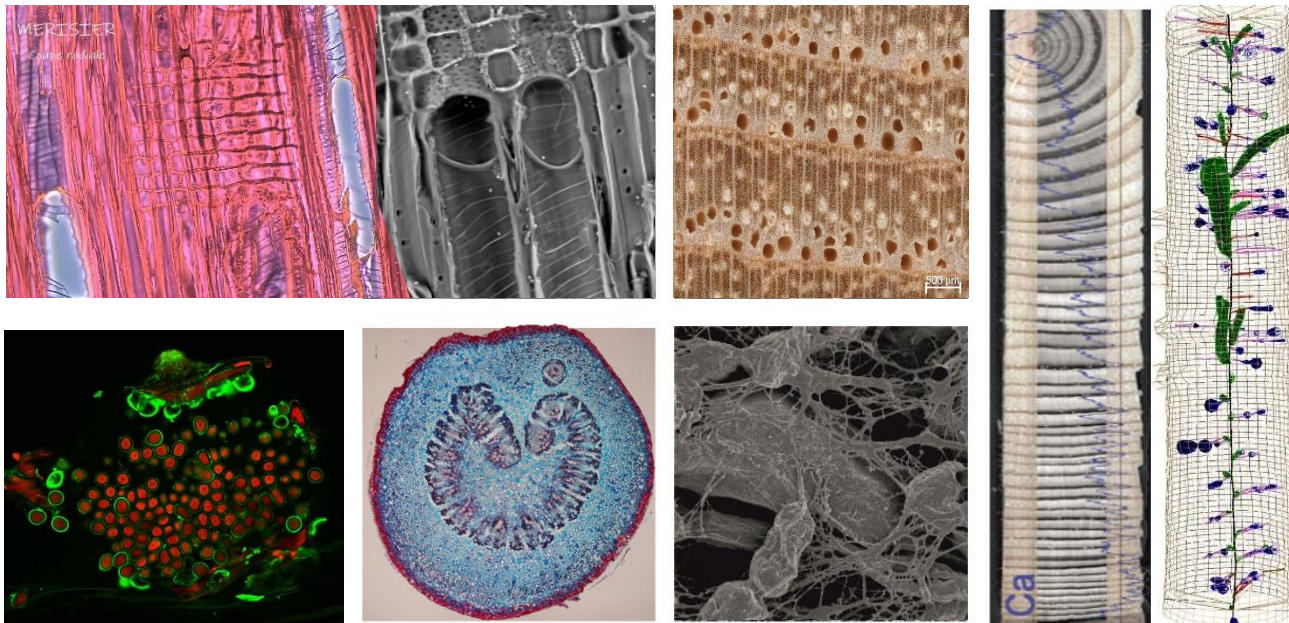


# Techniques et méthodes pour le décryptage des structures, propriétés et fonctions du bois



Silva  
TECH

# ID Silvatech

- plateforme d'analyse et d'imagerie des structures, propriétés et fonctions de l'arbre sous multi-stress dans son écosystème jusqu'au bois matériau
- **14,2 ETP** TR-IR (14 perm. + 2 CDD)
- **22 équipements lourds**
- **6 ateliers de préparation** (histologie, isotopie, extraction, bois, mécanique, impression additive)
- ≈ 80-100 demandes / an
- en appui à **118 publications** (2018-2022)
- labellisée **ISC** par DISC-INRAE, **STAR-LUE**, cible ISO 9001 (2023)



- intégrée dans :



## IMAGERIE ET MESURES MULTI-MODALES



### ISOTOPIE-CHIMIE





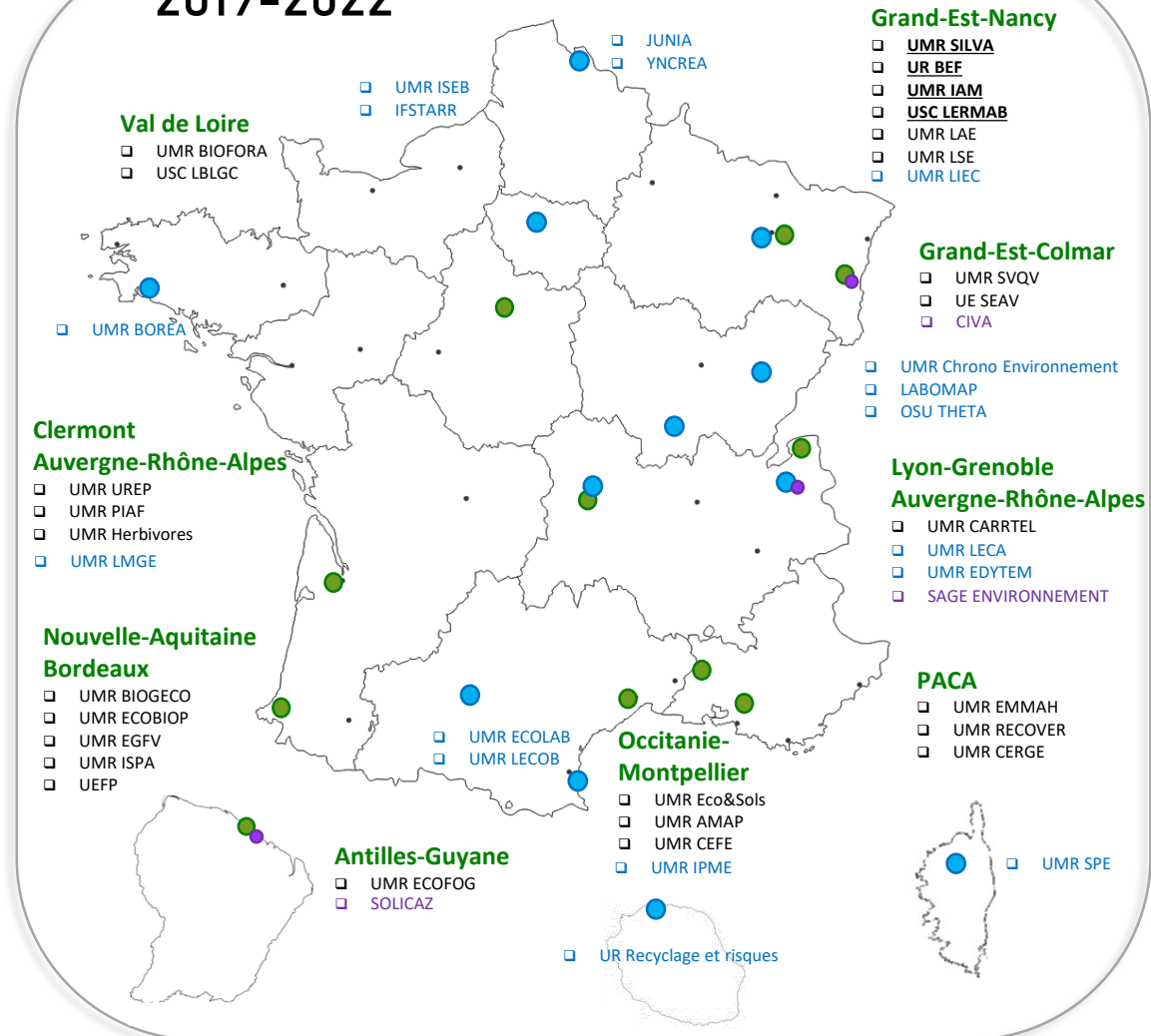
# MISSIONS

Services aux communautés scientifiques

Développements

Formations

2019-2022



- |   |  |  |
|---|--|--|
|  SLU, Uppsala BioCenter, Linnaeus U. |  LIST             |  Pontificia U. Catolica                           |
|  WSL, Agroscope                      |  U. Trier         |  UC Louvain, U. of Antwerp, U. de Ghent           |
|  Galilee Research Institute          |  U. of Copenhagen |  U. Pública de Navarra                            |
|  Democritus U. of Thrace             |  U. di Cassino    |  CzechGlobe, Faculty of Forestry and Wood Science |



## Services aux communautés scientifiques

## Développements

## Formations

### IRMS/IRIS : Comparaison des valeurs isotopiques (δD) d'eaux cryovestibales de sérum de chèvre

**Introduction :** La composition isotopique en deuterium et oxygène-18 est un marqueur physiologique important, tant en médecine que en élevage conventionnel. Le génotype et les conditions de vie ont une influence sur la composition isotopique de l'eau corporelle.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons de sérum ont été prélevés sur des chèvres de différentes races (Alpine, Saanen, Nubienne) et élevées dans différentes conditions (extensif, semi-intensif, intensif).

**Résultats :** Les valeurs de δD sont significativement plus élevées chez les chèvres de race Alpine que chez les autres races.

### UnCube Impact de l'ouïsme sur la qualité des analyses CHNS

**Introduction :** L'impact de l'ouïsme sur la qualité des analyses CHNS est un sujet d'intérêt croissant.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons de matière sèche ont été analysés avant et après ouïsme.

**Résultats :** L'ouïsme entraîne une diminution de la précision des analyses CHNS.

### INRAE Analyse du 63Cu de l'ADN de sol incubé à l'eau lourde en spectrométrie de masse de rapport isotopique (IRMS)

**Introduction :** L'analyse du 63Cu de l'ADN de sol incubé à l'eau lourde est une méthode innovante.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons de sol ont été incubés dans l'eau lourde et analysés par IRMS.

**Résultats :** La méthode permet de détecter la présence de micro-organismes.

### Impact du broyage des échantillons sur l'analyse isotopique δ13C, δ15N et des teneurs en N et N

**Introduction :** L'impact du broyage sur l'analyse isotopique est un sujet d'intérêt.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons ont été broyés à différentes tailles et analysés.

**Résultats :** Le broyage entraîne une augmentation de la précision des analyses.

### IRIS : Efficacité du module de Micro-combustion pour éliminer les interférences des COVs

**Introduction :** L'élimination des interférences des COVs est essentielle pour une analyse précise.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons ont été analysés avec et sans le module de micro-combustion.

**Résultats :** Le module de micro-combustion élimine efficacement les interférences des COVs.

### Broyer à anneaux « SAM » Vérification de la qualité de broyage

**Introduction :** La vérification de la qualité de broyage est un enjeu important.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons ont été broyés et analysés.

**Résultats :** Le broyeur à anneaux « SAM » assure une qualité de broyage élevée.

### Matériel et Méthode : Bruyère

**Introduction :** La bruyère est une plante d'intérêt scientifique.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons de bruyère ont été analysés.

**Résultats :** Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Paramètre	Valeur
Fréquence de rotation	50 Hz
Temps de broyage	10 min
Température de broyage	10°C

### Broyer à anneaux « SAM »

**Introduction :** Le broyeur à anneaux « SAM » est un équipement innovant.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons ont été broyés.

**Résultats :** Le broyeur à anneaux « SAM » assure une qualité de broyage élevée.

### IRIS : Comparaison des valeurs isotopiques (δD) d'eaux cryovestibales de sérum de chèvre

**Introduction :** La composition isotopique en deuterium et oxygène-18 est un marqueur physiologique important.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons de sérum ont été prélevés sur des chèvres de différentes races.

**Résultats :** Les valeurs de δD sont significativement plus élevées chez les chèvres de race Alpine.

### Broyer à anneaux « SAM »

**Introduction :** La vérification de la qualité de broyage est un enjeu important.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons ont été broyés et analysés.

**Résultats :** Le broyeur à anneaux « SAM » assure une qualité de broyage élevée.

### IRIS : Comparaison des valeurs isotopiques (δD) d'eaux cryovestibales de sérum de chèvre

**Introduction :** La composition isotopique en deuterium et oxygène-18 est un marqueur physiologique important.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons de sérum ont été prélevés sur des chèvres de différentes races.

**Résultats :** Les valeurs de δD sont significativement plus élevées chez les chèvres de race Alpine.

### Broyer à anneaux « SAM »

**Introduction :** La vérification de la qualité de broyage est un enjeu important.

**Matériel et Méthode :** Des échantillons ont été broyés et analysés.

**Résultats :** Le broyeur à anneaux « SAM » assure une qualité de broyage élevée.

# MISSIONS

Services aux communautés scientifiques

Développements

Formations

**SIFER International Doctoral Course**  
"Stable Isotopes in Forest Ecology"  
The University of Lorraine (Doctoral School 5873) recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'aménagement rural. In the name of the Lab of Ecological Biology of Tree and Forest Ecosystems LUEAE ASR, we call for "Stable Isotopes in Forest Ecology" Campus in Nancy, France.  
The main goal of this SIFER-doctoral course is to study the stable isotopes in forest ecosystems that occur in forest ecosystems produce a distinct signal to trace the origin and the transfer of the major elements to decipher the effects of environmental changes and to understand complex interactions among ecological processes occurring in trees and forest. Information in forest ecosystem research, and they undergo very fast technological developments.  
The course is open to all PhD students working mainly on trees or forests.  
Follow and tag us on #SIFERisotopy and #silva

**Practical work on leaf water d18O composition and its relation to stomatal conductance with SIFER2021 students, Stéphane Ponton & Olivier Breni**  
#SIFERisotopy @INRAE\_Nancy @Lorraine @labexARBRE  
Traduire in Tweet

After a busy week, the #sifer2021 session ends with the defense of the results obtained during the week before to SIFER team. Thanks to you for the great exchanges and welcome back home! #SIFERisotopy @INRAE\_Nancy @Lorraine\_LUE @labexARBRE  
Traduire in Tweet

**Journées Techniques de Microscopie Corrélatrice**  
26 et 27 octobre  
INRAE Centre Grand Est

Lancement des 1ères "Journées Techniques de Microscopie Corrélatrice" avec les ateliers techniques de groupe à partir des équipements de la Plateforme SILVATECH (Microscope optique, confocal, MEB) ! @INRAE\_Nancy @SilvatechInrae @zeiss\_micro #JTMCSilvatech #activesilvatech

3ème conférence des JTMCS: "Atlas5, un espace corrélatif et d'imagerie haute résolution" par Sébastien Chalal de @CarlZeissIM à @INRAE\_Nancy - @SilvatechInrae #jtmcsilvatech #activesilvatech

Clap de fin pour ces 1ères Journées Techniques de Microscopie Corrélatrice après 2 jours d'échanges, ateliers et conférences. Merci au participants, aux intervenants et au staff pour l'organisation ! @SilvatechInrae @CarlZeissIM #jtmcsilvatech #activesilvatech

**Formation Source IRMS**  
Programme  
Lundi 27 Septembre: De 14h00 à 18h00  
-Présentation de la plateforme SILVATECH (Nicolas Anquet)  
-Présentation des pré tests à réaliser avant le nettoyage de la source  
-Mise en pratique des pré tests  
Mardi 28 Septembre : De 9h00 à 12h30 & de 13h30 à 18h00  
-Fis des pré tests  
-Démontage et nettoyage de la source  
Mercredi 29 Septembre: De 9h00 à 12h30 & de 13h30 à 18h00  
-Montage de la source  
-Installation des réglages de source  
-Suivi à Nancy  
Jeudi 30 Septembre: De 8h30 à 12h00  
-Réglage des paramètres de source  
-Réparation des vannes pneumatique (optionnel)

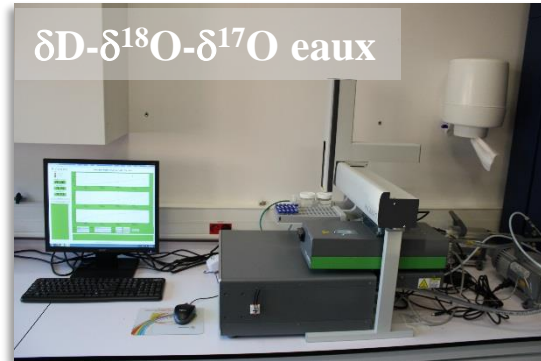
SILVATECH: Pôle Isotopie Chimie  
INRAE, Centre Grand Est Nancy  
18000 VILLERS LÈVEZ  
RAUL02 CALANCO  
SABRE CHAMPENOISE FRANCE

Silva TECH INRAE



# PÔLE Isotopie-Chimie : outils

- **Outils de chimie isotopique** (2 EA/GA IRMS, LC/GC-IRMS, 2 Pyr/EA-IRMS, 3 analyseurs lasers (eau/CO<sub>2</sub>))

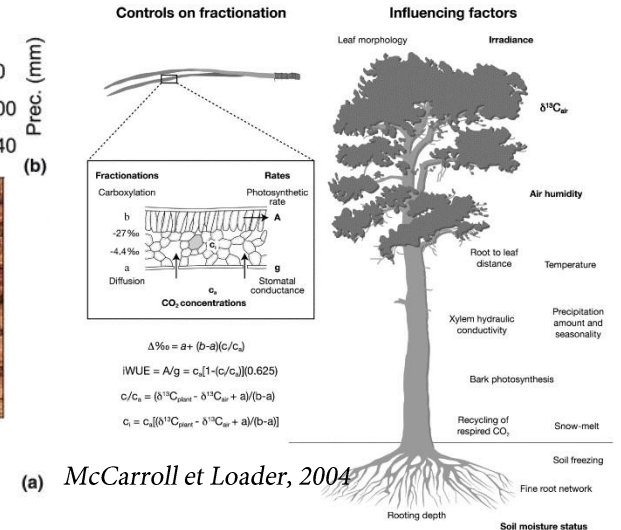
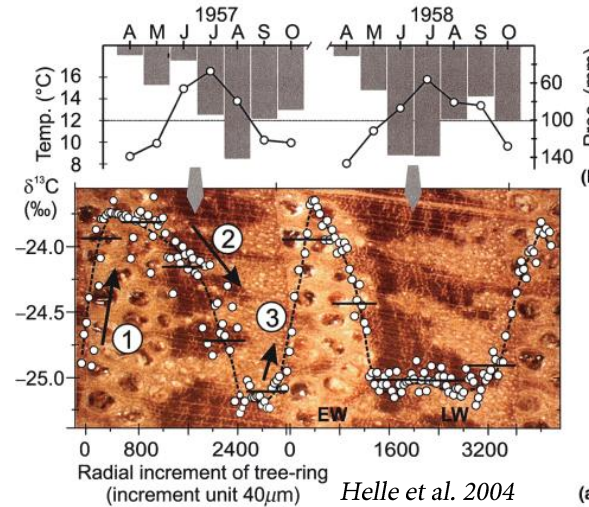


**BSIA** (matrices solide/gaz/eau)  
 $\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N}, \delta^{18}\text{O}, \delta^{17}\text{O}, \delta\text{D}$

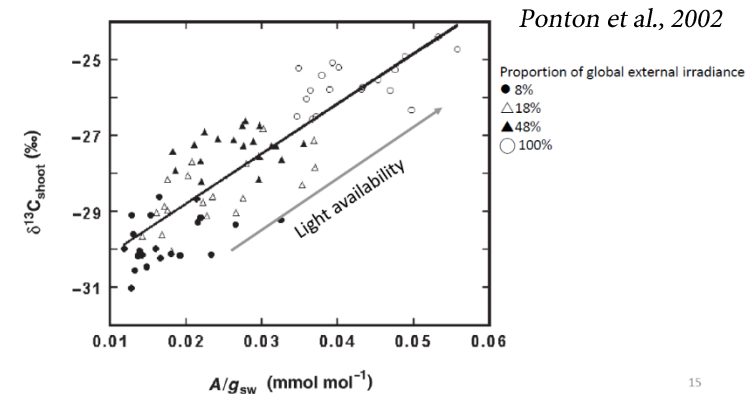
**CSIA** (molécules extraites)  
 $\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N}, \delta\text{D}$

# PÔLE Isotopie-Chimie : exemple de le dendroisotopie du C

- la composition isotopique  $\delta^{13}\text{C}$  des cernes reflète des fluctuations environnementales régissant les processus physiologiques qui contrôlent la croissance des arbres à plusieurs échelles spatio-temporelles (Craig, 1954, McCarroll et Loader, 2004 ; Offermann et al., 2011 ; Silva et Anand, 2013 ; Gessler et al., 2014, Voelker et al., 2014 ; Jucker et al., 2017 ; Shestakova et al., 2019)
- $\delta^{13}\text{C}$  des cernes d'arbres enregistre l'équilibre conductance stomatique / taux de photosynthèse, en complément de la largeur des cernes ou la densité du bois (Loader et al., 2008 ; Hartl-Meier et al., 2015)
- potentiel du  $\delta^{13}\text{C}$  des cernes d'arbres pour évaluer rétrospectivement les conditions climatiques tout en abordant des questions écologiques d'actualité.
- les variations de l'efficacité intrinsèque de l'utilisation de l'eau (WUEi) estimée par  $\delta^{13}\text{C}$ , est parmi les applications les plus utilisées en dendroisotopie
- les valeurs isotopiques des cernes des arbres sont très affectées par la composition du bois (ex: rapport lignine/cellulose, ou la quantité de matières extractibles).



Relationship between wood  $\delta^{13}\text{C}$  and WUE<sub>i</sub> on oak seedlings grown in four irradiance regimes

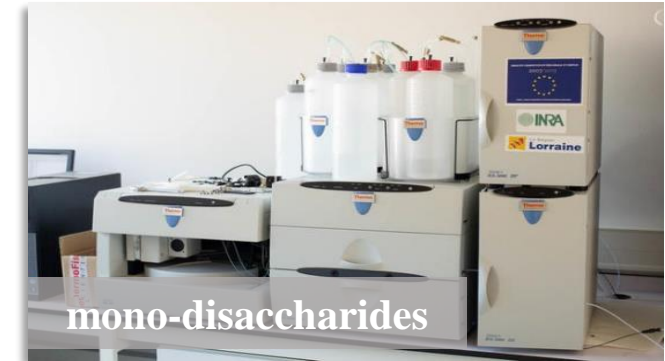
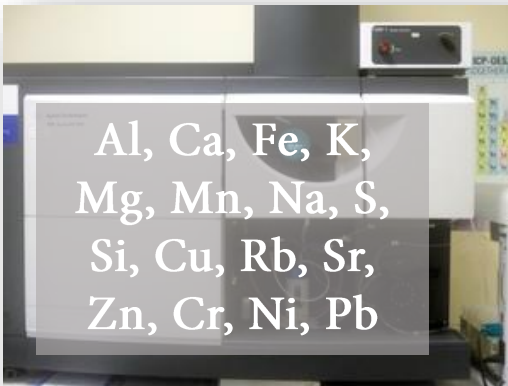
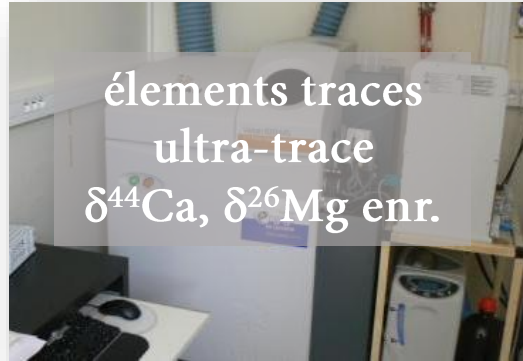


d'après Shestakova et Martínez-Sancho, 2021



# PÔLE Isotopie-Chimie : outils

- **Chimie organique** (IC-IC, spectro-fluo-photomètre)
- **Chimie minérale** (ICP-AES, ICP-MS, EA)

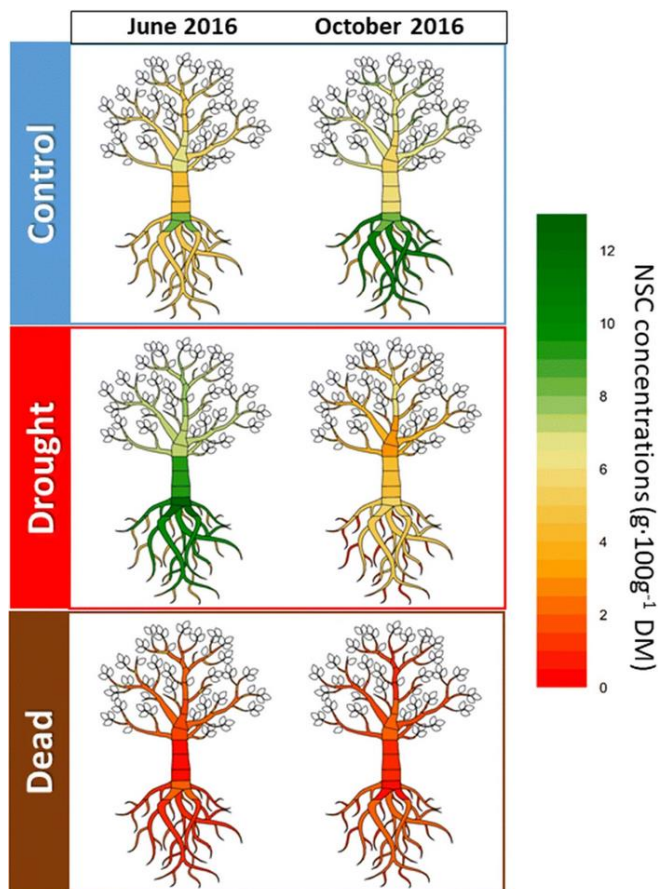




# PÔLE Isotopie-Chimie : exemples

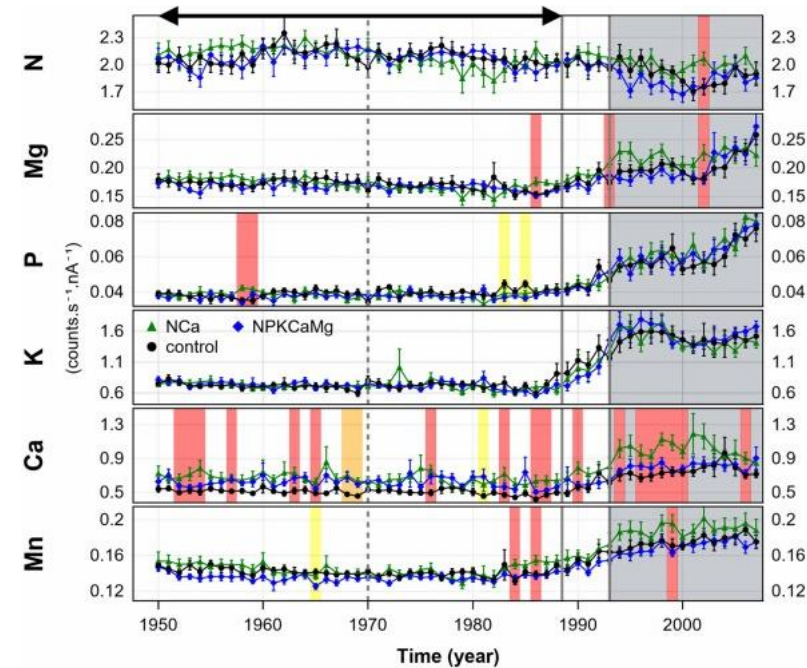
- l'épuisement des réserves C est une des hypothèse à l'origine des dépérissements, entraînant une surmortalité d'arbres (Brédar et al., 2006 ; McDowell et al., 2008 ; Sala et al., 2012, Chuste et al., 2020)
- les **réserves carbonées (NSC)** comme **outil de diagnostic de l'état sanitaire des forêts** et de pronostic de trajectoire des forêts en crise

- **maintien d'une fonction active de stockage C vs croissance** comme clé de la survie
- ralentissement de la croissance primaire et secondaire
- an 1 et 2 : augmentation du NSC dans tous les compartiments
- an 3 : baisse de l'amidon/sucres solubles, quasi absents des arbres morts



d'après Chuste et al., 2020

- Les cernes des arbres enregistrent-ils les changements de fertilité du sol ? (Durand et al., 2020)
- combinaison d'**approches dendrochimiques en analyse par ICP et microanalyse par WDS**
- Le bois a enregistré le changement de disponibilité des éléments pendant près de 40 ans
- Le SEM-WDS est apparu comme une méthode valable pour l'analyse dendrochimique
- la translocation des éléments complique la datation a posteriori de l'événement de fertilisation

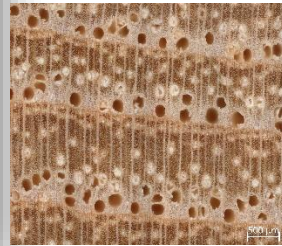
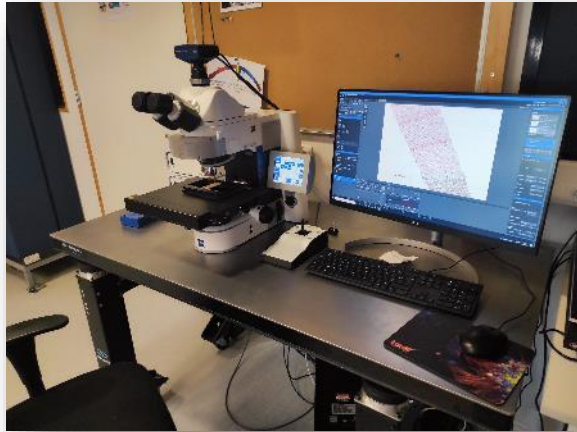


d'après Durand et al., 2020

# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : outils

- **Observation et analyse des tissus et des cellules des végétaux en microscopie photonique**

Observations, numérisations (anatomie quantitative)



Station d'imagerie

Enrobage en paraffine



Microtomie



- **Observation et analyse des tissus et cellules par microscopie laser à haute résolution**



Microscopie confocale



Microscopie à dissection laser

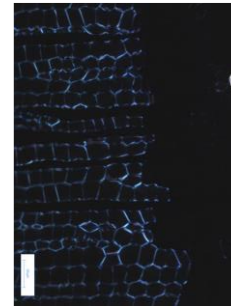
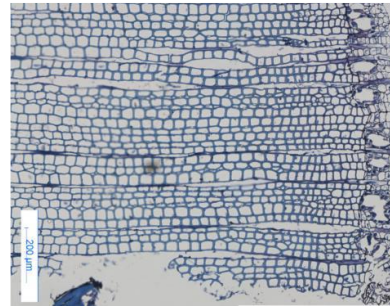
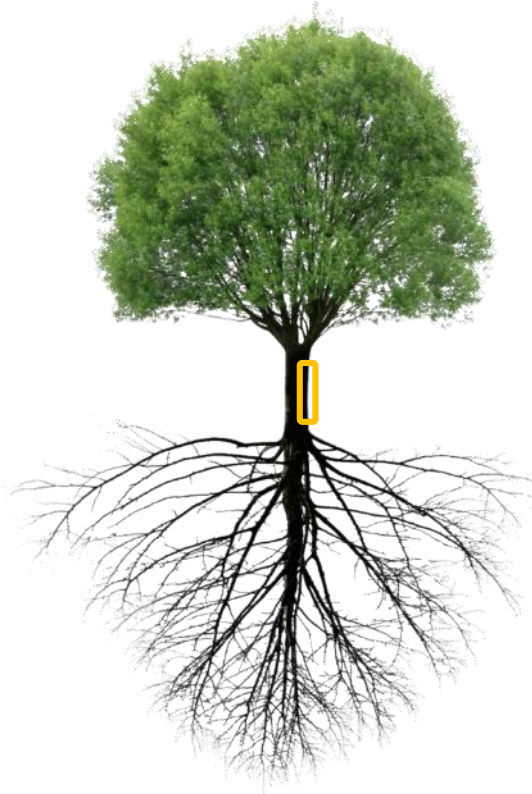


# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : exemple d'application/développement

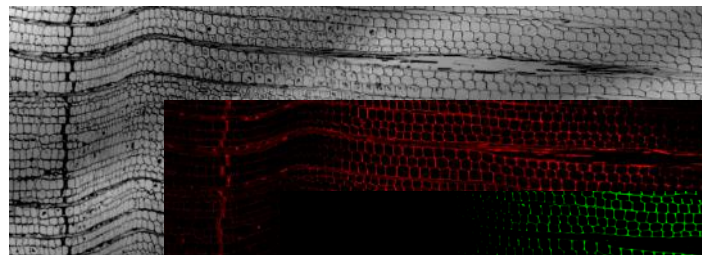
- Anatomie quantitative et formation du bois

Thèse Ignatius-Kristia Adikurnia (coord. C. Rathgeber)

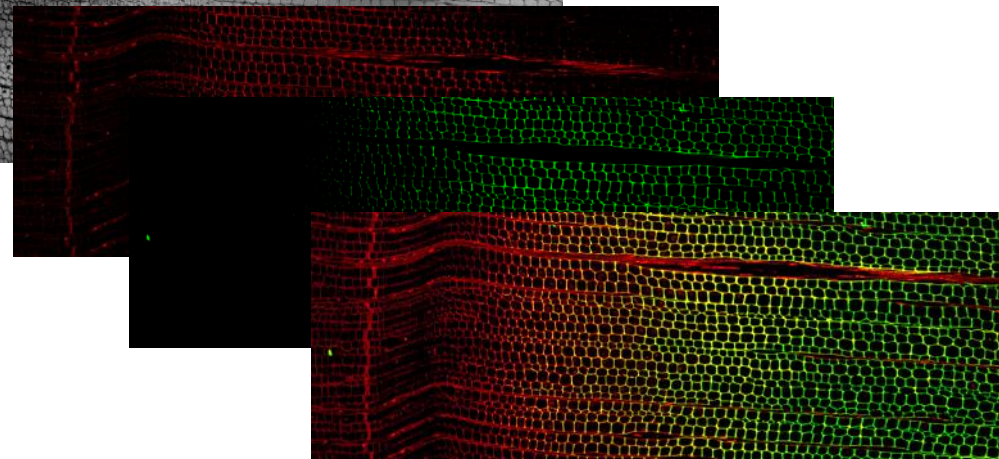
Dynamique intra-annuelle de la séquestration du carbone et du dépôt de lignine dans les essences de feuillus et de résineux des forêts tempérées



Microscopie photonique + lumière polarisée :  
identification des stages de différenciation cellulaire



Microscopie confocale : dépôt de lignine et  
sa quantification relative en fluorescence

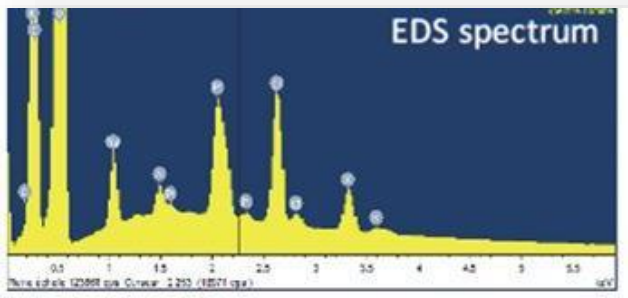


# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : outils

- Observation et analyse des tissus et cellules par microscopie électronique à haute et très haute résolution



Microscopie Electronique à Balayage et Micro-analyses minérales par spectrométrie de rayons X (EDS,WDS,  $\mu$ FLUOX)



Microscopie Electronique à Balayage  
Imagerie à très haute résolution (émission à effet de champ)  
Cryo-microscopie  
Microscopie corrélative  
Microscopie à transmission

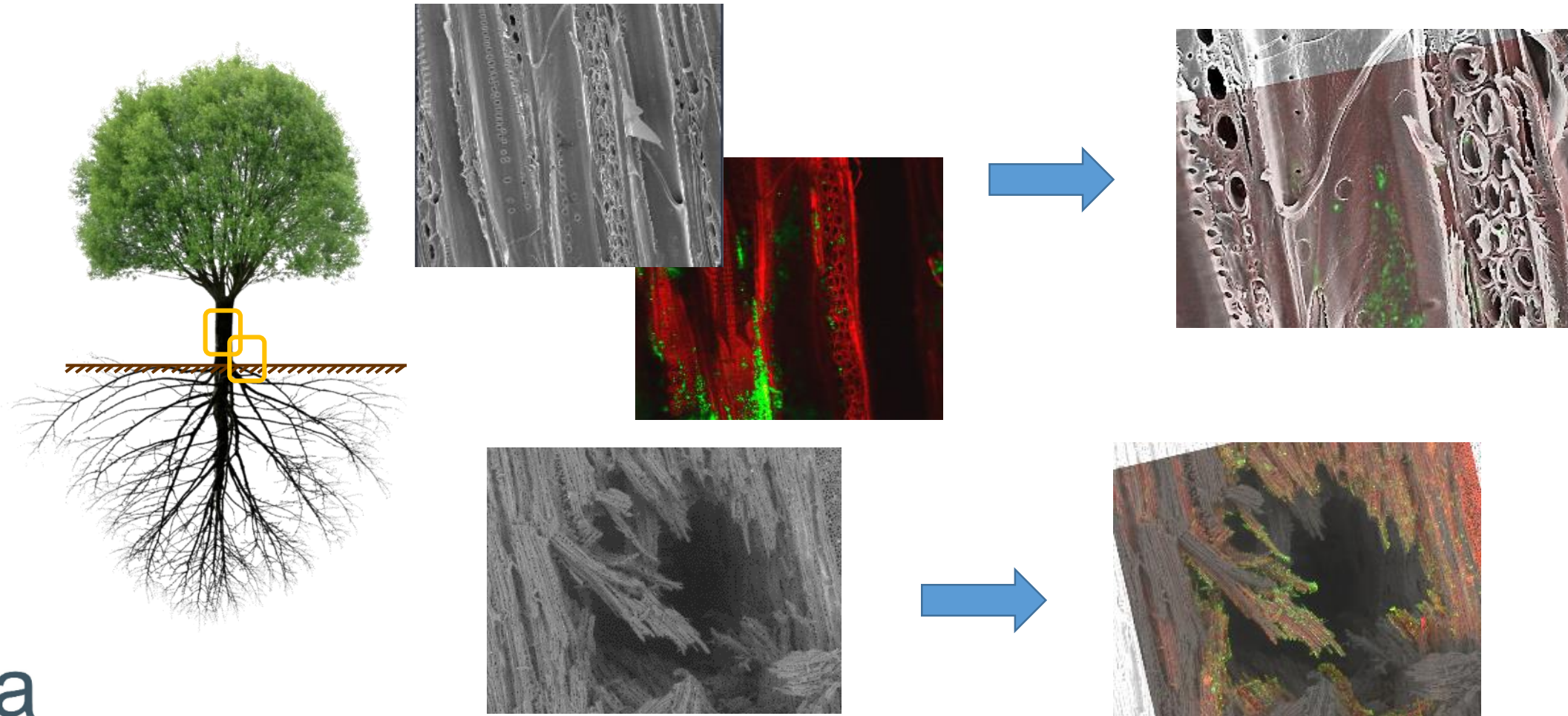


# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : exemple d'application/développement

- **Microscopie corrélative appliquée à la caractérisation de la dégradation du bois par les microorganismes**

Projets « Mécanismes de dégradation du bois »  
LERMAB (équipes matériaux et procédés) + UMR IAM (A. Besserer, A. Deveau)

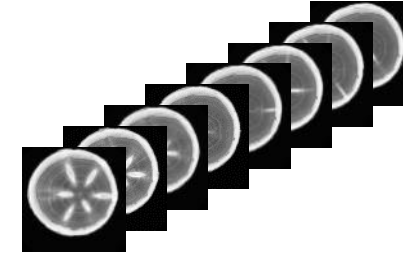
Suivi de la colonisation du bois par les micro-organismes (bois en décomposition dans un contexte de cycle du carbone mais également de bois mis en œuvre)



# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : outils

- **Scanner à rayons X (CT scan)**

- ✓ Scanner à rayons X dédié à l'étude du bois
- ✓ Méthode basée sur l'absorption des rayons X par l'objet, proportionnellement liée à sa masse volumique

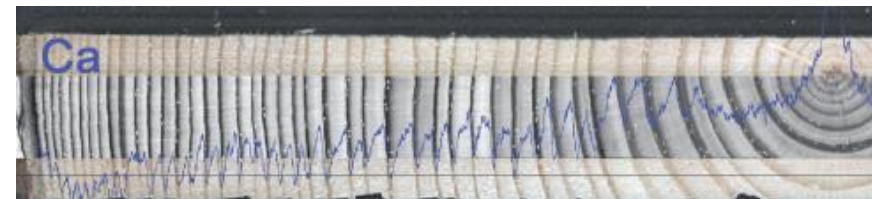


- **ITRAX (multiscanner radiographie / fluorescence des rayons X)**

- ✓ Microdensitométrie : appréciation des variations de densité du bois à l'échelle annuelle et intra-annuel
- ✓ Détermination
  - ✓ par pas de 20  $\mu\text{m}$  des variations de densité
  - ✓ par pas de 50  $\mu\text{m}$  des variations d'abondance de micro-éléments



Microscopie Electronique à Balayage et Micro-analyses minérales par spectrométrie de rayons X (EDS,WDS,  $\mu\text{FLUOX}$ )

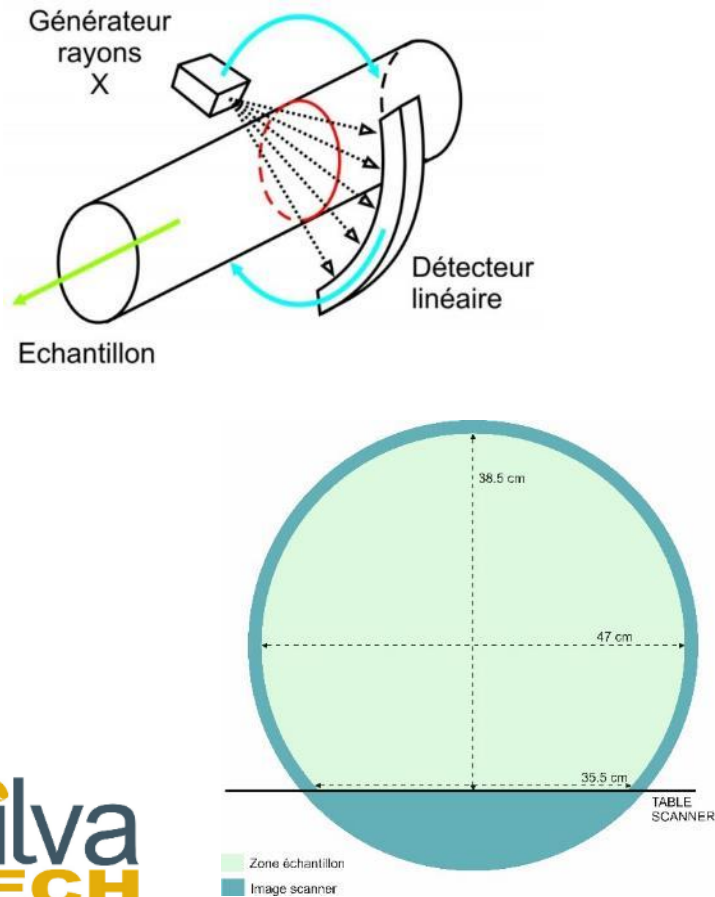
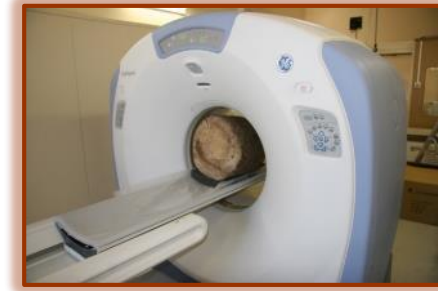




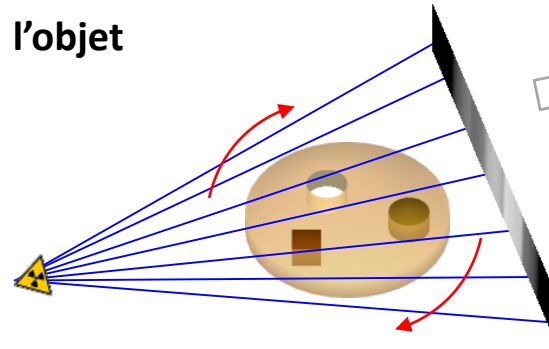
# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : outils

- **Scanner à rayons X (CT scan)**

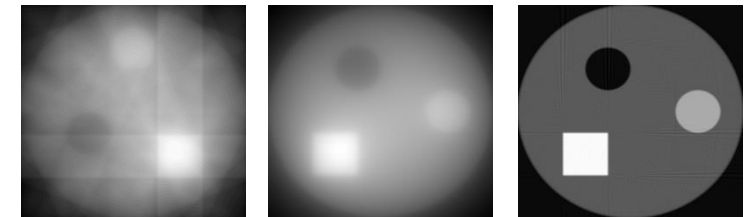
- ✓ Scanner à rayons X dédié à l'étude du bois
- ✓ Méthode basée sur l'absorption des rayons X par l'objet, proportionnellement liée à sa masse volumique



Source de rayons X en rotation autour de l'objet



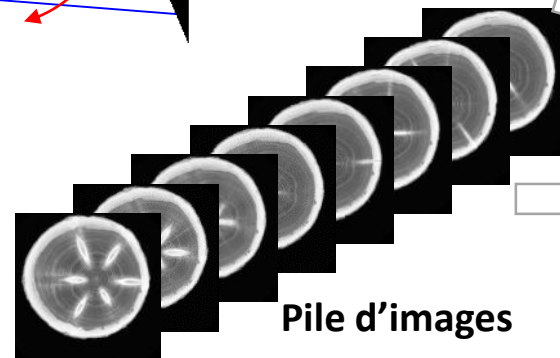
Reconstruction d'une coupe à partir des différentes projections



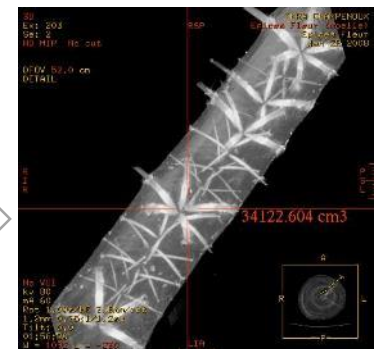
8 images

180 images

360 images



Pile d'images



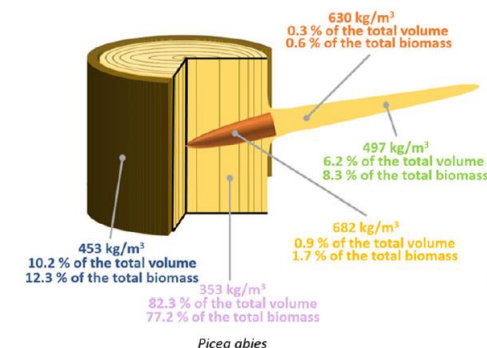
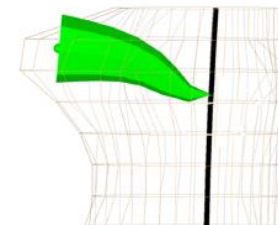
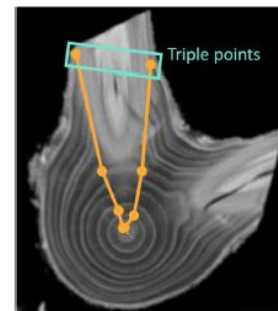
# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : exemple d'application/développement

## • Scanner RX : Variabilité de la masse volumique -> estimation fine de la biomasse

Thèse Antoine Billard (coord. F. Colin; F. Longuetaud, F. Mothe, Projets « ExtraFor'Est »)

Pour une valorisation optimisée de la biomasse forestière basée sur une connaissance de la variabilité de la masse volumique dans l'arbre

Démarche = déterminer la masse volumique de différents compartiments de l'arbre (tronc, branches, écorce et nœuds) pour réaliser une estimation de la répartition de biomasse dans les différents compartiments de l'arbre

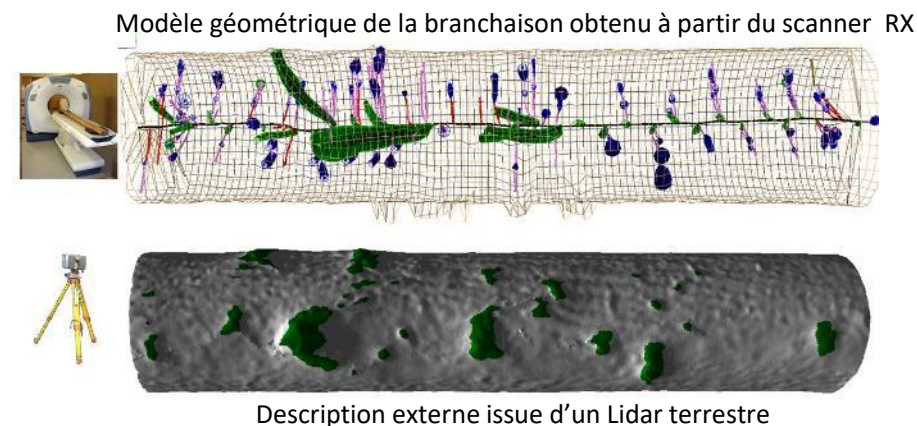


## • Scanner RX : Aspect externe -> qualité interne

ANR WOODSEER (coord. T. Constant)

Etablir le lien entre les caractéristiques externes d'une singularité et son emprise interne via l'IA

Démarche = Détection des singularités externes au LIDAR / Reconnaissance du type & caractérisation des singularités / Liens entre singularités externes et défauts internes



## • ITRAX : approches complémentaires microdensitométrie / analyse chimique

Thèse Anna Stulcova (ANR CASIMODO, coord. Alexa Dufraisse)

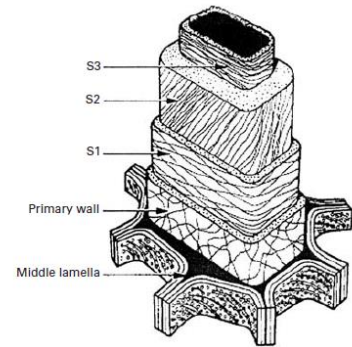
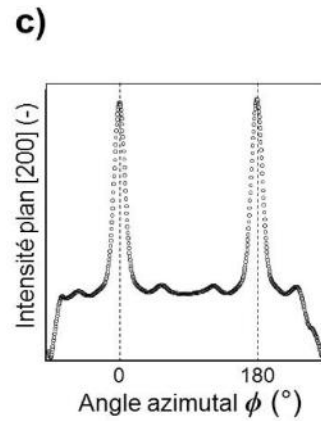
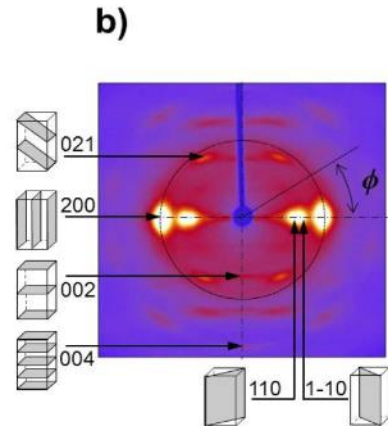
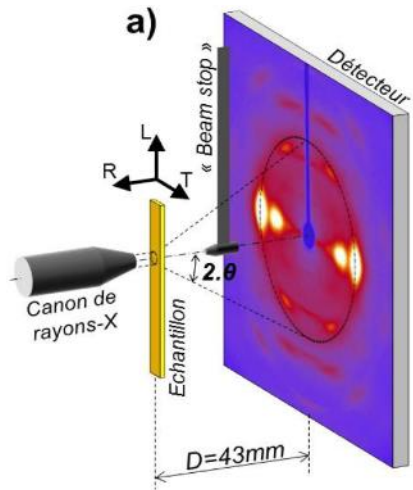
Multi-proxy provenance studies of carbonized wood: elemental and isotopic signatures

Démarche = déterminer l'effet de la carbonisation sur la signature chimique et isotopique du bois, but détermination de la provenance des bois carbonisés de Notre Dame



# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : outils

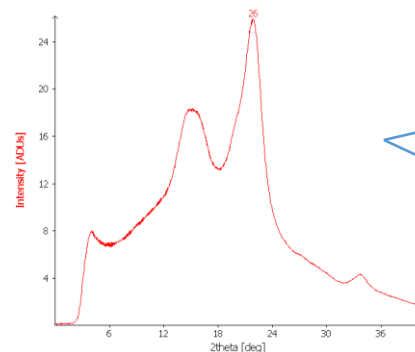
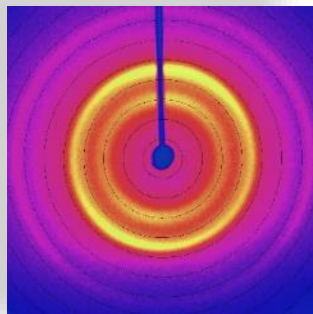
- **Diffractomètre RX (structure cellulose)**
- ✓ Mesure de l'angle des microfibrilles (AMF) / indice de cristallinité et distance de la maille du cristal de cellulose



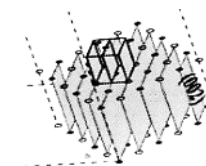
AMF

Dimension des échantillons : 20\*10\*1 mm

Poudre



distance de la maille du cristal

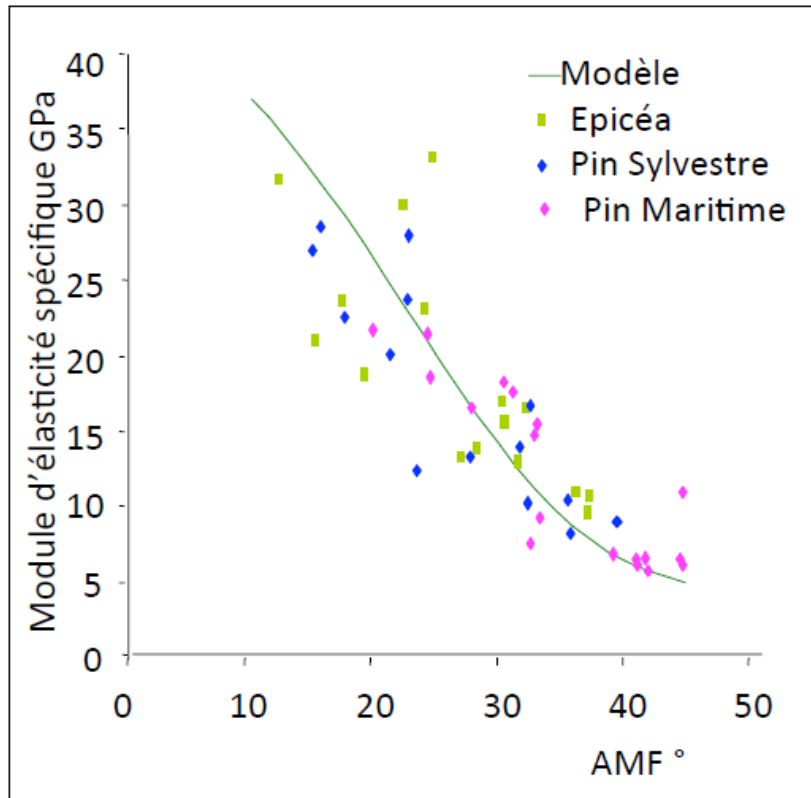


Indice de cristallinité

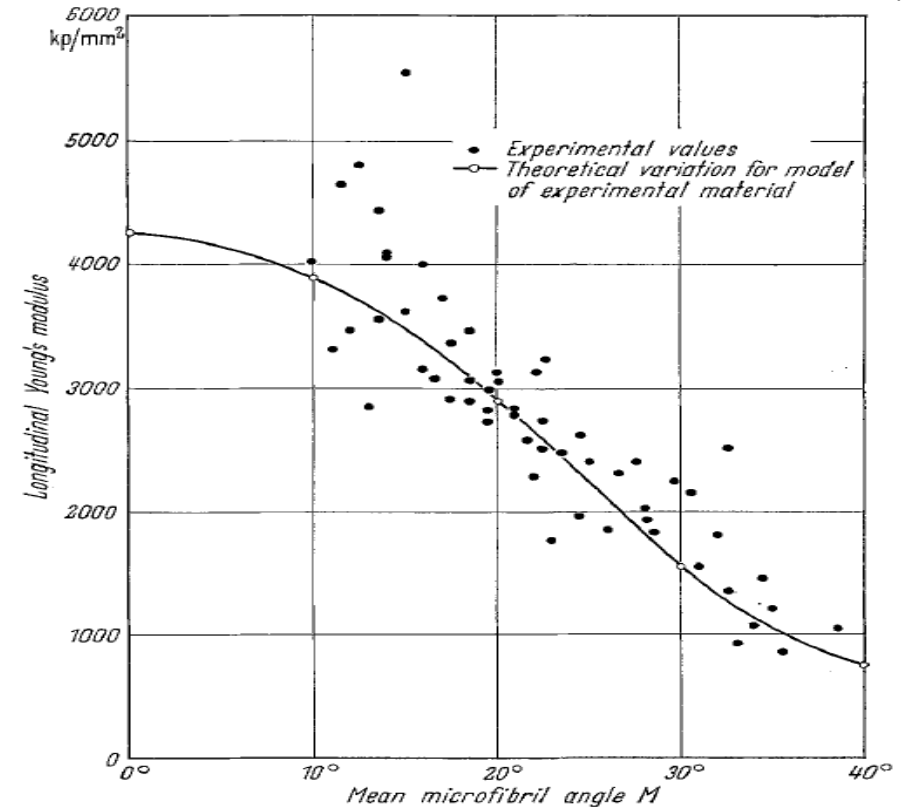
# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : exemple d'application/développement

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

(Cave 1968)



Relation Module d'élasticité spécifique (paroi) / AMF



Relation Module d'élasticité / AMF



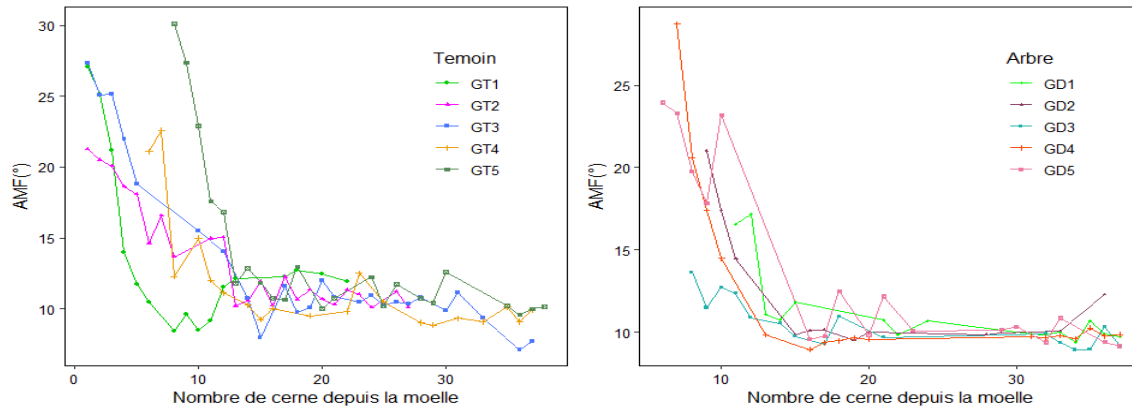
# PÔLE Imagerie et Mesures Multi-Modales : exemple d'application/développement

- **L'angle des microfibrilles de cellulose pilote la flexibilité de la fibre et du bois (combiné à la densité)** (projet Wind-In-Wood J. Dlouha)

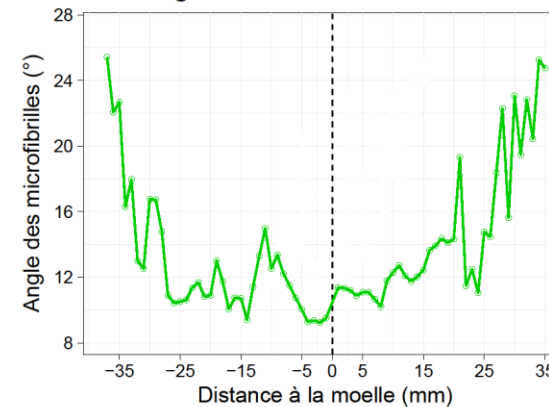


- **L'angle des microfibrilles de cellulose est un paramètre qui permet d'étudier la transition juvénile / adulte** (Thèse Jean Léon Zue Ondo)

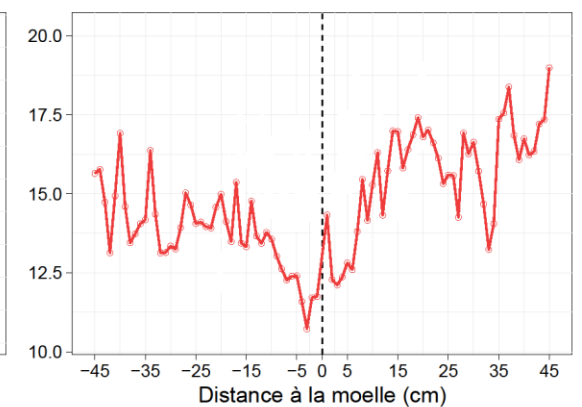
Douglas



Kevazingo



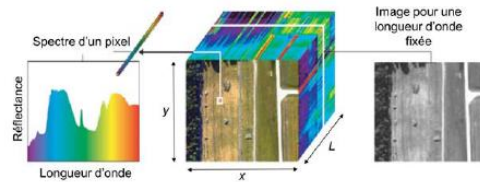
Okoumé



# Evolutions

- Nouveaux équipements

- ✓ Usinage / Préparation échantillons bois vert
- ✓ Imagerie hyperspectrale



Thèse Ludivine Nus (UL, CRAN)

Méthodes rapides de traitement d'images hyperspectrales. Application à la caractérisation en temps réel du matériau bois



- Système basé sur la réflectance rayonnement lumière blanche
- Capteurs analysent réponse sur gamme spectrale (400 à 2500 nm, UV - lumière visible - proche IR)

- ✓ Cryo-MEB



- Approche cryo-microscopie
- Pression étendue pour observations échantillons humides / sans préparation préalable
- Logiciel ZEISS ATLAS



# Interagir avec nous ?

Accès à nos services ? (*chartes, demandes de travaux, formations, publis...*)



<https://silvatech.isc.inrae.fr/>

<https://www6.nancy.inrae.fr/silva/Plateformes/SilvaTech>

<https://www6.inrae.fr/in-sylva-france/Services/In-Lab/Silvatech>

<https://pluginlabs.univ-lorraine.fr/>

Nous contacter, nous suivre, nous citer ?



[silvatech@inrae.fr](mailto:silvatech@inrae.fr)



[@silvatechinrae](https://twitter.com/silvatechinrae)



Structural and functional analysis of tree and wood Facility  
doi: 10.15454/1.5572400113627854E12

