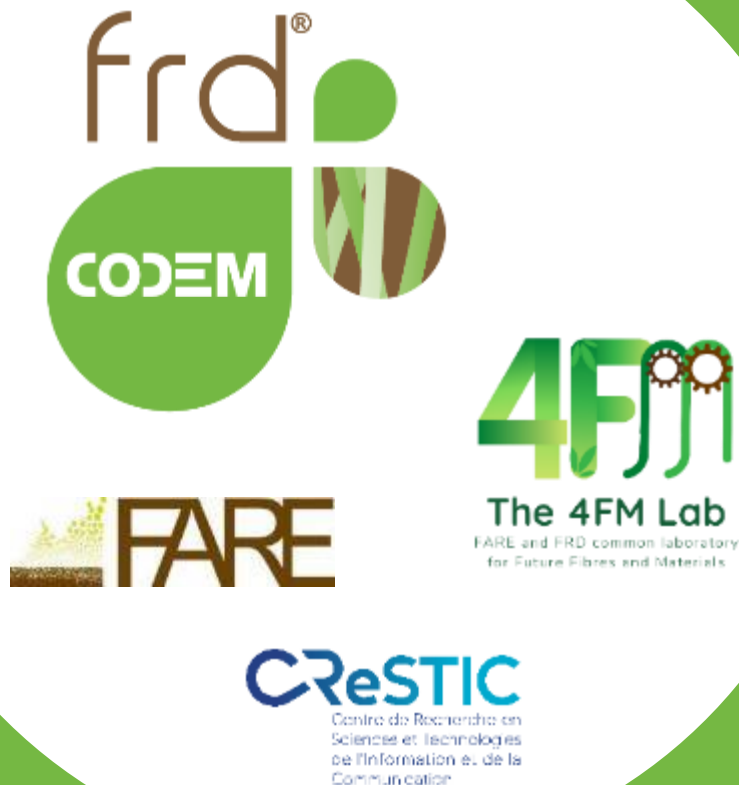
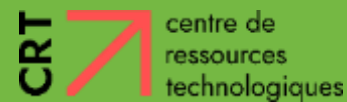


Qualité et usages industriels des fibres végétales : de l'origine à la mise en place d'outils dans le cadre du LPA 4FM



A Day, M Audouin, A Decker, C Isierte Capone,
X Dreux, B Kurek, B Chabbert, T Peyrache, A Goupil,
A Delahaies, F Morain-Nicolier, P Bono



Sommaire



- ❖ Chaîne de valeur du lin et du chanvre
- ❖ Qualité des fibres végétales : clés pour les marchés
 - ☐ Qualité in planta
 - ☐ Qualité suite au rouissage
 - ☐ Qualité suite à l'extraction
 - ☐ Qualité suite aux transformations industrielles
- ❖ En résumé



Chaîne de valeur du lin et du chanvre

● ● *Aperçu des étapes de transformation de la paille et des constituants*



Récolte



Rouissage



Stockage

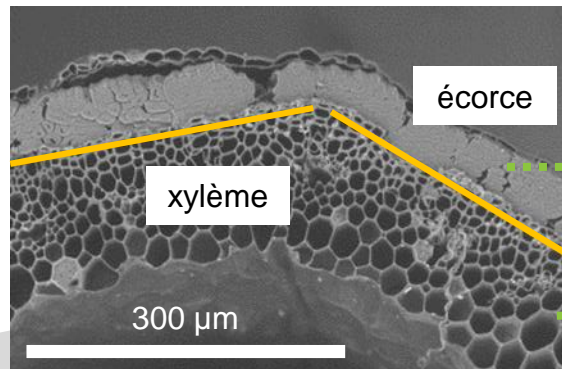


Extraction



Transformations

Teillage/Défilage



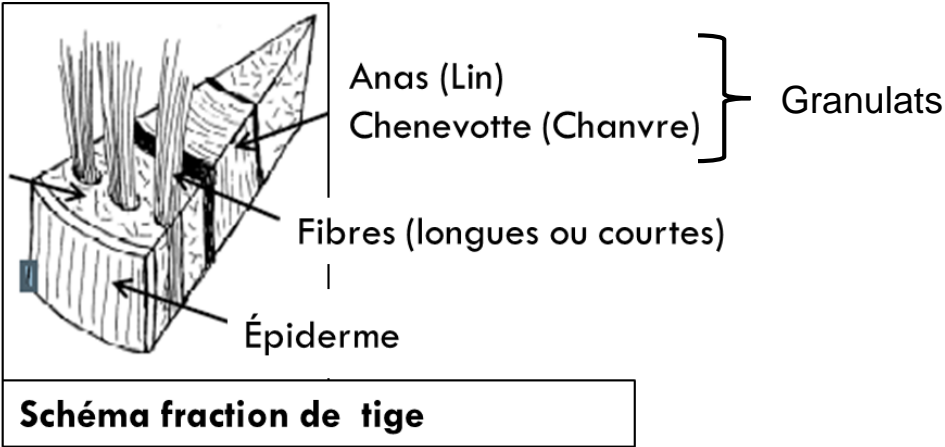
- **Extraction** : séparation des différents constituants (fibres, anas/chènevotte, ...)
- **Transformations** : Production de semi-produit ou produit fini pour des applications

Chaîne de valeur du lin et du chanvre

● ● *Extraction des différents constituants*

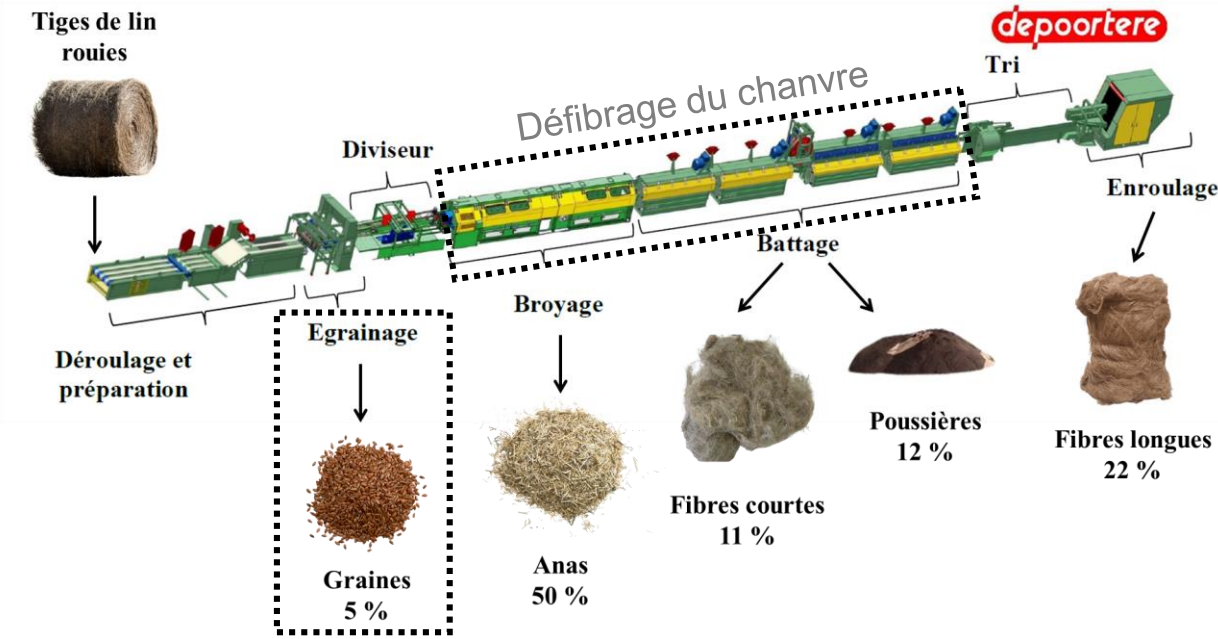
Fractionnement mécanique (Teillage / Défibrage)

- Environ **30 %** de **fibres** (issues du sclérenchyme) et **50 %** de **granulats** (issus du xylème)
- Pas de produit économique majoritaire dans le chanvre



Cultures		Subdivision massique	Subdivision économique €
Lin fibre			
Graines		5 %	2,4 %
Pailles		95 %	97,6 %
	Fibres [dm]	22 %	82,6 %
	Fibres [cm]	11 %	11,5 %
	Granulats	50 %	3,5 %
	Poudres	12 %	0 %
Chanvre			
Graines		11 %	25 %
Pailles		89 %	59 %
	Fibres [cm]	24 %	34 %
	Granulats	44 %	40 %
	Poudres	21 %	1 %

© Adapté de la thèse de N. Martin



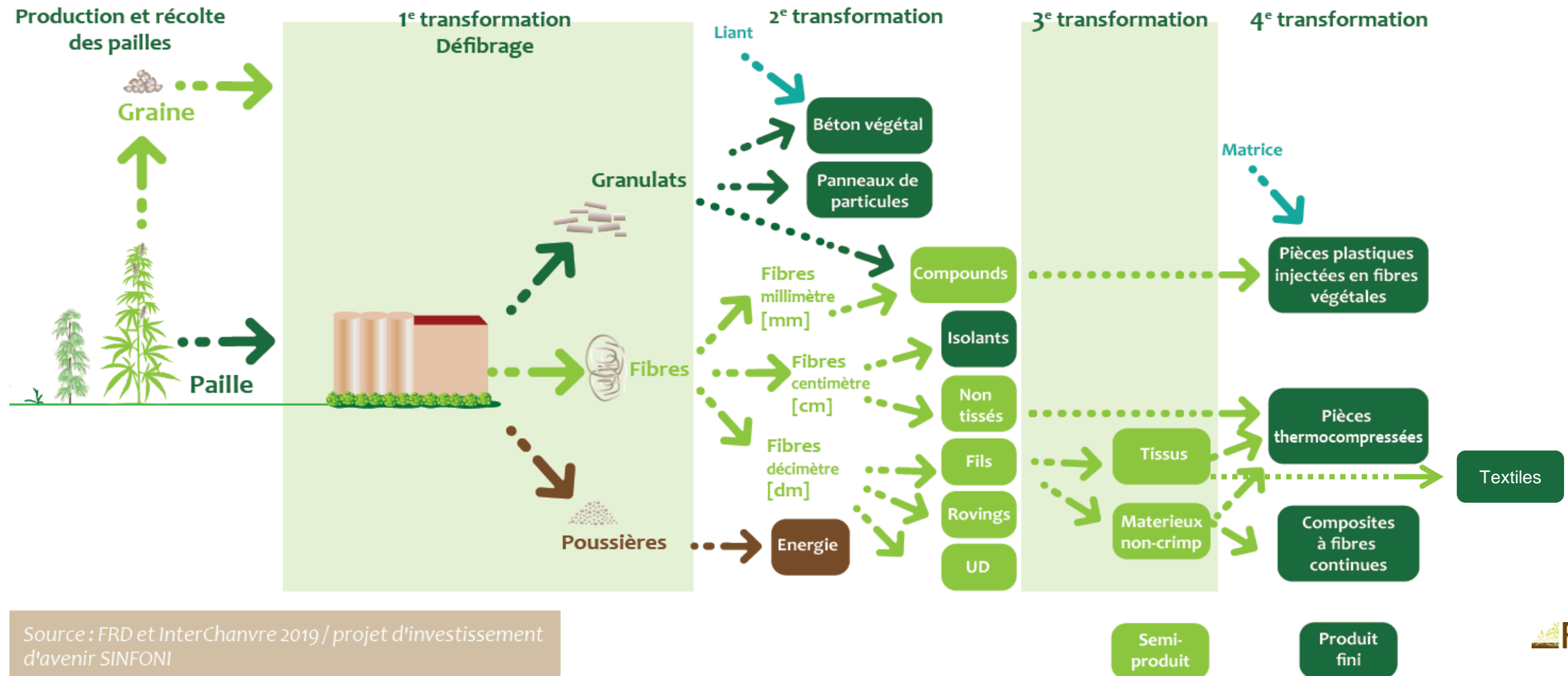
Récolté en amont pour le chanvre

Représentation d'une ligne de teillage de lin et des fractions récupérées

Chaîne de valeur du lin et du chanvre



● ● Une large gamme d'étapes de transformation et de marchés

Différents itinéraires techniques pour divers marchés, dans le domaine des matériaux



Chaîne de valeur du lin et du chanvre

● ● Une large gamme d'étapes de transformation et de marchés

Typologie de matériau		Type de fibres et renforts		Taux d'incorporation en fibres végétales (%)	Volumes produits en France (T/an)
Isolants	Isolants souples	Fibre [cm], isolant		> 90	14 000
	Isolants de remplissage	Bottes		100	6 000
Bétons	Enduits, mortiers, blocs/parpaings	Granulat		20 à 50	41 000
Panneaux de particules	Panneaux de particules allégés	Granulat		90 à 95	330 000
Composites	Pièces plastiques injectées renforcées en fibres végétales	Fibre [mm], Compound		20 à 30	10 000
	Pièces thermocompressées à base de non-tissés	Fibre [cm], Non-tissé		50	8 000
	Composites à fibres continues	Non-tissé, ruban, unidirectionnel, multiaxial...		30 à 50	1 400
Textiles	Mode, linge de maison	Fibre cotonisée, ruban, fil		100	230 000

Source : FRD-CODEM 2025

Usage actuel des fibres et granulats en France, dans les matériaux (dont lin et chanvre)

- Production de textiles avec les fibres de lin
- Production de composites et isolants avec les fibres de lin et de chanvre
- Production de bétons et panneaux de particules avec la chènevotte et les anas
- **40 %** du volume valorisé du **lin** (hors textile) et **20 %** de celui du **chanvre** (hors papier)

Applications multiples à partir du même type de produit

Chaîne de valeur du lin et du chanvre

 *Qu'en est-il de la qualité ?*

Comment définiriez-vous la qualité des
fibres végétales ?

QualitéS des fibres végétales : clés pour les marchés

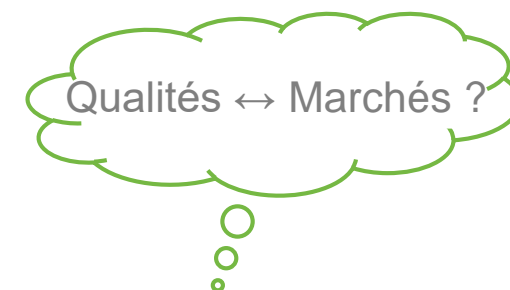
● Les paramètres de qualité sont un prérequis pour l'utilisation du chanvre dans divers processus industriels.



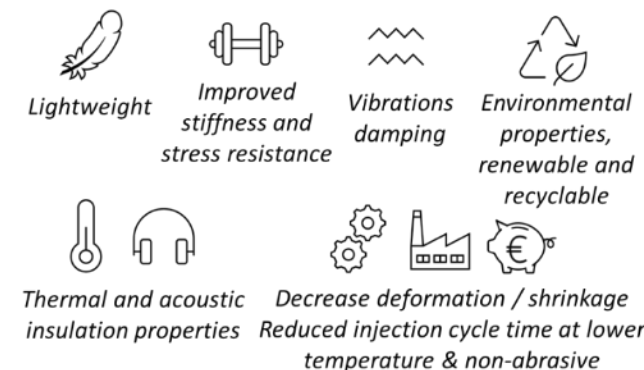
Propriétés remarquables :

- But ? / Marketing ?
- Objectives / Subjectives
- Réalité / Mythe

Quels liens ?



Procédés / Spécifications des marchés



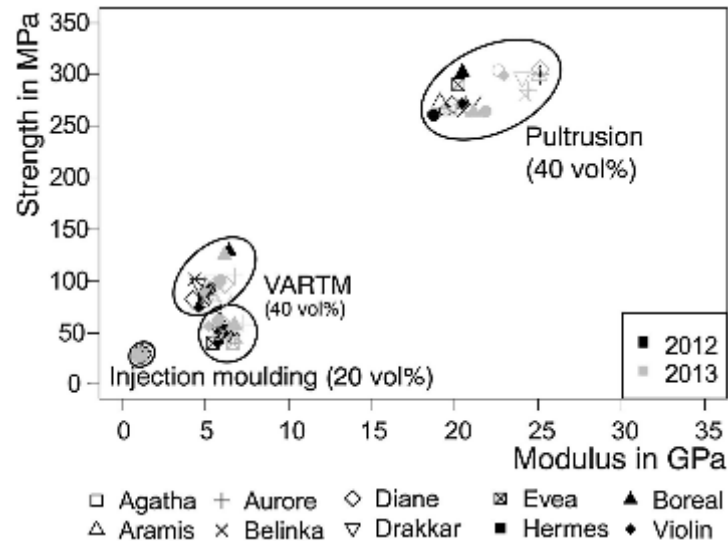
Pas une, mais des qualités

QualitéS des fibres végétales : clés pour les marchés

● Les paramètres de qualité sont un prérequis pour l'utilisation du chanvre dans divers processus industriels.

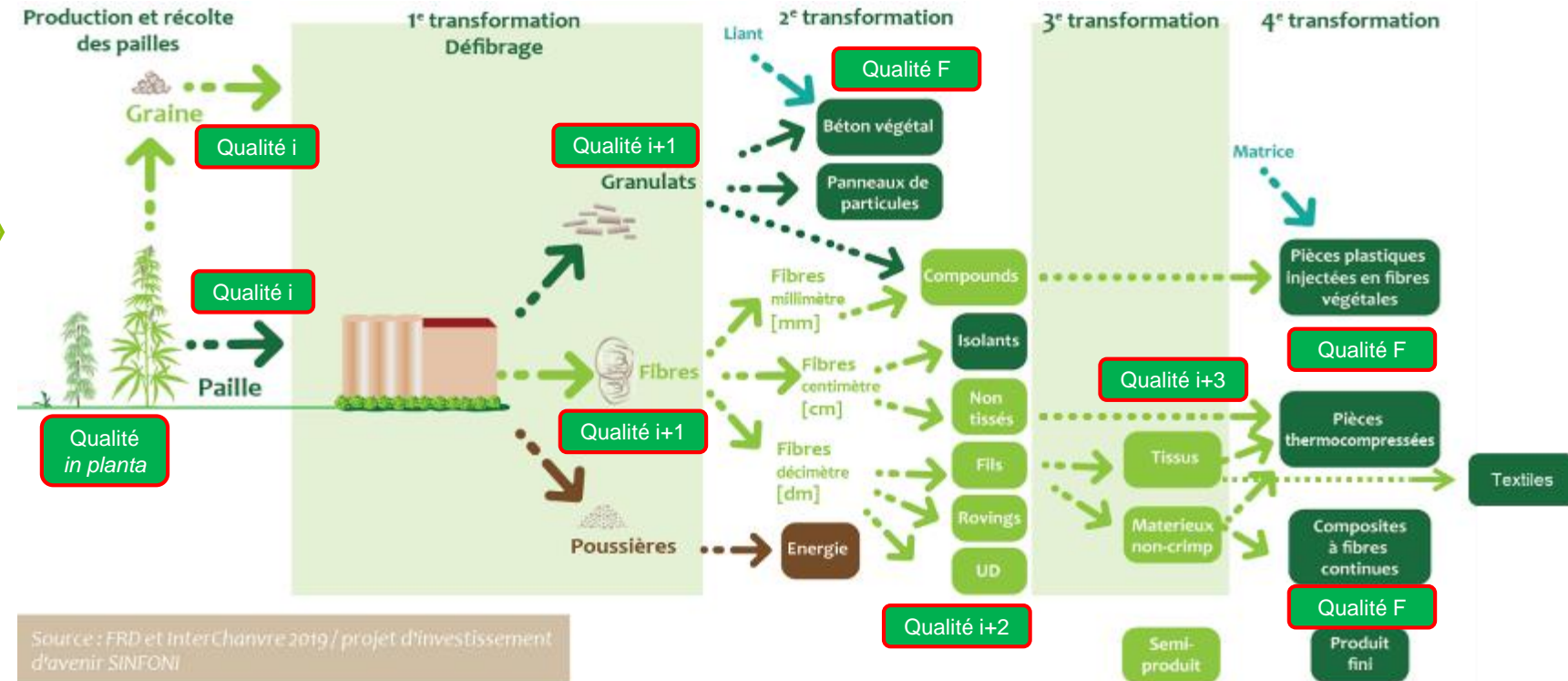
Qualités :

- Nombre et nature des étapes techniques de la tige au produit final
- Évolution dynamique pendant le processus



© Haag et al. 2017 (Industrial Crops and Products)

© FRD-CODEM – France - 2025 – Confidentiel



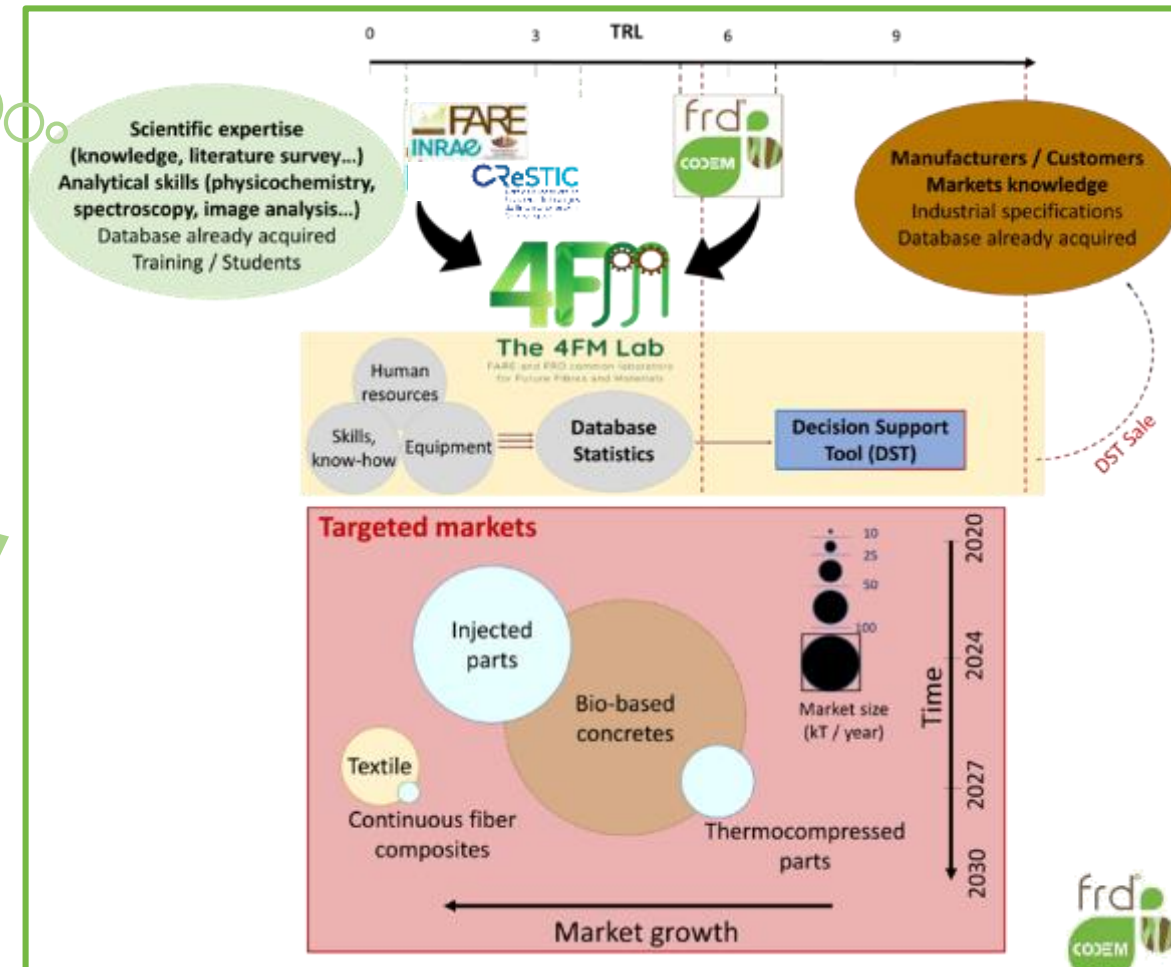
- Performances mécaniques dépendant du procédé de transformations
- Suivant le procédé, la différence de variété ou d'année s'efface ou non



```

graph TD
    DS[Data sources] --> DC((Data collection))
    DC --> DA((Descriptive analytics))
    DA --> PA((Predictive analytics))
    PA --> DM((Decision making))
    DM --> P[Patterns]
    DM --> M[Models]
    P --> R[Recommendations]
  
```

- Garantir la sécurité de l'approvisionnement : quantité et qualité → Assurer la disponibilité des fractions végétales avec des performances constantes
- Contrôler la variabilité pour améliorer la qualité





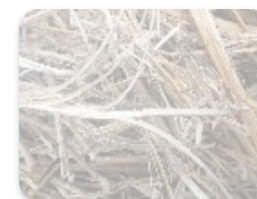
Récolte



Rouissage



Stockage



Extraction



Transformations

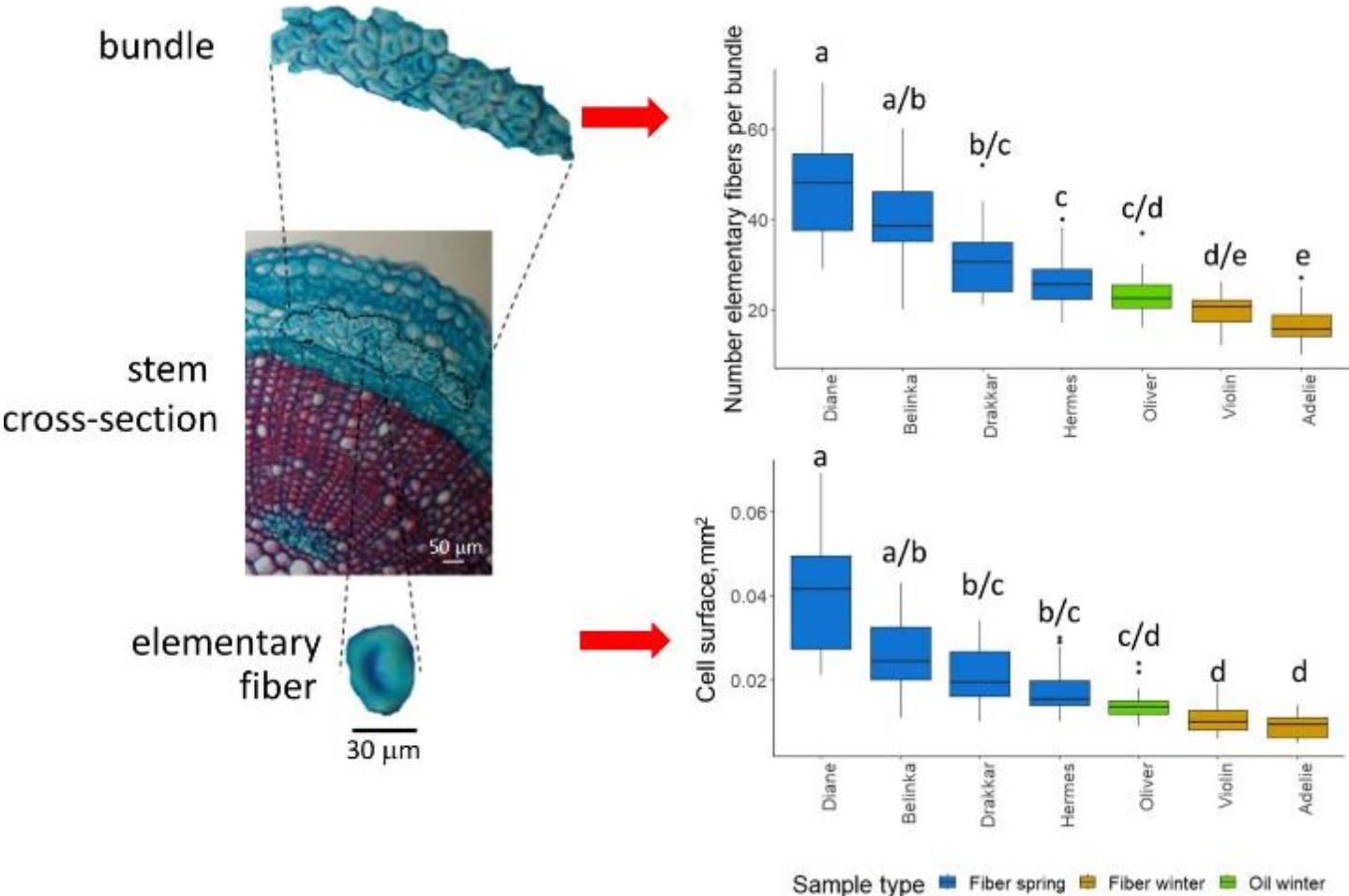
PARTIE I : **LA QUALITÉ GERME DANS LA** **PLANTE**

La qualité germe dans la plante

● ● *Qualité des fibres in planta : finesse et nombre de fibres (lin)*



Une année – 7 variétés (fibres printemps et hiver / oléagineux) – même stade (bourgeonnement)
Observations microscopiques de sections transversales après coloration au bleu Alcian et à la Safranine O – 270 mesures / variété, 3 faisceaux / coupe

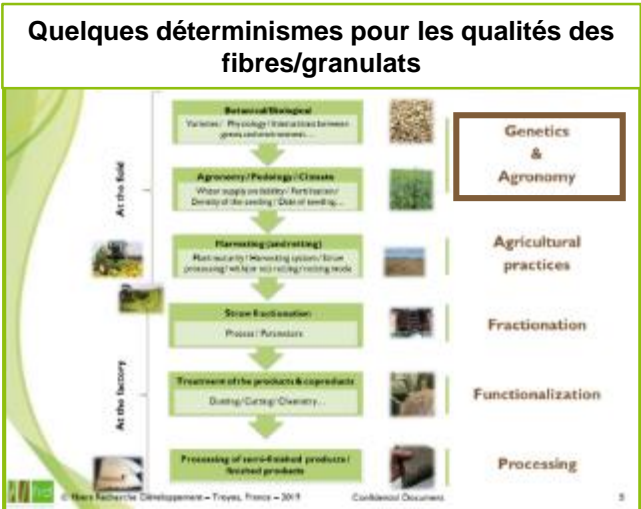


Chabi et al. 2023 / Projet FIBRAGEN

- Forte dispersion des résultats en fonction des variétés
- Variétés fibres de printemps montrent des faisceaux contenant plus de fibres élémentaires plus épaisses vs. variétés fibres d'hiver et oléagineux

La qualité germe dans la plante

● *Qualité des fibres in planta : finesse et rapport FI/FII (chanvre)*

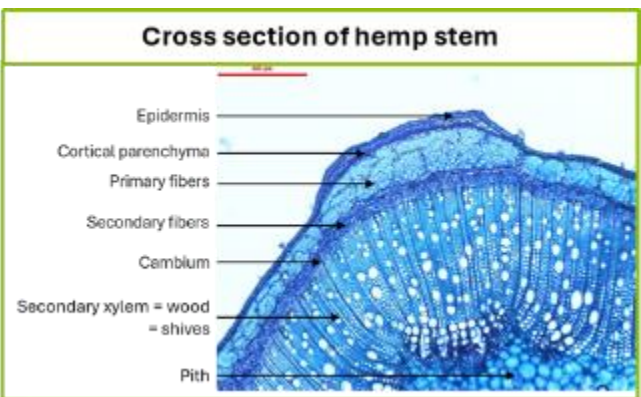


Une année – 7 variétés – même sol – même stade (fin de la pleine floraison)
Observations microscopiques de sections transversales après coloration au bleu de toluidine – 10 tiges / variété ~100 fibres (I & II) mesurées / coupe

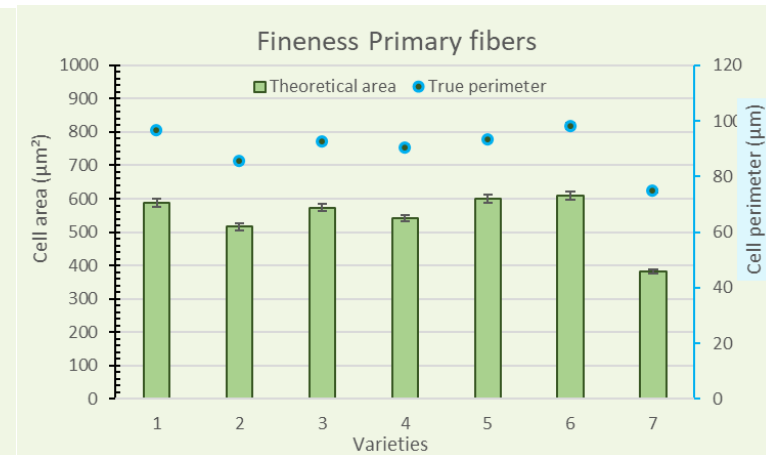
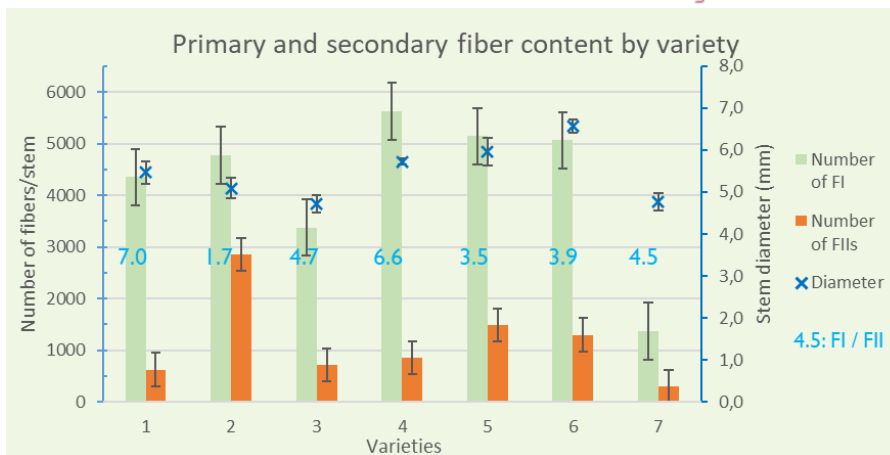


Wood
Cannabium
Fibres II
Fibres I

Measured criteria	Morphological parameter
FI & FII number	Fiber richness Fiber II "pollution"
Cell surface area FI & FII	Fineness
True perimeter	Fineness
Circularity (calculate)	Overall morphology
Fitting (=wall thickness)	Physiological stage (control)



FII: plus courtes et lignifiées / FI



La qualité germe dans la plante

● *Qualité des fibres in planta : maturité des fibres, finesse, nombre de fibres, rapport FI/FII*



Quel est le niveau de signification ? Y a-t-il des corrélations ?

- Etudes statistiques :
- Difficulté à établir des corrélations significatives
 - Corrélation avec le diamètre de la tige non démontrée clairement
 - Une grande variabilité intraspécifique nécessite la collecte d'ensembles de données très volumineux et de nouveaux outils.



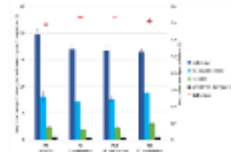
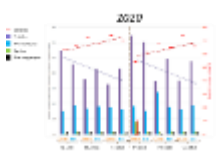
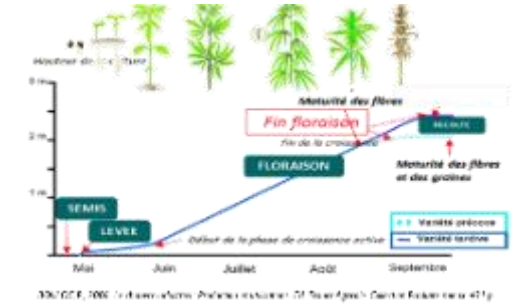
Contexte (actuel)



- Augmentation de la superficie consacrée au chanvre → réorganisation des cultures
- Développement du marché des textiles techniques → étape de rouissage
- (Changement climatique) – météo incertaine en automne
- Plus de paille → Variétés tardives
- MAIS à récolter le plus tôt possible...
- Évolution de la composition chimique des fibres pendant leur maturation (après la floraison) → lignification



Réflexion et développement en cours de procédures/outils simples et rapides pour estimer la maturité des fibres et fournir une indication des dates de récolte.



The 4FM Lab
FARE and FRD common laboratory
for Future Fibres and Materials





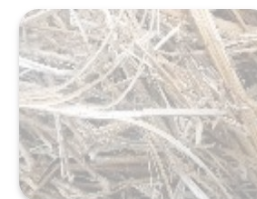
Récolte



Rouissage



Stockage



Extraction

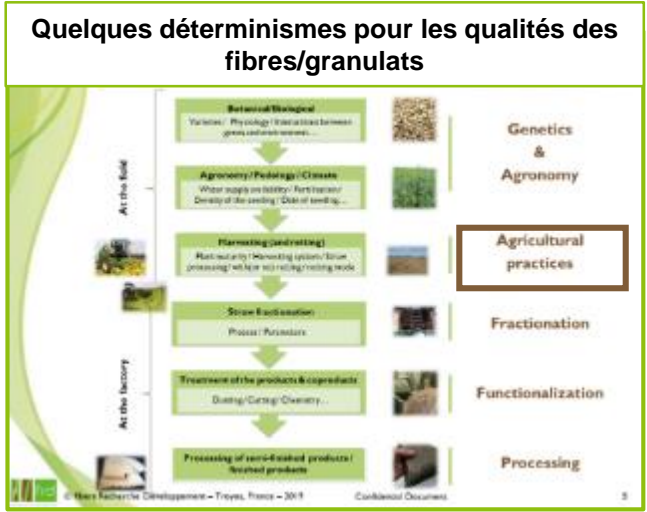


Transformations

PARTIE II : **LA QUALITÉ MÛRIT PENDANT LE** **ROUISSAGE**

OAD pour le suivi du rouissage du chanvre

● Fournir un OAD aux agriculteurs, aux coopératives de chanvre... pour les aider à gérer les pailles/fibres de chanvre



• Morphology	x	x	x	
• Chemical composition	x	x		x
• Surface properties		x		x
• Mechanical properties	x	x	x	
• Specific properties				x
	Genetic & Agronomy	Agricultural practices	Fractionation	Functionalization

Pratiques agricoles AVEC rouissage >> effet des variations intraspécifiques et/ou des conditions agronomiques

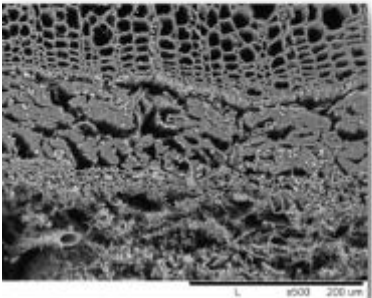
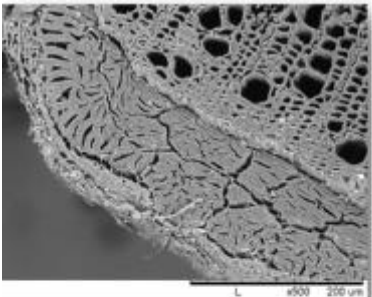


Le rouissage apparaît comme un élément clé pour fournir des fibres de chanvre à de nombreux marchés techniques et textiles

- De nombreux travaux et une grande diversité de processus...
- ... mais le rouissage à la rosée semble actuellement être la méthode la plus répandue : simple et peu coûteuse.

Inconvénients du rouissage à la rosée :

- Lié aux conditions pédoclimatiques : humidité et température → niveau variable de rouissage / peut entraîner une hétérogénéité qualitative des lots
- Aucun indicateur ne mesure objectivement le niveau de rouissage → Risque de lots non conformes



Bleuze et al., 2018-Ind Crops&Products



● ● Développement d'un premier OAD pour les pailles et fibres de chanvre

17



Récolte



Rouissage



Stockage



Extraction

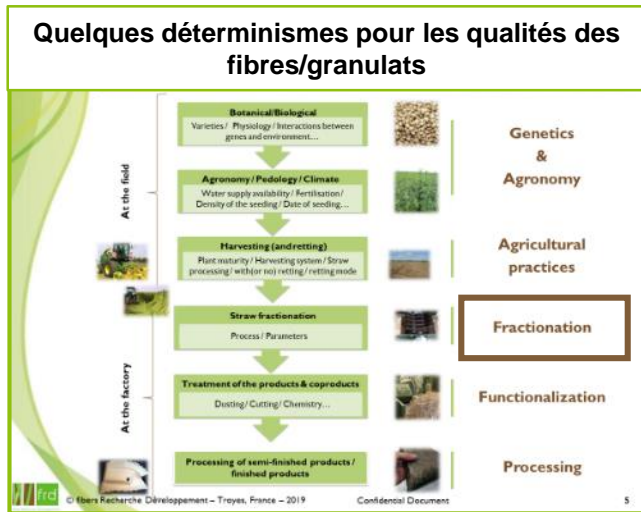


Transformations

PARTIE III : **LA QUALITÉ ÉVOLUE SUITE À** **L'EXTRACTION MÉCANIQUE**

Évaluation de l'hétérogénéité du lin

● *Identification empirique et mesures morphologiques*



Thèse T. Peyrache / Projet LinPLUS

- Identification de 5 lots de fibres par tri empirique
- Morphologies différentes (diamètre et facteur de forme)
- Présence de fractions de tissus externes (assemblage de faisceaux) et de faisceaux de fibres élémentaires
- Hétérogénéité qualitative provenant du processus d'extraction (rouissage + teillage)

Balle de fibres teillées



$\alpha = 2,9$

Van Robaeys Frères

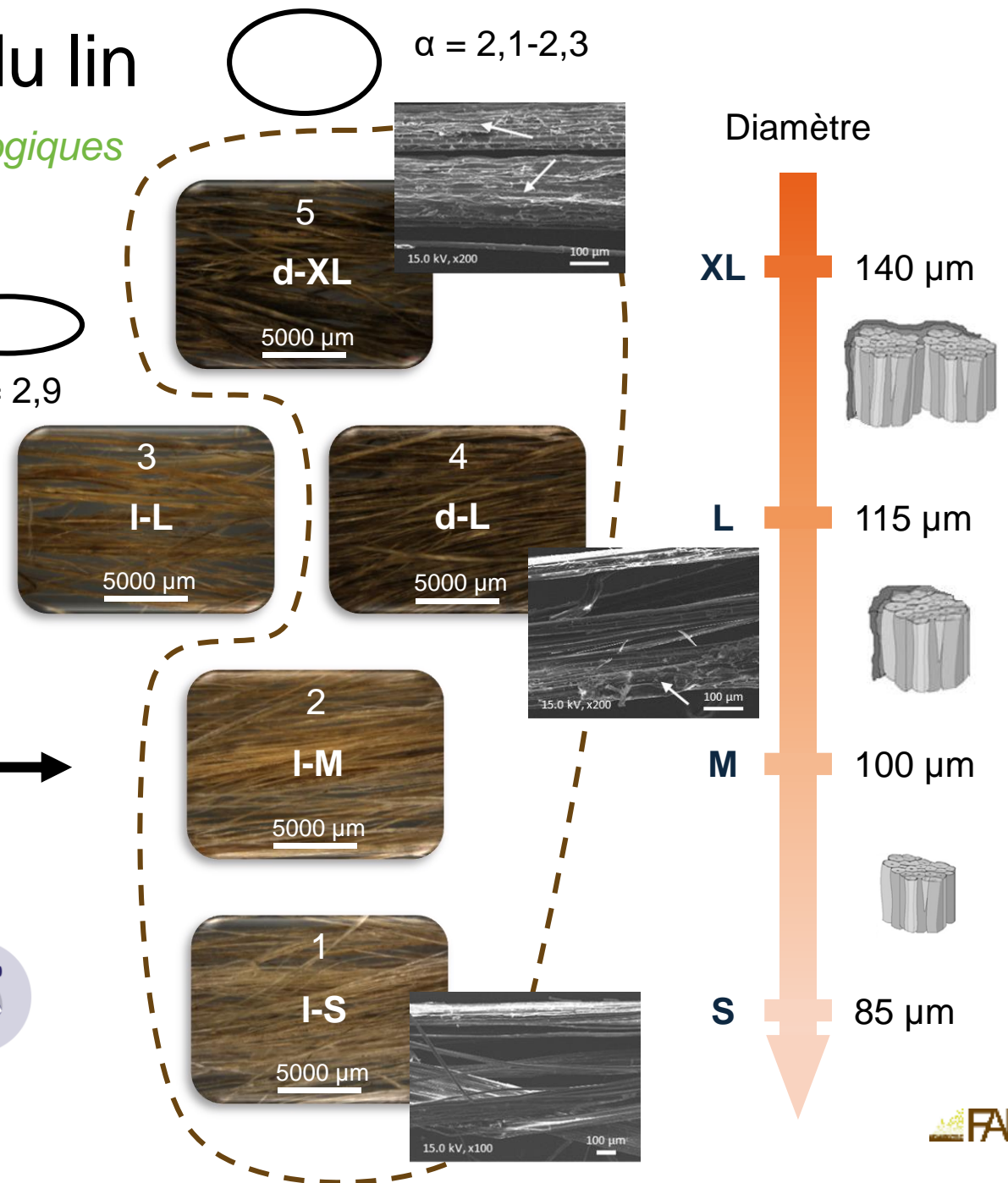
Séparation manuelle



Toucher



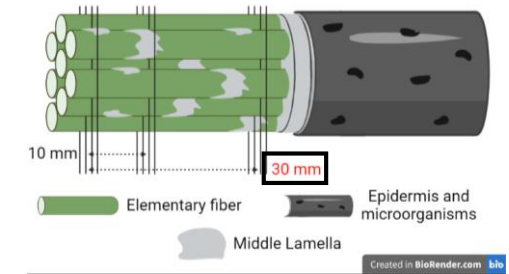
Vue



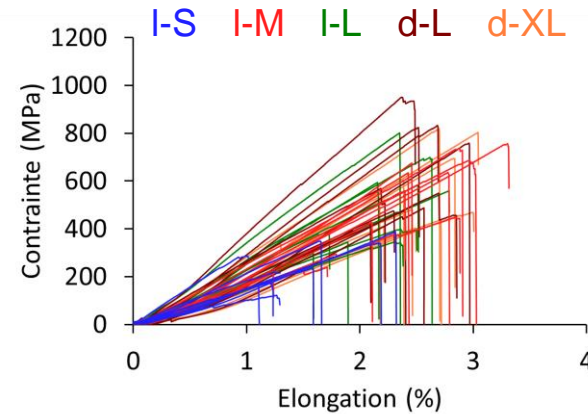
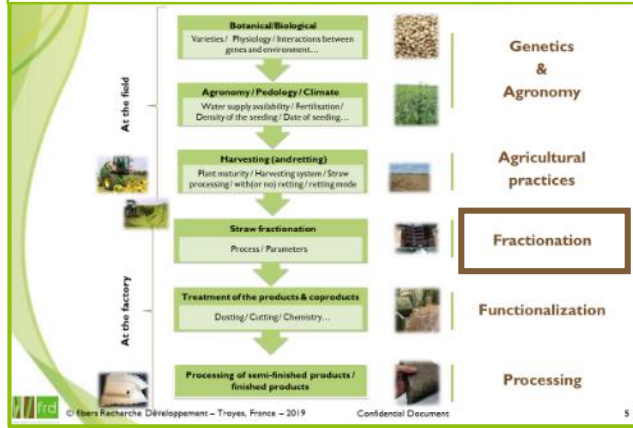
Évaluation de l'hétérogénéité du lin

● *Propriétés mécaniques et thermiques*

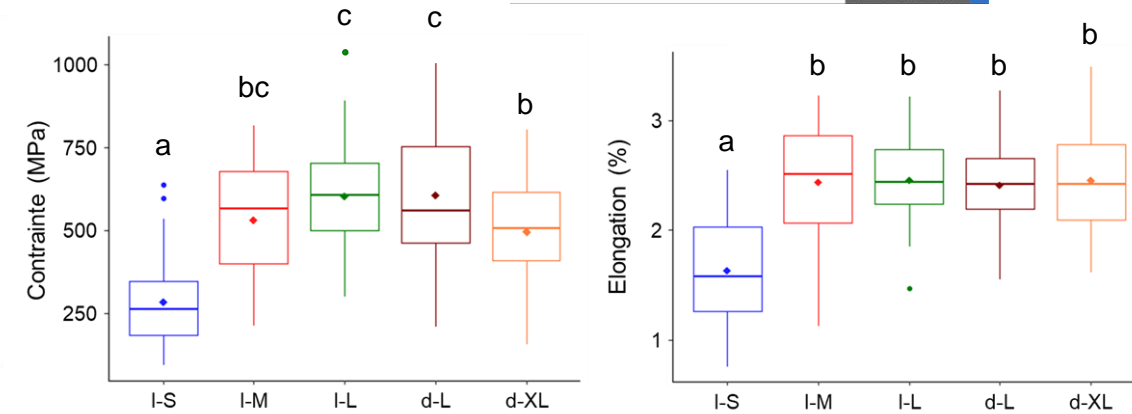
Schéma 3D éclaté d'un faisceau de lin



Quelques déterminismes pour les qualités des fibres/granulats



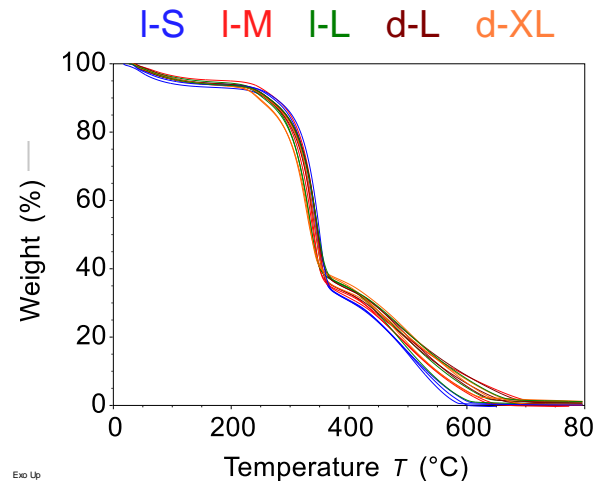
Courbes des essais de traction



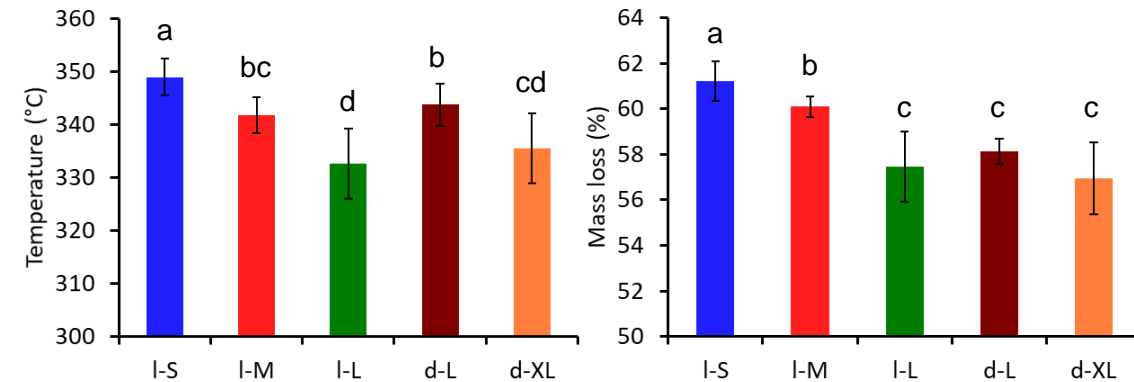
Contraite et élongation à rupture des fibres techniques

Thèse T. Peyrache / Projet LinPLUS

- Les fibres les plus fines et riches en cellulose (I-S) ont des propriétés à rupture plus faibles (tests sur 30 mm)
- Meilleure résistance thermique des fibres contenant moins de résidus d'épiderme
- Propriétés hétérogènes à l'issus de l'extraction → valorisation ?



Thermogrammes

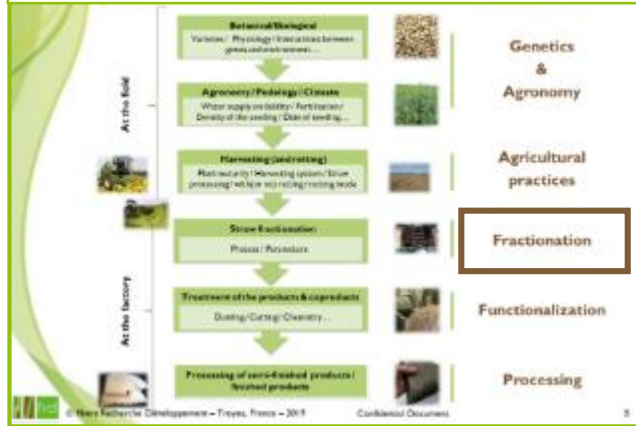


Température et perte de masse du complexe cellulosique

Évaluation de l'hétérogénéité du lin

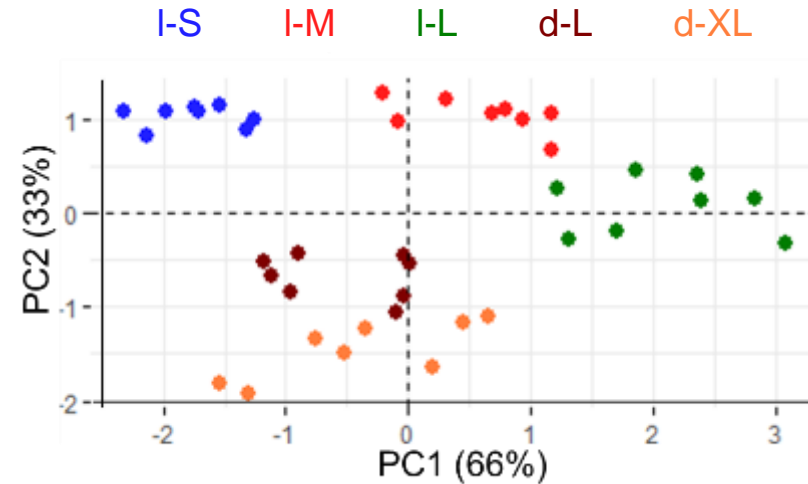
● ● Mesure de l'hétérogénéité

Quelques déterminismes pour les qualités des fibres/granulats

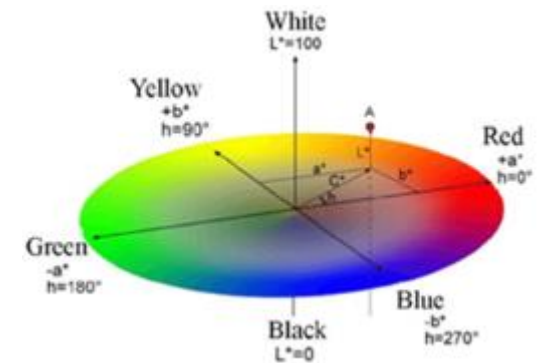


Thèse T. Peyrache / Projet LinPLUS

- Discrimination métrique par colorimétrie
- Séparation objectivable et réalisable avec une analyse haut-débit
- Transposition à des échelles plus grandes (en fonction des variétés et années par ex.)
- Evolution en fonction des transformations ?



Analyse en composantes principales discriminant les fibres sur les paramètres de couleur L^* , a^* , b^*



Domaine colorimétrique CIE Lab

(L^* , a^* , b^*)



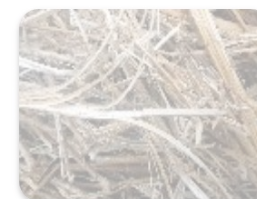
Récolte



Rouissage



Stockage



Extraction



Transformations

PARTIE IV :

LA QUALITÉ CHANGE DURANT LES TRANSFORMATIONS INDUSTRIELLES & DOIT ÊTRE SUIVIE

FORUM

-
- The diagram illustrates the 7 steps of the NAFI Lean Perf process for producing 100% recycled paper from agricultural waste:
- 0**: Raw agricultural waste (represented by a pile of green material).
 - 1**: Harvesting (represented by a green harvester in a field).
 - 2**: Initial processing (represented by a green machine processing the waste).
 - 3**: Transport (represented by a truck carrying a load).
 - 4**: Further processing (represented by a machine processing the material).
 - 5**: Final processing (represented by a machine processing the material).
 - 6**: Final product (represented by a stack of paper).
- The NAFI Lean Perf logo is visible in the top right corner.



- 

OAD – suivi des qualités au cours des transformations industrielles



Projet ICHAT (2024 – 2027)



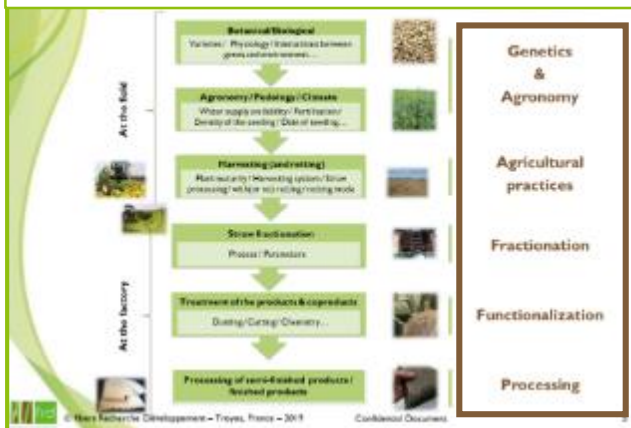
Contexte

- Demande croissante de produits textiles à base de chanvre pour toutes les applications
- L'expertise textile industrielle française en quête d'innovation
- Projets de R&D à l'échelle laboratoire → Nécessité de tests à l'échelle industrielle

Objectifs du projet

- Réduire les risques liés aux futurs investissements industriels en analysant les différentes technologies d'exploitation de la fibre de chanvre selon plusieurs critères :
 - Faisabilité technique, ACV et coûts d'entrée/sortie du marché.

Quelques déterminismes pour les qualités des fibres/granulats



Stratégies

- Collaboration étroite entre les acteurs industriels
- Échanges interlaboratoires pour améliorer le contrôle de la qualité
- Réalisation d'analyses bibliographiques, techniques et matérielles au niveau européen et mondial (ASTM...)



Adapter la paille et les fibres
au marché approprié



Trois typologies de fibres de chanvre :

- 20-30 mm, 10-20 cm and 50 cm

Différents itinéraires techniques textiles

Marché des applications diverses

- Vêtements, composites, ficelles...



FARE



 RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
1958



Haute-Normandie



-
- Cross section of hemp stem**
- Epidermis
- Cortical parenchyma
- Primary fibers
- Secondary fibers
- Cambium
- Secondary xylem = wood = shives
- Pith



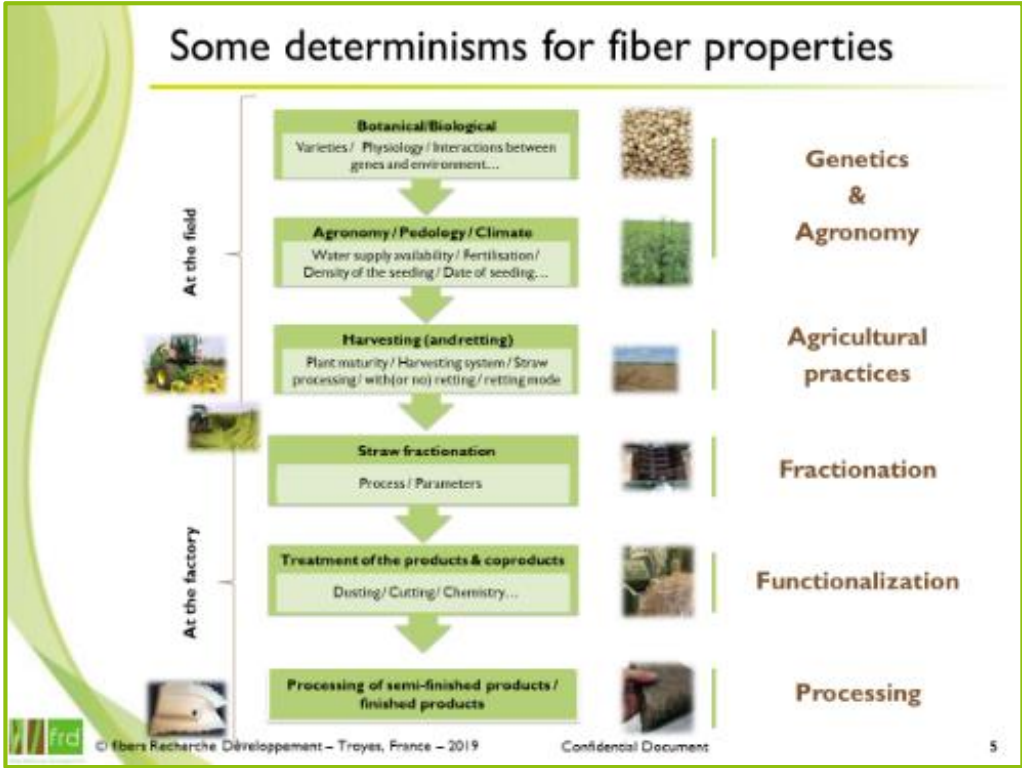
C2



EN RÉSUMÉ :
**CONSTRUIRE DES OAD : UN DÉFI DE TAILLE
POUR LES BESOINS INDUSTRIELS**

Construire des OAD : un défi de taille pour les besoins industriels

● Développement d'OAD pour les tiges/fibres de chanvre à tous les niveaux de la chaîne de valeur



Le développement des marchés techniques et textiles du chanvre et du lin nécessite de savoir comment classer la biomasse sur le terrain

- Lcal : premier OAD pour le suivi du rouissage du chanvre
- Travaux en cours pour concevoir de nouveaux OAD tout au long de la chaîne de valeur

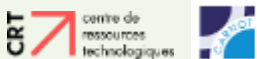


Corrélation d'informations « distantes » : relier les champs aux matériaux

Disposer de données pertinentes, représentatives et de haute qualité

Transfert de technologie

- LPA / Labcom / CRT / Carnot semble être une excellente opportunité



Les techniques conventionnelles sont essentielles, mais souvent précises et chronophages → Coût

Merci de votre attention



Merci aux partenaires



Merci aux financeurs

