

# Promenons-nous dans LE bois

## Anatomie d'un tissu végétal multifonctionnel

Marie-Christine Trouy



Enstib  
ÉPINAL

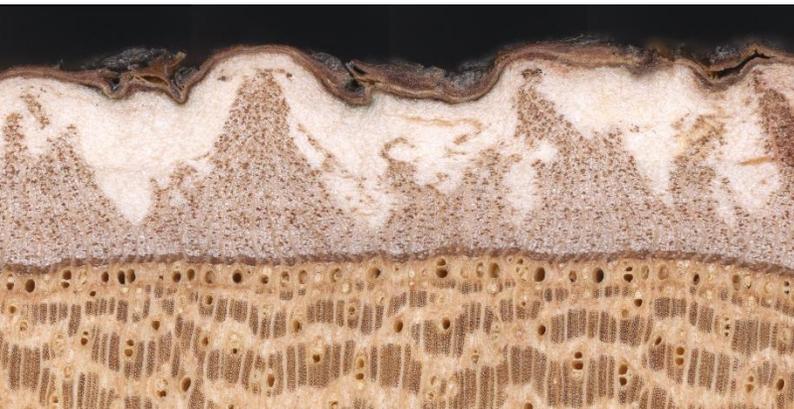


UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



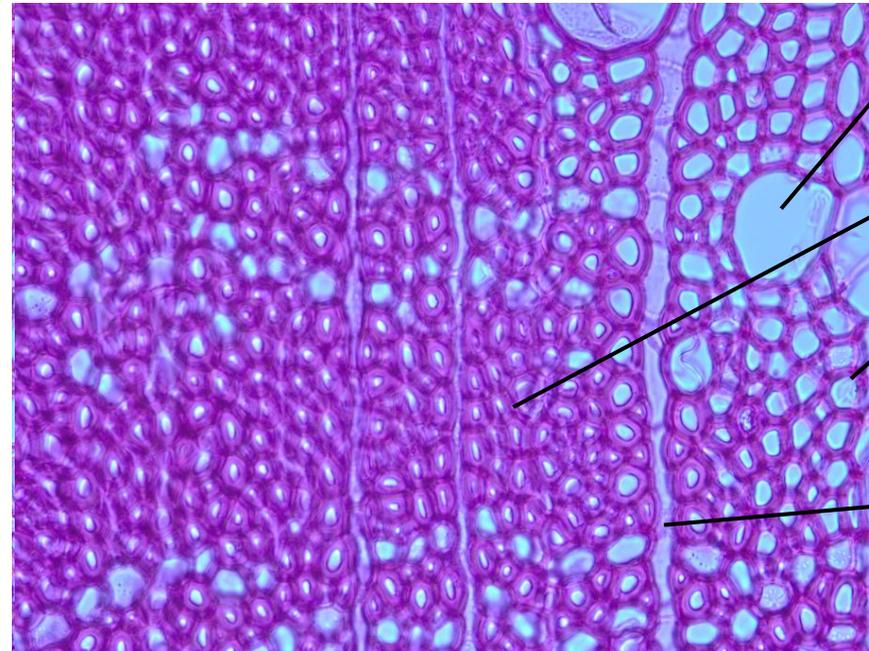
## SOMMAIRE

- Le bois, tissu multifonctionnel
- Le bois, tissu conducteur de sève brute
- Anatomie du bois : systématique ou fonctionnelle, qualitative ou quantitative
- Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois



# Le bois, tissu multifonctionnel

- Conduction de la sève brute → Trachéides et vaisseaux
- Soutien mécanique et contrôle de la posture → Trachéides et fibres
- Stockage de réserves et élaboration de substances → Parenchymes longitudinal et radial (rayons ligneux)



Vaisseau

Fibres

Parenchyme longitudinal

Parenchyme radial (rayon ligneux)

Coupes transversales de bois de chêne pédonculé (*Quercus robur*)

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

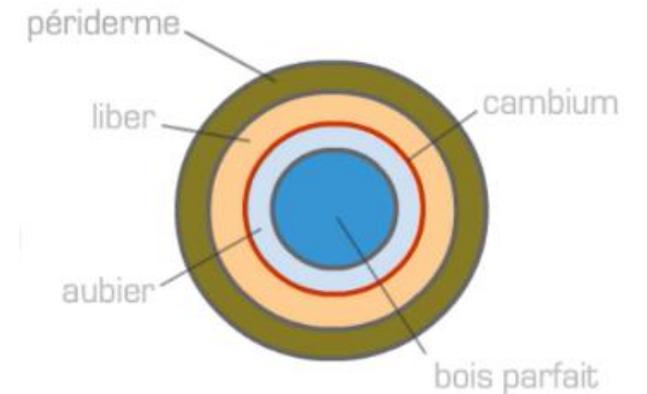
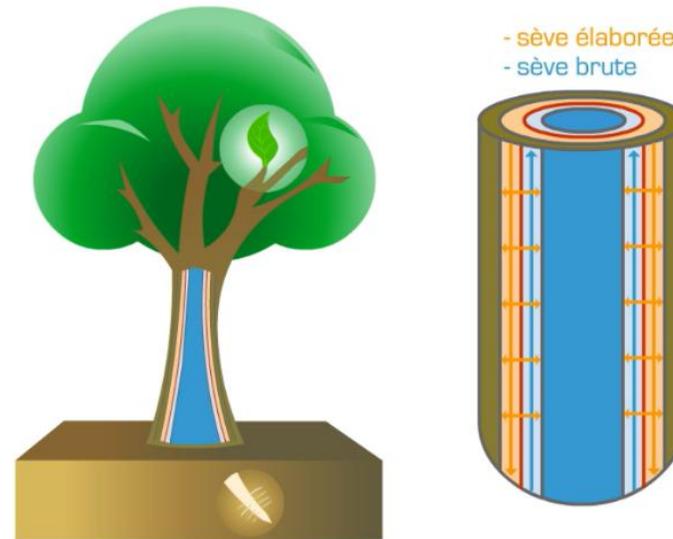
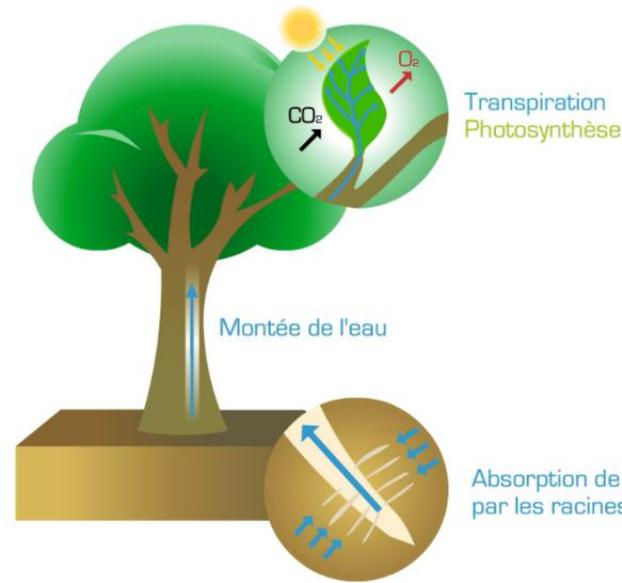
Sève brute (ascendante) :  
eau et substances dissoutes  
puisées dans le sol par les racines.

Sève élaborée (multidirectionnelle) :  
eau sucrée,  
circulant d'un organe source  
vers un organe cible.

La sève brute circule dans le **bois**.

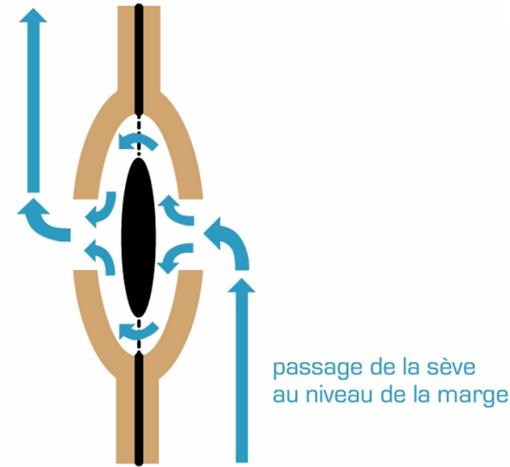
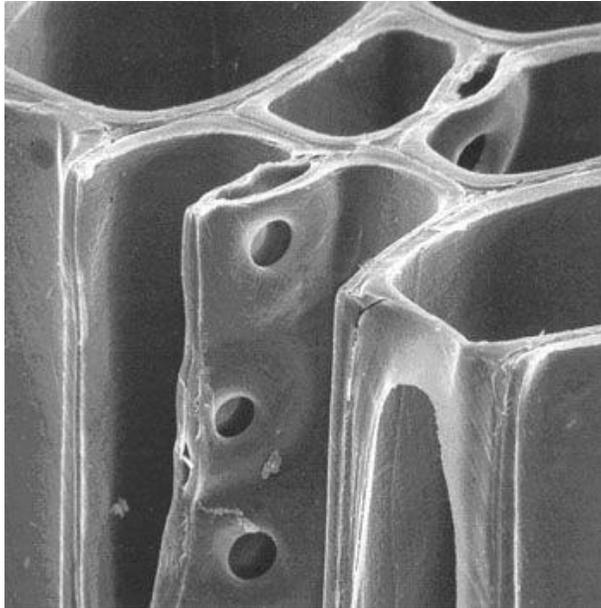
La conduction de la sève est la plus efficace  
dans les derniers cernes de bois formés,  
situés juste sous l'écorce, dans l'**aubier**.

La sève élaborée circule dans le **liber**.

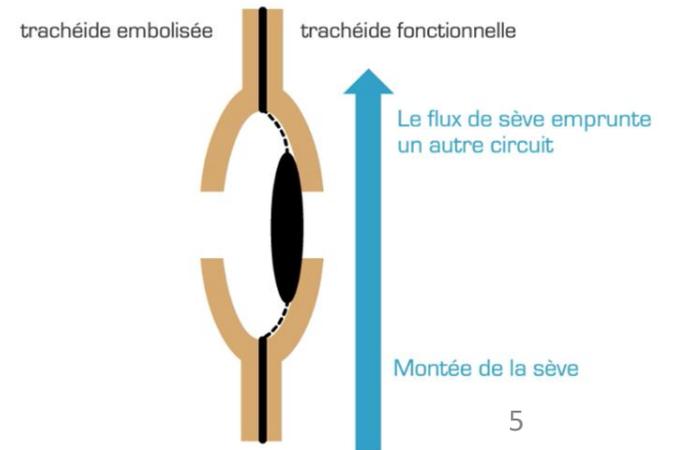
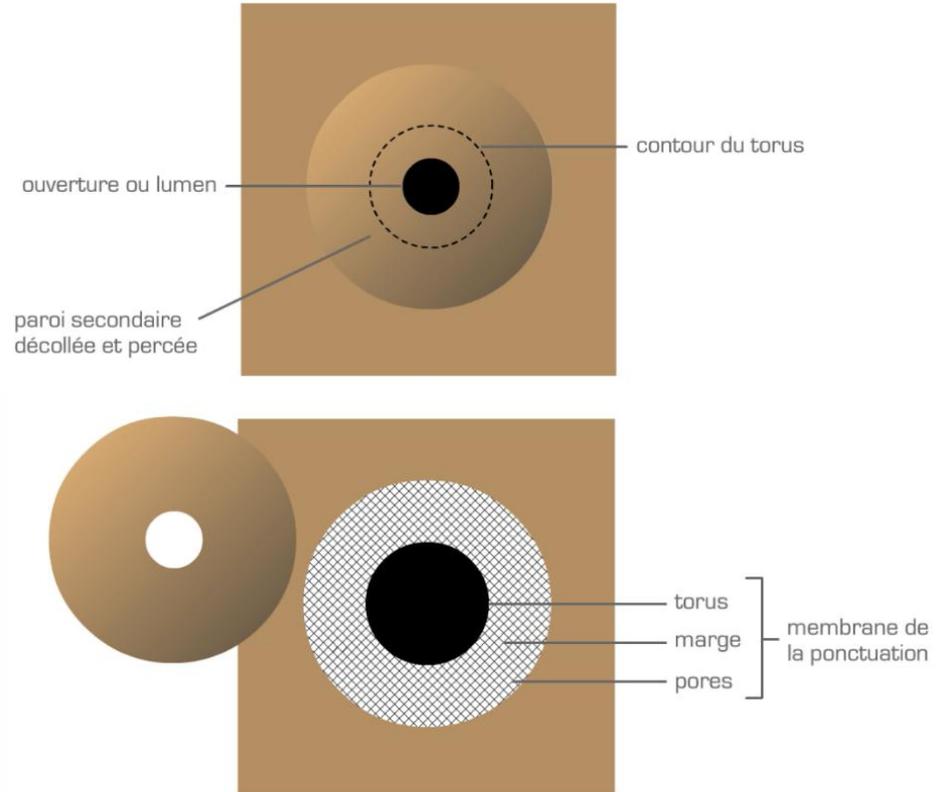


# Le bois, tissu conducteur de sève brute

Trachéides : **cellules non perforées**, communiquant entre elles par des ponctuations aréolées situées au niveau de leurs extrémités qui se chevauchent en biseau ; 3 mm de longueur en moyenne chez les résineux.



Représentation schématique d'une ponctuation aréolée de résineux et du passage de la sève brute.



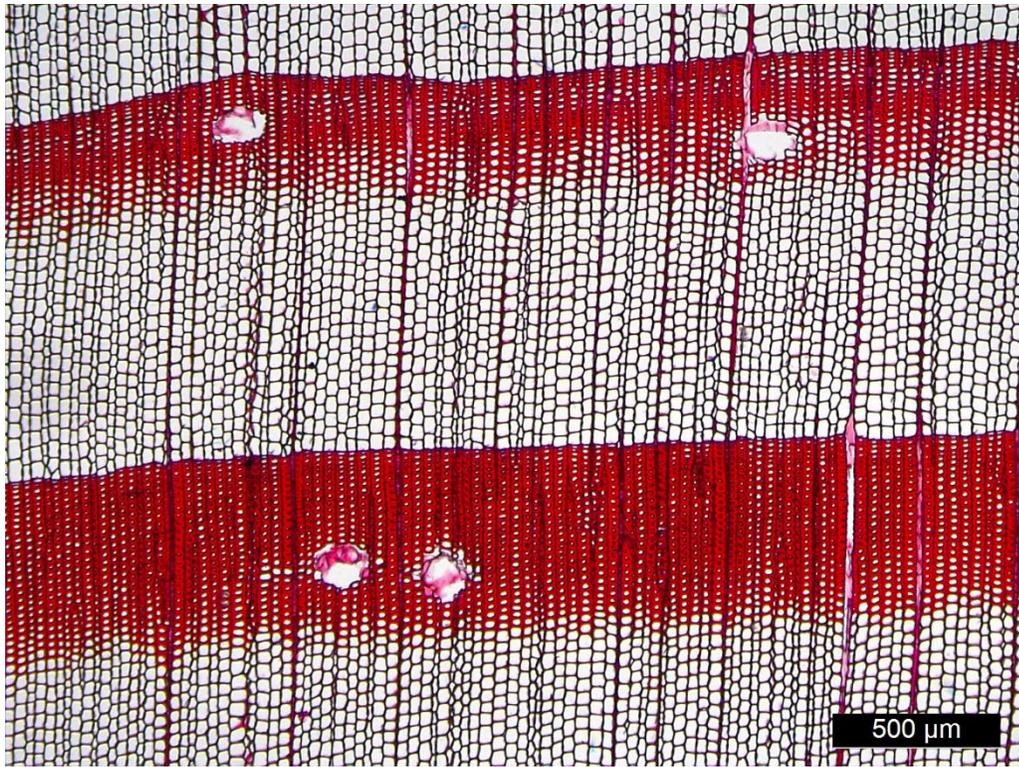
- 1- Au niveau de la ponctuation, la sève doit traverser une membrane.
- 2- Les ponctuations aréolées se ferment en cas d'embolie (apparition d'une cavité gazeuse).

**Système conducteur compartimenté = sécurité**

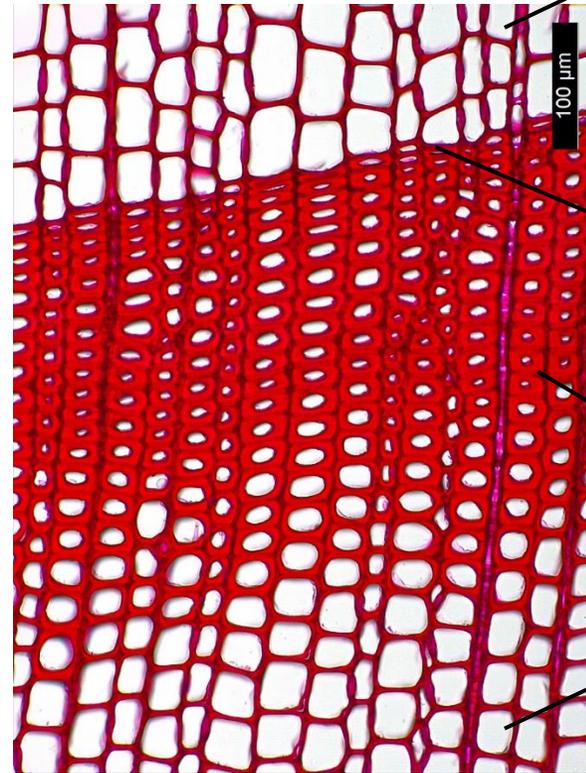
# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## Le bois de résineux

- ✓ Des trachéides
  - Un rôle de conduction marqué pour les trachéides formées au printemps
  - Un rôle de soutien marqué pour les trachéides formées en été
- ✓ Pas de vaisseaux



Coupes transversales de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*)



Trachéides formées  
au printemps de  
l'année n + 1

Limite de cerne

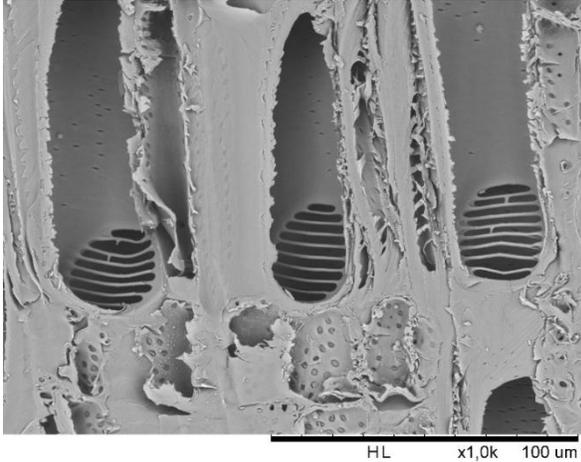
Trachéides formées  
en été de l'année n

Trachéides formées  
au printemps de  
l'année n

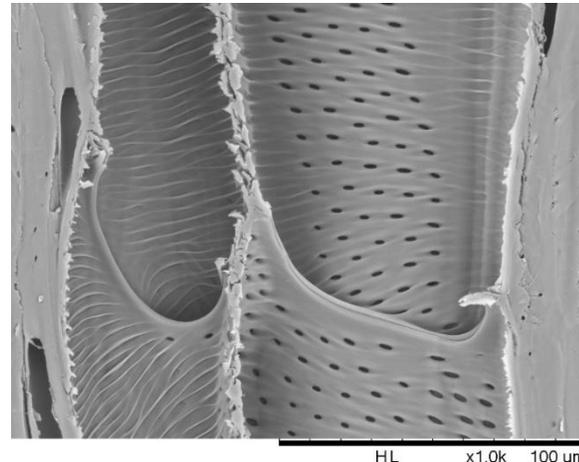
# Le bois, tissu conducteur de sève brute

Vaisseau : empilement de **cellules perforées** à leurs extrémités.

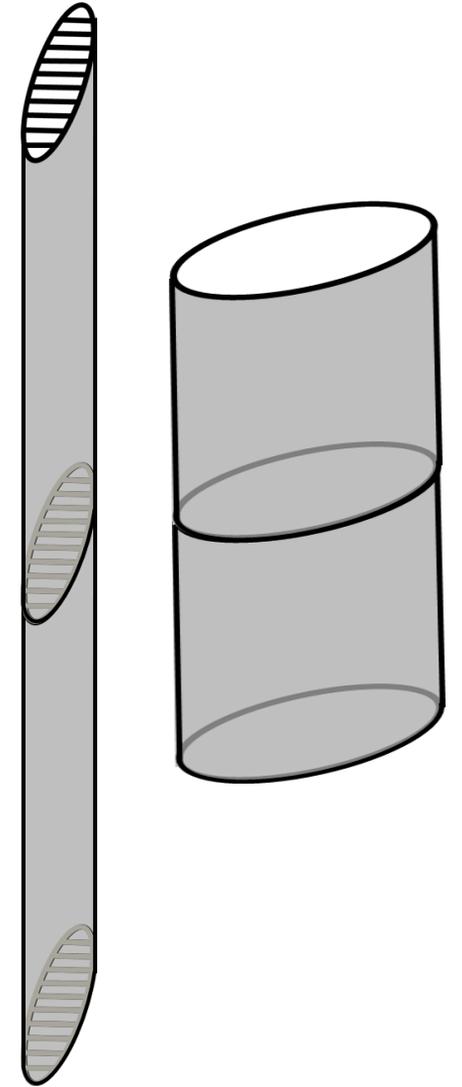
Entre deux éléments de vaisseaux superposés, la **perforation** peut être scalariforme ou simple.



Perforations scalariformes,  
coupe radiale de bois de buis  
(*Buxus sempervirens*)



Perforations simples,  
coupe radiale de bois d'érable sycomore  
(*Acer pseudoplatanus*)



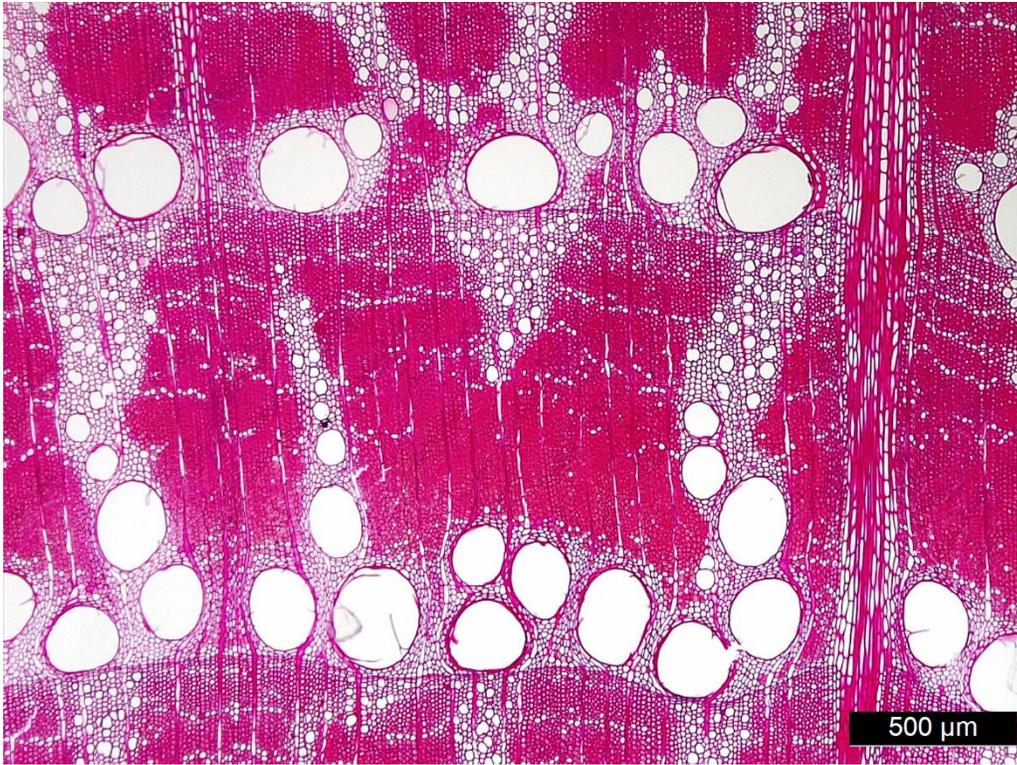
- + A l'intérieur d'un vaisseau, la sève circule sur une longue distance sans obstacles.
- + Quand le diamètre du conduit augmente, l'efficacité hydraulique augmente.
- En cas d'embolie, le volume impacté est important.
- + Il existe chez les feuillus des mécanismes de réparation des embolies.

**Systeme conducteur peu compartimenté avec conduits de grand diamètre = plus grande efficacité hydraulique** 7

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## Le bois de chêne, feuillu à zone initiale poreuse

- ✓ De gros vaisseaux solitaires, d'un diamètre supérieur à 200  $\mu\text{m}$ , en début de cerne entourés de trachéides juxtavasculaires
- ✓ Des vaisseaux plus petits dans le bois final



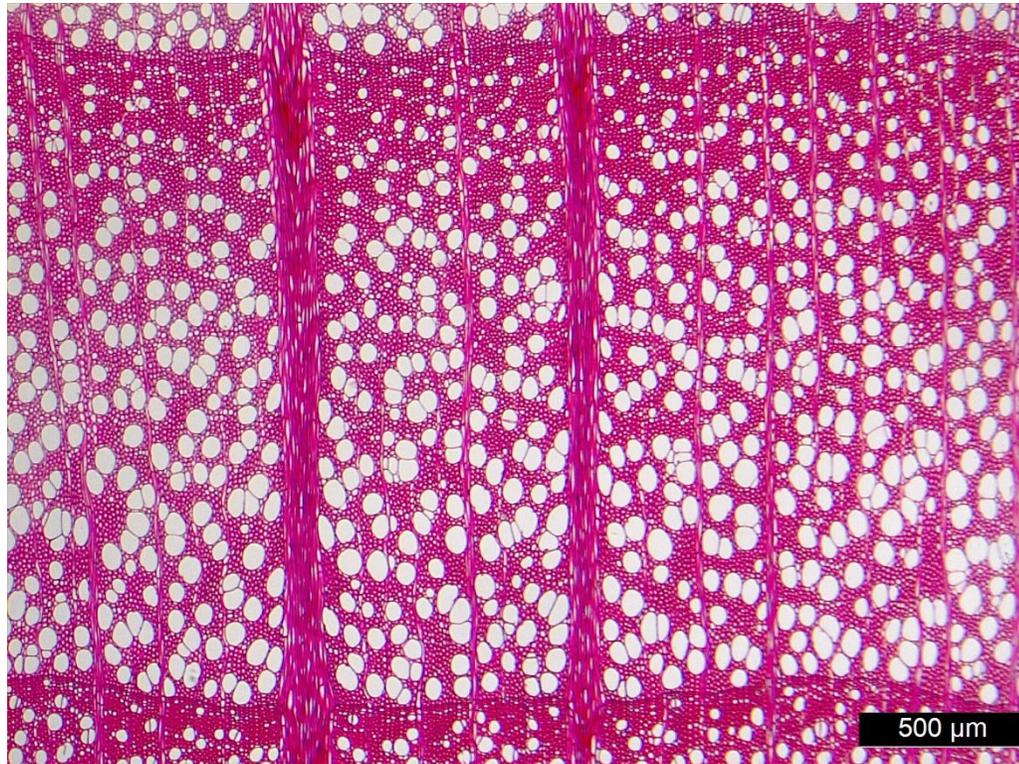
- Vaisseau du bois initial
- Trachéide juxtavasculaire
- Limite de cerne
- Fibres
- Parenchyme longitudinal
- Parenchyme radial (rayon ligneux)
- Vaisseau du bois final

Coupes transversales de chêne sessile (*Quercus petraea*)

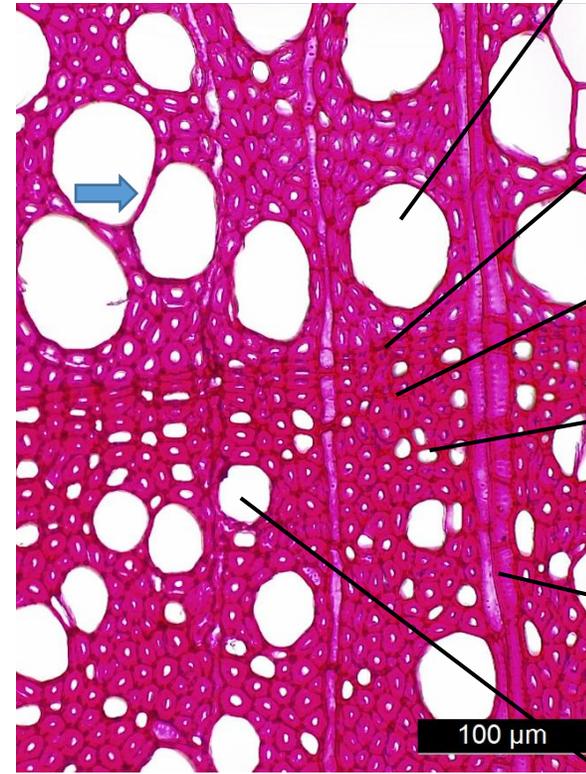
# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## Le bois de hêtre, feuillu homogène (à pores diffus)

- ✓ De nombreux vaisseaux d'un diamètre compris entre 50 et 100  $\mu\text{m}$
- ✓ De vaisseaux plus petits en fin de cerne



Coupes transversales de bois de hêtre (*Fagus sylvatica*)



Vaisseau d'un diamètre compris entre 50 et 100  $\mu\text{m}$

Limite de cerne

Fibres

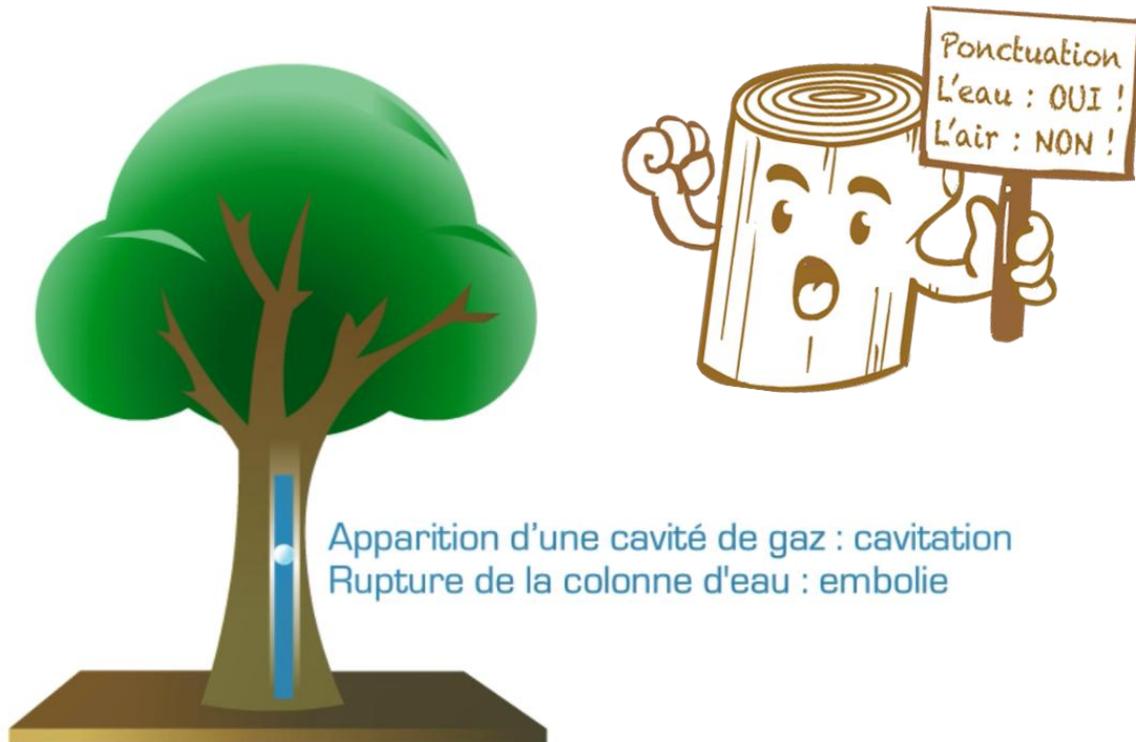
Parenchyme longitudinal

Parenchyme radial (rayon ligneux)

Vaisseau plus petit en fin de cerne

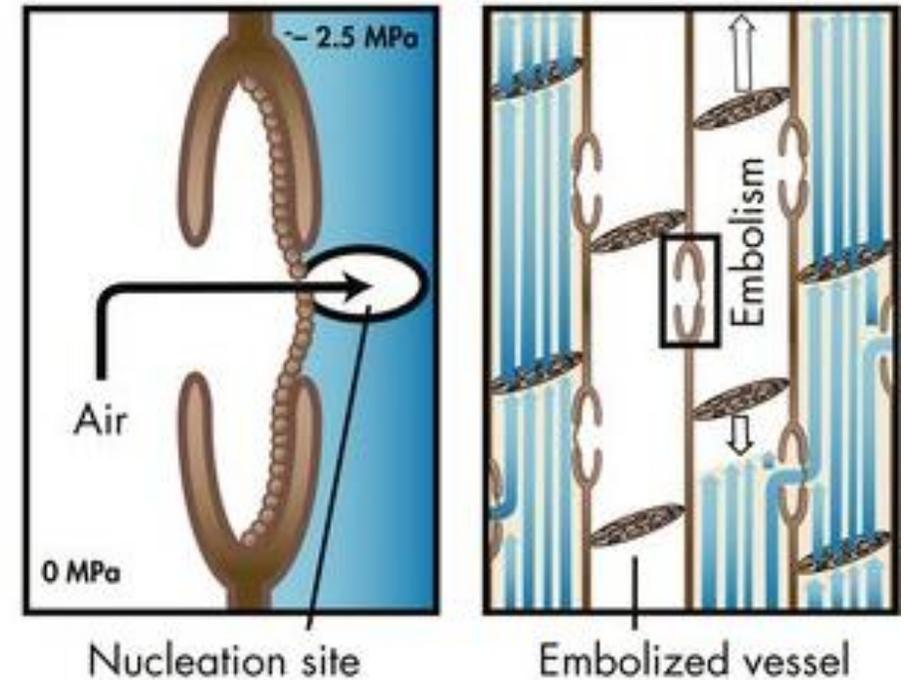
# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## L'embolie estivale



Rodriguez-Zaccaro, F. D., & Groover, A. (2019). Wood and water: How trees modify wood development to cope with drought. *Plants, People, Planet*, 1(4), 346-355.

## Propagation de l'embolie (vaisseaux accolés)

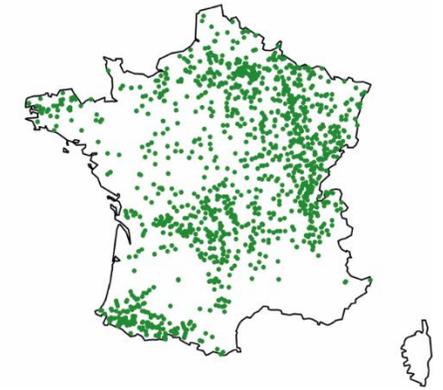
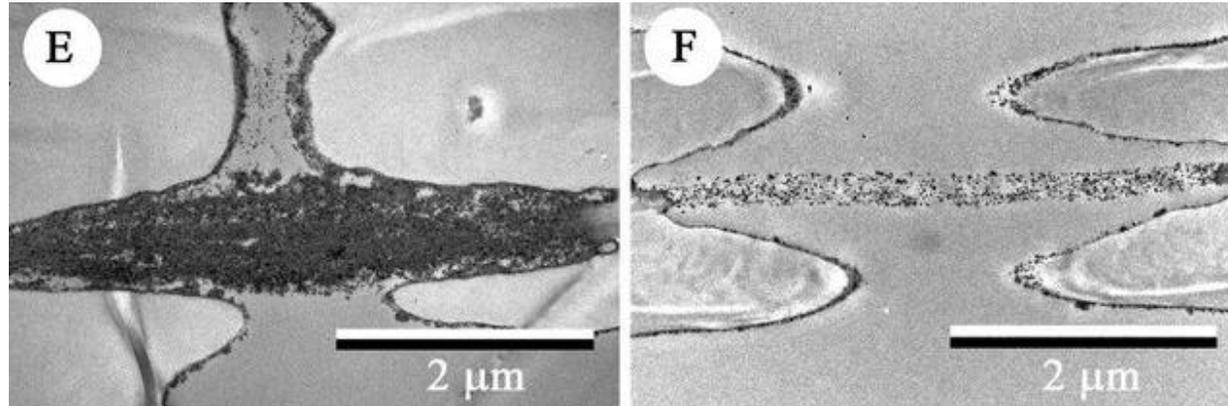
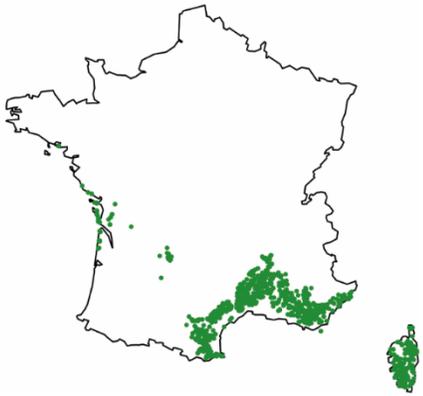
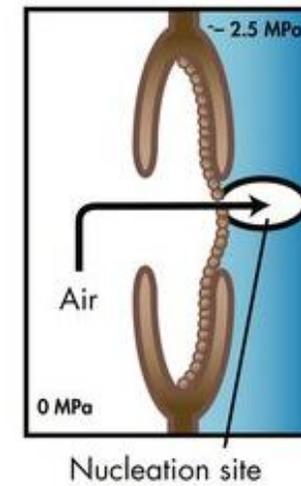


Formation d'un germe d'air dans un vaisseau fonctionnel (rempli d'eau) accolé à un vaisseau embolisé (rempli d'air)

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## L'adaptation à la sécheresse

- ✓ Des membranes de ponctuations plus épaisses avec une porosité plus fine
  - pour limiter l'apparition des germes d'air



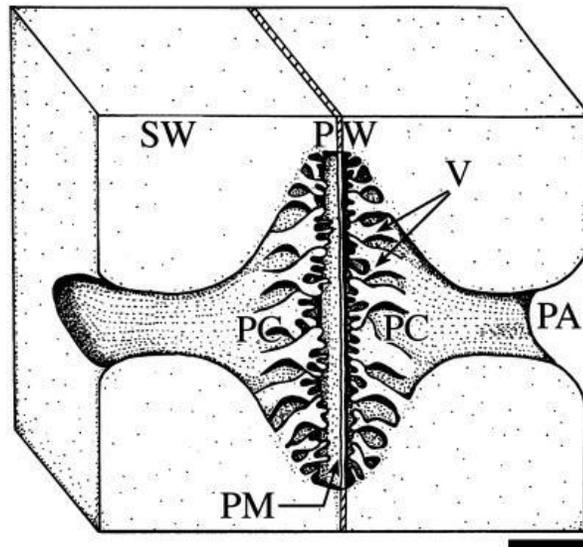
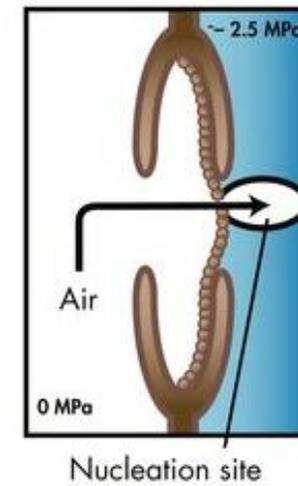
E : Chêne vert (*Quercus ilex*) ; F: Noisetier (*Corylus avellana*)

Li, S., Lens, F., Espino, S., Karimi, Z., Klepsch, M., Schenk, H. J., ... & Jansen, S. (2016). Intervessel pit membrane thickness as a key determinant of embolism resistance in angiosperm xylem. *Iawa Journal*, 37(2), 152-171.

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## L'adaptation à la sécheresse

- ✓ Des ponctuations ornées
  - pour limiter la déformation de la membrane et l'élargissement des pores



Représentation d'une ponctuation intervasculaire ornée (*Flabellaria paniculata*).

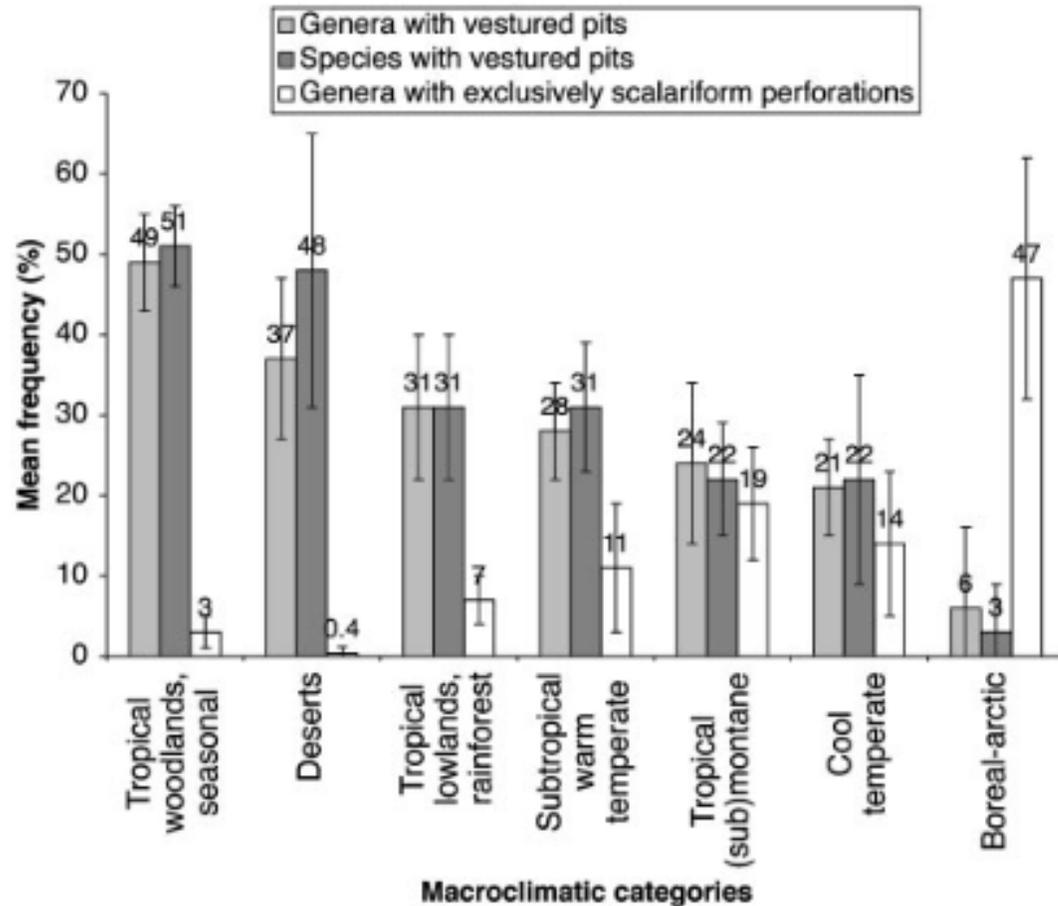
Jansen, S., Baas, P., Gasson, P., Lens, F., & Smets, E. (2004). Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vested pits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(23), 8833-8837.

- pour augmenter la mouillabilité

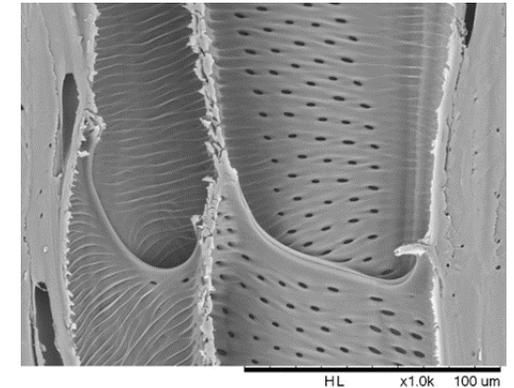
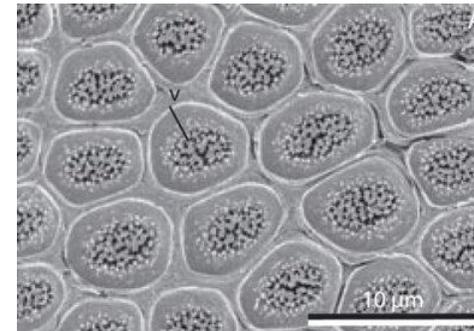
Kohonen, M. M., & Helland, Å. (2009). On the function of wall sculpturing in xylem conduits. *Journal of Bionic Engineering*, 6(4), 324-329.

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## L'adaptation à la sécheresse



Les ponctuations ornées et les perforations simples sont les caractéristiques d'un système hydraulique efficace dans des environnements chauds exposés à la sécheresse.



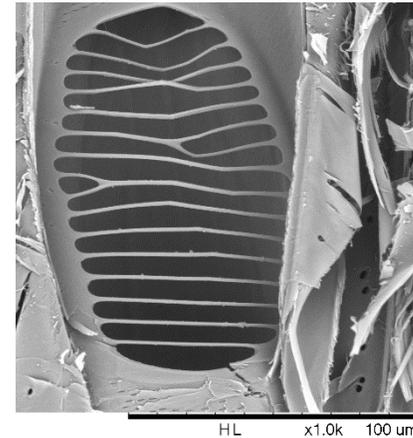
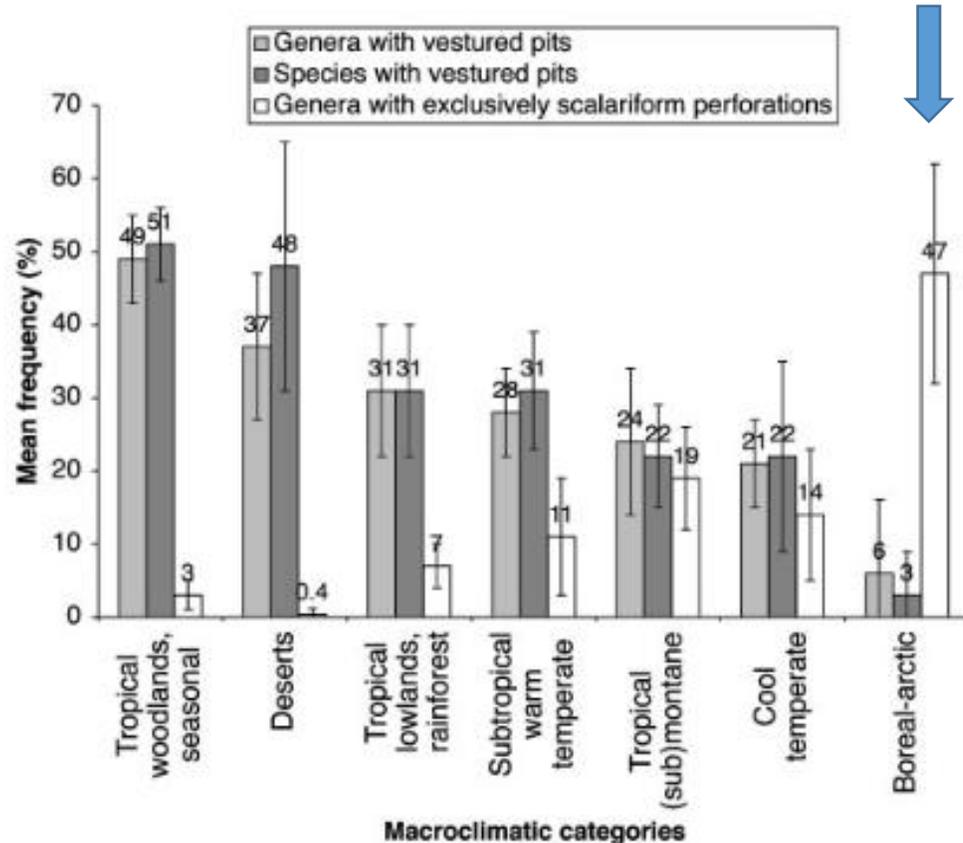
Ponctuations ornées  
(Vestured pits)

Perforations simples

Jansen, S., Baas, P., Gasson, P., Lens, F., & Smets, E. (2004). Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vestured pits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(23), 8833-8837.

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## Pourquoi les perforations scalariformes sont-elles plus fréquentes chez les espèces boréales ?



Perforation scalariforme, coupe radiale de bouleau verruqueux (*Betula pendula*)



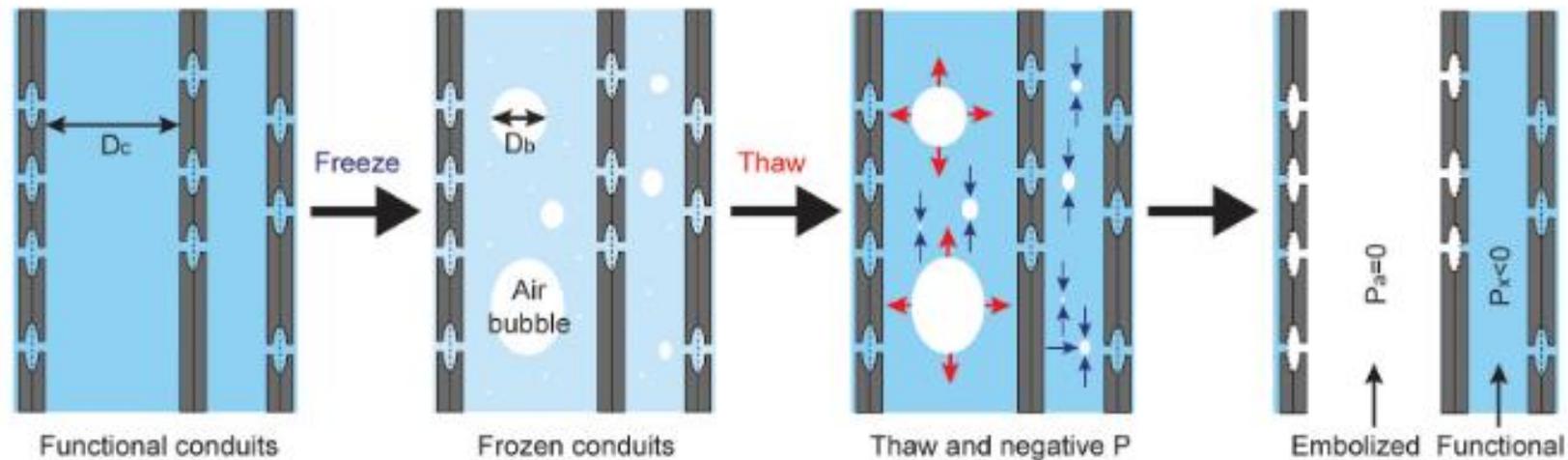
**Fig. 3.** The frequency of vestured pits and exclusively scalariform perforation plates in woody angiosperms as extrapolated from literature surveys; bars represent mean percentages ( $\pm$ SD) of woody genera and species with vestured pits and woody genera with exclusively scalariform perforation plates according to different macroclimatic categories.

Jansen, S., Baas, P., Gasson, P., Lens, F., & Smets, E. (2004). Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vestured pits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(23), 8833-8837.

# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## L'embolie hivernale

Formation de cavités de gaz lors du dégel de la sève brute



Venturas, M. D., Sperry, J. S., & Hacke, U. G. (2017). Plant xylem hydraulics: what we understand, current research, and future challenges. *Journal of integrative plant biology*, 59(6), 356-389.

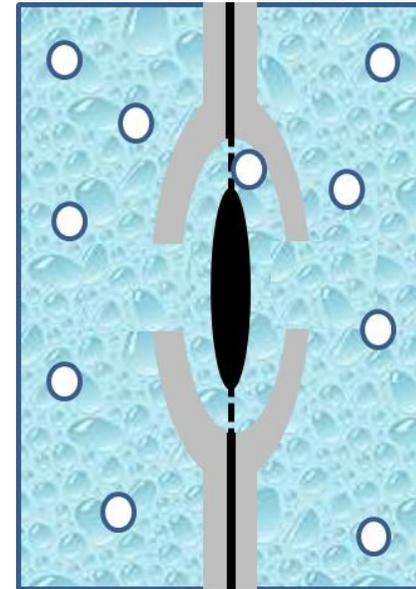
# Le bois, tissu conducteur de sève brute

## L'embolie hivernale

Les caractéristiques anatomiques limitant le risque d'embolie hivernale chez les feuillus sont :

- ✓ Des petits vaisseaux (moins de bulles de gaz susceptibles de coalescer)
- ✓ Plus d'obstacles pour éviter le regroupement et la coalescence (perforations scalariformes)

Les résineux résistent bien à l'embolie hivernale.



# Anatomie du bois : systématique ou fonctionnelle, qualitative ou quantitative



Racine d'armoise, *Artemisia* spp.  
Nehemiah Grew, *The Anatomy of Plants* (1682)

## Anatomie systématique (surtout qualitative)

- Décrire la structure microscopique des bois en lien avec leur classification botanique

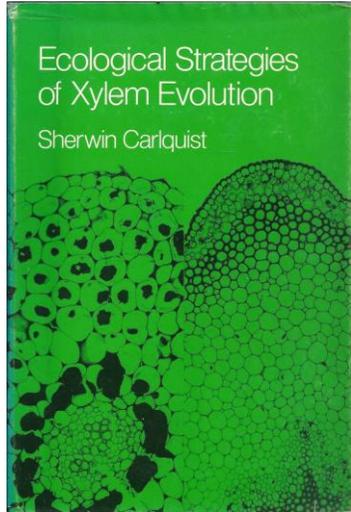
*One who walks about with the meanest stick, holds a piece of nature's handicraft which far surpasses the most elaborate woof or needle-work in the world.*

Celui qui se promène avec un misérable bâton tient dans sa main une œuvre de la Nature qui surpasse de loin le tissage ou le travail d'aiguille les plus élaborés du monde.

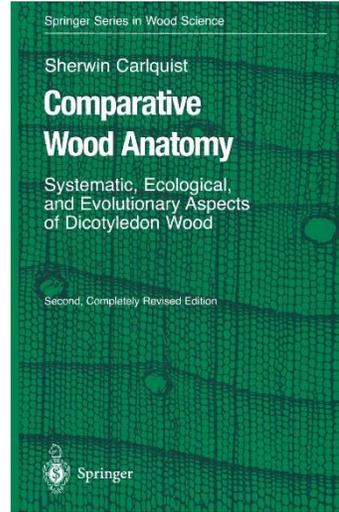


Nehemiah Grew  
(1641 - 1712)

# Anatomie du bois : systématique ou fonctionnelle, qualitative ou quantitative



1975



2013

## Anatomie comparative

- Etudier l'évolution des bois à travers l'adaptation au milieu

*Les feuillus sont passés, dans la plupart des cas, de la sécurité conductrice à l'efficacité conductrice et de la résistance à l'embolie à la capacité de réparation de l'embolie.*

*L'invention du vaisseau a permis « la division du travail » et la multiplication des stratégies possibles reposant sur des compromis entre sécurité et efficacité.*

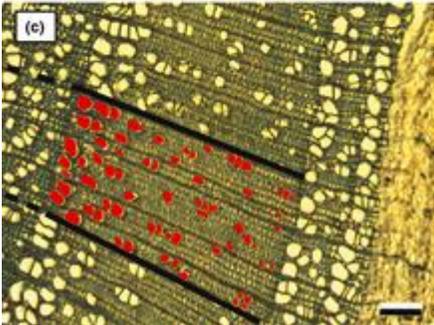
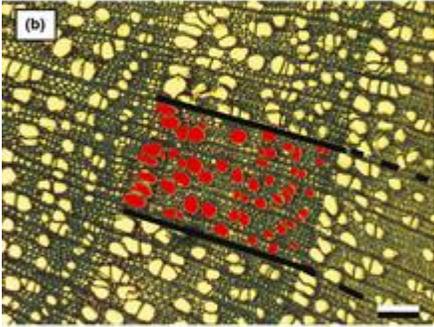
*L'étonnante polymorphie des cellules de ces bois est sans aucun doute une clé au succès évolutif des angiospermes.*

CARLQUIST, Sherwin. How wood evolves: a new synthesis. *Botany*, 2012, vol. 90, no 10, p. 901-940.



Sherwin Carlquist  
(1930 - 2021)

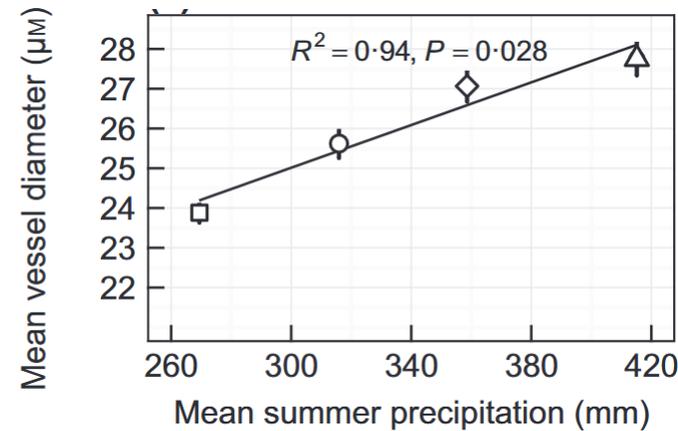
# Anatomie du bois : systématique ou fonctionnelle, qualitative ou quantitative



Bois de tremble  
(*Populus tremuloides*)

## Anatomie fonctionnelle et écologique (surtout quantitative)

- Etudier l'impact des conditions de croissance sur la formation et les traits fonctionnels du bois



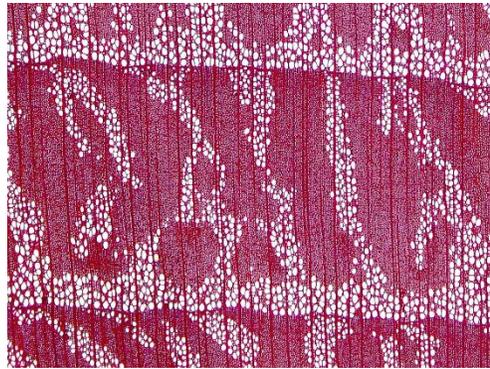
SCHREIBER, Stefan G., HACKE, Uwe G., et HAMANN, Andreas. Variation of xylem vessel diameters across a climate gradient: insight from a reciprocal transplant experiment with a widespread boreal tree. *Functional Ecology*, 2015, vol. 29, no 11, p. 1392-1401.

# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

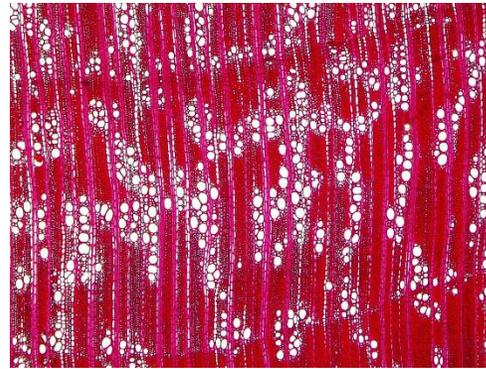
Rendue possible par la variabilité inter-spécifique (la biodiversité)



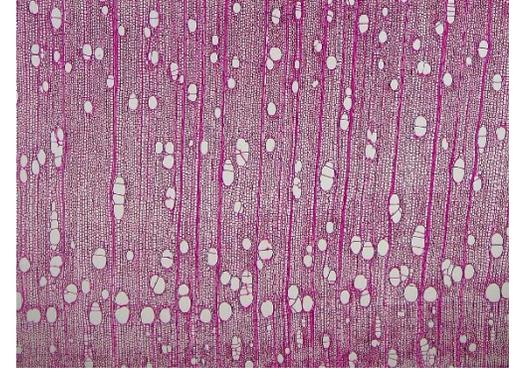
Nerprun des Alpes  
(*Atadinus alpinus*,  
anciennement  
*Rhamnus alpinus*)



Nerprun purgatif  
(*Rhamnus cathartica*)



Nerprun alaterne  
(*Rhamnus alaternus*)



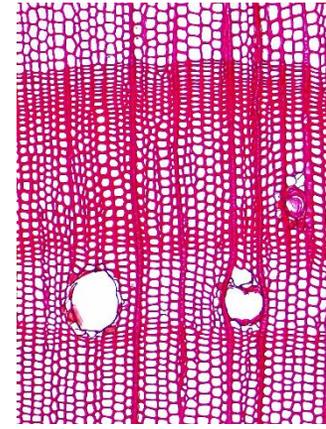
Bourdaine  
(*Frangula alnus*,  
anciennement  
*Rhamnus frangula*)

# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

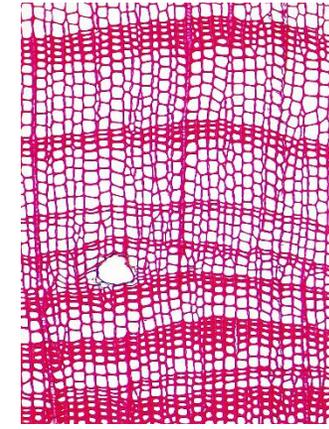
Complicée par les variabilités intra-spécifique et intra-arbre

## Variabilité intra-spécifique

Pin de Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*)  
Espèce endémique de la forêt de Banne (07)



Croissance rapide



Croissance lente

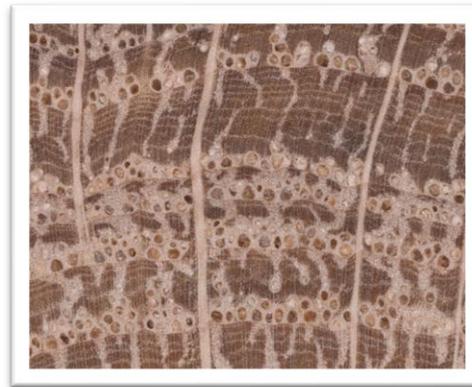


## Variabilité intra-arbre

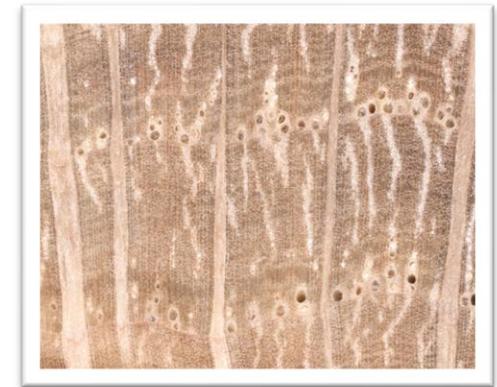
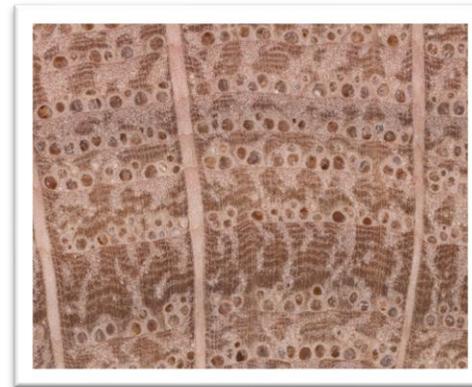
Chêne sessile (*Quercus petraea*)



Bois juvénile de tronc



Bois mature de tronc



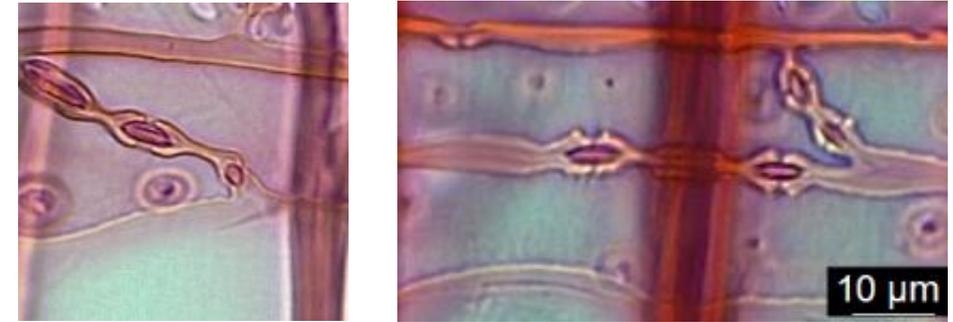
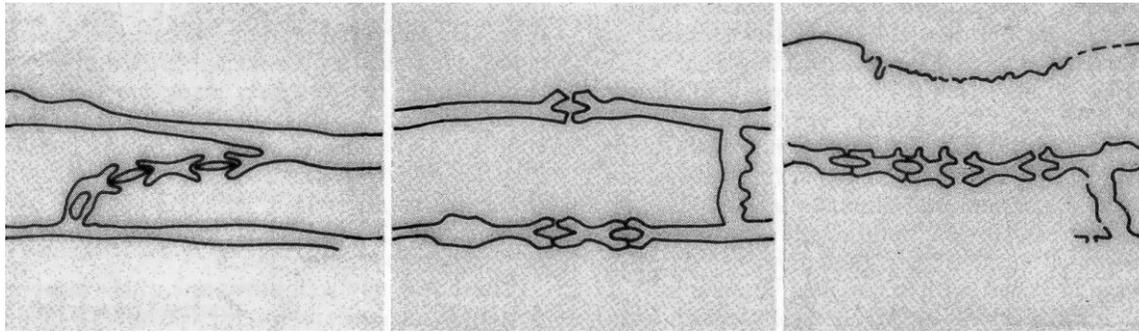
Bois mature de branche

# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

Les affaires classées ?

## Le problème du mélèze et de l'épicéa

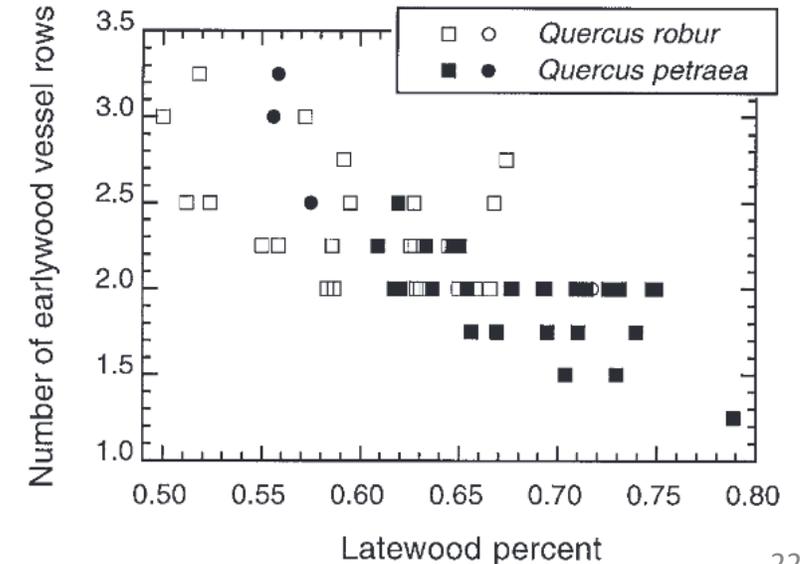
BARTHOLIN, Thomas., *The Picea-Larix problem*, 1979, IAWA Bulletin, n°1 : 7-10.



Types de ponctuations aréolées des trachéides radiales selon Bartholin  
a : type Larix ; b : type 2 : Picea 1 ; type 3 : type Picea 2

## Les chênes de tonnellerie : sessile ou pédonculé ?

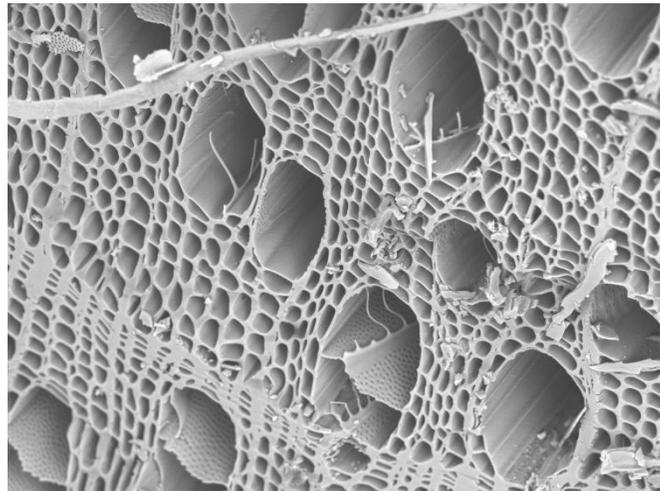
FEUILLAT, François, DUPOUEY, J.-L., SCIAMA, Delphine, *et al.* A new attempt at discrimination between *Quercus petraea* and *Quercus robur* based on wood anatomy. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, vol. 27, no 3, p. 343-351.



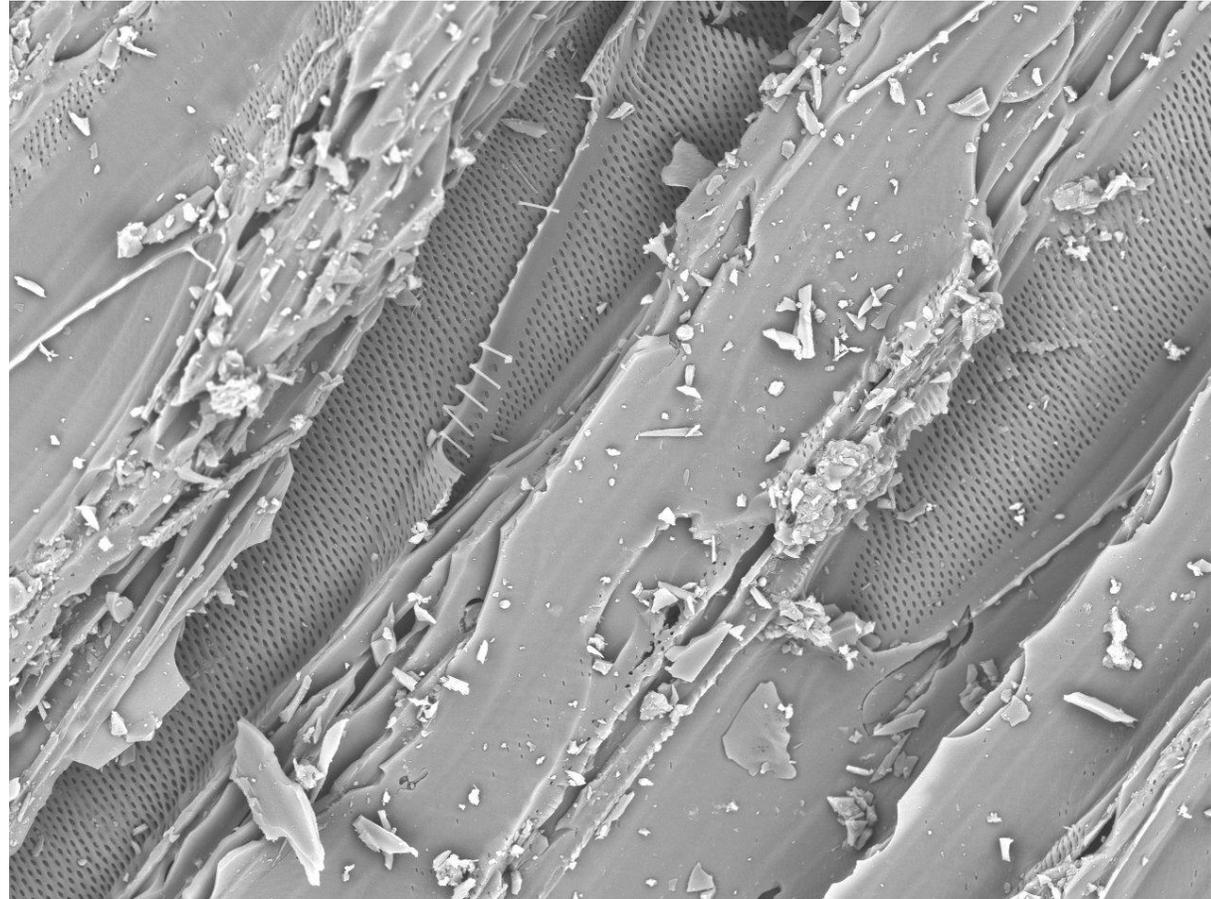
# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

## Les applications

- Expertises diverses sur des bois dégradés, carbonisés ou pétrifiés, parfois sous forme de petites particules



HL x600 100 um

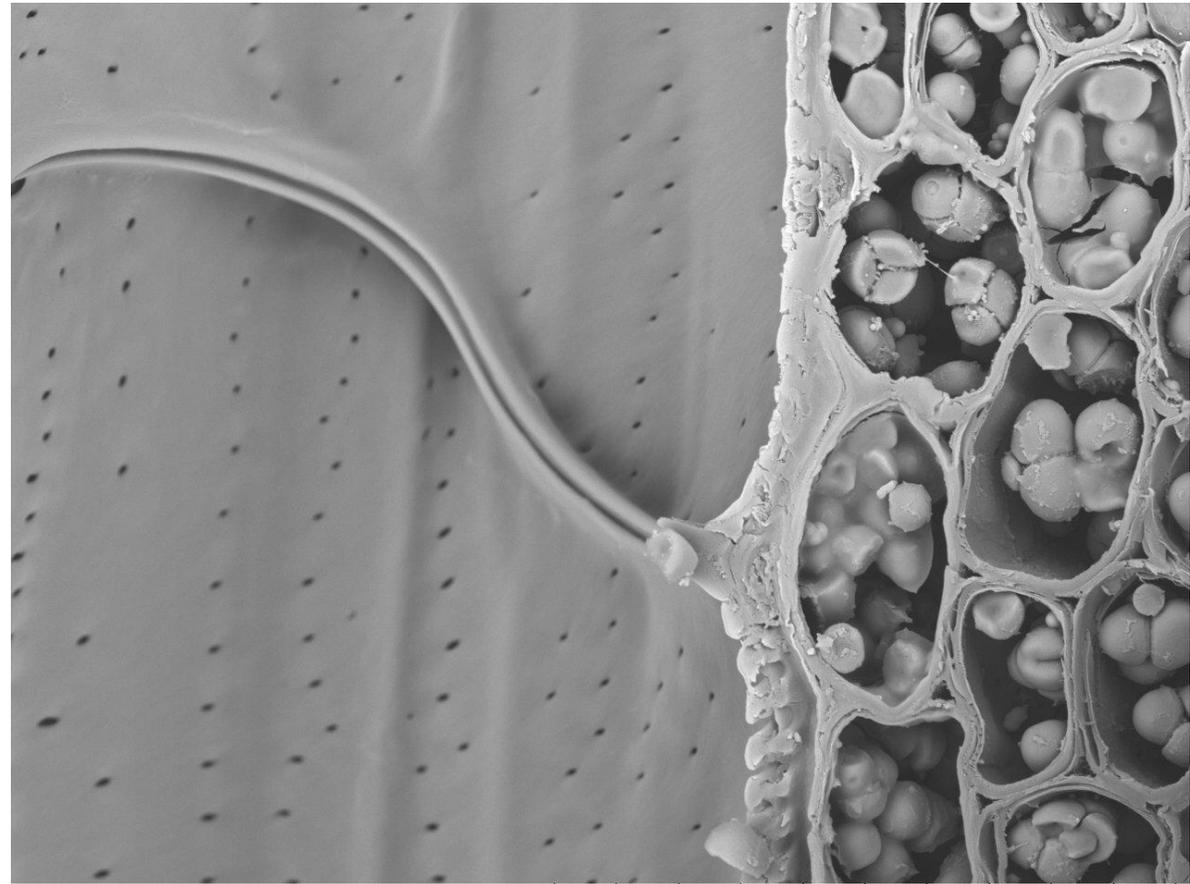
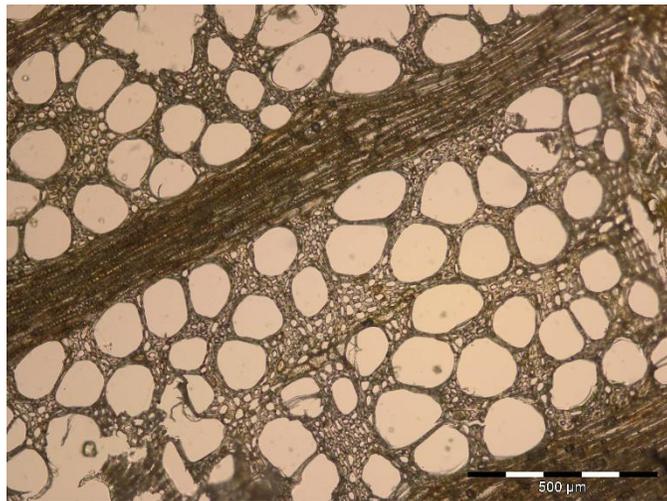


HL x600 100 um

# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

## Les applications

### ➤ Bois de racine



HL x1,0k 100 µm

# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

Les outils : la base de données InsideWood et les atlas



**The InsideWood database has 10,332 descriptions and 71,933 images.**

7,849 Modern Hardwood descriptions and 65,971 Modern Hardwood images

2,247 Fossil Hardwood descriptions and 4,185 Fossil Hardwood images

236 Modern Softwood descriptions and 1,721 Modern Softwood images

Description des bois de feuillus : 221 critères

Description des bois de résineux : 124 critères

# Identification d'une espèce végétale à partir de l'observation de son bois

La révolution de l'IA

