

Introduction aux fibres végétales

Pr. Christophe Baley
 Université de Bretagne Sud IRDL / UMR CNRS 6027
 christophe.baley@univ-ubs.fr



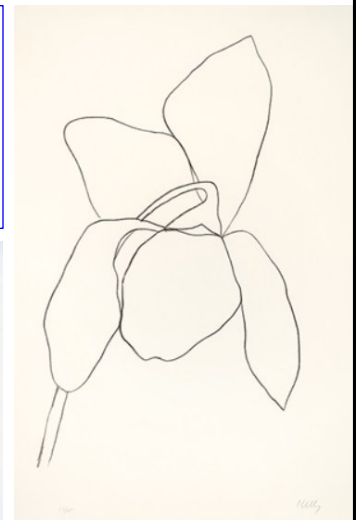
Avant propos

“Toute science commence comme philosophie et se termine en art.”

Will Durant / Histoire de la philosophie

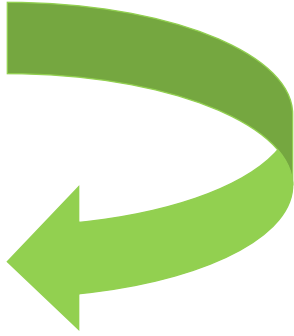


Le lin comme fil rouge



Ellsworth Kelly

1. Une fibre végétale ?



2. Le lin une plante remarquable.
Un modèle (structure, matériaux,
concepts.....)

3. Des défis pour demain

A / La notion de fibre végétale

Une définition unique ?

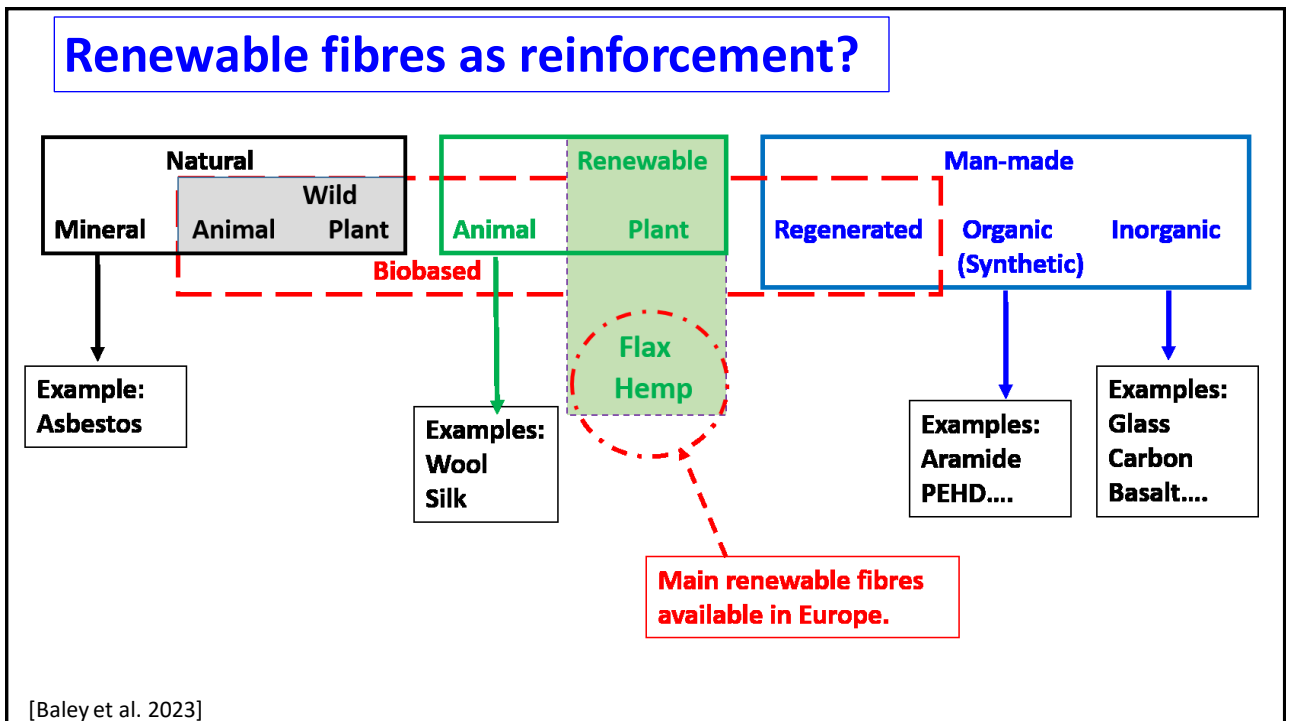
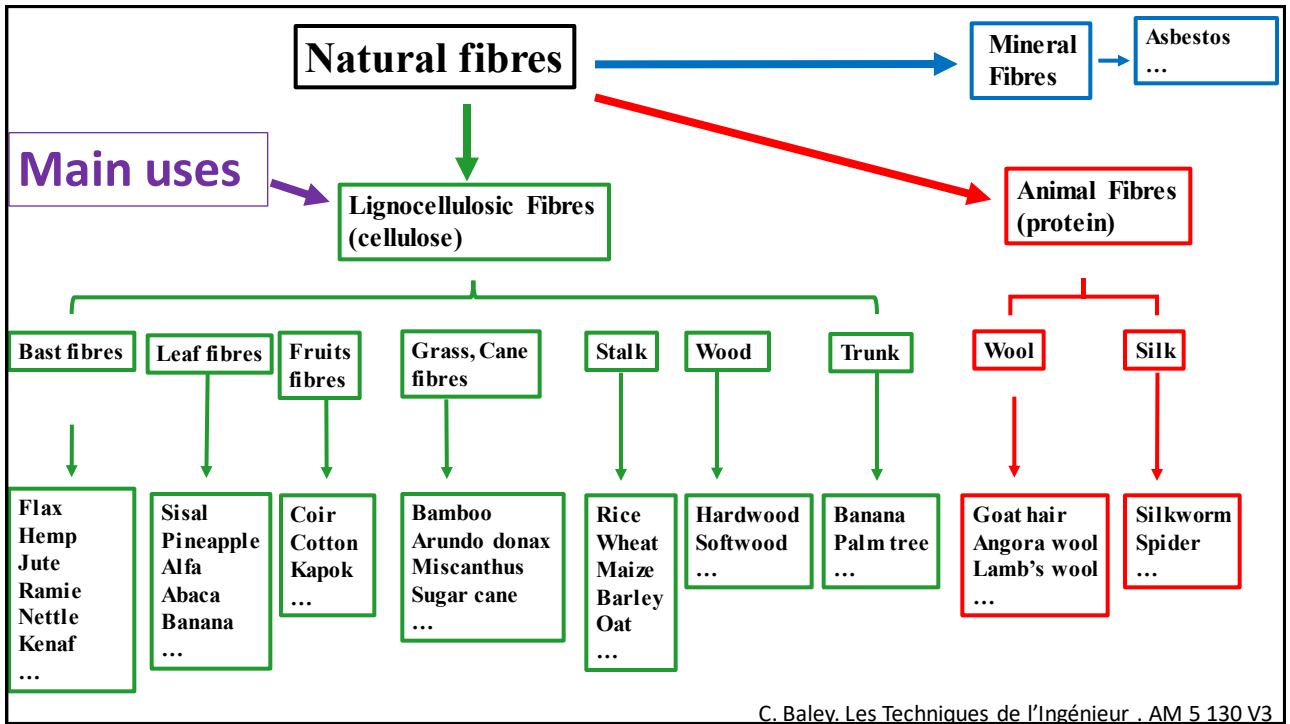
Fibres naturelles ?

1



« Mal nommer les choses c'est ajouter au malheur du monde ».

Albert Camus



Architecture des plantes



Ananas [Mohanty2005 Book]



Kenaff [Mohanty2005 Book]

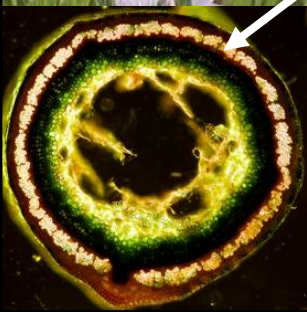


Sequoia [Hemp 2016]



Lin

Lin



Coton



Balsa

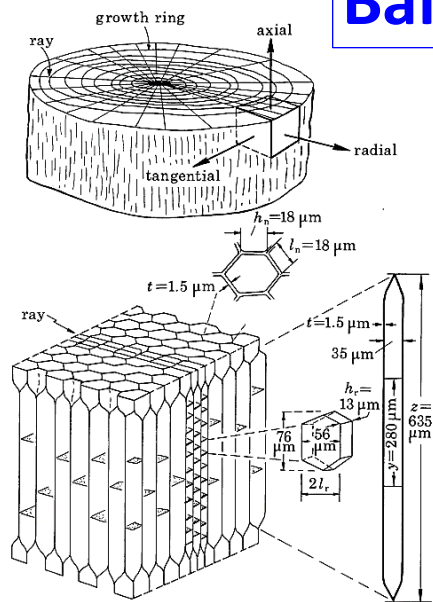
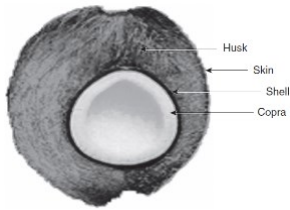


FIGURE 2. Schema showing balsa cells and their orientation in the trunk of the tree.

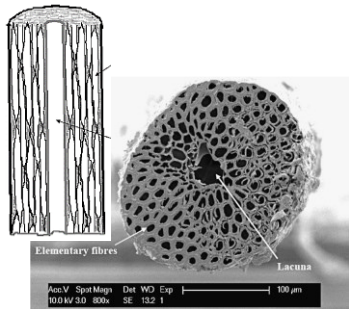
[Easterling 1982]

Coir



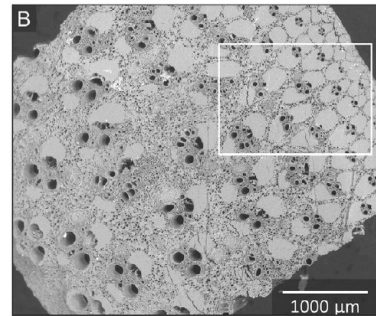
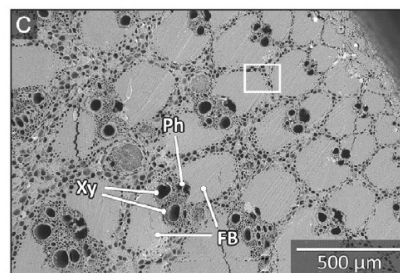
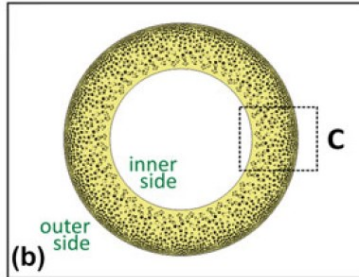
10.1 Coconut fruit.

[Biofiber Reinforcement in Composite Materials / 2015]

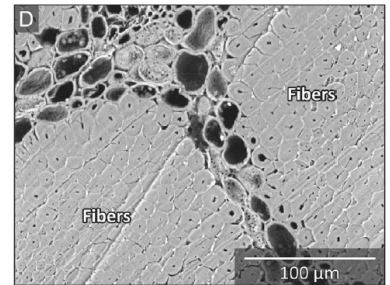


L.Q.N. Tran et al. / Industrial Crops and Products 65 (2015) 437-445

Bambou

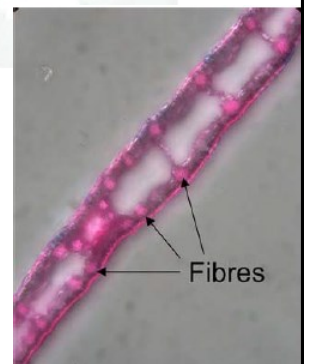
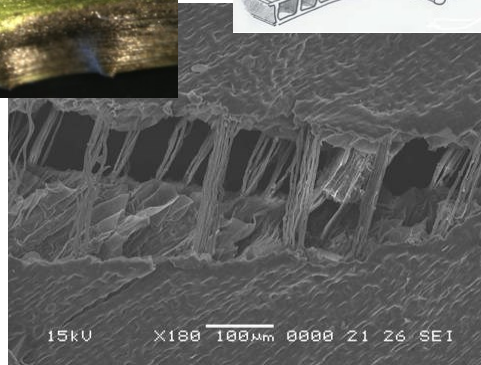
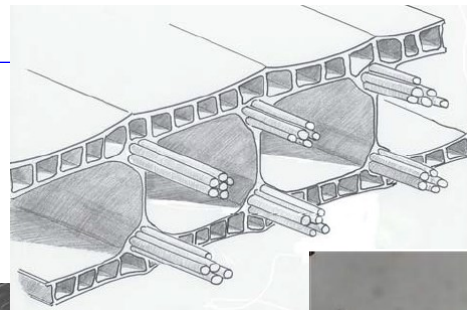
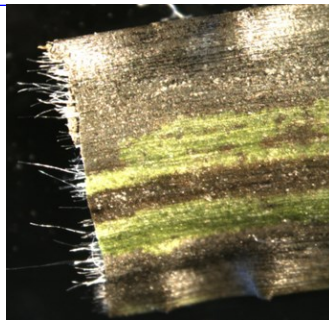


[Palombini et al., 2016, 2019]



Zostères - des structures composites renforcées par des fibres hautes performances

Zostera Marina

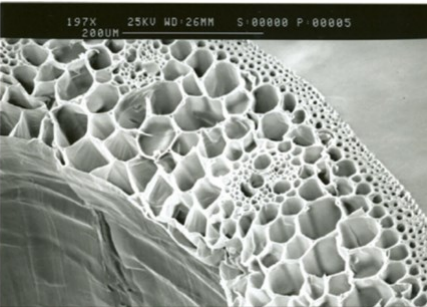
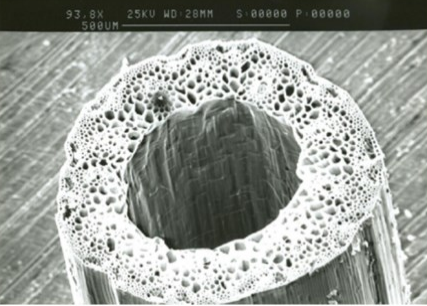


E = 20 GPa
 σ = 570 MPa
 A = 3,4 %

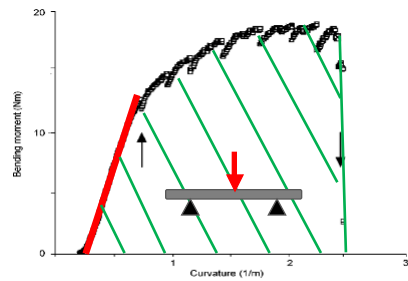
10 [Davies Baley et al. 2007]

Elytrigia repens

[Karam, Gibson /1995]



Equisetum hyemale.



9.14 Bending test of an internode of *Arundo donax* to show the relationship between bending moment and curvature. Arrows mark initial failure and final failure. In between, a series of several partial collapses can be found.¹⁶

Biologically inspired textiles / Abbott and M. Ellison / 2008

Décrire une cellule ?

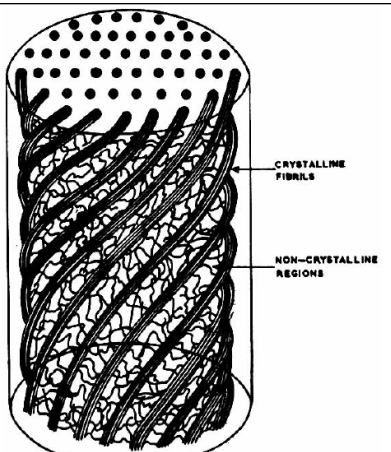


Fig. 2. Helical arrangement of fibrils in natural cellulose fiber.

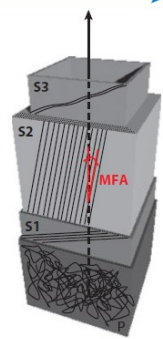
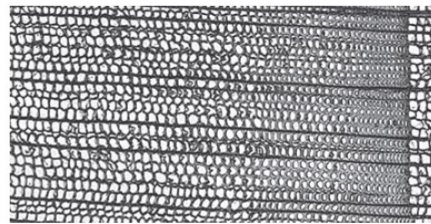
[Hearle 1963]

Growth form

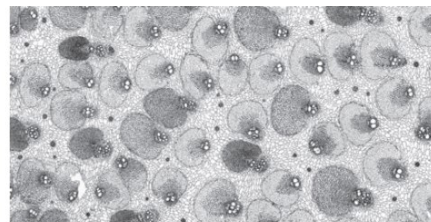
Tissue

Fiber/cell wall

Bois / softwood

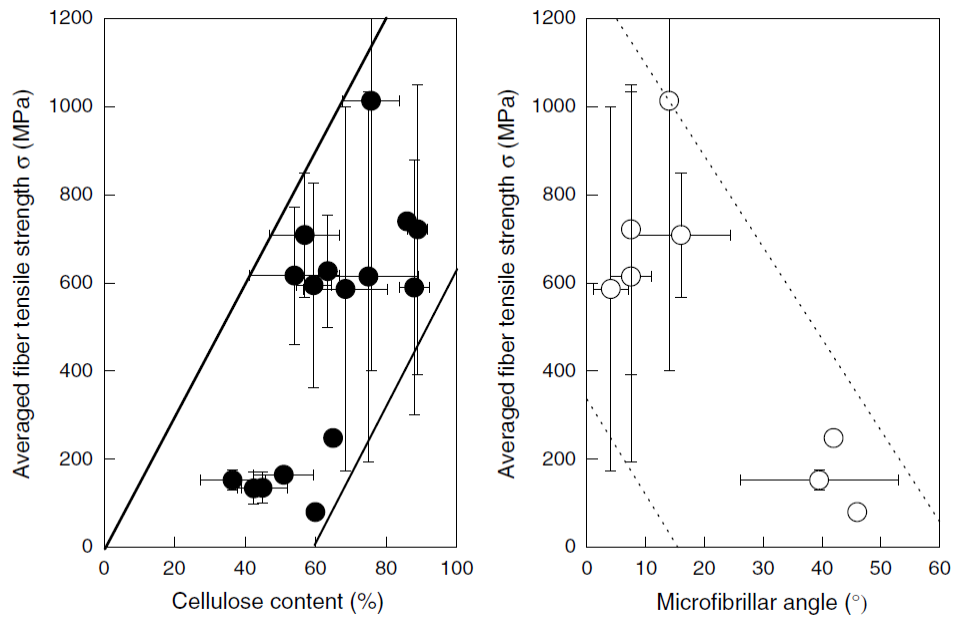


Bambou



[speck2011 plant stem]

2 paramètres Uniquement (le % de cellulose et l'angle microfibrillaire) ?



[Mohanraj et al. 2005 - NATURAL FIBERS, BIOPOLYMERS, AND BIOCOSMOSITES - Chap 2 Bismarck et al.]

Une approche multi-échelle nécessaire

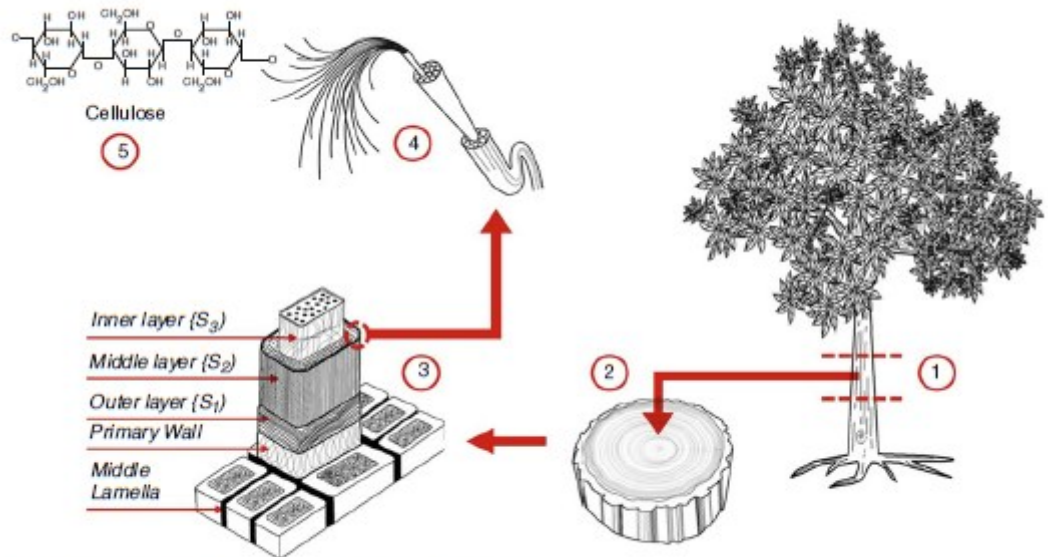
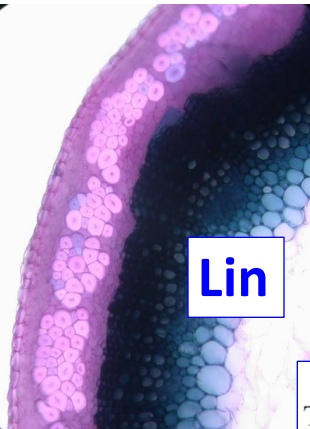


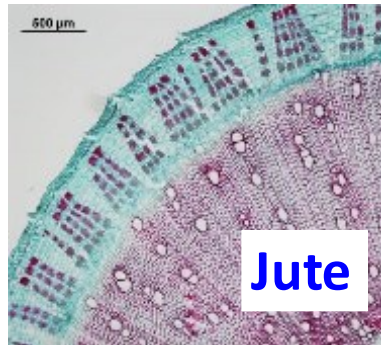
Fig. 12.2 Microscale to fiber bundles to cellulosic nanofibrils from plant fibers

Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application / Vol. C

Des organisations internes variées



Lin



Jute

| Type | Fiber length (mm) | Fiber diameter (microns) |
|-------|-------------------|--------------------------|
| Hemp | 15–55 | 17–22.8 |
| Jute | 2–5 | 15.9–20.7 |
| Flax | 9–70 | 5–38 |
| Kenaf | 2.6–4 | 17–21.9 |

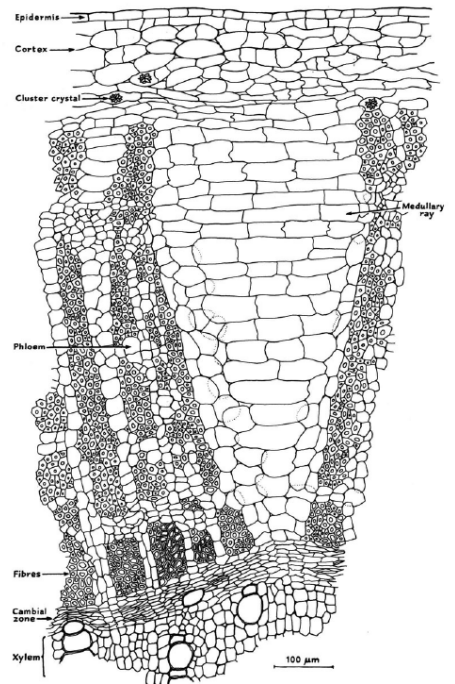
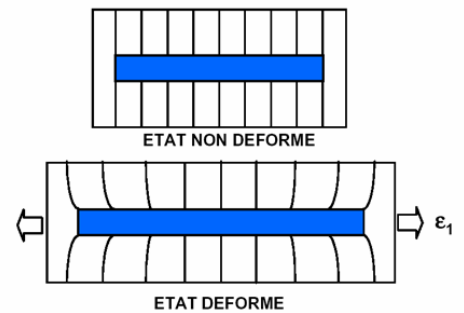


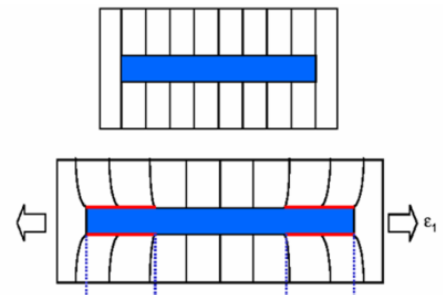
Fig. 11 *Corchorus olitorius* L. Transverse section of stem

Importance du rapport d'aspect sur la capacité de transfert de charge

| Nom | Average length (mm) | Average aspect ratio |
|--------|---------------------|----------------------|
| Abaca | 9,00 | 312 |
| Alfa | 3,50 | 466 |
| Bamboo | 2,75 | 220 |
| Hemp | 30,00 | 909 |
| Coir | 0,65 | 36 |
| Cotton | 40,00 | 2162 |
| Jute | 3,90 | 260 |
| Kapok | 15,00 | 750 |
| Kenaf | 6,25 | 266 |
| flax | 36,50 | 1738 |
| Sisal | 4,40 | 176 |
| Ramie | 125,00 | 2631 |



Fibre trop courte = risque de déchaussement

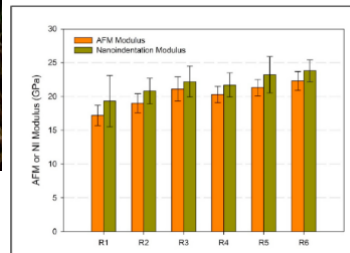


Rouissage pour récupérer des faisceaux de lin



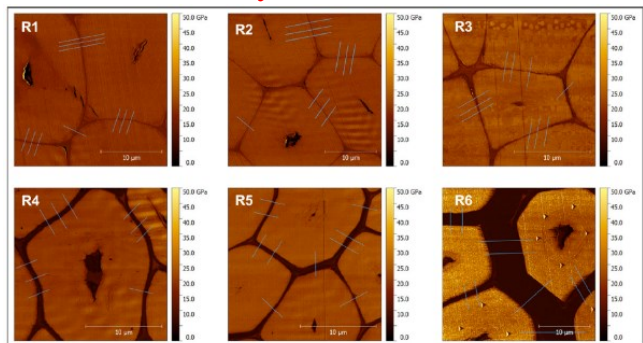
Influence du rouissage sur les propriétés des fibres de lin

[Martin et al. 2013]
[Bourmaud et al. et al. 2019]

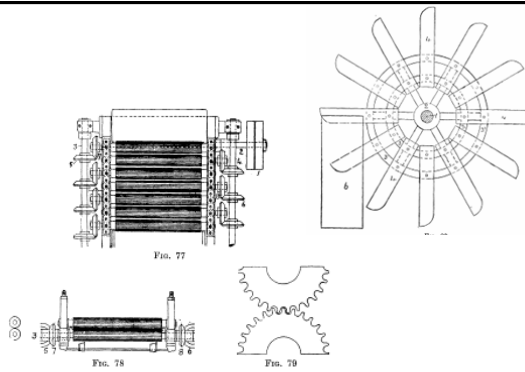
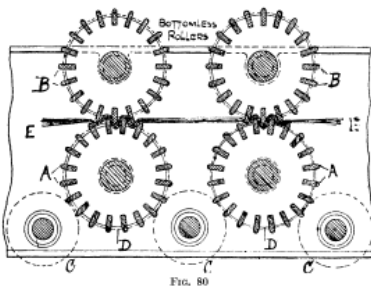


| Batch | E (GPa) | σ (MPa) | A (%) |
|-------|---------|----------------|-------|
| R1 | 38.6 | 792 | 2.2 |
| R3 | 48.6 | 935 | 2.2 |
| R6 | 55.6 | 1036 | 1.9 |

Propriétés en traction de fibres élémentaires



Teillage, peignage



Filasses



Etoupes



Bilan première partie

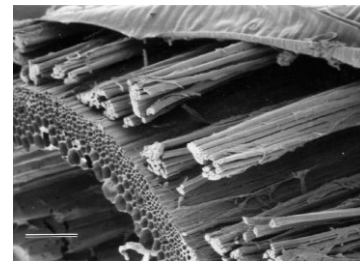
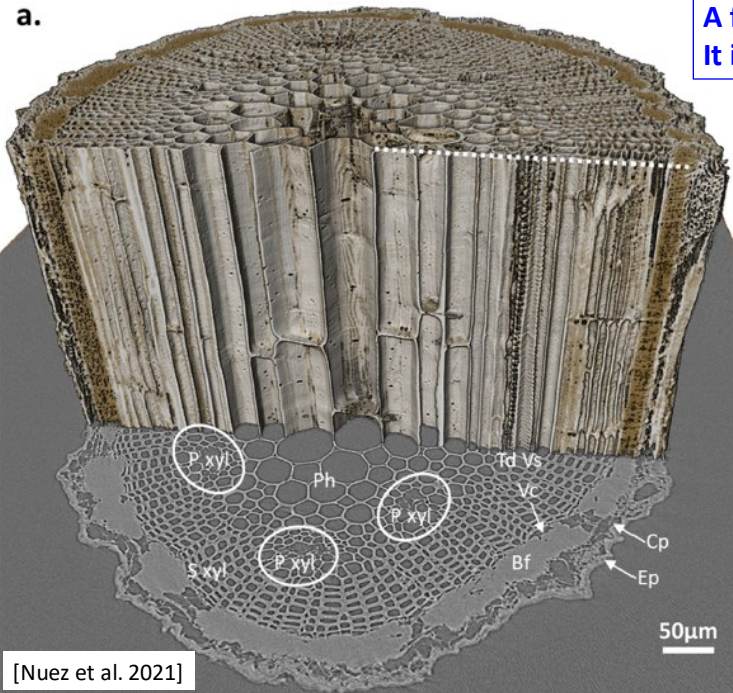
- Des plantes différentes avec des structures complexes
- Il existe différents cellules végétales avec différentes fonctions
- Il existe une corrélation entre les propriétés des cellules et leur fonction dans la plante
- Les cellules végétales présentent des rapports d'aspects très différents
- Les propriétés d'une cellule dans une plante vivante sont différentes de celles d'un matériaux de construction (rouissage, déshydratation, extraction mécanique...)

Analyse de la structure remarquable d'une tige de lin

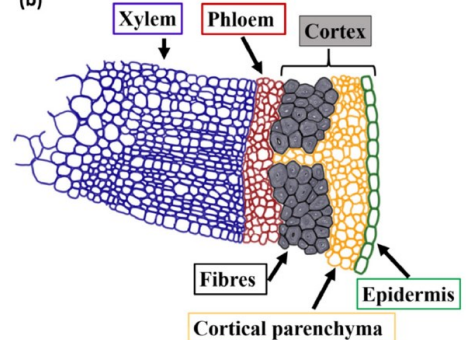


a.

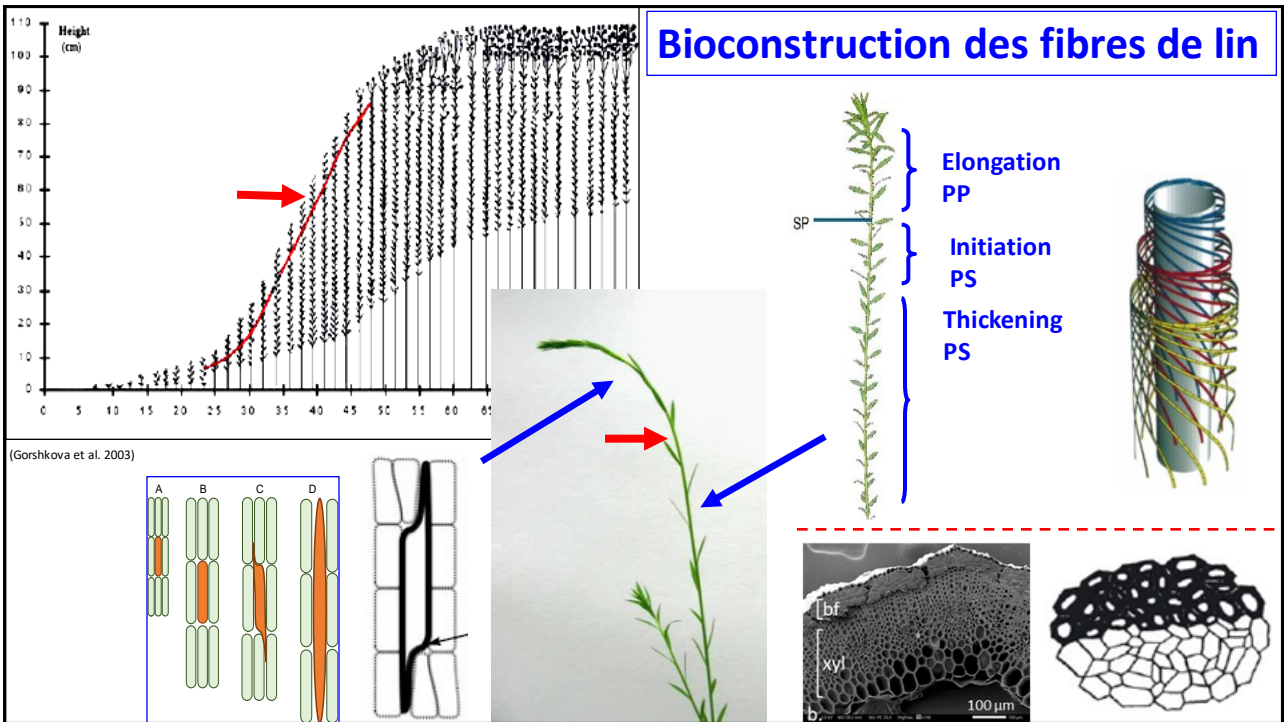
A flax stem is an assembly of cells
It is also an optimised composite structure



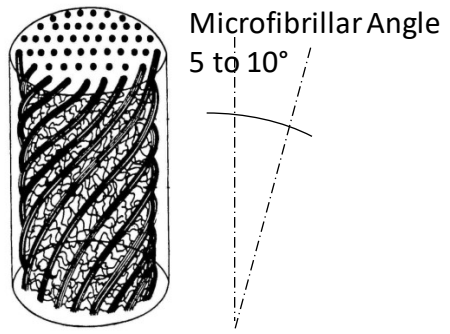
b)



Bioconstruction des fibres de lin



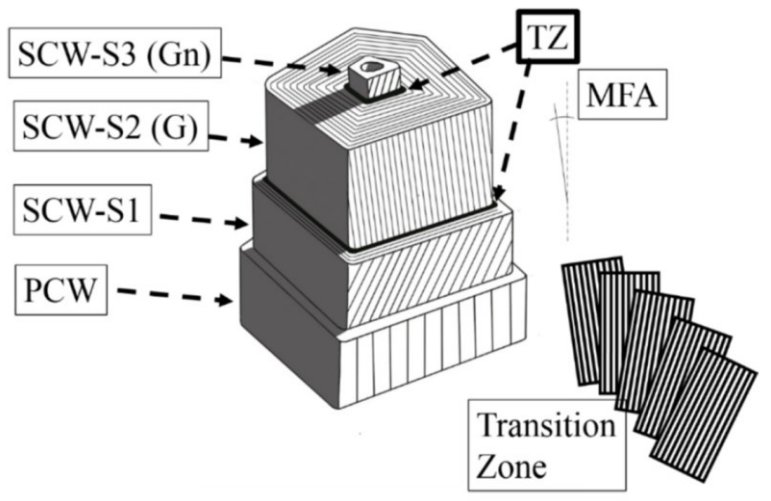
Approche simplifiée



Fibrilles de Cellulose
E = 130 Gpa to 170 GPa
σ = 3000 to 8000 Mpa

[Hearle 1963]

Description d'une fibre élémentaire de lin

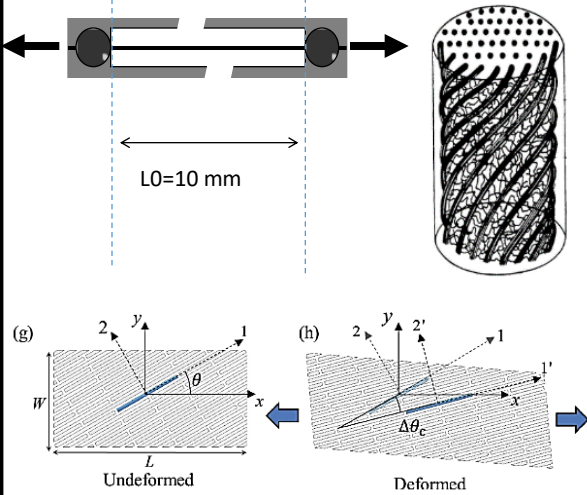


[Baley et al 2018]

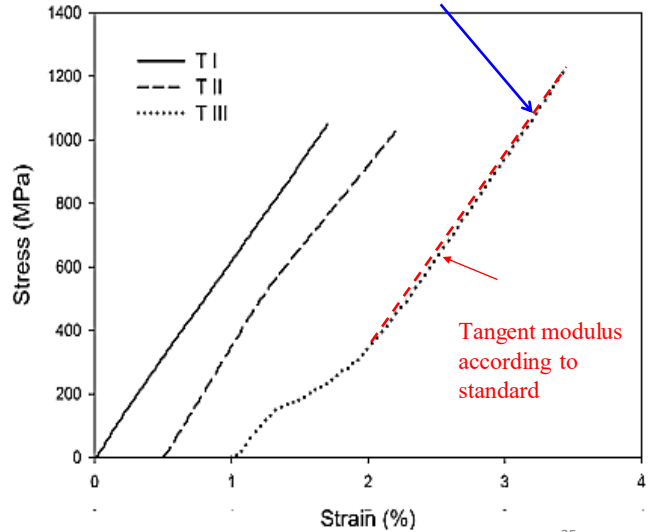
Essais de traction sur fibre unitaire

Norme NFT 25 - 501 - 2

Fibres de lin pour composites plastiques
Détermination des propriétés en traction des fibres élémentaires



Principalement / type III



[C. Baley 2012] [Lefeuvre 2014]

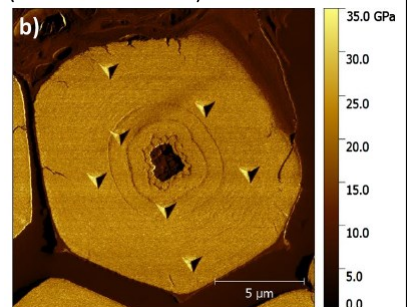
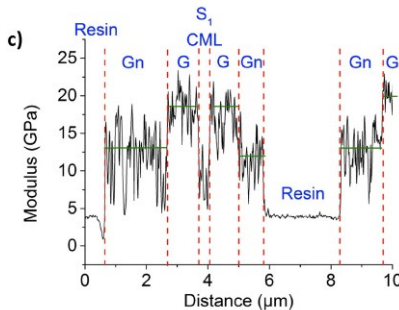
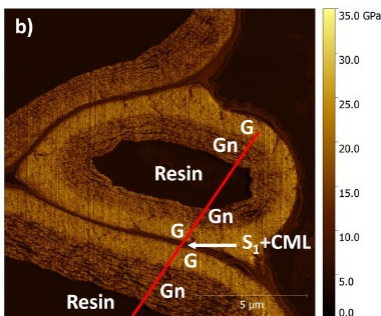
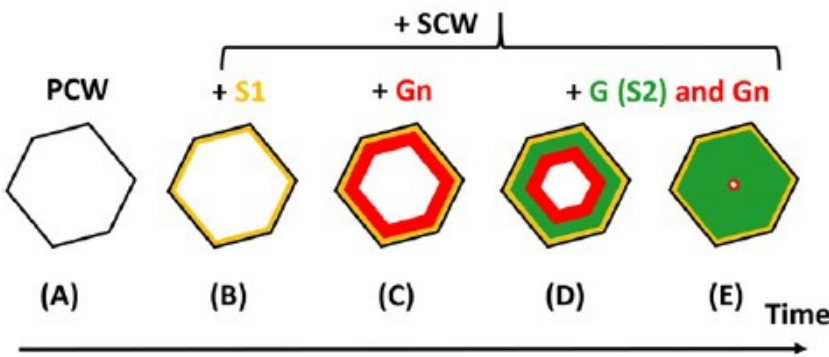
25

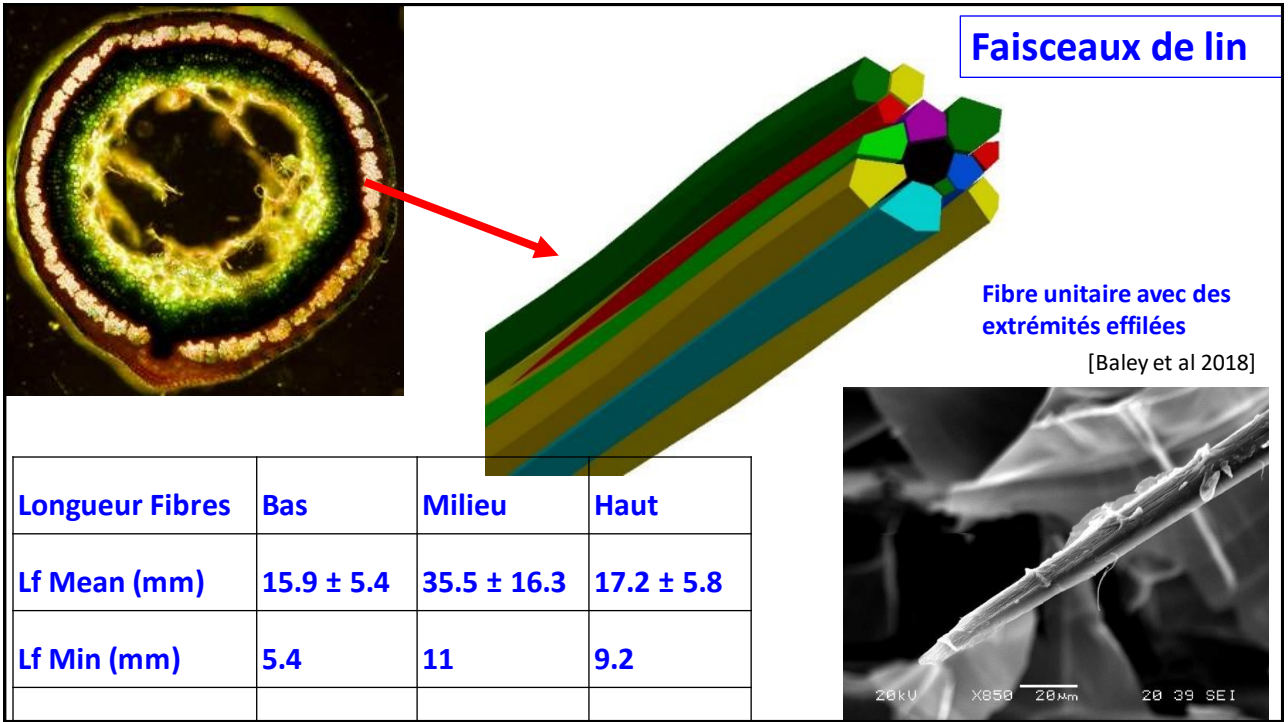
Remplissage et remodelage

Diagram illustrating the different stages of the fiber thickening, starting from a cell having only a primary cell wall (PCW) and ending with a fiber having a thick G-layer, a small lumen and a possibly remaining thin Gn-layer.

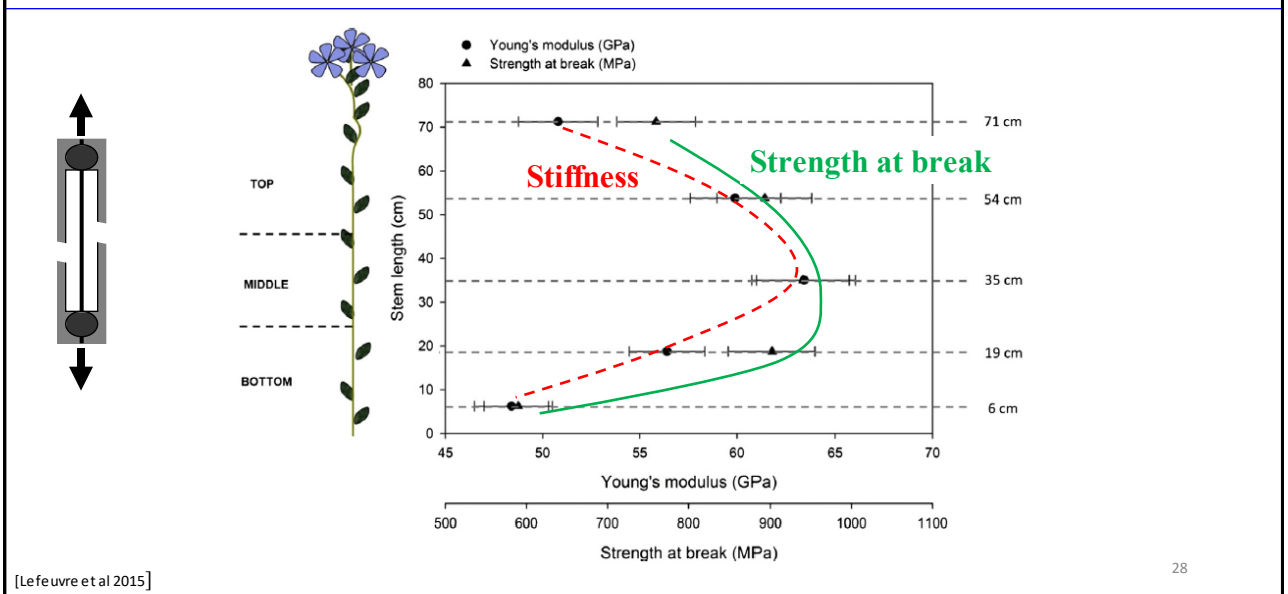
[Baley Bourmaud 2021
Multiscale Structure of Plant Fibers]

(Arnould et al 2017)

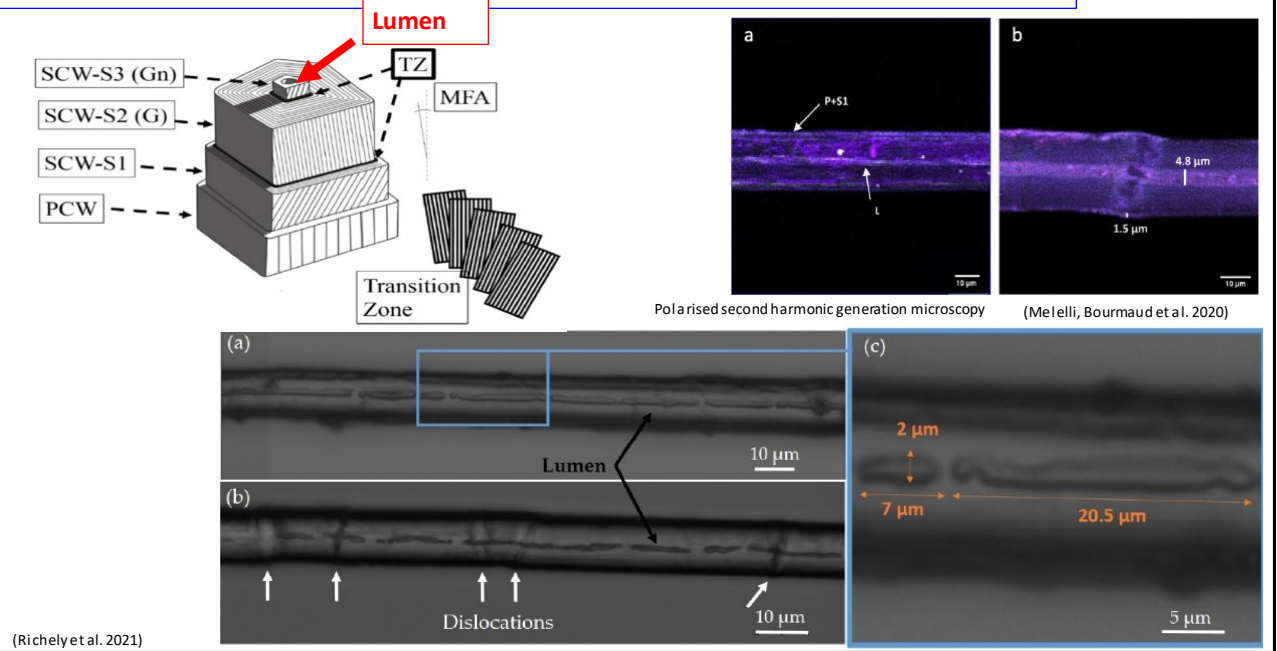




Une évolution des propriétés mécaniques en traction des fibres élémentaires suivant la hauteur de la plante

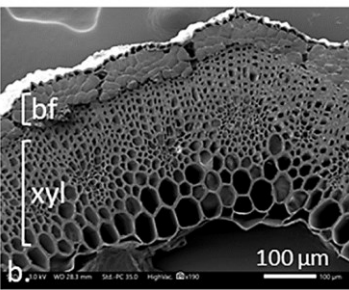


Fibre de lin à maturité – La géométrie du lumen



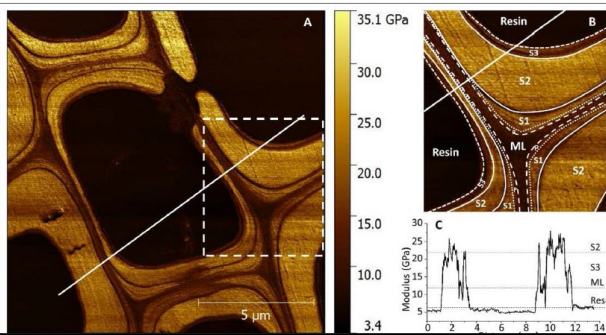
Différence en tissu de soutien et xylème

[Nuez et al 2021]



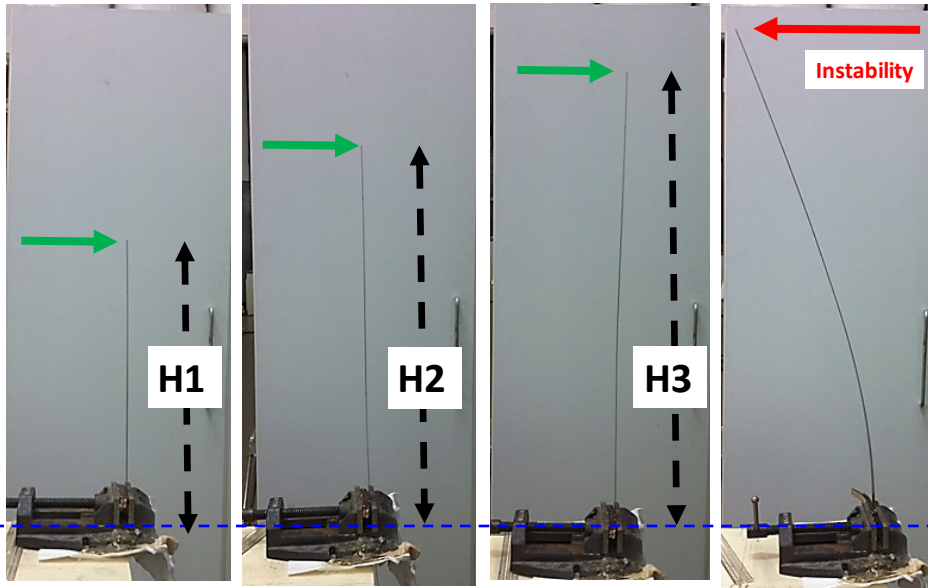
| | Density (g/cm ³) | Longitudinal modulus (MPa) | Transversal modulus (MPa) |
|-------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Flax fibres | 1.5 | 52,300 | 8,000 |
| Softwood | 0.45 | 13,100 | 818 |
| Flax shives | 1.237 | 27,930 | 3,280 |

[Evon et al 2018]

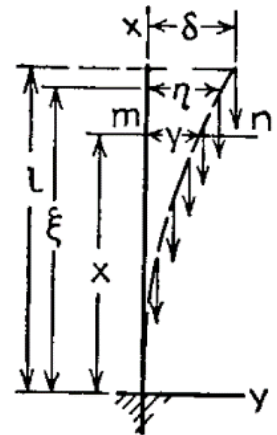


| Material | Shives | Technical fibers |
|--|-------------------|------------------|
| Moisture (%) | 8.4 ± 0.2 | 7.8 ± 0.0 |
| Minerals (% of the dry matter) | 2.0 ± 0.1 | 2.0 ± 0.1 |
| Cellulose (% of the dry matter) | 45.6 ± 0.4 | 79 ± 2 |
| Hemicelluloses (% of the dry matter) | 22.4 ± 0.1 | 7.0 ± 0.1 |
| Lignins (% of the dry matter) | 25.1 ± 0.6 | 2.5 ± 0.1 |
| Water-soluble components (% of the dry matter) | 4.1 ± 0.1 | 6.5 ± 0.5 |

Poutre encastrée soumise à son propre poids



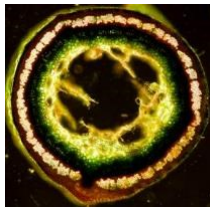
At a certain length the beam becomes unstable
Only by its own weight



Un élancement remarquable



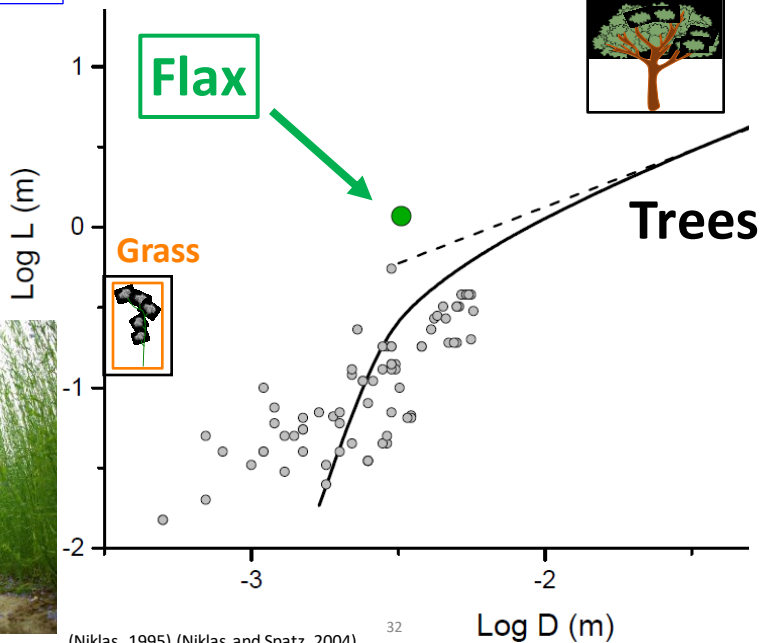
$L \approx 1 - 1,2 \text{ m}$
H: Height
 $D \approx 3 \text{ mm}$
Stem diameter



Flax: $L / D \approx 333 - 350$

Bamboo: $L / D \approx 100$

Sequoia: $L / D \approx 25$



[Goudenhoof et al. 2019]

(Niklas, 1995) (Niklas and Spatz, 2004)

32



La verse



33

[Goudenhooff et al. 2019]

La gravitropisme



[Goudenhooff et al. 2019]

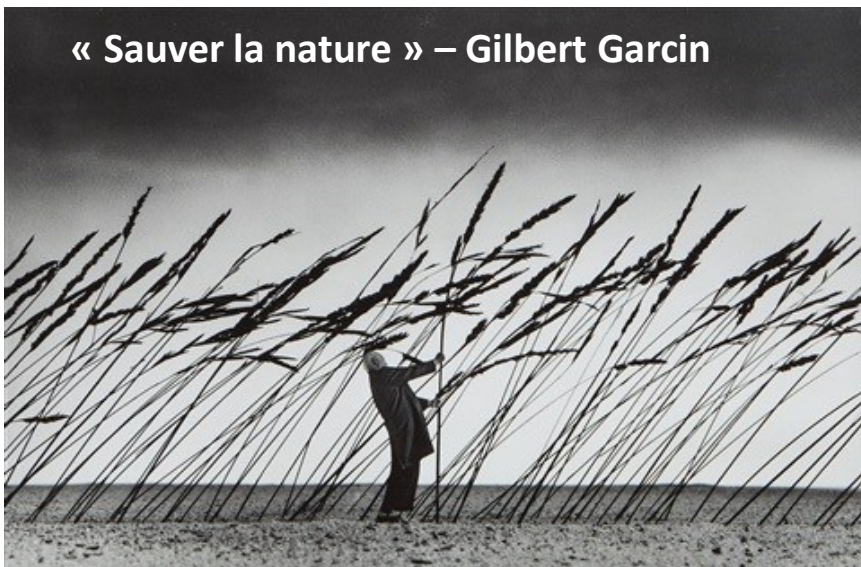
Bilan. En quoi la plante de lin est remarquable

- Croissance par photosynthèse- Adaptation à l'Europe
- Structure composite optimisée des tiges. Très fort élancement
- Développement intrusif des tissus de soutien
- Bonnes propriétés mécaniques spécifiques en traction
- Capacité de la plante à s'adapter, à cicatriser, se redresser après une verse, à se biodégrader....

Des défis pour demain

3

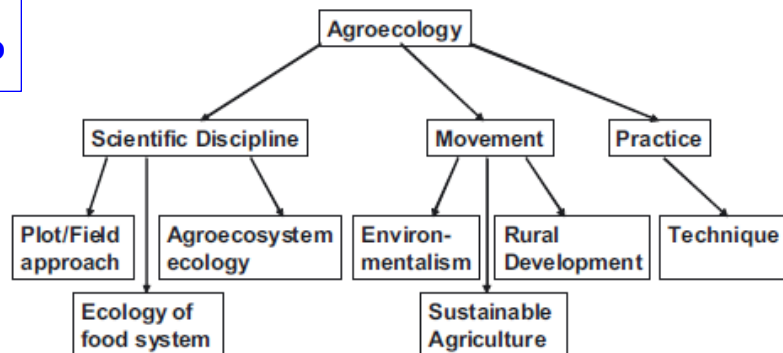
« Sauver la nature » – Gilbert Garcin





La perversion de la cité commence par la fraude des mots. Socrate

**Agroécologie ?
De quoi on parle ?**



[Wezel et al 2009]

Pb de vocabulaire pour agroécologie, bio-économie, développe durable, économie circulaire, éco-matériaux, biocomposites (biocompatible, biobasé, biodégradable, issue de ressource renouvelables...), fibres naturelles, écologie ()...

Figure 1. Diversity of current types of meanings of agroecology.

Quelques remarques sur l'agriculture de demain

Enjeux larges et complexes, ils sont :

- **Sociétaux et environnementaux** (effet de serre, eau, biodiversité...),
- **Sociaux** (revenus des agriculteurs, emploi, pouvoir d'achat, retraite...),
- **Sanitaires** (malnutrition et sur-nutrition, santé des consommateurs...),
- **Economiques et politiques** nationaux et internationaux (indépendance et sécurité alimentaire, insertion des économies dans les marchés européens et mondiaux...).

2 points de vue contradictoires (reflétant 2 systèmes de valeurs) : une part l'éthique « **productionniste** » (la valeur suprême est donnée à la nécessité de produire), d'autre part une éthique « **préservationniste** » (priorité: préservation de la nature)

Quelques remarques sur l'agriculture de demain

Quelques mauvaises nouvelles: Disparition des insectes, la dégradation et la perte de terres agricoles, les conséquences d'un mode fertilisation et de l'usage de produits en « cides »...

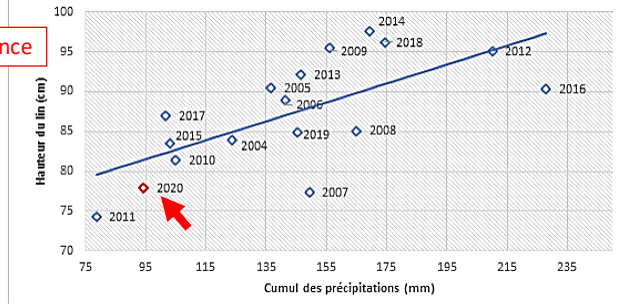
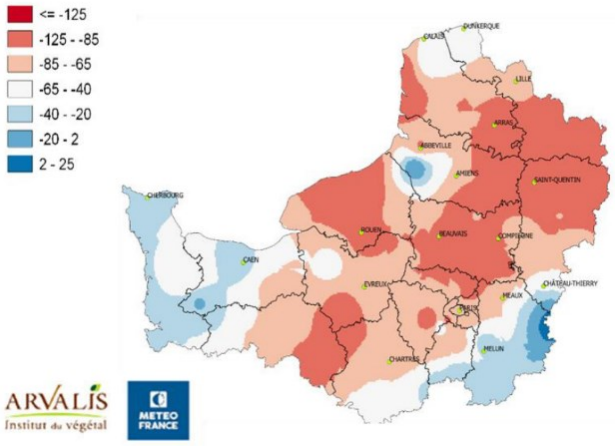
Réconcilier agriculture et biodiversité (support de la production agricole)

Il est d'abord question d'hommes : dans les vingt ans à venir, sans doute plus de la moitié des exploitations agricoles pourraient disparaître, faute de candidats agriculteurs.

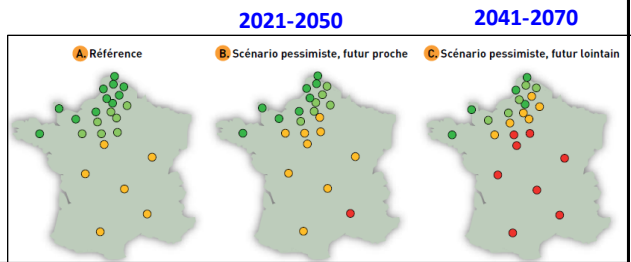
Une équation pas simple à résoudre : **une » agriculture durable », économiquement et écologiquement**, qui doit savoir produire pour satisfaire en quantité et en qualité les besoins de la population, avec des prix conciliant rémunération du producteur et pouvoir d'achat du consommateur.

Évolutions climatiques

Pluies (en mm) Normalement 180 mm sur la période de croissance

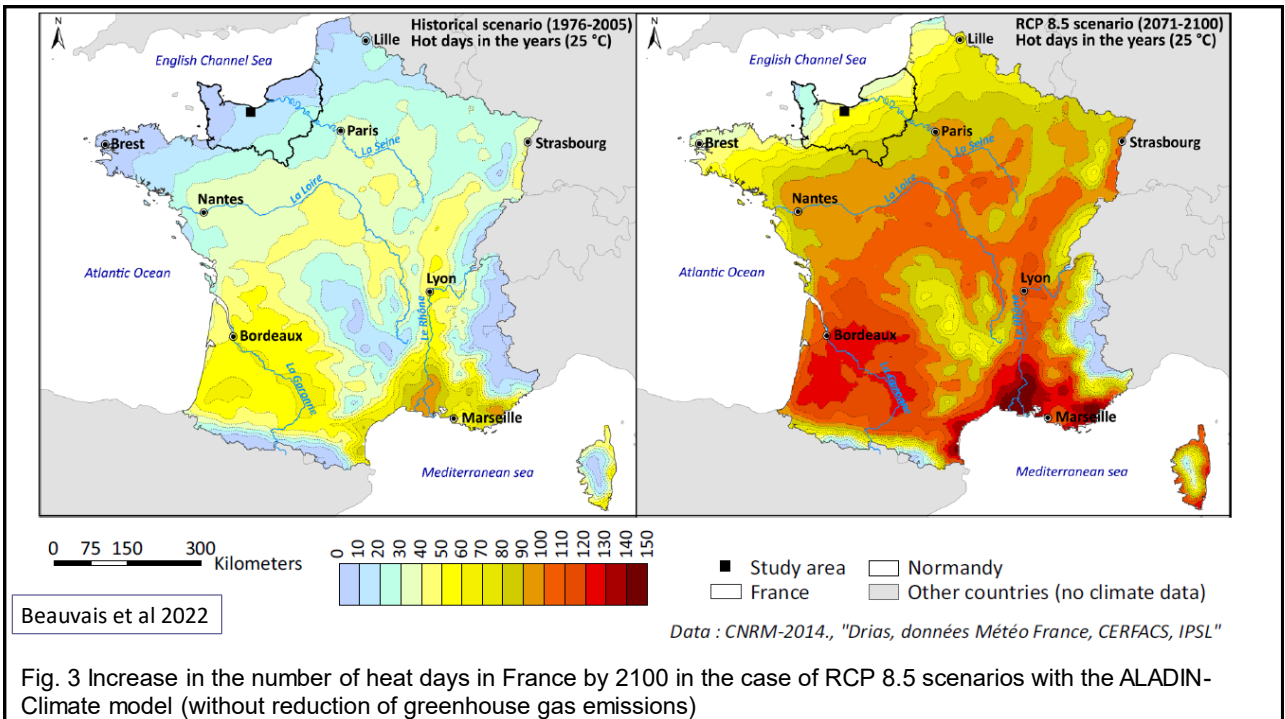


Nombre de jours de plus de 25°C actuellement (A) et attendus sur les périodes 2021-2050 (B) et 2041-2070 © dans l'hypothèse d'un scénario pessimiste Perspectives Agricoles / juillet-Aout 2019 N°468



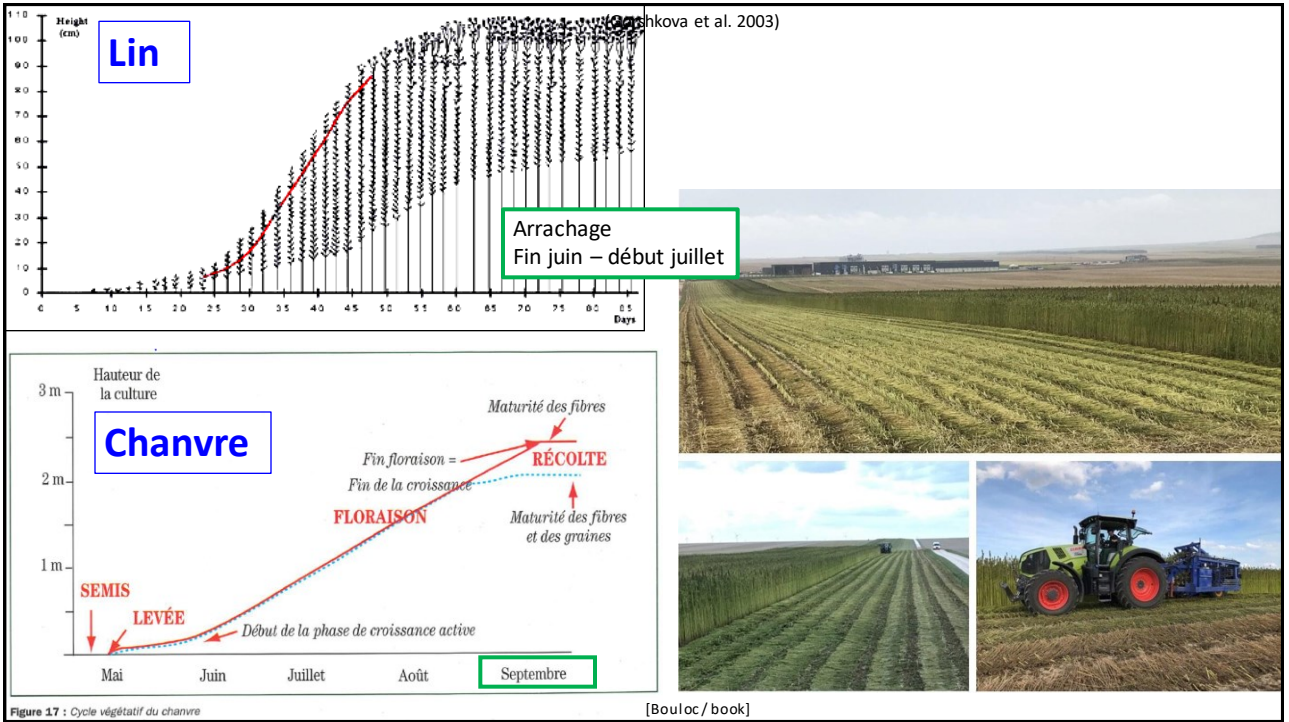
Écart de pluie en 2020 par rapport à la moyenne sur 20 ans sur la période du 01/04 – 15/07/20

Arvalis : choisir et décider / lin fibres / synthèse nationale 2020



Data : CNRM-2014., "Drias, données Météo France, CERFACS, IPSL"

Fig. 3 Increase in the number of heat days in France by 2100 in the case of RCP 8.5 scenarios with the ALADIN-Climate model (without reduction of greenhouse gas emissions)



Recherche de valeur ajoutée / de valeur stratégique ?

“How important are each of the following market research needs to the hemp industry?”

| Market research needs | Extremely | Very | Somewhat | A little | Not at all |
|--------------------------|-----------|------|----------|----------|------------|
| CBD | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Alternative cannabinoids | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Food products | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Hempseed oil | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Fiber | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Hemp biofuels | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Hemp proteins | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |
| Animal feed | ~15% | ~25% | ~35% | ~20% | ~5% |

Source: [ElIison 2021] Hemp (Cannabis sativa L.) Res earch Priorities: Opinions from United States Hemp Stakeholders

Le télégramme le 13 nov 21

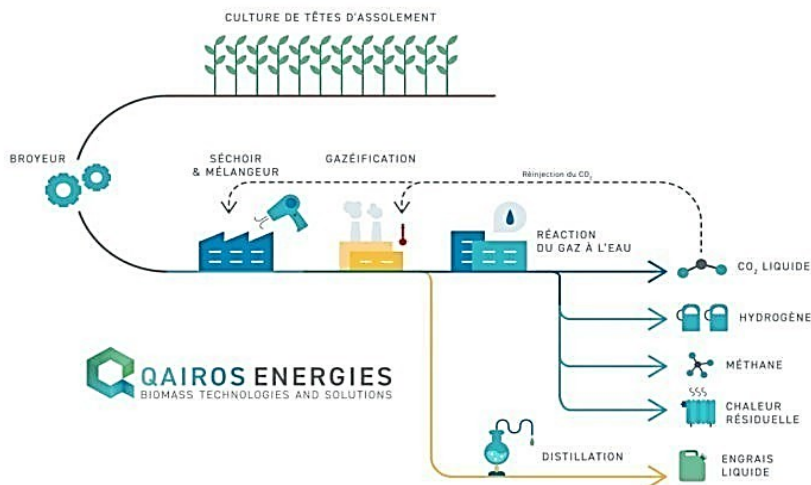
Pour le climat, la COP26 a plein de belles idées. Et nous, on en a déjà une dans les tuyaux.

Méthaniseur de Châteaulin : un rapport accablant sur l'accident

Énergie solaire : quelles retombées pour l'agriculture ?

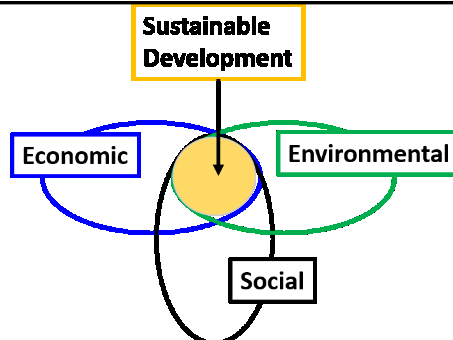
Sarthe. Les agriculteurs des Fermiers de Loué cultivent le chanvre qui fera rouler les bus du Mans C'est un projet unique en France qui débute à Mareil-en-Champagne (Sarthe) : celui de la production d'hydrogène à partir de culture de chanvre.

Publié le 4 Jul 20 à 21:00

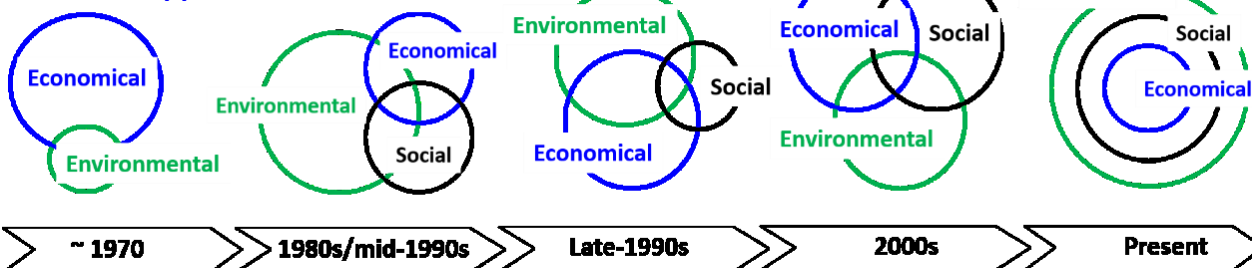


https://actu.fr/pays-de-la-loire/mareil-en-champagne_72184/sarthe-les-agriculteurs-des-fermiers-de-loue-cultivent-le-chanvre-qui-fera-rouler-les-bus-du-mans_34755353.html

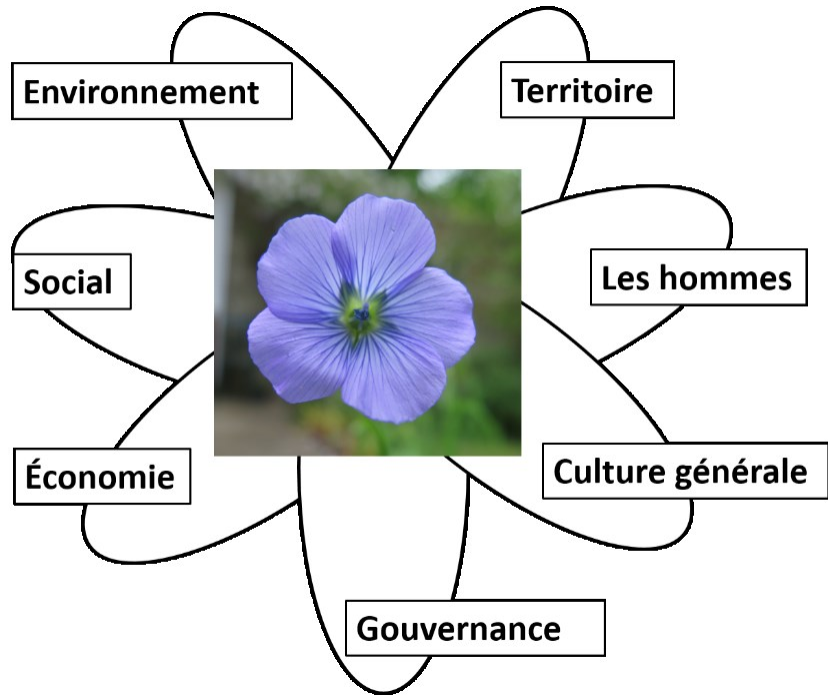
Les piliers du développement durable



éco-développement

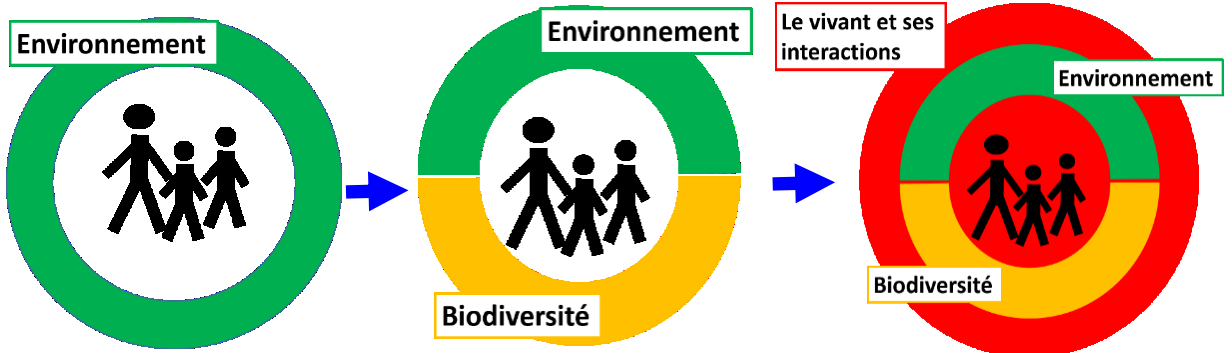


7 indicateurs et non 3



[Baley et al. 2023]

Évolution des regards en f(temps)



[Baley et al. 2023]



Creuse le puits d'un jour lointain, pour y boire un autre jour.
Les proverbes malinkés du Sénégal (1962)

Merci pour votre attention