

**Premières journées scientifiques du GDR 3544 « Sciences du Bois »**  
**Session 3 "Procédés de transformation et de traitement"**  
Mardi 27 novembre 2012, Montpellier

# Déconstruction de l'arbre - usinage

Rémy Marchal (\*) (\*\*), Daniel Pioch (\*\*), Jean-Michel Commandré (\*\*)

(\*) LaBoMaP, A&M ParisTech Cluny

(\*\*) UR Valo Biomasse Lignocellulosique, CIRAD Montpellier

# Sommaire

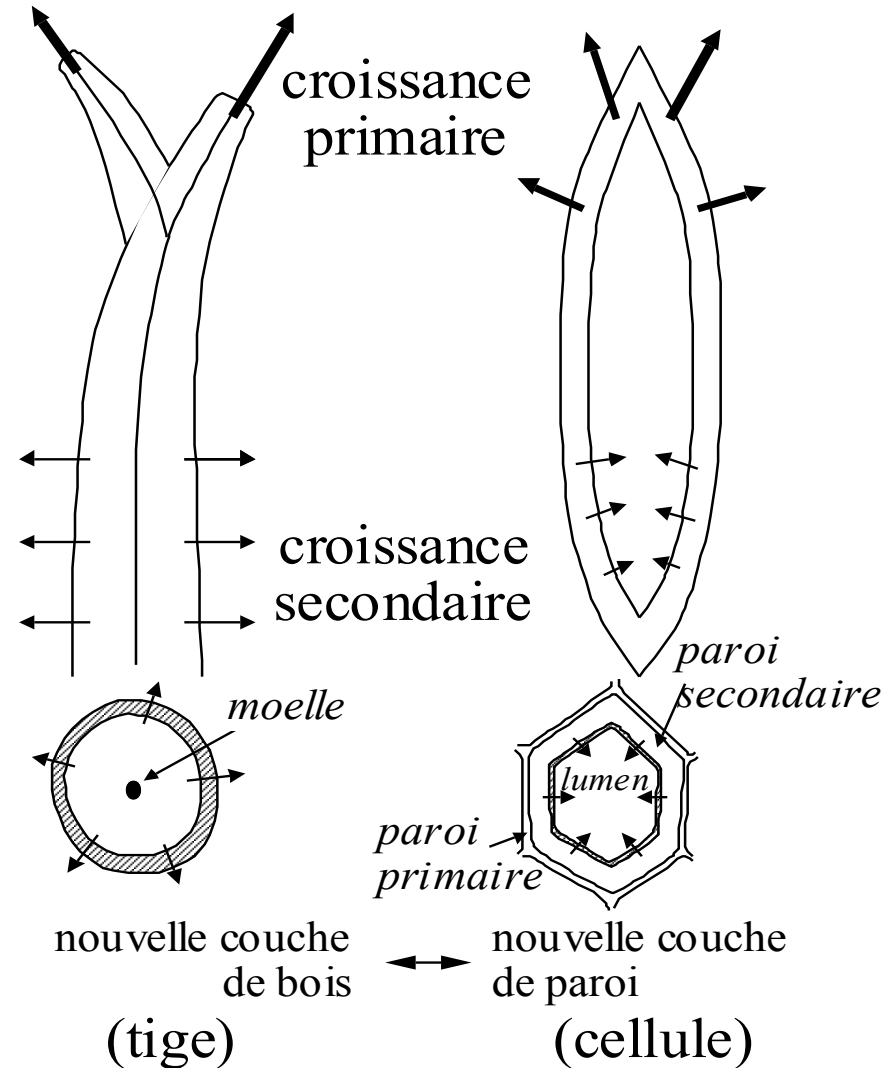
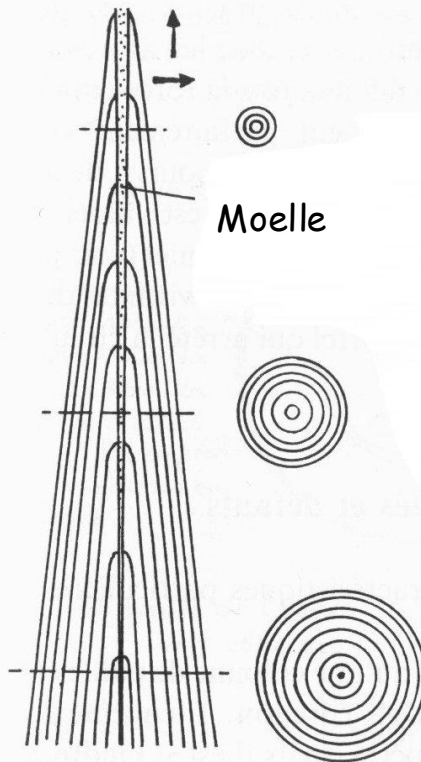
- A. Construction de l'arbre
- B. Déconstructions primaires
- C. Déconstructions secondaires (usinage)
- D. Fragmentation fine
- E. Déstructuration, extraction, séparation

# Construction du bois

Elaboration du matériau  
Croissance de l'arbre

↑ Croissance  
primaire

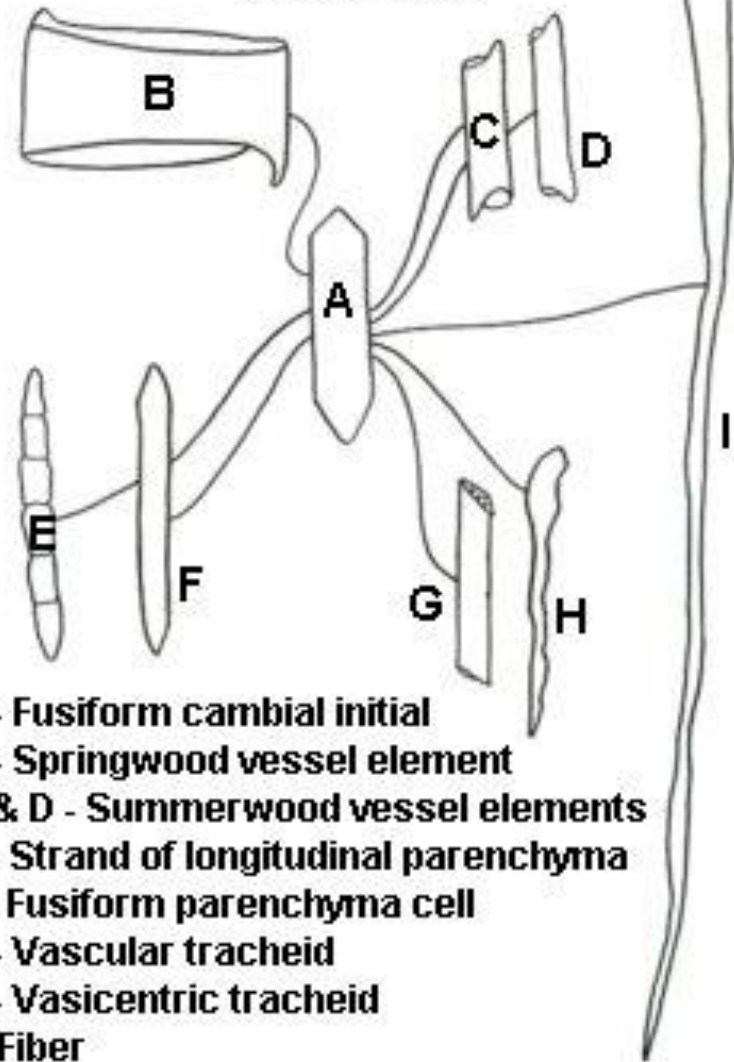
Croissance  
secondaire



# Construction du bois



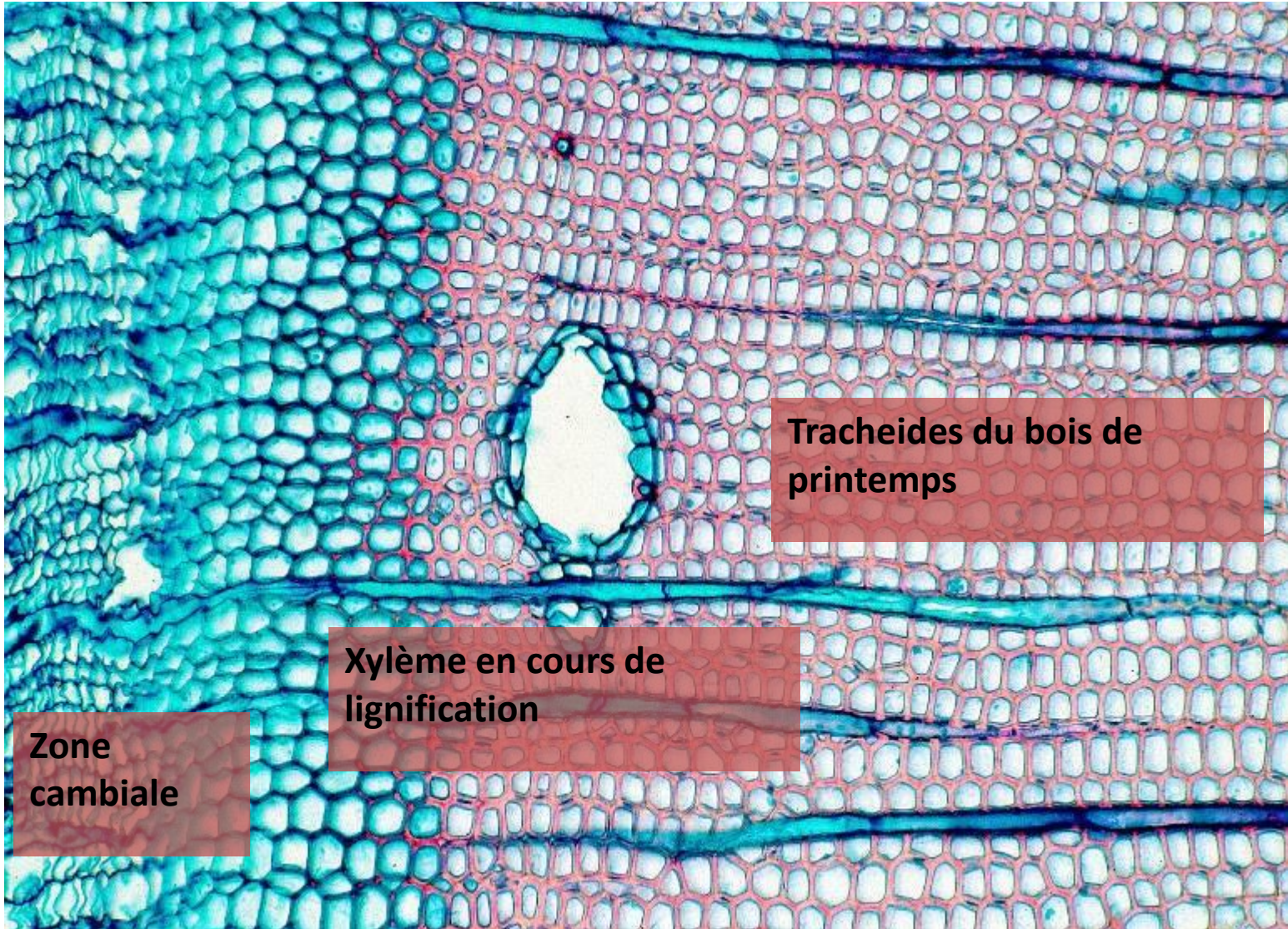
## Longitudinal Hardwood Elements



- A - Fusiform cambial initial
- B - Springwood vessel element
- C & D - Summerwood vessel elements
- E - Strand of longitudinal parenchyma
- F - Fusiform parenchyma cell
- G - Vascular tracheid
- H - Vasicentric tracheid
- I - Fiber



# Construction du bois



50  $\mu$ m

Tracheides du bois de printemps

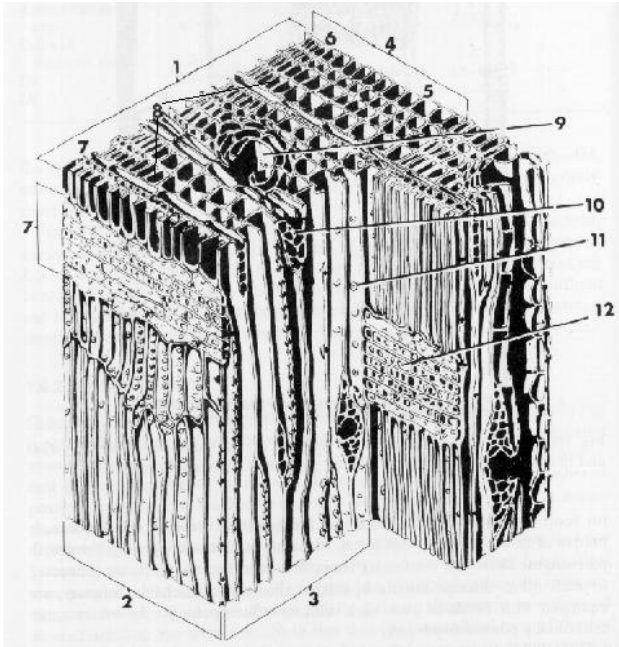
Xylème en cours de lignification

Zone cambiale



# Construction du bois

- Le plan ligneux

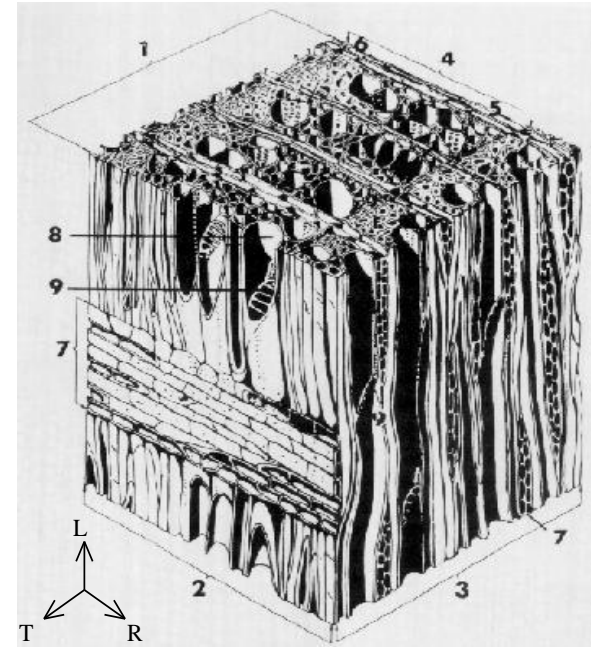


## Résineux

(8), trachéides (9) canaux résinifères verticaux (10) canaux résinifères horizontaux, (11) ponctuations bordées (12) ponctuation simple

## Feuillus

(8) vaisseaux, (9) perforation



(1) section transversale, (2) section radiale, (3) section tangentielle, (4) largeur de cerne, (5) bois de printemps (6) bois d'été, (7) rayon ligneux,

**L = direction longitudinale R = direction radiale T = direction tangentielle**



...et ensuite on déconstruit







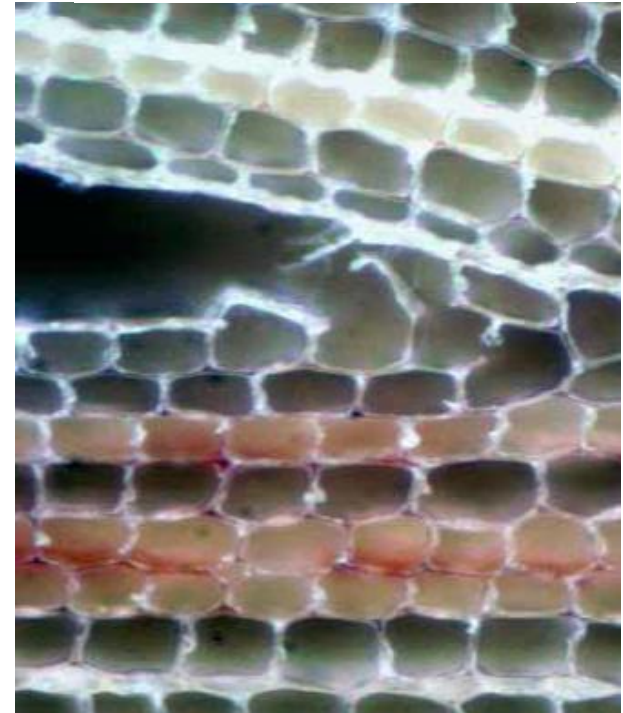
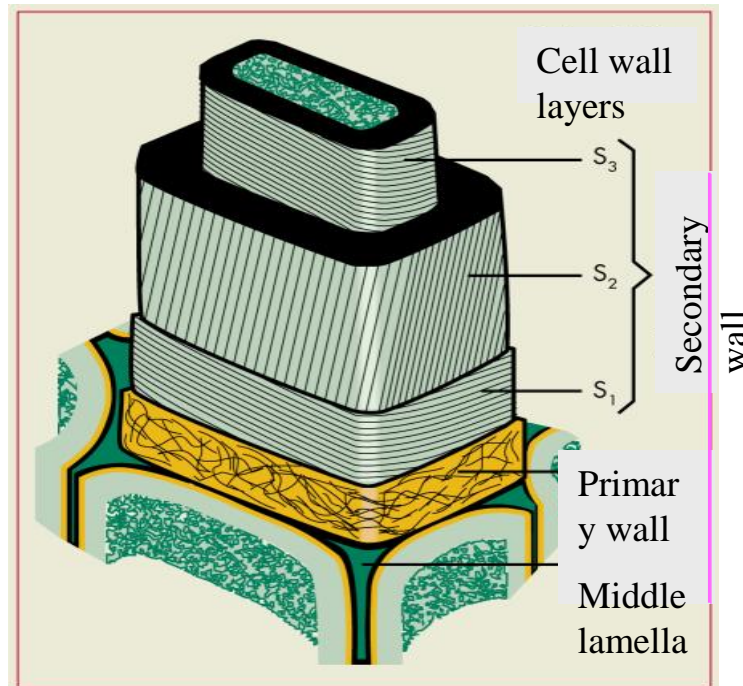
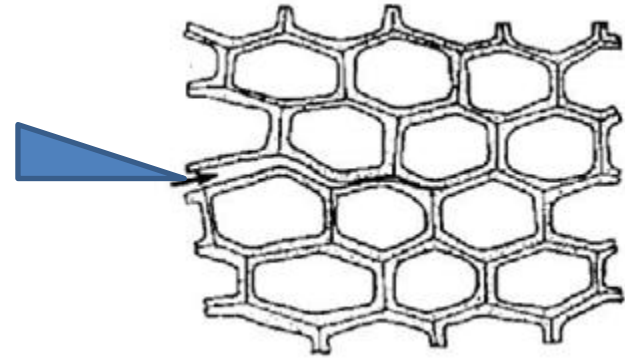
# Déconstruction primaire

- Principes communs
  - Sur bois verts et ronds
  - Anisotropie conservée
  - Respect de l'intégrité moléculaire
- Fendage en vue de la fabrication de merrains ou bois de chauffage
  - Mise à profil des discontinuités anatomiques

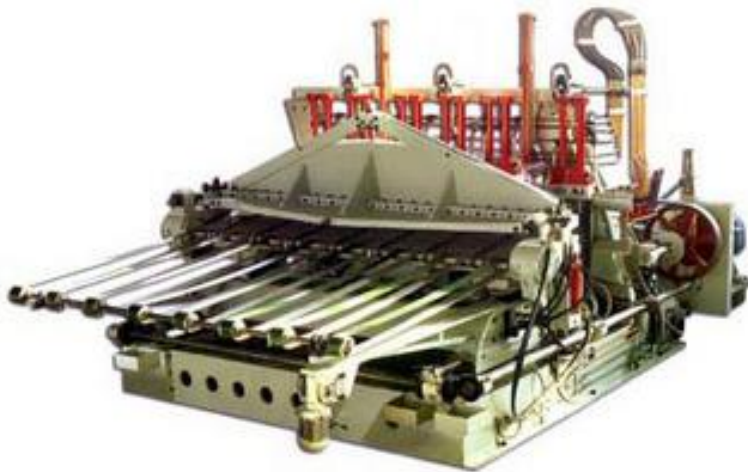
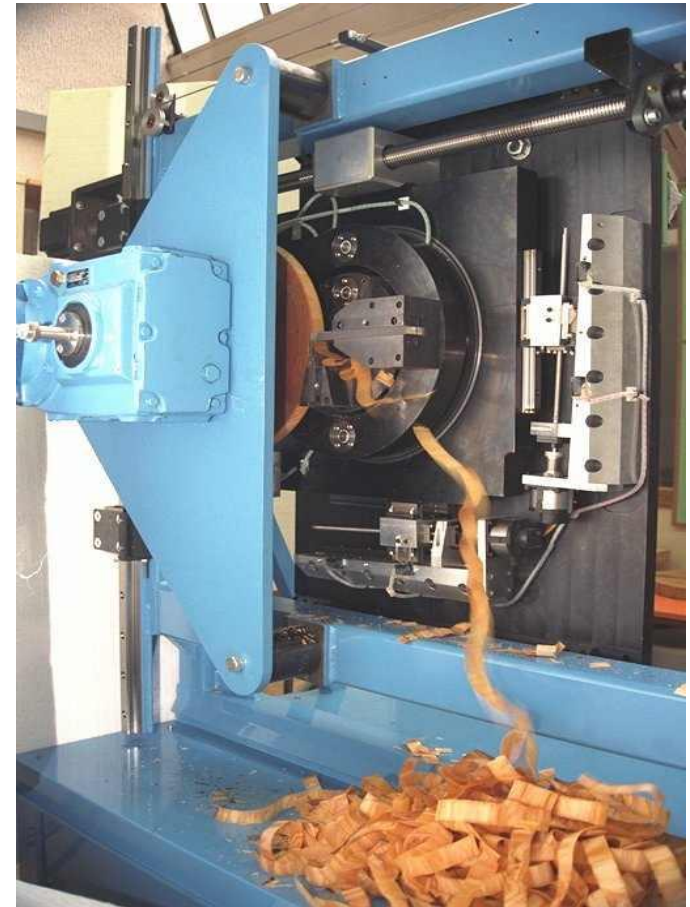


# Déconstruction primaire

- Déroulage/tranchage
  - Prétraitement
  - Fendage pariétal au niveau de la lamelle moyenne => variations d'épaisseurs



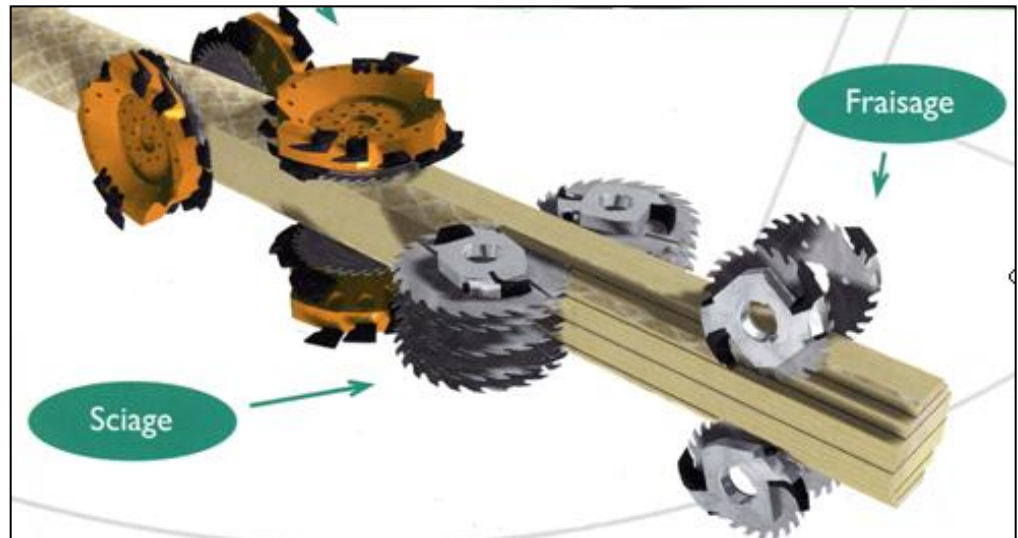
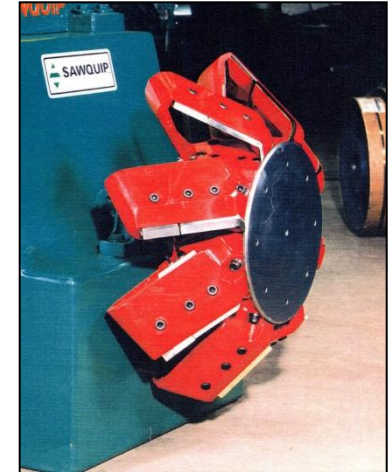
# Déconstruction primaire





# Déconstruction primaire

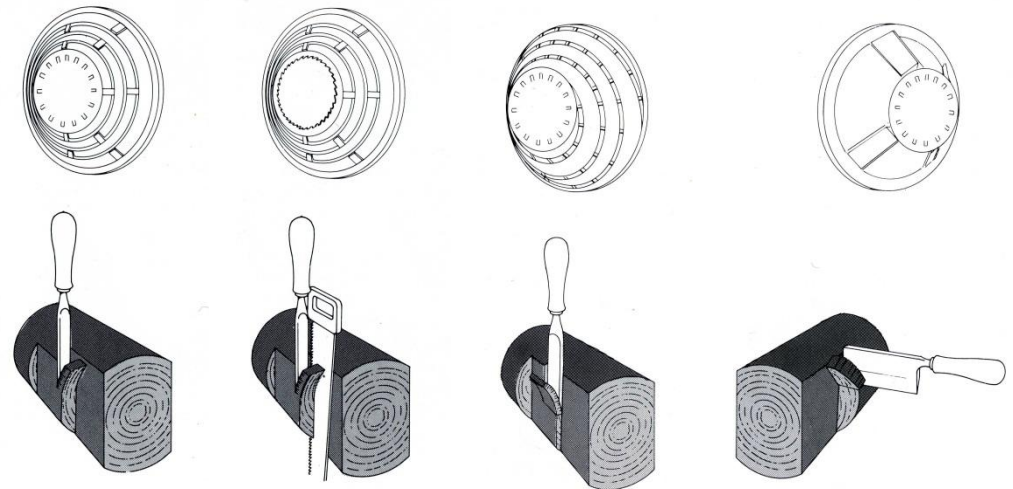
- Sciage ou fraisage
  - Cisaillement de la fibre
  - Avivés, plaquettes, sciure





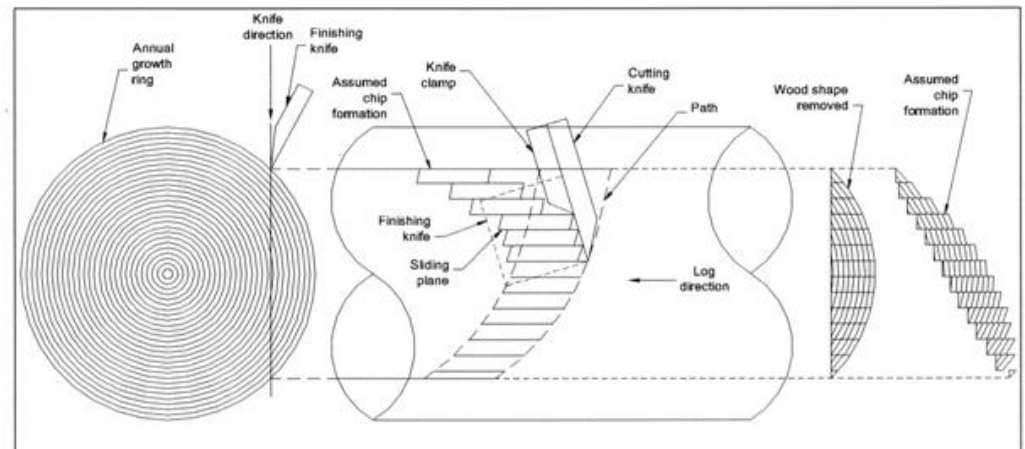
# Déconstruction primaire

- ▶ Optimising slabber heads  
(tools geometry + number of knives + head design + feed & cutting speeds + head diameter + ...)  
in order to obtain:



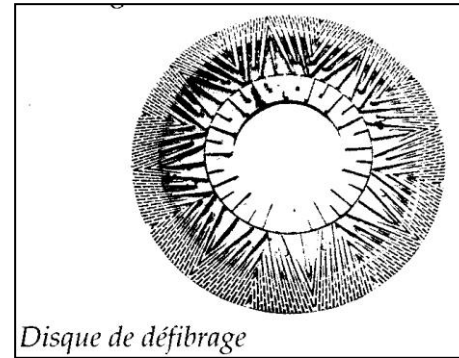
1. *the best surface qualities*  
(lumber “roughness”)
2. *well calibrated chips*  
(thickness, length)

with the best efficiency



# Déconstruction primaire

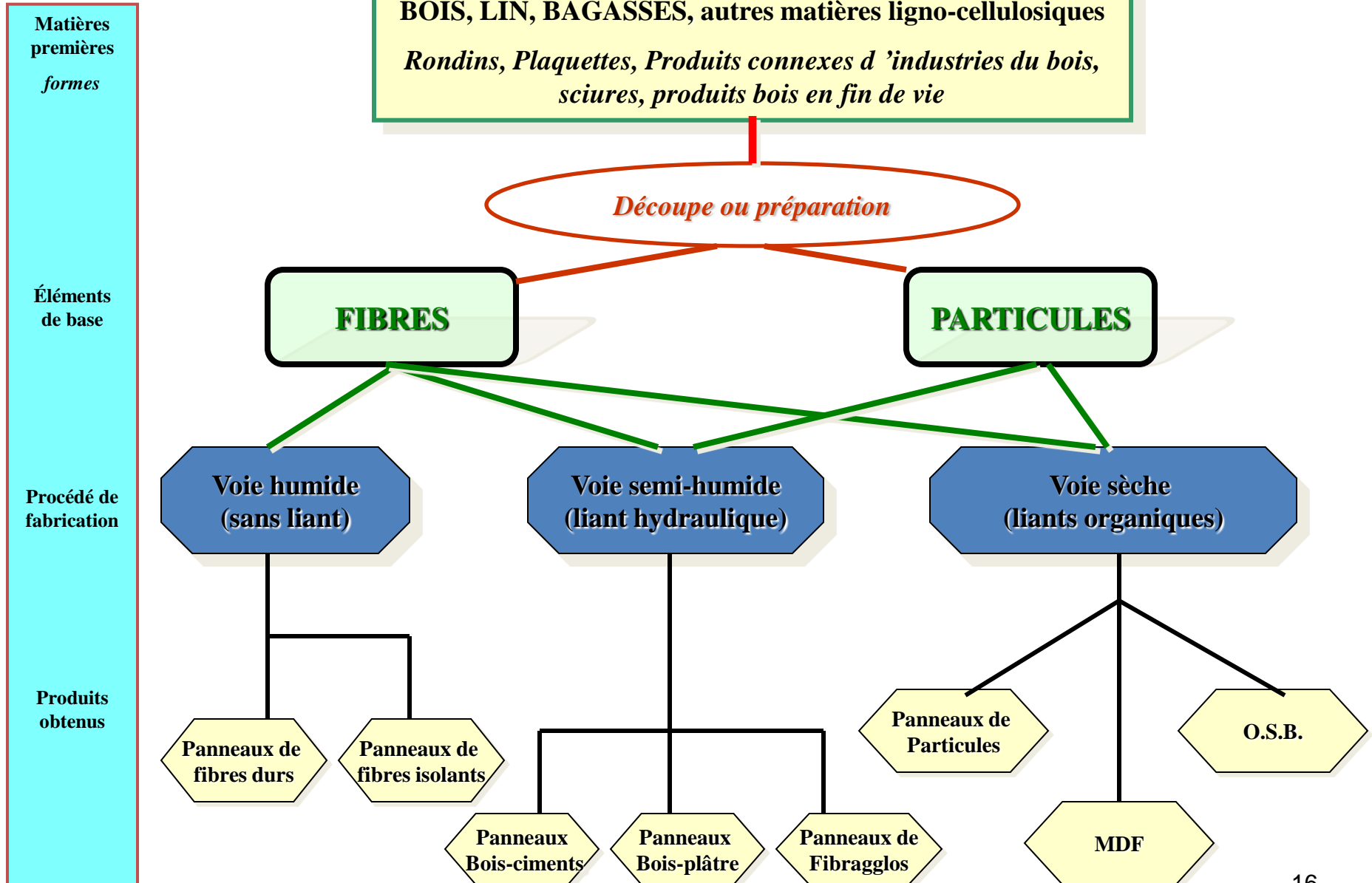
- Fragmentation par broyage (trituration)
  - Papier
  - Panneaux
  - Chaufferie biomasse
- Defibrage



# Déconstruction primaire

- Alternative au broyage pour TMP : précompression et/ou déroulage non optimisé
  - Fundamental studies on the mechanical fatigue in wood under conditions simulating refining have shown that **only deformations of high amplitude are beneficial for an effective mechanical treatment** (Salmén et al., 1985), and that a **precompression of the chips** to a high degree might be a way of reducing the energy consumption in the subsequent refining. Already in the 1960s, it was observed by Meret and Fisher at the Powell River Company that, superior pulp strength could be achieved by a precompression of wood blocks **both parallel to and perpendicular to longitudinal axis** of the fibres (Frazier and Williams, 1982).
  - Uhmeier (1995) suggested, based on the laboratory deformation of wood blocks, that **large deformations across the fibre direction could be obtained by pressing a cutting tool at a suitable angle through the wood to produce a different kind of "chips" or wood shavings**. It is also known that, during veneer cutting, large compressive strains occur both in the directions parallel (mostly tangential in the case of rotary peeling) and normal (mostly radial in the case of rotary peeling) to the cutting path in the case of 0°/90° orthogonal cutting which may be beneficial with regard to refining processes. In addition, the new surfaces produced by the cutting process have been subjected to high deformation levels in the cells in contact with the tool tip, deformations that cause a delamination between fibres in the compound middle lamella. Thus, the idea based on the **predeformation** achieved in such processes was here conceived that the refining of wood shavings might require less energy than the refining of conventional chips.

# INDUSTRIE DES PANNEAUX DE PROCESS : SEGMENTATION



# Déconstruction primaire : verrous

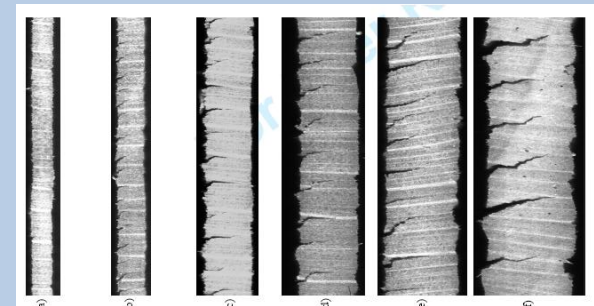
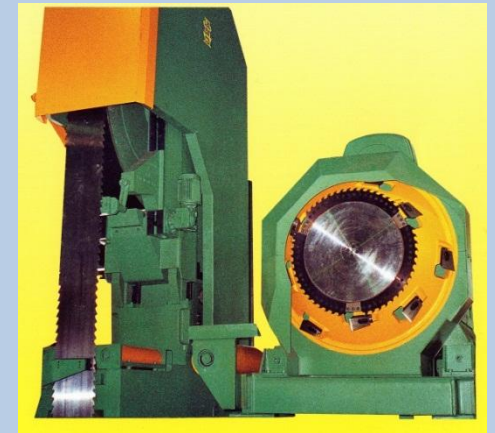
- Technologiques

- Durée de service des outils aciers (préparation d'arête, nuances, traitements de surface, surveillance)
- Métrologie spécifique
- Géométrie des plaquettes
- Energie broyage-fragmentation-defibrage (panneaux, TMP, ...)
- Variation de vitesse en sciage



- Scientifiques

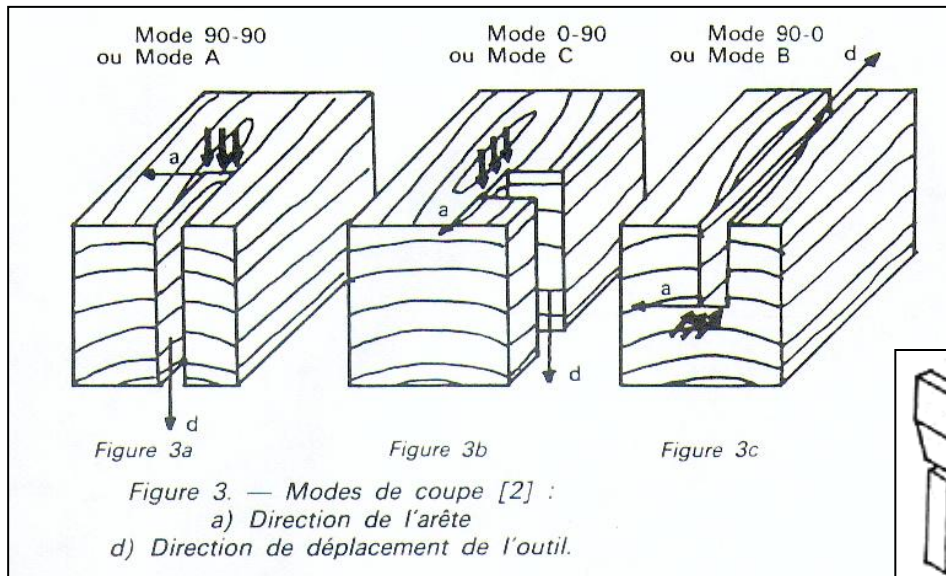
- Structure (éléments radiaux, cristaux, nodosité, )
- Prétraitement de la matière (hygrothermique, mécanique)
- Contrôle en ligne des procédés
- Mécanique du bois vert
- Modélisation de la coupe





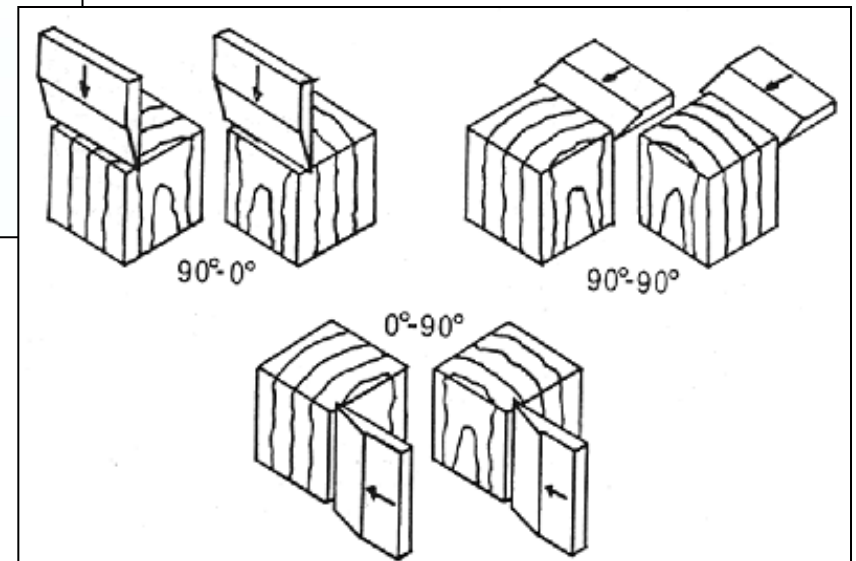
# Déconstruction secondaire

## Modes de coupe fondamentaux



Premier angle :  
angle entre l'arête et la direction L de la fibre

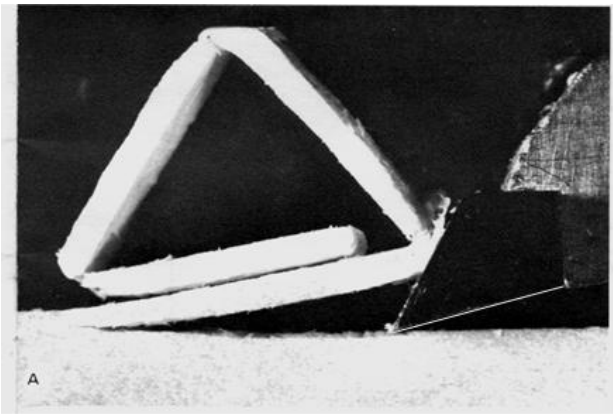
Deuxième angle :  
angle entre la direction de coupe et la direction L



Dénomination de Mc Kenzie  
(coupe orthogonale)

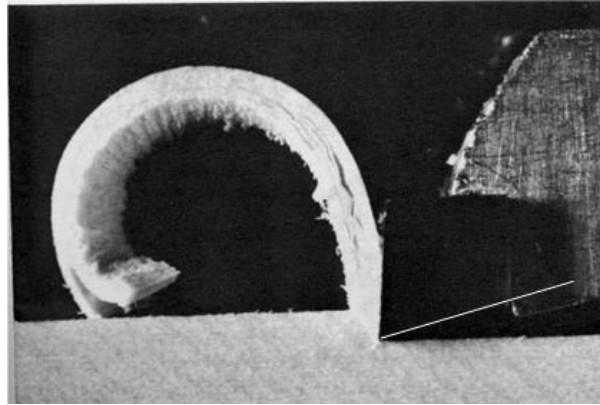
# Déconstruction secondaire

Les différents types de copeau (d'après Woodson et Koch 1970)



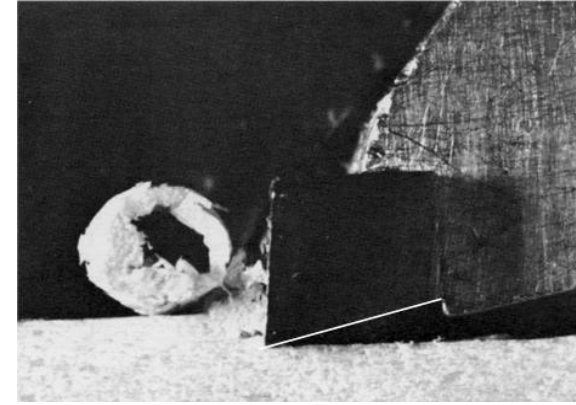
**Copeau de type I**  
(split type)

obtenu en direction  $90^{\circ}-0^{\circ}$ , à un angle d'attaque de  $25^{\circ}$  et à 1,14 mm de profondeur de coupe



**Copeau de type II**  
(slight compressive)

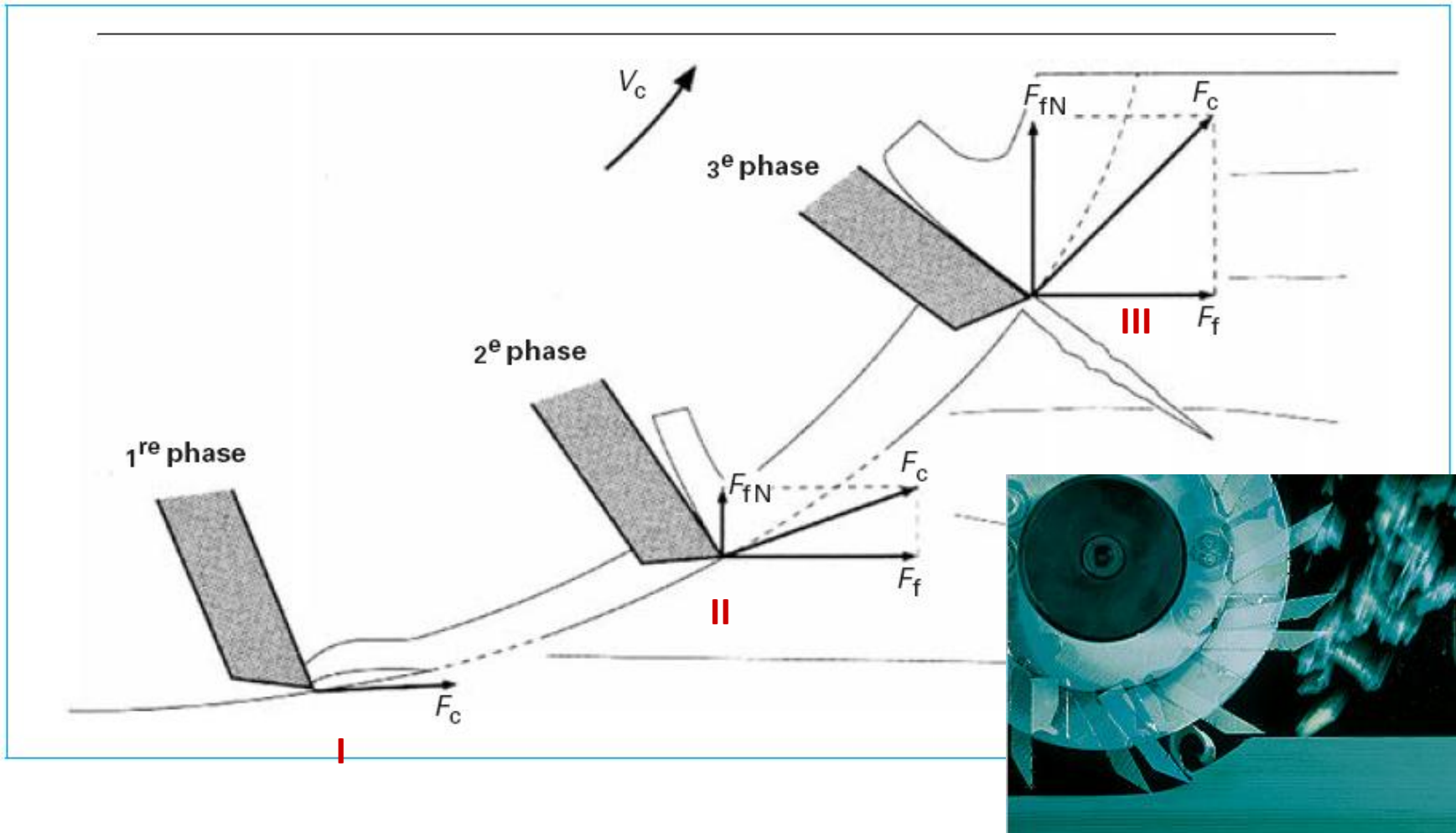
obtenu en direction  $90^{\circ}-0^{\circ}$ , à un angle d'attaque de  $15^{\circ}$  et 1,14 mm de profondeur de coupe



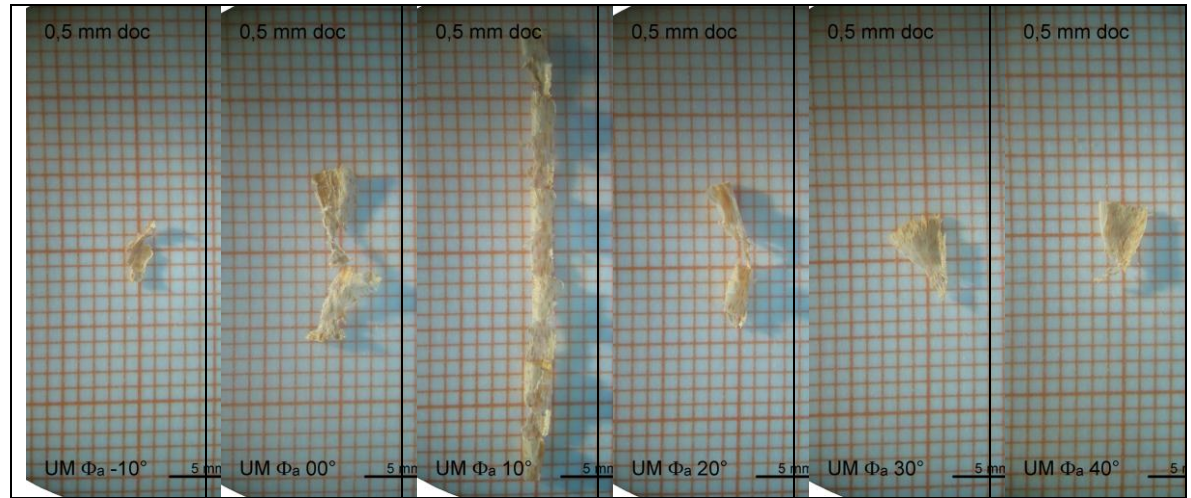
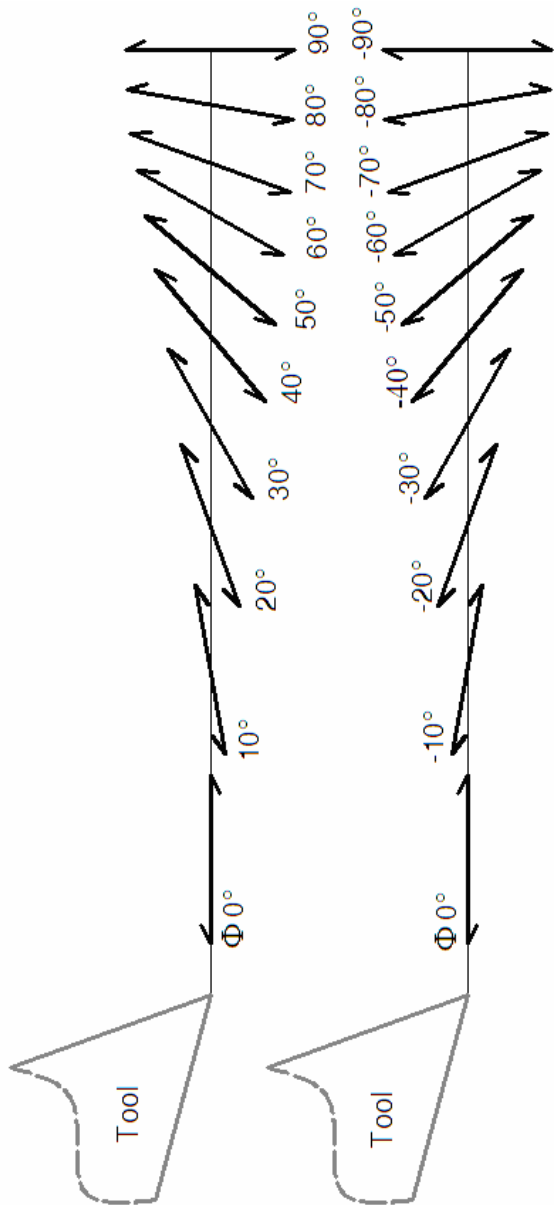
**Copeau de type III**  
(compressive type)

obtenu en direction  $90^{\circ}-0^{\circ}$ , à un angle d'attaque de  $5^{\circ}$  et 1,14 mm de profondeur de coupe

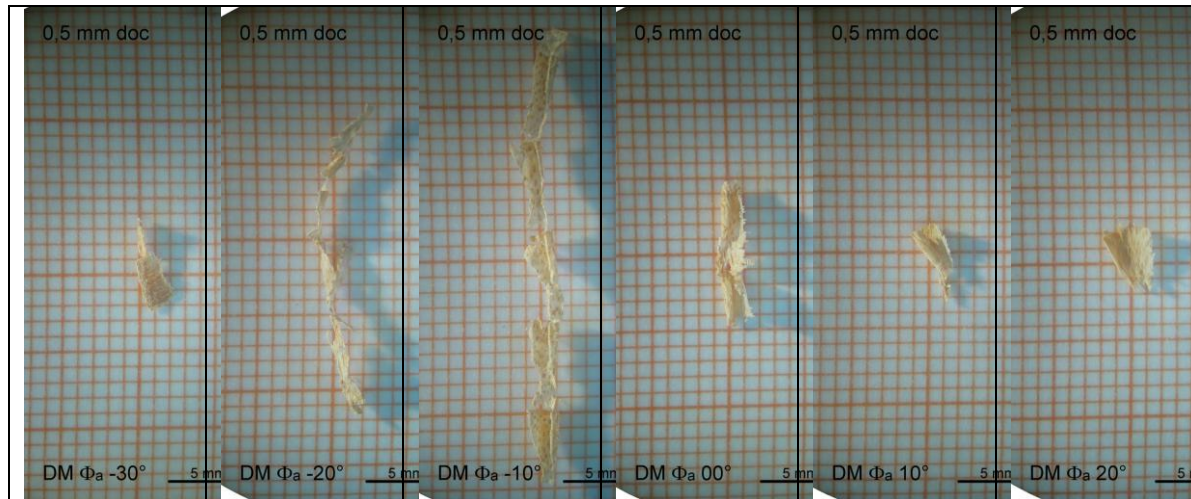
# Déconstruction secondaire



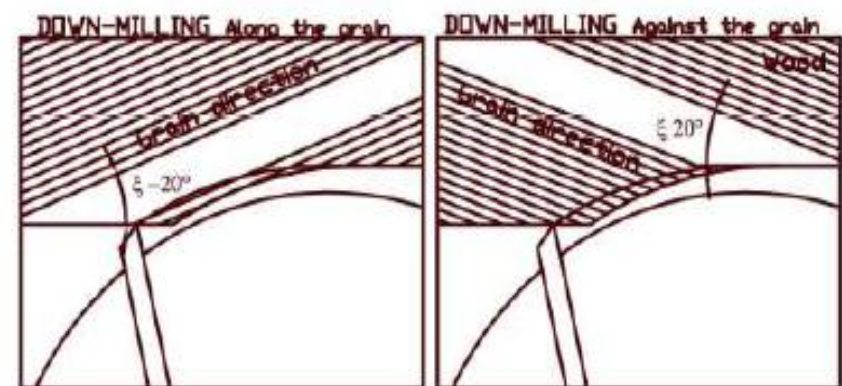
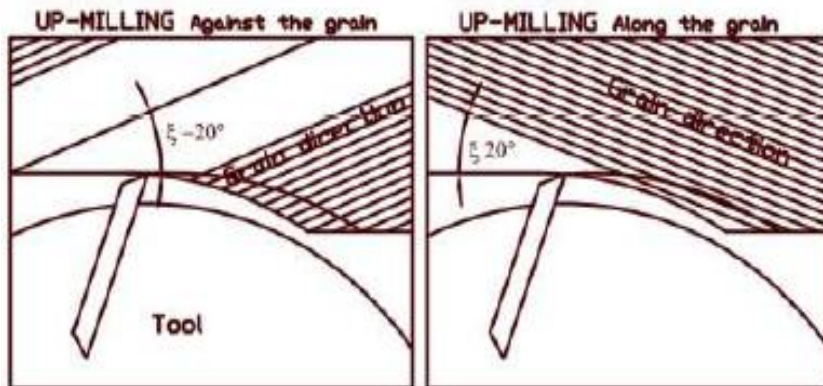
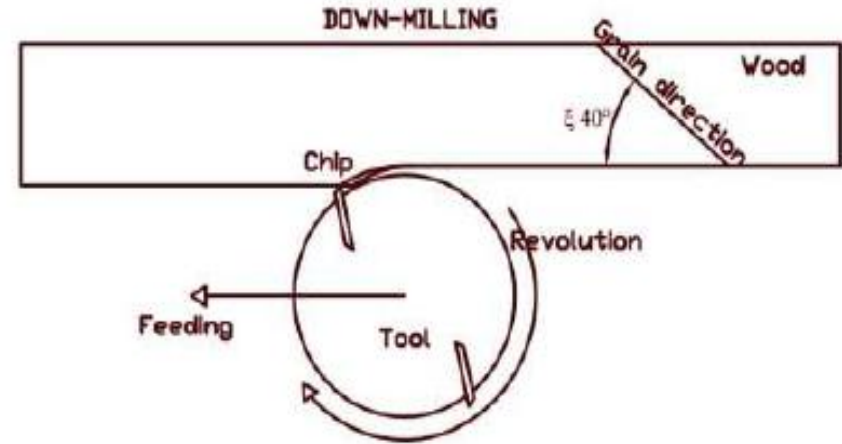
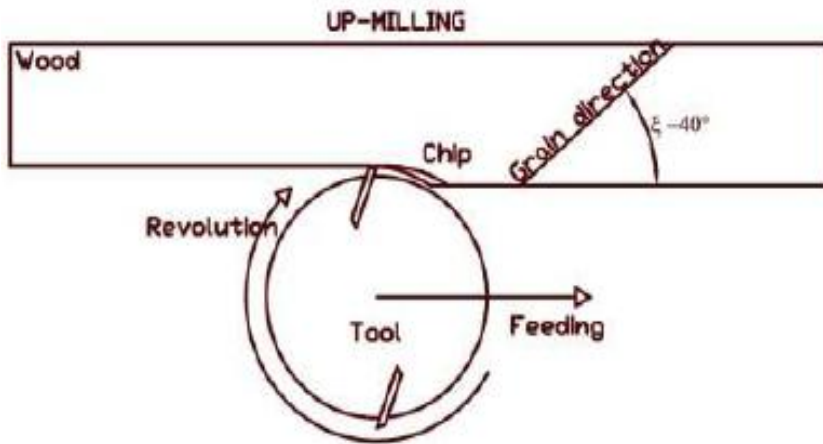




Douglas Fir chips obtained up- and down-milling on a routing machine with different grain orientations  
Depth of cut: 0.5 mm



# Usinage en opposition et en avalant, dans le sens du fil et à contrefil



**Sens du fil**

**Contrefil**

Opposition

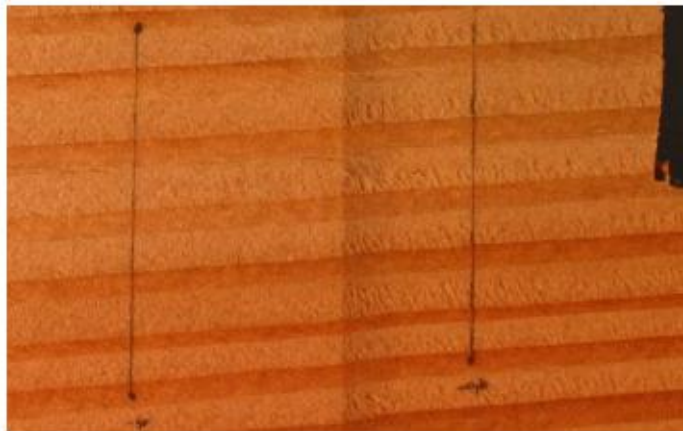
Avalant Opposition

Avalant



(a) *Douglasia Douglas* 0° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -0° (X1,2)



(a) *Douglasia Douglas* 10° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -10° (X1,2)



**Sens du fil**

**Contrefil**

Opposition

Avalant Opposition

Avalant



(a) *Douglasia Douglas* 20° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -20° (X1,2)



(a) *Douglasia Douglas* 30° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -30° (X1,2)

**Sens du fil**

**Contrefil**

Opposition

Avalant Opposition

Avalant



(a) *Douglasia Douglas* 40° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -40° (X1,2)



(a) *Douglasia Douglas* 50° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -50° (X1,2)



**Sens du fil**

**Contrefil**

Opposition

Avalant Opposition

Avalant



(a) *Douglasia Douglas* 60° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -60° (X1,2)



(a) *Douglasia Douglas* 70° (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas* -70° (X1,2)

**Sens du fil**

**Contrefil**

Opposition

Avalant Opposition

Avalant



(a) *Douglasia Douglas*  $80^\circ$  (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas*  $-80^\circ$  (X1,2)

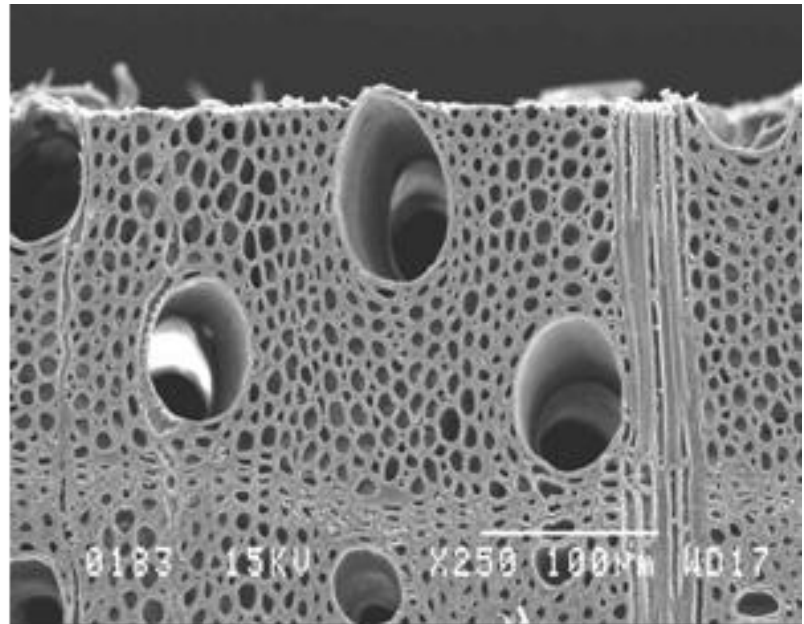
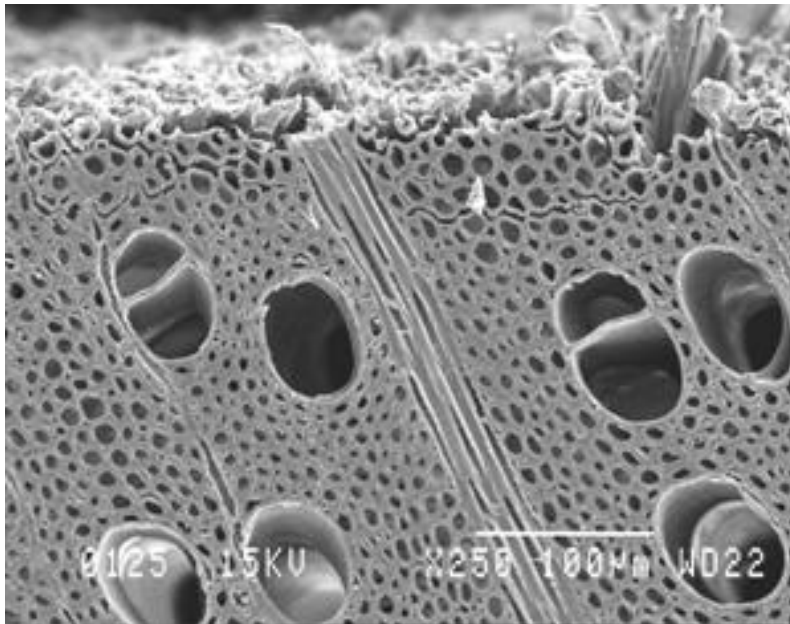


(a) *Douglasia Douglas*  $90^\circ$  (X1,2)

(b) *Douglasia Douglas*  $-90^\circ$  (X1,2)



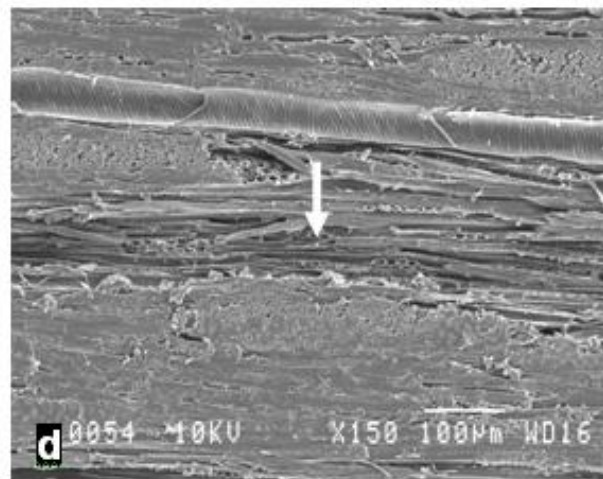
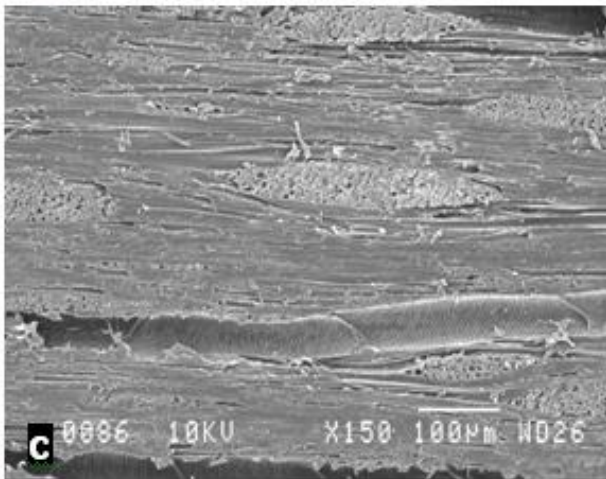
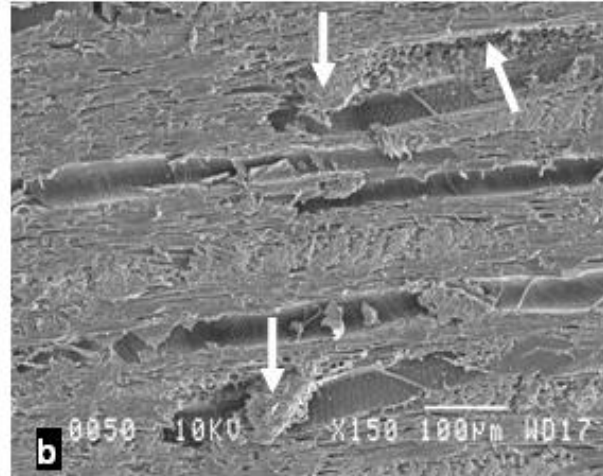
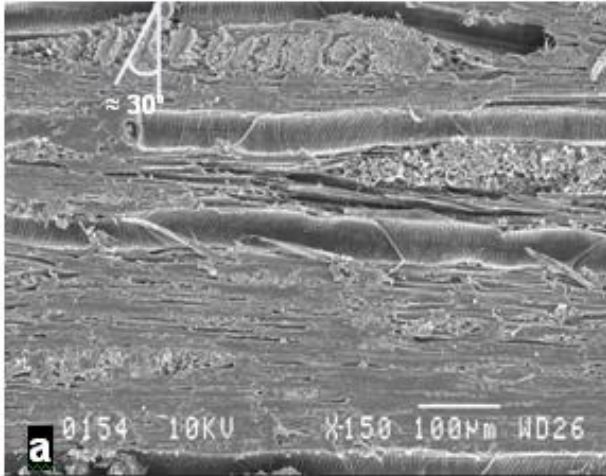
# Les états de surface



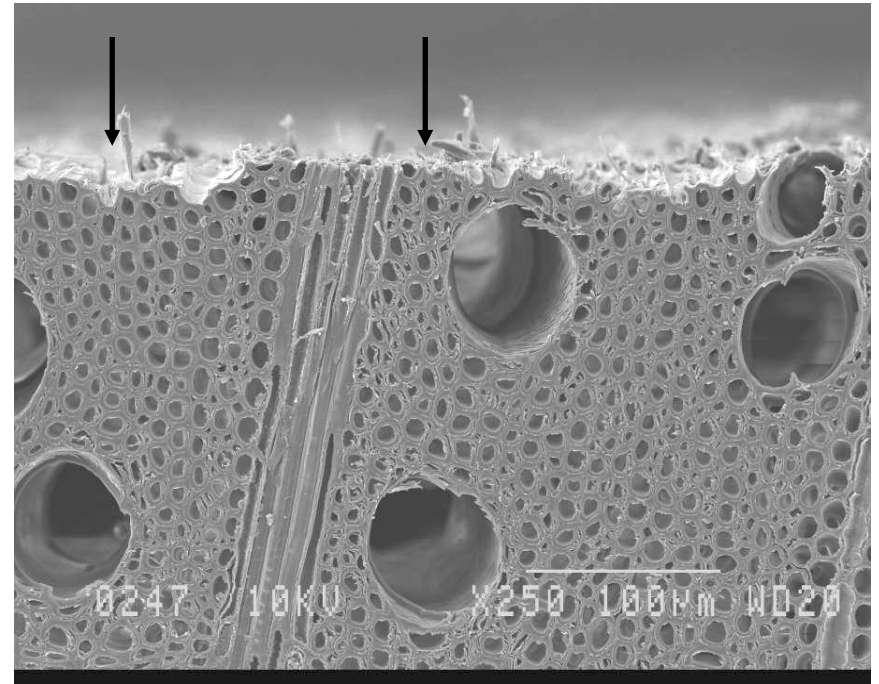
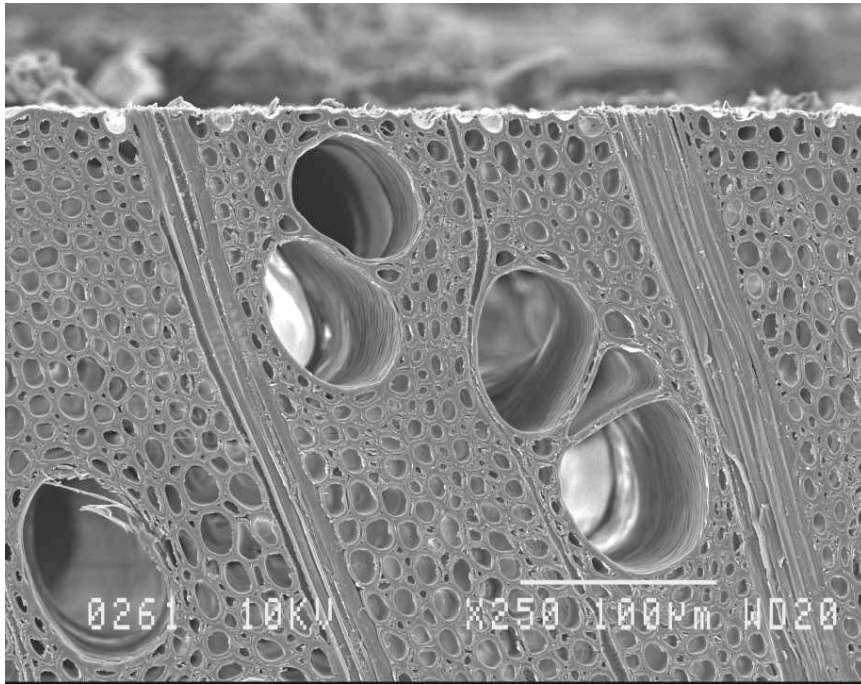
Transverse SEM micrographs of sugar maple cut with a fixed-oblique knife pressure-bar system. At low cutting depth and  $\alpha$ , the propagation of cracks below the cutting plane was inhibited by the pressure-bar action, limiting the defect to slight fuzzy grain (0.25-mm cutting depth;  $25^\circ \alpha$ ;  $30^\circ i$ ) (a). Superficial cell damage was not visible transversally even for the hardest cutting conditions (0.75-mm cutting depth;  $25^\circ \alpha$ ;  $30^\circ i$ ) (b).



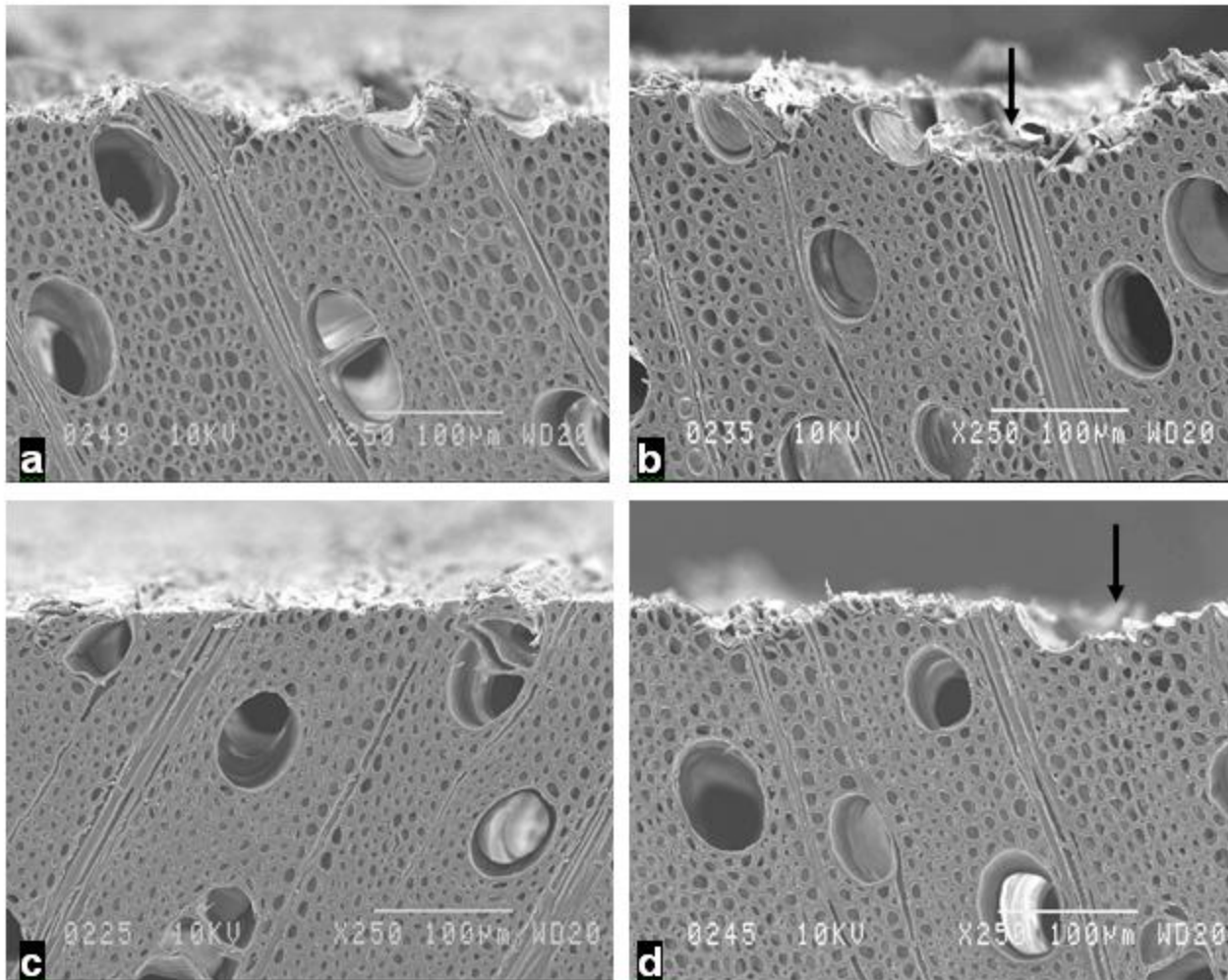
# Les états de surface



Tangential surfaces of sugar maple cut with a fixed-oblique knife pressure-bar system. Multiseriate ray presenting splits parallel to the knife cutting edge (0.25-mm cutting depth;  $25^\circ \alpha$ ;  $30^\circ i$ ) (a). Rays that underwent ruptures by bending below the cutting plane (0.75-mm cutting depth;  $25^\circ \alpha$ ;  $30^\circ i$ ) (b). Rays severed in the cutting-plane level at the highest  $\alpha$  level (0.25-mm cutting depth;  $55^\circ \alpha$ ;  $30^\circ i$ ) (c). Region where group of cells have been pulled out by lateral forces at the highest  $i$  level (0.25-mm cutting depth;  $55^\circ \alpha$ ;  $70^\circ i$ ) (d).

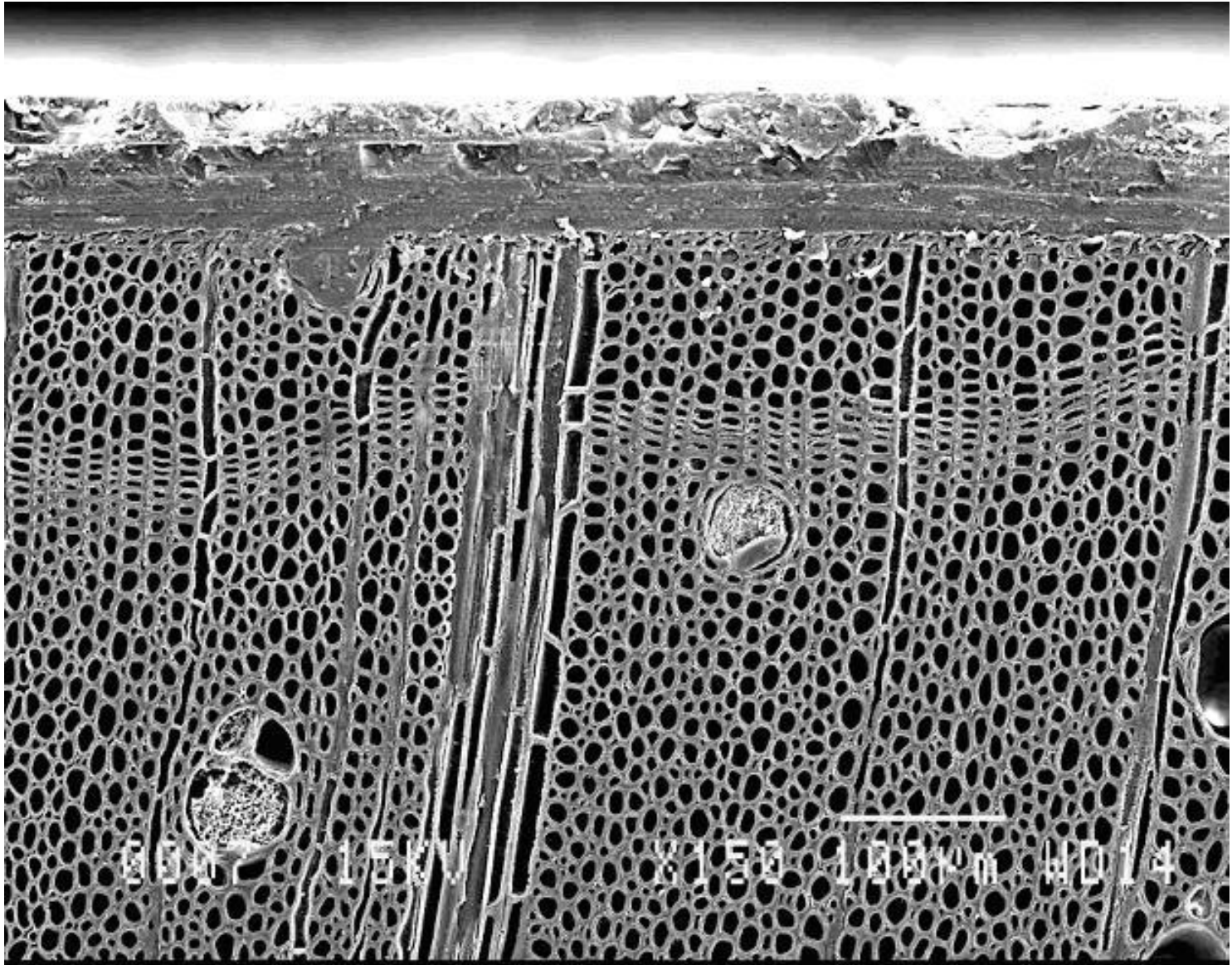


Transverse SEM micrographs of sugar maple surfaces produced by helical planing oblique to the grain at increasing feed speeds. Smooth surface obtained at 5.5 m/min feed speed (a); higher roughness and slight tearing out of cells (arrows) at 10.0 m/min feed speed (b).

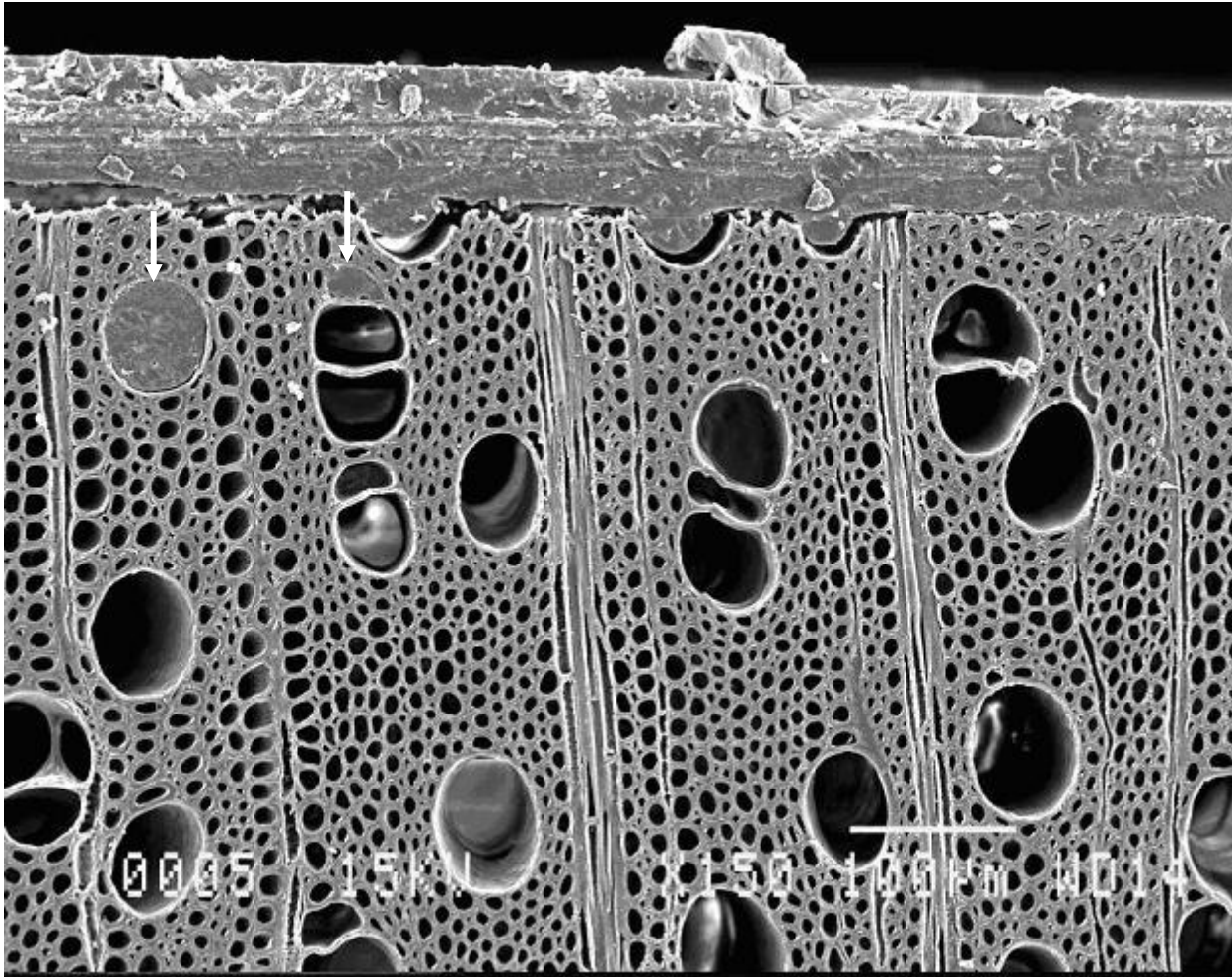


Transverse SEM micrographs of sugar maple surfaces produced by helical  
turning across the grain. Rays presenting ruptures by bending below the  
 cutting plane (a-b); multiseriate ray with rupture deeper than in uniseriate ray  
 (a); arrow indicates a multiseriate ray and neighboring cells completely  
 removed from the surface at the highest feed speed (b). Neighboring cells  
 pushed into vessels at the lowest feed speed (c); arrow indicates tissues  
 completely removed near a vessel at the highest feed speed (d).





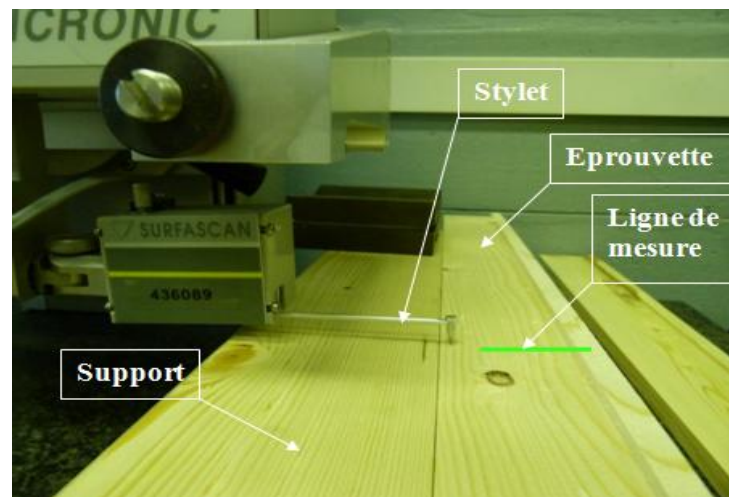
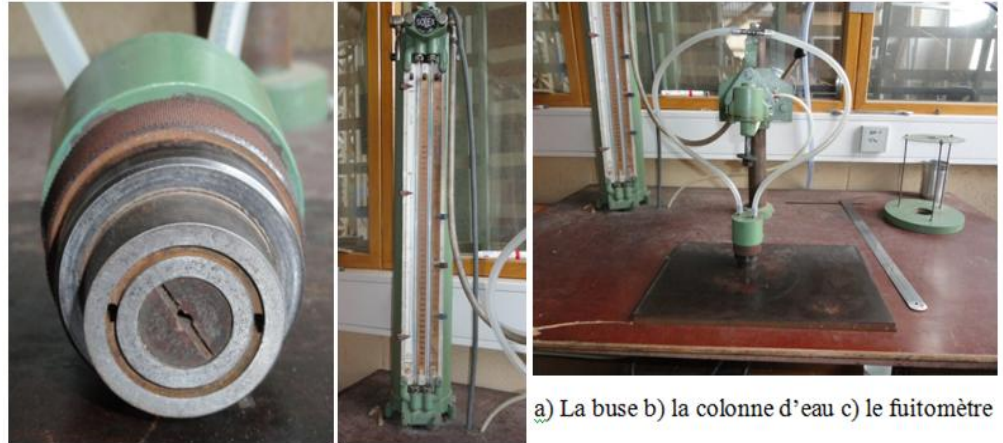
Transverse SEM micrograph of a sugar maple surface peripheral planed with a freshly sharpened knife and coated with polyurethane.



Adhesive failure of PU coating caused by the razor blade during SEM preparation. Arrows indicate vessels filled with PU sealer. Apparently, the extent of penetration was not sufficient to obtain satisfactory adhesion.

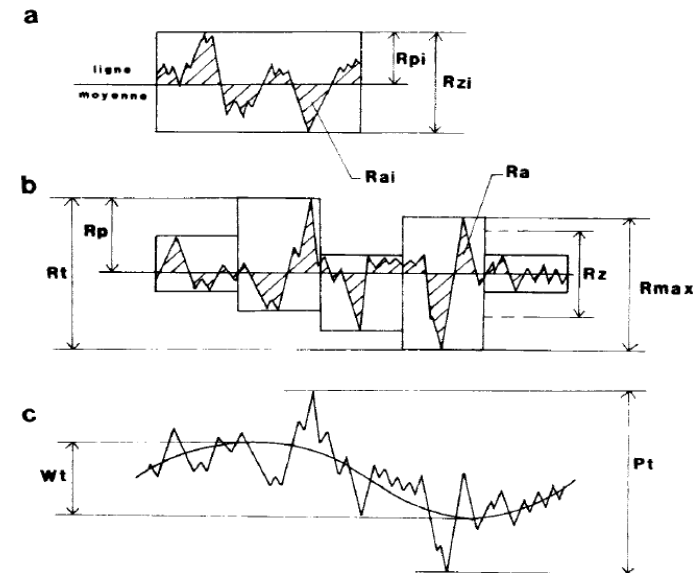
# Surface characterization - Roughness

- Linkage meter for a global measurement
- Stylus for local measurements



# Surface characterization - Roughness

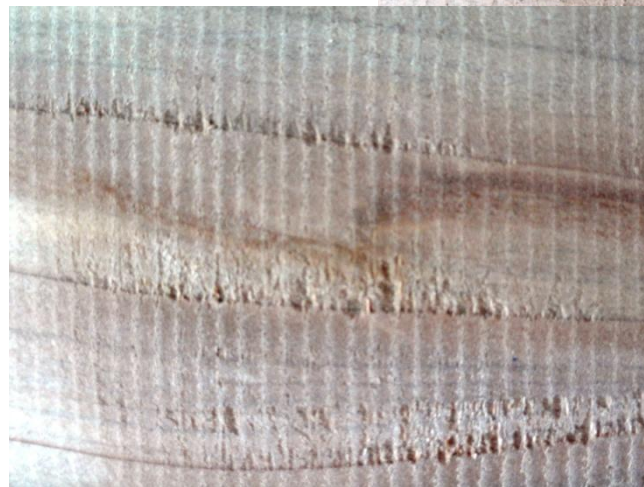
Parameters of surface inspection by stylus	
Stylus diameter	50 $\mu\text{m}$ (SP 265)
Inspection speed	1 mm/s
Inspection length	35 mm
Direction	Perpendicular to the grain
Age of surface after machining	24 h maxi
Parameters computed	Pt, Ra, Rt, Rz, Rp, Rq, Rv, Rc, W, AW





# Surface characterization Inspired by ASTM D 1666 87

- 4 types of defects:
  - « raised grain »
  - « fuzzy grain »
  - « torn grain »
  - « chip marks »







510 tr/min-333 mm/min



1025 tr/min-167 mm/min



1950 tr/min-167 mm/min

# Untreated Chip (CR=0 %)

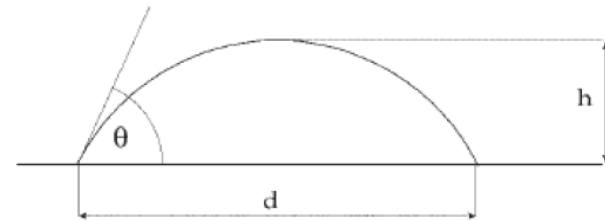
Observed fuzzy grain



**Early Wood**

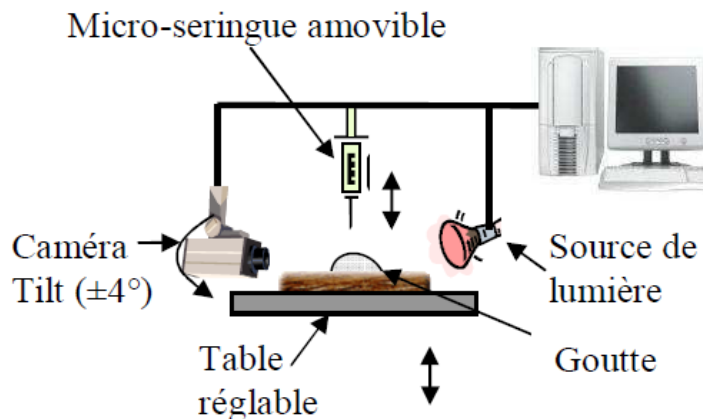
# Surface characterization - Wettability

- Goniometer Krüss



Avec : 
$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{2h}{d} \quad (20)$$

- L'angle de contact ( $\theta$ ).
- Le volume de la goutte ( $v$ )
- La hauteur de la goutte ( $h$ )
- Le diamètre de la surface de contact ( $d$ )



Parameters	Values
Age of the drop when measuring	5 s
Volume of the drop	3 $\mu\text{l}$
Retentions per sample	4
Age of the surface when measuring	5 days



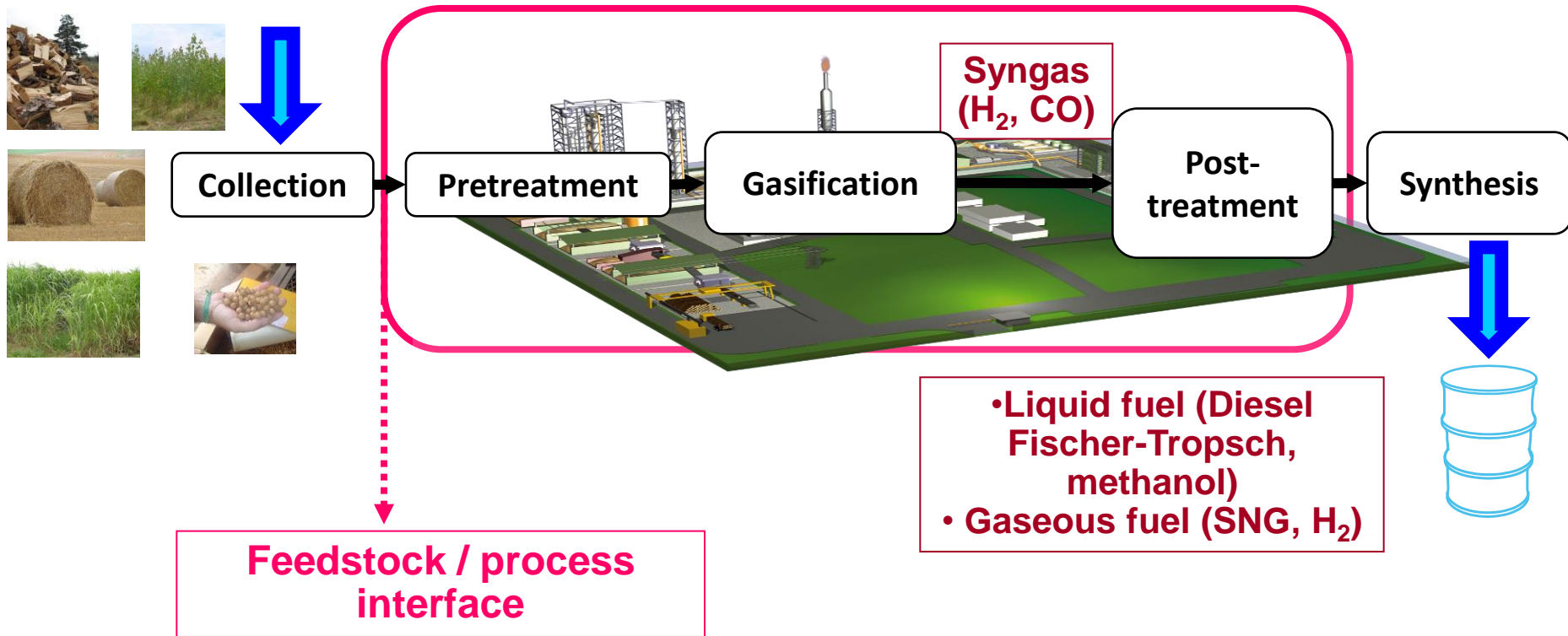
# Déconstruction secondaire : verrous

- Qu'est-ce qu'une bonne surface ? Comment la caractériser ?
  - État de surface
  - Energies de surface
  - Comportement aux solvants aqueux
  - Endommagements sub surfacique
  - **Face au vieillissement**
- Stratégies d'usinage
- UGV
- Nuisance (bruit, poussières => le problème de la finition par ponçage)
- Fractionnement du copeau
  - Évitant de trop grosses variations d'efforts (usure par fatigue de l'outil)
  - Facilitant l'évacuation pneumatique
  - Evitant les fines
  - Relation à l'état de surface
- Essences tropicales et méditerranéennes / Panneaux / BTT
- Surveillance en ligne, Température d'usinage, essais mécaniques dynamiques
- ...

# Fragmentation fine

- 10 mm -> 1 mm -> 0.1 mm
- En vue de la conversion thermo-chimique pour la production d'énergie
  - Exemple de la gazéification via des réacteurs à flux entraînés
    - gaz produits à faibles teneurs en goudrons et en méthane.
    - alimentation en produits **finement divisés** (de l'ordre de 100µm) temps de séjour est de l'ordre de quelques secondes),
    - structure fibreuse et visco-élastique de la biomasse => broyage très gourmand en énergie
  - => Prétraitement par torréfaction de biomasse
- En vue de faire de la biomasse LC une source d'une chimie très biodiversifiée

## Lignocellulosic Biomass

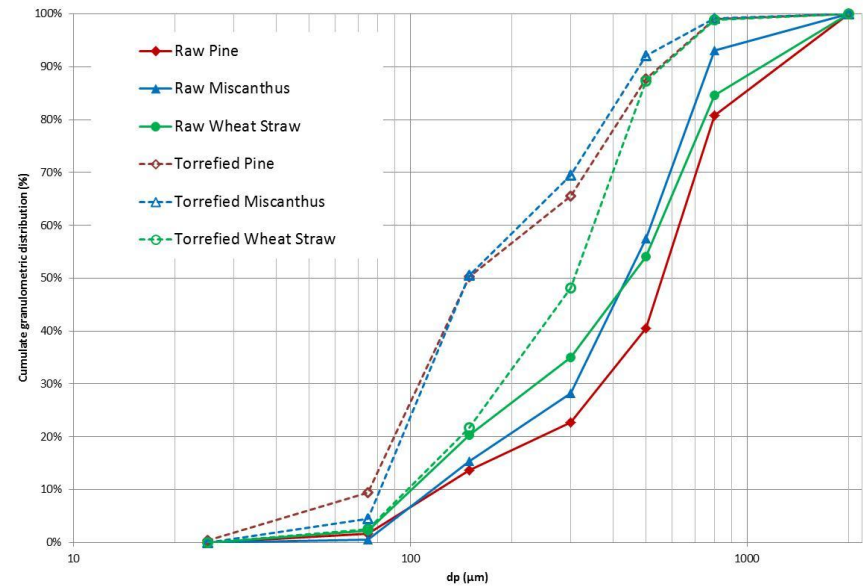
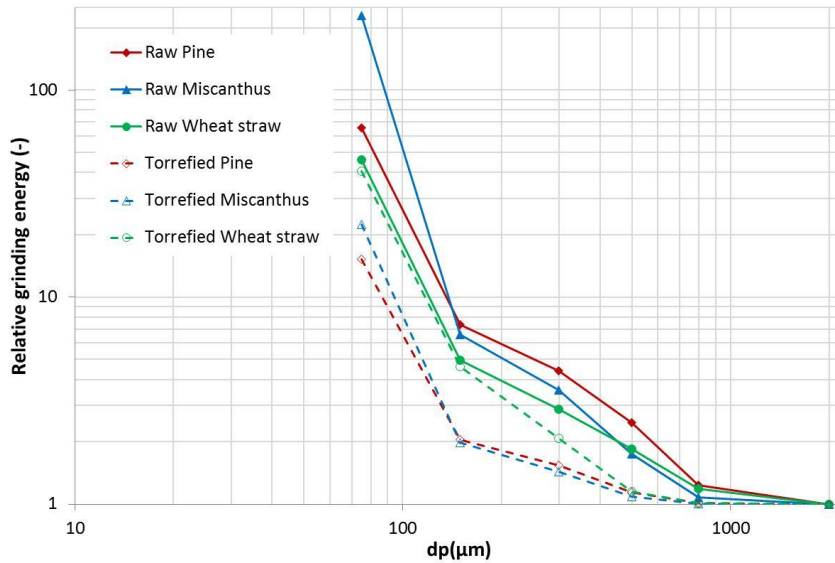


High feedstock variability → Crucial issue for process industrialization!

↳ Suitability feedstock / process?



# Fragmentation fine pour la gazéification



J-M. Commandré, A. Leboeuf, P. Rousset 2012

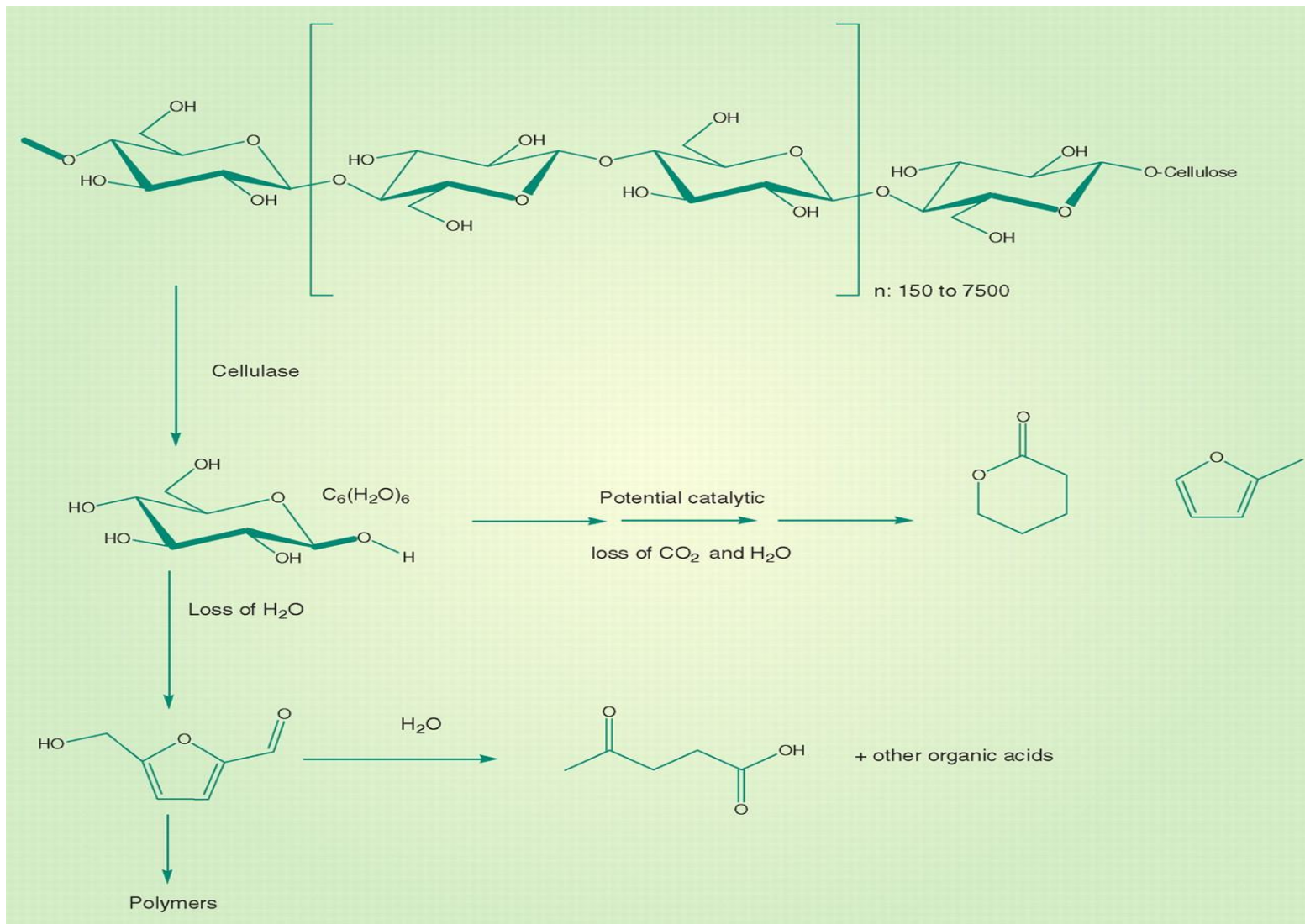
# Methods for deconstructing (pretreating) lignocellulosic biomass

- Milling – Reduces cellulose crystallinity; High power and energy consumption
- Biological – Degrades lignin & hemicellulose; Low energy consumption, Low rate hydrolysis
- Steam explosion – Causes lignin transformation and hemicellulose solubilization; Cost-effective; Generation of toxic compounds; Partial hemicellulose degradation
- Ammonia explosion – Increases accessible surface area; Not efficient if high lignin content; High cost of large amount of ammonia
- CO<sub>2</sub> explosion – Increases accessible surface area; Cost-effective; No toxic compounds ; Does not affect lignin and hemicelluloses; high pressure requirements
- Wet oxidation – Efficient removal of lignin; low energy (exothermic); High cost of oxygen and alkaline catalyst
- Ozonolysis – Reduces lignin content; no toxic compounds; High cost of ozone
- Organosolv – Hydrolyzes lignin & hemicellulose hydrolysis; High cost; Solvents and acid to be recycled; Concentrated acid ; High glucose yield; Ambient temperature; Reactor corrosion ;
- Diluted acid – Less corrosion ; Less formation of inhibitors; degradation products

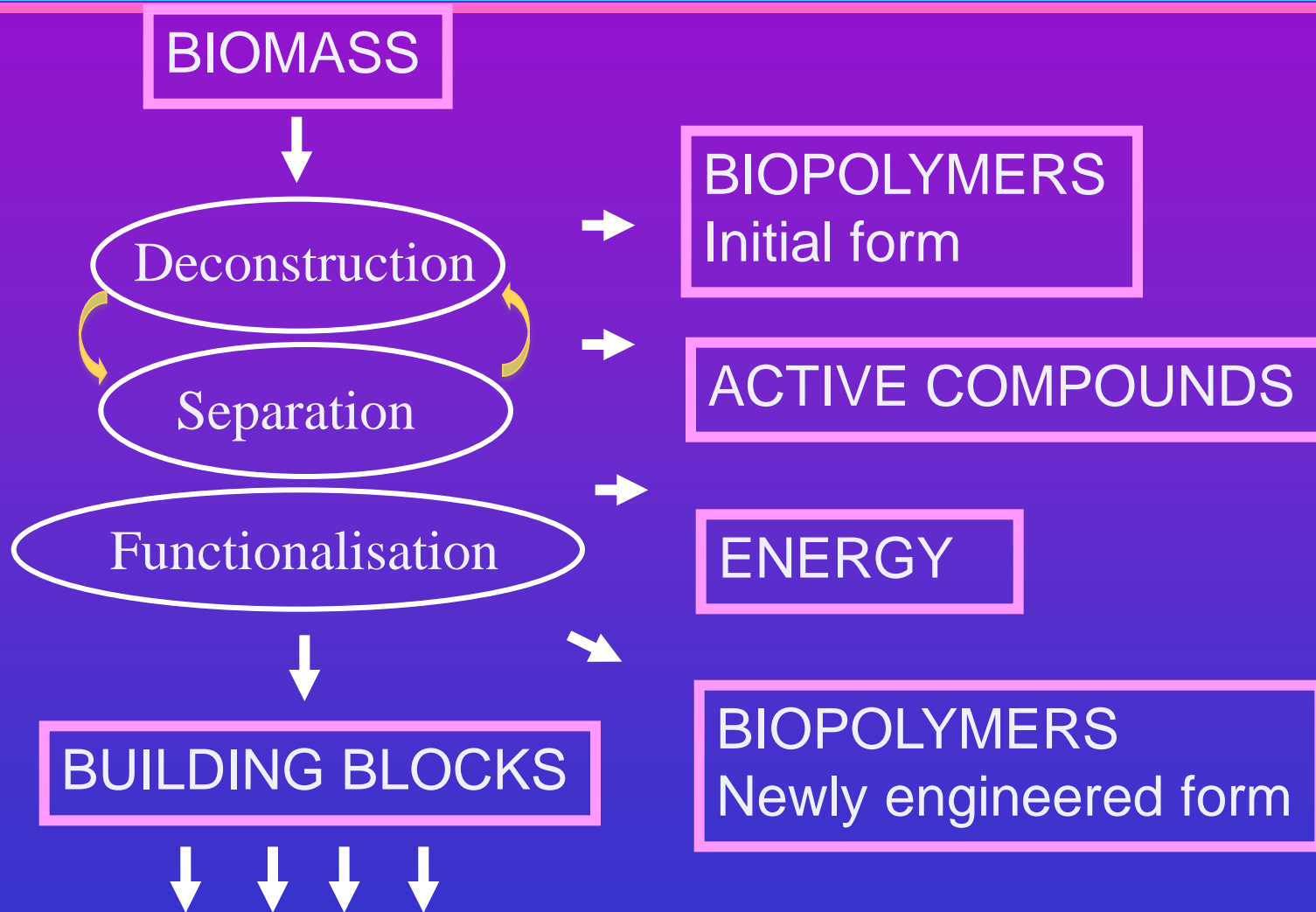
# Déstructuration, extraction, séparation

- Bioraffinerie
  - mettre au point des procédés capables **avec peu d'intrants** (énergie, chimie, enzymes)
    - de **dissocier les chaînes de polymères de structure** (cellulose, hemicellulose, lignine) associées via des liaisons faibles (donc possible d'employer la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub>, etc)
    - de **casser** ensuite ou en même temps mais **sélectivement** (verrou) les liaisons chimiques type C-O-C , bcp plus énergétiques, avec l'eau ou quelques réactifs peu dangereux pour l'environnement, afin d'obtenir soit les molécules de base (en C5 - C12) soit des briques ou oligomères
  - fragmentation et séparation des matières premières = une étape critique dans le contrôle de la composition et des propriétés des fractions

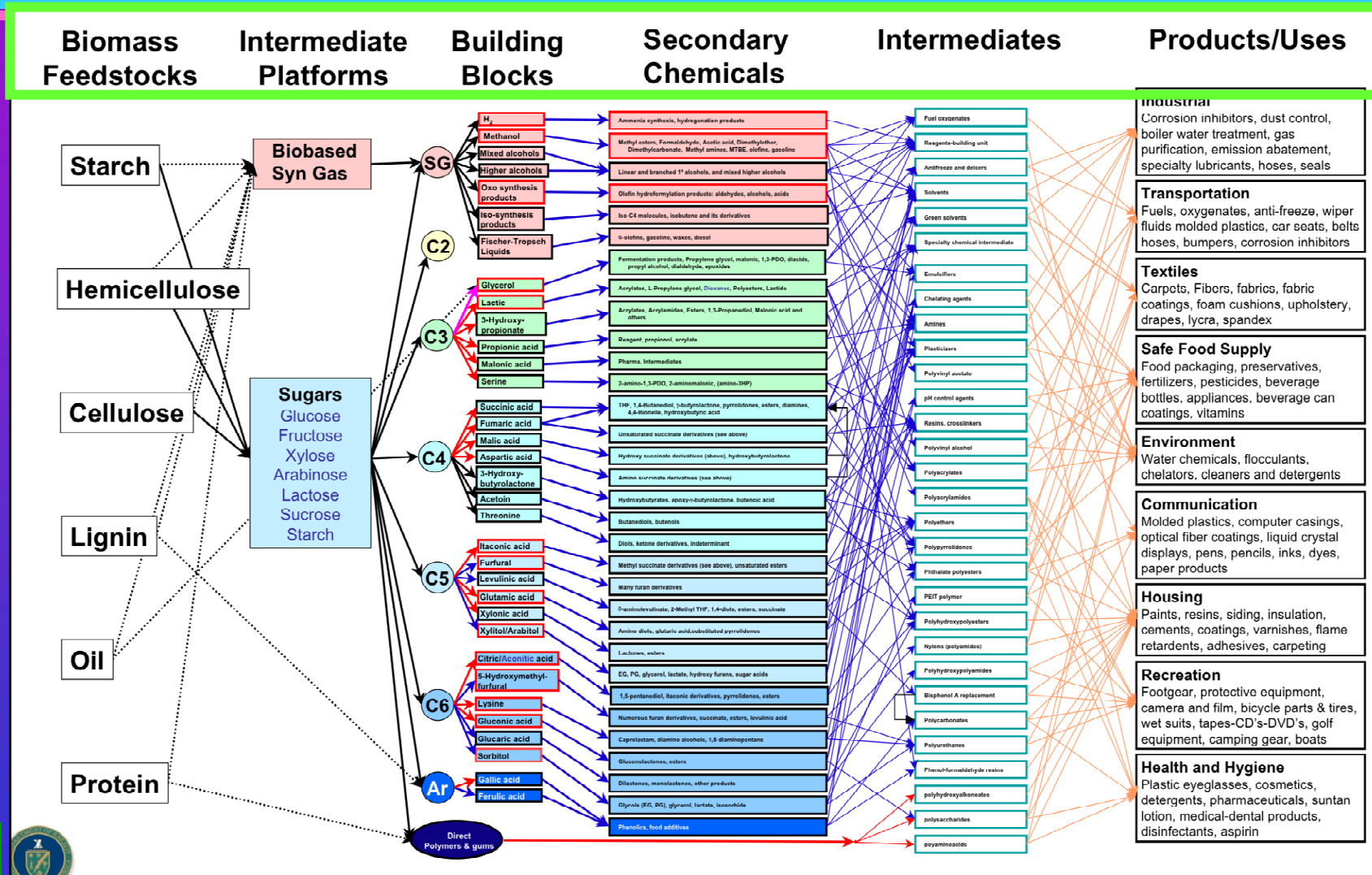




# BIO-REFINERY: a dedicated process



# Which ways & products should be targeted ? Research to be undertaken ?





# Verrous énergie + bioraffinerie

- Energie de broyage vs valorisation
- Prétraitement (yc par voie biologique)
- Améliorer la compréhension du comportement mécanique des matériaux lignocellulosiques au cours des procédés de fractionnement
  - analyse structurale et physico-chimique de la matière première
  - caractérisation mécanique et étude des procédés technologiques en vue de leur modélisation.

# Conclusions

- Collaboration intra-GDR
  - Approche analytique de la mécanique et la coupe
  - Micromécanique du bois
  - Physico-chimie des surfaces
  - Préparation du bois
    - Thermique
    - Optique
    - Mécanique
    - Chimie
  - Moyens expérimentaux
- Avenir du GUB

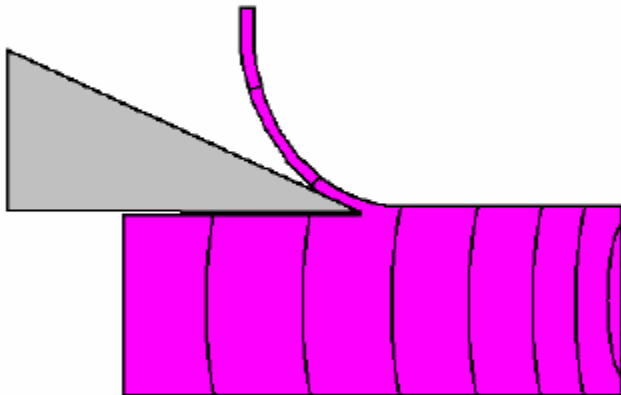
# late

- **Fractionnement des agro ressources : bases structurales et physicochimiques ; procédés de broyage, d'extraction et de séparation**
- Les procédés de fragmentation et de séparation des matières premières constituent une étape critique dans le contrôle de la composition et des propriétés des fractions pour leurs applications alimentaires et non alimentaires.
- Les travaux de l'équipe ont pour finalité d'améliorer la compréhension du comportement des agro-ressources, en particulier des grains de céréales et des matériaux lignocellulosiques au cours des procédés de fractionnement par voie sèche. Les approches développées s'appuient sur l'analyse structurale et physico-chimique de la matière première, la caractérisation mécanique et l'étude des procédés technologiques en vue de leur modélisation.
- Cette vision multidisciplinaire permet aux chercheurs de mieux appréhender les relations entre la matière première, les procédés et les propriétés des produits.
- De nouveaux procédés, tels que pré-traitements physiques, chimiques ou enzymatiques, broyage ultra fin et séparation électrostatique... ont été développés dans le but :
- de générer des produits à composition et propriétés contrôlées (sanitaires, nutritionnelles, organoleptiques, rhéologiques) ;
- de maîtriser les coûts énergétiques dans les procédés ;
- de proposer de nouveaux produits.
- Fractionnement des Agro ressources : Bases structurales et physicochimiques ; procédés de broyage, d'extraction et de séparation



# Tochigi 2005

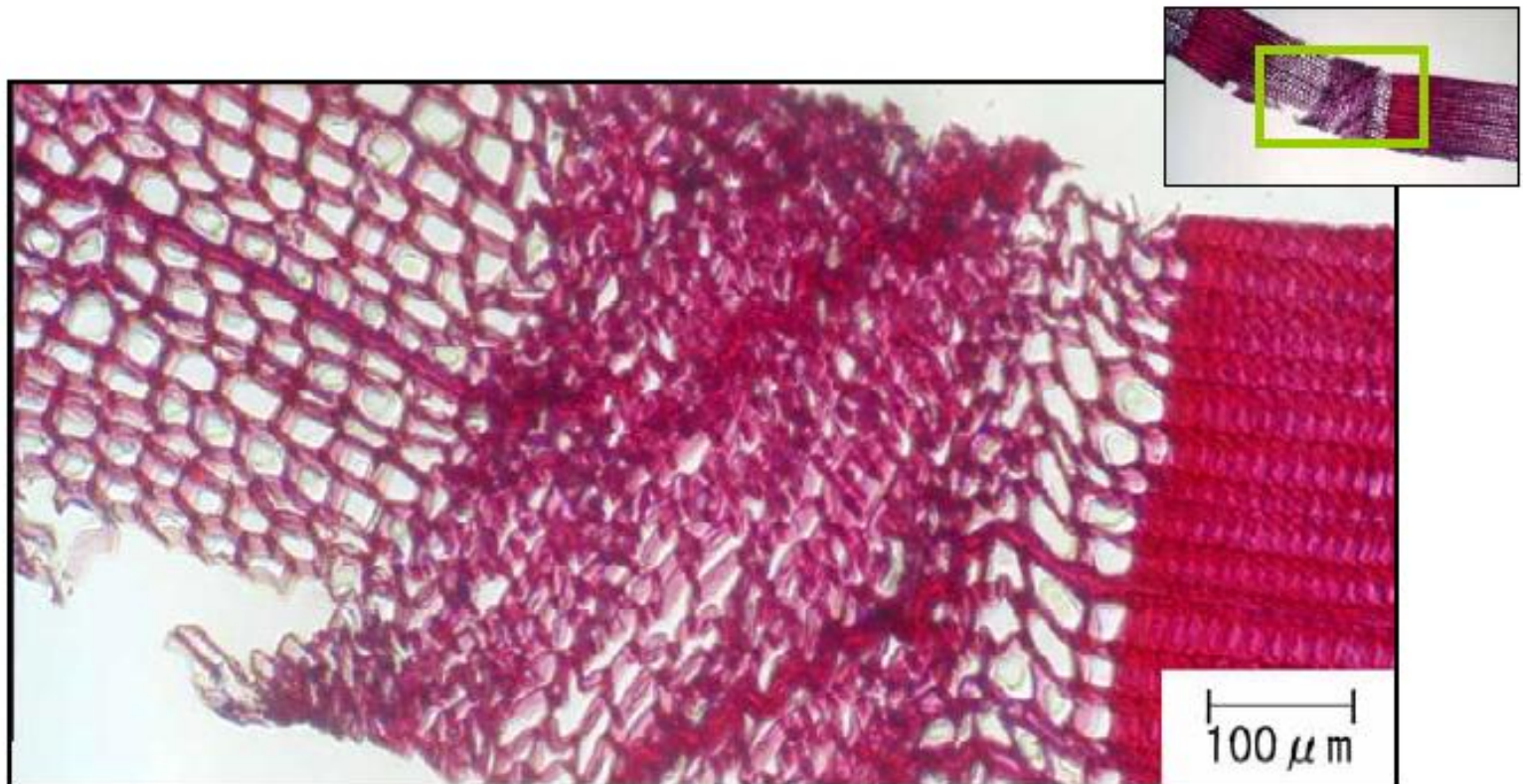
## Orthogonal Cutting



- Tip angle  $20^\circ$  •
- Clearance angle  $45^\circ$  •
- Depth of cut  $0.5 \text{ mm}$
- Feed speed  $12 \text{ mm/s}$
- Cutting direction  
Perpendicular to grain  
Radial section  
Bark to Pith

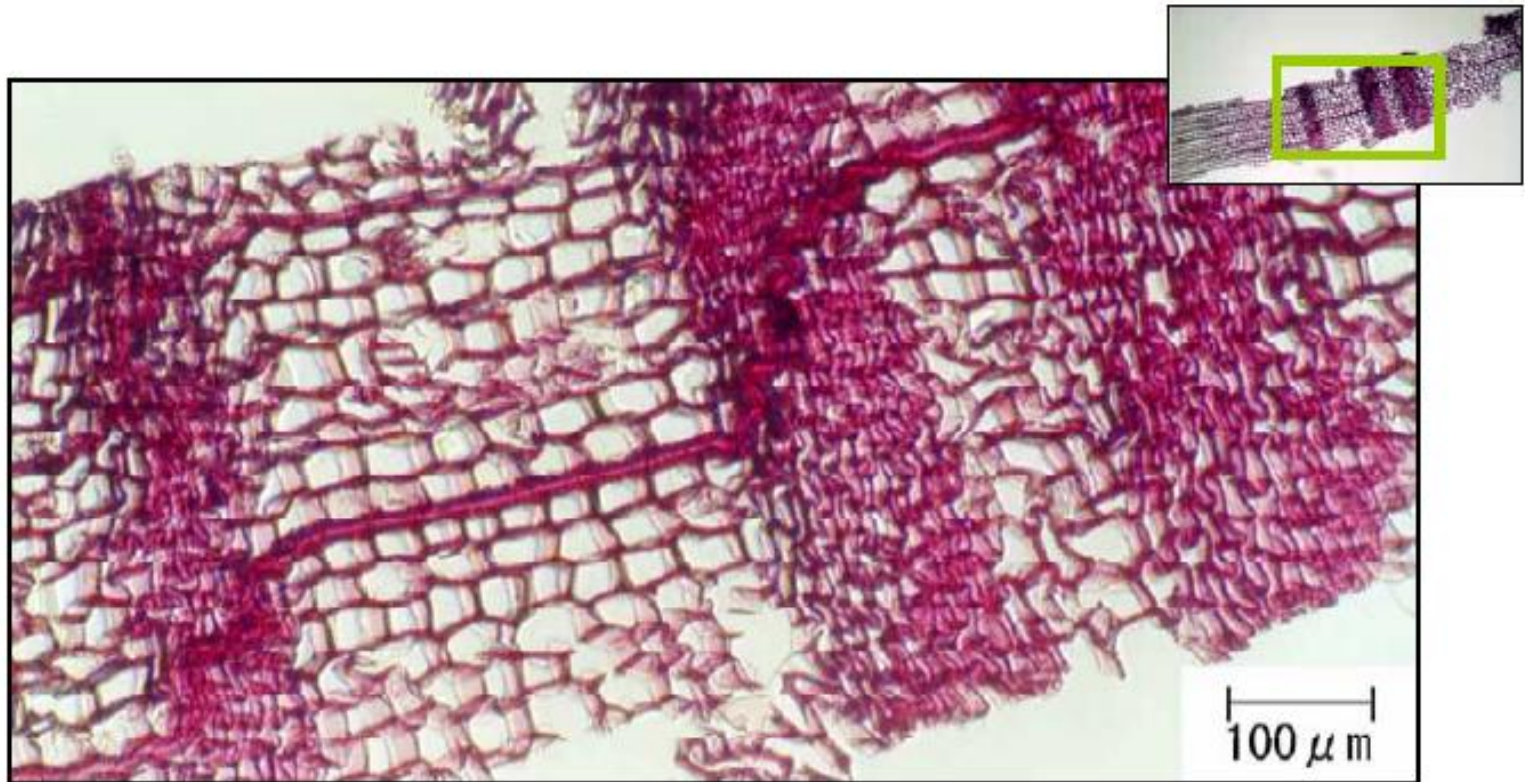
# Compressed Chip (CR=10 %)

Compressed extremely limited area

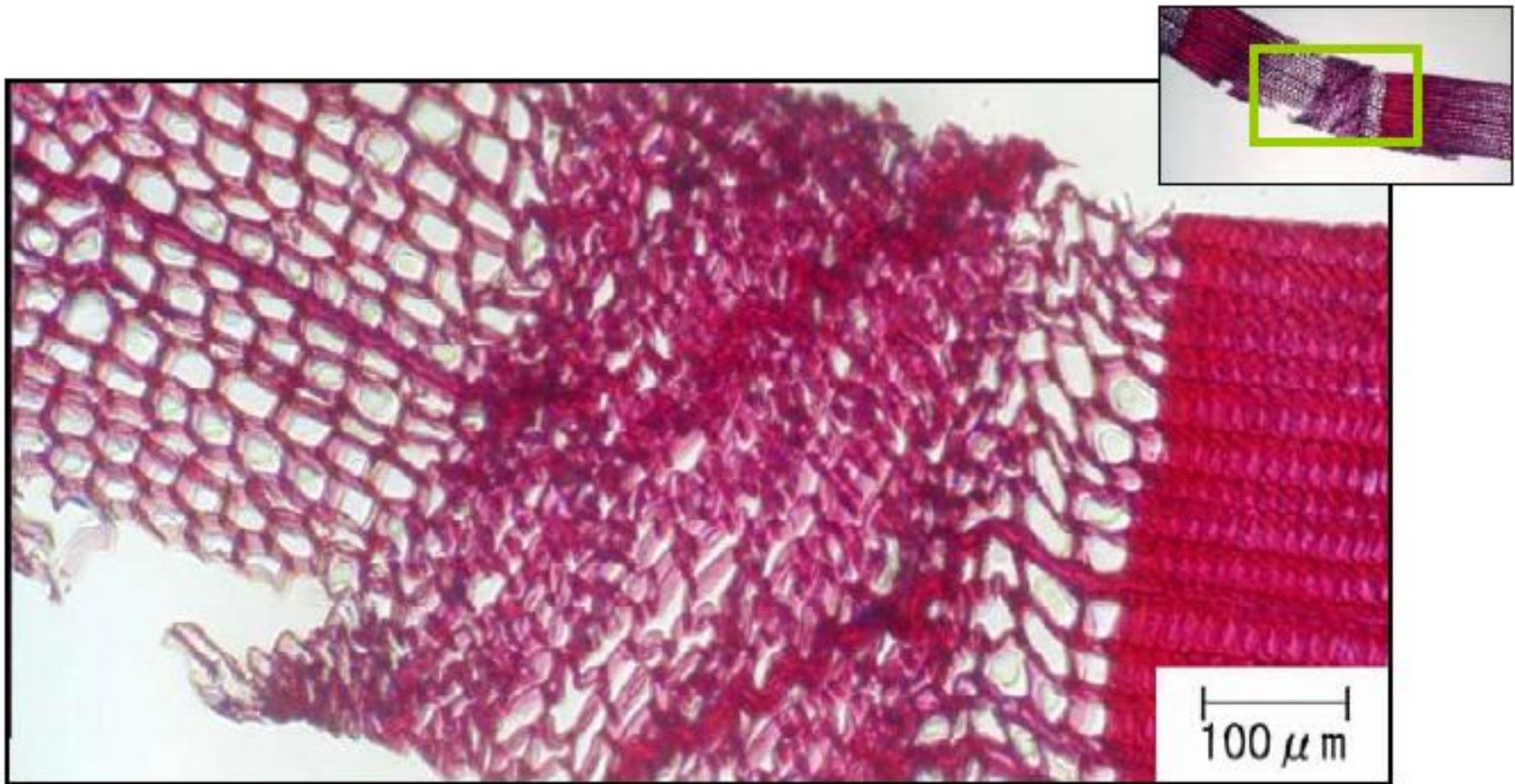


# Compressed Chip (CR=30 %)

Compressed not uniformly







# Untreated Chip (CR=0 %)

Observed fuzzy grain

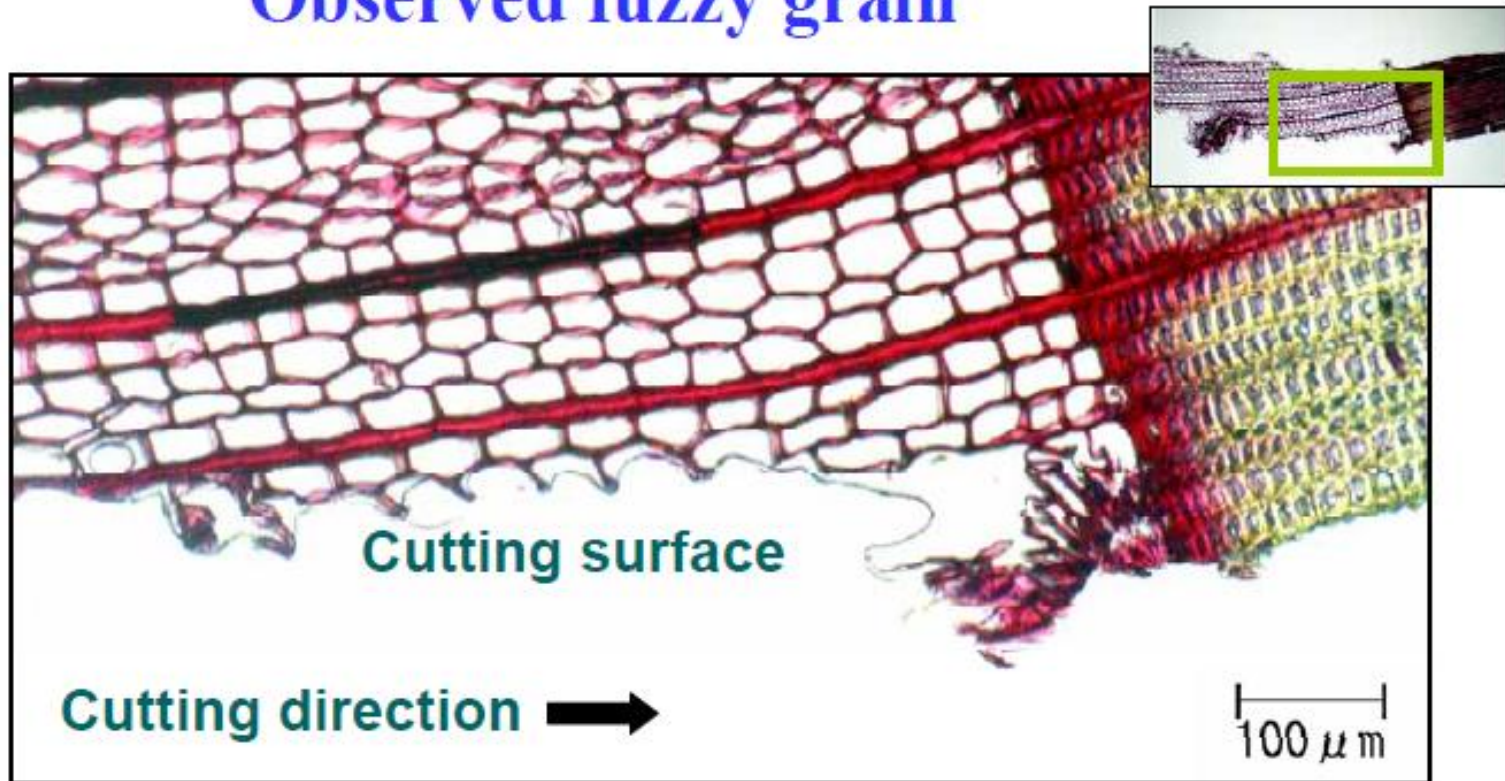


**Early Wood**



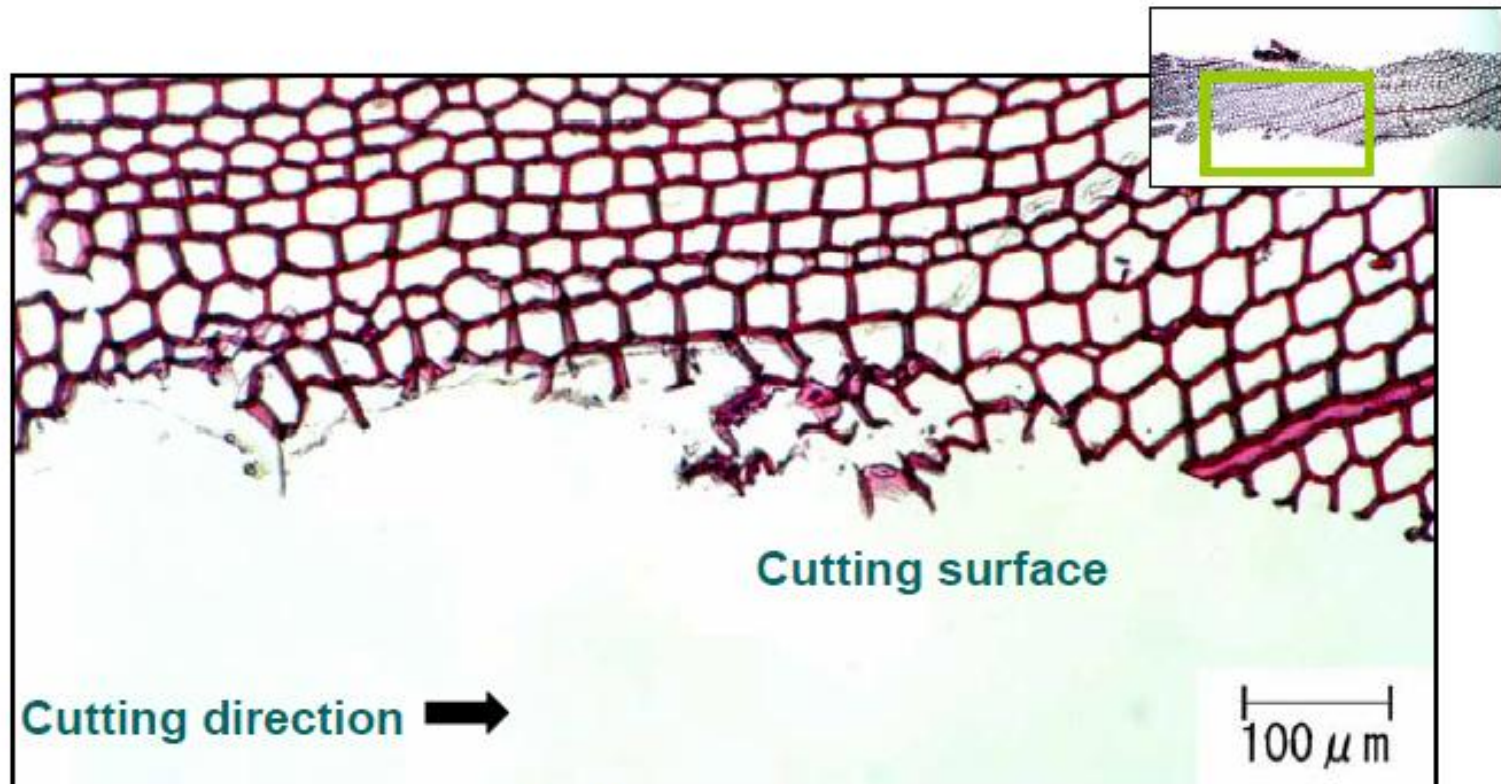
# Untreated Chip (CR=0 %)

## Observed fuzzy grain



## Neighborhood of annual ring

# Compressed chip recovered compression after cutting process (CR=30 %)

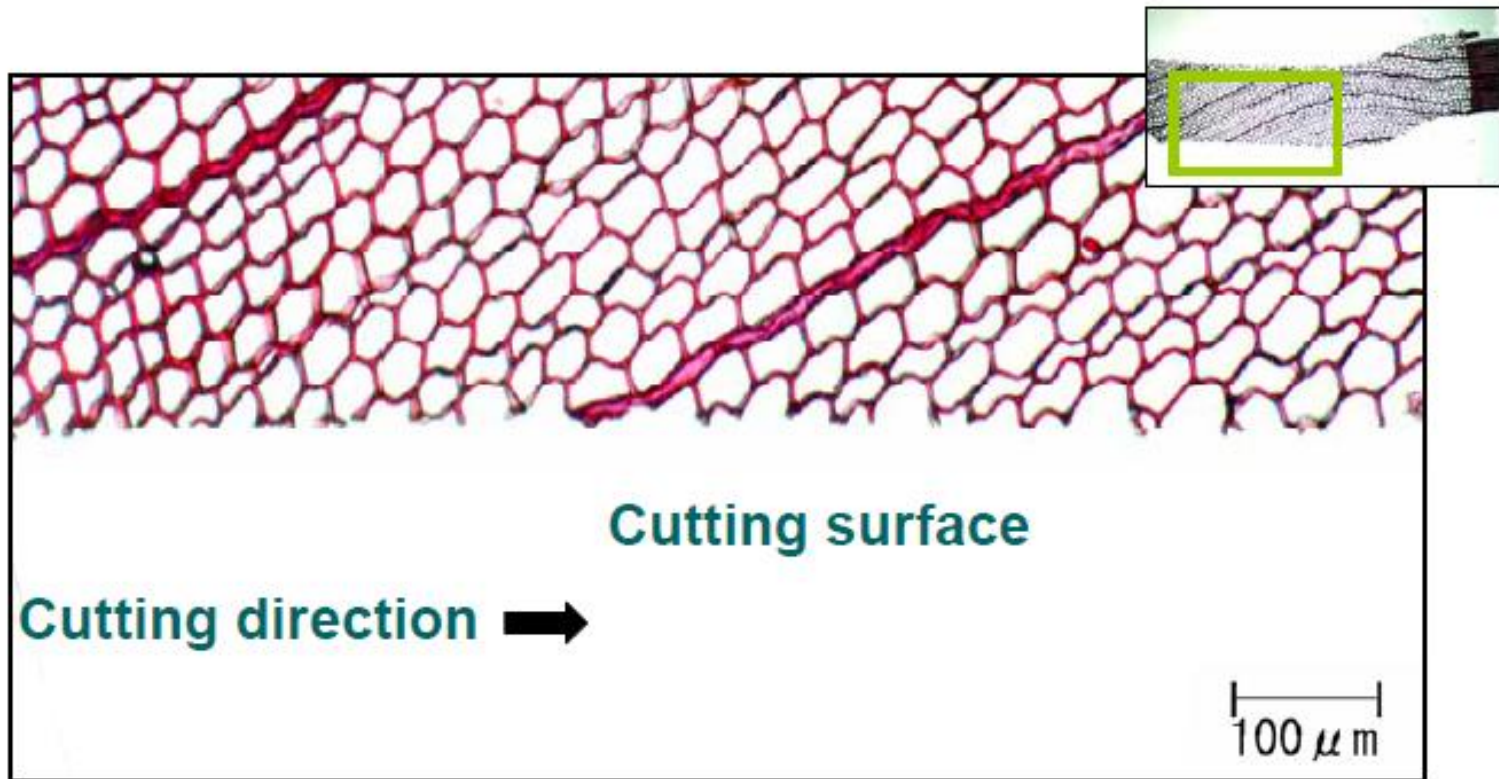


**Early wood**



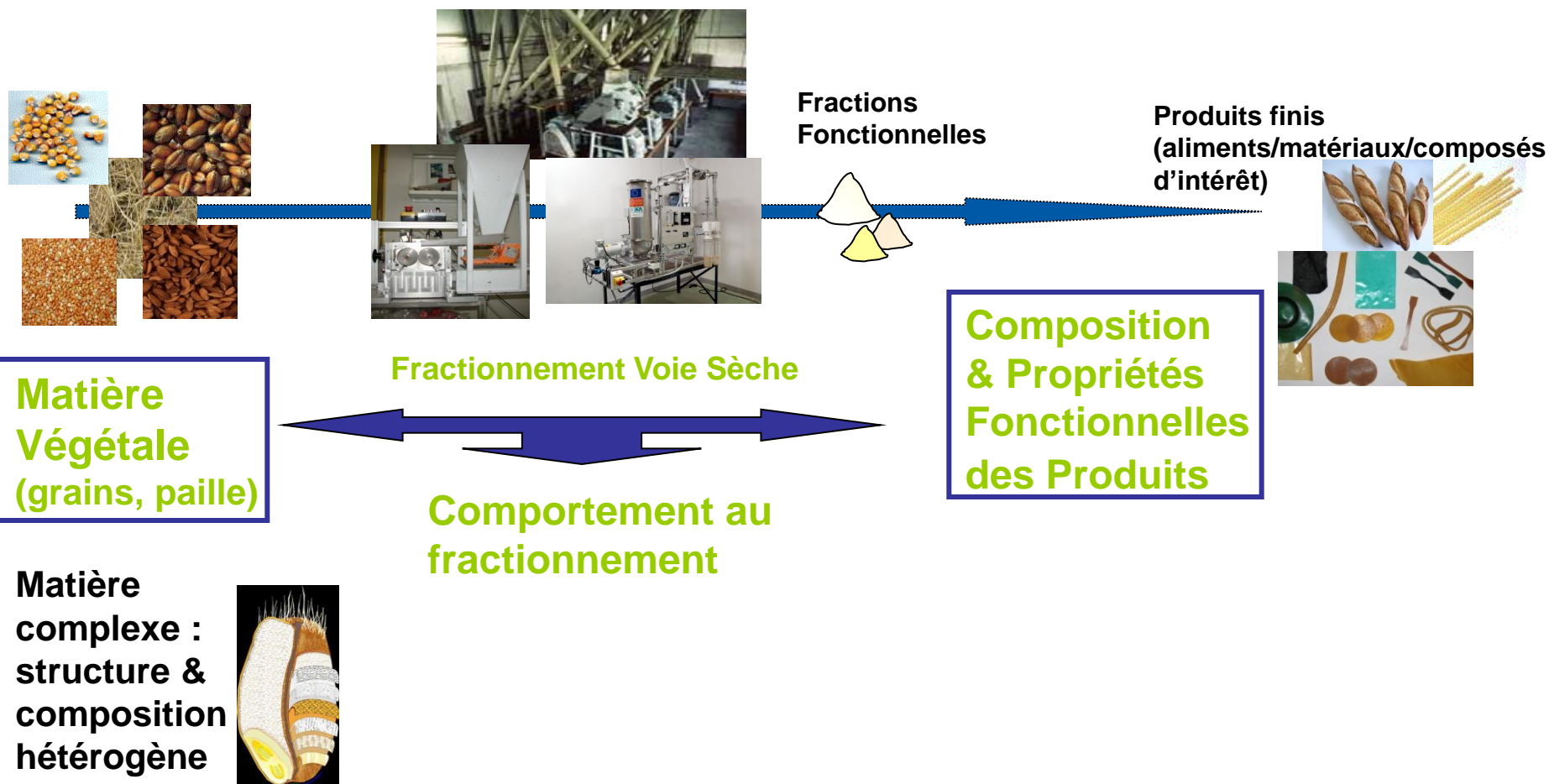
# Compressed chip recovered compression after cutting process (CR=50 %)

## Cell walls cut U-shapes



**Early wood**

## Bases physico-chimiques et structurales du comportement au fractionnement et procédés



## Identifier :

- \* **comportement** des matières I au cours des procédés en lien avec leur composition
- \* **nouveaux procédés** basés sur l'identification des propriétés de la matière I ou en lien avec la fonctionnalisation des fractions

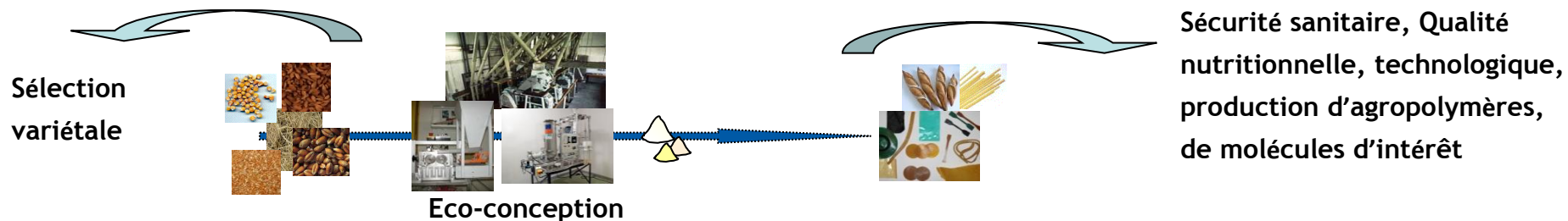
## Déterminer :

- \* **valeurs limites** du fractionnement dues à la nature de la matière I ou aux procédés
- \* **facteurs critiques** de composition et de structure au niveau micro- ou méso qui déterminent le comportement au fractionnement aux diff. échelles (sub-cell., tissus, grain...) & **lois de comportement**

## Intégrer :

- \* connaissance dans des **modèles** intégratifs pour **substituer** aux savoir-faire
- \* aspects **énergétiques** et de **qualité** sanitaire, nutritionnelle, technologique

# Objectifs



## Progresser dans la compréhension

**Compo./Structure matière 1<sup>ère</sup>** ↔ **Comportement au fractionnement**

- Lever les verrous pour la caractérisation rapide des prop. mécaniques et le comportement des tissus (lien avec généticiens)
- Déterminer les facteurs critiques de composition/structure déterminant le comportement aux échelles micro/mésos
- Modéliser et simuler les mécanismes de fractionnement

## Renforcer le développement

**Procédés innovants** ↔ **Prop. des produits**  
Éco-conception  
Démarche intégrée

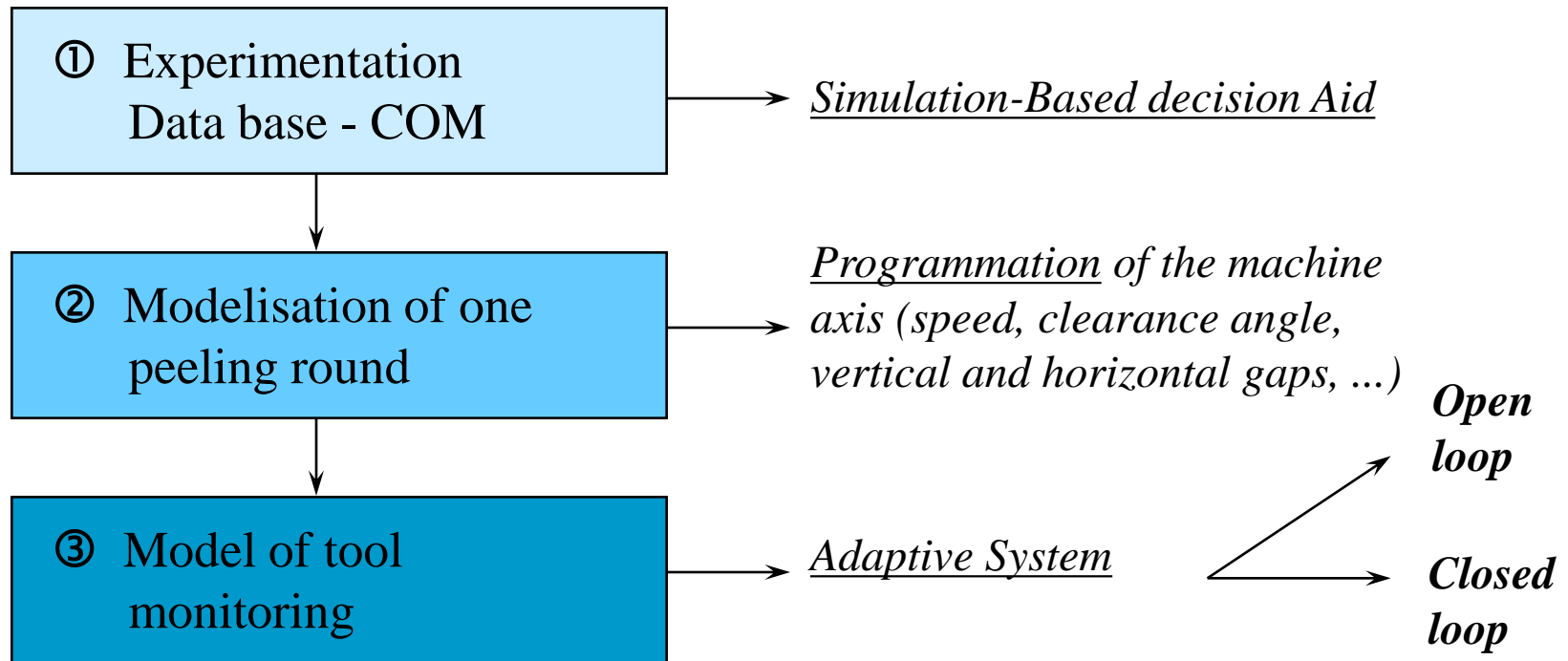
- Explorer de nouvelles voies de couplage méthodologique s'appuyant sur la chimie de la matière 1<sup>ère</sup>, développer le fractionnement moléculaire
- Prise en compte de critères énergétiques et d'arbitrage dans les itinéraires



# Monitoring the process

to improve de recovery and the veneer quality  
on small and medium size logs

## Outputs

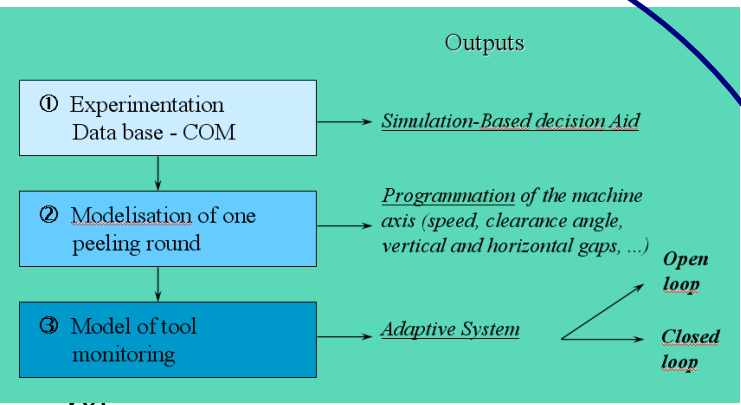
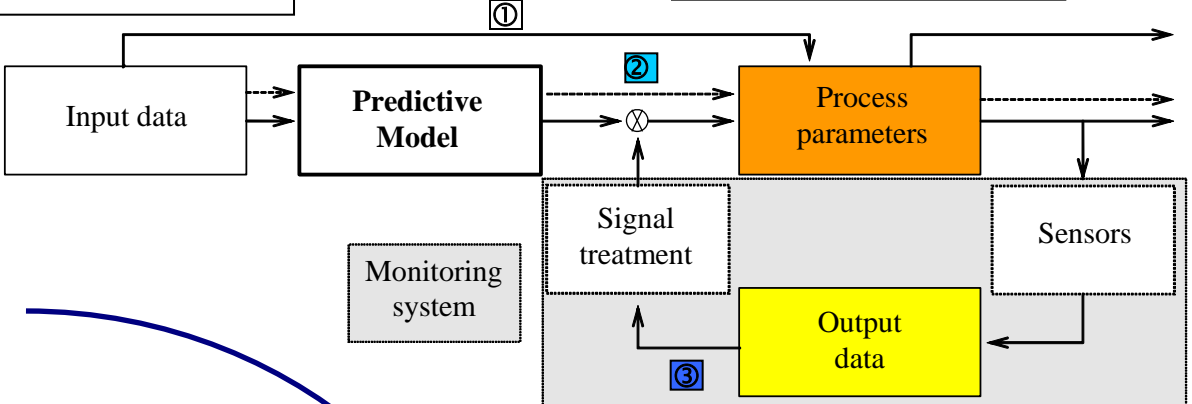


**Logs description**  
*Species*  
*MC*  
*Temperature*  
*Density*  
 Growth rings  
 Length, diameter  
 Heart excentricity  
 Grain direction  
 Interne and visible defects  
 Juvenile / Mature wood  
 ...  
**Products**  
*Cutting path*  
 Market

**Knife**  
 Bevel angle  
 Microbevel and edge geometry  
 Knife edge position / cylinder  
*Clearance angle*

**Pressure bar**  
 Type of PB  
 Diameter / Angles  
*Verticale and horizontale gaps*

**Others**  
 Knife and bar materials / wear  
*Peeling speed*



**Veneer quality**  
 Curl-up  
 Fuzzy surface, tearing, roughness  
*Lathe checks*  
*Thickness variations*

**Process**  
 Motor power consumption  
*Tool, bar and machine vibrations*  
*Noise, acoustic emission*  
*Compression force*  
*Cutting forces*

**On-line measurements**