

# SYMBIOSE 2017

3<sup>ème</sup> Séminaire du GDR SYMBIOSE

La Grande Motte, 29 Mai - 1<sup>er</sup> Juin 2017

Le compartiment ligneux de l'arbre  
source de matériaux biosourcés

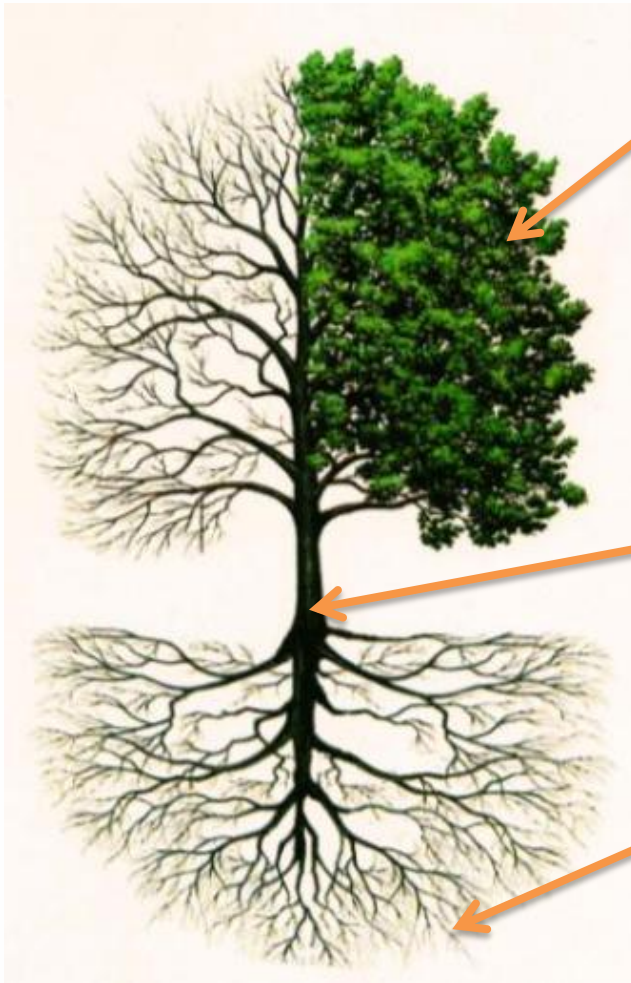
Bernard THIBAUT CNRS





# Le compartiment ligneux de l'arbre

# Le compartiment ligneux de l'arbre

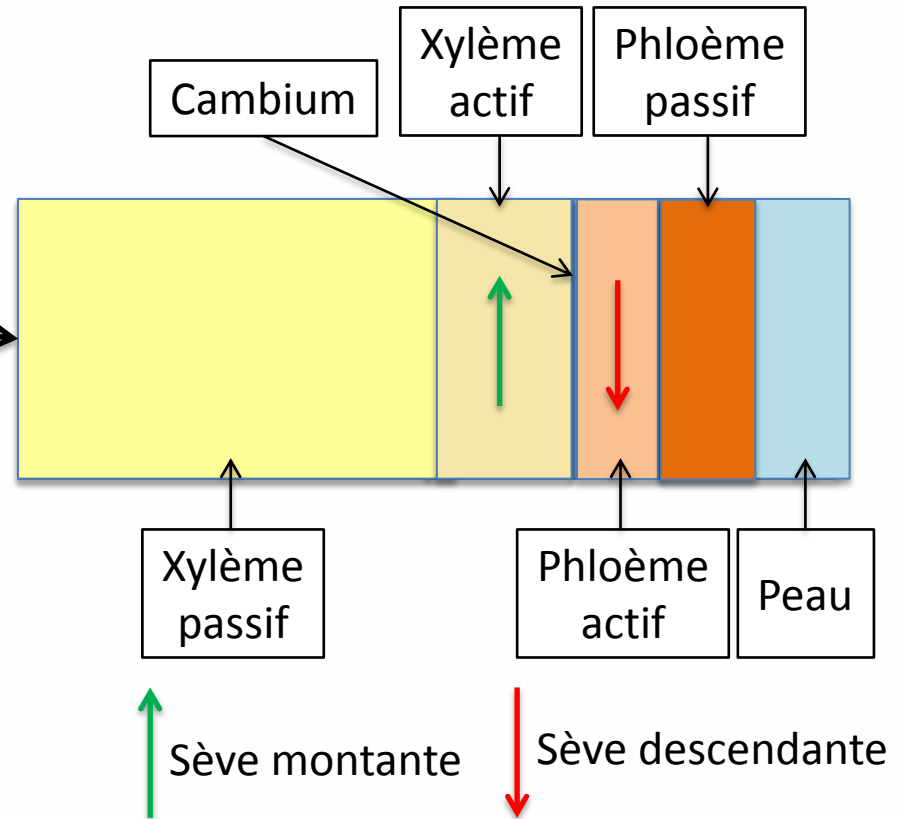
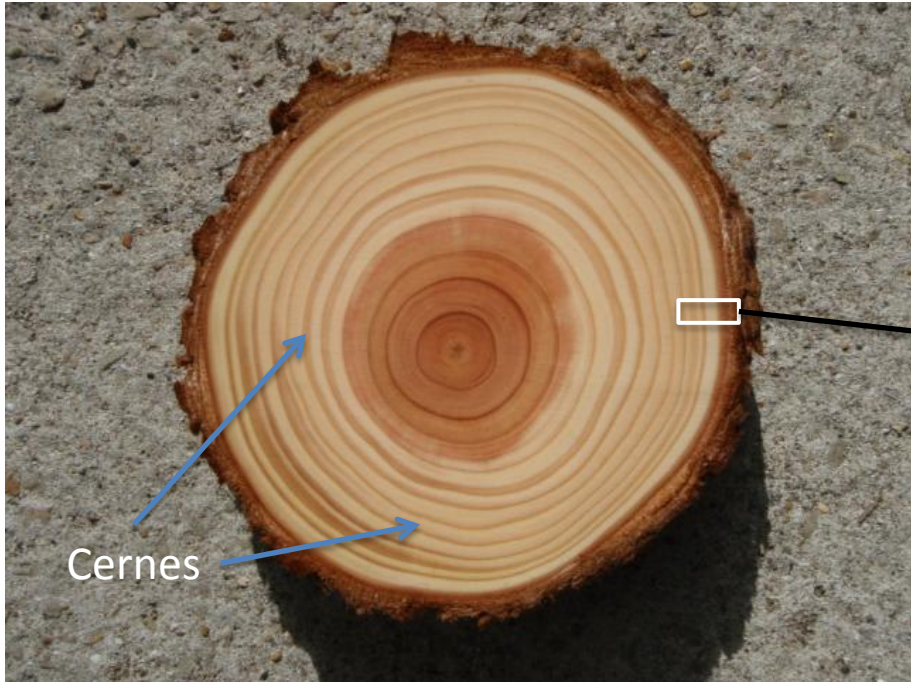


*Les feuilles produisent la biomasse à partir de l'eau, du  $\text{CO}_2$  et de l'énergie solaire*

***Le compartiment ligneux connecte les compartiments foliaires et racinaires.***

*Les racines extraient l'eau et les sels minéraux du sol*

# Le bois de l'arbre (portion d'axe)



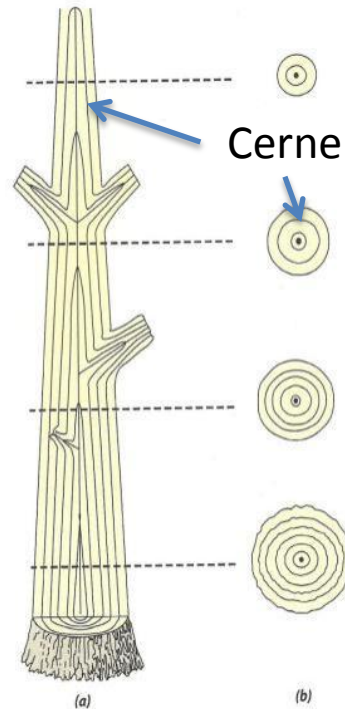
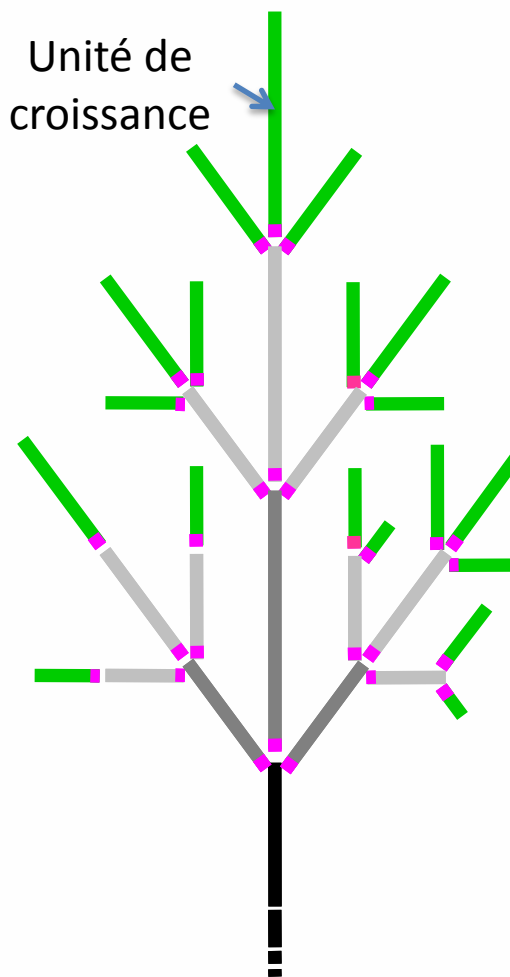
Xylème actif + Cambium + Phloème actif = Bois de l'arbre actif (vivant)

Peau + Phloème passif = protection externe

Xylème passif = squelette bois de l'arbre

Ecorce = Phloème (actif et passif) + Peau

# La structure arborée: une construction additive



*Les bourgeons à bois (terminaux et latéraux) et le cambium (manchon continu sous l'écorce) sont les zones actives de la fabrication additive du compartiment ligneux de l'arbre*

*Le cambium fabrique le xylème actif vers l'intérieur et le phloème actif vers l'extérieur*

*Après leur mort programmée, le xylème et le phloème actifs sont intégrés respectivement dans le squelette et dans la protection extérieure*

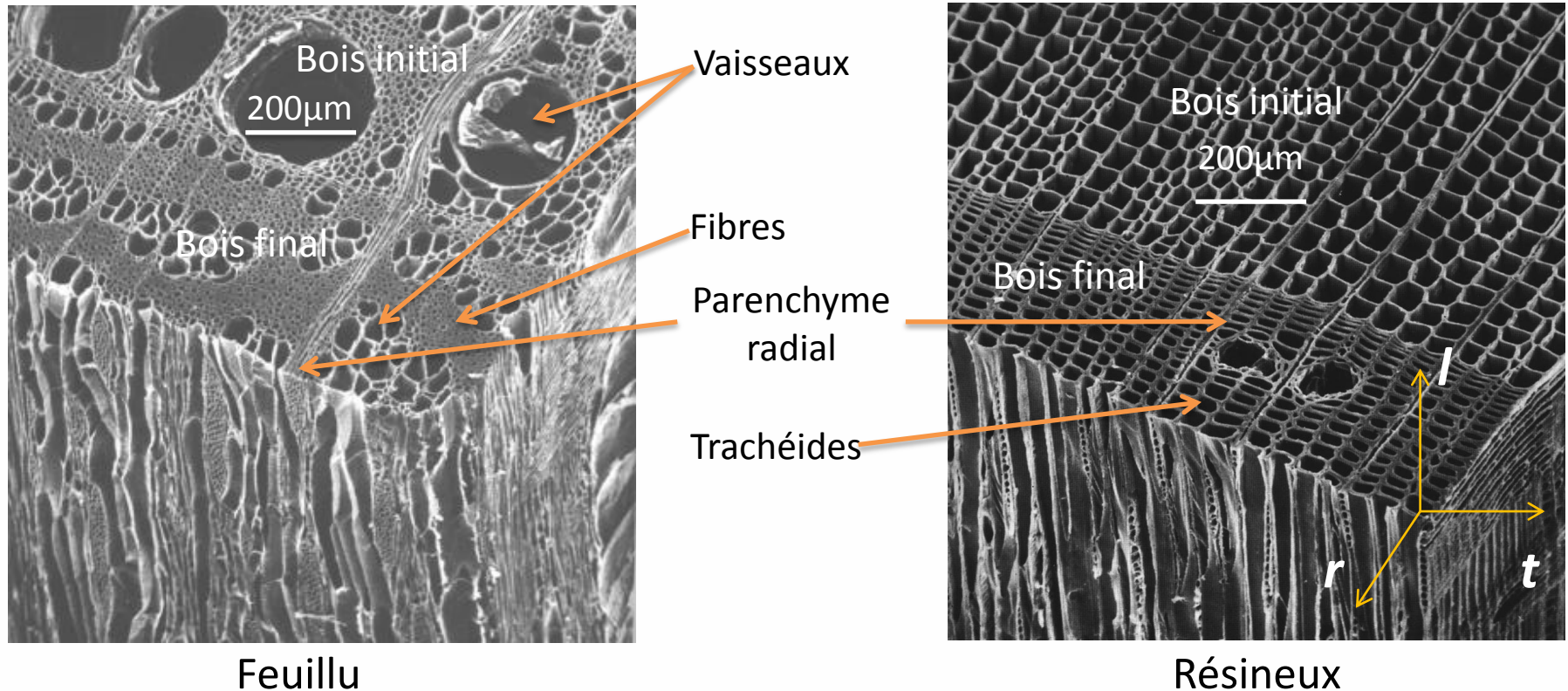
**Fonctions principales du bois actif: Fabrication de la structure + Conduction de la sève + Contrôle de la posture (action musculaire)**



# Le bois matériau du squelette



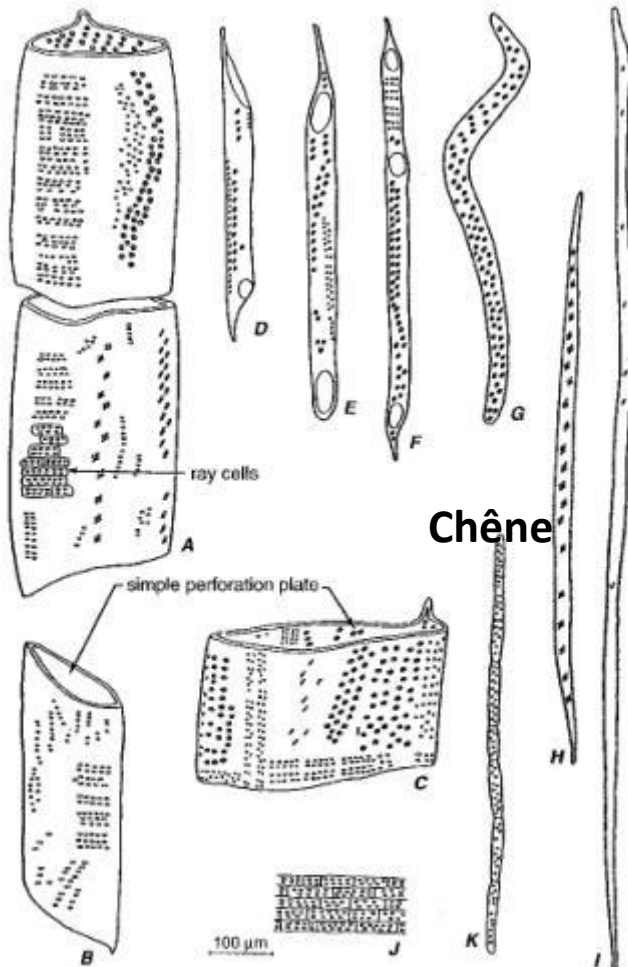
# Un matériau cellulaire orienté, multicouche



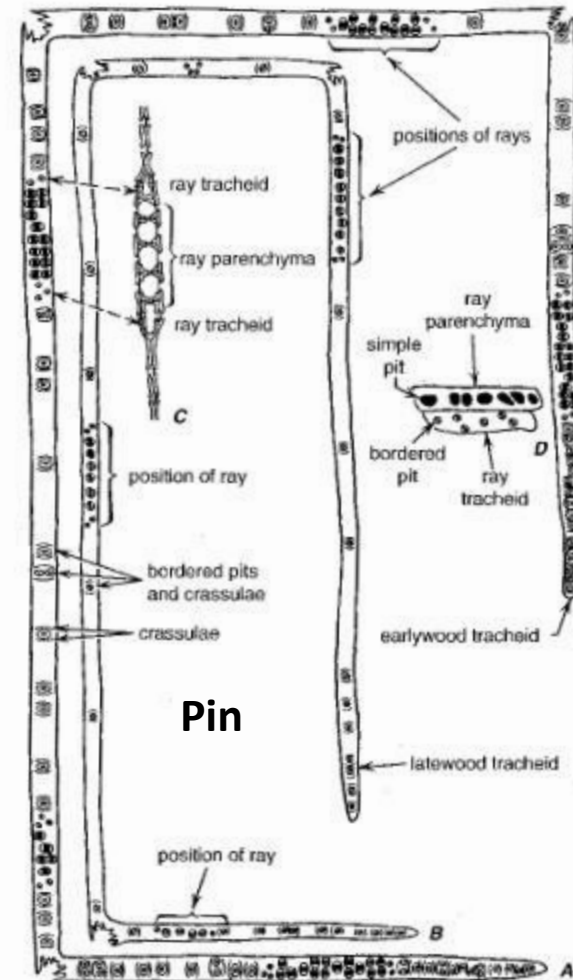
*Le cerne est constitué d'une couche plus (bois initial) ou moins (bois final) poreuse. Les fibres et trachéides sont des cellules à paroi épaisse, très allongées (avec un élanement voisin de 100). Leur orientation est appelée fil du bois. Les vaisseaux sont des tuyaux constitués de cellules aboutées de faible élanement. Les parenchymes sont des cellules à paroi mince, orientées perpendiculairement (parenchyme radial) ou parallèlement (parenchyme axial) au fil du bois*



# Eléments cellulaires du bois (d'après Esäü)

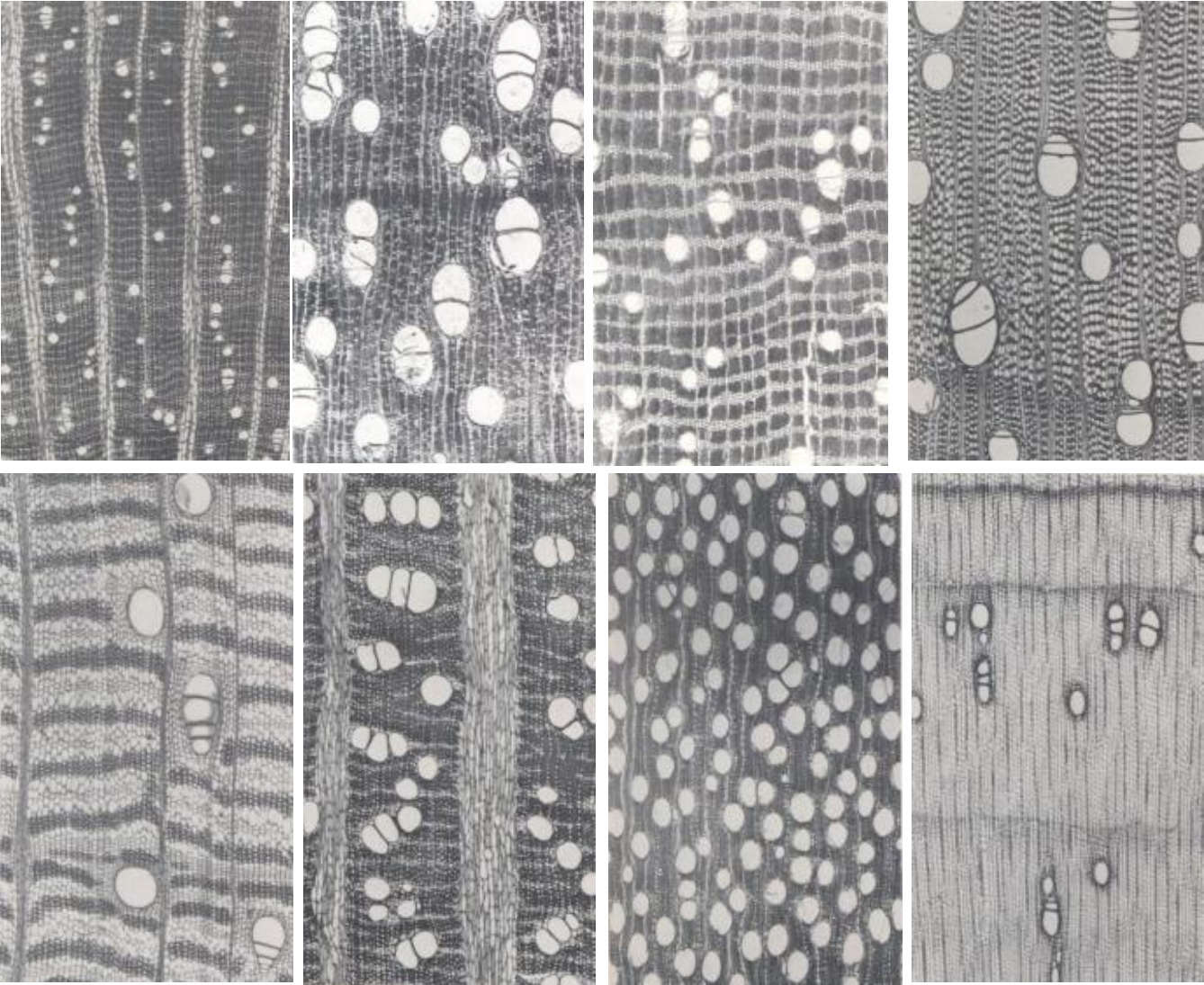


a – c : éléments de gros vaisseaux ; d-f : éléments de petits vaisseaux ; g : trachéide ; h : fibre-trachéide ; i : fibre, j :parenchyme radial ; k : parenchyme axial



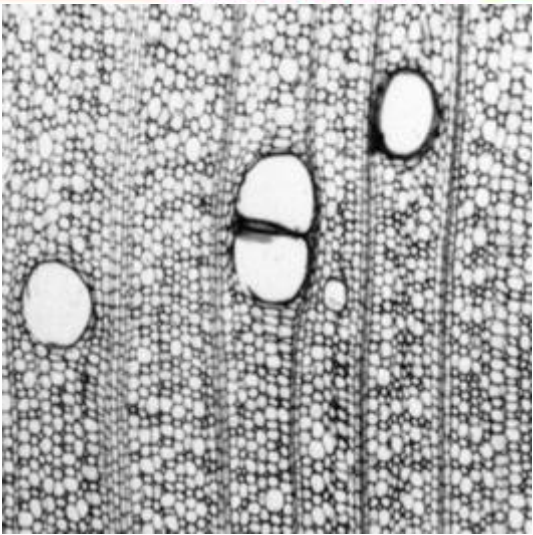
a : Trachéide bois initial ; b : Trachéide bois final ; c : rayon face tangentielle, d : 2 cellules rayon face radiale

# Le plan ligneux, organisation 3D des cellules du bois

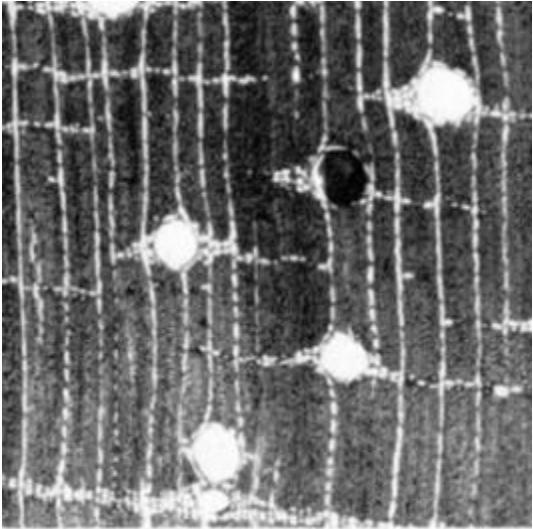


*Comme la signature chimique des extractibles, le plan ligneux caractérise l'espèce*

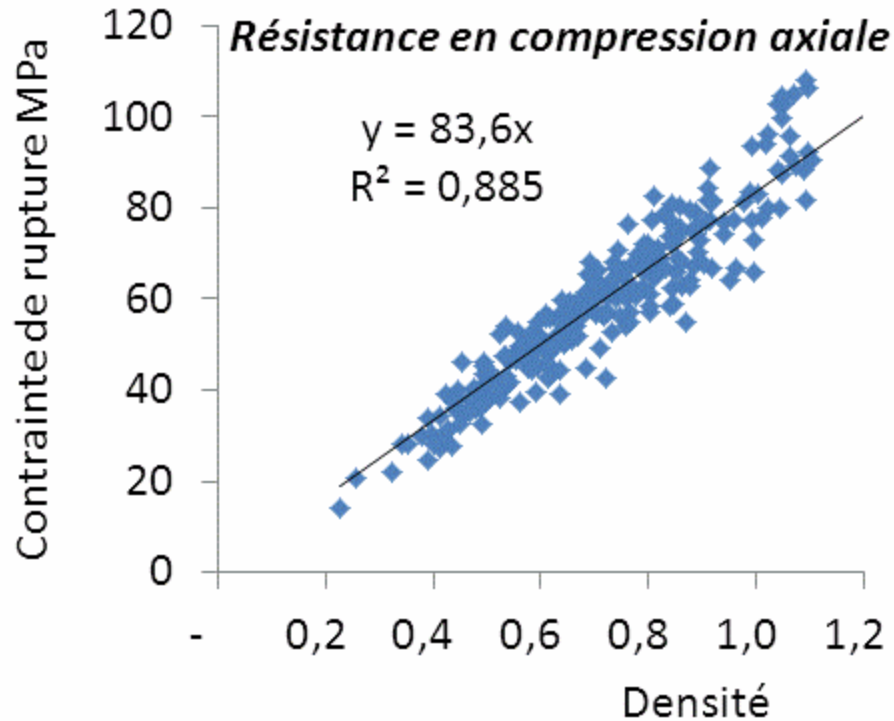
# La densité est la 1<sup>ère</sup> clé des propriétés mécaniques du bois



**Balsa** Densité = 0,15  
Porosité = 90%

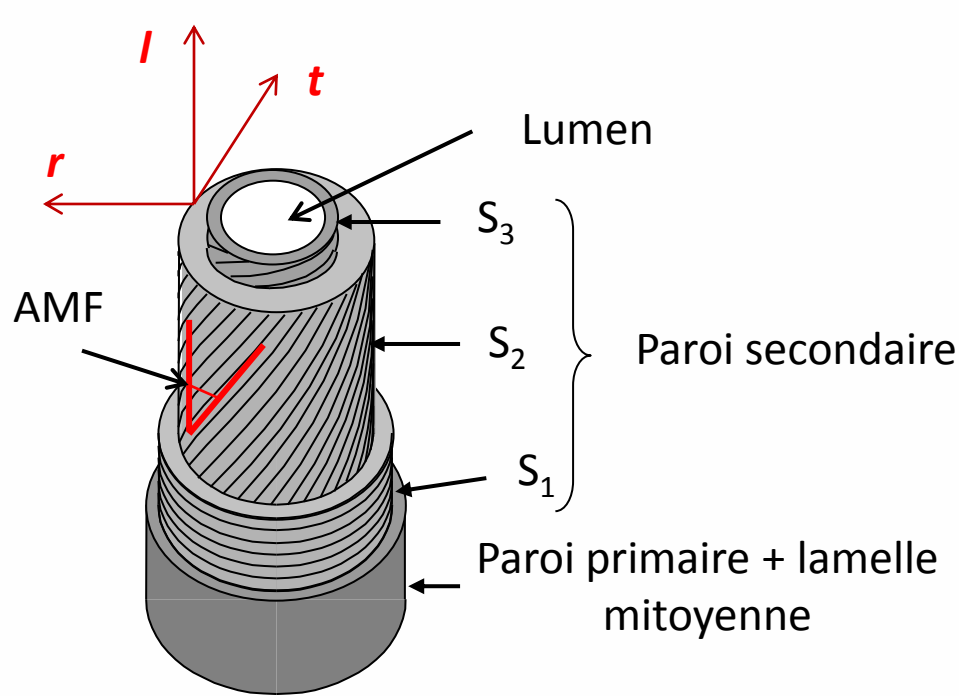


**Panacoco** Densité = 1,2  
Porosité = 20%

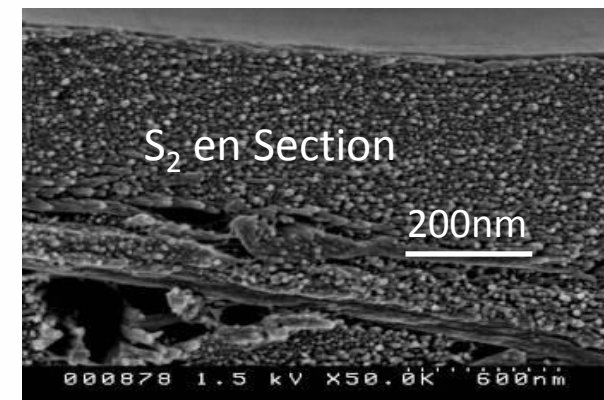
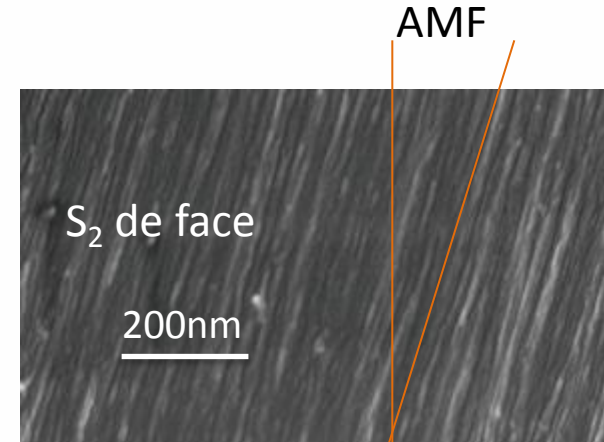


**La résistance mécanique du bois dans la direction du fil est proportionnelle à sa densité.**

# La paroi cellulaire, composite à fibre multicouche

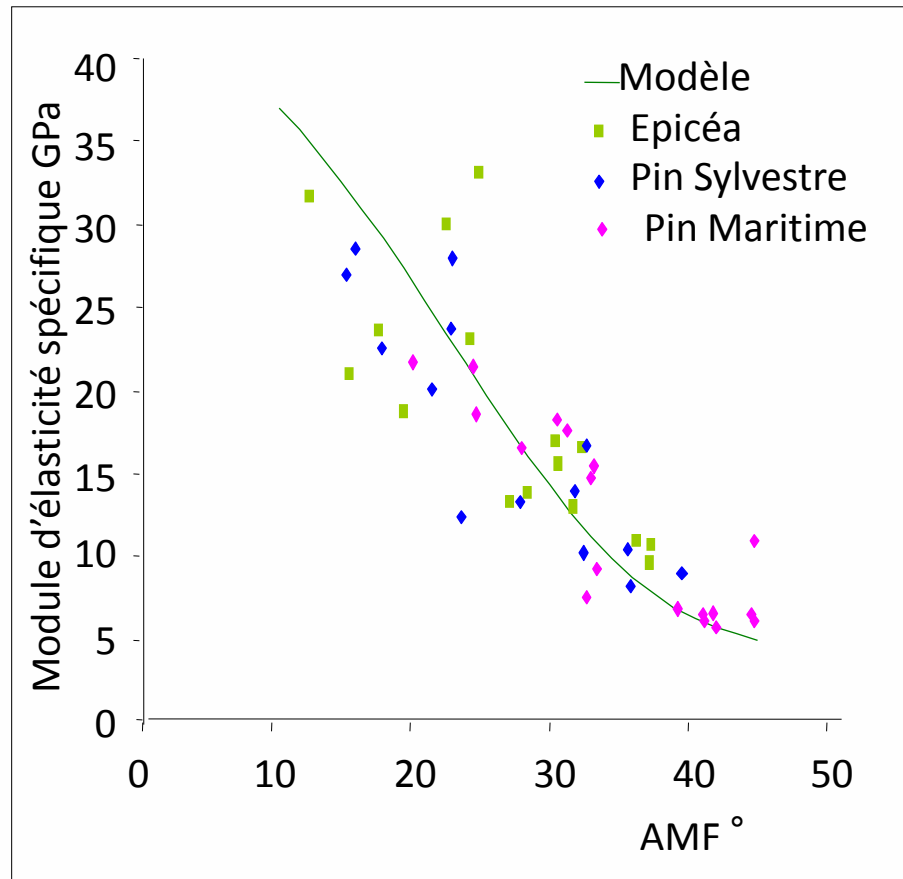
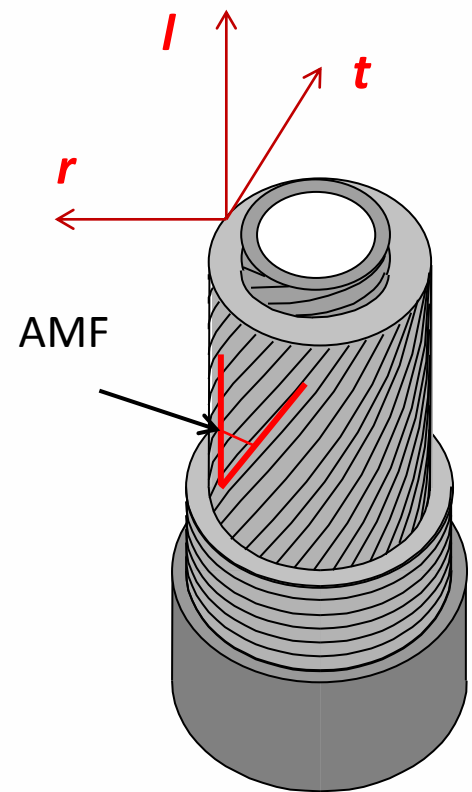


Organisation de la paroi de la fibre *La couche S<sub>2</sub> est la plus épaisse*



Chaque couche est un composite à fibres cristallines (nano-cellulose) dans une matrice amorphe

# L'angle des nano-fibres de cellulose est la 2<sup>ème</sup> clé des propriétés mécaniques du bois



Le module spécifique: (Module d'élasticité / (Densité)) est un bon indicateur de l'angle des micro fibrilles

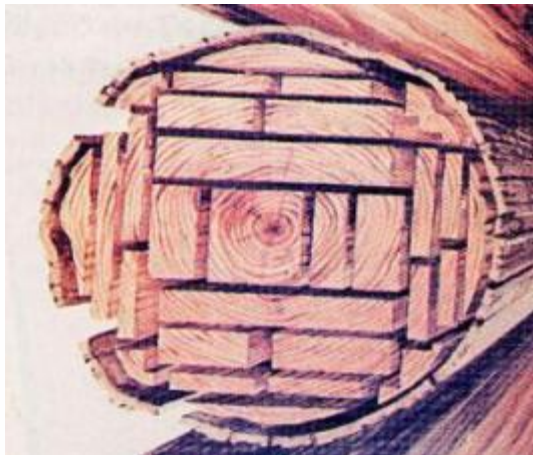


# De l'arbre au bois

# La déconstruction de l'arbre

- La première étape est l'abattage de l'arbre et son tronçonnage en grumes et billons
- La deuxième étape est le débit en profilés divers: poutres, planches, placages

**Le bois d'œuvre commence sa vie après ces étapes de déconstruction de l'arbre**



# Usages du bois d'œuvre



Bois rond



Poutres



Placages

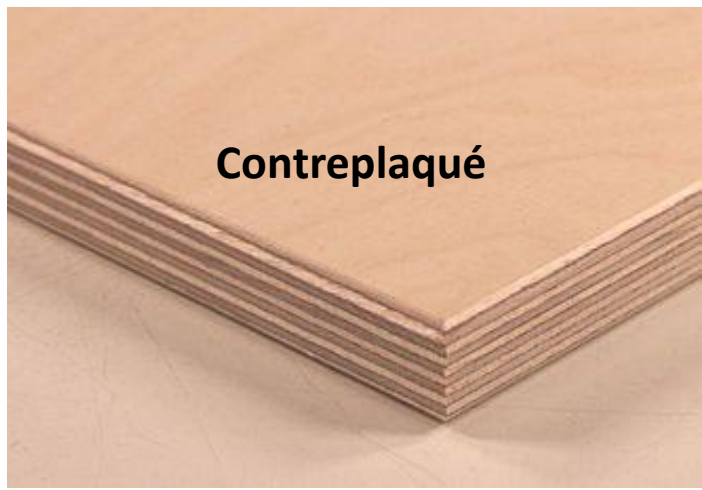


Construction et emballage sont les principaux débouchés du bois d'œuvre



# Bois massif reconstitué, poutres et panneaux

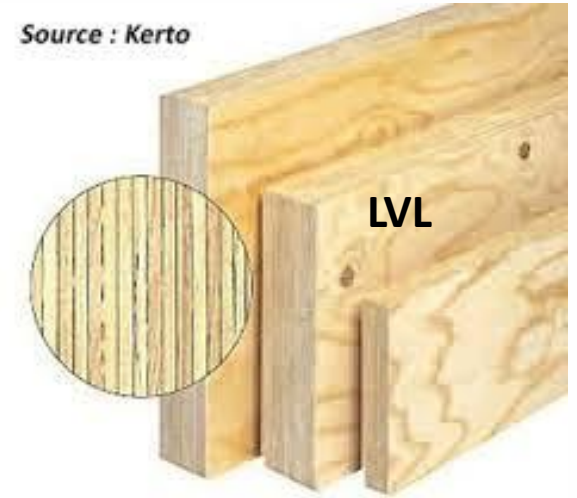
Collage croisé à 90°



**Contreplaqué**

Placages

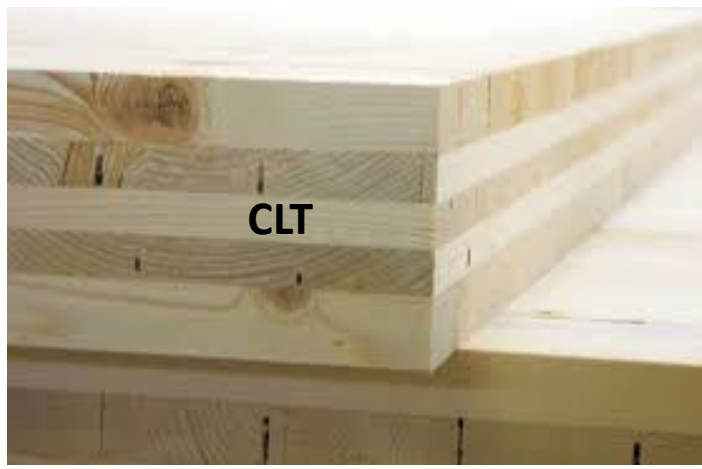
Collage parallèle



Source : Kerto

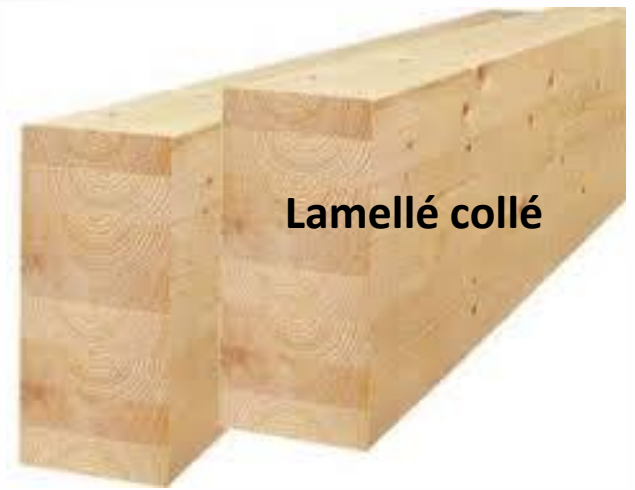
**LVL**

Planches



**CLT**

**Panneaux**



**Lamellé collé**

**Poutres**

# La déconstruction du bois

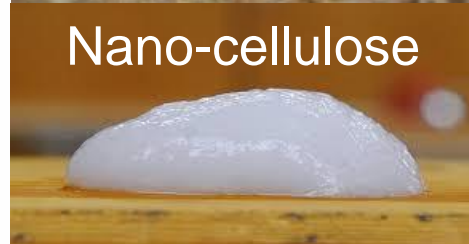
- La première étape est la fragmentation du bois en plaquettes
- deuxième étape est le défibrage des plaquettes
- Une troisième étape est la déconstruction de la paroi des fibres
- Une étape intermédiaire possible est l'extraction des petites molécules



Plaquettes



Fibres



Nano-cellulose



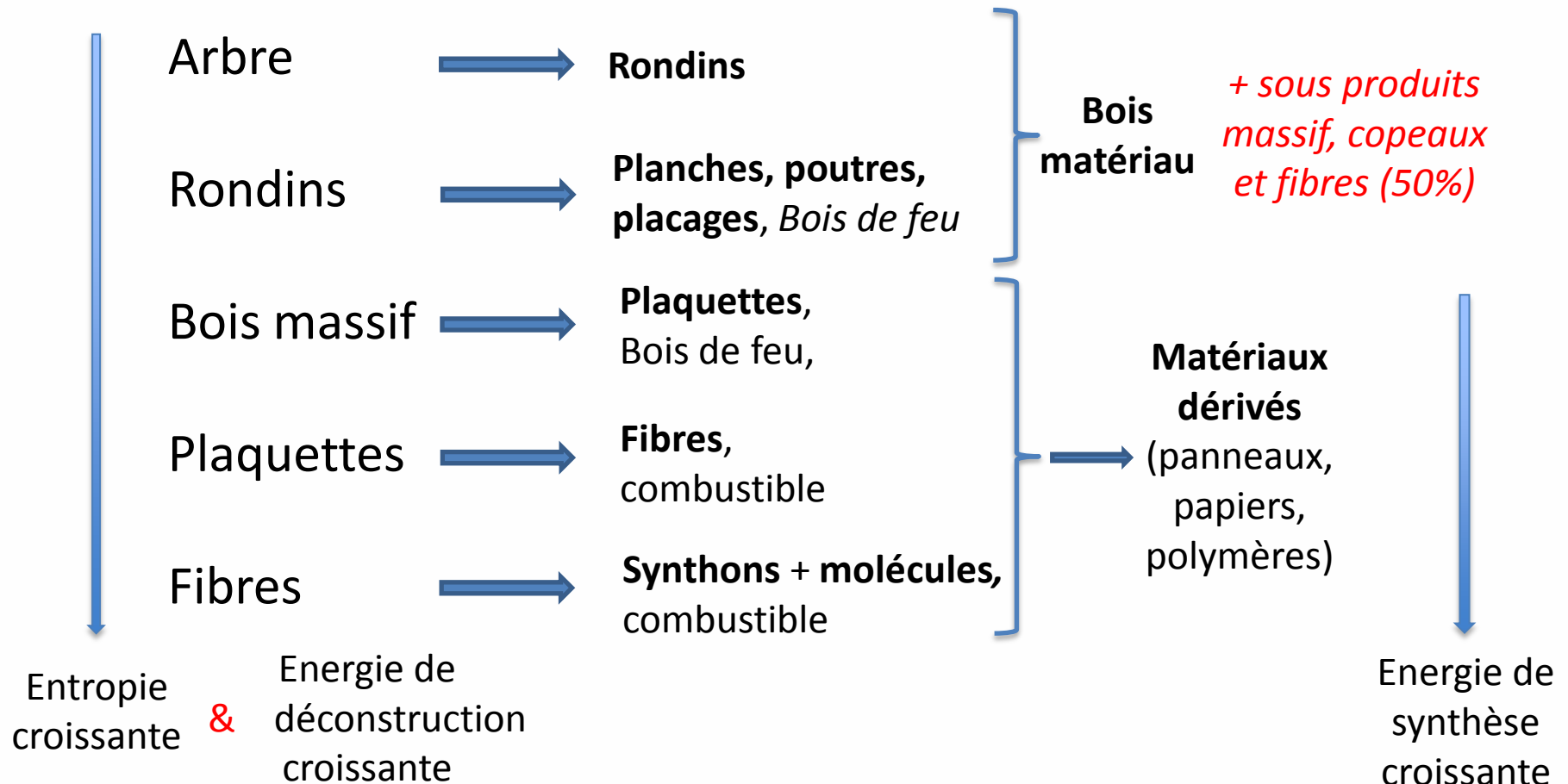
Energie



Molécules pour la chimie fine

La production d'énergie est possible à toutes les étapes

# La cascade des déconstructions



*Bois matériau et matériaux dérivés sont des matériaux biosourcés issus du compartiment ligneux de l'arbre. Ils stockent du carbone (50%) atmosphérique et de l'énergie solaire (19 Mj/Kg) restituable par combustion. Minimiser la déperdition d'énergie dans les processus de déconstruction/reconstruction est un enjeu*



# Diversité de la ressource



# La forêt française

- 24 millions d'hectares au total
- 16 millions en France hexagonale, 8 millions en Guyane
- Une grande diversité: forêt tempérée, forêt méditerranéenne, forêt tropicale humide
- 1600 espèces différentes en Guyane et 140 dans les forêts hexagonales
- Un capital sur pied de 4 milliards de tonnes , moitié hexagone, moitié Guyane
- Une production biologique estimée à 50 millions de tonnes par an dans l'hexagone et autant en Guyane.
- Une récolte de 60% de la production dans l'hexagone, 0,5% en Guyane



# Conclusion

- Le tonnage total de la biomasse ligneuse récoltable en forêt est considérable
- Il faut déconstruire les arbres pour récupérer des éléments de matériau: le bois massif, cas particulier de matériau biosourcé « prêt à l'emploi »
- Lors de cette déconstruction il y a environ 50% de sous produits, massif, plaquettes et fibres, utilisables pour la synthèse de matériaux biosourcés: panneaux de particules, panneaux de fibres, papiers et cartons
- Il est encore possible de continuer la déconstruction de la paroi des fibres pour obtenir des synthons en vue de la synthèse de polymères biosourcés
- Il est aussi possible de récupérer des molécules d'intérêt pour la chimie fine parmi les extractibles du bois
- Il y a intérêt à valoriser au mieux la cascade des déconstructions en vue d'optimiser la dépense d'énergie par tonne de matériau biosourcé
- La très grande diversité d'espèces ligneuses (plus de 1500 en forêts françaises) est un vrai challenge, atout ou handicap?

Merci de votre attention

