

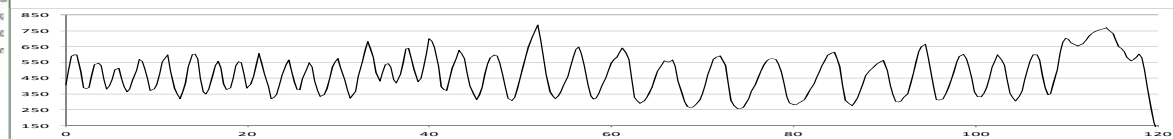
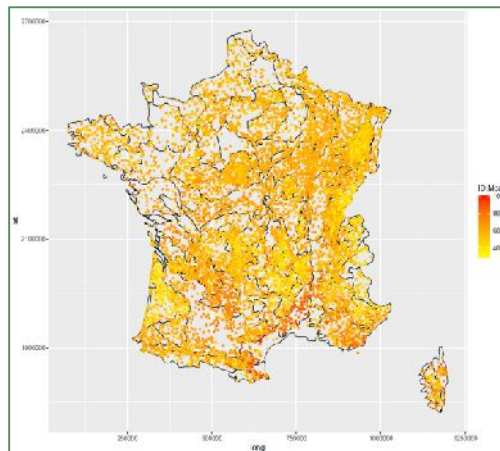
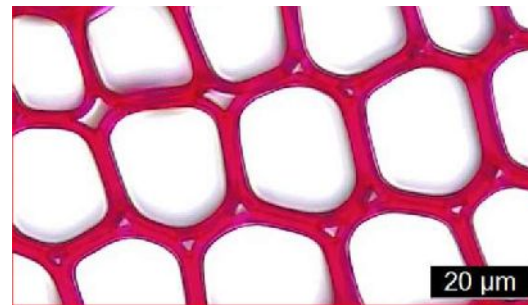
Densité et anatomie des bois

De quoi avons-nous besoin et que sait-on mesurer?

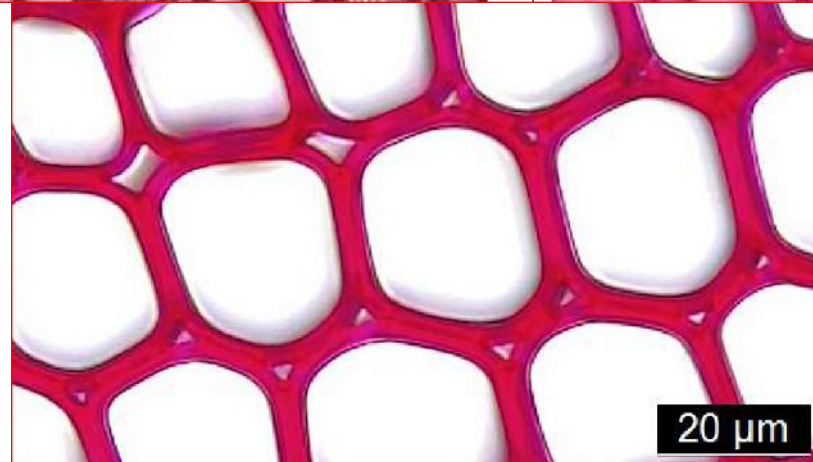
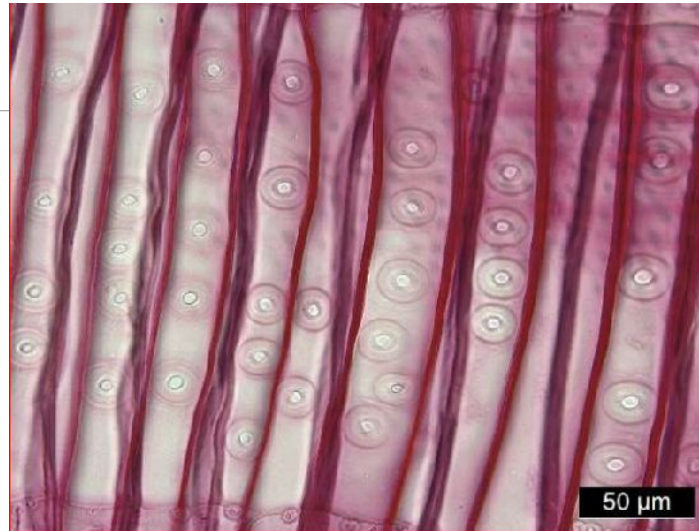
Jean-Michel Leban et Marie-Christine Trouy

BEF INRAE, Champenoux, Lermab ENSTIB, Université de Lorraine

et tous les ingénieurs et techniciens de l'IFN, de la plateforme Xyloscience
et de la société Radiolor



LEVIN, S. A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73(6), 1943–1967. <https://doi.org/doi:10.2307/1941447>



Planches extraites de Trouy MC et al., 2023, Atlas d'anatomie des bois, Projet XyloDensMap

Densité du bois

Pourquoi c'est important?

Résultante intégrée de l'anatomie du bois

Le meilleur proxy des propriétés physiques, mécaniques et hydrauliques

Nécessaire pour la quantification du carbone forestier et de la biomasse

Comment c'est mesuré?

Volume, poids et **contrôle de l'humidité** (basse résolution et mesures pas chères)

Microdensitométrie (haute résolution, chronophage et donc cher), **CERD**

XDM (**CARDEN**) permet la mesure à haute résolution, à haut débit et pas cher

Jacquin, P., Mothe, F., Longuetaud, F., Billard, A., Kerfriden, B., & Leban, J.-M. (2019). CarDen: A software for fast measurement of wood density on increment cores by CT scanning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156(1), 606–617.

Quelles sont les sources de variation?

Espèces, génétique, intra et inter arbres, ontogénie, taux de croissance, climat, sol etc.

A propos des bases de données de densité des bois

A haute résolution, faible nb d'espèces avec un max de 30 à 100 arbres

A faible résolution, beaucoup d'espèces, peu d'échantillons par espèce

En comptabilité du carbone forestier, une valeur moyenne par espèce

Compilation de données existantes, pb, *i.e.* "measuring wood density correctly..."

Williamson, G. B., & Wiemann, M. C. (2010). Measuring wood specific gravity...correctly. *American Journal of Botany*, 97(3), 519–524.

Echelles, questions et applications

LEVIN, S. A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73(6), 1943–1967.



Echelle d'analyse	Applications	Problématique scientifique
Ressource Forestière Régionale et Nationale	<i>Stratégie Forestière Comptabilité du carbone forestier Implantation et viabilité des industries</i>	<i>Modélisation statistique</i>
Peuplement	<i>Approvisionnements</i>	<i>Simulation intégrée Croissance-QB</i>
Arbre	<i>Exploitation,</i>	<i>Morphologie-Structure- Développement</i>
Billon	<i>Première Transformation traçabilité</i>	<i>Optimisation Traitement de signal</i>
Planche	<i>Seconde transformation</i>	<i>Modélisation mécanique</i>
Cerne	<i>Classement Dendrochronologie</i>	<i>Formation du bois Anatomie, mécanique</i>

20 K à 100 K arbres

30 à 100 arbres

10 à 100 arbres
1 à 1000 cernes

Franceschini, T., Bontemps, J.-D., Gelhaye, P., Rittie, D., Herve, J.-C., Gegout, J.-C., & Leban, J.-M. (2010). Decreasing trend and fluctuations in the mean ring density of Norway spruce through the twentieth century. *Annals of Forest Science*. <https://doi.org/10.1051/forest/2010055>

Franceschini, T., Lundqvist, S.-O., Bontemps, J.-D., Grahn, T., Olsson, L., Evans, R., & Leban, J.-M. (2012). Empirical models for radial and tangential fibre width in tree rings of Norway spruce in north-western Europe. *Holzforschung*. <https://doi.org/10.1515/HF.2011.150>

Sources de variabilité de la densité et de l'anatomie des bois.

Intra-Arbre

Gradient interne lié au développement et à la croissance secondaire.

- Les indicateurs sont l'âge cambial des cernes et la position verticale.

Les fluctuations liées à la vitesse de croissance sont

- Soit consécutives de la sylviculture (modèle)
- Soit des variations climatiques (bruit ou modèle)



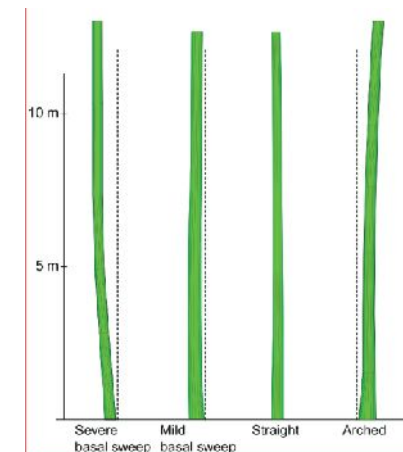
Inter-Arbre

Effet de la position dans le peuplement, de la station, de l'origine génétique individuelle

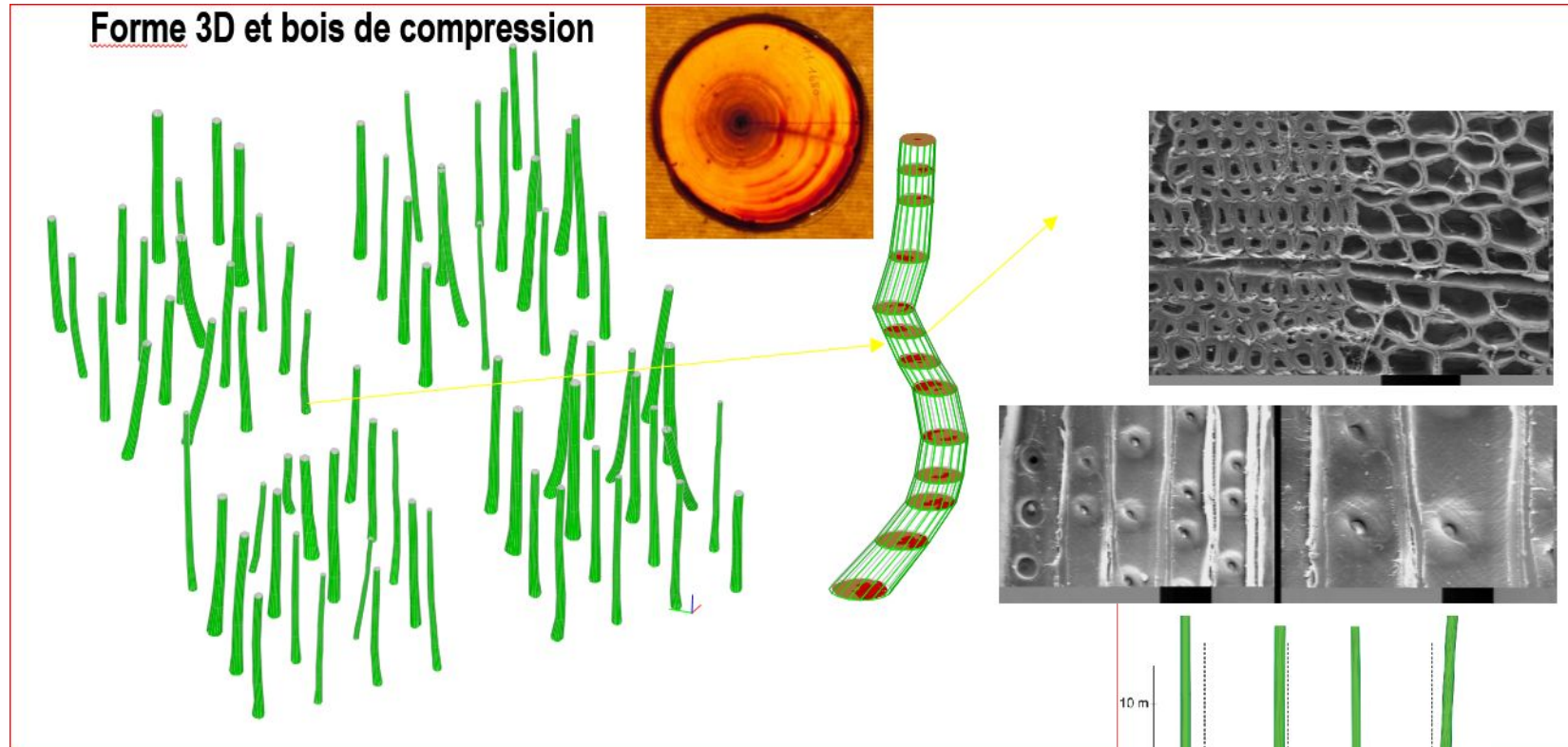
- Les indicateurs sont la localisation et les mesures d'inventaire

Les fluctuations de croissance sont

- Soit consécutives à des accidents de développement
- Soit des défauts de forme (bruit)



Forme 3D et bois de compression

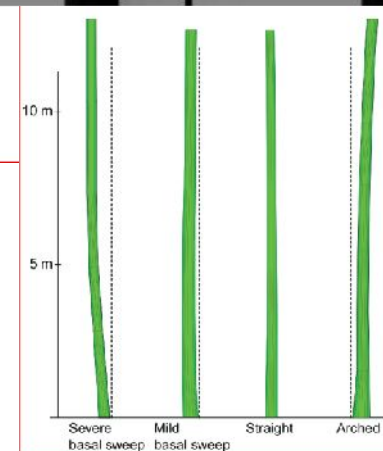


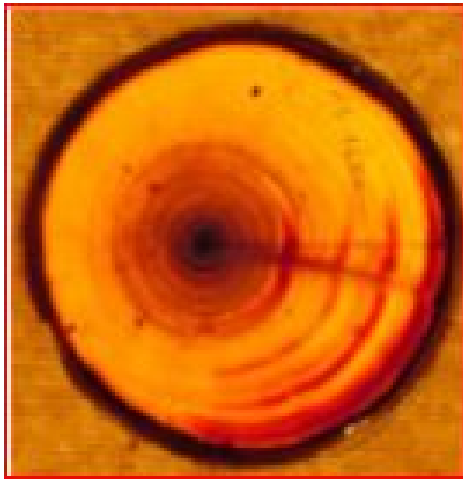
Hapca, A. I., Mothe, F., & Leban, J.-M. (2007). A digital photographic method for 3D reconstruction of standing tree shape. *Annals of Forest Science*, 64, 631–637.

<https://doi.org/10.1051/forest:2007041>

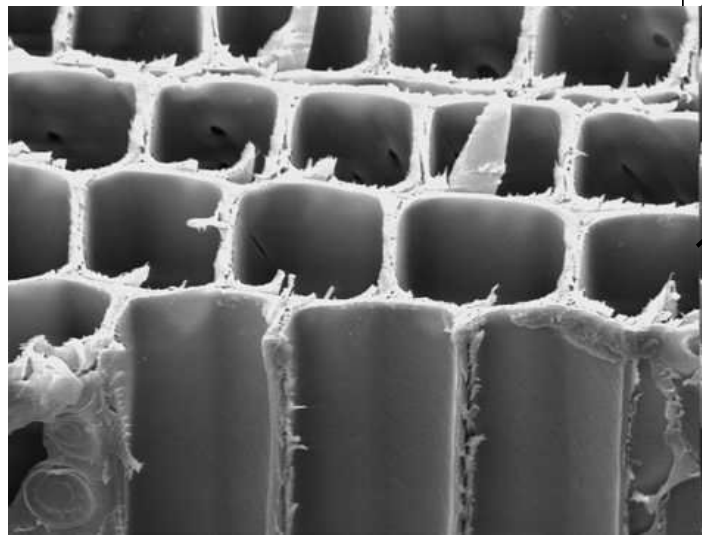
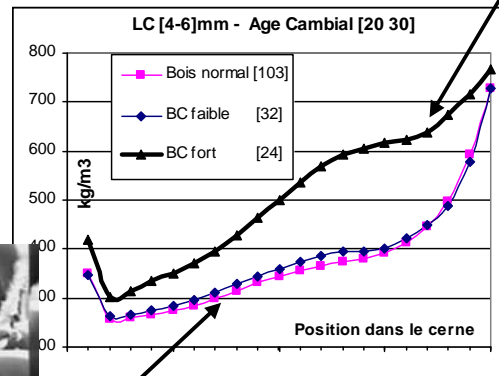
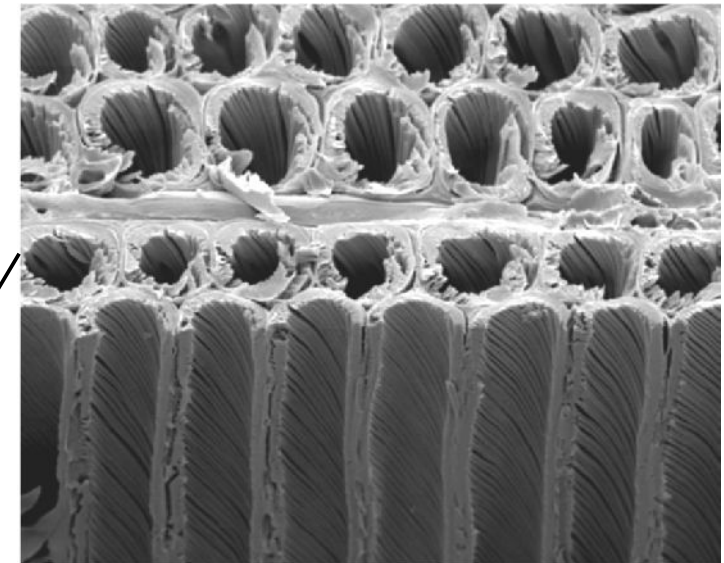
Hapca, A., Mothe, F., & Leban, J.-M. (2008). Three-dimensional profile classification of standing trees using a stereophotogrammetric method. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(1), 46–52.

<https://doi.org/10.1080/02827580701803379>



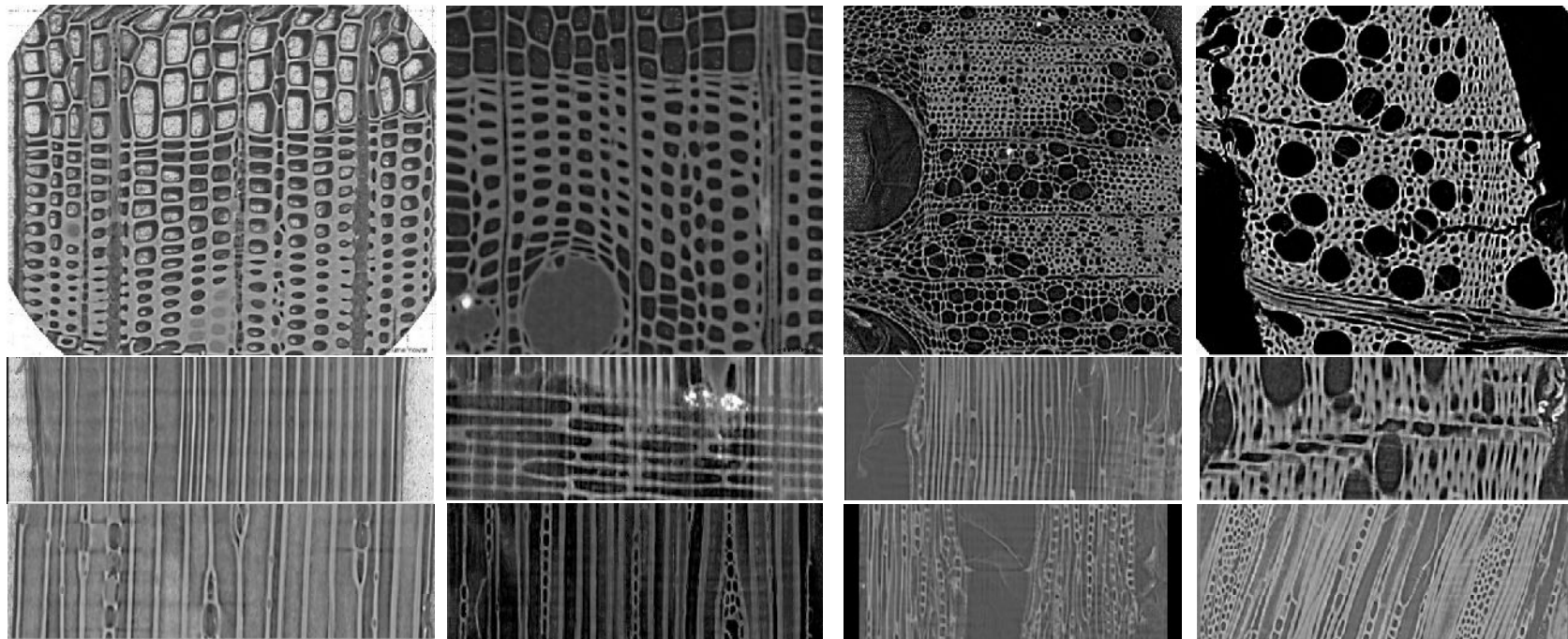


Visualisation du bois de compression sur disques fins rétroéclairés



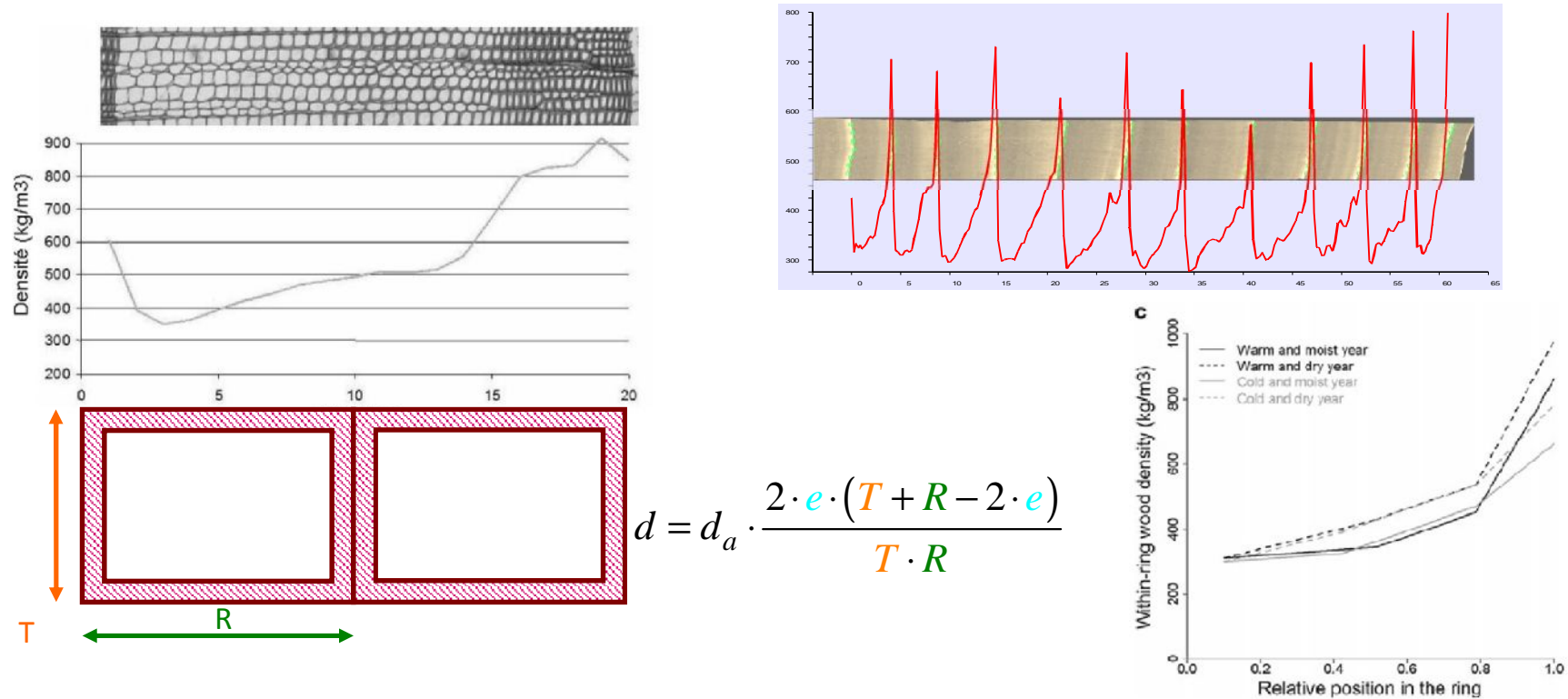
Quantifier le bois de compression avec des mesures macroscopiques validées par la réalisation de quelques coupes anatomiques, ensuite si nécessaire quantifier l'intensité du bois de compression (fort, faible) en intra cerne par microdensitométrie et le MEB pour les illustrations

Xray micro CT tomography, spruce, pine, oak and beech Wood density, quantitative result of the wood anatomy



Images Woodlab-UGent, Jan Van den Bulcke, Joris Van Acker

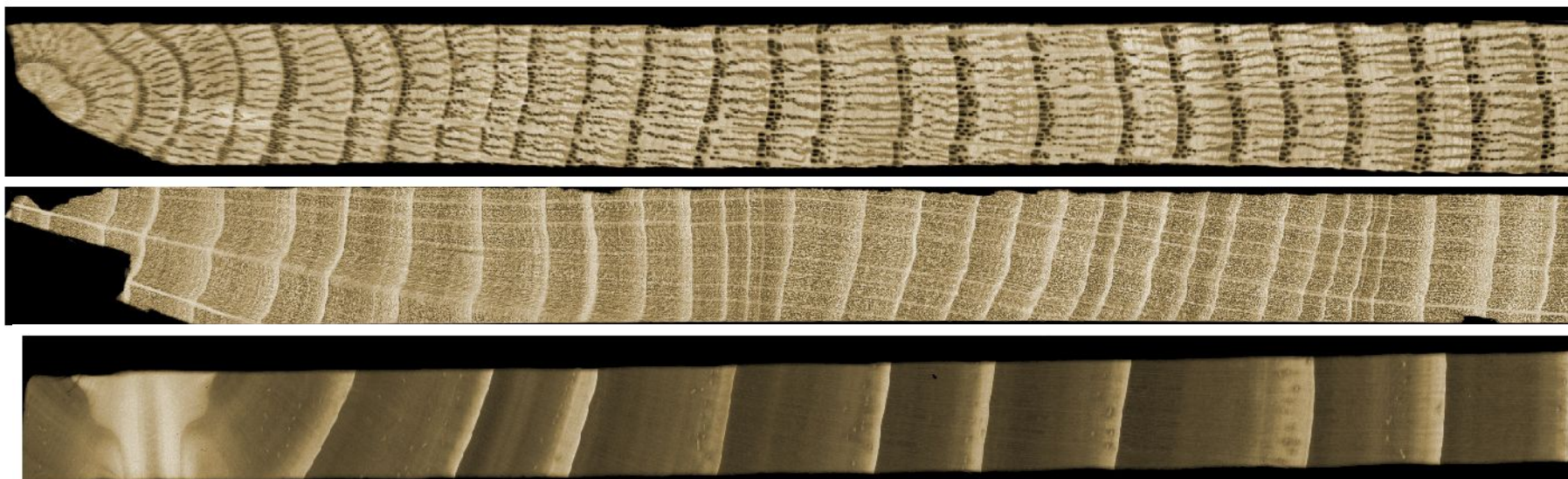
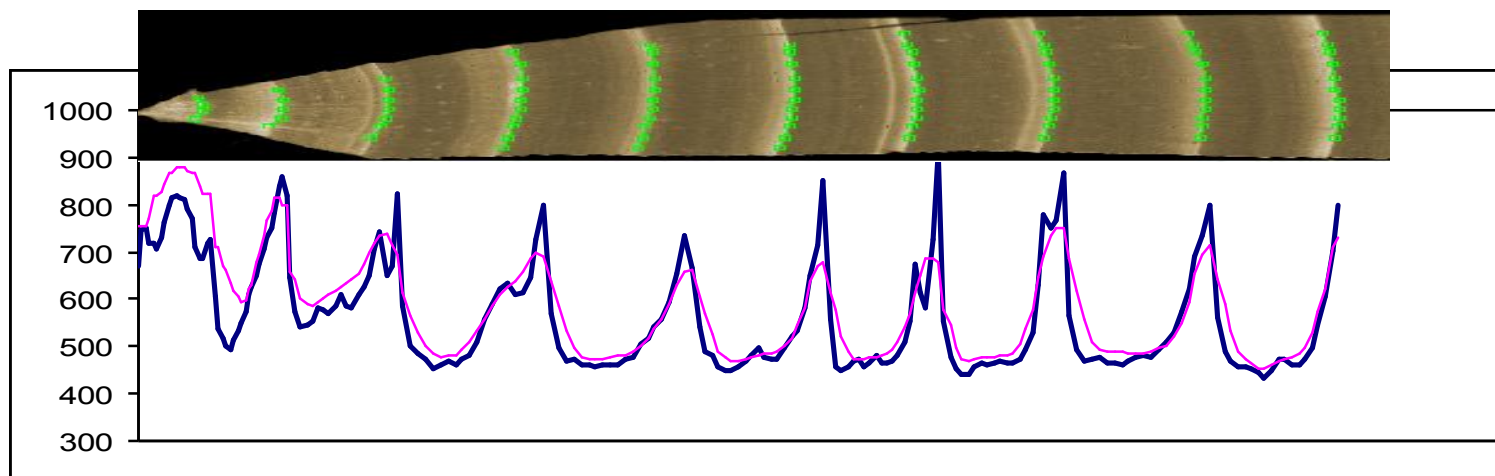
Within rings and between rings wood density variations, Norway spruce Intra ring wood density variations are the result of the cell sizes variations

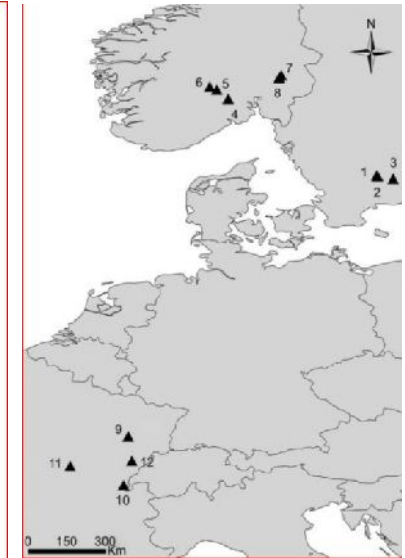
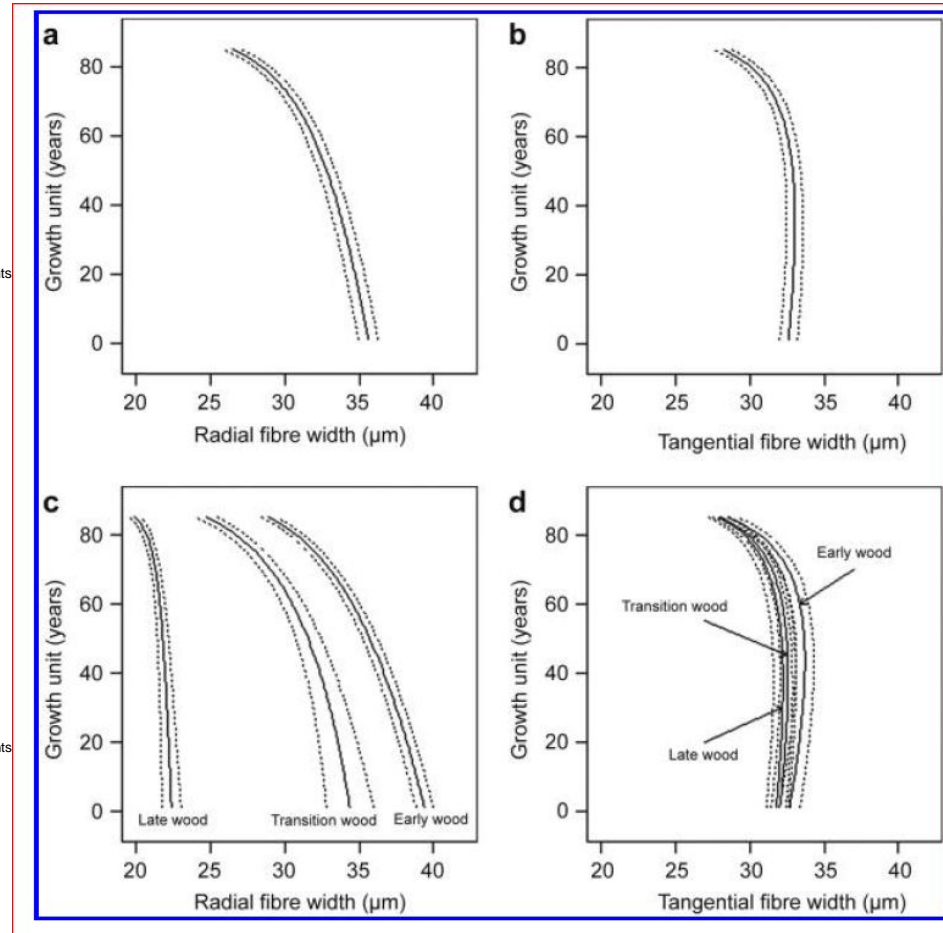
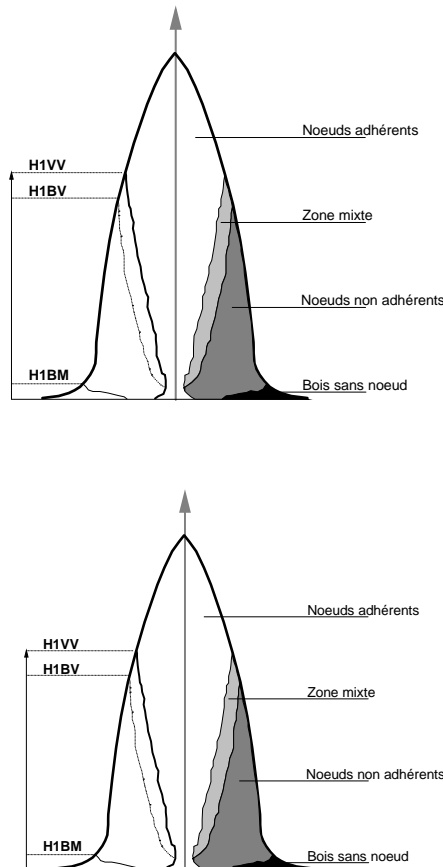


Decoux, V., Varcin, E., & Leban, J.-M. (2004). Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. *Annals of Forest Science*, 61(3), 251–262.

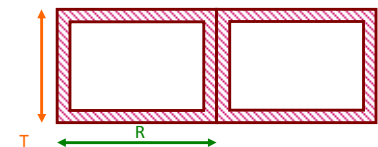
Franceschini, T., Longuetaud, F., Bontemps, J. D., Bouriaud, O., Caritey, B. D., & Leban, J. M. (2013). Effect of ring width, cambial age, and climatic variables on the within-ring wood density profile of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. *Trees - Structure and Function*, 27(4), 913–925.

Bouriaud, O., Leban, J. M., Bert, D., & Deleuze, C. (2005). Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology*, 25(6), 651–660.





36 arbres de
12 plantations
de trois pays



Franceschini, T., Lundqvist, S.-O., Bontemps, J.-D., Grahn, T., Olsson, L., Evans, R., & Leban, J.-M. (2012). Empirical models for radial and tangential fibre width in tree rings of Norway spruce in north-western Europe. *Holzforschung*.

How to perform High resolution wood density measurements on high number of trees?

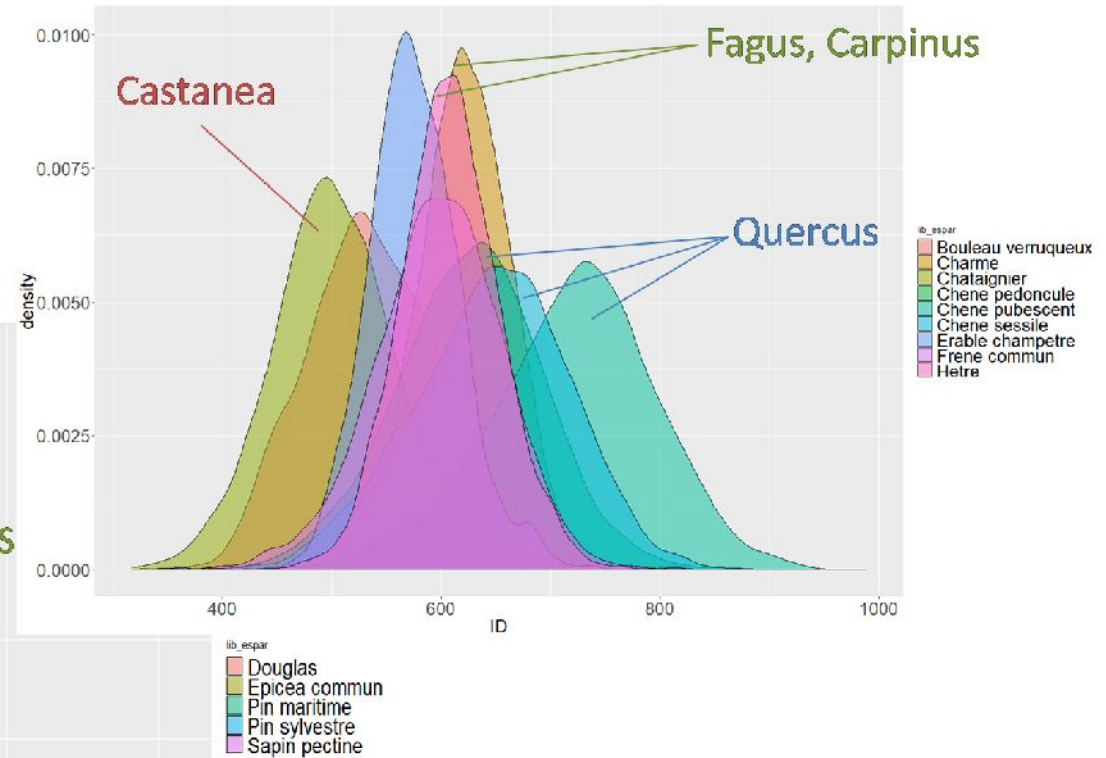
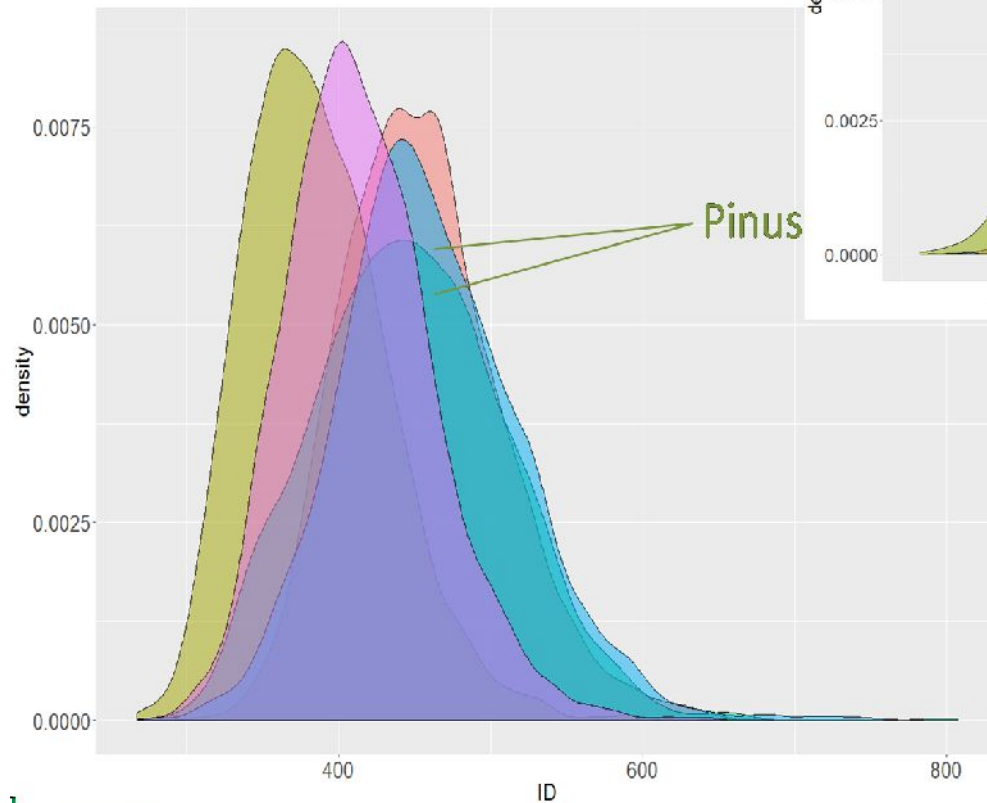


- 1) **Material**, Enveloppes, stamps, increment core boxes
- 2) **Sampling increment cores** during the forest inventory
Pith cores (age), external cores
dendrometric field measurement, sending
at INRA by post, reception, optical scan,
green, oven dried,
- 3) **X ray medical scanner**
One scan, 1500 cores
- 4) **Images analysis**
Automatic/semi automatic image treatment for
extracting the wood density values for each
increment core
- 5) **Cross checking** with field data base and merging the
individual tree and forest plots measurements
with wood density **and other wood properties**
- 6) A new **data base** and a new **Xylothèque** for the
measurements of other wood properties

XDM at a glance

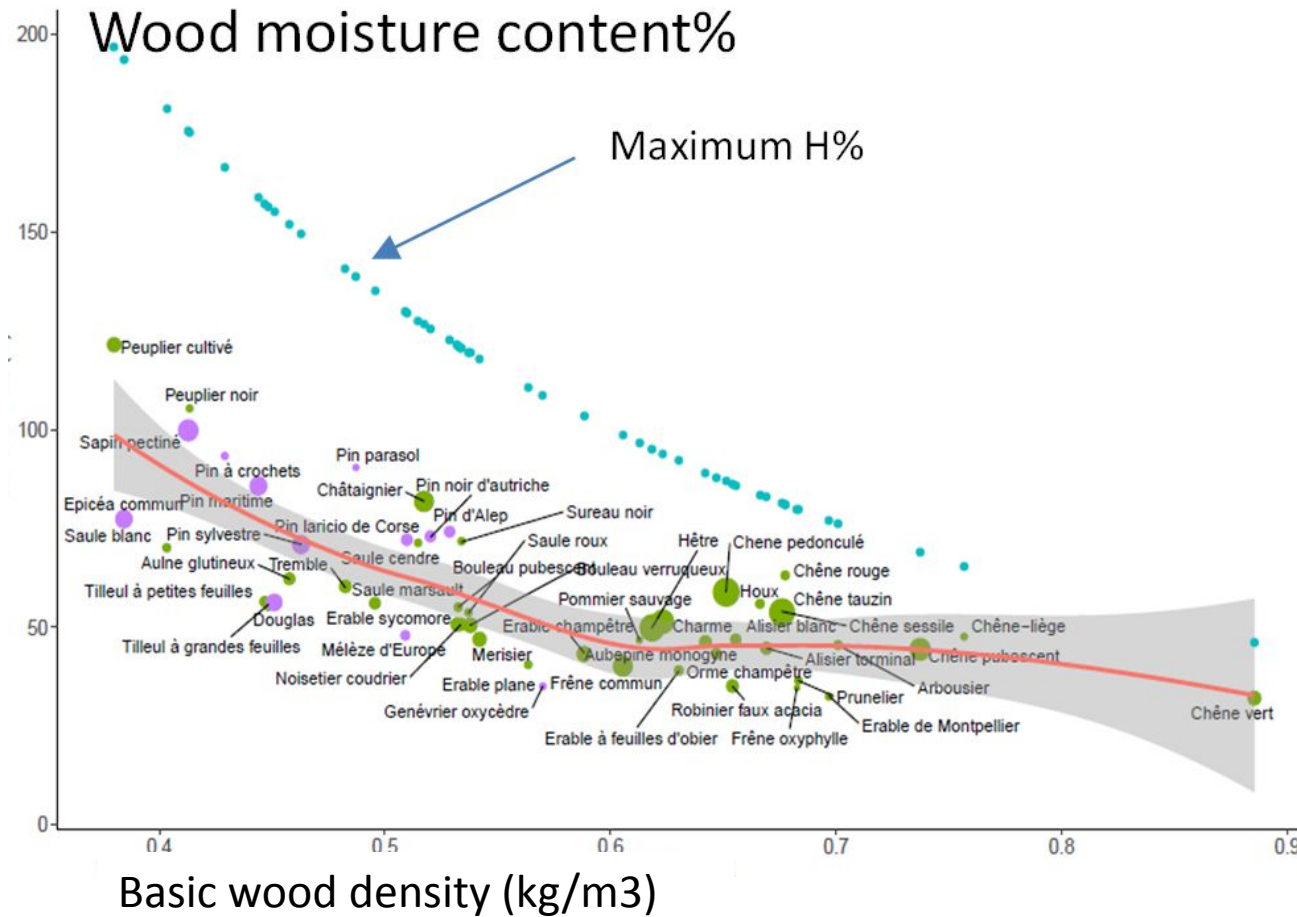
<https://www.researchgate.net/project/XyloDensMap>

Pour 21 essences forestières,
Les fiches détaillées de propriétés des bois
sont en ligne sur ResearchGate



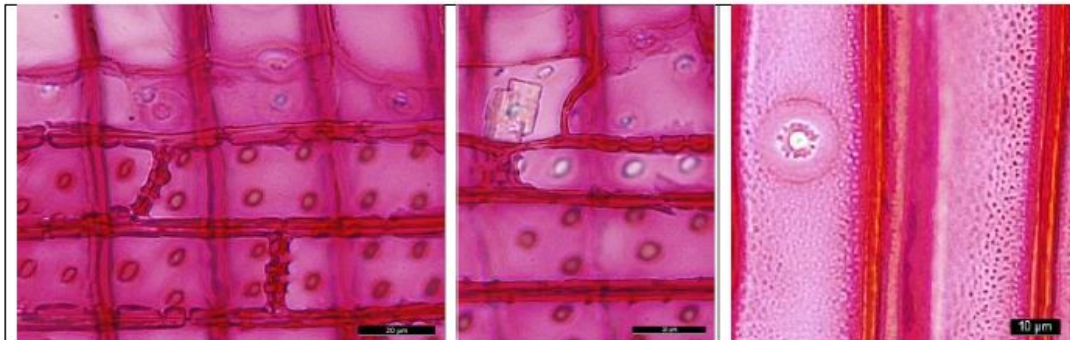
<https://www.researchgate.net/project/XyloDensMap>

<https://www.researchgate.net/publication/337423707> Mesure de l'humidité du bois dans les arbres variations dans les ressources forestières françaises



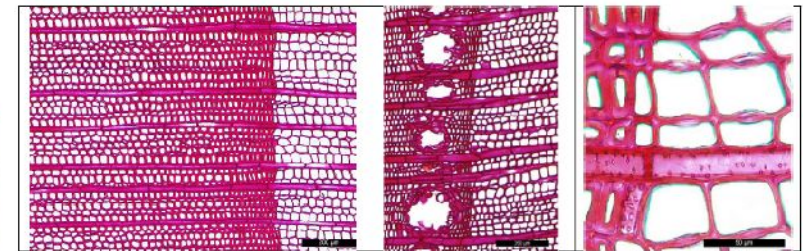
Conclusions

- Besoin de décrire et d'interpréter les variations de la densité des bois
- Débuter par la mesure à l'échelle macroscopique, puis à haute résolution et enfin aborder la description de l'anatomie des bois (nb décroissant d'échantillons)
- Dans tous les cas mesurer la densité correctement! Calibrer et contrôler l'humidité, le bois est hygroscopique
- Capitaliser doit être un impératif, intégrer les mesures dans BDD publiques, XDM
- Sensibiliser à l'intérêt des xylothèques, un projet national ? XDM
- Alerter sur la perte de compétences en anatomie des bois

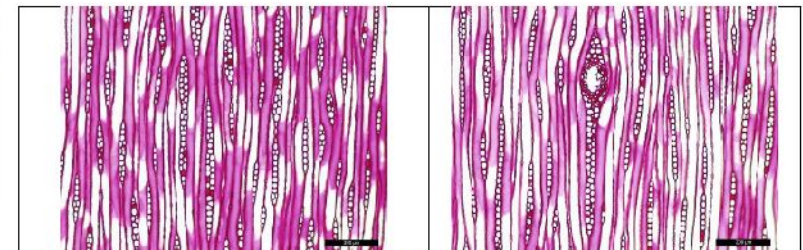


Figures 4a, 4b et 4c. Coupes radiales de *Cedrus atlantica* (MP) (barres d'échelle. a et b : 20 μ m, c : 10 μ m) ; parenchyme radial aux parois épaisses et ponctuées (a et b), 3 à 4 punctuations de type taxodiode par champ de croisement (a et b), présence de trachéides radiales (a), présence de cristaux prismatiques (b), couche verruqueuse et torus lobé de la punctuation aréolée (c)

Planches extraites de Trouy MC et al., 2023, Atlas d'anatomie des bois, Projet XyloDensMap



Figures 2a, 2b et 2c. Coupes transversales de *Cedrus atlantica* (MP) (barres d'échelle. a et b : 200 μ m, c : 50 μ m) ; a : transition bois initial/bois final graduelle, absence de canaux résinifères longitudinaux normaux, b : parfois présence de canaux résinifères longitudinaux traumatiques en série tangentielle, au niveau desquels les rayons apparaissent bisériés ; c : parenchyme longitudinal marginal



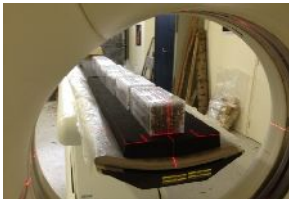
Figures 3a et 3b. Coupes tangentielles de *Cedrus atlantica* (MP) (barres d'échelle. 200 μ m) ; absence de canaux résinifères radiaux normaux (a), parfois présence de canal résinifère radial (b), présence de rayons ligneux partiellement bisériés (a et b)

XDM staff

sampling cores, data base management, image processing, wd measurements

Wurpillot	Stéphanie
Dauffy	Vincent
Delhaye	Julien
Morneau	François
Picot	René
Socard	Didier
Touzet	Thierry
Versavel	Jérôme

Hervé	Jean-Christophe
Bontemps	Jean-Daniel



ALIX	Jean Patrick
ANTONOT	Francis
BAIOCCHI	Thierry
BAYLE	Elise
BELLETTIER	David
BENOIT DE	
COIGNAC	Sylvain
BIRCKER	Loïc
BLOND	Wilfried
BOITHIAS	Bernard
BOLLAND	Patrice
BOULAY	Fabrice
CANO	Roger
CARCROSSE	Emmanuel
CARRARO	Julien
CAUMONT	Luc
CEPPARO	Sébastien
CHATON	Jean-Paul
CHERMETTE	Robert
CHRETIEN	Fabrice
COURTES	Jean François
DAUBIGNEY	Lénaïc
DAVIAUD	Jean François
DEFONTAINE	Vincent
DELAYAT	Jean-Marc

DELQUAIRE	Philippe
DESIDERIO	Christian
DEYZIEUX	Paul
DONADIEU	Frédéric
DOSTES	Patrick
EYCHENNE	Guy-Alain
FAYE	Frédéric
FROT-COUTAZ	Florent
GUICHARD	Raymond
HARDEL	Denis
HUGEROT	Yves
JULLIN	Franck
LALLEMANT	Gil
LAUNAY	Jean-François
LE BARILLIER	Franck
LEDEME	Guillaume
LEGUEN	Yves
LEHEU	Yann
LEMAITRE	Jean Michel
LORIENTE	Claude
LOUVETON	Yves-Marie
LUGAGNE	Alain
MAGNETTE	Frédéric
MALEMANCHE	Laure
MARCUS	Christophe

MARTIN	Stéphane
MICHEL	Christian
MONASSE	Marc
OLLIER	Jean Louis
PAQUE	Guillaume
PAYEN	David
PEDROT	Lysianne
PIETRI	Vincent
PIHOU	Olivier
POUVREAU	Jean Sébastien
RICHARD	Nicolas
RICHARD	Pascal
RIVES	Jean François
SENOVILLE	Pascal
TAILLIEZ	Alain
TOUSSAINT	René
VAILLOT	Jean Baptiste
VIDEAU	William
VIELLEDENT	Mélodie
VILLEMONT	Florent

Boulouet	Sophie
Charrier	Robin
Dallamuta	Morgan
Doucerain	Mathilde
Dupont-Martin	Kevin
Jaozandry	Caroline
Kerfriden	Baptiste
Lacarin	Maxime
Lafontaine	Simon
Randriamananjara	Aroniaina
Roy	Sanjoy
Savagner	Lucile
Taravella	Angèle
Taupin	Amélie

Cornu	Emmanuel
Freyburger	Charline
Gelhaye	Pierre
Haroué	Maryline
Motz	Adeline

Jacquin	Philippe
Longuetaud	Fleur
Mothe	Frédéric