma} (\mathbf{I} - 3\mathbf{a}_2)$$



Fibres naturelles : les granulés

PP/30% chanvre

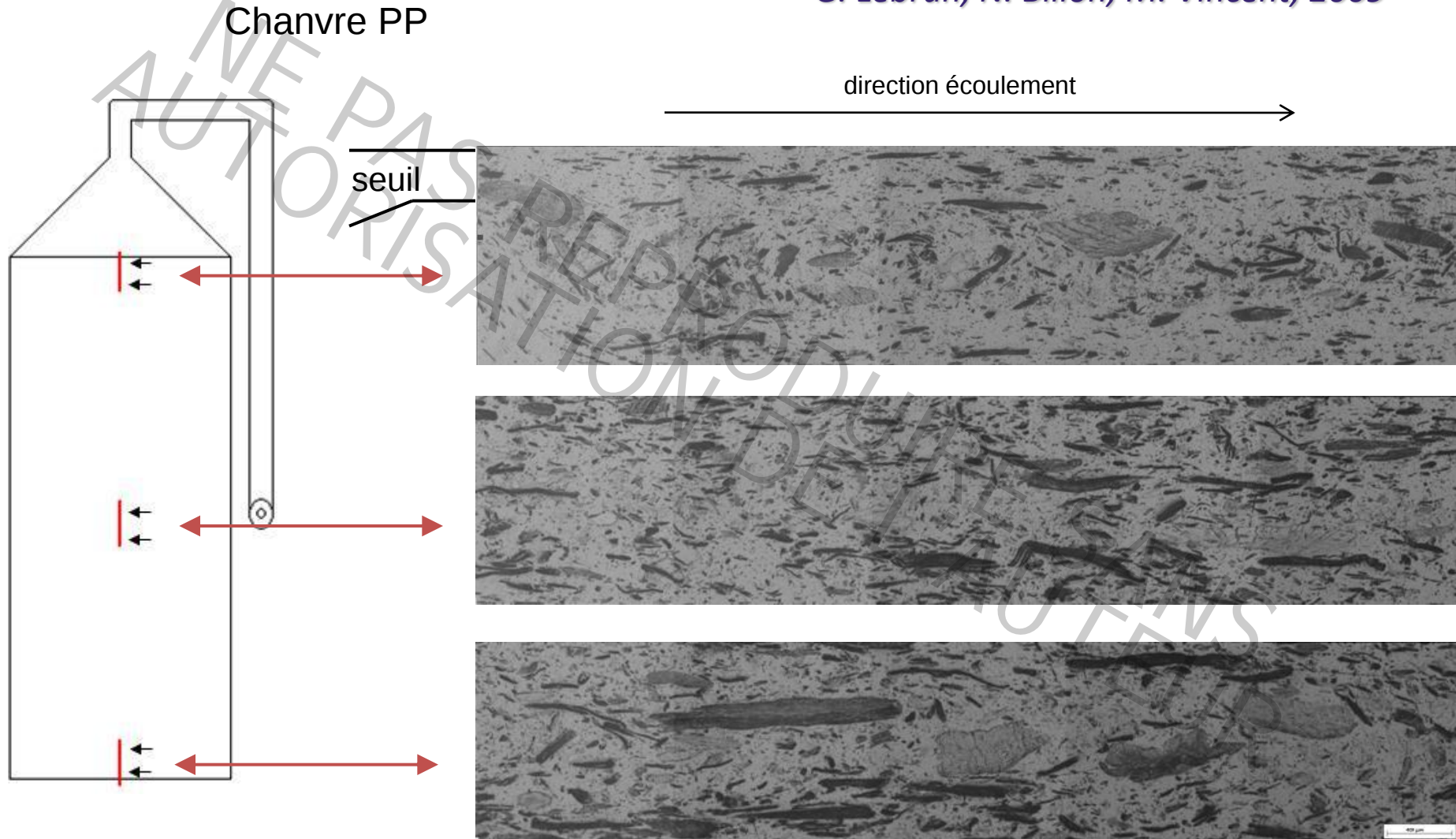


Faisceaux → mauvaise dispersion

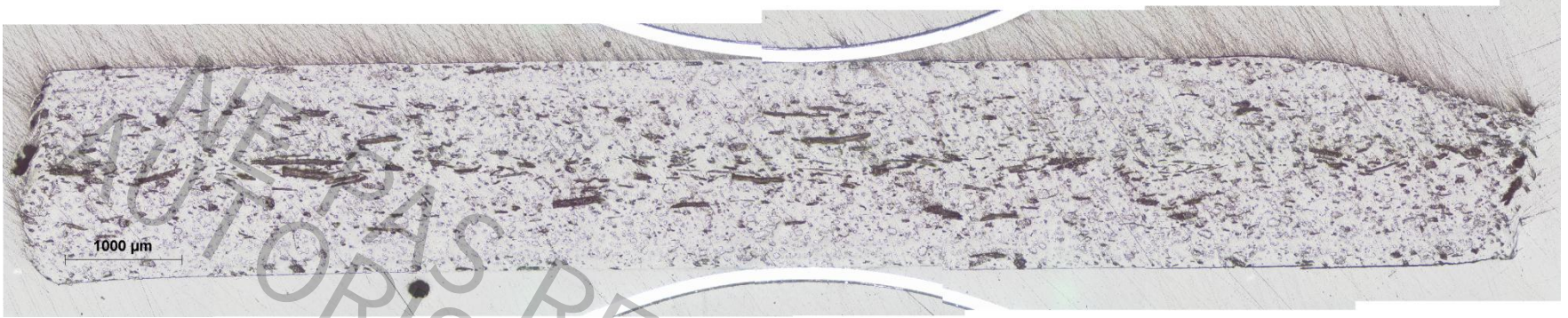
diamètre maximum apparent = 200 μm
longueur maximum apparente = 1 mm

Observation d'une plaque injectée

G. Lebrun, N. Billon, M. Vincent, 2009



Polypropylène + fibres de lin



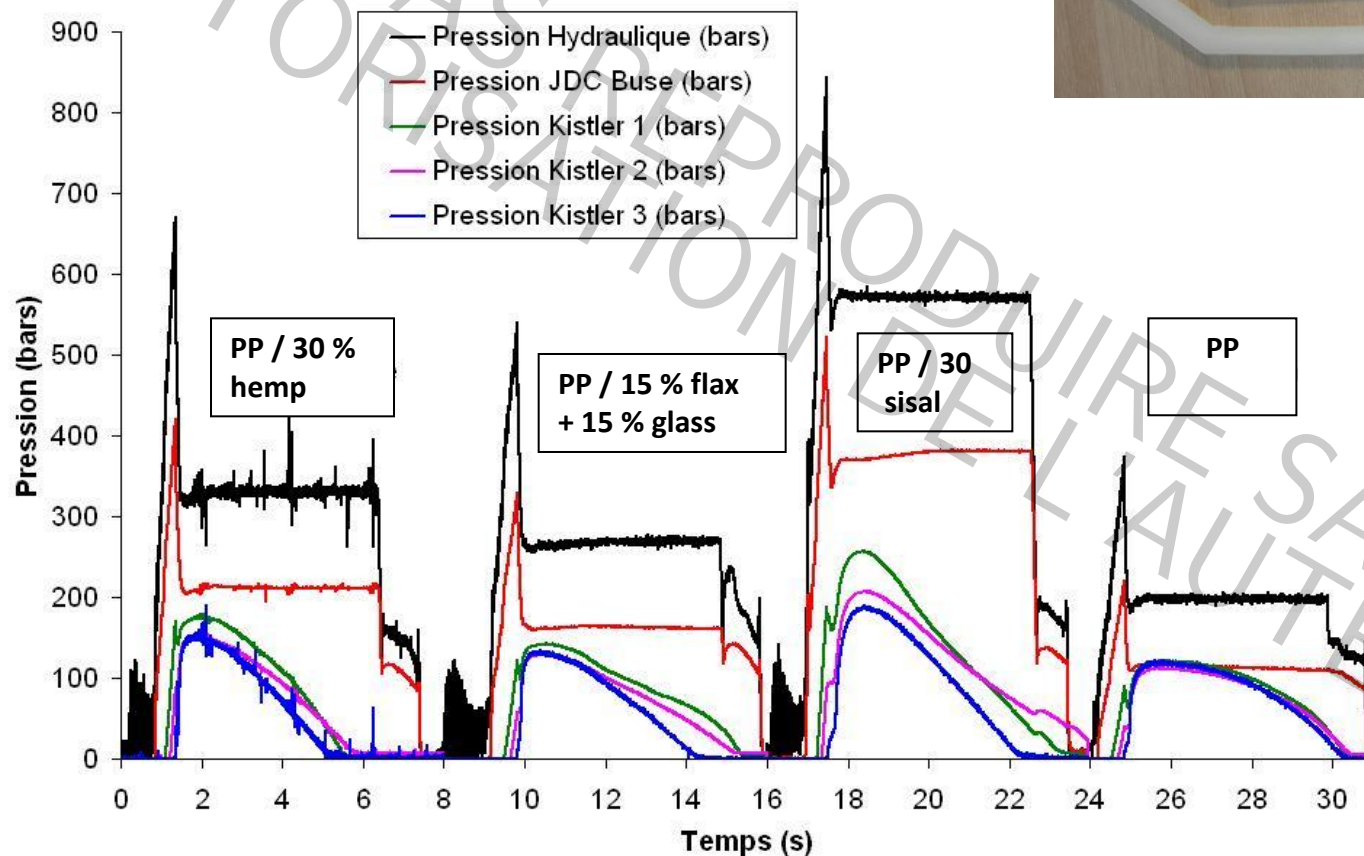
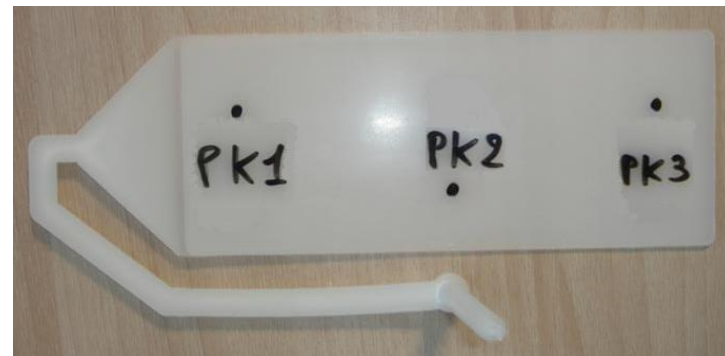
écoulement
→



Injection : analyse des pressions

$T^{\circ} = 195^{\circ}\text{C}$

5 capteurs de pression



Conclusion

Mélange

Fibres de verre : mécanismes de casse assez bien compris

Fibres naturelles : compoundage (dosage)

observations délicate : dissolution,

faisceaux/fibres, quantification

mécanismes pas entièrement compris

Injection

Fibres de verre :

bon transport

orientation quantifiable

modèles d'orientation assez efficaces

modèles rhéologiques perfectibles

Fibres végétales

homogénéité de concentration ?

orientation : structure complexe, flexibilité

modèles : fibres flexibles, hétérogénéité de L,D

