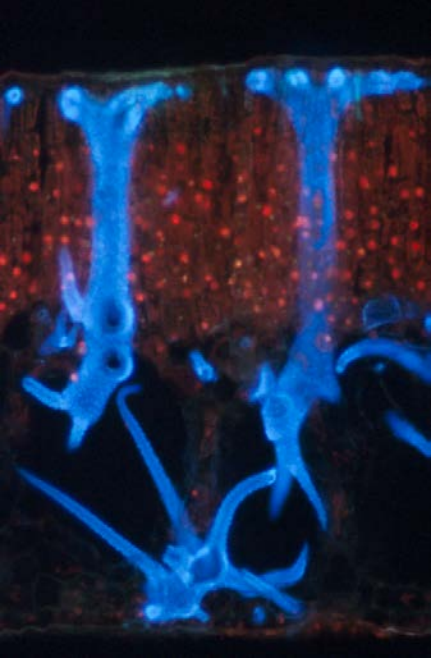
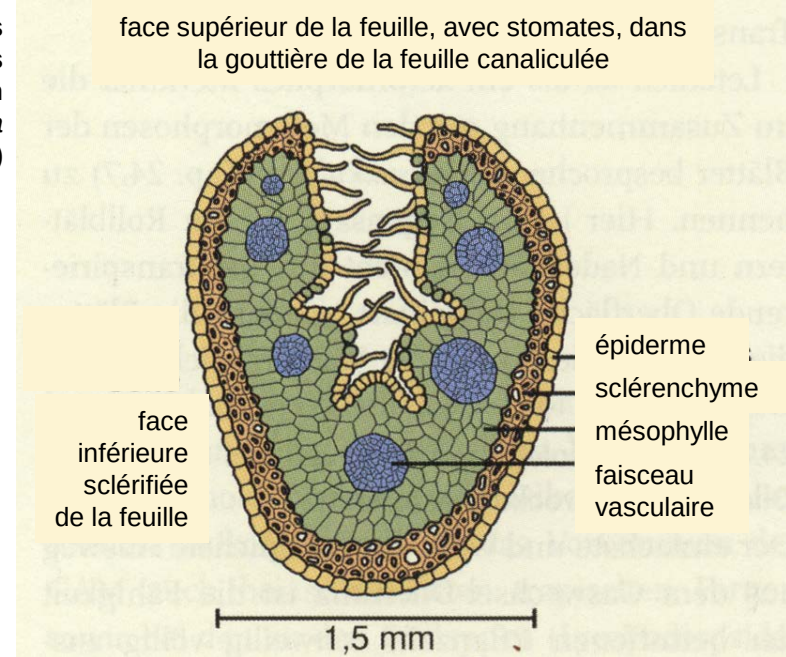


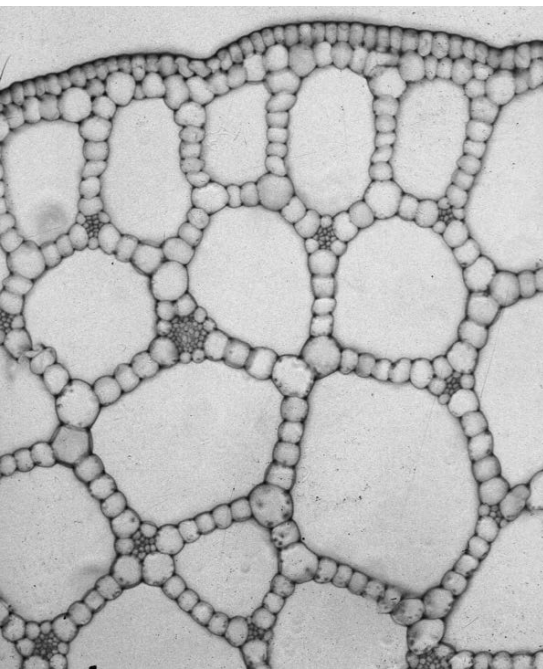


Astérosclérites dans la feuille immergée d'un nénuphar (*Nymphaea alba*)

Adaptations xéromorphiques des tissus foliaires d'un xérophyte (*Festuca ovina*)

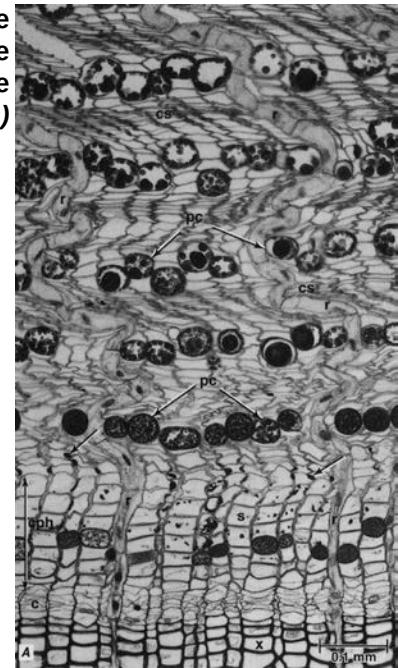


3. Les tissus végétaux: un échelon fondamental de l'adaptation à l'environnement



Aérenchyme dans la tige immergée d'une plante aquatique (*Potamogeton* sp.)

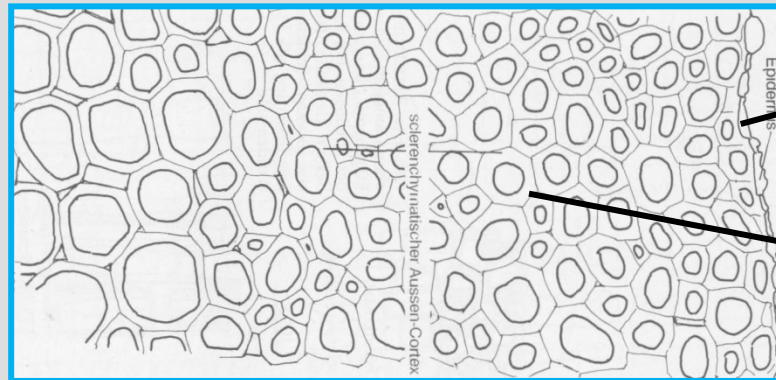
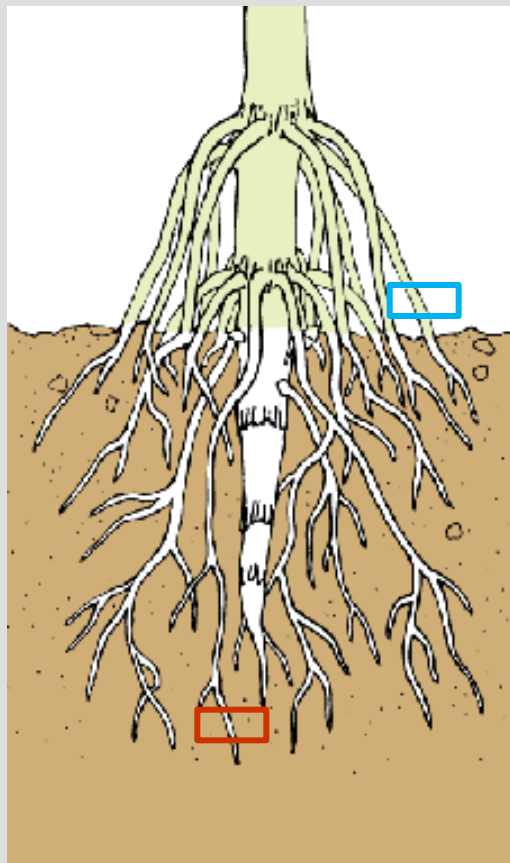
Cambium et phloème secondaire dans la tige pérenne d'un conifère (*Pinus strobus*)



3. Encart no. 10: structure histologique et plasticité phénotypique en réponse au changement des contraintes environnementales dans la racine de maïs

Les milieux aériens et souterrains présentent des conditions environnementales entièrement différentes. L'adaptation des structures cellulaires et histologiques, même au sein d'un seul organe tel que la racine, est l'une des manières fondamentales qu'ont les plantes de s'adapter à leur environnement.

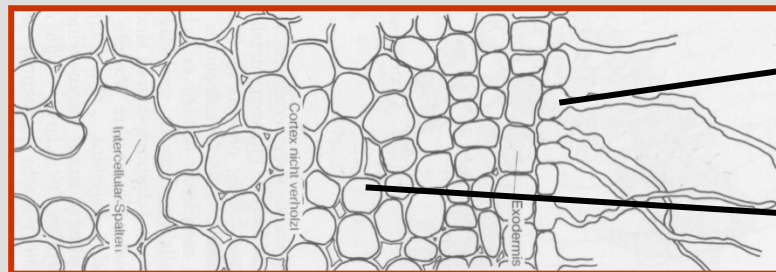
=> On parle de plasticité phénotypique



exoderme sclérifié

cortex sous la forme de sclérenchyme

Abb. 1.30. Les racines adventives du maïs (*Zea mays*) mettent en place dans leurs parties aériennes un cortex sclérifié, appelé métaderme, même en l'absence d'une fonction de soutien (protection de la racine en milieu aérien). L'épiderme est nécrosé.

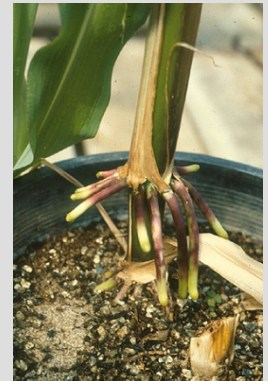


rhizoderme

cortex sous la forme de parenchyme

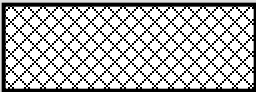
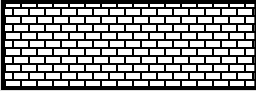
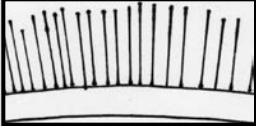
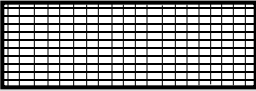
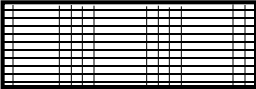
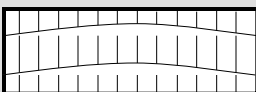
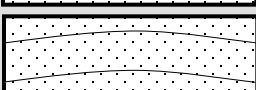
Abb. 1.31. Une fois le sol atteint, la racine de maïs (*Zea mays*) reprend ses fonctions absorbantes: l'épiderme se différencie en rhizoderme et des poils absorbants font leur apparition. Le cortex développe une structure parenchymateuse, avec des parois minces et de larges espaces intercellulaires.

référence: Eschrich (1995). Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer Verlag, Berlin.



Les modifications structurales peuvent être constitutives ou/et induites. En milieu aérien, il y a un renforcement des tissus (et donc des fonctions) de protection et de soutien (sclérenchyme).

3. Encart no. 11: Représentation schématique des tissus

Tissu	Organe/s	Représentation	
collenchyme	aériens	symbole	
sclérenchyme	aériens et souterrains	symbole	
rhizoderme	racine	symbole	
exoderme	racine	symbole	
épiderme (avec stomates)	aériens	symbole	
suber	aériens et souterrains	symbole	
phelloderme	aériens et souterrains	symbole	
xylème I	aériens et souterrains	symbole	
xylème II	aériens et souterrains	symbole	
phloème I	aériens et souterrains	symbole	
phloème II	aériens et souterrains	symbole	
parenchymes, méristèmes I et II, épiderme, structure sécrétrices	aériens et souterrains	localisation, épaisseur approximative - pas de symbole -	

3. Les idioblastes

cellule isolée morphologiquement et généralement fonctionnellement distincte de toutes les cellules avoisinantes



astérosclérites dans le limbe foliaire
d'un nymphaea (*Nymphaea alba*)



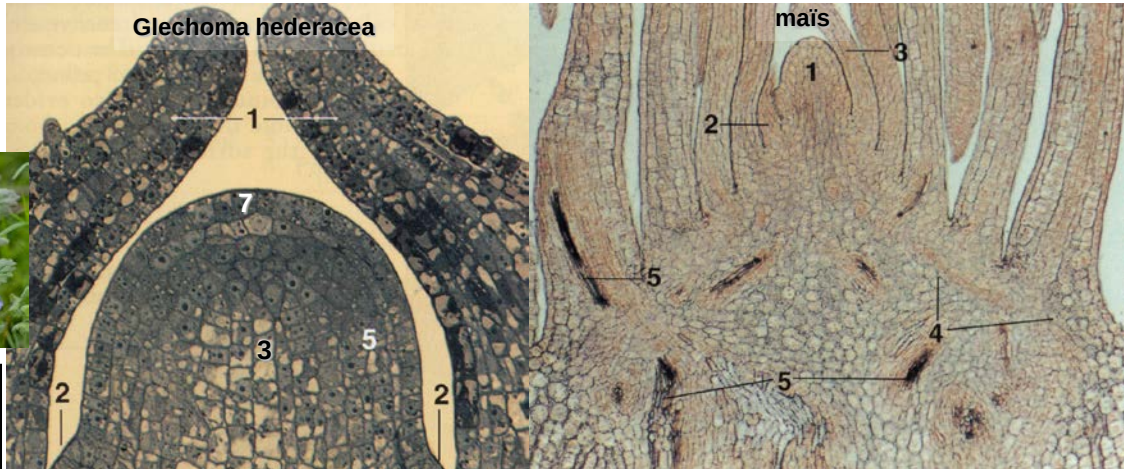
cellule parenchymateuse avec cristal d'oxalate de calcium dans le
parenchyme lacuneux d'une feuille de peuplier (*Populus tremula*)

3. Croissance (I): Les méristèmes primaires

les méristèmes primaires à l'apex de la tige et de la racine chez les dicotylédones et les monocotylédones

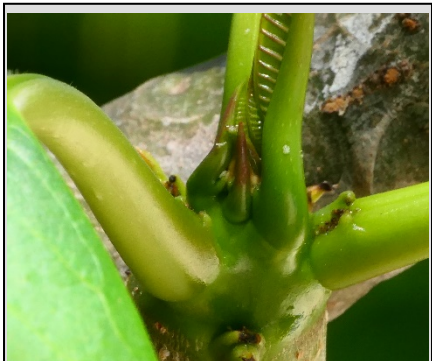
méristèmes:

- 1 primordia foliaires
- 2 bourgeon axillaire
- 3 méristème médullaire
- 4 moelle
- 5 méristème latéral
- 6 procambium
- 7 tunique

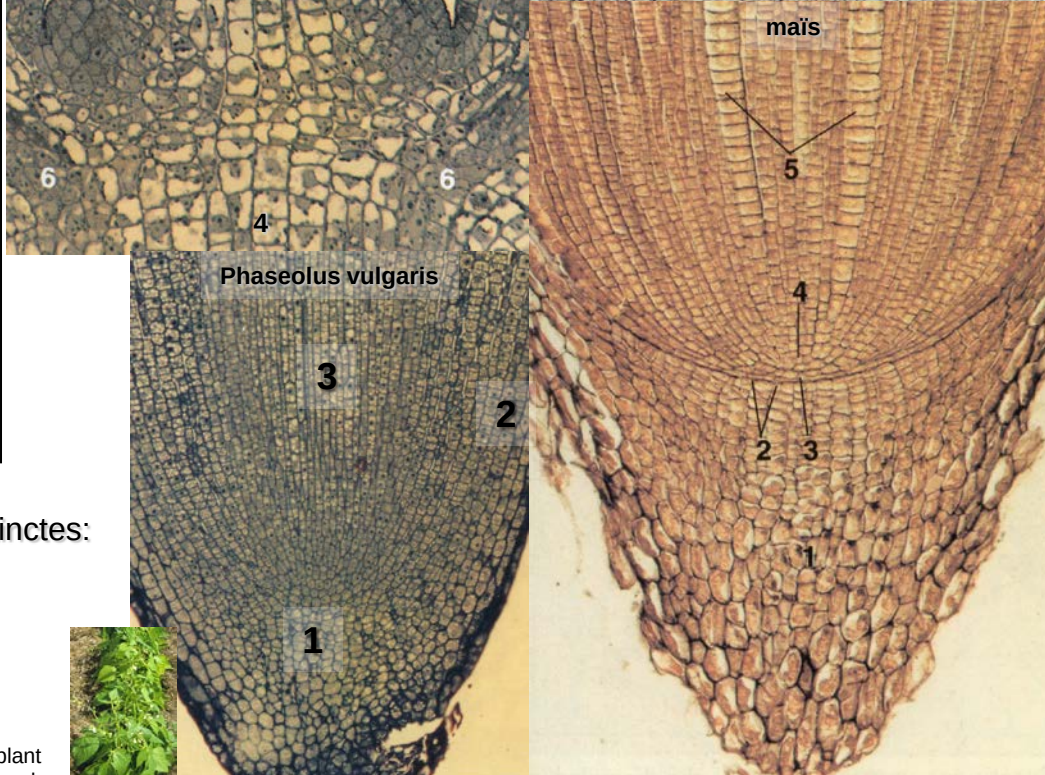


méristèmes:

- 1 apex
- 2, 3 primordia foliaire
- 4 zone méristématique
- 5 procambium



un bourgeon sans écailles:
primordias foliaires chez le
frangiganier (*Plumeria sp.*,
Apocynaceae. Tamarindo,
Costa Rica, 2021)



1. coiffe

trois groupes d'initiales
distinctes:

- 2 calyptrogène
- 3 initiales de l'épiderme et
du cortex
- 4 initiales procambiales

5. cellules mères du
métaxylème

trois groupes d'initiales indistinctes:

- 1 calyptrogène
- 2 épiderme et cortex
- 3 procambium



3. Croissance (II): Les méristèmes intercalaires

Racine latérale

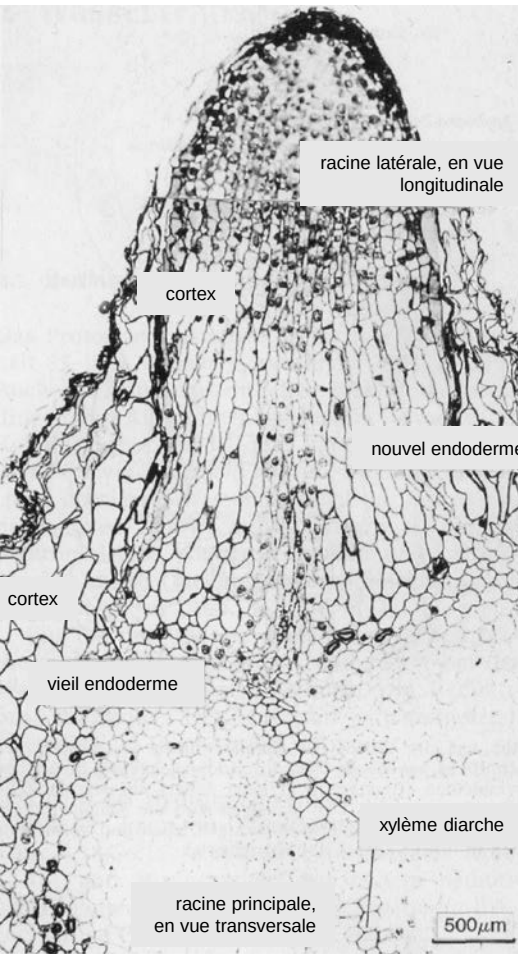


Fig. 1.56. Une jeune racine latérale d'épicéa (*Picea abies*) en vue longitudinale. L'endoderme de la racine mère est rompu par la racine latérale, dans laquelle la fonction de filtre est reprise par la différenciation d'un nouvel endoderme. Le méristème apical de la racine latérale se différencie à partir du péricycle de la racine.

référence: Eschrich (1995). Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer Verlag, Berlin.

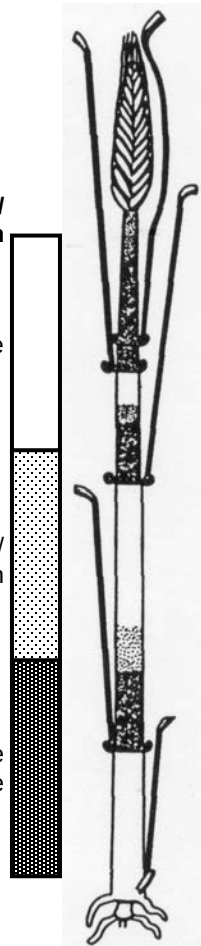
tige

croissance /
maturation

mature

élongation /
différenciation

méristème
intercalaire



feuille

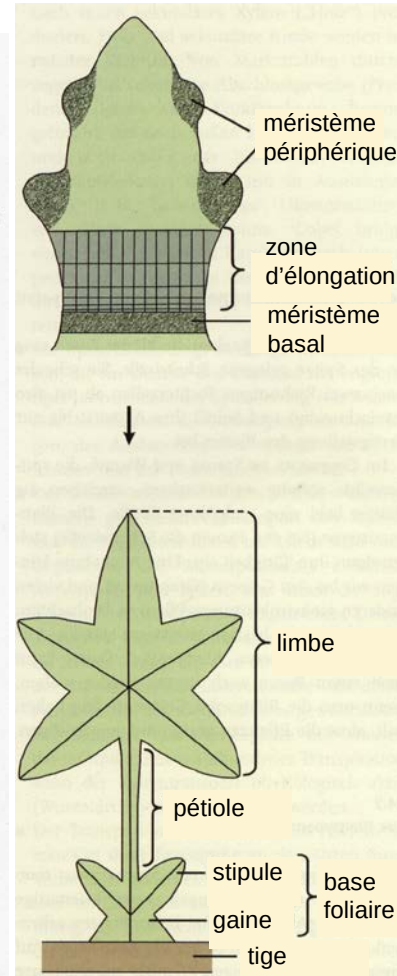
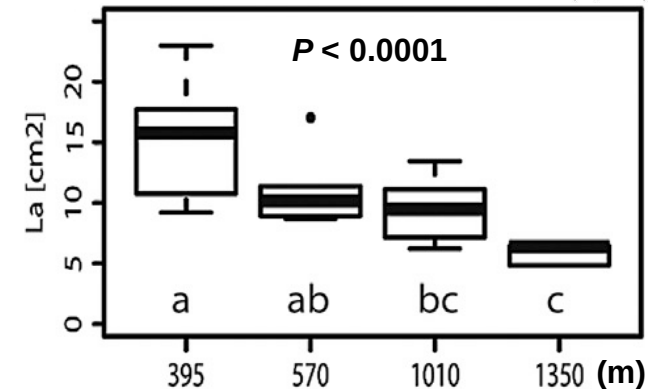
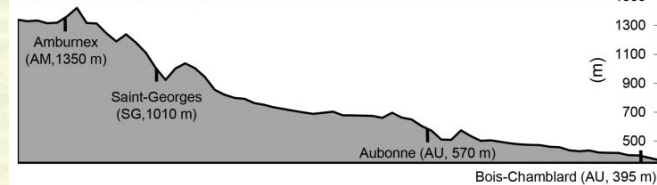


Fig. 23.1 Le développement d'une feuille. En haut: position des méristèmes et de la zone d'allongement dans une ébauche foliaire (d'après LAETSCH). En bas: schéma d'une feuille adulte.

référence: Lüttge et al. (2005). Botanique. Tec&Doc-Lavoisier



Plasticité phénotypique du feuillage chez le hêtre: augmentation de la surface foliaire (LA) chez de jeunes arbres transplantés d'un site donneur (AM, 1350 m) dans 3 sites receveurs (SG/AU/BC, 1010m/570m/395m) le long d'un gradient altitudinal et climatique à l'est du Jura vaudois.

référence: Sanguinès de Carcarr et al. (2017). Environ. Exp. Bot. 140, 128-140.



3. Encart no. 12: Le bambou: l'herbe devenue un arbre grâce à ses méristèmes intercalaires



Dans les forêts de Chine méridionale, les bambous forment de véritables peuplements forestiers. Mais ce sont des arbres bien particuliers, dont la croissance ne ressemble à aucune autre, pas même celle des monocotylédones arborescentes comme les palmiers. Sans cambium, comme toutes les monocotylédones, ils croissent non seulement en diamètre mais aussi en hauteur, en formant de nouveaux entre-nœuds à la base de leur tronc. En termes histologiques, cela signifie que de nouvelles assises de méristèmes intercalaires se différencient à intervalles réguliers pour créer de nouvelles sections de tige à la base des arbres. Les rameaux latéraux s'originent aussi au niveau des entre-nœuds – et donc des méristèmes intercalaires – et croissent vraisemblablement de manière similaire à celle de la tige principale. Les méristèmes apicaux ne jouent donc qu'un rôle secondaire, à la différence, par exemple, des graminées.



3. Croissance (III): Les méristèmes secondaires

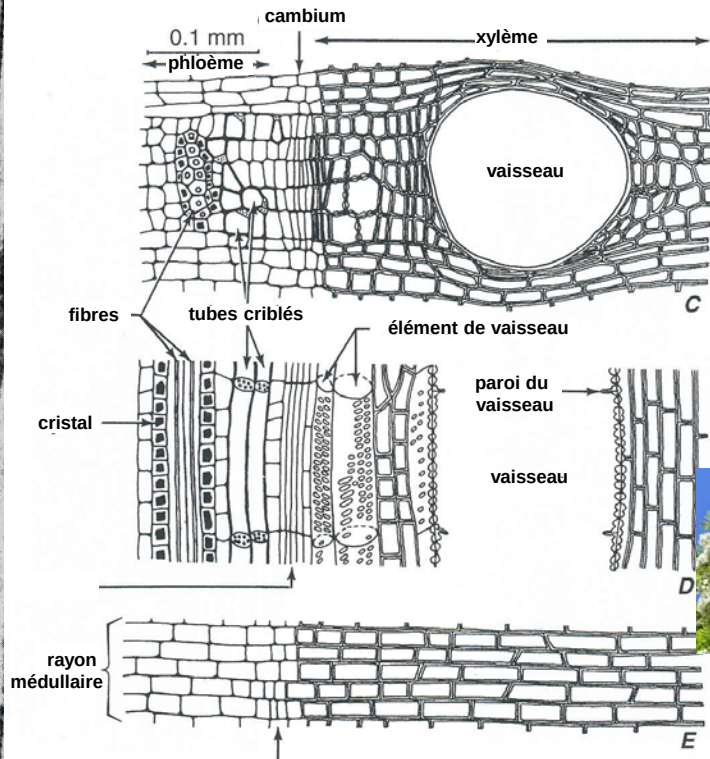
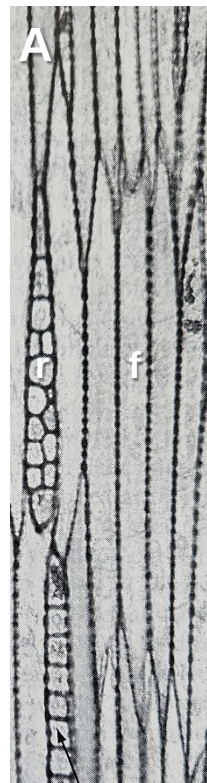
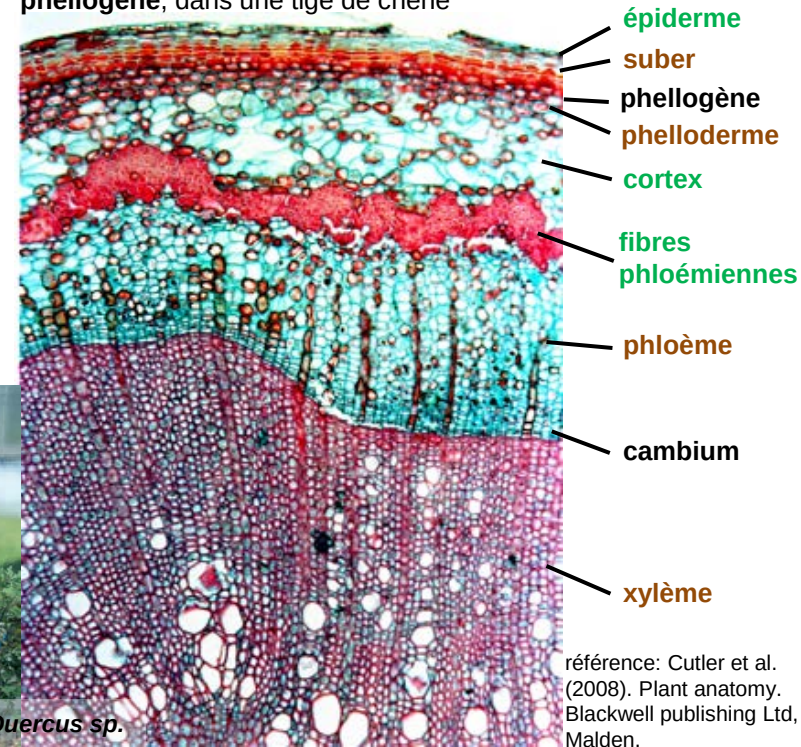


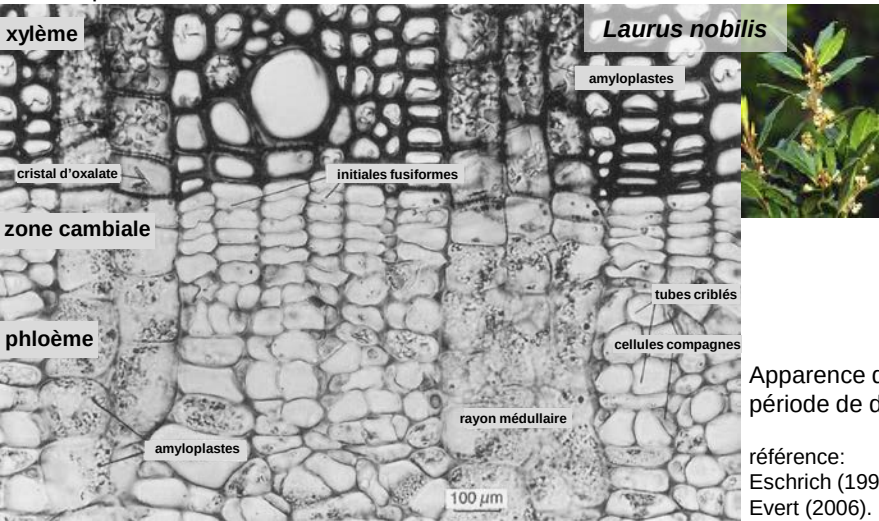
Fig. 12.2. Cambium vasculaire et tissus dérivés. **A**, Arrangement des initiales fusiforme (f) et de rayon (r) en coupe longitudinale tangentielle, dans le cambium en dormance hivernale. **C,D, E** *Robinia pseudoacacia*; les sections de tiges représentées s'étendent sur le xylème, cambium et phloème. **C**, vue transversale; **D**, vue radiale (partie conductrice); **E**, vue radiale (rayon médullaire). (adapté de Evert, 2006)

arrangement des tissus **primaires**, dérivés des méristèmes apicaux, et **secondaires**, dérivés du **cambium** et du **phellogène**, dans une tige de chêne



référence: Cutler et al. (2008). Plant anatomy. Blackwell publishing Ltd, Malden.

coupe transversale d'une zone cambiale en dormance



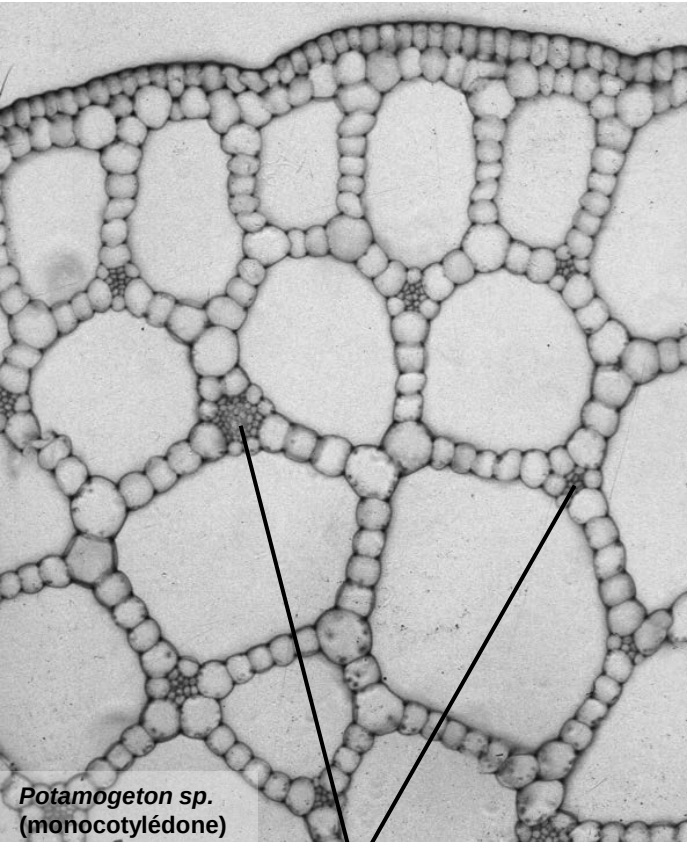
Apparence de la zone cambiale et des cellules dérivées de xylème et de phloème chez *Laurus nobilis*, en période de dormance.

référence:
Eschrich (1995). Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer Verlag, Berlin.
Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.

3. Les parenchymes primaires

spécialisation et dé-différentiation

parenchyme médullaire de la tige sous forme d'aérenchyme chez une plante aquatique



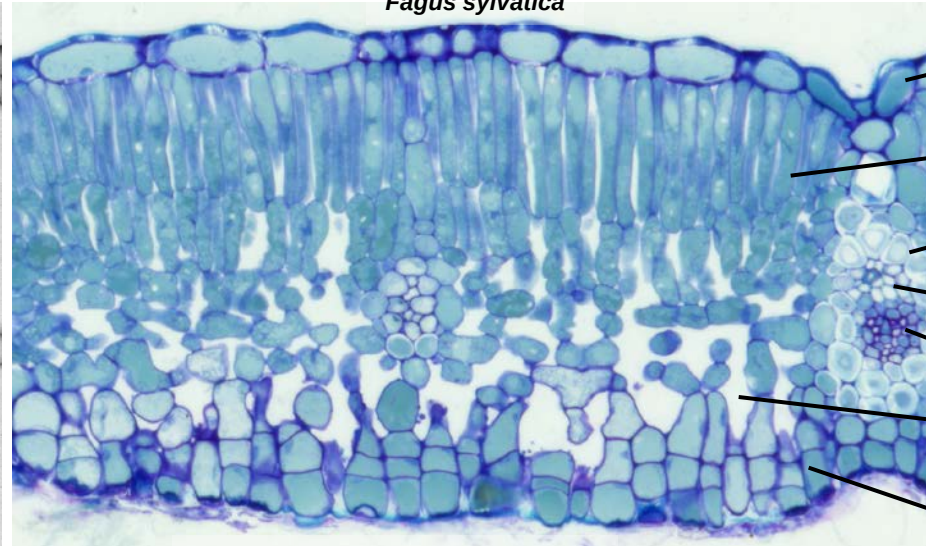
faisceaux vasculaires

Potamogeton sp.
(monocotylédone)



parenchyme lacuneux foliaire: cicatrisation et remplacement de l'épiderme inférieur suite à une blessure mécanique

Fagus sylvatica



épiderme

parenchyme palissadique

gaine périvasculaire

xylème

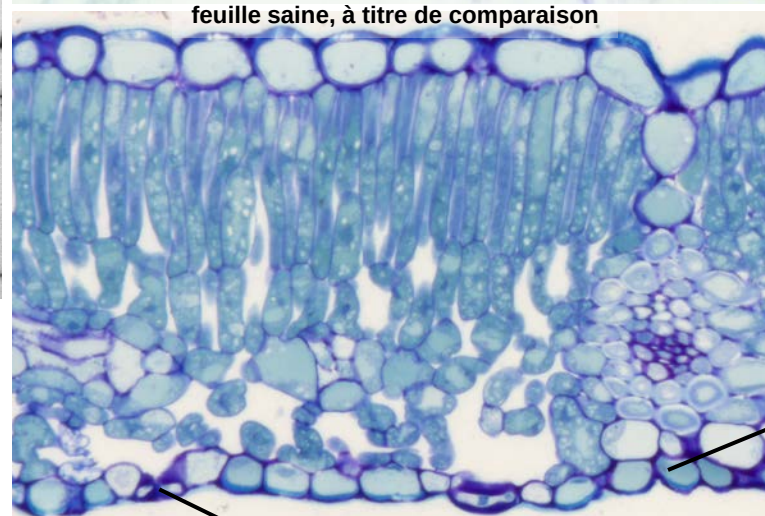
phloème

nervure

parenchyme lacuneux

tissu cicatriciel formé à partir du parenchyme lacuneux

feuille saine, à titre de comparaison



épiderme inférieur

appareil stomatique

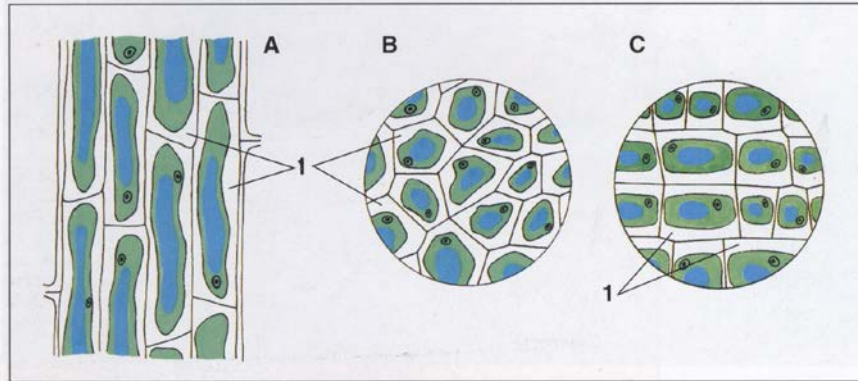
référence: Cutler et al. (2008). Plant anatomy. Blackwell publishing Ltd, Malden.

3. Les tissus de soutien primaires: le collenchyme

Encart no. 13: caractéristiques structurales (rappel)

En résumé: tissu de soutien périphérique des organes aériens / tissu constitutif ou induit par un stimulus (stress mécanique, blessure, hormones de croissance) / cellules vivantes de type parenchymateux / paroi primaire irrégulièrement épaissie et élastique riche en pectines et hémicelluloses.

structure schématique



3.7 Diagrams of collenchyma cells in longitudinal (A) and transverse views (B, C) of a stem. Their protoplasts are similar to those of parenchyma cells but the cellulosic primary walls (1) are unevenly thickened. Two common variants are illustrated: angular (A to B) and lamellar collenchyma (C) and in both intercellular spaces are absent.

différents types de renforcement de la paroi

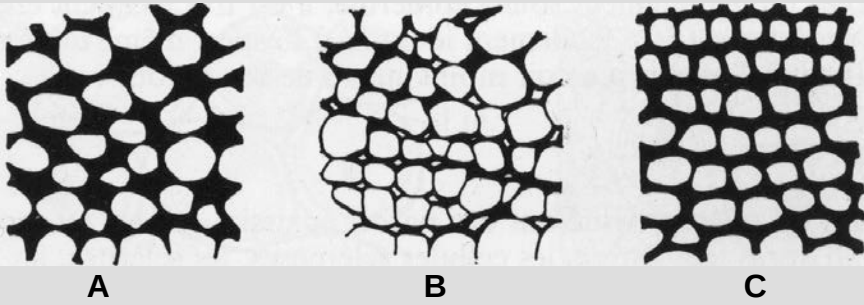


Fig. 38. - Collenchymes : A. angulaire (pétiole de *Malva sylvestris*). B. lamellaire (tige de *Datura*). C. annulaire.

références:

- Bowes (1997). A colour atlas of plant structure. Manson publishing Ltd, London.
- Deysson (1978). Organisation et classification des plantes vasculaires. Sedes, Paris.

allocation de **cadmium** dans le collenchyme foliaire de *Salix viminalis*

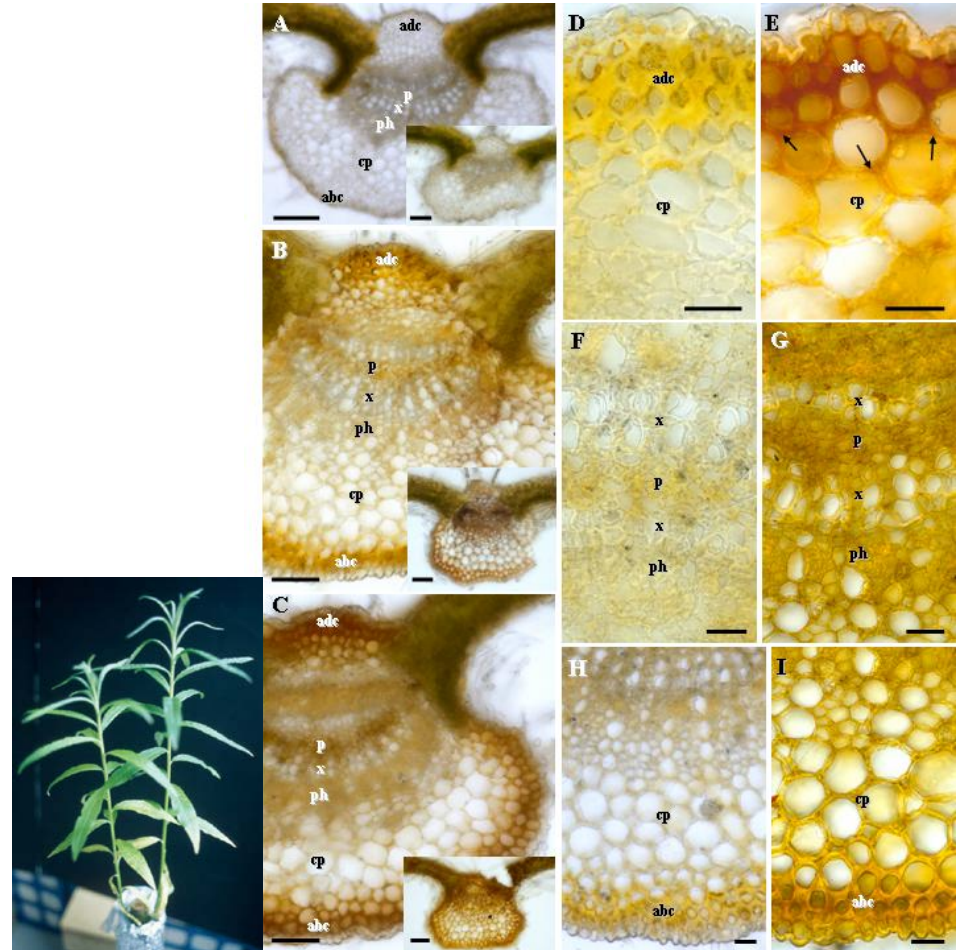


Fig. 1. Microlocalization of Cd in the leaf veins with the physical development method. Metal deposition is indicated by yellow to brownish tones. After 15 min development, the Cd signal increased from the 0 μM treatment (A, no signal) to the 10 μM treatment (B) and the 50 μM treatment (C). More metal was visible in the older than in the younger leaves (detail pictures), but allocation trends were the same. D-I tissue allocation of Cd as visible after 30 min of development. A metal signal was visible in adaxial (adc) and abaxial (abc) collenchyma > pith (p) > phloem (ph) > cortical parenchyma (cp) > xylem (x). It was generally increased in the middle lamella (arrows in E). A weak signal was observed in the controls (D, F, H). Cadmium treatments: 0 μM (A, D, F, H), 10 μM (B, G, I), 50 μM (C, E). Bars: 50 μm (A-C), 20 μm (D-I).

référence: Vollenweider et al. (2006). Environ. Exp. Bot. 58, 25-40.



P. Vollenweider
AEF-Cours 3, page 3/36

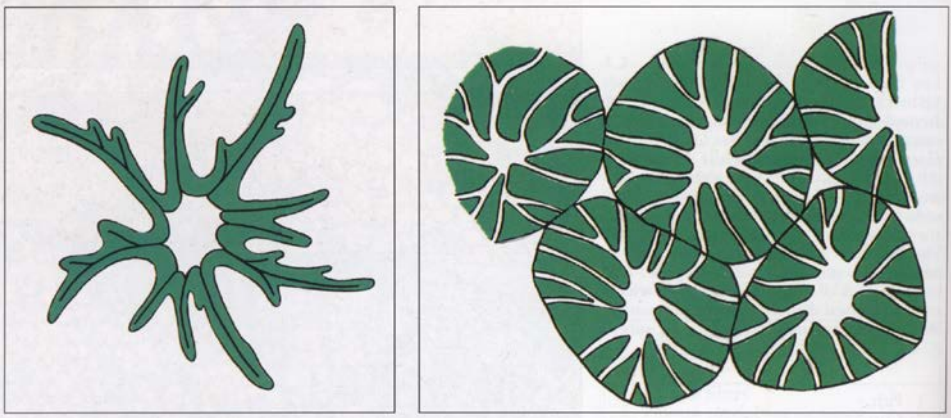
3. Encart no. 14: Les tissus de soutien primaires (rappel): le sclérenchyme (I)

Structure: tissu de soutien interne avant tout dans les organes épigés / morphologie et arrangement variables (cellules isodiamétriques ou fibres isolées, en pôles ou sous forme de tissus / cellules à paroi secondaire développée et à un ou plusieurs noyaux, généralement mortes à maturité.

Fonctions: soutien / protection mécanique / contribution aux gradients de pression (phloème).

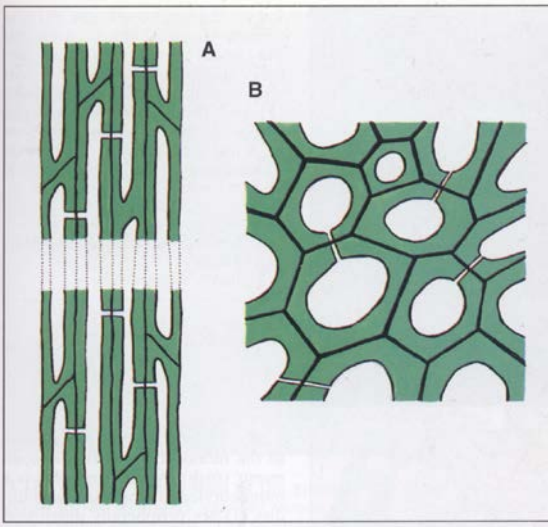
Exemples:

sclérites



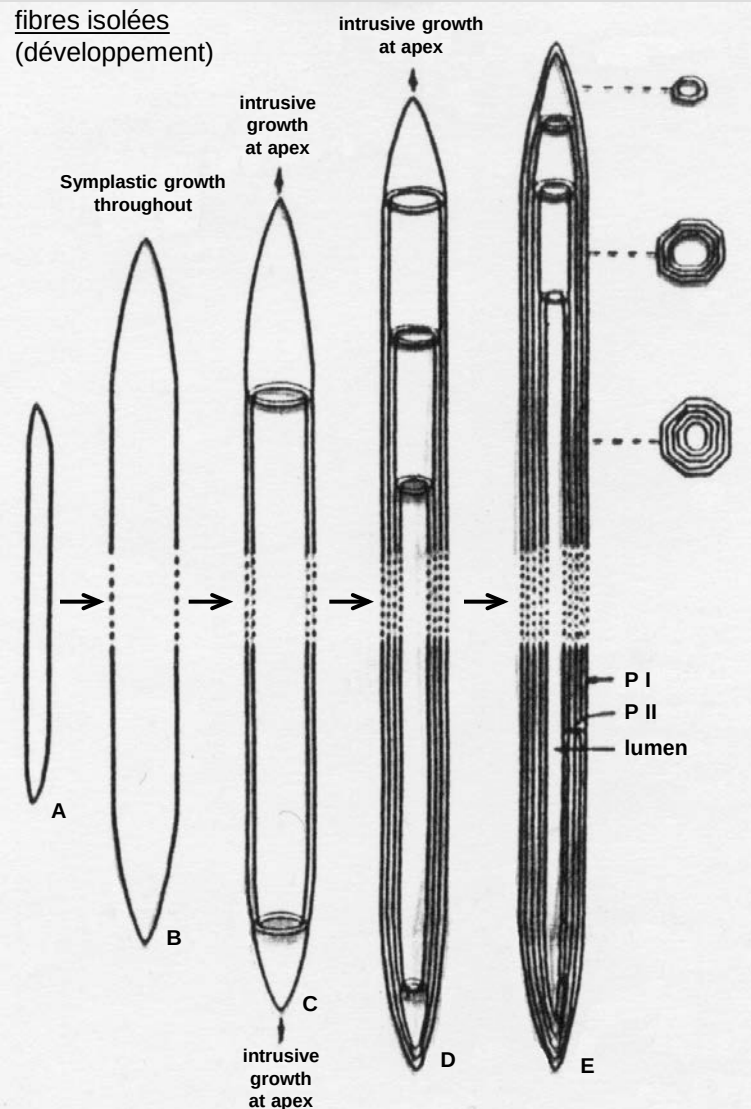
3.8, 3.9 Diagrams of sclerenchymatous elements with thick, lignified secondary walls. Mature cells are generally dead and prominent lumina replace their protoplasts. 3.8 Much-branched asterosclereid. 3.9 Group of isodiametric stone cells with branched simple pits.

faisceau de fibres



3.10 Diagrams of fibrous sclerenchymatous elements (with thick, lignified secondary walls) seen in (A) longitudinal and (B) transverse views. These highly elongate cells have tapering (often branched) tips and simple pits are often frequent in their walls. Fibres constitute a major mechanical support system in the shoot.

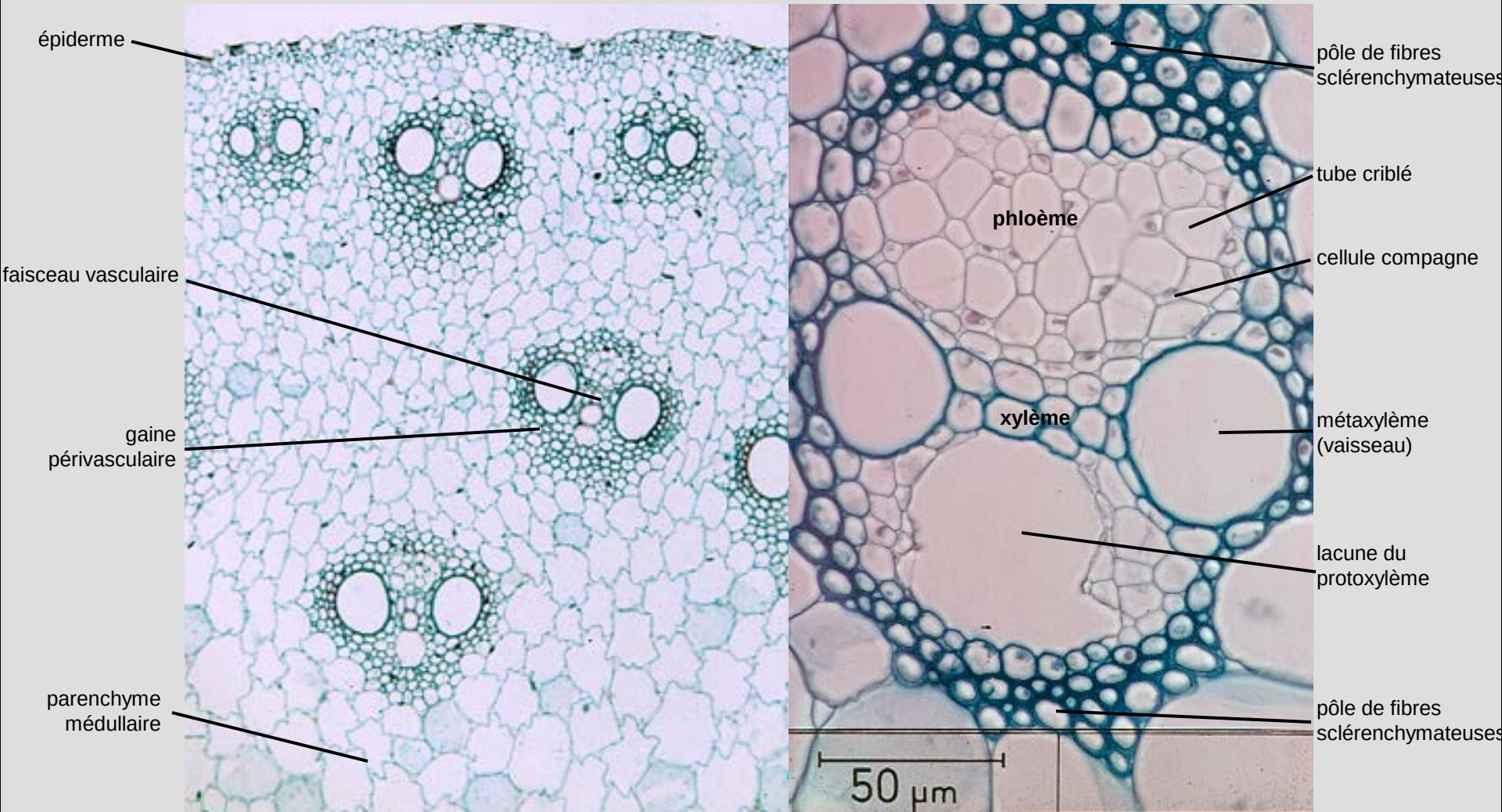
référence: Bowes (1997). A colour atlas of plant structure. Manson publishing Ltd, London.



référence: Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.

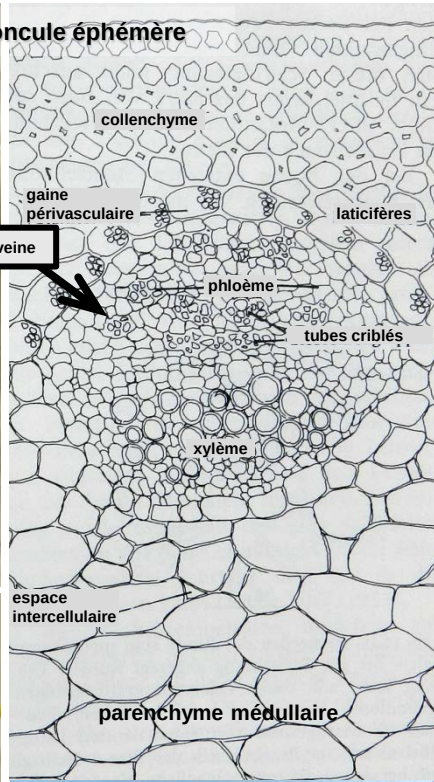
3. Encart no. 15: Les tissus de soutien primaires (rappel): le sclérenchyme (II)

Exemple: **pôles de fibres sclérenchymateuses** disposées concentriquement et formant une gaine périvasculaire associée aux faisceaux conducteurs dans la tige des monocotylédones (*Zea mays*)



référence: Cutler et al. (2008). Plant anatomy. Blackwell publishing Ltd, Malden.

3. Les tissus de soutien: sélection, fonctionnement et arrangement selon l'histoire de vie



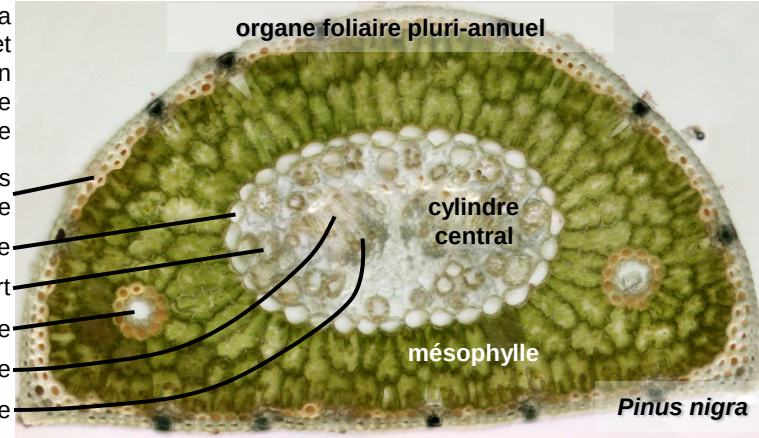
Taraxacum officinalis



Le port érigé des organes épigés éphémères, tels que les pédoncules de *Taraxacum*, et dans le cas des feuilles de grande taille est assuré par la **turgescence** (dans cet exemple sous la forme d'un gradient dans le parenchyme médullaire) et des renforcements de **collenchyme**

Le **sclérenchyme** assure la rigidité des organes durables et forme l'unique tissu de soutien quand le feuillage est de petite taille et de forme linéaire

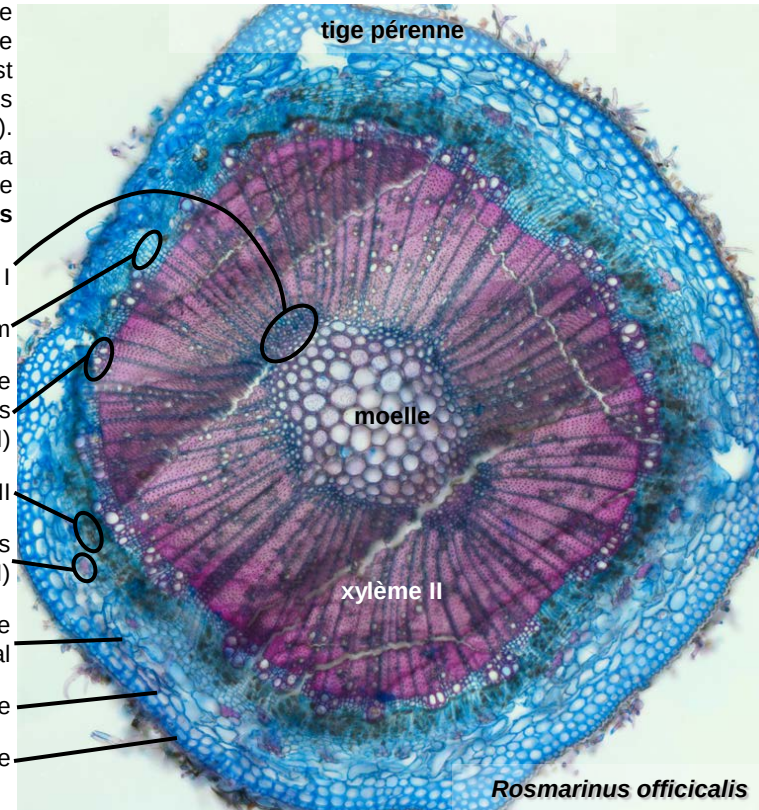
épiderme et hypoderme sous la forme de sclérenchyme
endoderme
tissu de transfert
canal à résine
phloème
xylème



Dans les organes épigés se desséchant en fin de saison de végétation, le port érigé est assuré par les tissus lignifiés (**sclérenchyme** et/ou **xylème**).

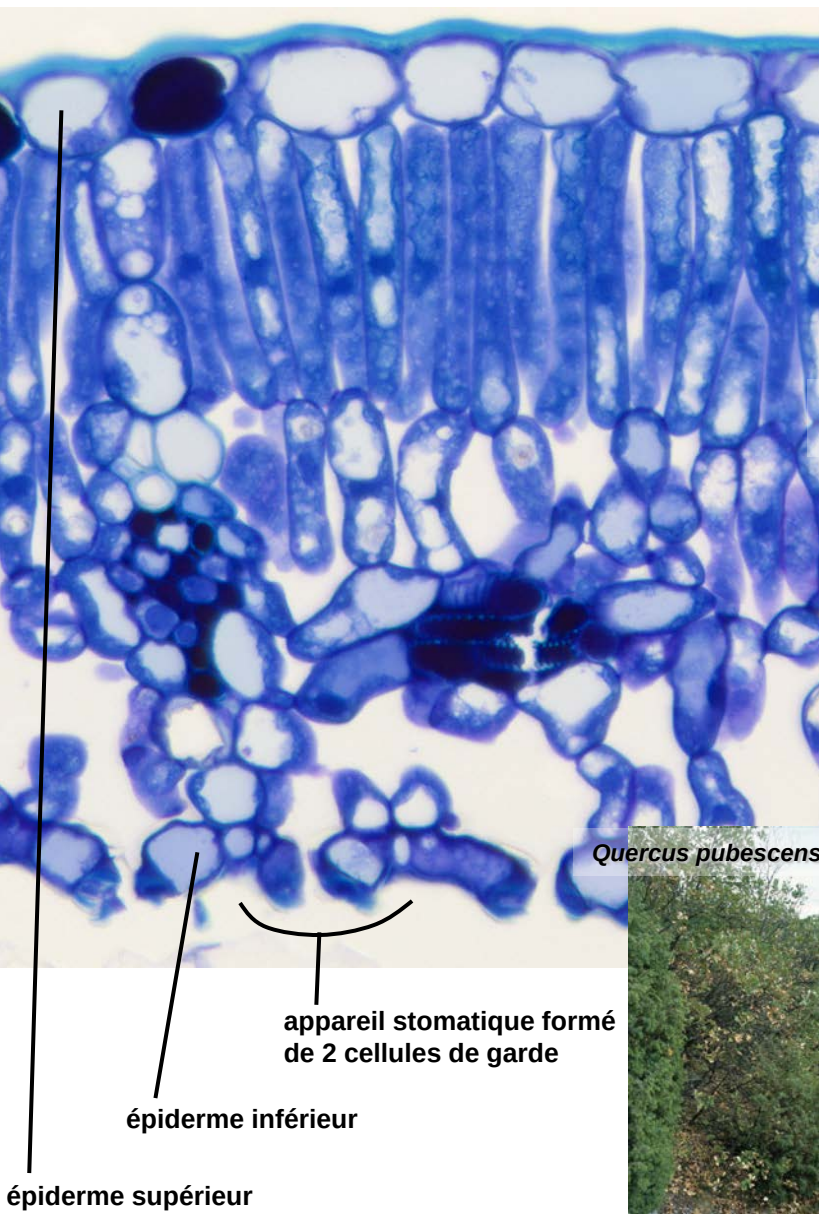
Dans les tiges pérennes, la fonction de soutien est assurée par le **bois**

xylème I
cambium
nouvelle cerne de bois (xylème II)
phloème II
pôle de fibres (phloème I)
parenchyme cortical
collenchyme
épiderme



3. Les tissus de revêtement primaires des parties aériennes (I): dimorphisme structural et fonctionnel des faces ad- et abaxiales de la feuille

structure caractéristique d'une feuille de dicotylédone



fonction de compartimentation: spécialisation de la paroi épidermique:

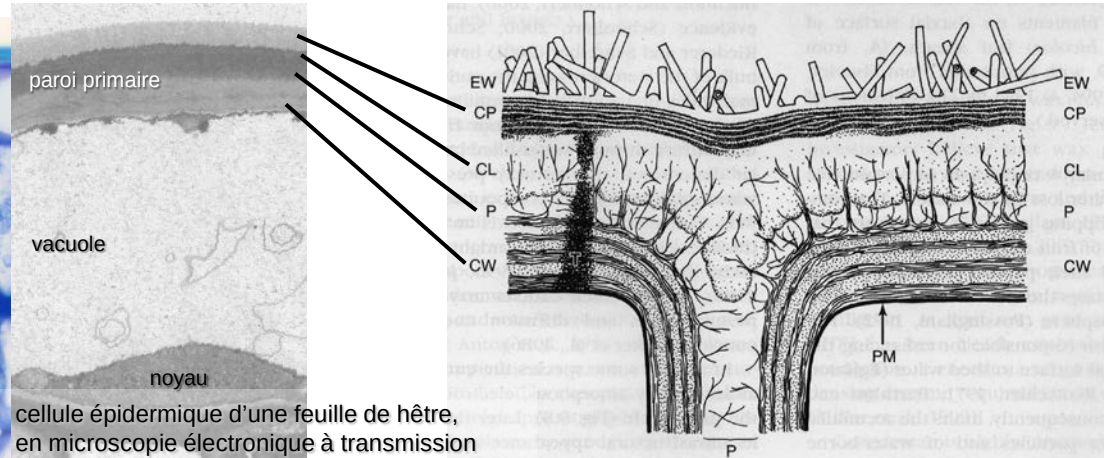
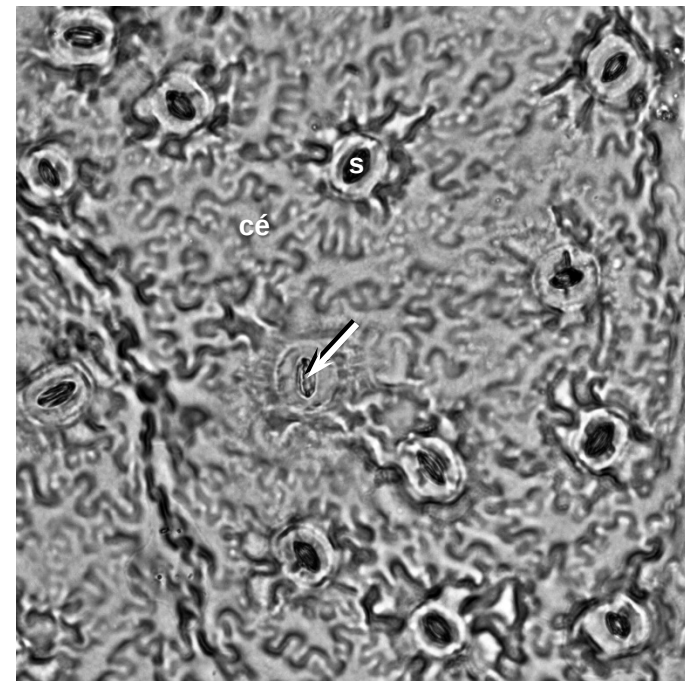


FIGURE 9.6. Generalized structure of a plant cuticle. Details: CL, cuticular layer or reticulate region, traversed by cellulose microfibrils; CP, cuticle proper, showing lamellate structure; CW, cell wall; EW, epicuticular wax; P, pectinaceous layer and middle lamella; PM, plasma membrane; T, teichode. (From Jeffree, 1986)

référence: Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.

empreinte de la face inférieure d'une feuille de hêtre (*Fagus sylvatica*). Les stomates (s), formés de deux cellules de garde réniformes (densité: 350-450 mm⁻², environ), sont entourés de cellules épidermiques (cé) en forme de pièces de puzzle et étroitement imbriquées les unes dans les autres. Remarquer l'ouverture du stomate (ostiole), fermée en cours de préparation (flèche).



3. Les tissus de revêtement primaires des parties aériennes (II): fonctionnement stomatal et échanges gazeux

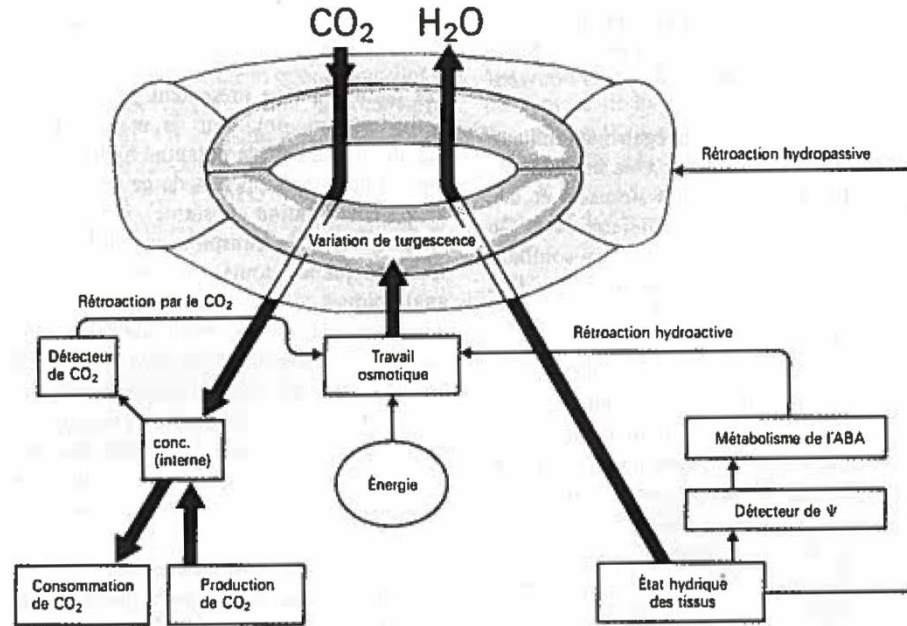
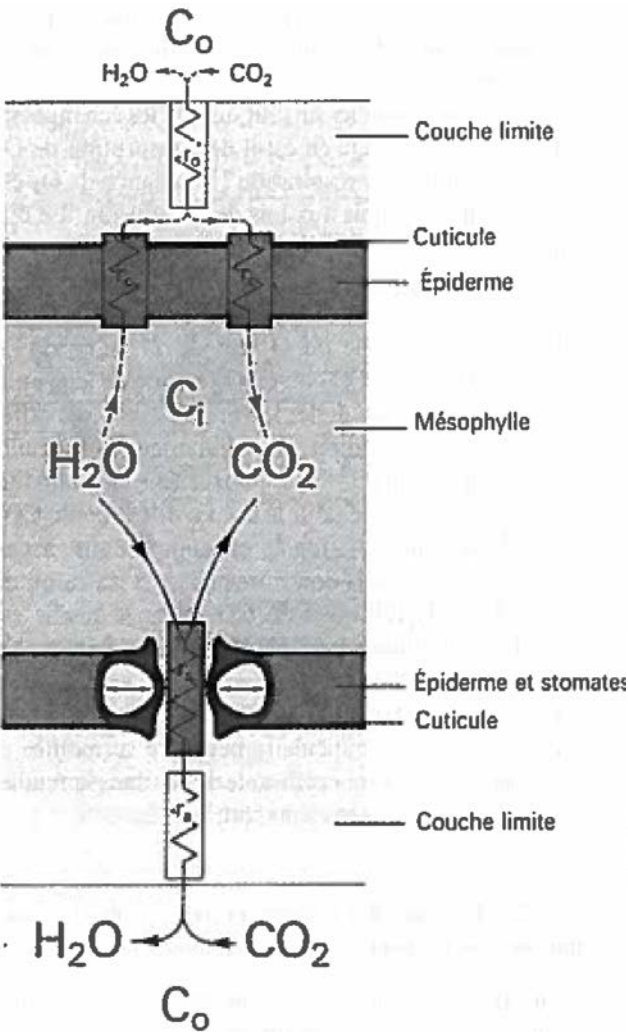


Figure 23-21. Modèle du système de rétroaction intervenant dans le contrôle des mouvements d'ouverture des stomates. Les détecteurs de la concentration en CO_2 et le potentiel hydrique foliaire (Ψ) se situent dans les cellules stomatiques. ABA: acide abscissique (d'après Rashke).

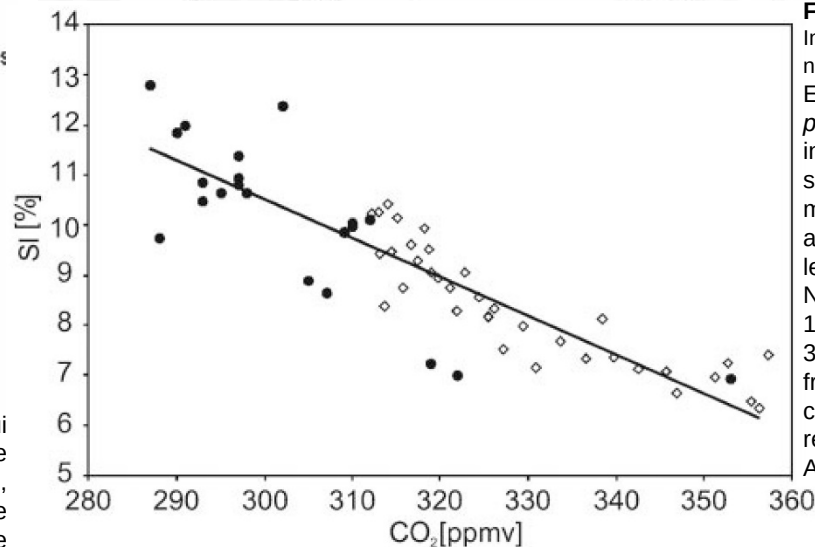
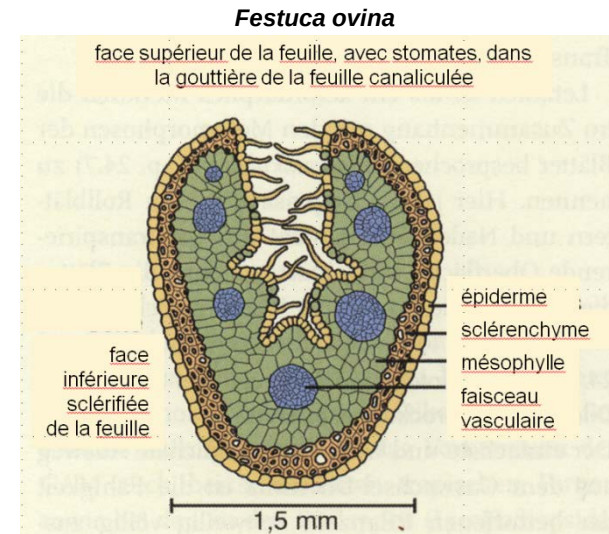
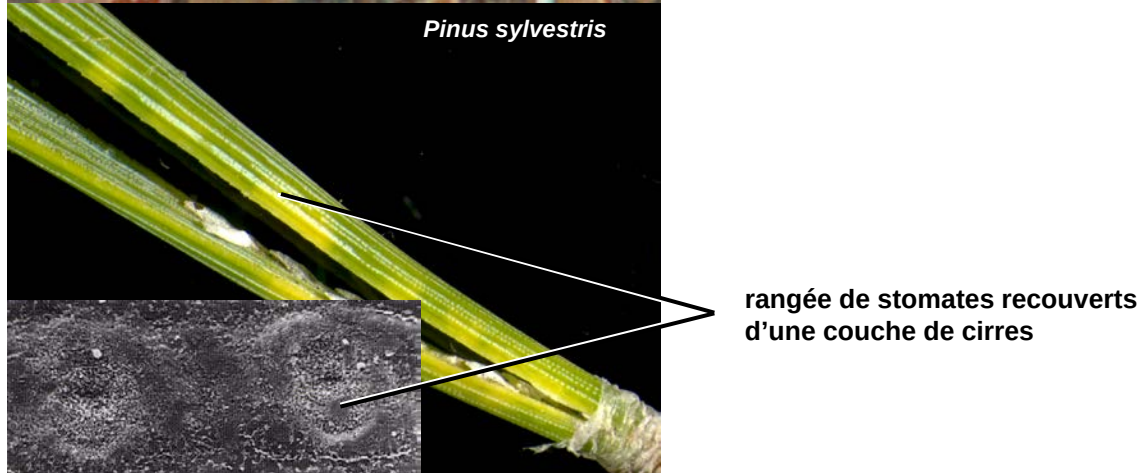
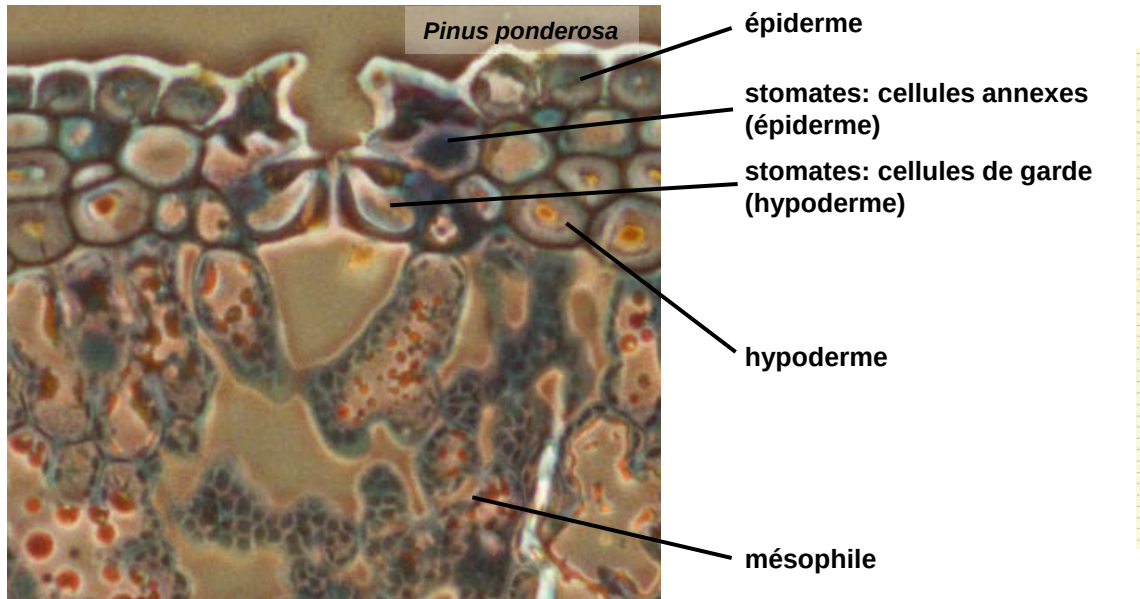


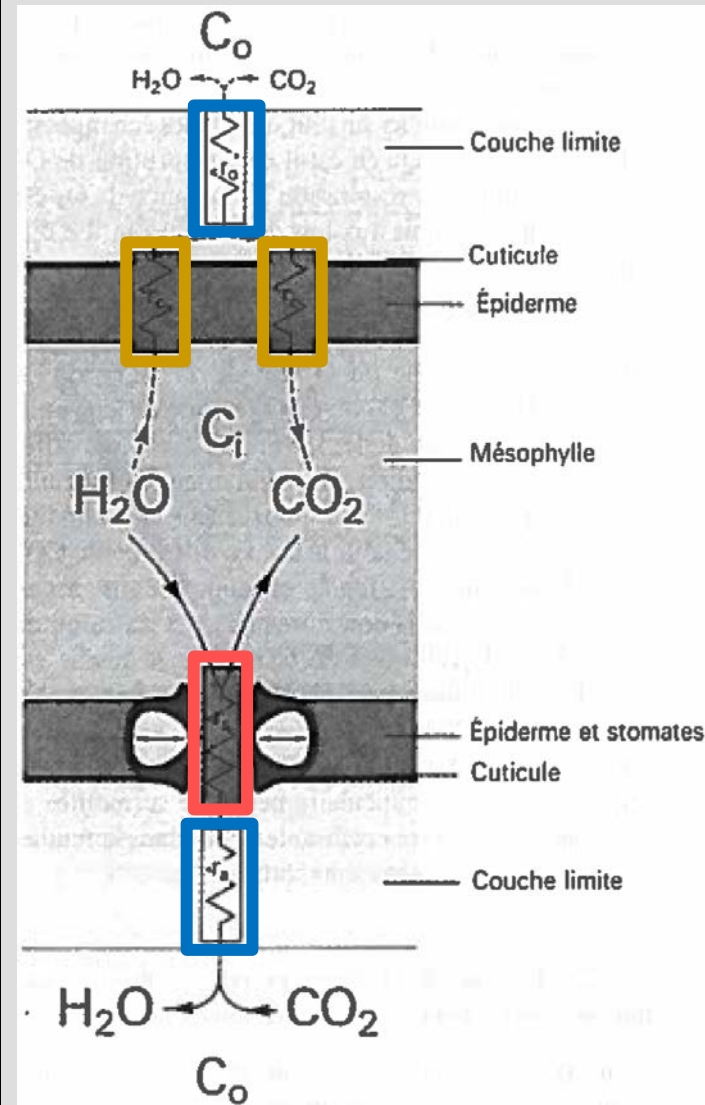
Fig. 1. Historical response of SI [Stomatal Index: ratio of the number of stomata to the total number of stomata and epidermal cells] for European tree birches (*B. pendula* and *B. pubescens*) to global atmospheric CO_2 increase from 287 to 356 ppmv. The training set includes mean SI values for herbarium material (●) collected in The Netherlands and Denmark in the period 1843–1995 and leaf remains from living peat (◇) in The Netherlands, formed in the period 1952–1995. Historical CO_2 concentrations of 315–356 ppmv are mean spring-season values from Mauna Loa monitoring, and concentrations of 287–315 ppmv are representative values derived from shallow Antarctic ice cores. (...).

3. Les tissus de revêtement primaires des parties aériennes (III): transpiration et protection contre la déshydratation chez les xérophytes



- références:
- Jutzi et al. (1992). L'air. vdf, Zürich et Georg eds., Genève
 - Lüttge et al. (2005). Botanique. Tec&Doc-Lavoisier

3. Encart no. 16: traits xéromorphiques principaux chez les xérophytes des milieux arides et semi-arides



Caractéristiques xéromorphiques	Pourcentage d'espèces ^s
pubescence	42
poils glanduleux	8
cuticule épaissie	80
paroi épidermique externe renforcée	87
stomates sur toutes les faces des organes chlorophylliens	51
cryptes stomatales	59
épiderme/hypoderme pluri-stratifié	48
crassulescence	42
parenchyme palissadique ad- et abaxial	35
sclérification des zones foliaires marginales	35
pôles sclérifiés de part et d'autre des nervures secondaires	65
cloisons sclérifiées de compartimentation dans le mésophylle	55
accumulation de tannins	25

^s71 taxa: 35 dicotylédones, 33 monocotylédones, 3 gymnospermes

couleur: structures impliquées dans le contrôle de l'évapotranspiration

adapté de: Fahn et Cutler (1992). Xerophytes. Gebrüder Bornträger, Berlin

3. Encart no. 17: Les tissus de revêtement primaires des parties aériennes (IV): les hydathodes et l'augmentation de la transpiration foliaire

Augmentation de la transpiration foliaire: à l'inverse de la situation des xérophytes, il peut être avantageux pour les plantes d'augmenter leur transpiration foliaire: c'est notamment le cas d'herbacées en pleine croissance végétative et jouissant d'une alimentation hydrique optimale. Les hydathodes, des structures spécialisées sur le bord des feuilles, fournissent un exutoire à cet excès de sève brute, notamment de nuit et à l'aube, avant que l'évapotranspiration stomatale ne prenne le relais. D'un point de vue fonctionnel, les hydathodes contribuent à la récupération de la pleine hydratation de la plante. L'énergie nécessaire à l'ascension de la sève est fournie par la poussée racinaire.

Autres fonctions: excrétion de sucres et autres substances organiques (rôle de nectaires) / excrétion de sels minéraux notamment de calcium (pores calcaires des Saxifragaceae, Fig. 16.5) / absorption d'eau à partir de gouttelettes en suspension (brouillard et rosée).

Fréquence: 115 familles, 350 genres (surtout des herbacées).



Guttation (à gauche) et rosée (à droite) sur des feuilles de graminées, en début de journée, au mois de mai. Les gouttes de rosée sphériques, par «effet Lotus», contribuent à l'élimination des poussières superficielles.

FIGURE 16.6. Hydathode in the leaf of potato (*Solanum tuberosum*). (...). B, transverse section through hydathode at tip of terminal leaflet. Giant stoma associated with hydathode is open (arrow) ; one guard cell is collapsed. Other details: e , epitherm; t, tracheary element. (B, x 276. From McCauley and Evert, 1988).

références:
- Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.



fonctionnement circadien des pores calcaires, chez *Saxifraga paniculata*.

Wettswil, 25 mai 2016.

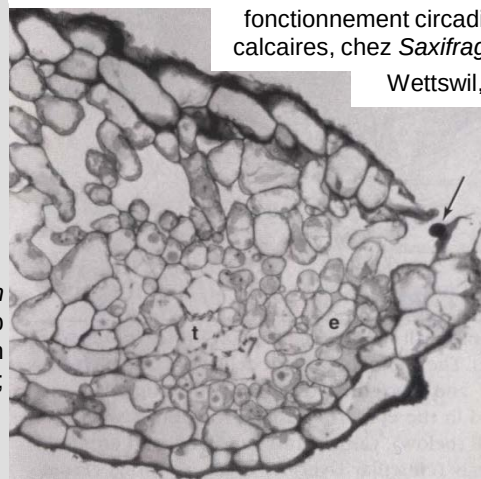
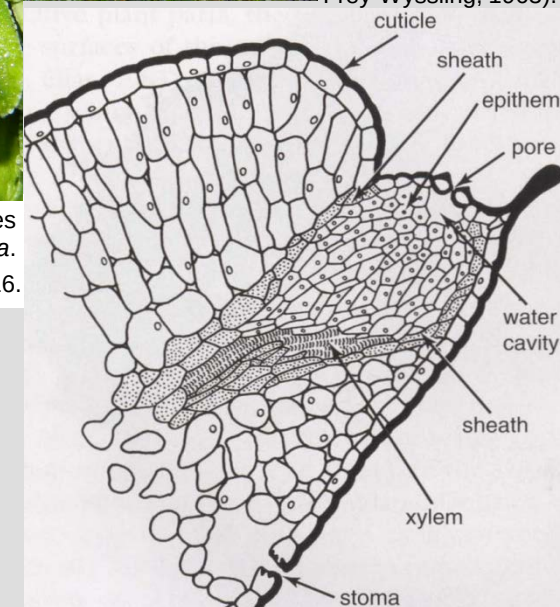
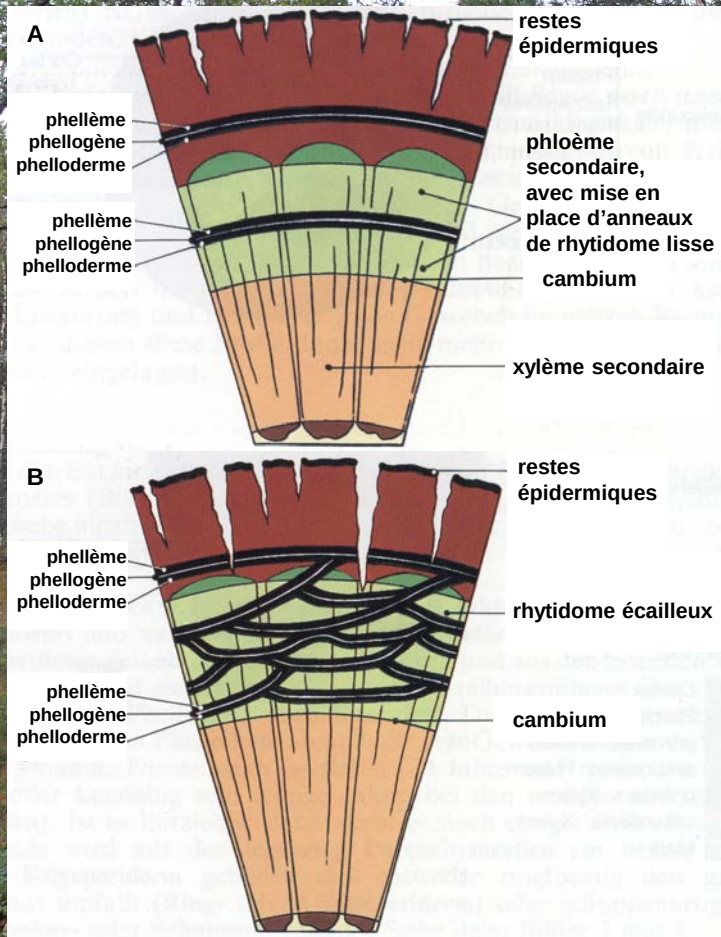


FIGURE 16.5. Hydathode of leaf of *Saxifraga lingulata* in longitudinal section. Tannin-containing heath cells are stippled. (After Hauserrmann and Frey-Wyssling, 1963).



3. Les tissus de revêtement secondaires



mise en place du rhytidome lisse (A) ou écailleux (B) dans les tiges pérennes.

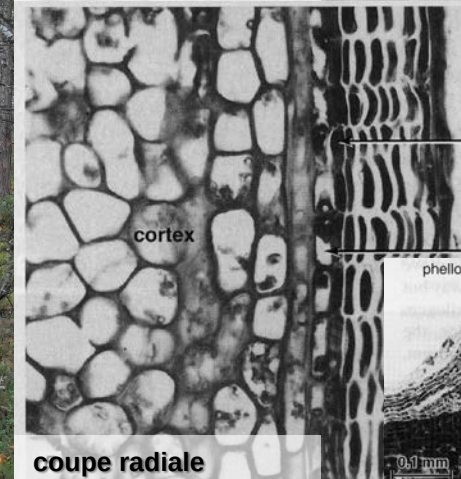
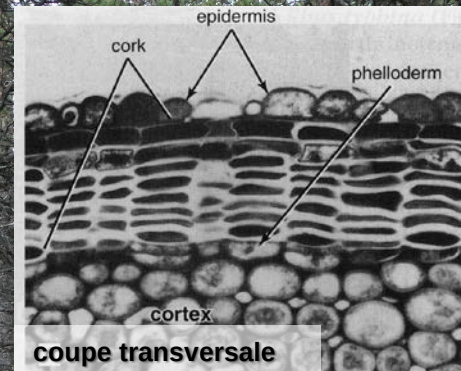


FIGURE 15.2. Periderm consisting largely of cork in transverse (A) and longitudinal (B) sections of dormant *Betula* twig. (Both, x430).

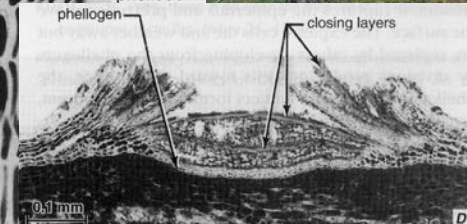


FIGURE 15.14. Lenticels in transverse sections of stems. (...). **D**, beech (*Fagus grandifolia*). Lenticel with closing layers. (from Esau, 1977).

références:

- Vaucher (1990). Baumrinden. Enke Verlag, Stuttgart
- Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.



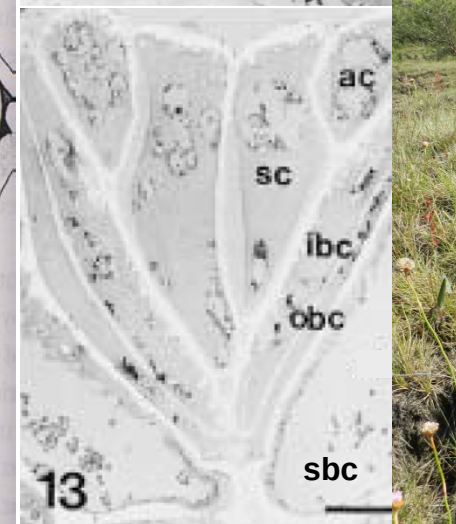
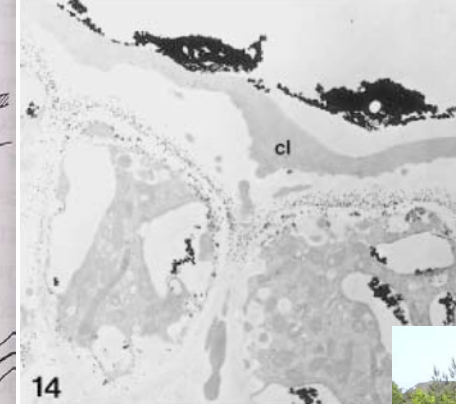
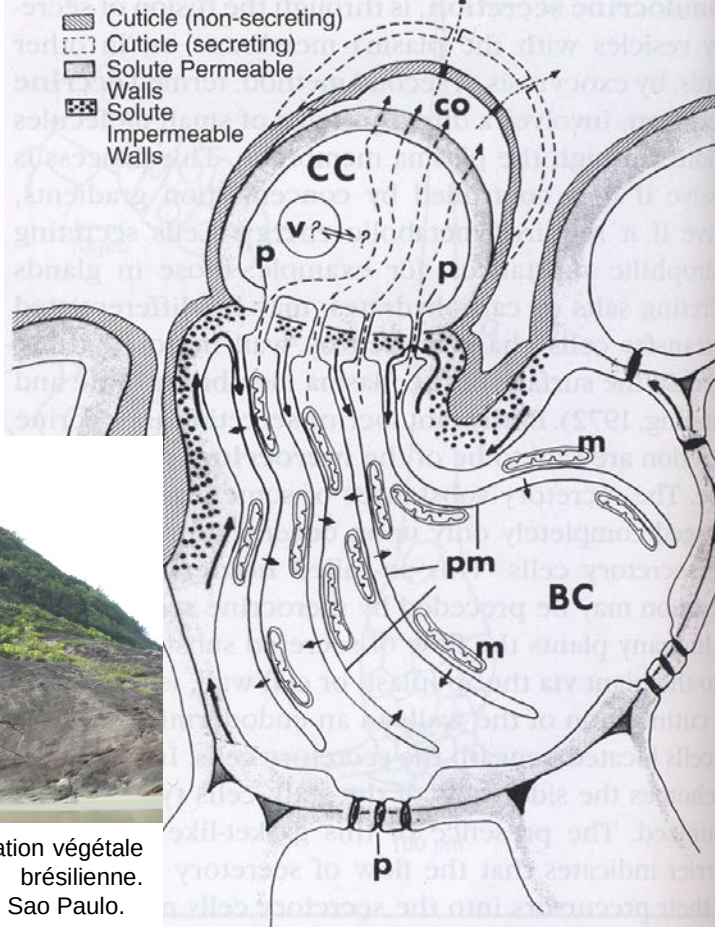
3. Les tissus sécréteurs externes (I): substances hydrophiles

Cynodon dactylon



limitation par le sel de la colonisation végétale le long de la côte atlantique brésilienne. Réserve de Jureia Itaitins, état de Sao Paulo.

les glandes sécrétrices à sels chez les halophytes



Armeria maritima

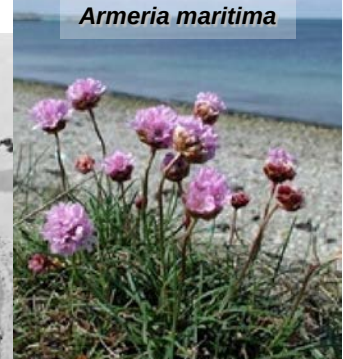


FIGURE 16.3 Model of structure-function relations in the two-celled salt gland of Bermuda grass (*Cynodon*). Plasmodesmata (p) occur between the basal cell (BC) and all adjoining cells, including the cap cell (CC). The only impermeable part of the gland wall occurs in the neck region of the basal cell, where the wall is lignified. The protoplast of the basal cell is characterized by the presence of numerous, long invaginations of the plasma membrane (pm) that originate near the juncture of the two gland cells. These partitioning membranes are closely associated with many mitochondria (m) and microtubules (not shown here). The cap cell, which is relatively unspecialized compared with the basal cell, contains a normal complement of organelles, including vacuoles (v) of varying size. Short arrows indicate proposed energy requiring transmembrane flux of solutes from the lumina of the partitioning membranes to the basal cell cytoplasm; long arrows, the pathway of passive transport to the partitioning membranes; long dashes, the pathway of diffusive flow through the gland symplast; short dashes, pressurized flow of salt solution from the collecting chamber (co) through pores in the distended cuticle. (From Gross et al., 1985).

référence: Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.

Plate 6. Figures 13–17. Transverse sections through leaf gland. Fig. 13: Leaf gland in active state. Secreting cells (sc), accessory cells (ac), inner basal cells (ibc), outer basal cells (obc), sub-basal cells (sbc). Vesicles in gland cells with dark deposits. No staining. $\times 1,600$. Fig. 14: Apical region of central gland part with large accumulations outside the cell wall, dark deposits in vesicles and dispersed grains in cell walls of secreting cells except the cutinized layer (cl). Lead staining. $\times 7,000$. Bar = 10 μm (Fig. 13), 2 μm (Fig. 14).

référence: Heumann (2002). J. Plant Physiol. 159, 191-203.



P. Vollenweider
AEF-Cours 3, page 3/46

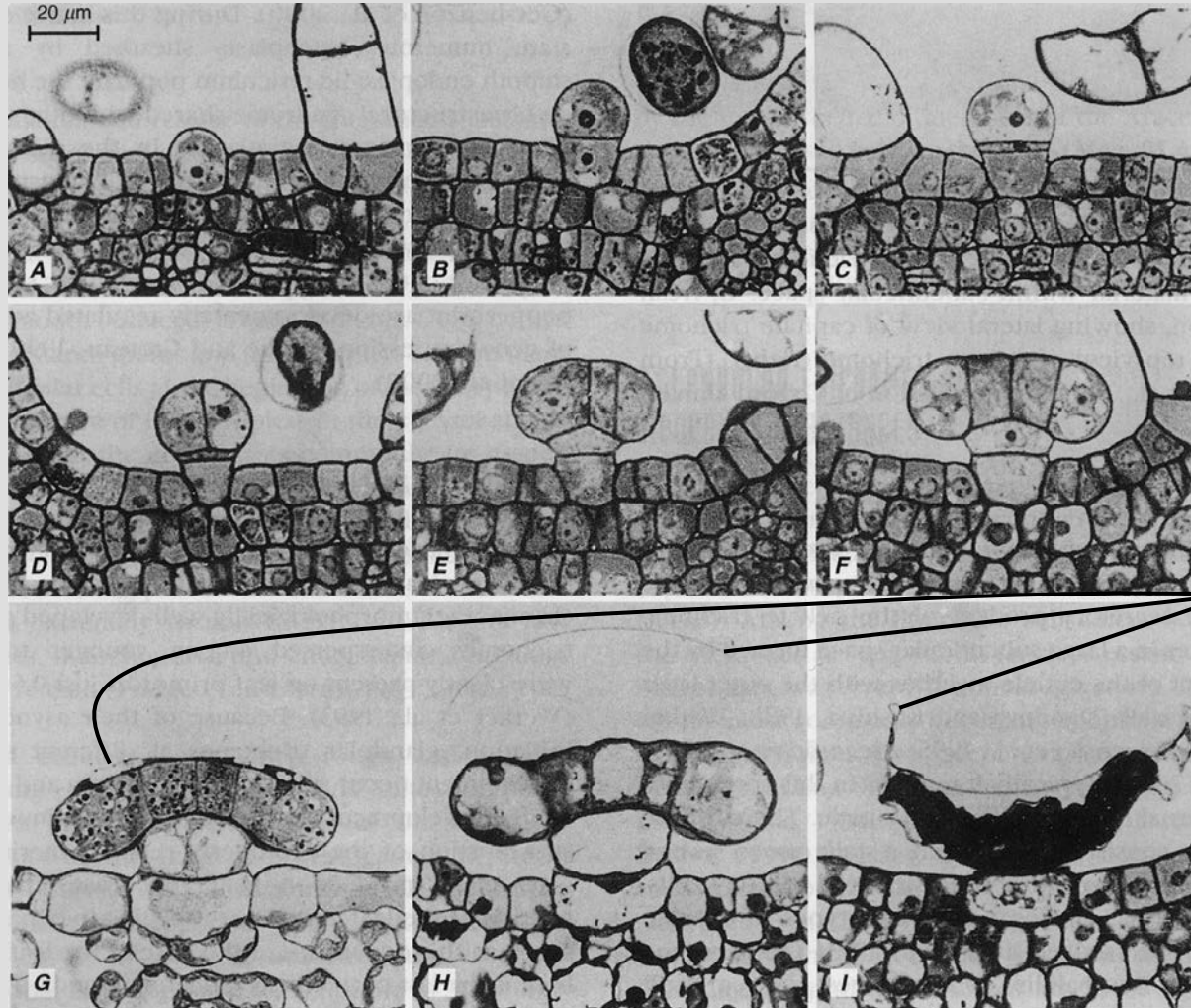
3. Encart no. 18: Les tissus sécréteurs externes (II): substances hydrophobes

Cycle de vie de trichomes glanduleux peltés (i.e.: 4-18 cellules sécrétrices sur un pied court pluri-cellulaire; accumulation des produits de sécrétion sous la cuticule)

Formation: induction au stade du primordia et se poursuivant jusqu'au stade d'élongation de la feuille.

Substances sécrétées: terpénoïdes (sous forme d'huiles essentielles et de résines), graisses, cirres et flavanoïdes (structure cellulaire: cf. doc. 2/19).

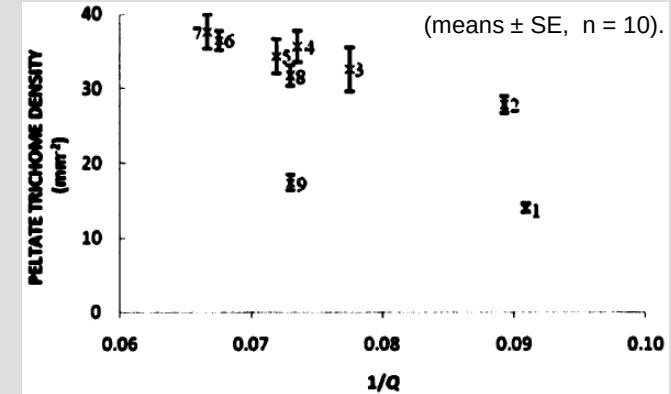
Fonctions principales: défense biochimique (herbivores) / attraction de pollinisateurs / propagation de graines, et de fruits (structures gluantes).



Plasticité environnementale:

diminution des densités foliaires de trichomes glanduleux le long d'un gradient d'aridité

Fig. 3 Relationship between the density of peltate glandular trichomes on the adaxial surface of *Lippia graveolens* (Verbenaceae) leaves, and inverse of Emberger's index of aridity (Q) for all nine populations sampled in the state of Yucatan, Mexico. Higher 1/Q values indicate greater aridity.



cuticule



Origanum vulgare



Lippia graveolens

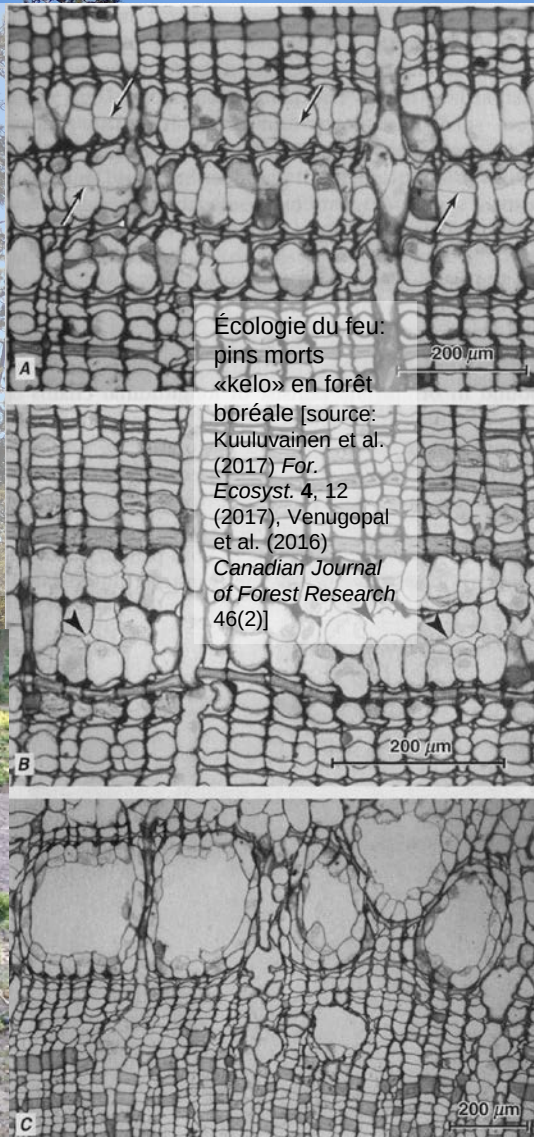
FIGURE 16.21 Successive stages of glandular trichome development in the leaf, as seen in transverse sections of leaf of *Origanum x intercedens* (Lamiaceae). A protodermal stage. B-C formation of the basal, stalk and initial cell of the trichome head. D-F formation of the secretion cells in the trichome head. G-H synthesis and secretion of the essential oil and accumulation beneath the cuticle. I Degeneration of the trichome (From Bosabalidis and Exarchou, 1995).

références: - Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.
- Martinez-Natarén et al. (2011) J. Torrey Bot. Soc. 138: 134-144

3. Les tissus sécréteurs internes – les canaux à résine

FIGURE 17.12. Traumatic resin canals in secondary phloem of *Chamaecyparis obtusa* in transverse section. Formation of the canals was induced by mechanical wounding. **A**, between day 7-9 after wounding, expanding axial parenchyma cells began to divide periclinally; arrows point to newly formed periclinial walls. **B**, 15 days after wounding, the centrally situated cells began to separate schizogenously from each other (arrowheads), forming canals. **C**, traumatic phloem resin canals 45 days after wounding. (From Yamanaka, 1989).

Chamaecyparis obtusa



Écologie du feu:
pins morts
«kelo» en forêt
boréale [source:
Kuuluvainen et al.
(2017) *For.
Ecosyst.* 4, 12
(2017), Venugopal
et al. (2016)
*Canadian Journal
of Forest Research*
46(2)]

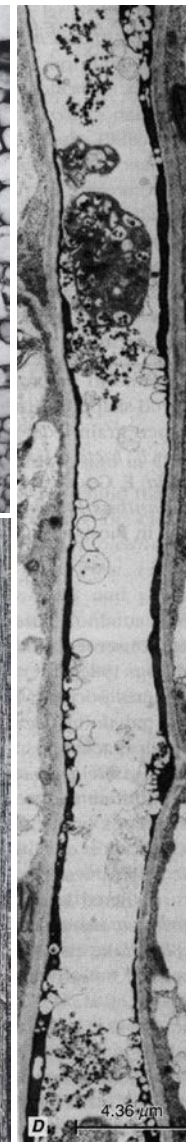
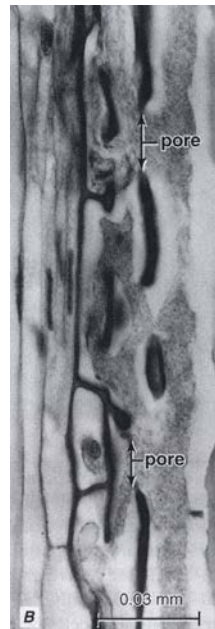
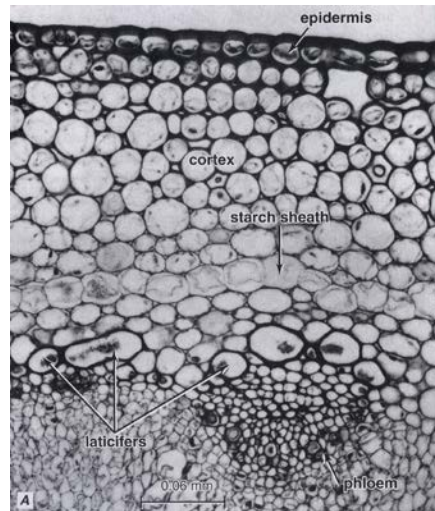
Écologie du feu: pins morts «kelo» en forêt boréale: des îlots de biodiversité convoités



Tasse finlandaise en bois de pin «kelo», rendue résistante à la pourriture par la multiplication des **canaux résinifères** et l'imprégnation du bois en résine

références: - Evert (2006). *Esau's plant anatomy*. Wiley, Hoboken

3. Les tissus sécréteurs internes – les laticifères



Lactuca scariola



FIGURE 17.14. Articulated anastomosing laticifers in *Lactuca scariola*. **A**, transverse section of stem. Laticifers are outside the phloem. **B**, **C**, longitudinal views of laticifers in partly macerated tissue (**B**) and section (**C**) of stem. Perforations can be seen in the walls of the laticifer in **B**. (**C**, from Esau, 1977).

FIGURE 17.17. Late stages in differentiation of nonarticulated laticifers in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). (...) **D**, longitudinal section of maturing region of a laticifer. The continuous central vacuole contains clusters of latex particles and remnants of degenerating cytoplasm. The peripheral cytoplasm of the laticifer is more electron dense than that of the adjacent parenchyma cells. (From Fineran, 1983).

3. Encart no. 19: Les tissus conducteurs (I): ontologie et phylogénie du xylème primaire (rappel)

Structure: origine procambiale / types et morphologie cellulaires variant en fonction du stade de développement ontogénétique (Fig. 10.18B-D / complexité croissante des renforcements de la paroi secondaire des éléments conducteurs / parenchyme de stockage et fibres de soutien à partir du stade métaxylème.

Fonctions: conduction de la sève brute ascendante et soutien (métaxylème).

Évolution phylogénétique: dissociation des fonctions de conduction et de soutien suite à l'apparition des fibres/éléments de vaisseaux en complément/remplacement des trachéïdes.

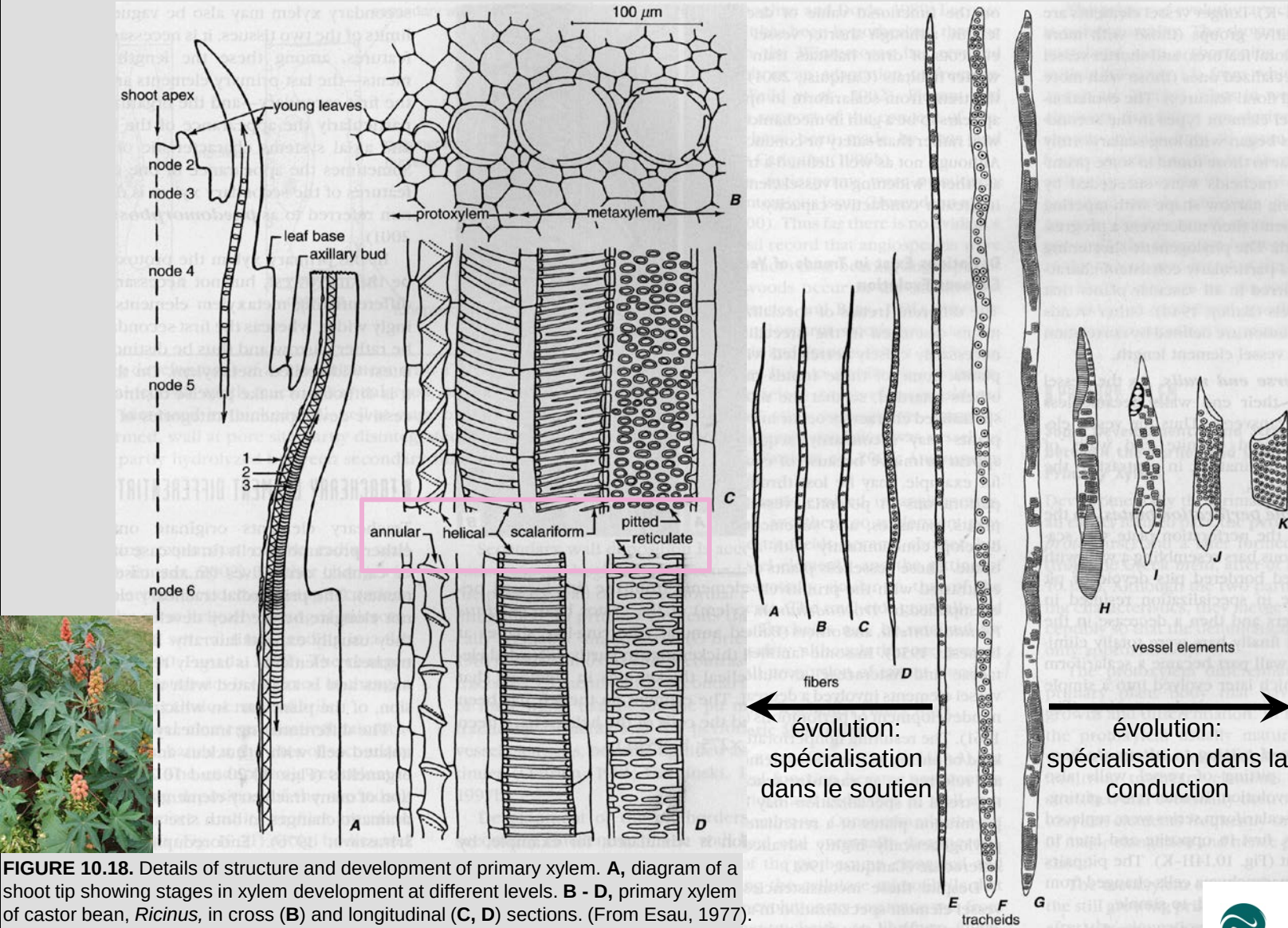


FIGURE 10.14. Main lines of specialization of tracheary elements and fibers. **E-G**, long tracheids from primitive woods. (**G**, reduced inscale.). **E, F**, circular bordered pits; **G**, elongated bordered pits in scalariform arrangement. **D-A**, evolution of fibers: decrease in length, reduction in size of pit borders, and change in shape and size of pit apertures. **H-K**, evolution of vessel elements: decrease in length, reduction in inclination of end walls, change from scalariform to simple perforation plates, and from opposite to alternate pit arrangement. (After Bailey and Tupper, 1918).

FIGURE 10.18. Details of structure and development of primary xylem. **A**, diagram of a shoot tip showing stages in xylem development at different levels. **B - D**, primary xylem of castor bean, *Ricinus*, in cross (**B**) and longitudinal (**C, D**) sections. (From Esau, 1977).

3. Les tissus conducteurs (II): développement et caractéristiques structurales dans le xylème primaire

développement des éléments conducteurs par mort cellulaire programmée

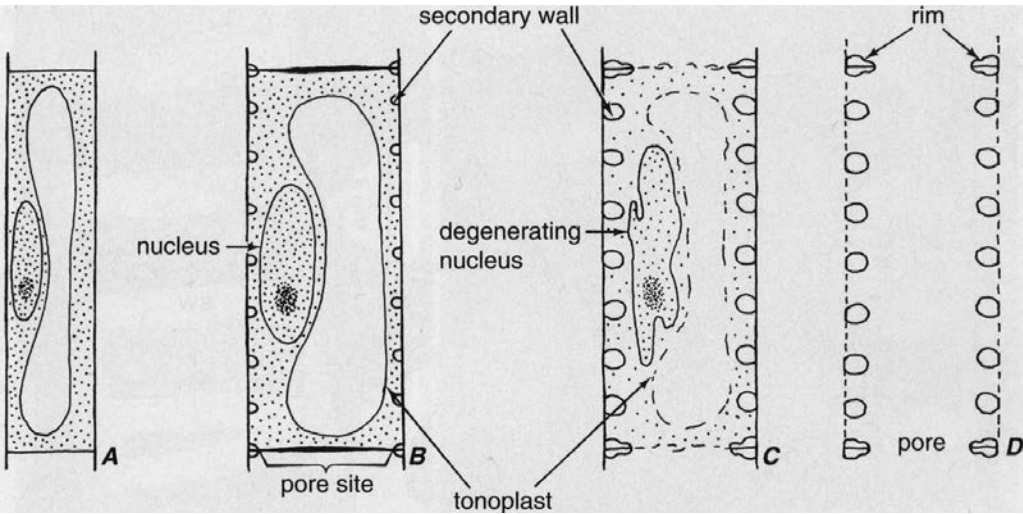


FIGURE 10.20. Diagrams illustrating development of a vessel element with a helical secondary thickening. **A**, cell without secondary wall. **B**, cell has attained full width, nucleus has enlarged, secondary wall has begun to be deposited, primary wall at the pore site has increased in thickness. **C**, cell at stage of lysis: secondary thickening completed, tonoplast ruptured, nucleus deformed, wall at pore site partly disintegrated. **D**, mature cell without protoplast, open pores at both ends, primary wall partly hydrolyzed between secondary thickenings. (From Esau, 1977).

ponctuations des gymnospermes et des angiospermes

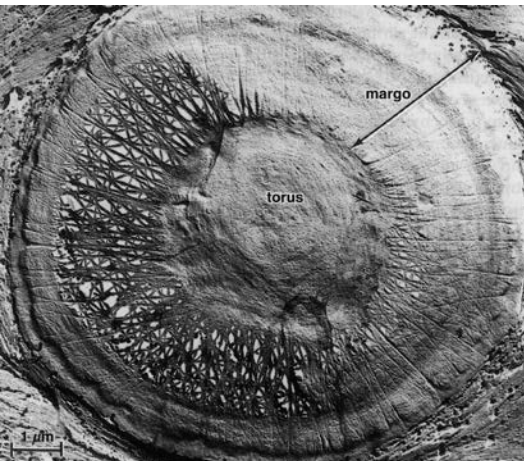
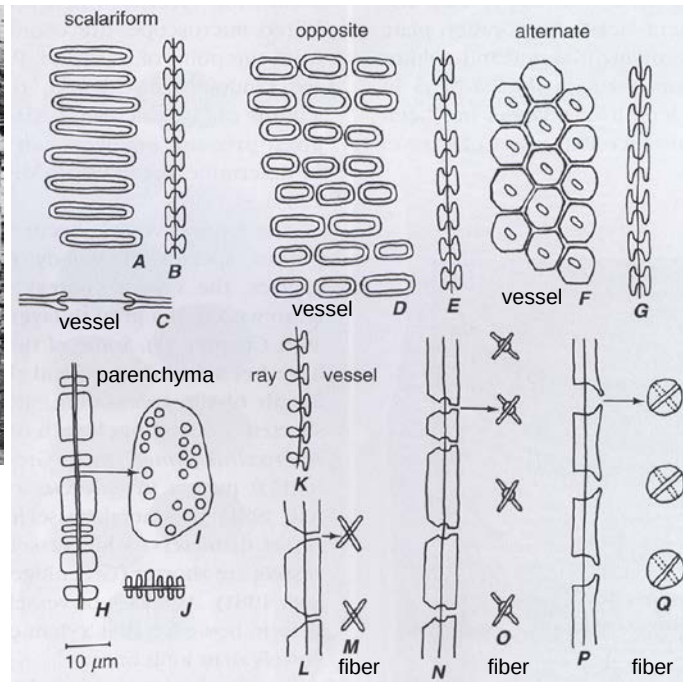


FIGURE 10.7. Scanning electron micrograph of bordered pit in earlywood tracheid of *Pinus pungens*. The border was cut away and the pit membrane is exposed. The pit membrane consists of an impermeable torus and a very porous margo. The microfibrils in the margo are predominantly in radial arrangement. (Courtesy of W. A. Cote Jr.).



références: - Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.
- Cochard et al. (2004). Plant Physiol. 134, 401-408

La fonction première de la lignification du xylème est la résistance à de basses valeurs de potentiel hydrique

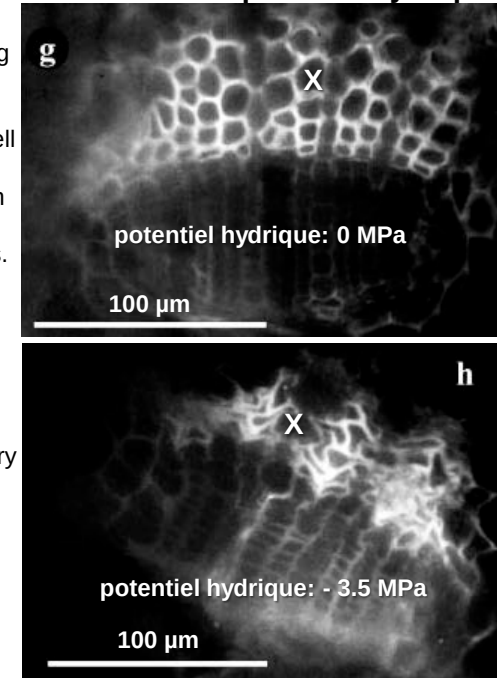


Fig. 1. h versus g: affaissement des parois des trachéïdes dans le xylème (X) d'aiguilles de pin noir (*Pinus nigra*), suite à la dessiccation des rameaux et à l'abaissement du potentiel hydrique

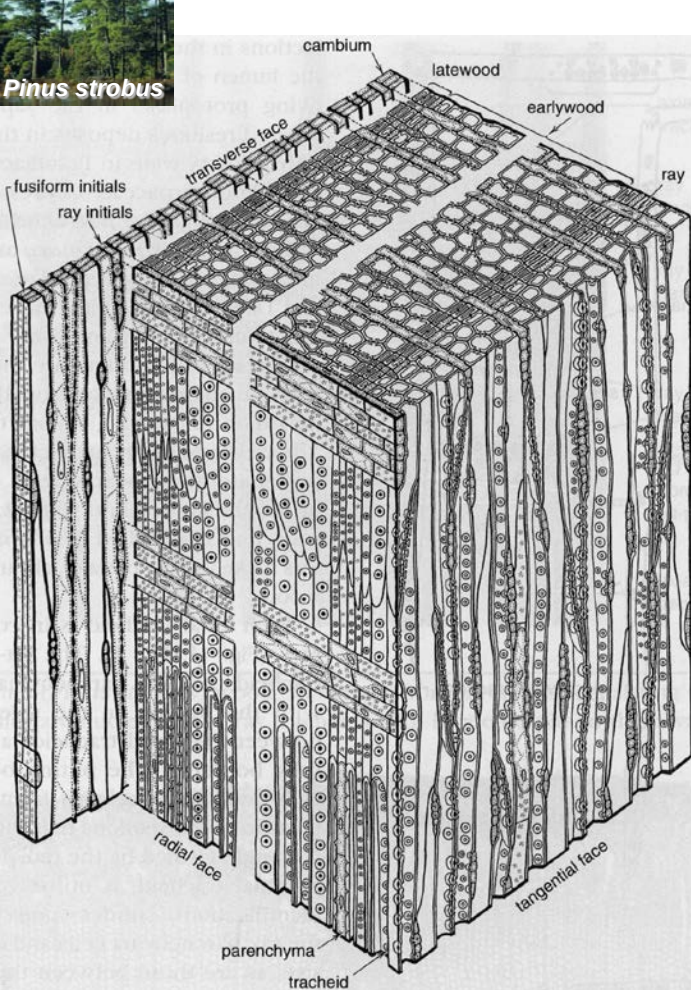
FIGURE 10.5. Pits and patterns of pitting. **A-C**, scalariform pitting in surface (**A**) and side (**B, C**) views (*Magnolia*). **D-E**, opposite pitting in surface (**D**) and side (**E**) views (*Liriodendron*). **F-G**, alternate pitting surface (**F**) and side (**G**) views (*Acer*). **A-G**, bordered pit-pairs in vessel members. **H-J**, simple pit-pairs in parenchyma cells in surface (**I**) and side (**H, J**) views; **H**, in side wall; **J**, in end wall (*Fraxinus*). **K**, half-bordered pit-pairs between a vessel and a ray cell inside view (*Liriodendron*). **L, M**, simple pit-pairs with slit-like apertures in side (**L**) and surface (**M**) views (libriform fiber). **N, O**, bordered pit-pairs with slit-like inner apertures extended beyond the outline of the pit border; **N**, side view, **O**, surface view (fiber-tracheid). **P, Q**, bordered pit-pairs with slit-like inner apertures included within the outline of the pit border; **P**, side view, **Q**, surface view (tracheid). **L-Q**, *Quercus*. (From Esau, 1977).



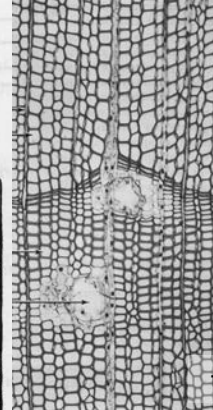
Pinus strobus



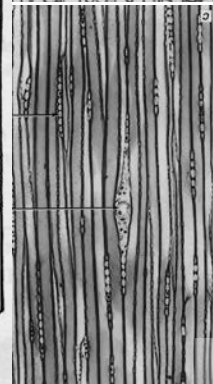
3. Les tissus conducteurs (III): le xylème secondaire



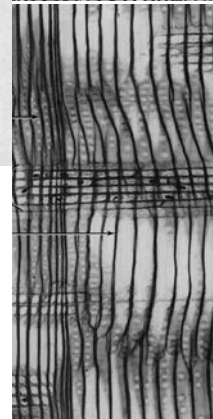
Pinus strobus



transversal



tangential



radial

Liriodendron tulipifera

plan:

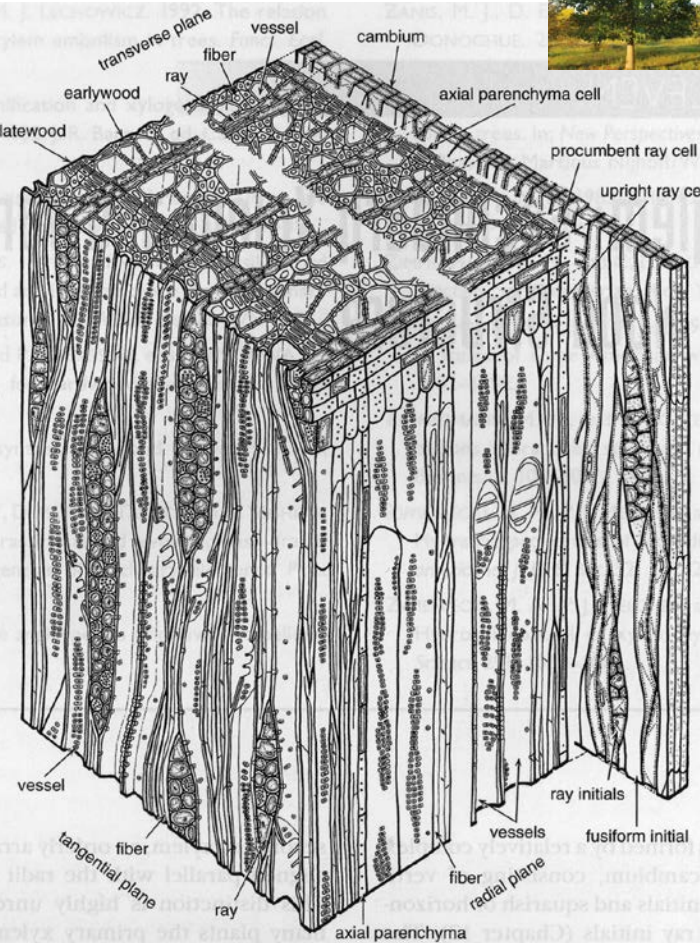
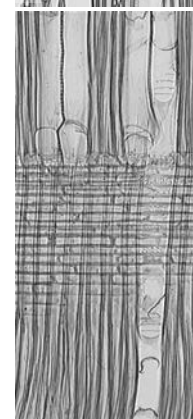
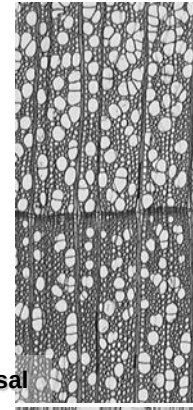


FIGURE 11.1. Block diagram of vascular cambium and secondary xylem of *Liriodendron tulipifera* L. (tulip tree), a woody angiosperm. The axial system consists of vessel elements with bordered pits in opposite arrangement and inclined end walls with scalariform perforation plates; fiber-tracheids with slightly bordered pits; and parenchyma strands in terminal position. The ray system contains heterocellular rays (marginal cells are upright, others procumbent), uniseriate and biseriate, of various heights. (Courtesy of I. W. Bailey ; drawn by Mrs. J. P. Rogerson under the supervision of L. G. Livingston. Redrawn).

références:

- Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.
- Richter and Dallwitz (2000 onwards). Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. <http://biodiversity.uno.edu/delta/>



3. Les tissus conducteurs (IV): structure des éléments conducteurs dans le phloème primaire

cellules et tubes criblés

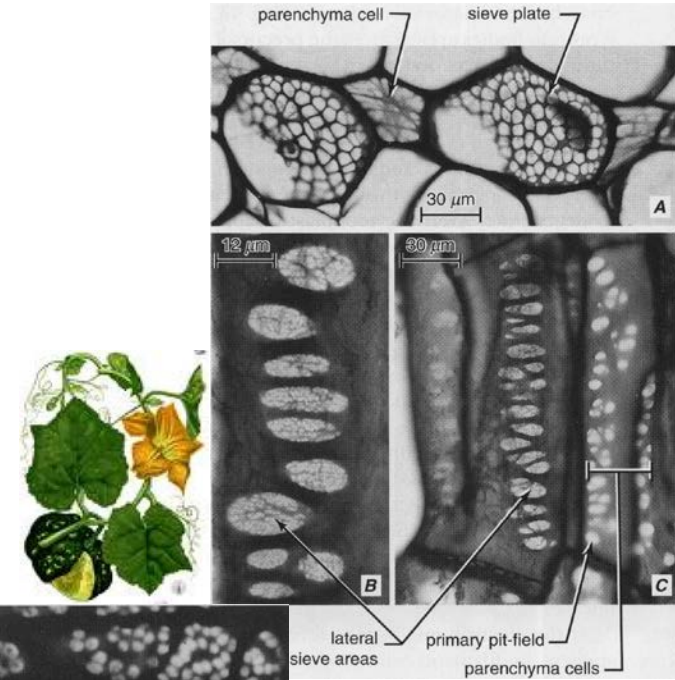
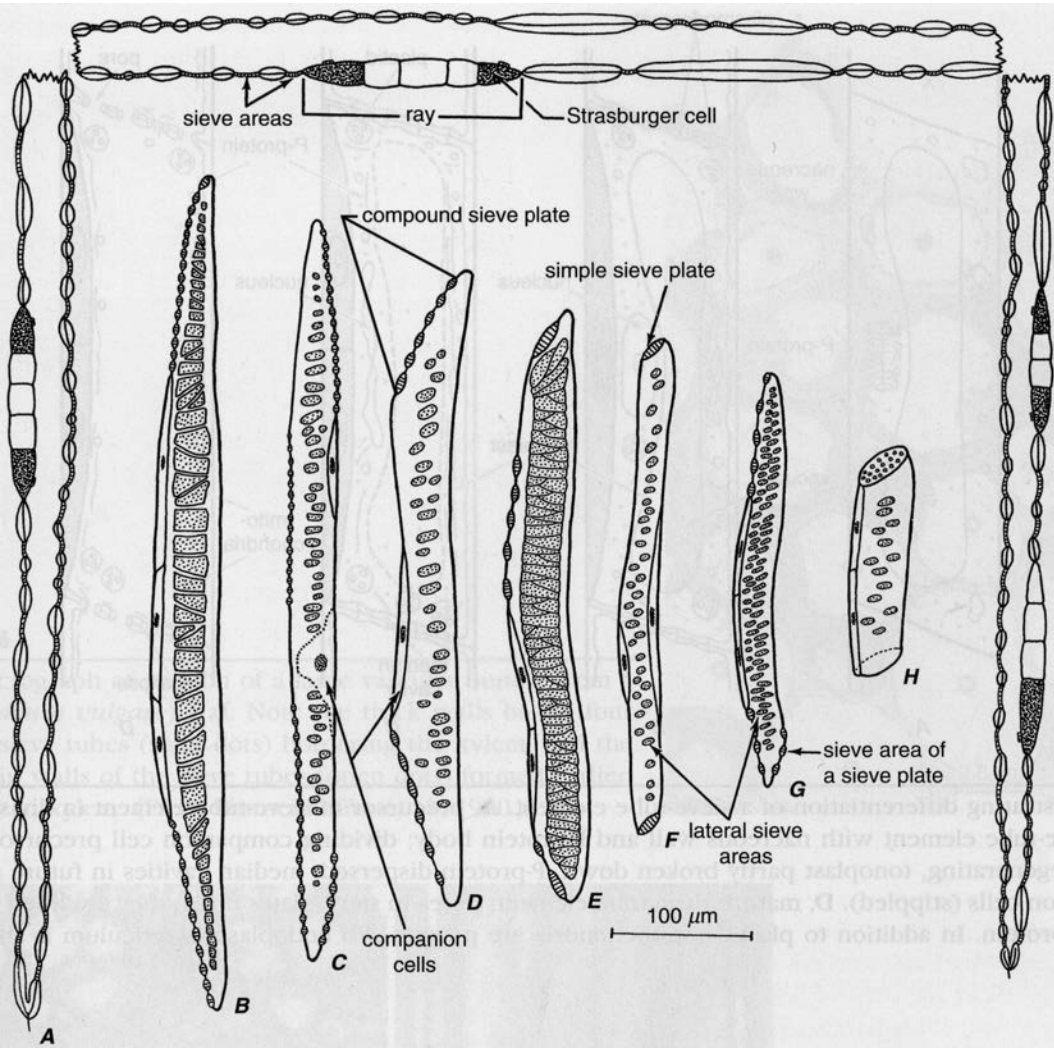
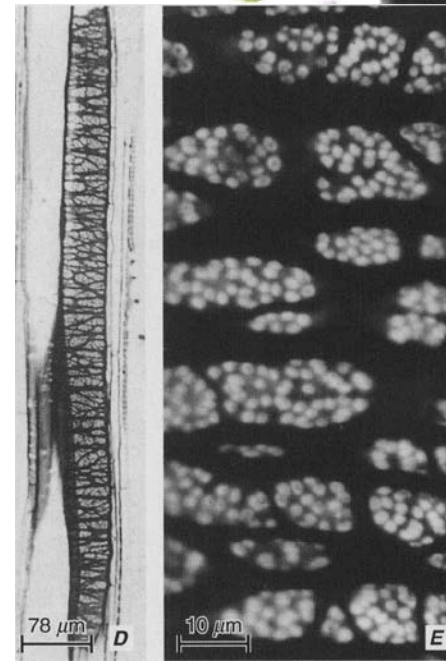


FIGURE 13.9. A, simple sieve plates of *Cucurbita* in surface view. B, C, lateral sieve areas in sieve-tube elements and primary pit-fields in parenchyma cells of *Cucurbita* in surface view. D, surface view of compound sieve plate of *Cocos*, a monocot with sieve areas in reticulate arrangement. E, part of similar sieve plate. Light spots are callose cylinders. (A-C, from Esau et al., 1953; D, E, from Cheadle and Whitford, 1941).



références: Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.



3. Les tissus conducteurs (V):

formation et structure du complexe tube criblé/cellule compagne dans le phloème primaire

différentiation et structure cellulaire

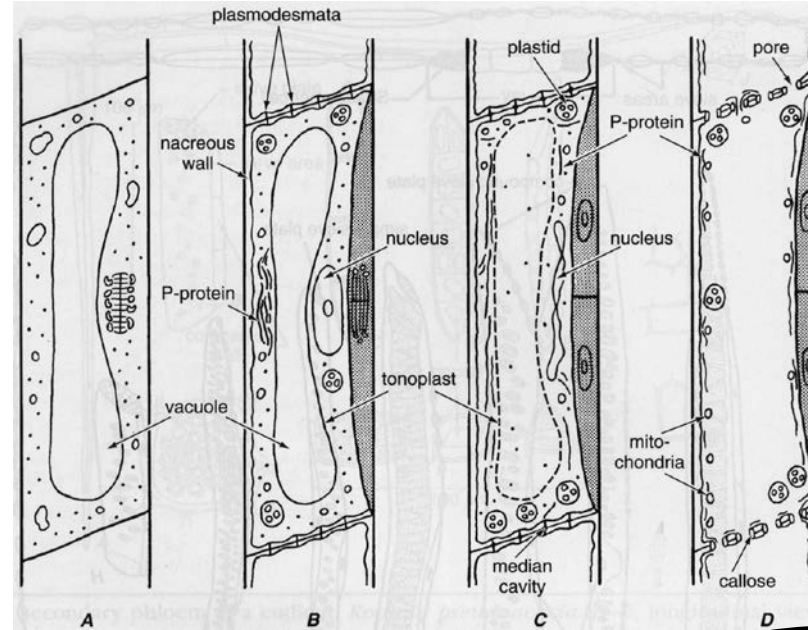
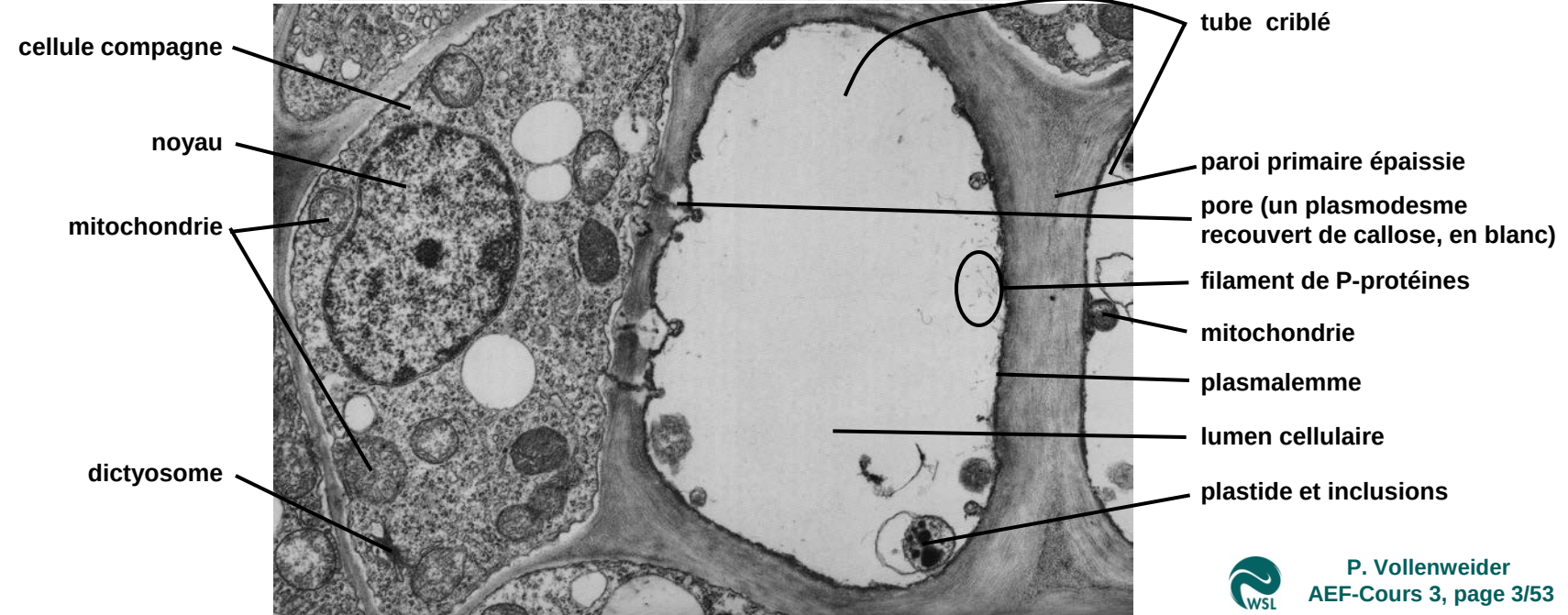


FIGURE 13.5. Diagrams illustrating the differentiation of a sieve-tube element. **A**, precursor of sieve-tube element in division. **B**, after division: sieve-tube element with nacreous wall and P-protein body; dividing companion cell precursor (stippled). **C**, nucleus degenerating, tonoplast partly broken down, P-protein dispersed; median cavities in future sieve plates; two companion cells (stippled). **D**, mature sieve-tube element; pores in sieve plates open; they are lined with callose and some P-protein. In addition to plastids, mitochondria are present. No endoplasmic reticulum is shown. (From Esau, 1977).

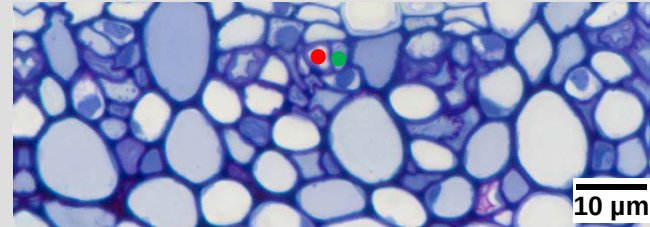
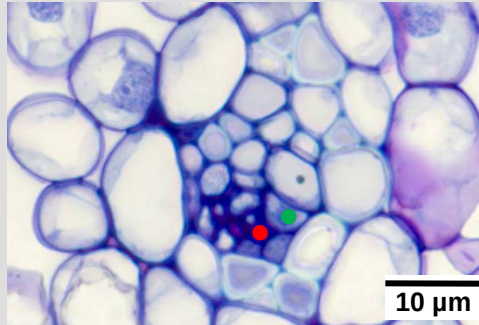
références:
 - Evert (2006). Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.
 - Gunning et Steer (1995). Plant cell biology. Jones & Bartlett publ., London.

Muscari botryoides



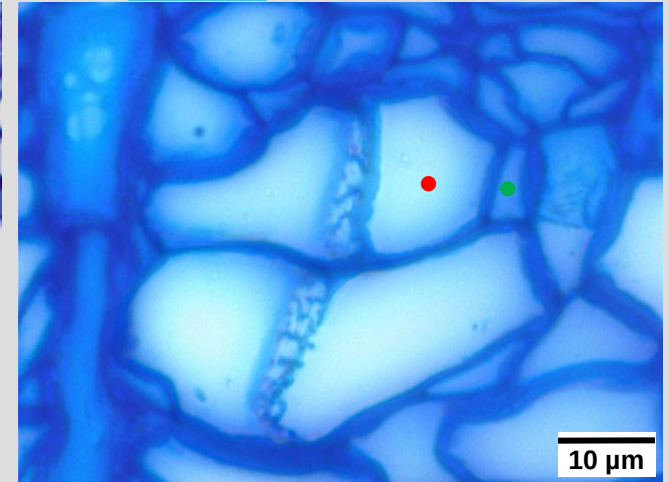
3. Encart no. 20: Adaptations structurales en vue de la conduction de la sève élaborée dans le phloème

Augmentation de la taille cellulaire du complexe des cellules conductrices chez **le chêne**, des feuilles à la tige

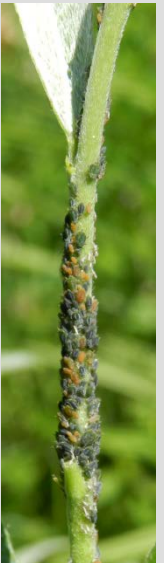


feuilles: nervure principale: le phloème ne fait que conduire la sève. Les tubes criblés (●) sont plus grands que les cellules compagnes (●) et que dans les nervures fines. Leur paroi est proportionnellement moins épaisse

feuilles: nervures fines: dans les sites de chargement les tubes criblés (●) sont plus petits que les cellules compagnes (●) et leur paroi est particulièrement épaisse



tige: site de conduction et de diffusion de la sève élaborée vers les sites de stockage. Les tubes criblés (●) sont de très grande taille. Les cellules compagnes (●) sont moins fréquentes et proportionnellement plus petites que plus en amont dans le phloème



colonie de pucerons sur une jeune tige de saule, suçant la sève élaborée au moyen de leur rostre inséré dans la mince couche de phloème conducteur

référence: Slewinski et al. (2013) Front Plant Sci 4: 1-11.

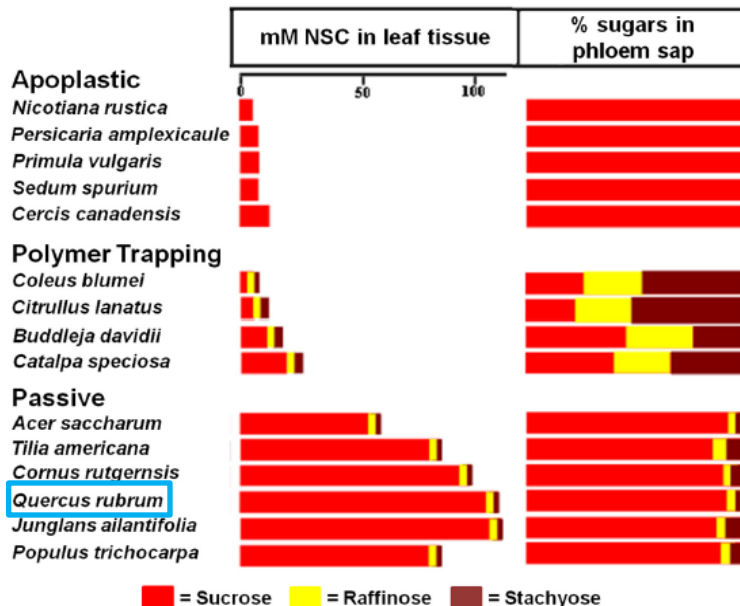


FIGURE 3 Transport sugars in the leaf tissue and phloem of species exhibiting different strategies of phloem loading. Non-structural carbohydrate (NSC) concentrations in leaf tissues are compared with the percentages of the same sugars in phloem exudate. Note the absence of raffinose and stachyose in the plants, that load from the apoplast, whereas those (including trees) that load passively have detectable levels of these sugars. The proportion of raffinose and stachyose in the phloem sap of polymer trapping plants is higher in the phloem sap than in the leaf because they are synthesized in the phloem.

3. Les tissus conducteurs (VI): le phloème secondaire

FIGURE 14.2.

Transverse section of the bark from an 18-year-old stem of *Liriodendron tulipifera*. Except for the cortex (co) and remnants of primary phloem, as evidenced by the presence of primary phloem fibers (f), this bark—all tissues outside the vascular cambium—consists almost entirely of secondary phloem; the original periderm is still present outside the cortex. Only a very narrow portion (0.1 mm wide) of the phloem next to the cambium (c) contains mature, living sieve tubes, that is conducting phloem (cph), the rest of the phloem is nonconducting. Some rays (r) are dilated. Other detail: x, xylem. (x 37. Cheadle and Esau, 1964. *Univ. Calif. Publ. Bot.* © 1964, The Regents of the University of California).

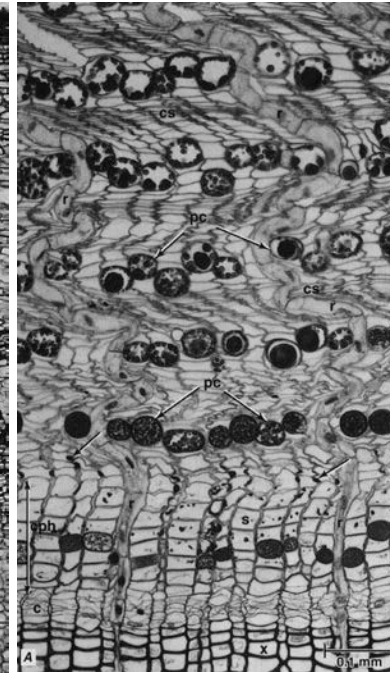
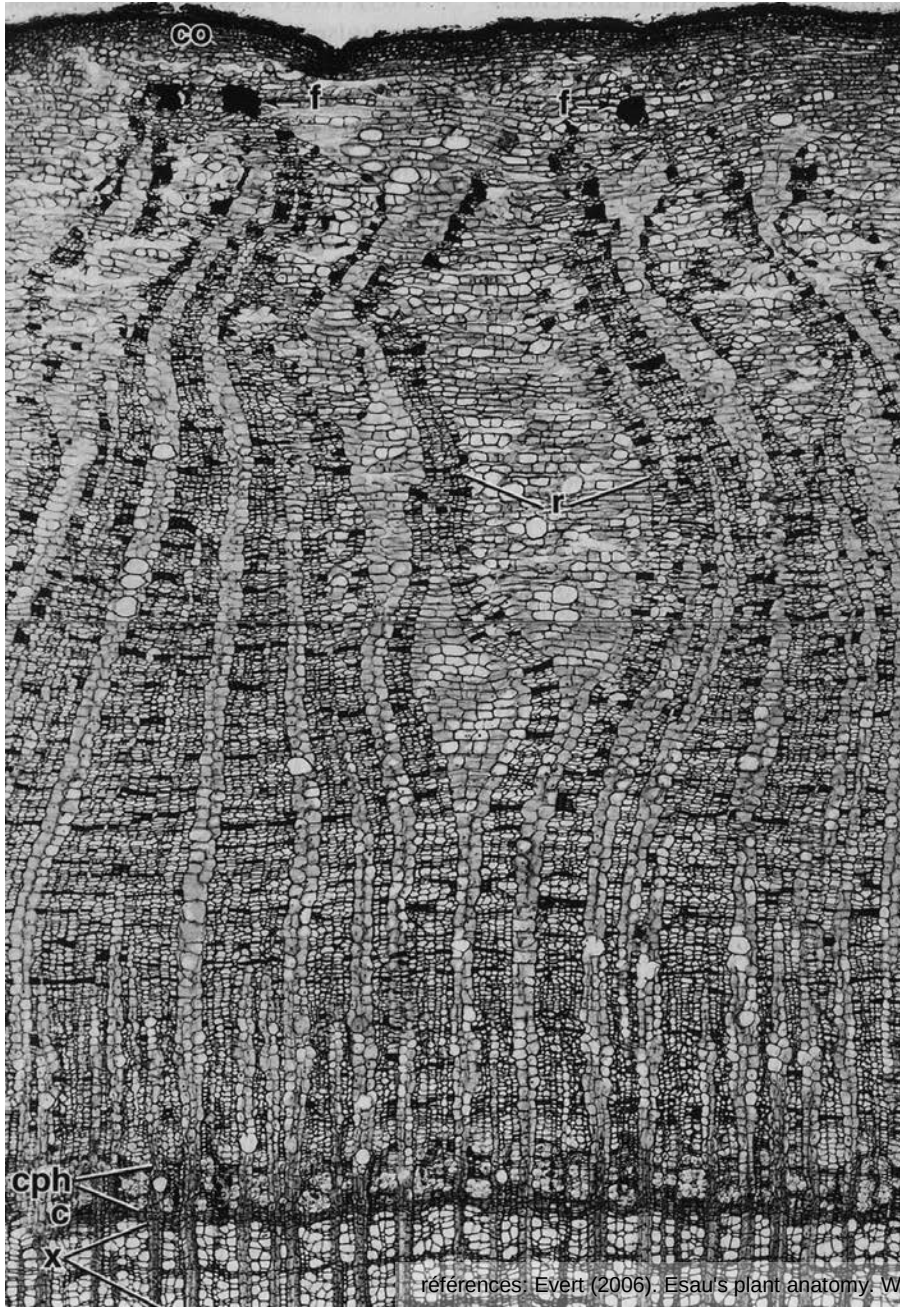


FIGURE 14.3. Transverse sections of secondary phloem of *Pinus strobus*. Conducting phloem (cph) much smaller in amount than the nonconducting phloem (only partly shown in these figures), in which all sieve cells are crushed (cs) and only axial parenchyma cells (pc) and ray parenchyma cells (r) are intact. (...) the axial parenchyma cells are arranged in tangential bands and separate early phloem from late phloem in each increment. Portions of 7 growth increments can be seen here. Other details: c, cambium; S, sieve cell; x, xylem; unlabeled arrows point to definitive callose. (Esau, 1977, www.schweizerbart.de).

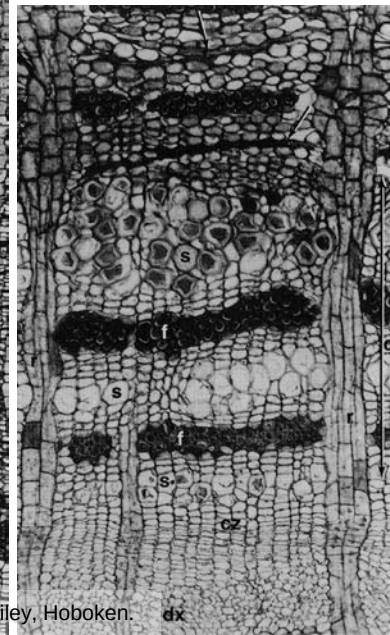


FIGURE 14.12. Transverse section of secondary phloem of black locust (*Robinia pseudoacacia*) showing mostly conducting phloem (cp). Cambial activity has resulted thus far in the production of three new bands of sieve tubes (s) and two of fibers (f). Sieve tubes of the nonconducting phloem (indicated by arrows) have collapsed. Other details: CZ, cambial zone; dx, differentiating xylem; r, ray. (x150).



3. Références

Remarque : les micrographies non référencées proviennent des activités de recherche passées et en cours de notre laboratoire de microscopie au WSL.

Principaux ouvrages et articles de référence utilisés:

Bowes, B.G., 1997. A colour atlas of plant structure. Manson publishing Ltd, London.

Cochard, H., Froux, F., Mayr, S., Coutand, C., 2004. Xylem wall collapse in water-stressed pine needles. *Plant Physiol.* 134, 401-408

Cutler, D.F., Botha, T., Stevenson, D.W., 2008. Plant anatomy. An applied approach. Blackwell publishing Ltd, Malden.

Fahn, A., Cutler, D.F., 1992. Xerophytes. *Encyclopedia of Plant Anatomy*, vol. XIII.3. Gebruder Borntraeger. Reference book. 176 pp

Deysson, G., 1978. Organisation et classification des plantes vasculaires. Sedes, Paris.

Eschrich, W., 1995. Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer, Berlin.

Evert, R.E., 2006. Esau's plant anatomy. Wiley, Hoboken.

Gunning, B.E.S., Steer, M.W., 1996. Plant cell biology. Jones & Bartlett Publishers, Sundbury Massachusetts.

Heumann, H.G., 2002. Ultrastructural localization of zinc in zinc-tolerant *Armeria maritima* ssp. *Halleri* by autometallography. *Journal of Plant Physiology* 159, 191-203.

Jutzi, W., Graber, W., Hornung, D., Stark, M., 1992. L'air. vdf, Zürich et Georg eds., Genève.

Lüttge, U., Kluge, M., Bauer, G., 2002. Botanique 3. édition. Éditions Tec et Doc / Lavoisier.

Martínez-Natarén, D., Parra-Tabla, V., Dzibb, G. and Calvo-Irabién, L.M., 2011. Morphology and density of glandular trichomes in Mexican populations of oregano (*Lippia graveolens*, Verbenaceae), and the relationship between trichome density and climate. *J. Torrey Bot. Soc.* 138, 132-142.

Richter, H.G., Dallwitz, M. J., 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, and Spanish. Version: 4th May 2000. <http://biodiversity.uno.edu/delta/>.

Sanginés de Cárcer, P., Signarbieux, C., Schlaepfer, R., Buttler, A., Vollenweider, P. 2017. Responses of antinomic foliar traits to experimental climate forcing in beech and spruce saplings. *Environ. Exp. Bot.* 140 : 128-140.

Slewinski, Th.L., Zhang, C., Turgeon, R., 2013. Structural and functional heterogeneity in phloem loading and transport. *Front. Plant Sci.* 4: 1-11.

Vaucher, H., 1990. Baumrinden. Enke Verlag, Stuttgart.

Vollenweider, P., Cosio, C., Günthardt-Goerg, M.S., Keller, K., 2006. Localization and effects of phyto-extracted cadmium in leaves of tolerant willows (*Salix viminalis* L.) II. Microlocalisation and cellular effects of cadmium. *Env. & Exp. Bot.* 58, 25-40.

Wagner F, Aaby B, Visscher H. Rapid atmospheric CO2 changes associated with the 8,200-years-B.P. cooling event. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2002 Sep 17;99(19):12011-4. doi: 10.1073/pnas.182420699. Epub 2002 Aug 29. PMID: 12202744; PMCID: PMC129389.