



CENTRE DES MATÉRIAUX
P.M. FOURT

Sébastien Joannès et al. – Mines Paris PSL
Aussois – 28 janvier 2025

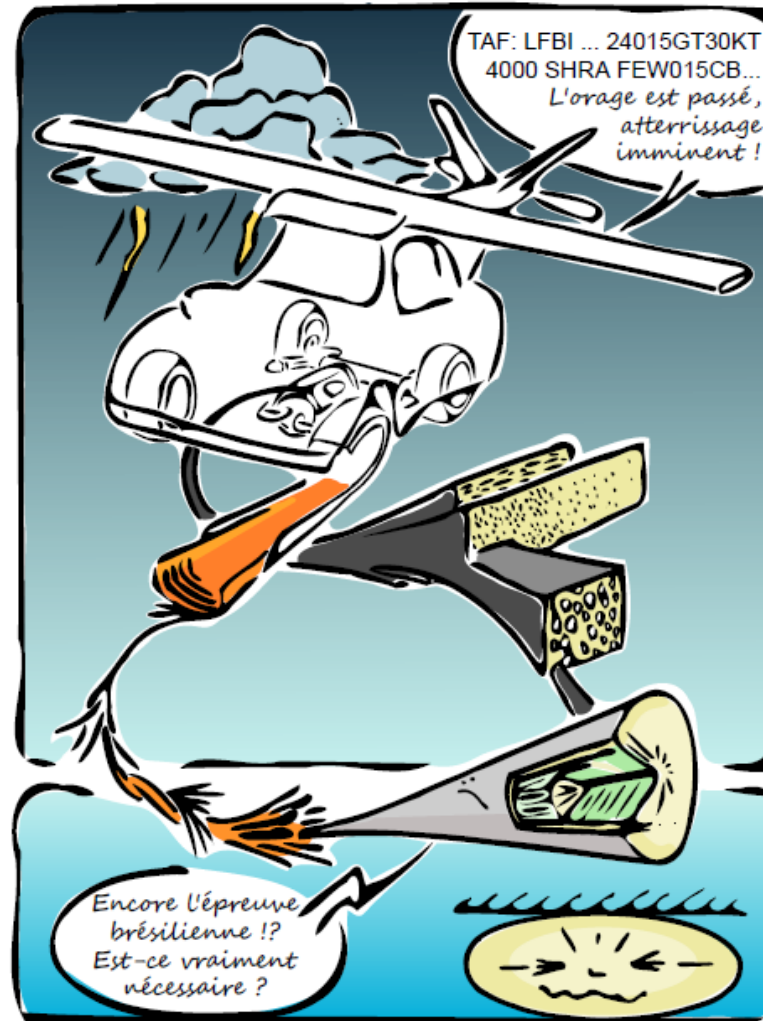
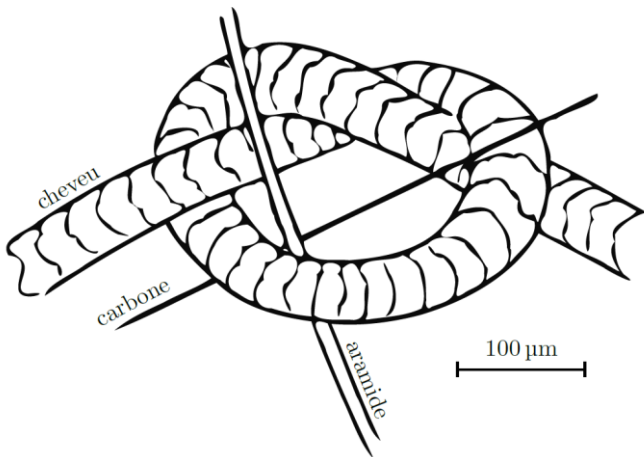
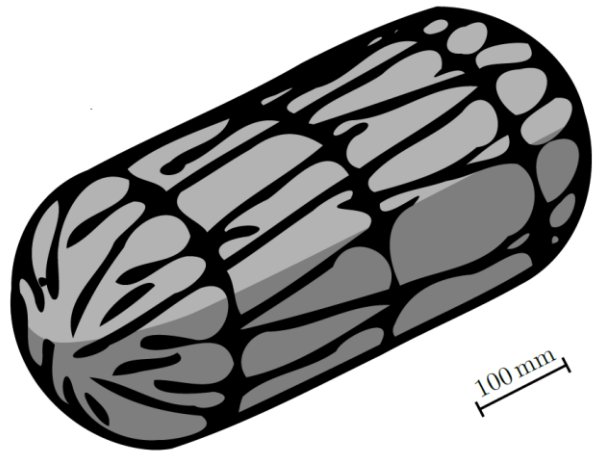


Caractérisation des renforts fibreux à l'échelle mono-filamentaire

Comportement anisotrope et distribution des propriétés à rupture

QUI SUIS-JE ?

Soutenir une **mobilité durable**
avec l'aide des **matériaux composites**



an

	∞	Σ	μ
	2 Dimensionnement des structures composites	3 Fluctuations morphologiques transverses	4 Comportement des renforts fibreux
Matériaux	$^{\circ}\text{C}$ Diffusion hydro-thermique sur un équipement de distribution d'eau	kg De grandes fluctuations morphologiques	$\sigma\epsilon$ Bien appréhender le comportement mono-filamentaire
Mécanique	kg Inventer un train arrière innovant – aide à la décision via l'optimisation	kg Comportement et rupture sous sollicitations transverses	$\sigma\epsilon$ Accéder aux propriétés anisotropes des fibres
Méth. num.	kg Assemblages – capturer les forts gradients avec la <i>p</i> -FEM	H_2 Modélisation hiérarchique du comportement	H_2 Focus sur la distribution des propriétés à rupture
Stochastique	H_2 Simulation échelle 1:1 de l'éclatement d'un réservoir composite type IV	H_2 Calibrer les modèles et quantifier les incertitudes	H_2 Du bon usage de la distribution de Weibull

MIEUX COMPRENDRE POUR MIEUX PRÉDIRE

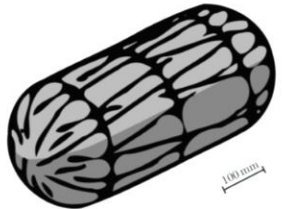
PLAN DE LA PRÉSENTATION

1 QU'EST-CE QU'UNE FIBRE?
LA FIBRE DE L'INNOVATION AU CENTRE DES MATÉRIAUX



Séminaire LMA – 18 juin 2024 – Sébastien Joannès

3 FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE



Séminaire LMA – 18 juin 2024 – Sébastien Joannès

5 CONCLUSION



Séminaire LMA – 18 juin 2024 – Sébastien Joannès

2 BIEN APPRÉHENDER LE COMPORTEMENT MONO-FILAMENTAIRE
ACCÉDER AUX PROPRIÉTÉS TRANSVERSES



Séminaire LMA – 18 juin 2024 – Sébastien Joannès

4 DU BON USAGE DE LA DISTRIBUTION DE WEIBULL



Séminaire LMA – 18 juin 2024 – Sébastien Joannès

1

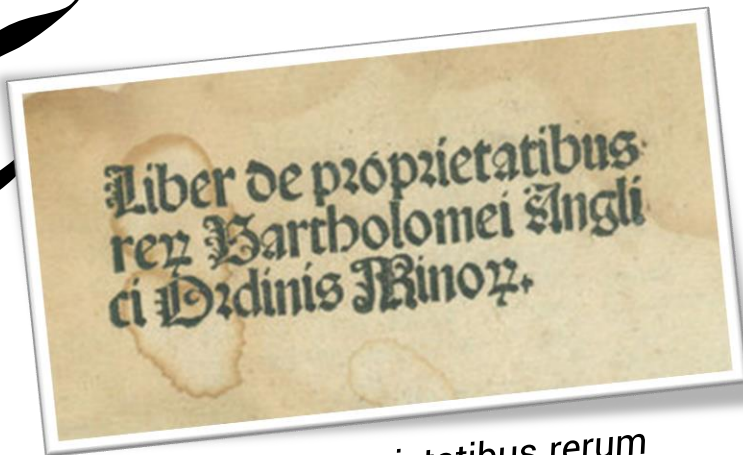
QU'EST-CE QU'UNE FIBRE ?

LA FIBRE DE L'INNOVATION AU CENTRE DES MATÉRIAUX



QU'EST-CE QU'UNE FIBRE ?

Emprunté au latin *fibra*.
Apparaît en français dans
Le Livre des propriétés des choses,
encyclopédie du XIVe siècle
(Jean Corbechon pour le roi Charles V, 1372)



Liber de Proprietatibus rerum
(Barthélemy l'Anglais, ~1240)



Nous vivons dans
un **monde de fibres**,
mais en sommes-nous
tous conscients ?

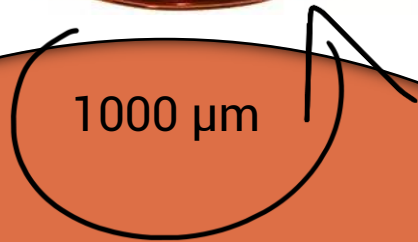
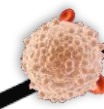
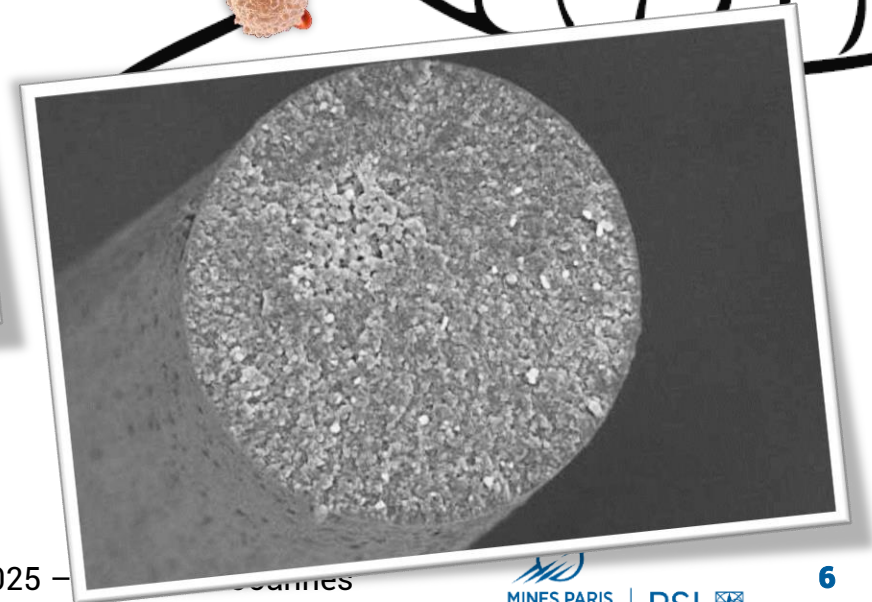
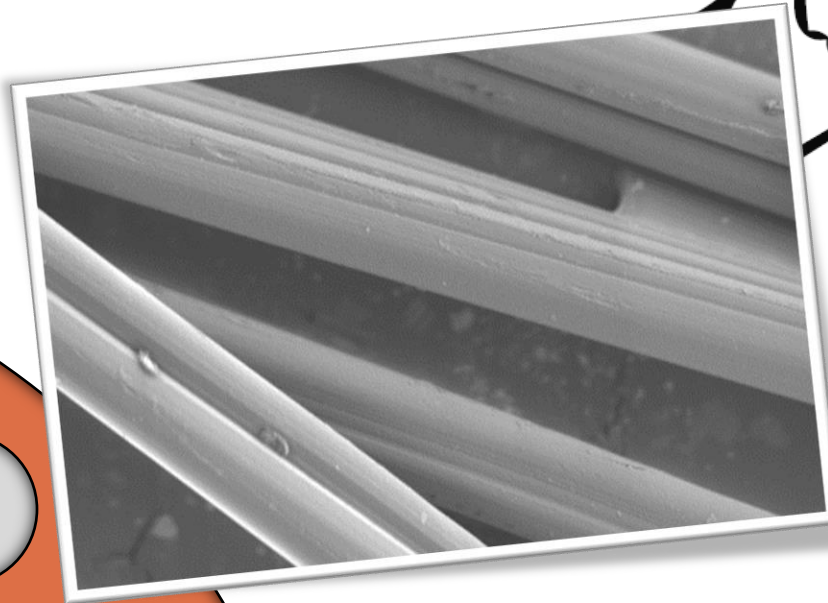
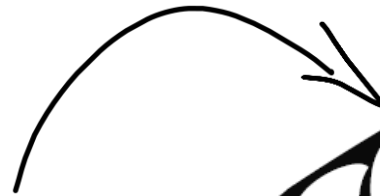


Une géométrie
fine, longue et flexible qui confère
élasticité et résistance

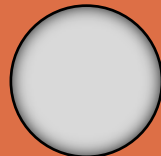
QU'EST-CE QU'UNE FIBRE ?



3 illustrations
3 échelles



1000 μm

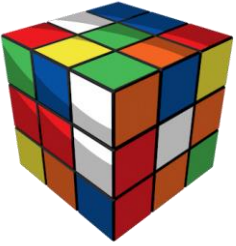


100 μm

10 μm

Aussois – 28 janvier 2025 –

LA FIBRE DE L'INNOVATION AU CENTRE DES MATÉRIAUX

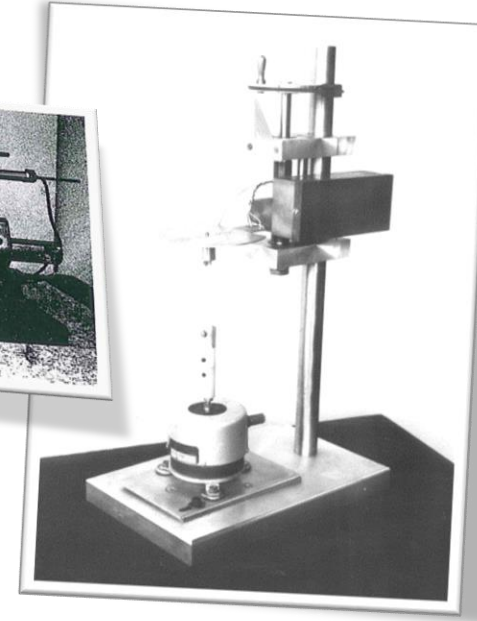
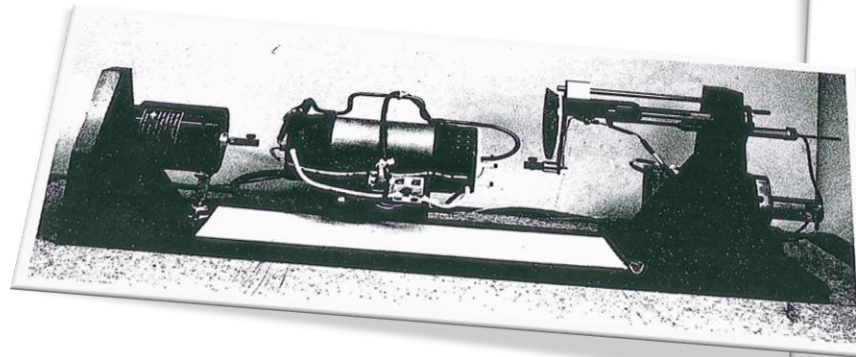


Depuis **plus de 45 ans**,
des travaux **innovants**
et reconnus à l'échelle
des **fibres unitaires**

Anthony Bunsell

Joseph Valy

Yves Favry



LA FIBRE DE L'INNOVATION AU CENTRE DES MATÉRIAUX



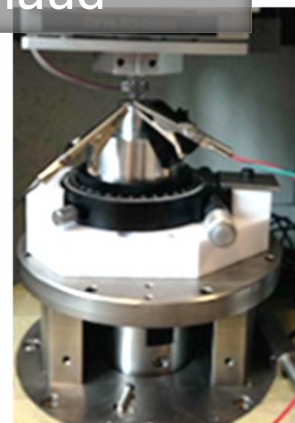
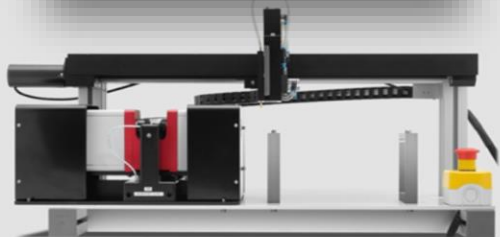
ESPCI PARIS | PSL

Alba Marcellan

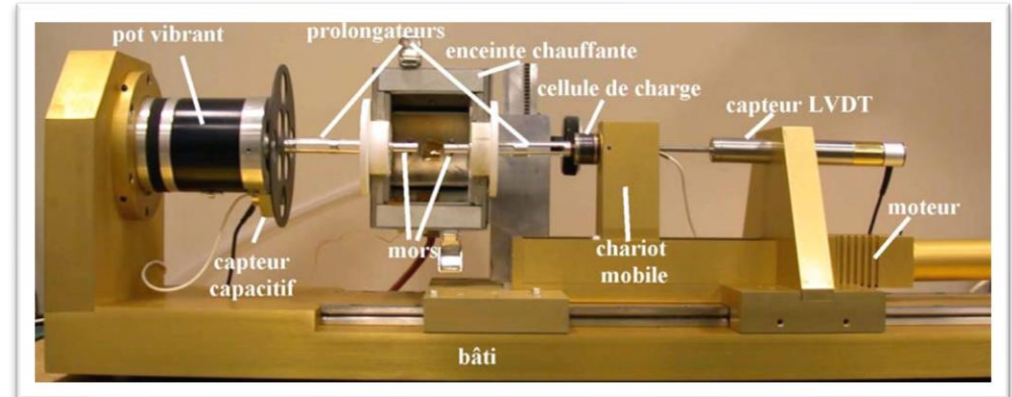
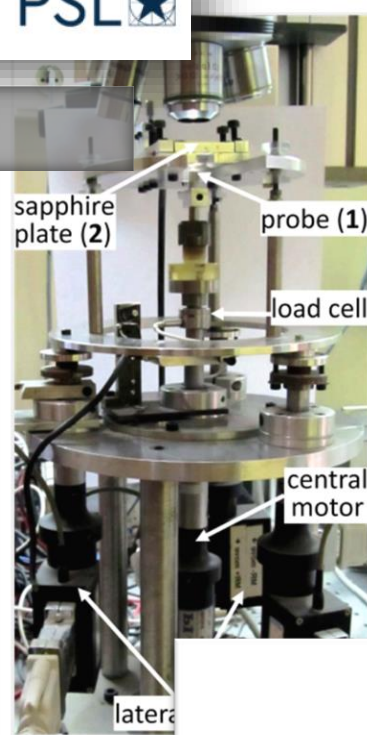
Depuis **plus de 45 ans**,
des travaux **innovants**
et reconnus à l'échelle
des **fibres unitaires**

Pierre Arnaud

DIA-STRON



Laurent Corté



SESAMES - μ MAX

Atelier JPE

2025

en Joannès

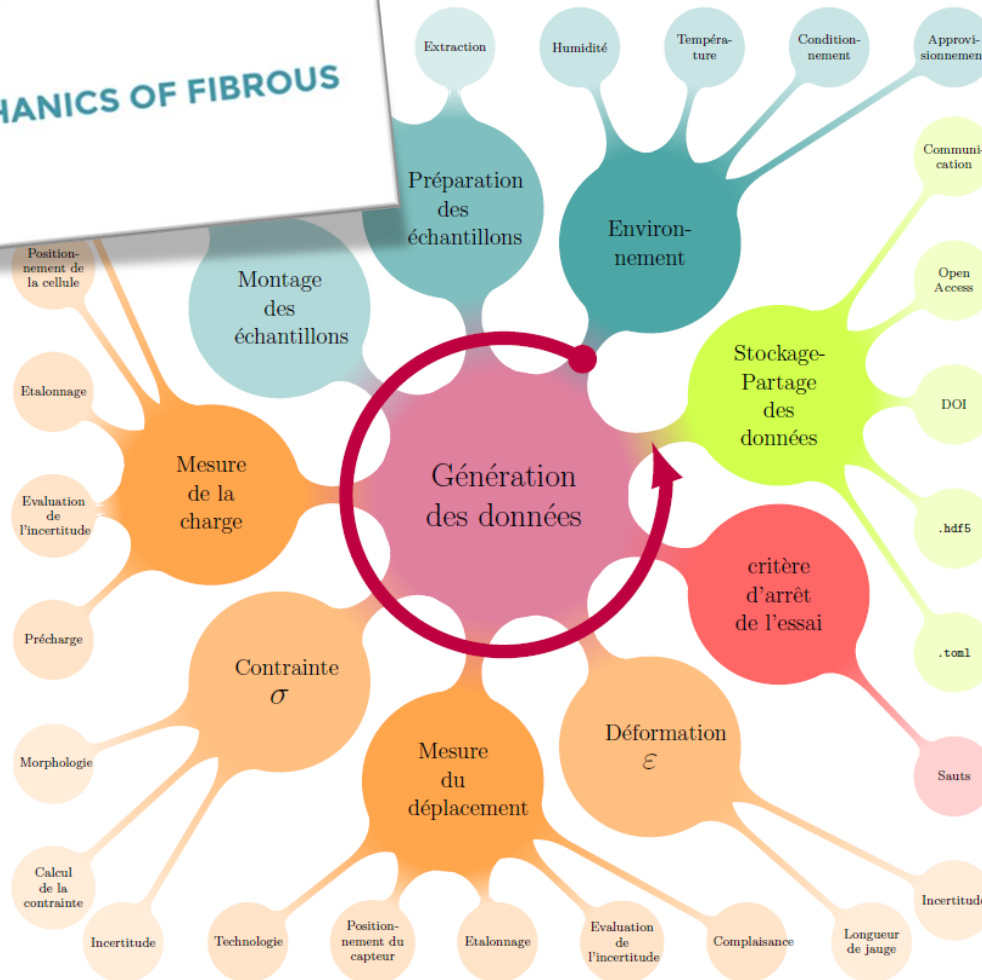
LA FIBRE DE L'INNOVATION AU CENTRE DES MATÉRIAUX



❖ Echantillonnage

❖ Contraintes & déformations

❖ Morphologie



❖ Stockage & partage des données

📖 A round-robin study on the tensile characterization of single fibres: a multifactorial analysis and recommendations for more reliable results
Composites Part A, 2024

2

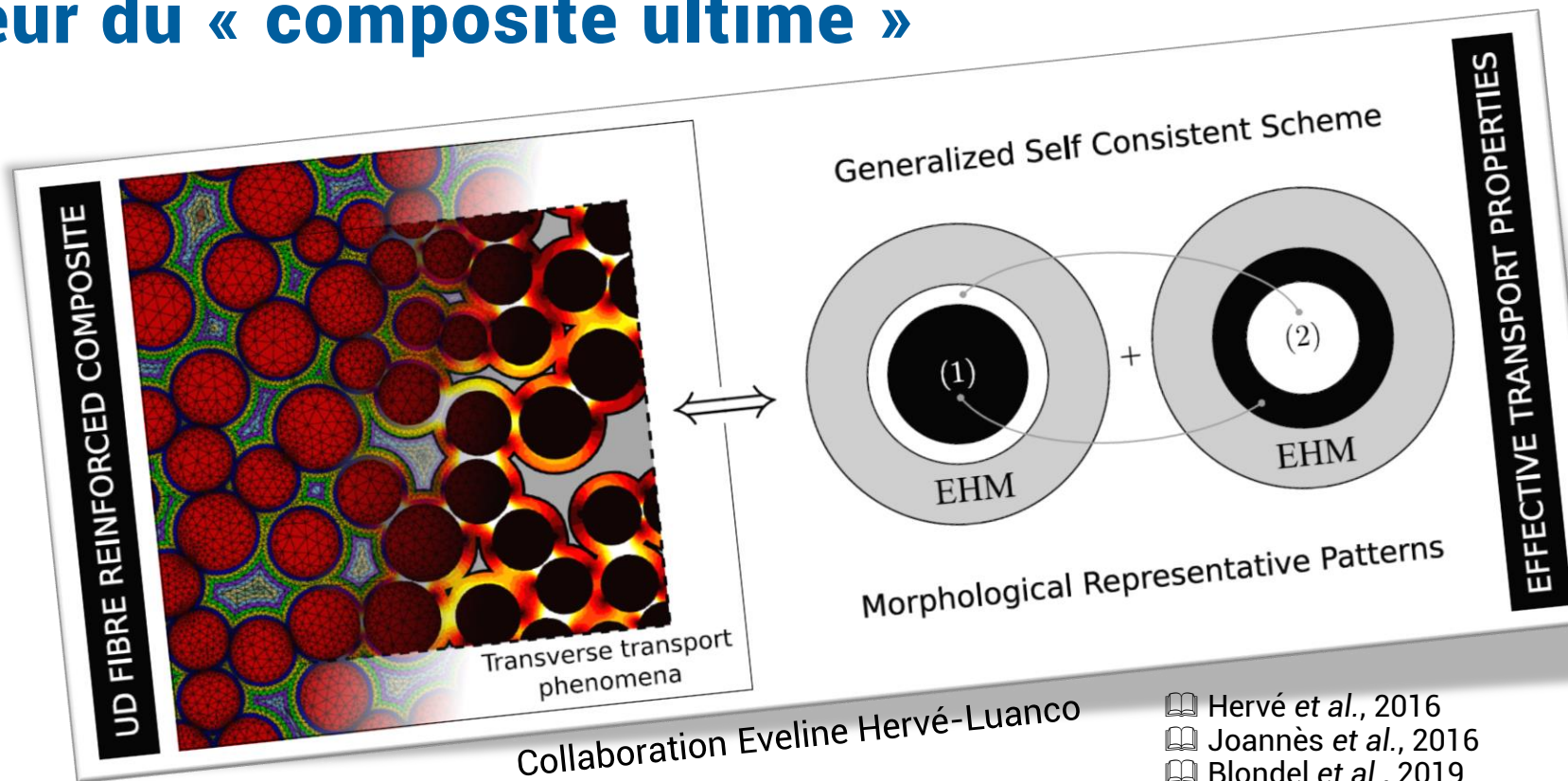
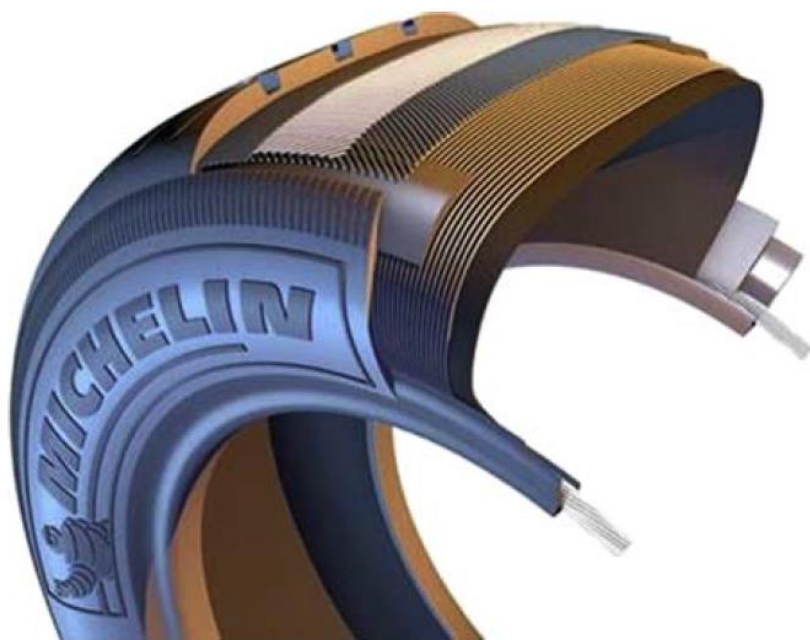
BIEN APPRÉHENDER LE COMPORTEMENT MONO-FILAMENTAIRE

ACCÉDER AUX PROPRIÉTÉS TRANSVERSES



BIEN APPRÉHENDER LE COMPORTEMENT MONO-FILAMENTAIRE

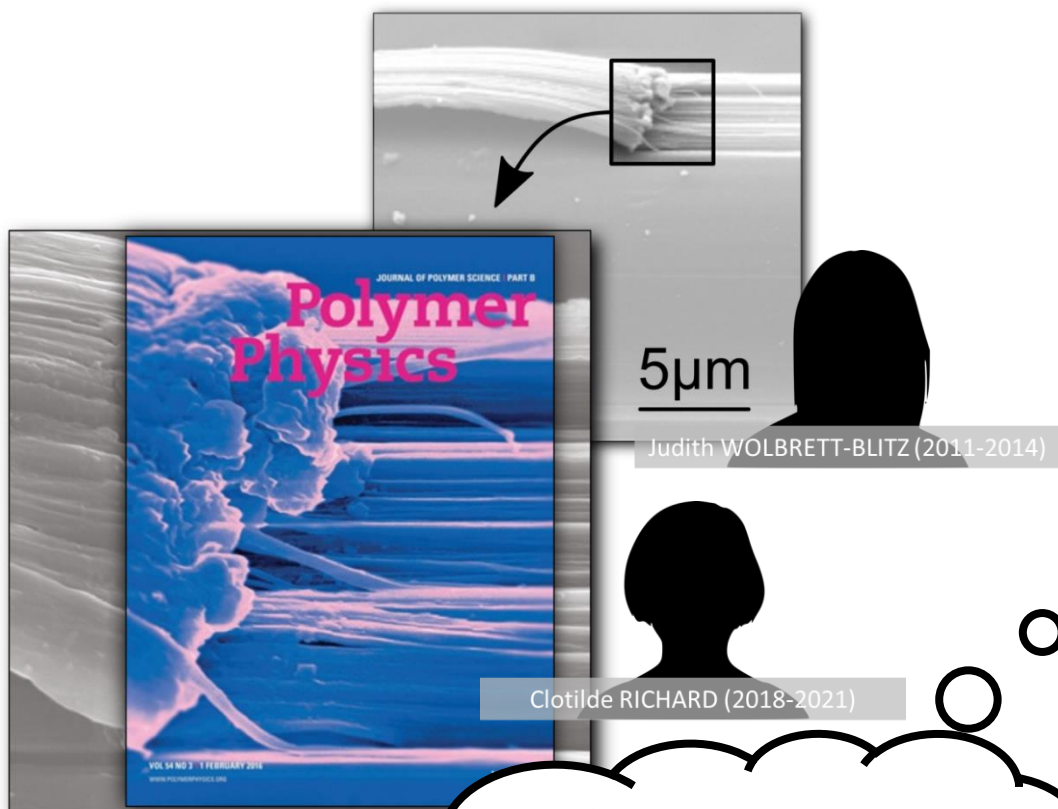
Au cœur du « composite ultime »



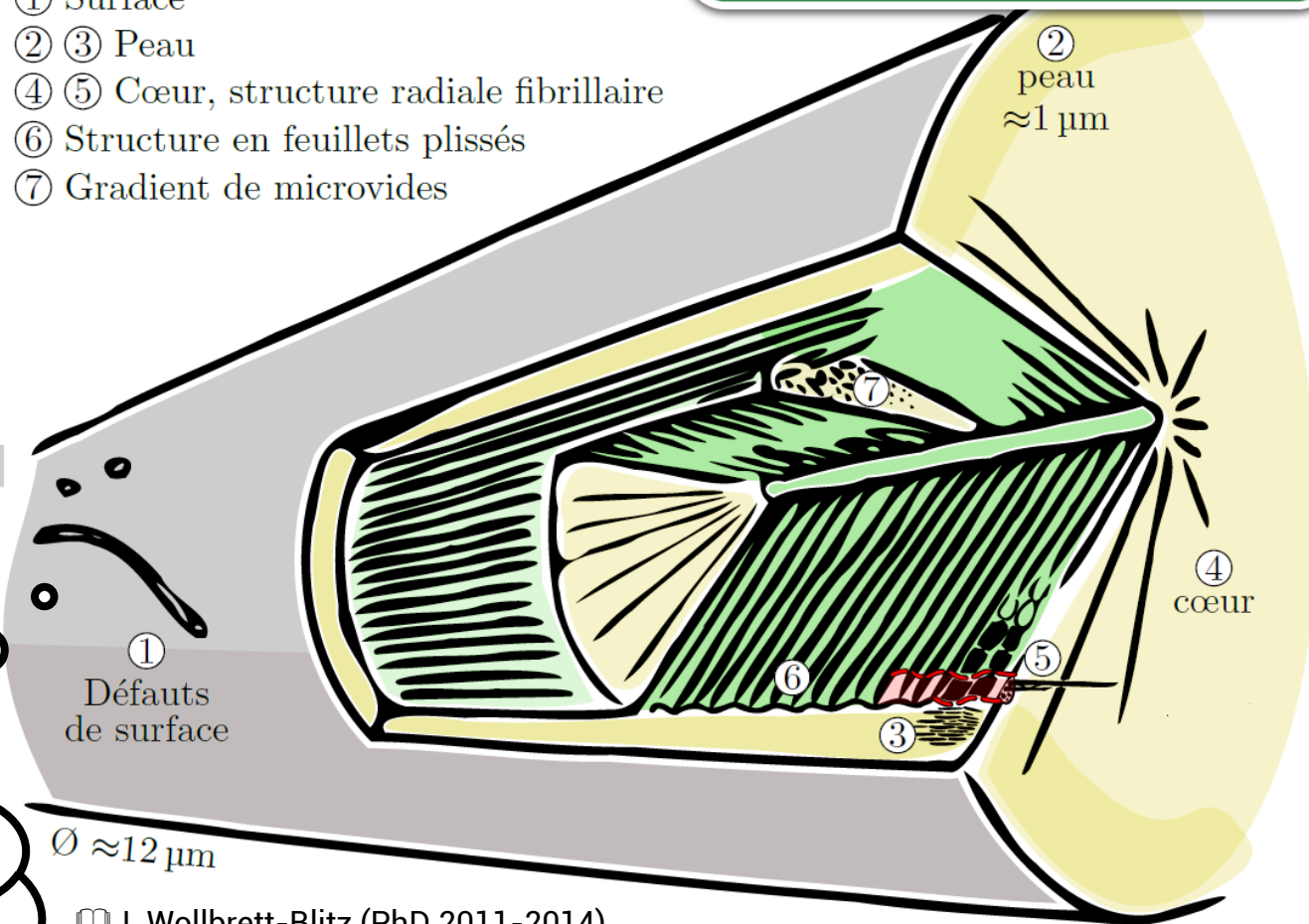
BIEN APPRÉHENDER LE COMPORTEMENT MONO-FILAMENTAIRE

Kevlar®
Une microstructure
complexe et anisotrope

- ① Surface
- ② ③ Peau
- ④ ⑤ Cœur, structure radiale fibrillaire
- ⑥ Structure en feuillets plissés
- ⑦ Gradient de microvides



Wollbrett-Blitz
et al., 2016



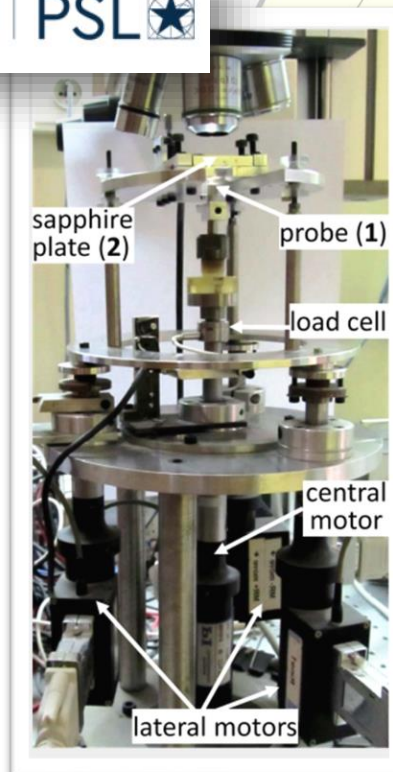
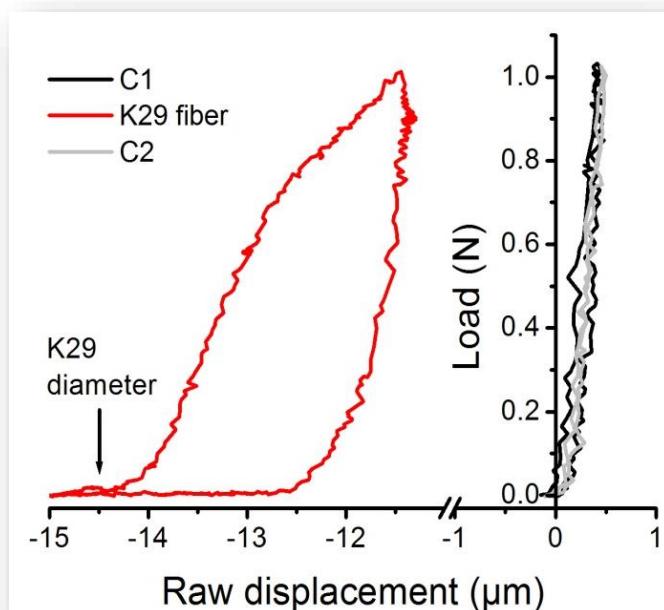
J. Wollbrett-Blitz (PhD 2011-2014)
C. Richard (PhD 2018-2021)

S. Joannès (HDR 2022)

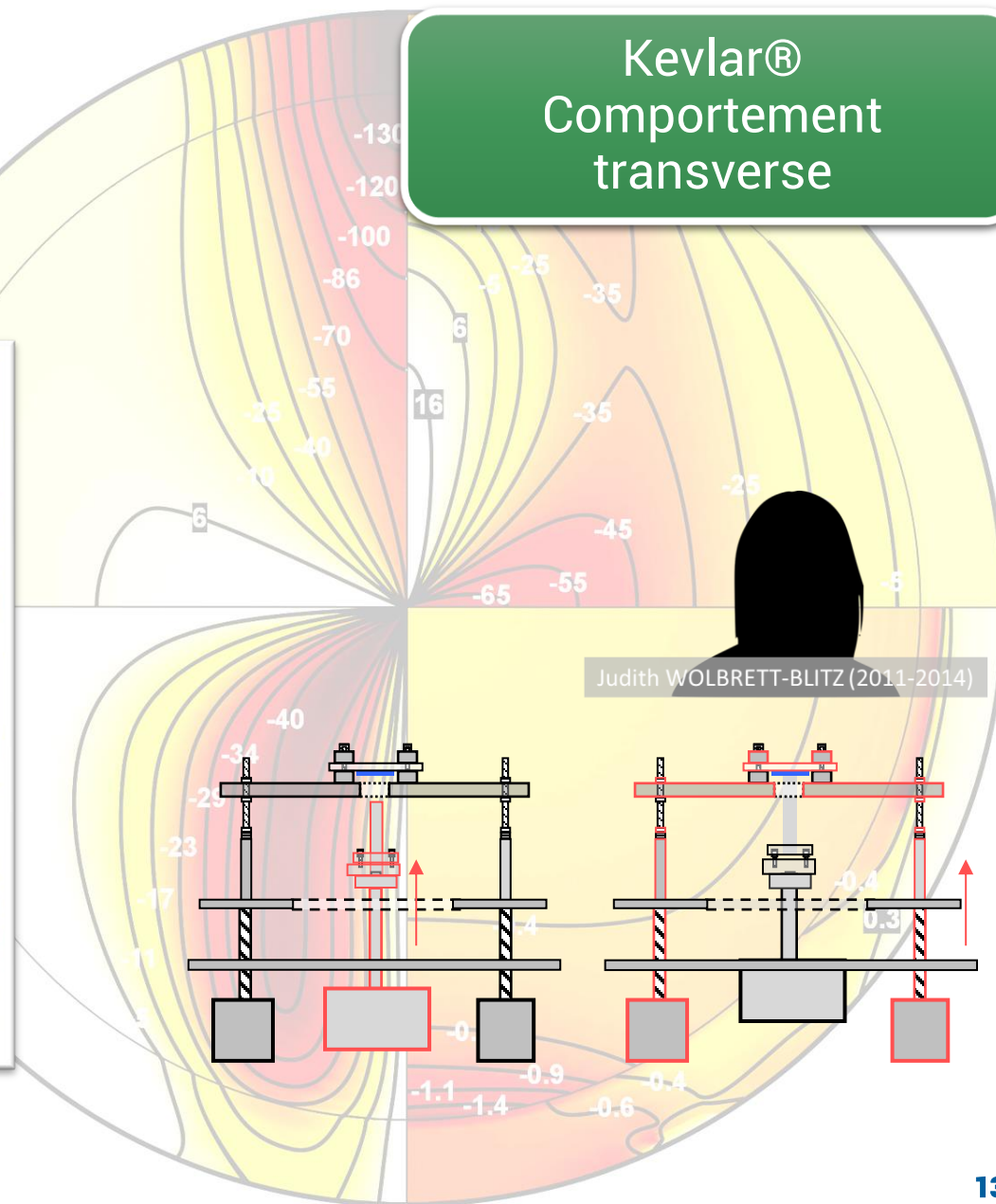
Aussois – 28 janvier 2025 – Sébastien Joannès

ACCÉDER AUX PROPRIÉTÉS TRANSVERSES

ESPCI PARIS | PSL

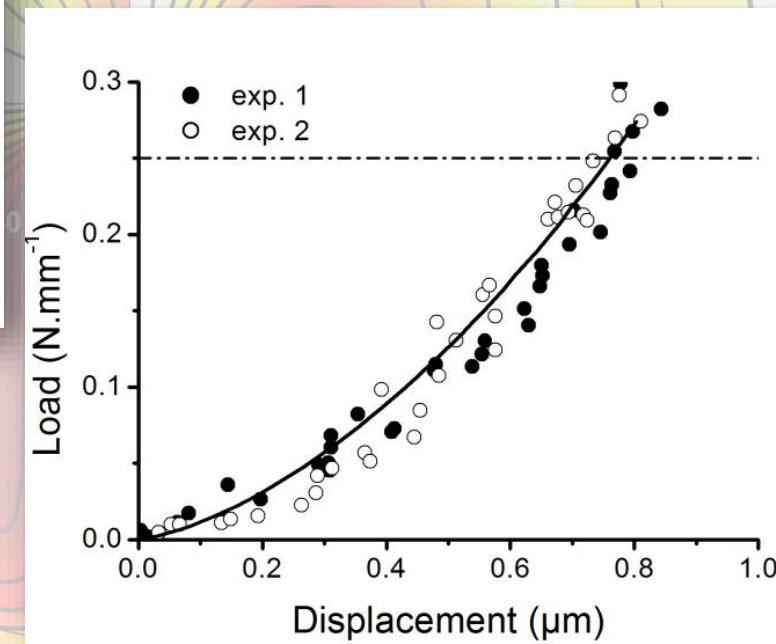
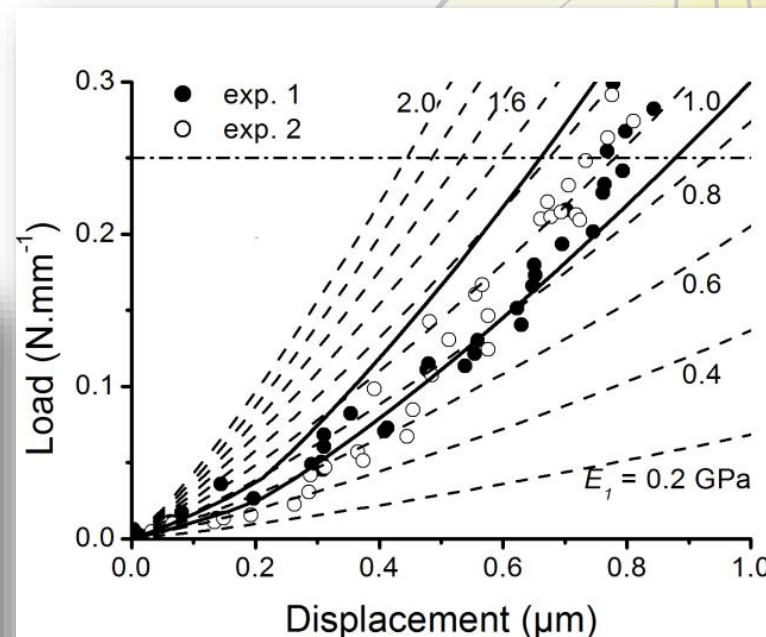
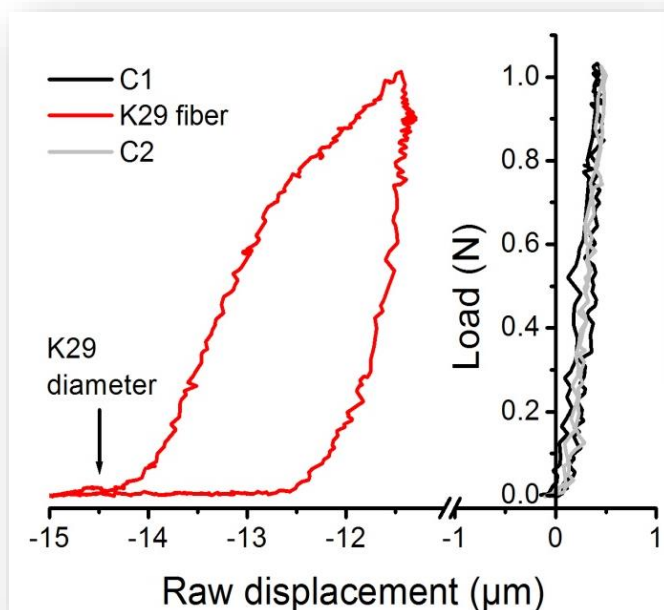
alba.marcellan@espci.psl.eu

Kevlar® Comportement transverse



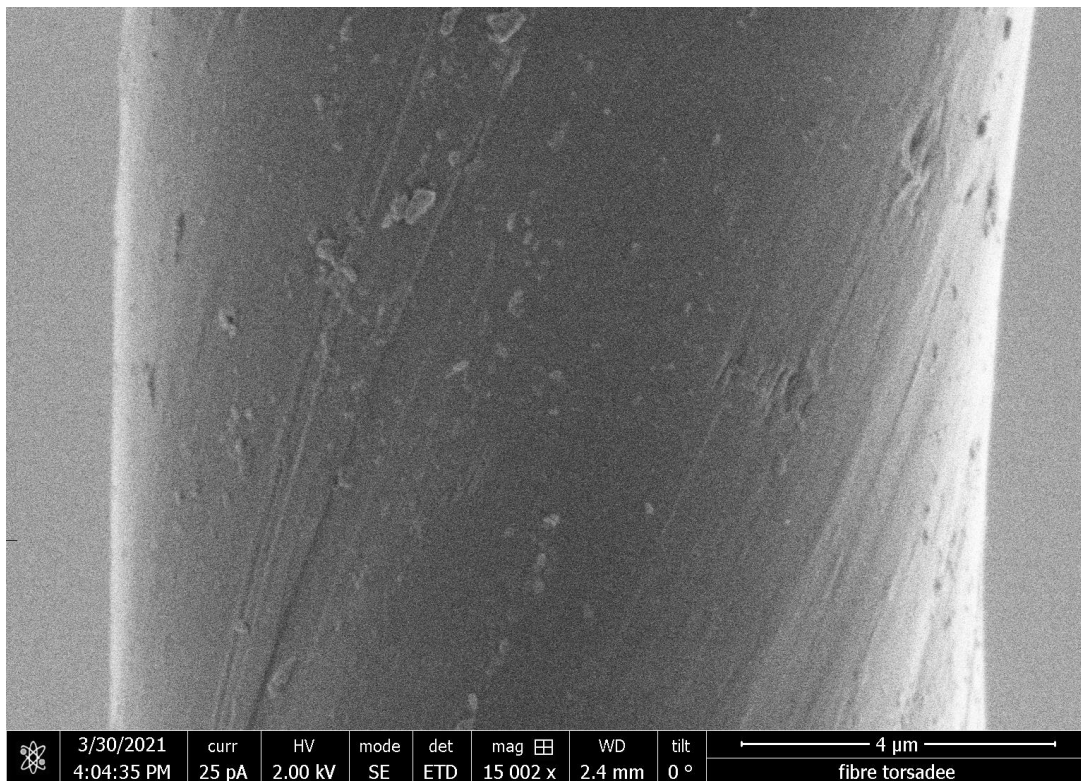
ACCÉDER AUX PROPRIÉTÉS TRANSVERSES

Kevlar®
Comportement
transverse



BIEN APPRÉHENDER LE COMPORTEMENT MONO-FILAMENTAIRE

Kevlar®
Mécanismes
d'endommagement



In Situ Tensile Test (SEM)

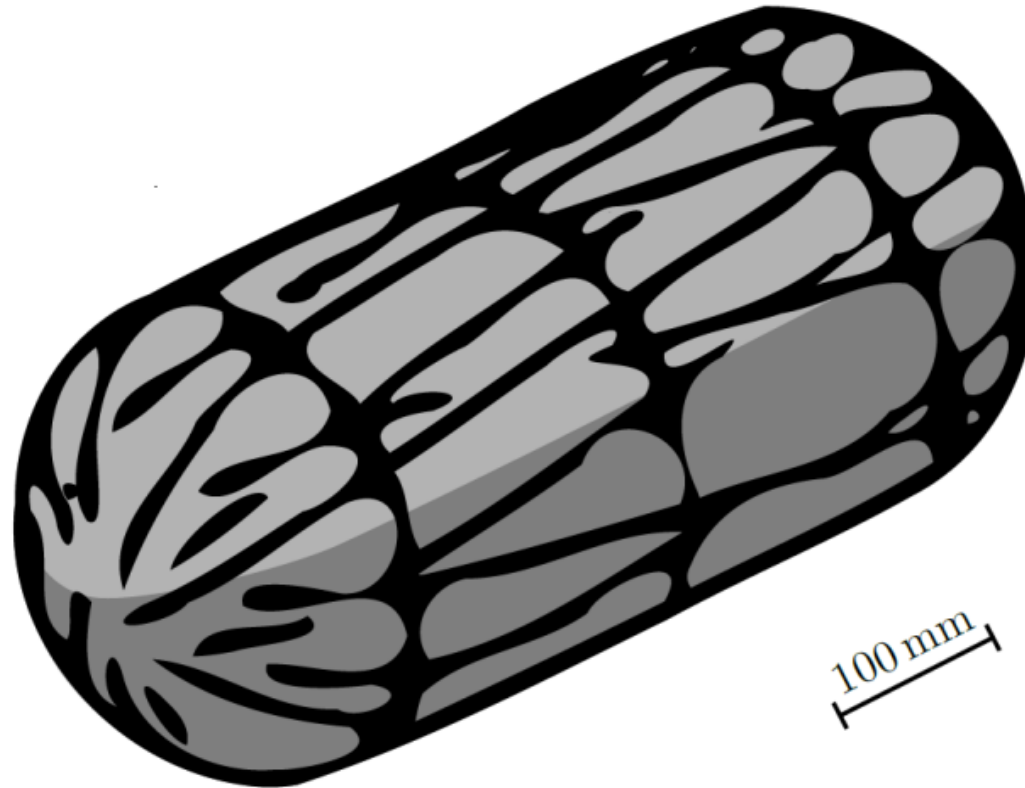


📖 Mechanisms of damage and fracture of aramid fibers:
Focus on the role of microfibril cooperativity in fracture toughness
Polymer Science, Richard et al., 2023

Clotilde RICHARD (2018-2021)

3

FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE



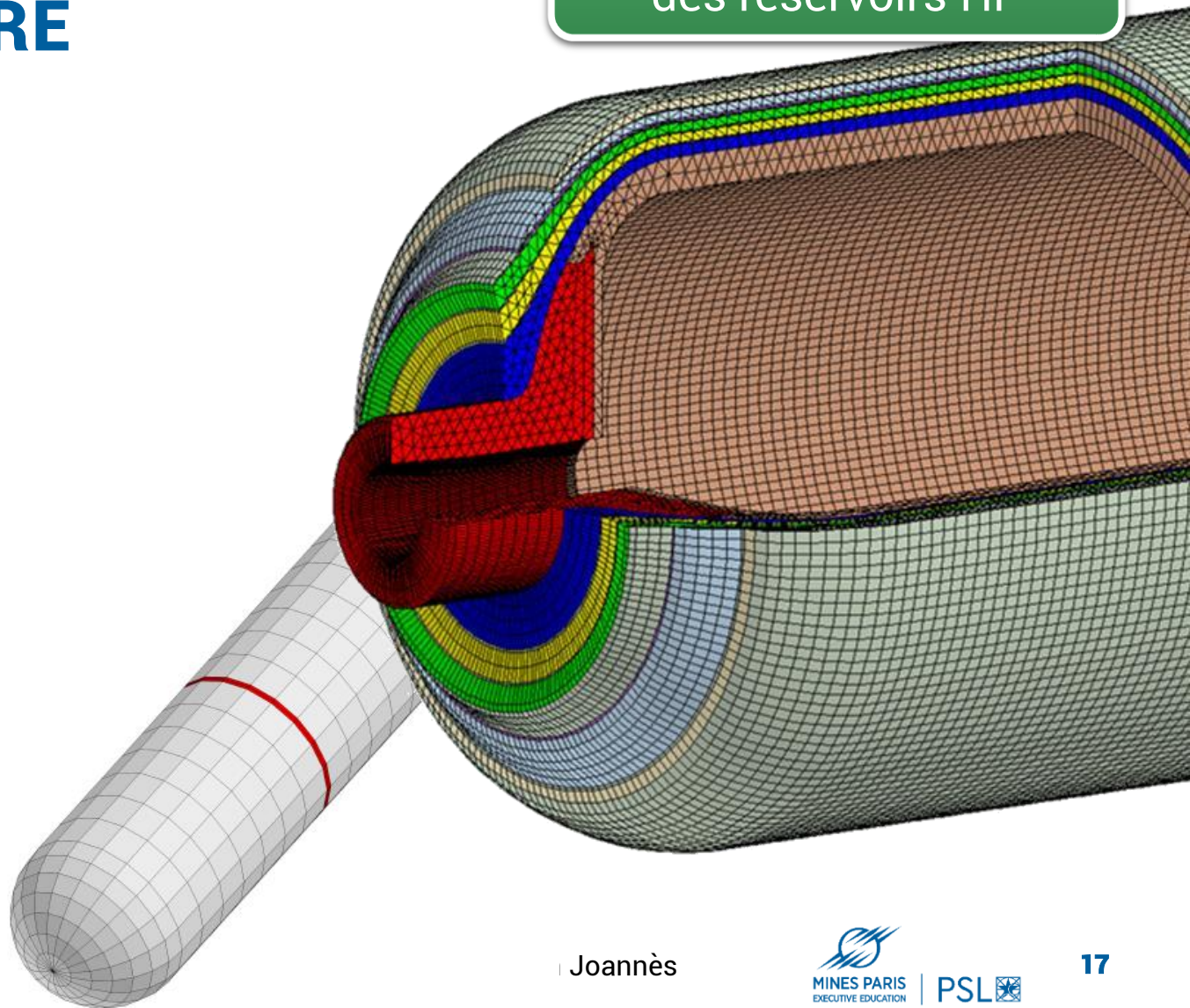
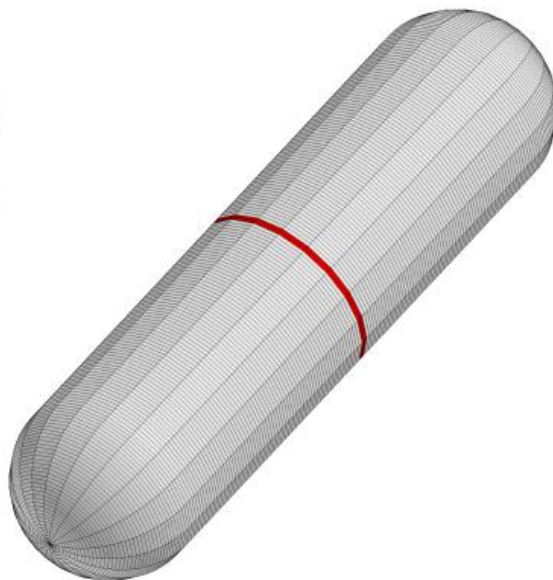
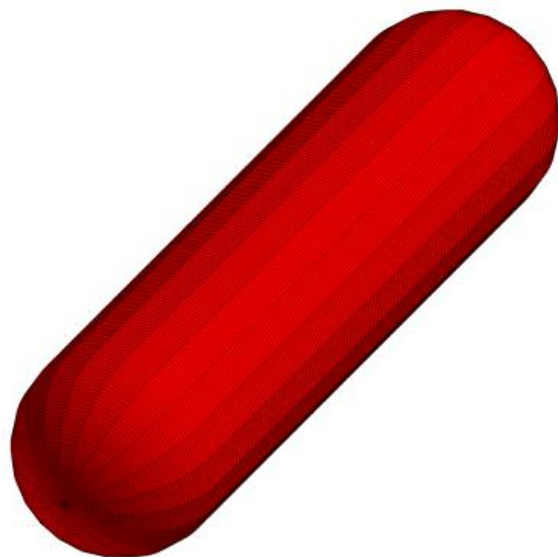
FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

Un voyage au cœur
des reservoirs HP

Le concept SERFAIR:
Quel domaine considérer?
Combien de simulations
réaliser?



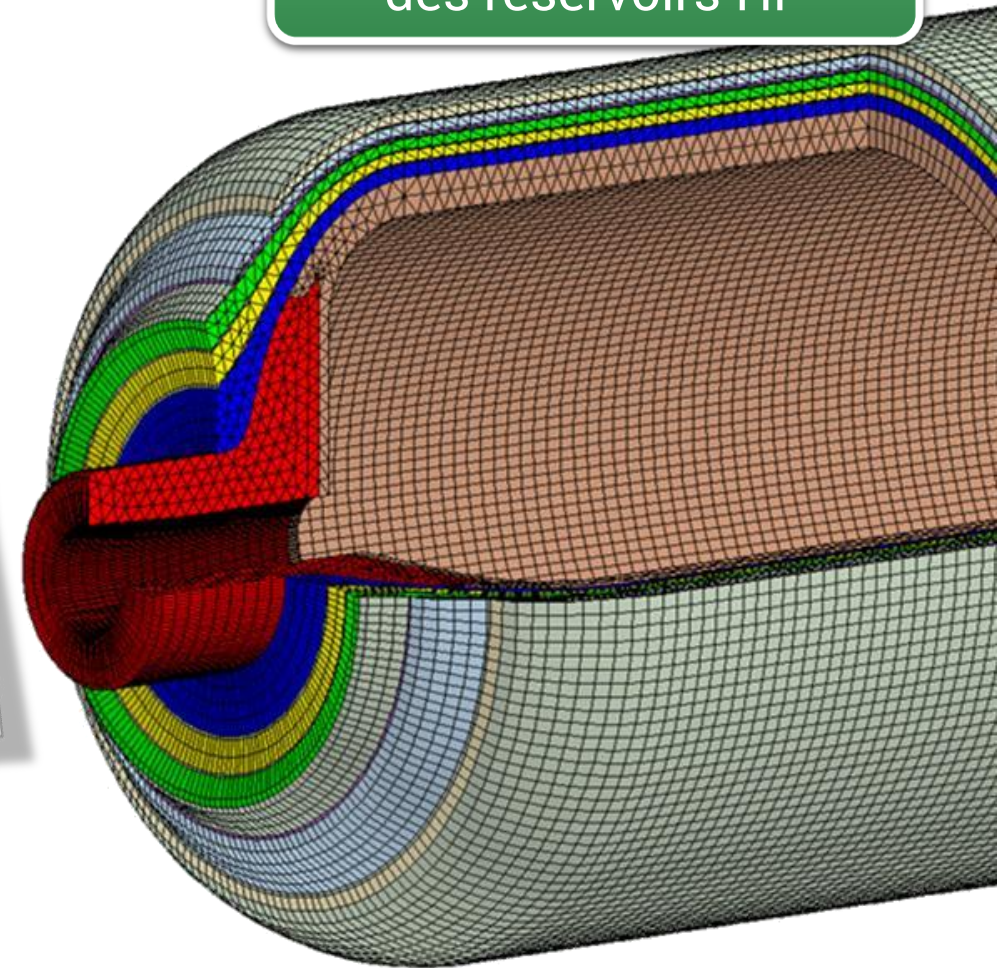
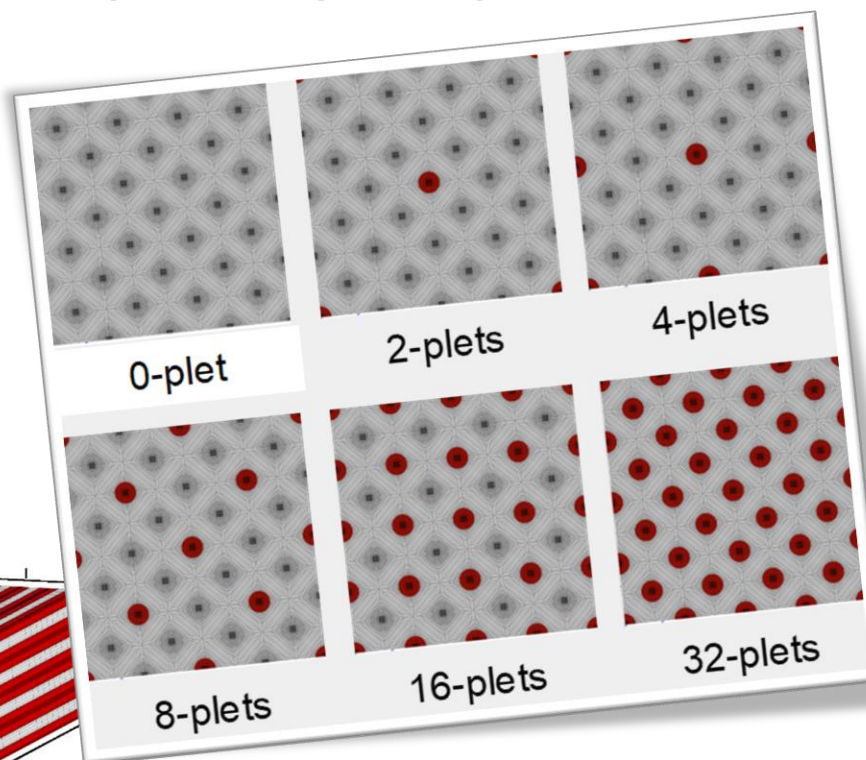
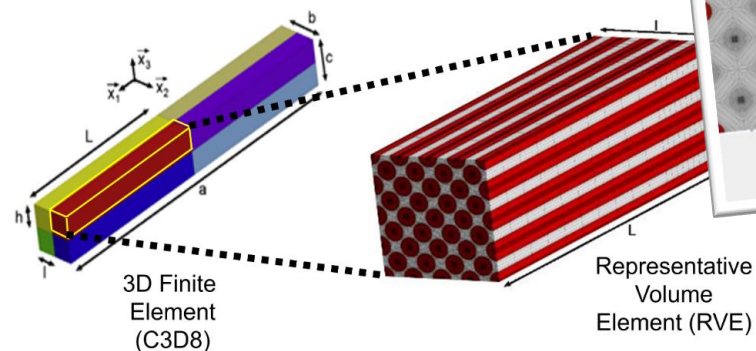
Martinus Putra Widjaja (2017-2020)



FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

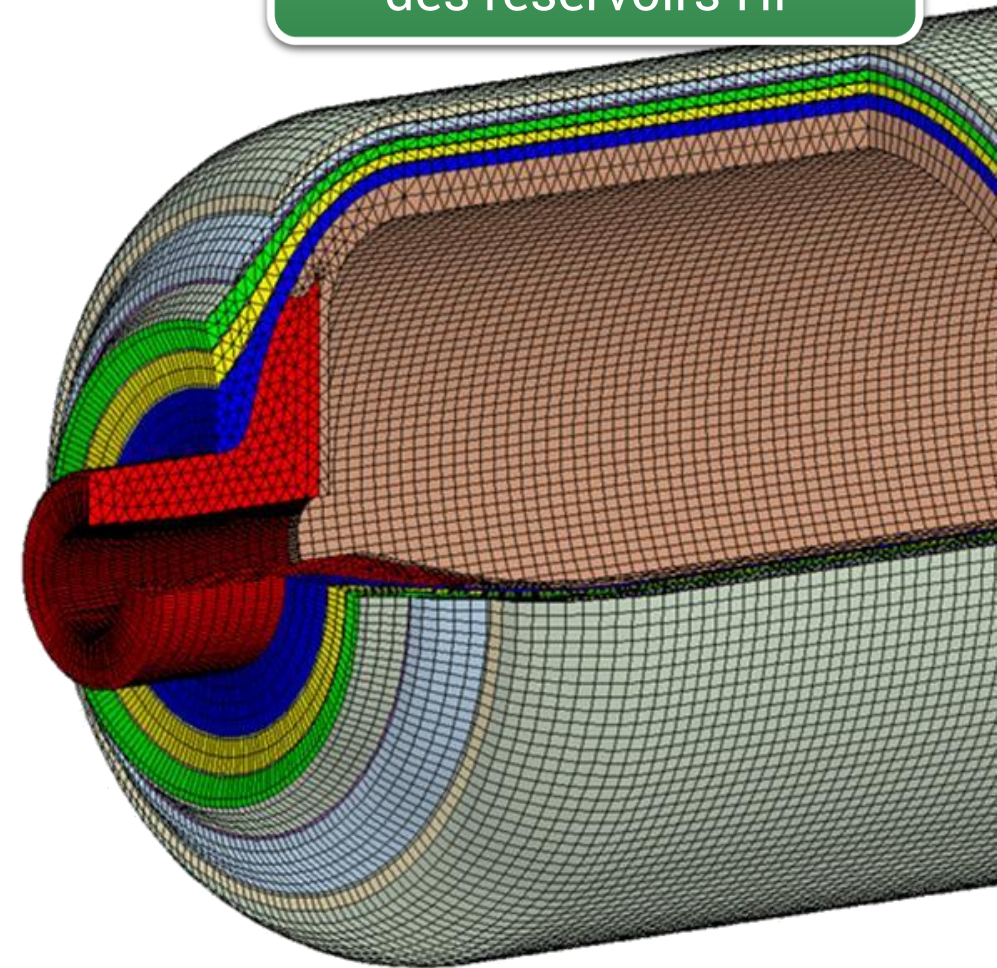
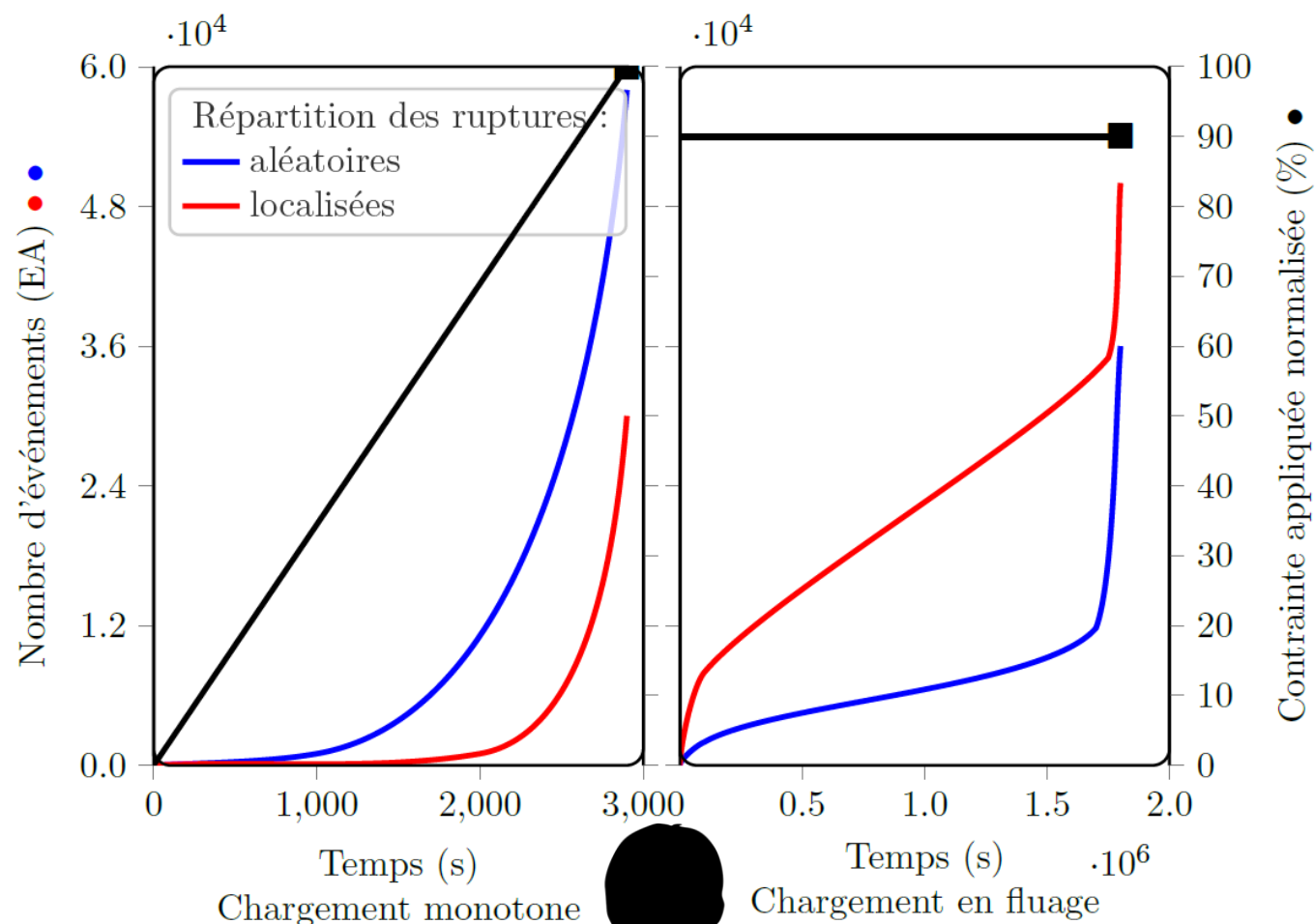
Un voyage au cœur
des reservoirs HP

- 📖 Blassiau *et al.*, 2006
- 📖 Thionnet *et al.*, 2014
- 📖 Thionnet *et al.*, 2015
- 📖 Thionnet *et al.*, 2016



FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

Un voyage au cœur
des réservoirs HP

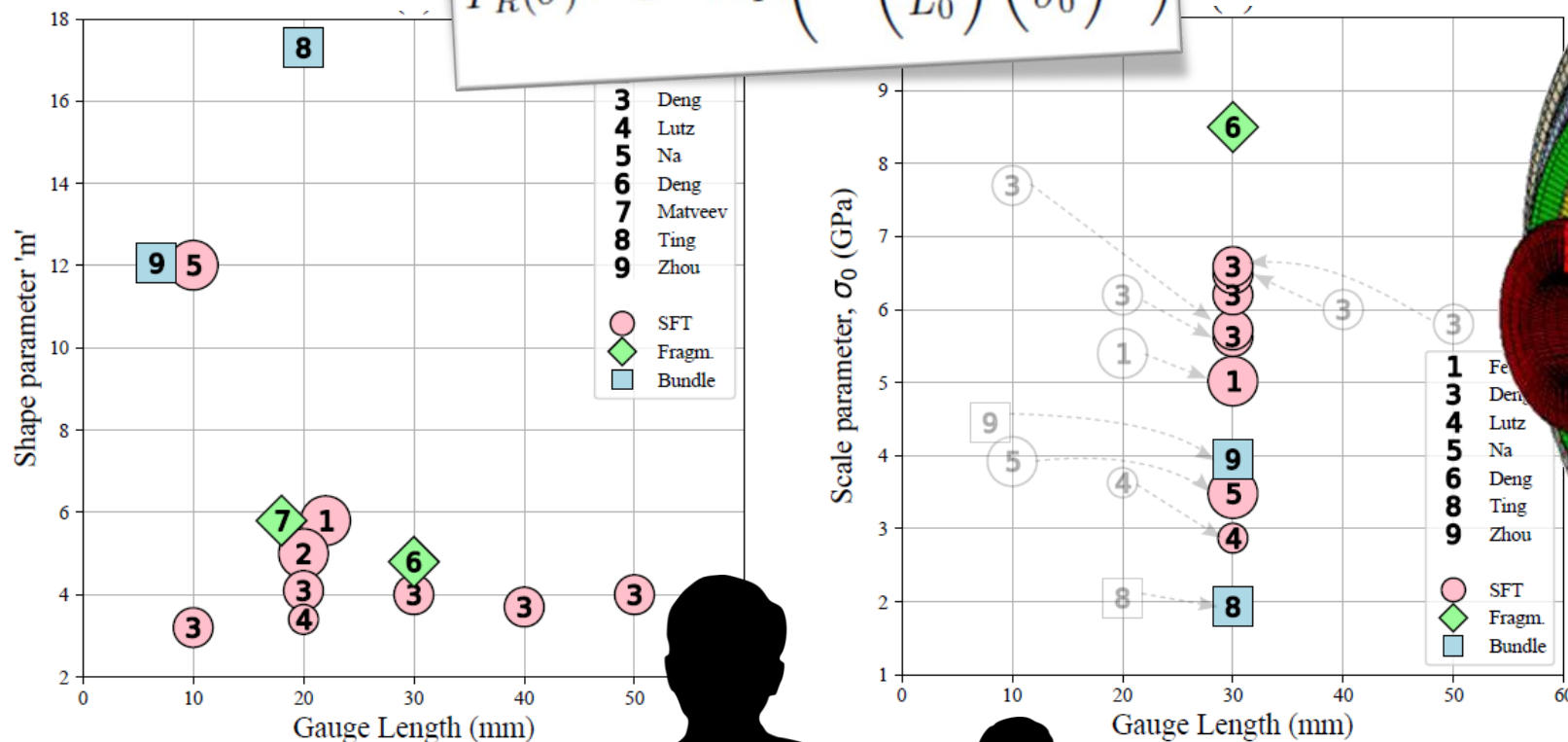


FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

Focus sur la fibre de
carbone T700

Islam et al., 2019

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



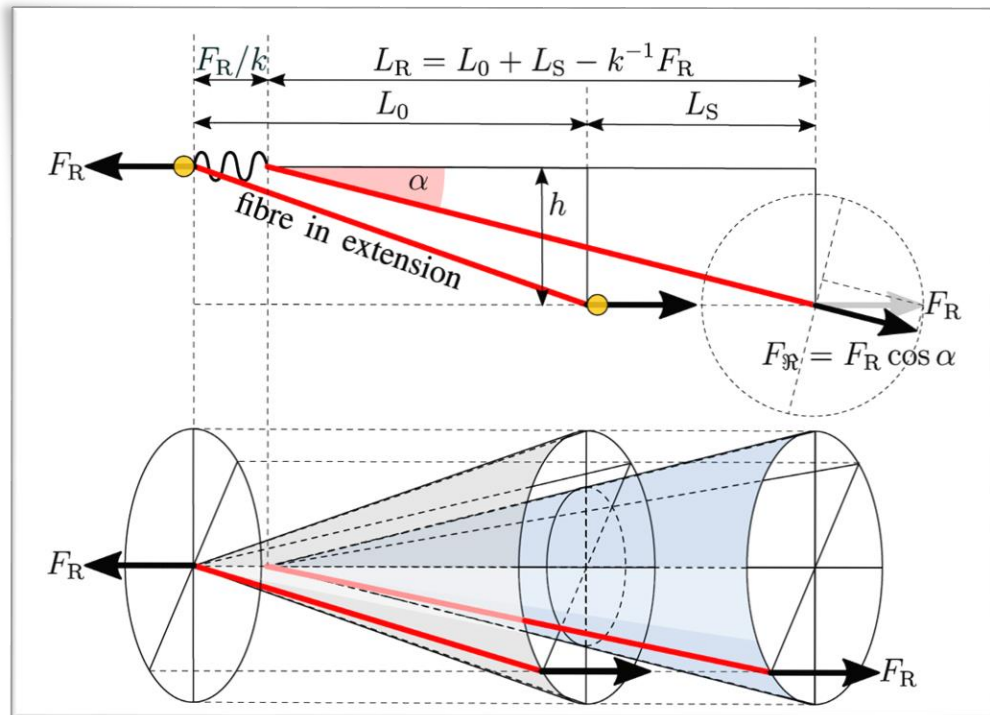
Faisal ISLAM (2017-2020)

Ashok RAJPUROHIT (2017-2020)

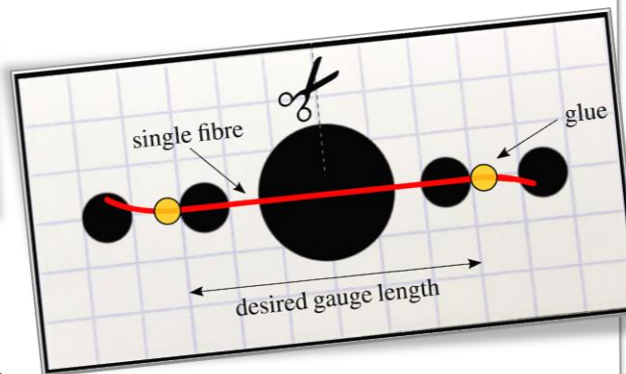
Aussois – 28 janvier 2025 – Sébastien Joannès

FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

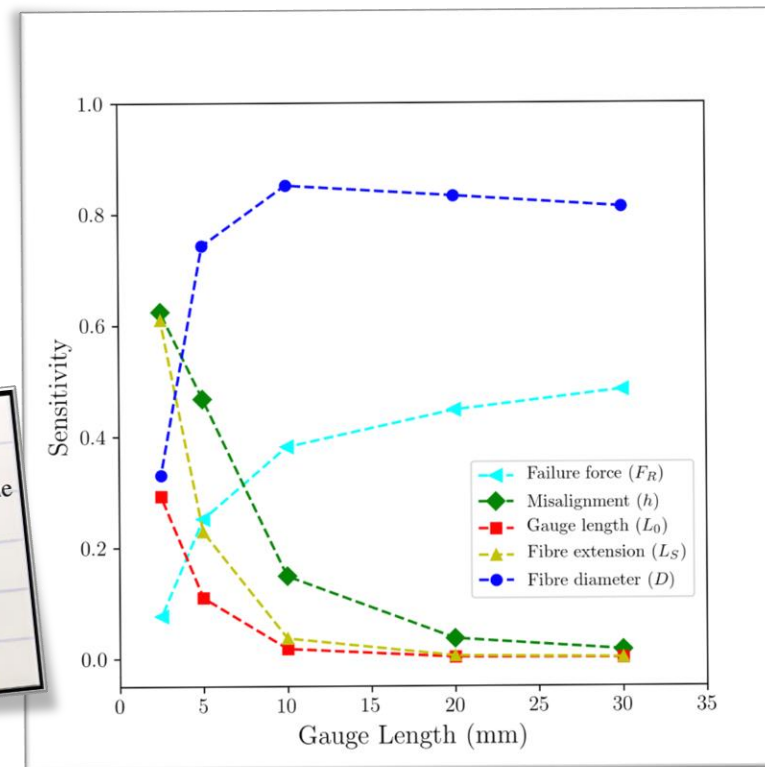
Focus sur la fibre de
carbone T700



Quelles sources
d'incertitudes ?

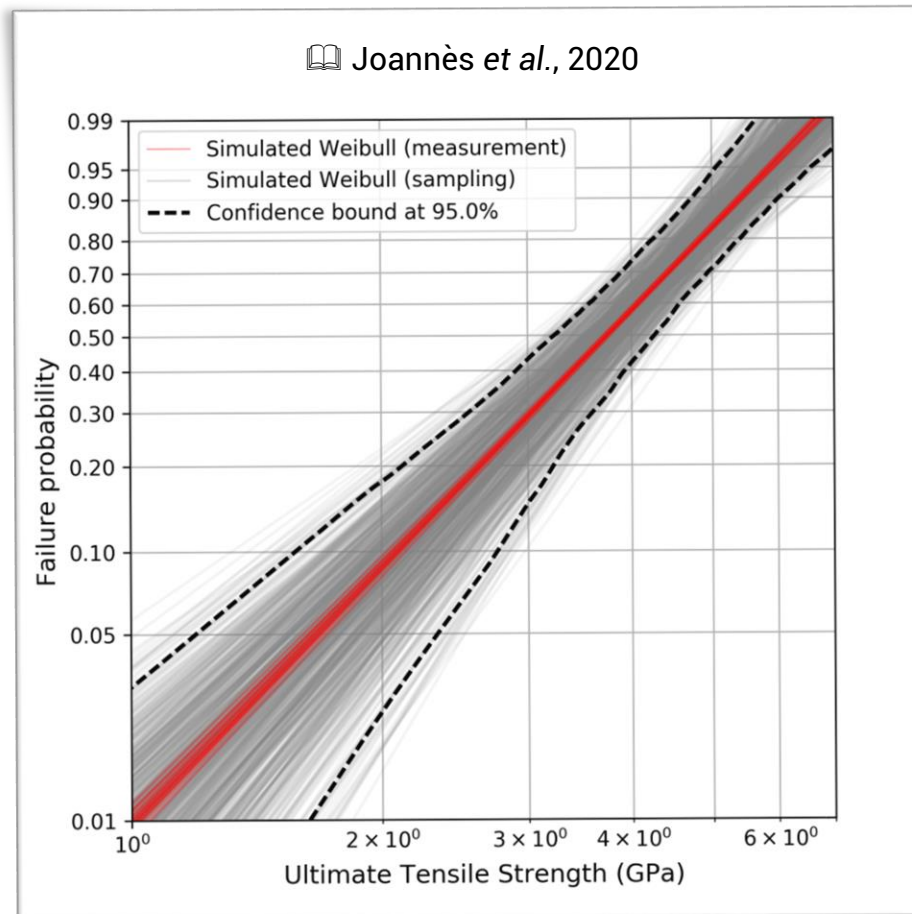
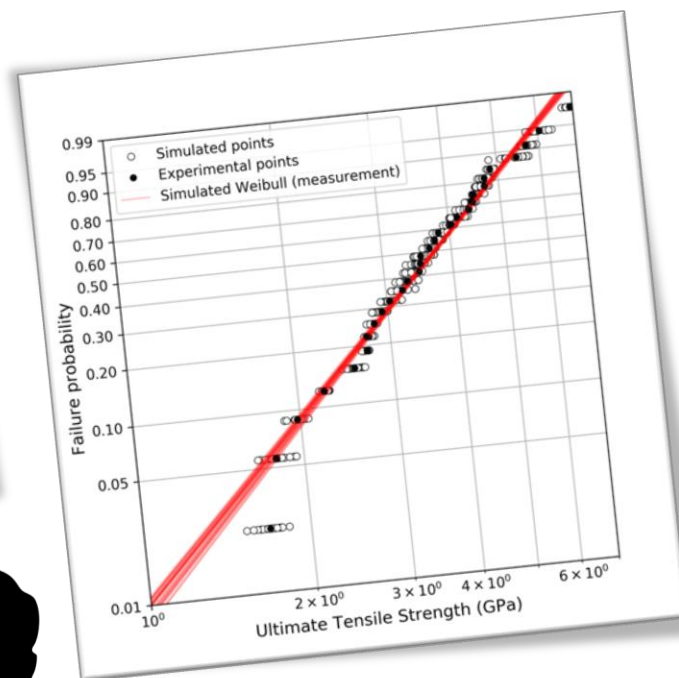
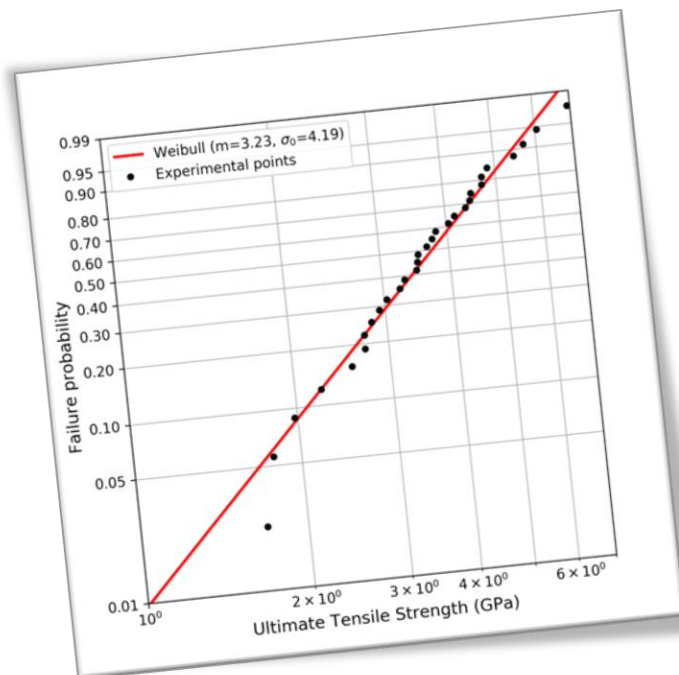


Islam et al., 2019



FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

Focus sur la fibre de
carbone T700



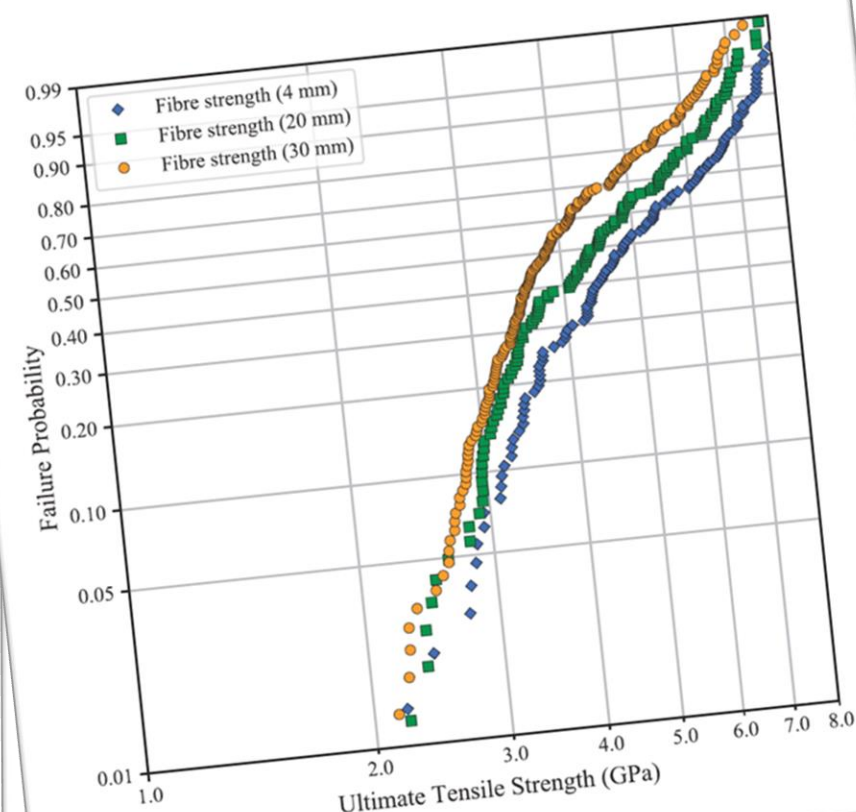
FOCUS SUR LA DISTRIBUTION DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE

Focus sur la fibre de
carbone T700



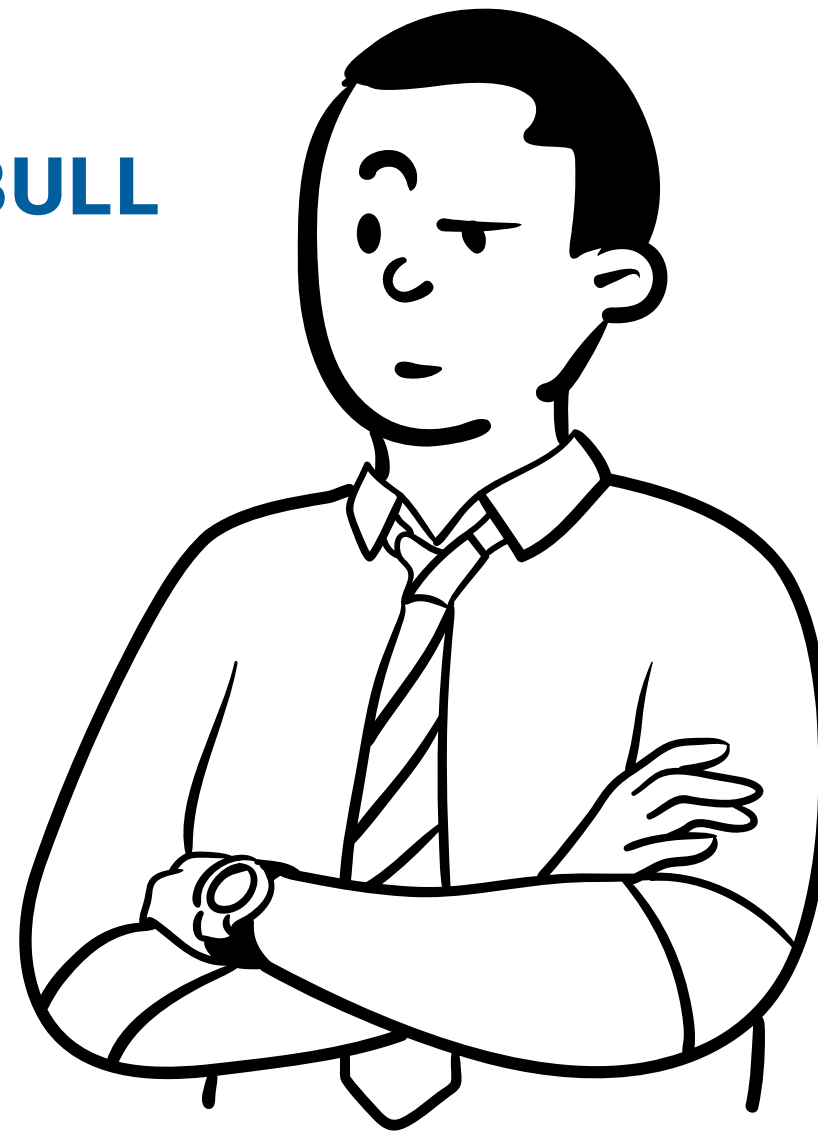
S.N.	Gauge Length (mm)	N
1	04	120
2	20	135
3	30	200

Augmenter
l'échantillonnage !



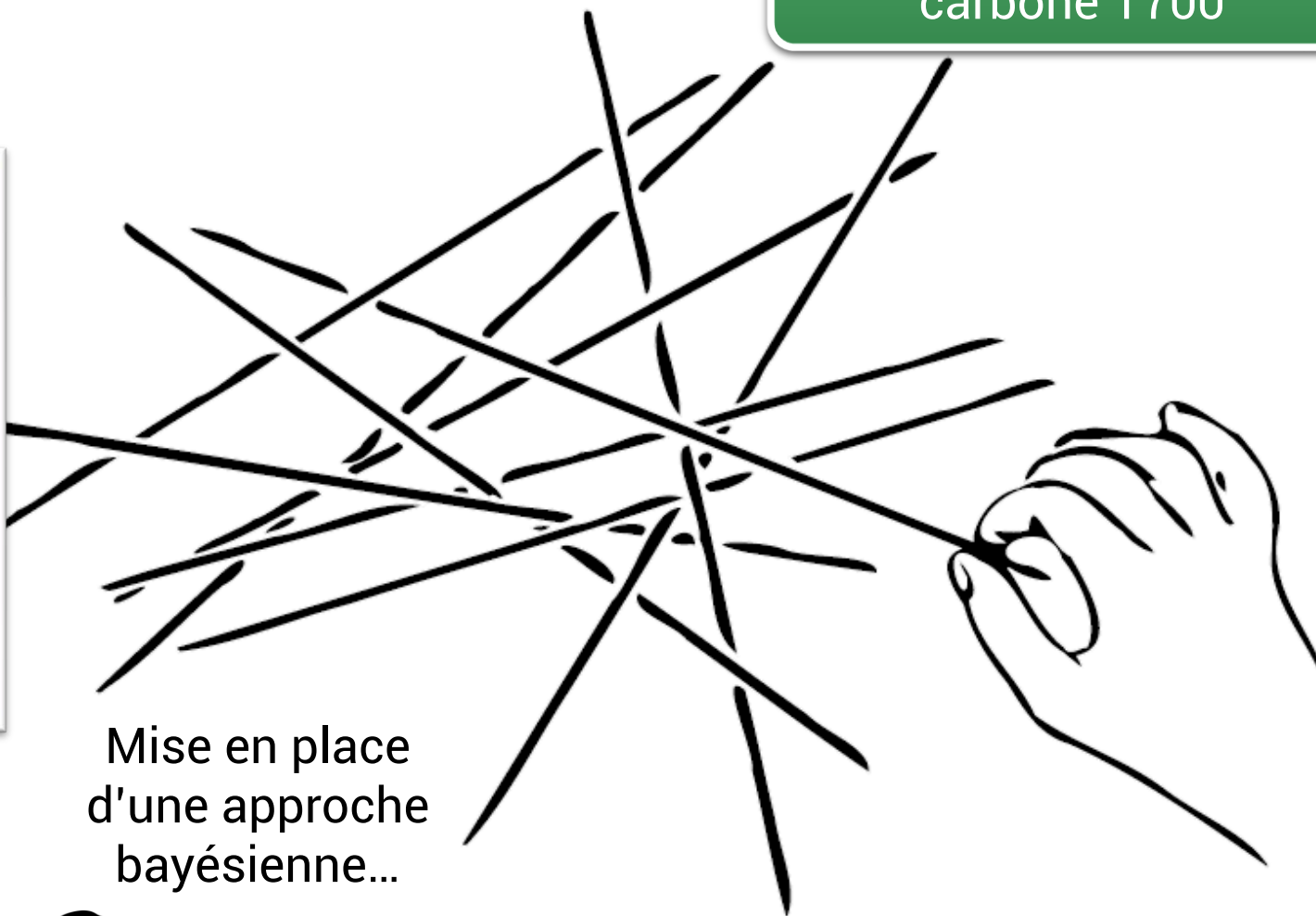
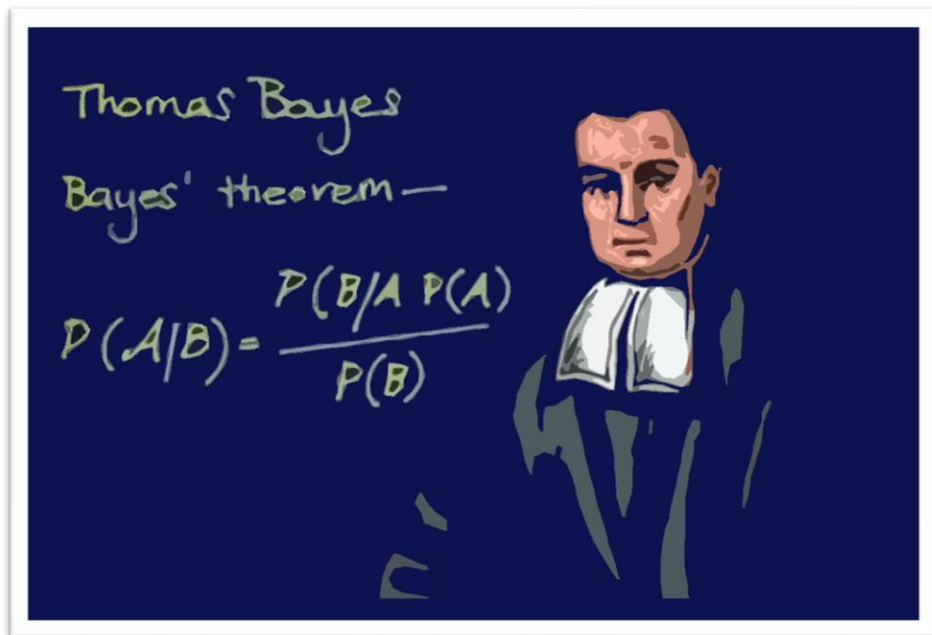
4

DU BON USAGE DE LA DISTRIBUTION DE WEIBULL



DU BON USAGE DE LA DISTRIBUTION DE WEIBULL

Focus sur la fibre de carbone T700



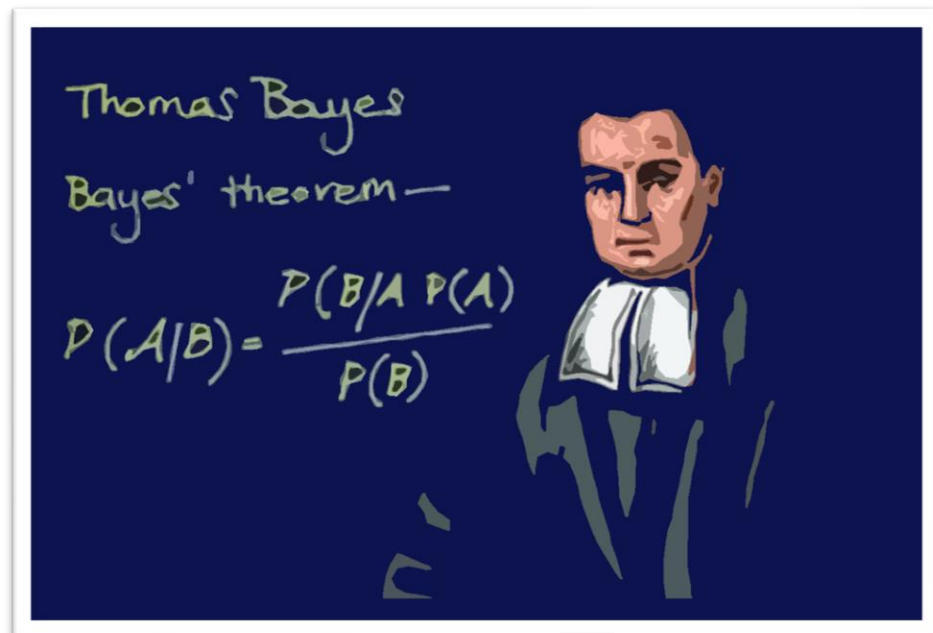
Faisal ISLAM (2017-2020)

Ashok RAJPUROHIT (2017-2020)

Aussois – 28 janvier 2025 – Sébastien Joannès

DU BON USAGE DE LA DISTRIBUTION DE WEIBULL

Focus sur la fibre de carbone T700



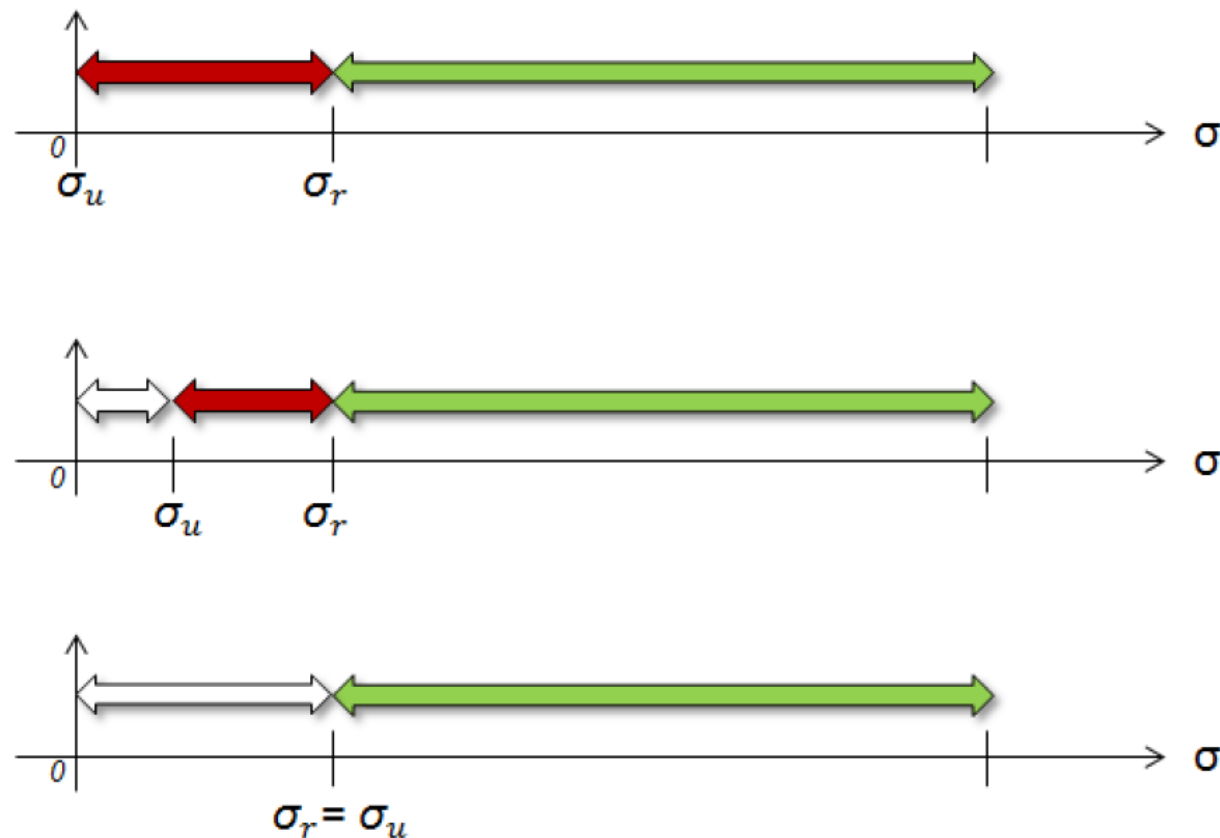
- █ Existent and Accessible
- █ Existent and Inaccessible
- █ Inexistent



Faisal ISLAM (2017-2020)

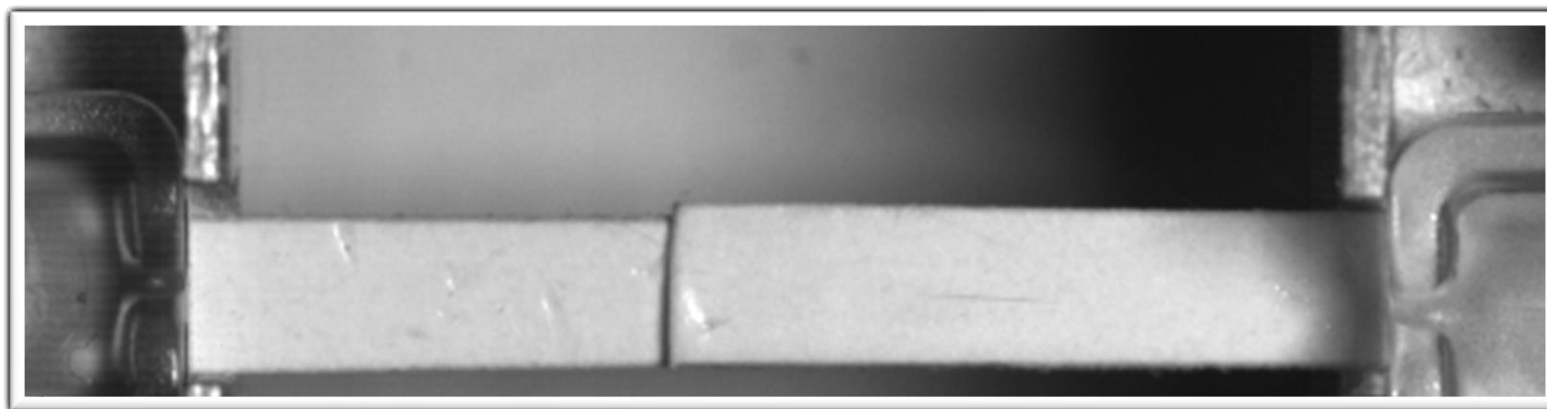
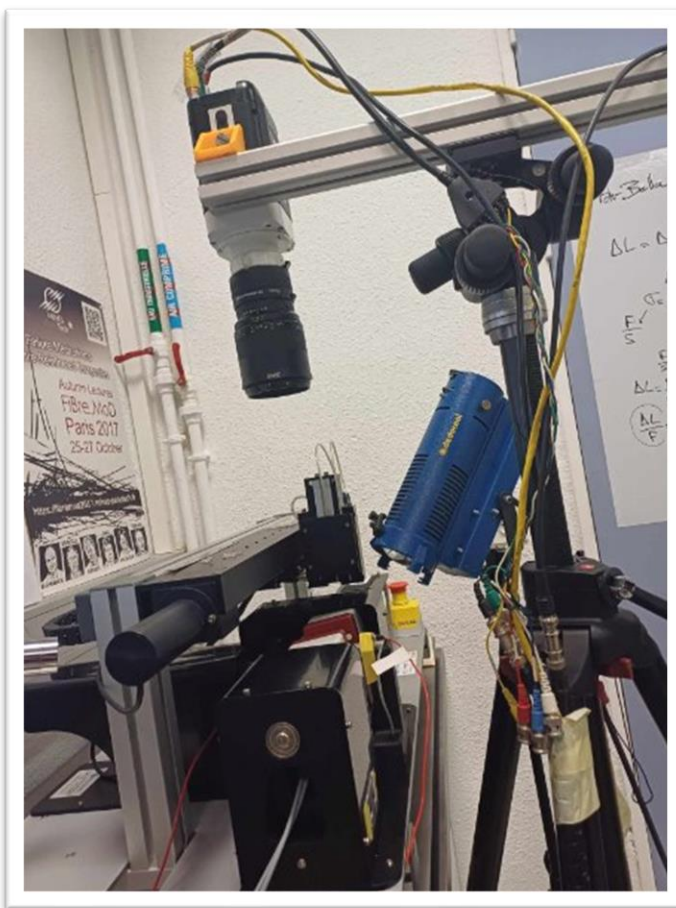


Ashok RAJPUROHIT (2017-2020)



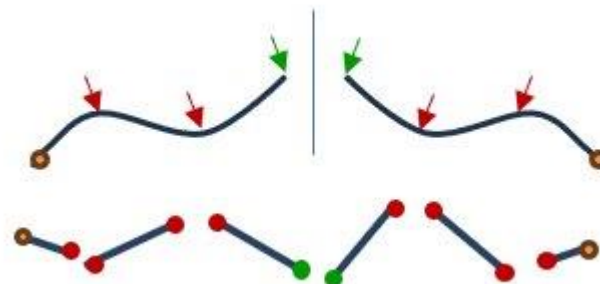
DU BON USAGE DE LA DISTRIBUTION DE WEIBULL

Cas des fibres
céramiques



Juliette REDONNET (2023-2026)

High Speed Camera Phantom
75 000 fps (512x128), L0 20mm

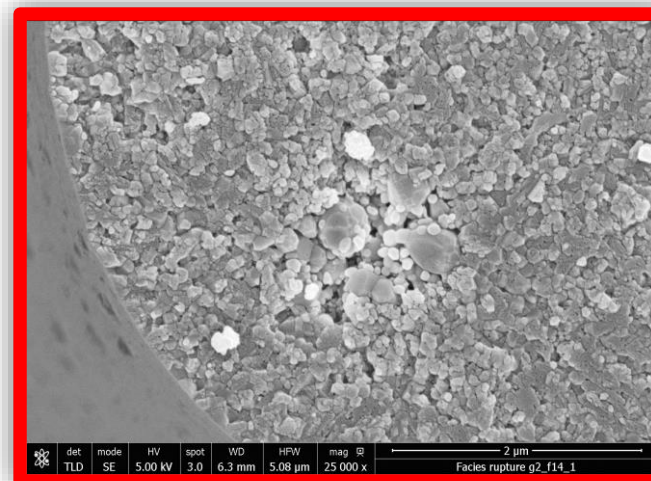
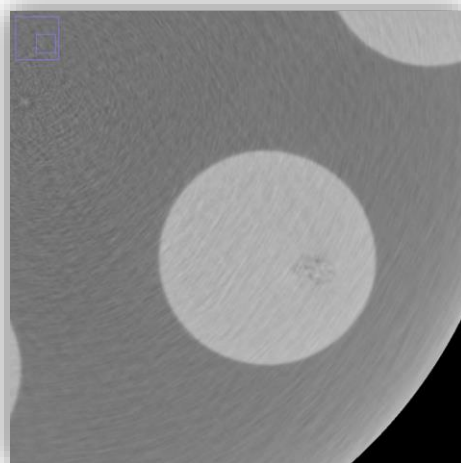


DU BON USAGE DE LA DISTRIBUTION DE WEIBULL

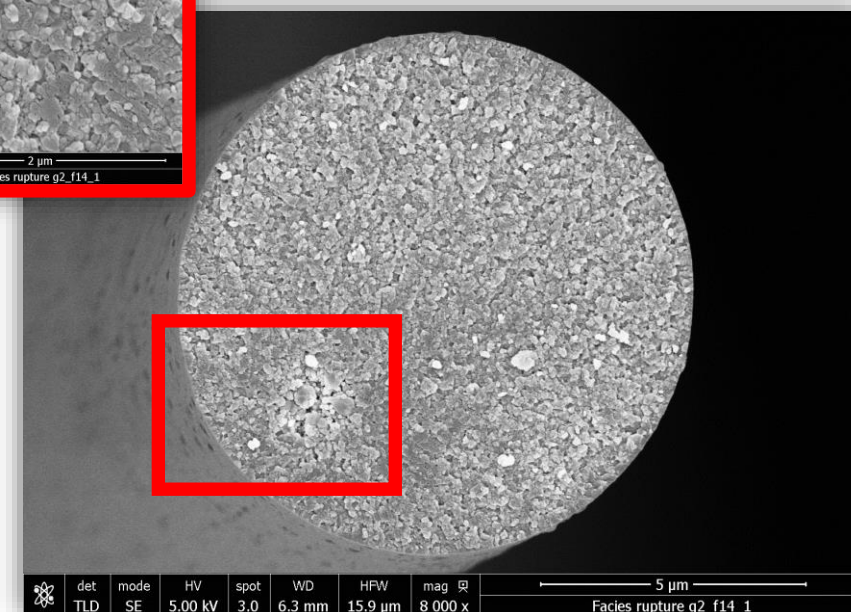
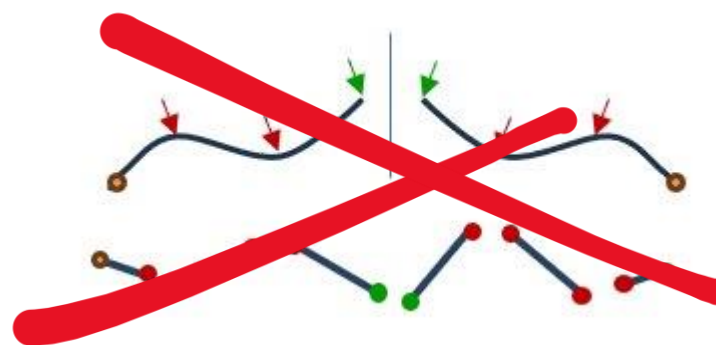
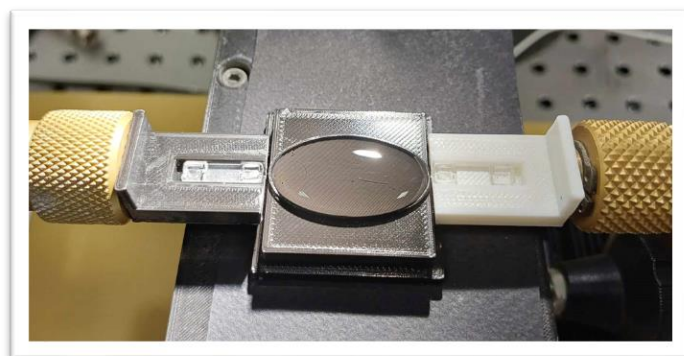
Cas des fibres
céramiques

Juliette REDONNET (2023-2026)

Résolution ~200nm
50µm 5 fibres

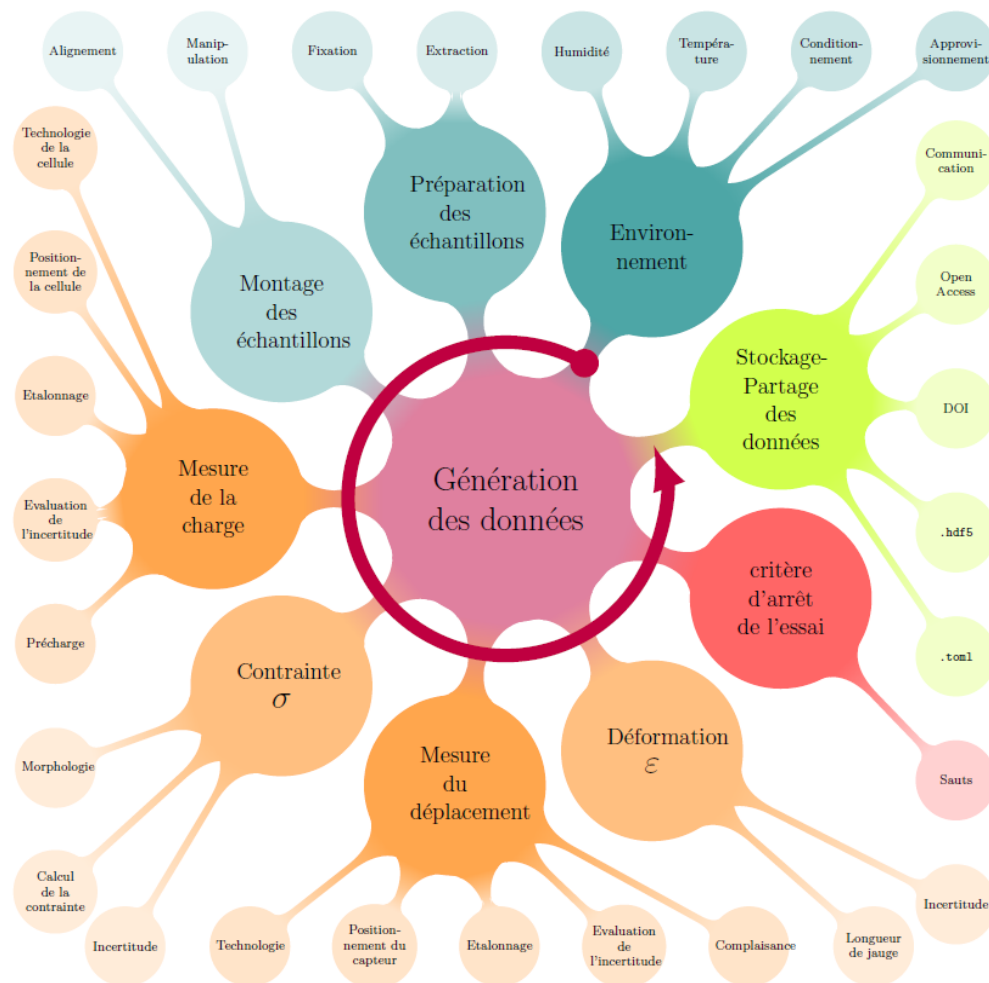


Glycérine



5

CONCLUSION



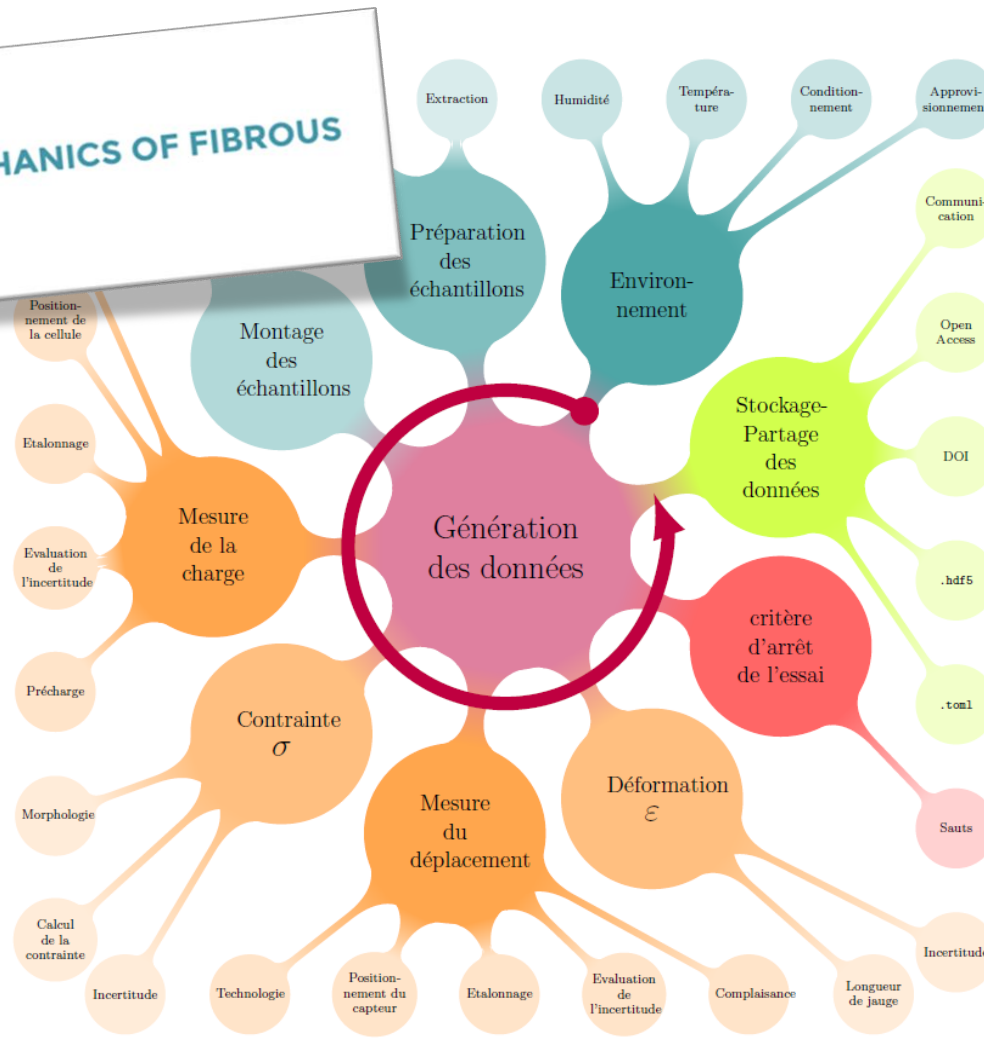
CONCLUSION



❖ Echantillonnage

❖ Contraintes & déformations

❖ Morphologie



❖ Stockage & partage des données

📖 A round-robin study on the tensile characterization of single fibres: a multifactorial analysis and recommendations for more reliable results
Composites Part A, 2024

Au cours de ces dernières
années de pratique de la
recherche,
parmi les nombreuses
choses que j'ai pu
apprendre,



c'est que les
rencontres et les
découvertes que l'on
peut faire en cours de
route

sont aussi importantes que la destination...

REMERCIEMENTS

Cette présentation s'est enrichie des contributions doctorales et post-doctorales de:

*Heng-Yi Chou, **Judith Wollbrett-Blitz**, Jennifer Blondel, **Faisal Islam**, Martinus Putra Widjaja, **Clotilde Richard** et **Juliette Redonnet**.*

Merci aux directeurs et co-encadrants de toutes ces études.

Je tiens à particulièrement remercier **Anthony Bunsell, Yves Favry et Alba Marcellan**, avec qui j'ai commencé cette aventure « *fibres* » il y a plus d'une douzaine d'années. Merci également à **Julie Heurtel**, actuelle responsable des moyens de caractérisation « *fibres* » au Centre des Matériaux.

Enfin, les résultats obtenus sont le fruit d'un travail collectif mené de pair avec de nombreux collègues et partenaires industriels, dont je ne peux mentionner tous les noms. Qu'ils en soient sincèrement remerciés !