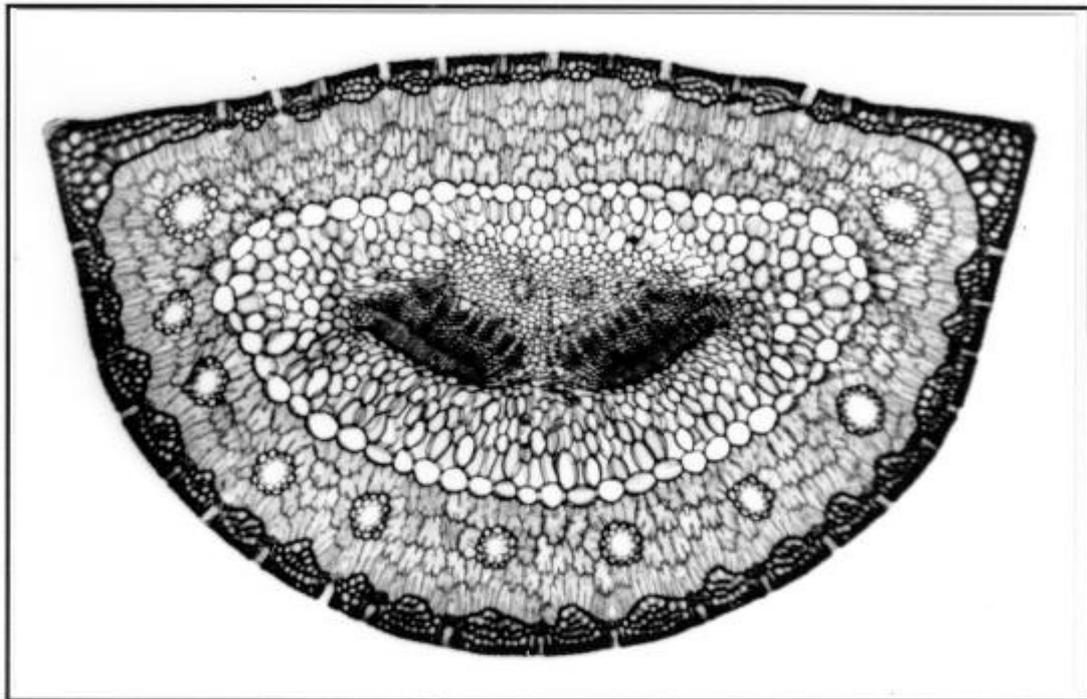


Maurice Reille
et
Martin Lavoie

Images

d'anatomie des végétaux vasculaires

À l'usage des étudiants en Botanique

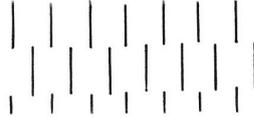


Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie
U. F. R. de Propédeutique scientifique
Université d'Aix-Marseille 3

La représentation conventionnelle des tissus

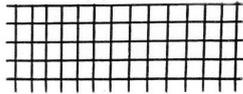
Classiquement les différents tissus sont représentés de la façon suivante :

Parenchyme palissadique



Les autres parenchymes (parenchyme lacuneux, à méats, médullaire, phelloderme = parenchyme secondaire) sont laissés en blanc.

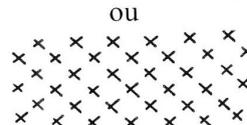
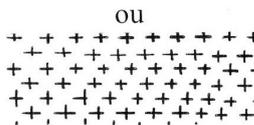
Collenchyme



Sclérenchyme



Liège ou suber primaire



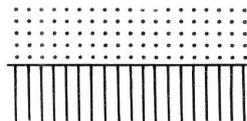
Liège ou suber secondaire



Phloème primaire



Phloème secondaire ou liber

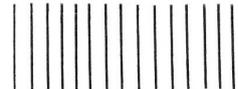


Xylème secondaire et phloème secondaire sont alignés de part et d'autre de l'assise génératrice libéro-ligneuse, toujours figurée par un seul trait.

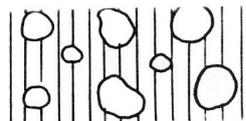
Xylème primaire



Xylème secondaire ou bois



ou



Les épidermes



Ils sont figurés par un ou deux traits parallèles, interrompus à l'emplacement des stomates. L'épaisseur de la cuticule peut être soulignée et les poils schématisés.

Toute assise cellulaire particulière telle qu'assise génératrice (cambium), endoderme, assise sécrétrice d'un canal sécréteur est généralement figurée par un seul trait mais lorsque deux assises particulières sont contiguës, comme un épiderme et un hypoderme, un endoderme et un péricycle, trois traits sont nécessaires pour les désigner sans ambiguïté.

Le schéma conventionnel d'anatomie

L'exercice consiste à représenter à l'aide des figurés conventionnels, l'emplacement des différents tissus de la coupe. Pour y parvenir il faut avoir étudié en détail toutes les parties de la coupe et reconnu tous les tissus.

Le schéma n'est en fin de compte, pour son auteur, qu'une manière graphique et synthétique d'exprimer de façon non ambiguë son opinion (qu'elle soit juste ou fausse).

Plus que dans tout autre domaine, celui-ci est un de ceux où le lecteur, qui est presque toujours le correcteur du schéma, ne peut "se fier qu'aux apparences". Il faut donc apporter du soin à tout ce qui permet une meilleure lisibilité du schéma par l'application de quelques règles simples ... on pourrait presque dire typographiques :

- le schéma ne doit pas être enfermé dans un rectangle ou un cercle ;
 - l'usage des couleurs est superflu ;
 - la légende doit être assez loin du dessin, par souci de clarté, à droite et/ou à gauche de celui-ci, jamais dans le dessin lui-même ;
 - pour raison d'esthétisme, il est préférable que le texte des légendes soit aligné de part et d'autre du dessin, derrière un trait vertical fictif ou qui sera impérativement effacé à la fin ;
 - le trait de rappel (si possible rectiligne) ne sera jamais terminé ni par un point, ni par une flèche. Son origine doit indiquer très exactement l'objet qui est désigné par la légende. Du côté de la légende le trait de rappel se termine au pied de la première lettre ;
 - la légende doit toujours être écrite en toutes lettres, jamais en abrégé. La première lettre est une lettre majuscule. S'assurer de la cohérence orthographique des légendes : un seul trait de rappel ne peut pas être à l'origine d'une légende écrite au pluriel ;
 - tout dessin de "Sciences naturelles" doit avoir un titre. Le titre se met indifféremment au-dessus ou au-dessous du dessin. Le titre n'a pas à être souligné. Il doit avoir une valeur explicative qui vient en appui de la légende et doit indiquer la nature de l'objet figuré et l'identité du taxon auquel il appartient. Comme pour la légende, la première lettre est une majuscule. Titre et légendes qui ne sont généralement pas des phrases n'ont pas à être terminés par un point.
- Enfin, à l'instar de René Magritte (1898-1967) ayons soin, autant que possible, de ne pas confondre l'objet et son image.



René Magritte "La trahison des images" 1928

Le tissu libérien ou phloème

Le phloème ou tissu libérien sert à la conduction de la "sève élaborée" ou sève descendante qui circule entre les feuilles où sont élaborés les produits de synthèse et les autres organes de la plante qu'ils pourvoient en énergie.

L'origine du tissu phloémien est double :

- **le phloème primaire** est produit par différenciation de tissus engendrés par le méristème terminal,
- **le phloème secondaire** est produit par l'activité du cambium libéro-ligneux. C'est à lui que l'on réserve le nom de liber. Ce mot latin est à l'origine du mot "livre" et les premiers anatomistes l'ont nommé ainsi en raison de son aspect stratifié rappelant la tranche d'un livre.

Le liber est un tissu complexe dont les constituants sont :

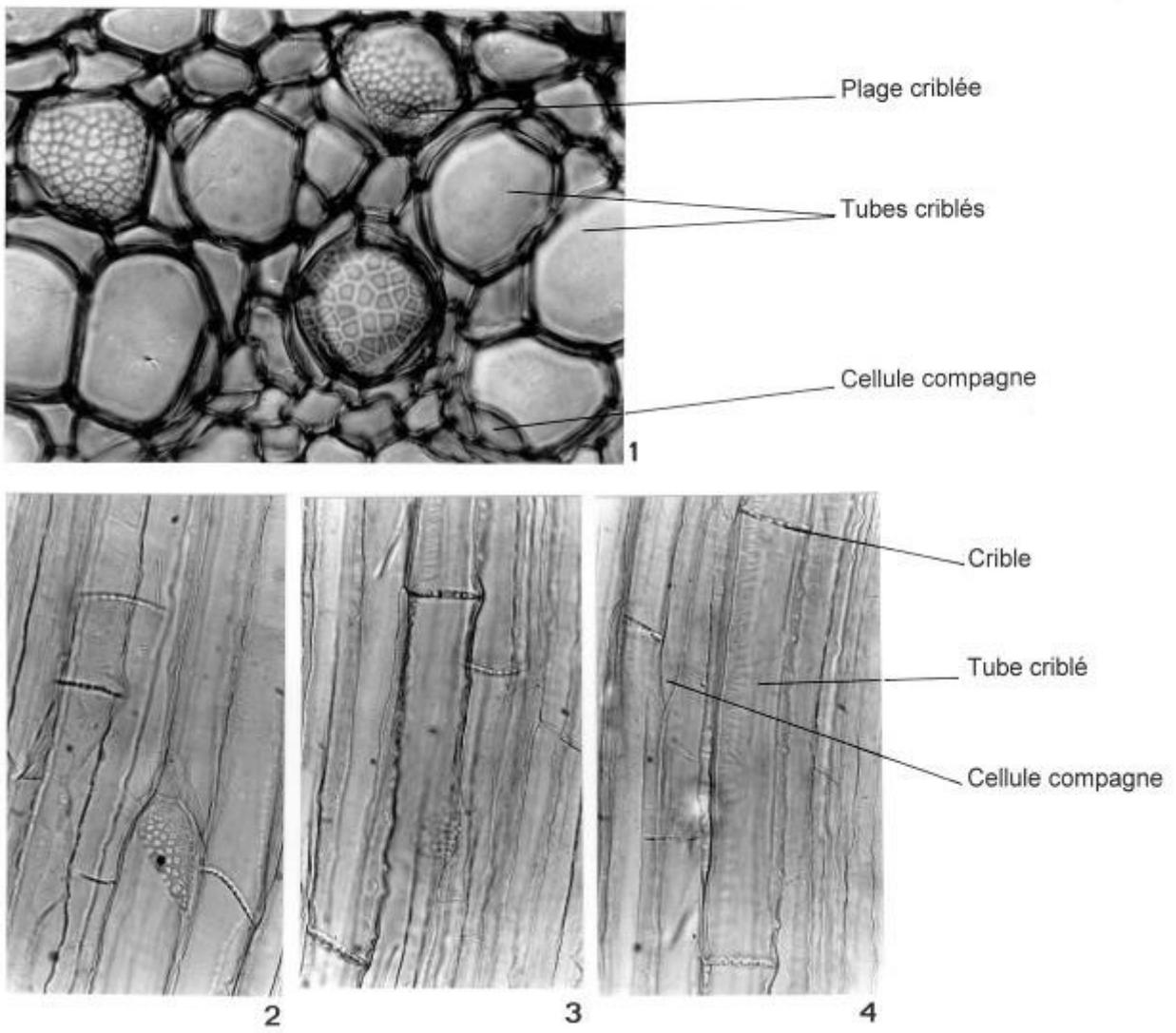
- **les tubes criblés** à rôle conducteur. Ce sont des cellules allongées demeurées vivantes (état prémortel) dont les cloisons transversales seules (chez les Angiospermes), plus ou moins obliques, présentent des perforations en forme de crible. Ces cribles sont faciles à observer chez la courge, qui possède de très gros tubes criblés, soit en coupe transversale (1)* soit en coupe longitudinale (2, 3, 4). Chez les plantes vivaces, à la fin de la période de végétation, il est fréquent que les perforations des cribles soient obstruées par des bouchons de callose. Ces calcs sont bien visibles chez la vigne (6).
- **Les cellules compagnes**, accolées aux tubes criblés, résultent d'un cloisonnement longitudinal de ces derniers (1, 4).
- **Le parenchyme libérien "vertical"**. C'est un parenchyme dont les cellules sont allongées dans le même sens que les tubes criblés et qui constitue une part importante du tissu libérien (5, 6).
- **Le parenchyme libérien "horizontal"**. Les cellules sont allongées perpendiculairement aux tubes criblés. Ce parenchyme constitue les rayons libériens qui prolongent à travers le cambium les rayons ligneux. Comme les rayons ligneux, les rayons libériens peuvent être unisériés ou plurisériés (5, 6) et ils réalisent avec les tubes criblés des "champs de croisement" visibles dans des coupes longitudinales radiales.
- **Les fibres libériennes**. Elles n'apparaissent que dans le phloème secondaire sous forme de files radiales de cellules de sclérenchyme. Bien visibles chez la vigne (37 et 57)** aussi bien dans les tiges que dans les racines, elles concourent à conférer au liber son aspect stratifié caractéristique.

* Les nombres en **gras** entre parenthèses indiquent le numéro de la photo de la page de droite

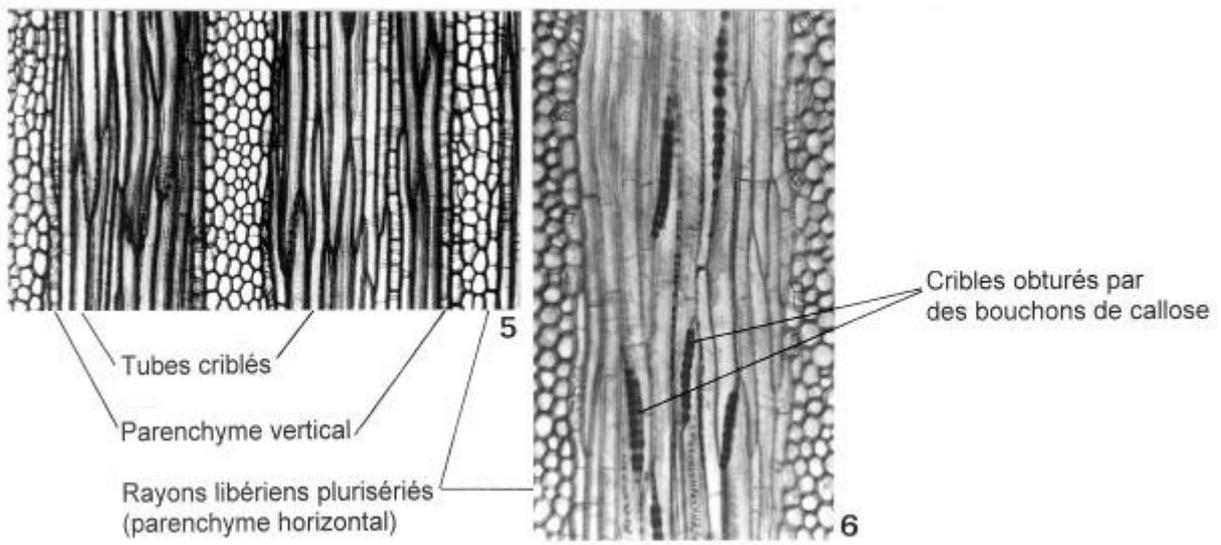
** Les nombres en *italique* entre parenthèses renvoient pages correspondantes

Phloème primaire de *Cucurbita* (coupes transversale et longitudinale de tige)

Planche 5



Liber secondaire de *Vitis* (coupes longitudinales de tige)



Le tissu ligneux ou bois

Lorsqu'il ne fait pas référence à la végétation pour désigner un ensemble d'arbres ou d'arbustes ou aux cornes de certains cervidés, le mot BOIS, dans le langage commun, se réfère à une matière, dite matière ligneuse qui désigne tous les tissus dont les parois cellulaires sont fortement imprégnées de lignine : les noyaux des fruits tels la coque des noix ou celle des noix de coco (ces fruits sont en effet des fruits charnus à noyaux !), c'est du bois, au sens populaire.

En Botanique, l'acception du mot BOIS est bien plus restrictive ; il désigne le tissu conducteur de la sève brute ou sève ascendante et le mot xylème (du grec *xulon* = bois) lui est souvent préféré. C'est ainsi que les noyaux des fruits ne sont pas du bois au sens botanique parce qu'ils ne concernent pas le xylème : ce sont des sclérenchymes très indurés.

De même que le phloème, le xylème existe chez tous les végétaux vasculaires vivants et fossiles et il n'y a pas que du "bois d'arbre", les herbes possèdent aussi du bois.

L'origine du tissu ligneux est double :

- *le xylème primaire* est produit, comme le phloème primaire, par la différenciation des tissus engendrés par le méristème terminal ;
- *le xylème secondaire* est produit par l'activité du cambium libéro-ligneux. C'est à lui que l'on réserve généralement le nom de BOIS.

Le xylème est un tissu complexe dont les constituants sont :

- *les trachéides ou vaisseaux imparfaits à rôle conducteur*. Ce sont des cellules allongées, dont les cloisons transversales, toujours très obliques persistent. Les trachéides existent dans tous les groupes végétaux mais chez les Cryptogames vasculaires et les Gymnospermes, ce sont les seuls éléments conducteurs. On dit, à cause de cela, que le bois de ces végétaux est **homoxylé**.

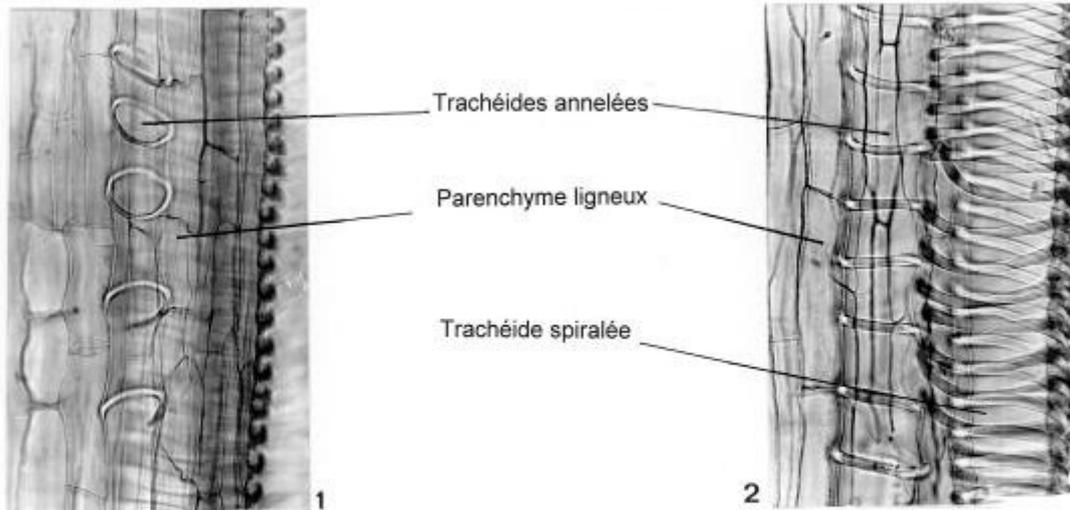
- *les vaisseaux parfaits ou vaisseaux vrais, à rôle conducteur*. Ils sont constitués par un empilement de cellules allongées dont les parois transversales sont résorbées, constituant de vrais tubes dans lesquels circule la sève.

Ces vaisseaux vrais sont une caractéristique du bois des Angiospermes dans lequel ils cohabitent avec des trachéides. C'est pour cela que le bois de ces végétaux qui présente deux types d'éléments conducteurs est dit **hétéroxylé**.

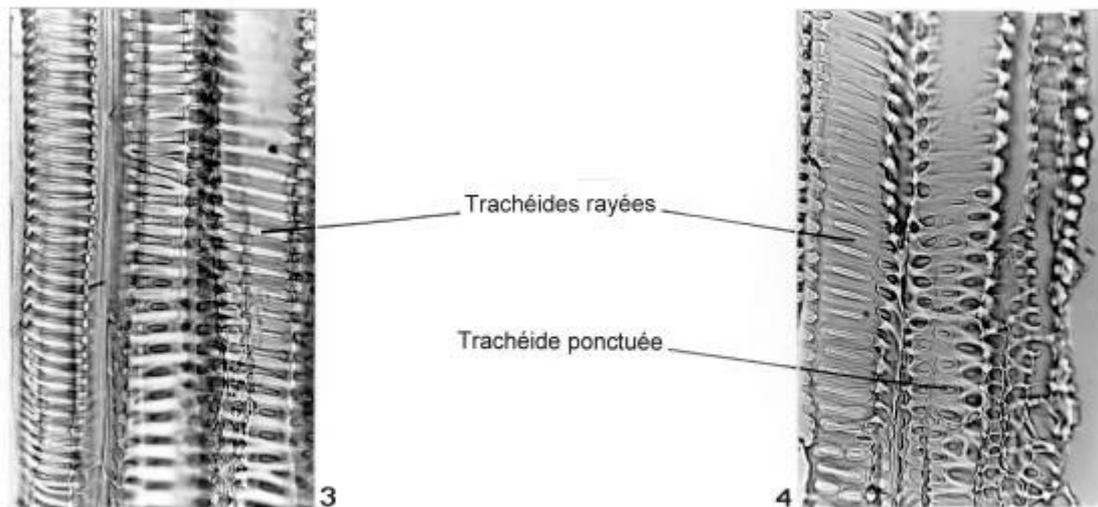
- *les fibres*. Ce sont des cellules allongées à parois épaisses et cloisons transversales très obliques qui ont principalement un rôle de soutien, peu ou pas de rôle conducteur.

Les éléments du xylème primaire
Protoxylème et métaxylème de *Cucurbita* (coupes longitudinales de tige)

Planche 7



Les trachéides annelées et spiralées n'empêchent pas l'élongation de l'organe en croissance



En dépit de leur ressemblance avec ceux du métaxylème secondaire (= bois), les éléments conducteurs du métaxylème primaire sont des trachéides (= vaisseaux imparfaits)

4) Le parenchyme ligneux "vertical". Il est constitué de cellules vivantes allongées dans le même sens que les éléments conducteurs. On devrait plutôt le désigner sous le nom de parenchyme longitudinal (puisque vertical a un sens trop précis qui signifie parallèle à la gravité terrestre !). Son rôle est un rôle de réserve.

5) Le parenchyme ligneux "horizontal" ou transverse. Il n'existe que dans le xylème secondaire. Il est constitué de cellules dont l'allongement est perpendiculaire à celui des éléments conducteurs. Il a un rôle de réserve et est organisé en "rayons ligneux" qui prolongent, à travers le cambium, les rayons libériens. Ces "rayons ligneux" sont constitués d'empilements unisériés ou plurisériés de files de cellules (18, 1, 2) qui réalisent avec les éléments conducteurs des "champs de croisements" visibles sur des coupes longitudinales radiales (19, 3, 4)

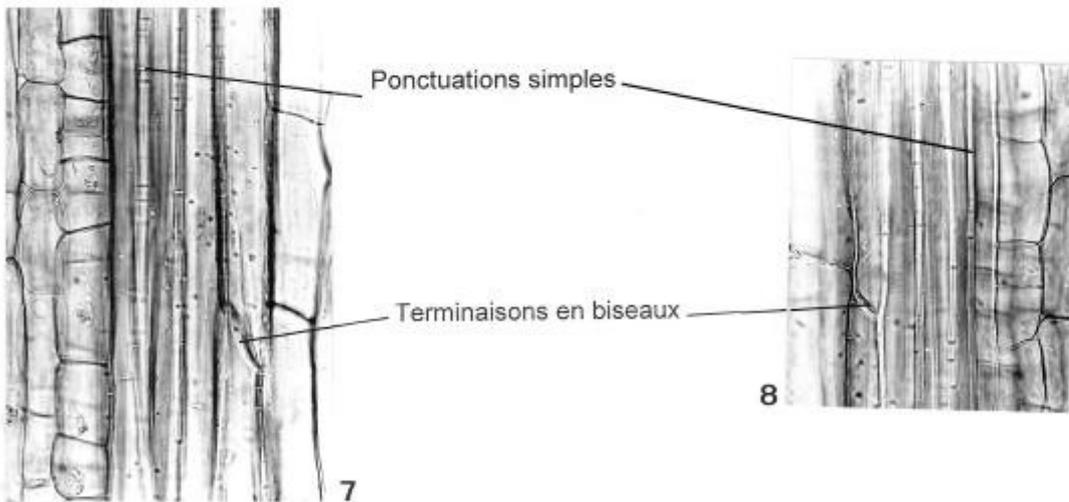
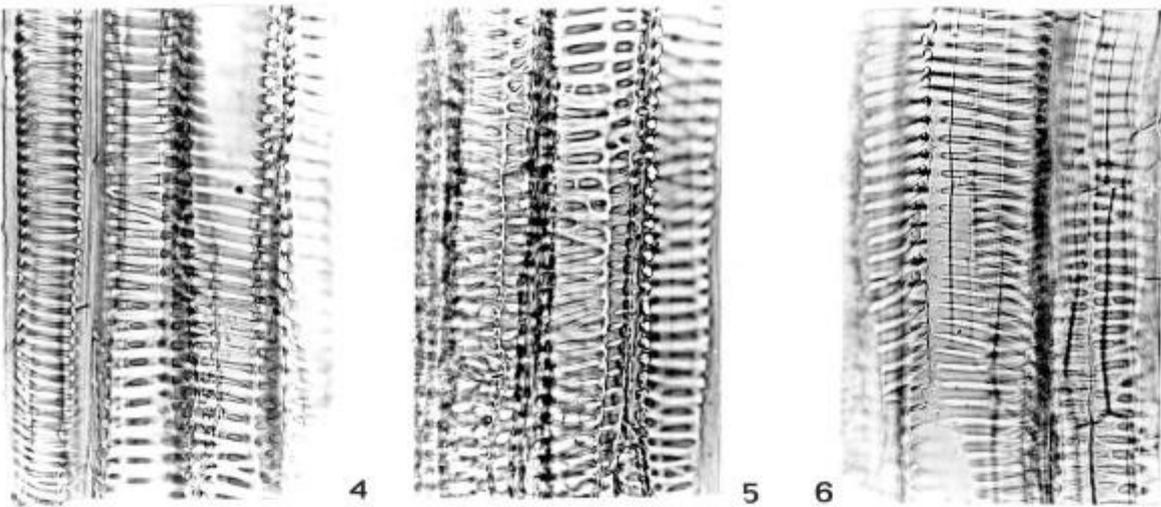
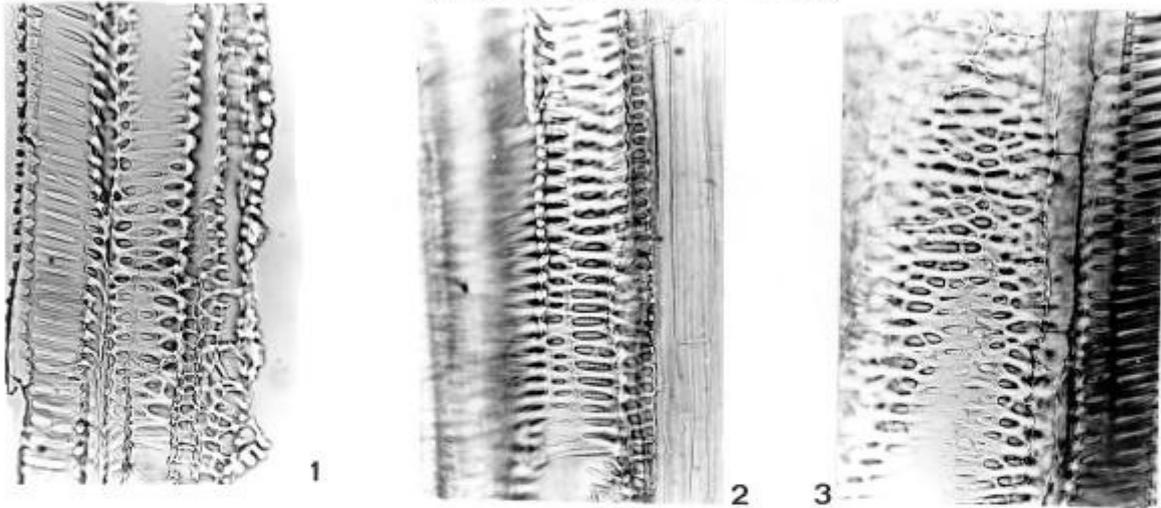
6) Les cellules et canaux sécréteurs. Ces éléments qui sont toujours localisés, lorsqu'ils existent, dans le xylème secondaire, ne sont parfois pas attribués au tissu ligneux mais au tissu sécréteur. Leur origine cambiale, comme tous les autres éléments du bois est pourtant évidente. Les canaux et poches résinifères sont fréquents dans le bois de nombreuses Gymnospermes. Ces canaux peuvent être soit longitudinaux, leur section est alors visible en coupe transversale (17, 1), soit transversaux, leur section étant alors visible en coupe longitudinale (18, 1)

L'ornementation des éléments conducteurs

Une coupe longitudinale dans la tige d'une Cucurbitacée cultivée (courge, courgette, concombre) permet une étude facile des éléments conducteurs du xylème (7 et 9). Le xylème primaire y est, comme chez tous les végétaux vasculaires, composé exclusivement de trachéides. Celles-ci sont longues parfois de plusieurs millimètres, ce qui explique la rareté des cloisons transversales qui sont toujours très obliques. Les plus simples de ces trachéides ne présentent sur leurs parois longitudinales que quelques anneaux de lignine (7, 1) ou bien une ou plusieurs spirales lignifiées (7, 2). De telles ornementsations qui autorisent l'élongation de l'ensemble de l'organe, caractérisent le protoxylème. La coupe transversale de tels éléments a peu de chance de passer exactement par un anneau de lignine. On comprend pourquoi le protoxylème apparaît le plus souvent cellulosique dans les coupes transversales. L'allongement de l'organe en croissance finit par provoquer la rupture des parois restées cellulosiques de la trachéide, laissant à la place de celle-ci un espace libre visible en coupe transversale appelé "pôle de résorption du protoxylème" (49). Dans la tige de prêle la résorption du xylème est à l'origine d'une importante lacune (47).

Vaisseaux rayés, réticulés, ponctués du métaxylème de *Cucurbita*
(coupes longitudinales de tige)

Planche 9



Fibres du sclérenchyme pérycclique de *Cucurbita*

À côté des trachéides annelées ou spiralées du protoxylème, dans le même faisceau d'éléments conducteurs, se rencontrent des trachéides et vaisseaux dont l'ornementation lignifiée des parois est plus complexe. L'ensemble de ces éléments constitue le **métaxylème**. Son origine est soit primaire, il s'agit alors de trachéides, soit secondaire, il s'agit alors de trachéides et de vaisseaux vrais. Dans une coupe longitudinale, métaxylème primaire et métaxylème secondaire sont indiscernables alors que dans une coupe transversale (37) les éléments d'origine secondaire apparaissent en files radiales, résultant du cloisonnement cambial. Les éléments du métaxylème sont des trachéides et des vaisseaux à ornementation rayée d'aspect scalariforme (7, 3, 4), réticulée (9, 1, 5) ou ponctuée (9, 3).

Dans un tel faisceau la circulation de la sève se fait longitudinalement par la lumière des vaisseaux mais aussi latéralement à travers les espaces non lignifiés et demeurés celluloseux. On donne à ces espaces le nom général de **ponctuations**.

La coupe longitudinale d'une tige de courge permet l'observation d'un autre tissu, c'est le sclérenchyme localisé, comme chez la bryone (51) en position péricyclique. Ce sclérenchyme se présente sous forme de fibres, longues cellules aux extrémités effilées et parois lignifiées dont on peut voir (9, 7, 8) qu'elles réalisent entre elles des ponctuations simples.

Les ponctuations entre les différents éléments du tissu ligneux

Tous les éléments du xylème établissent entre eux des ponctuations latérales qui permettent une circulation transverse de la sève brute. Les ponctuations sont de simples interruptions de la paroi secondaire (celle qui est imprégnée de lignine dans le tissu ligneux) avec persistance à la fois de la lamelle moyenne et de la paroi primaire. Elles sont essentiellement de deux types, simples ou aréolées.

1) Les ponctuations simples

Les espaces laissés entre les plages lignifiées des trachéides et vaisseaux rayés, réticulés, ponctués sont de ce type. Le plus souvent, la ponctuation simple, comme celles que nous avons notées sur les parois des fibres de sclérenchyme (9, 7, 8), est une cavité cylindrique qui, vue de face présente une ouverture circulaire. La ponctuation peut n'exister que dans une seule cellule, on parle alors de ponctuation borgne, ou correspondre à une ponctuation formée par la cellule contiguë, on parle dans ce cas d'une paire de ponctuations simples.

La cavité des ponctuations simples n'est pas toujours exactement cylindrique, elle peut parfois être conique.

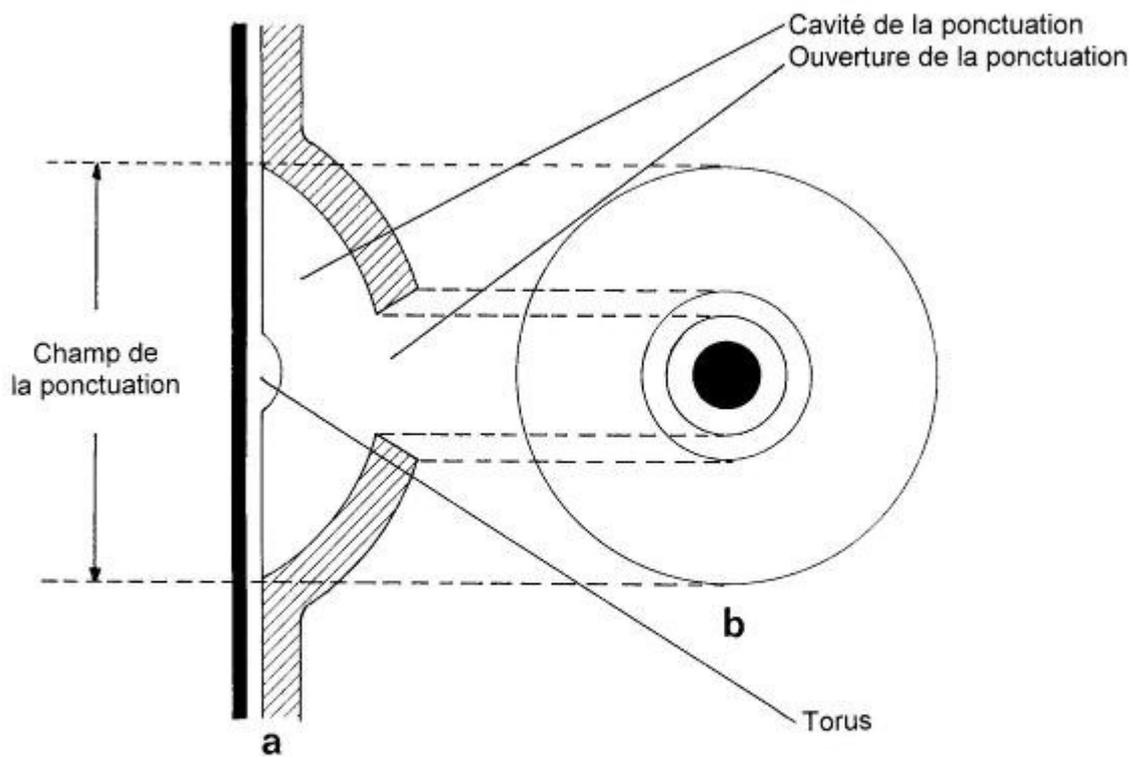
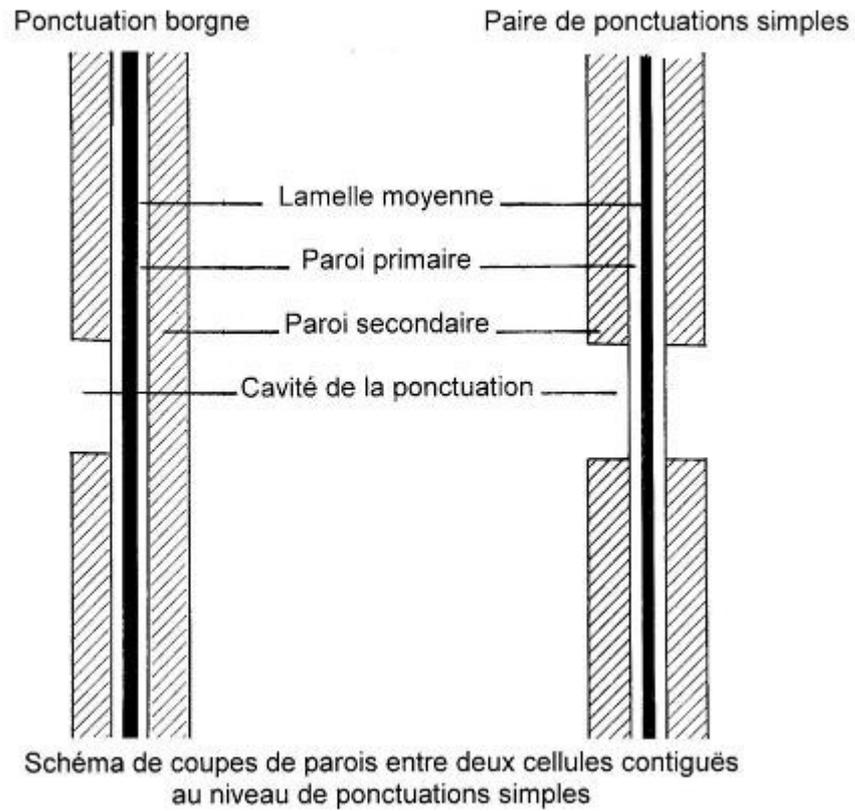


Schéma d'une ponctuation aréolée
a, en coupe ; b, de face

Ce type de ponctuation est typiquement celui que forment les cellules de parenchyme ligneux soit entre elles, sur toutes leurs parois, soit entre elles et les autres constituants du tissu ligneux (trachéides, fibres, vaisseaux).

2) Les ponctuations aréolées

Elles diffèrent des ponctuations simples par la forme de la cavité de la ponctuation qui résulte d'un décollement de la paroi secondaire de sorte que le champ de la ponctuation, qui est circulaire, est plus grand que l'ouverture de celle-ci. La paroi primaire présente parfois, sous l'ouverture de la ponctuation, un épaississement désigné sous le nom de torus.

Vue de face, l'image de la ponctuation est celle d'anneaux concentriques qui rappelle celle d'une aréole (le cercle coloré qui entoure l'extrémité d'un sein humain).

Comme dans le cas de ponctuations simples, les ponctuations aréolées peuvent être "borgnes" ou apparaître sous la forme de paires lorsqu'elles sont formées en face l'une de l'autre dans deux cellules contiguës. On désigne parfois, sous le terme mal choisi de ponctuation semi-aréolée, une paire de ponctuations dont l'une est simple et l'autre aréolée. Parfois, l'ouverture de la ponctuation aréolée n'est pas circulaire mais ovale ou bien de la forme d'une fente étroite dont les lèvres peuvent dépasser le champ de la ponctuation. Lorsque ce type de ponctuation aréolée se présente par paires, les fentes d'ouverture sont généralement obliques l'une par rapport à l'autre. On parle dans ce cas de paires de ponctuations croisées.

Les ponctuations aréolées sont typiques du métaxylème secondaire de toutes les Gymnospermes dont les trachéides aréolées sont le seul type d'élément conducteur (bois homoxylé). Leur protoxylème, comme celui de tous les végétaux vasculaires, recèle des trachéides annelées et spiralées. Les ponctuations aréolées existent aussi chez les trachéides et les vaisseaux des Angiospermes mais dans ce groupe de plantes, le torus est absent.

Les paires de ponctuations croisées sont caractéristiques des fibres-trachéides, ces cellules à rôle de soutien qui se rencontrent dans le xylème secondaire des seules Angiospermes.

Le xylème secondaire ou bois

Croissance en épaisseur des arbres : le cerne ligneux

L'augmentation du diamètre du tronc des arbres est assurée par le cambium libéro-ligneux qui se situe à la périphérie du tronc. Le cloisonnement tangentiel (on dit aussi péricline) des cellules de ce méristème latéral engendre des files radiales de cellules qui se différencient en xylème secondaire ou bois du côté interne du cambium, et en phloème secondaire ou liber du côté externe.

Le cloisonnement radial (on dit aussi anticline) de certaines cellules cambiales est à l'origine de l'indispensable allongement de la circonférence du tronc. On désigne sous le nom de cerne ligneux l'ensemble de la production de bois au cours d'une année de croissance.

Dans les régions soumises à un climat saisonnier, comme les régions tempérées des deux hémisphères, le fonctionnement cambial n'est pas continu. Dans ces régions, il y a arrêt de croissance pendant l'hiver. Pendant la période de végétation, le cambium engendre d'abord un bois peu dense dont les cellules sont à large lumière : **c'est le bois initial** (ou bois de printemps) ; plus tard dans la saison, le bois engendré est plus dense, à cellules de plus petit diamètre : c'est le bois final (ou bois d'automne). Ces deux zones du cerne ligneux sont généralement faciles à distinguer en coupe transversale ([17](#), 1) ; leur présence a pour conséquence une polarisation du cerne : **dans le même cerne, le bois initial est du côté du cœur de l'arbre, le bois final du côté du cambium.**

Chez les Angiospermes dont le bois hétéroxylé contient des vaisseaux vrais, ceux-ci sont le plus souvent d'un diamètre visible à l'œil nu. En coupe transversale, on leur donne le nom de **pores**. Leur localisation dans le bois initial est à l'origine des bois dits "à zone poreuse", dont le chêne est le meilleur exemple ([23](#)). Lorsque la production de vaisseaux est régulière ceux-ci apparaissent à la fois dans le bois initial et le bois final, à l'origine de bois dits "à pores diffus" ([15](#)).

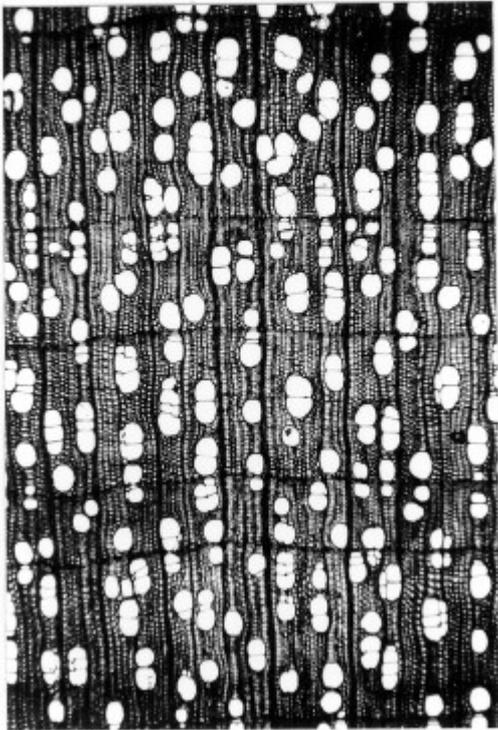
Dans un tronc, seuls quelques cernes ou dizaines de cernes périphériques ont un rôle conducteur et constituent la partie vivante du bois que l'on nomme **aubier**. Sous l'aubier, le cœur (ou duramen) est constitué de tissus morts qui n'ont qu'un rôle de soutien dans lequel se déposent souvent des tanins à l'origine d'une couleur différente de celle de l'aubier. Cette situation a deux conséquences :

- les arbres creux, ceux dont le cœur a disparu à cause d'avatars divers, sont bien sûr moins solides que ceux dont le tronc est intact mais ils sont parfaitement vivants et produisent des feuilles et des fleurs,
- pour tuer un arbre, même très grand, un simple coup de scie de quelques centimètres sous l'écorce le long de la circonférence du tronc suffit.

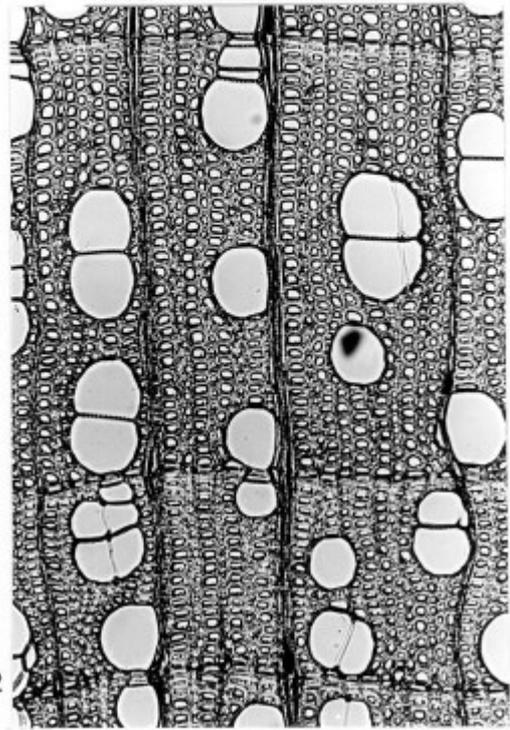
Dans les régions tempérées où le fonctionnement rythmique du cambium est à l'origine de cernes annuels, l'âge de l'arbre peut être facilement déterminé en comptant le nombre de cernes sur la coupe transversale, à la base du tronc. L'arbre agit dans ce cas, comme un enregistreur annuel du temps. Il n'existe pas, à la surface de la terre, de meilleur chronographe. Cette constatation est à l'origine de la **dendrochronologie** qui est une branche de la xylologie, ou dendrologie.

L'épaisseur du cerne est largement dépendante des conditions climatiques qu'a connues l'arbre pendant son élaboration : un cerne épais indique assurément des conditions favorables à la croissance de l'arbre et un cerne mince des conditions défavorables. Sur la base d'une connaissance physiologique du fonctionnement cambial d'une espèce d'arbre, il est donc possible "d'extraire" d'une série de cernes de cet arbre le "signal climatique" qu'ils recèlent. Ce principe est le moteur de la **dendroclimatologie** qui est le moyen le plus précis d'accéder année après année aux fluctuations climatiques passées. Cette connaissance est bien sûr limitée à la durée de vie des arbres dont les plus vieux (certains spécimens de *Pinus aristata* d'Arizona) ont déjà plus de 5 000 ans, ce qui est extraordinaire et représente environ la moitié de la durée de notre Interglaciaire.

Exemples de bois hétéroxylés à pores diffus

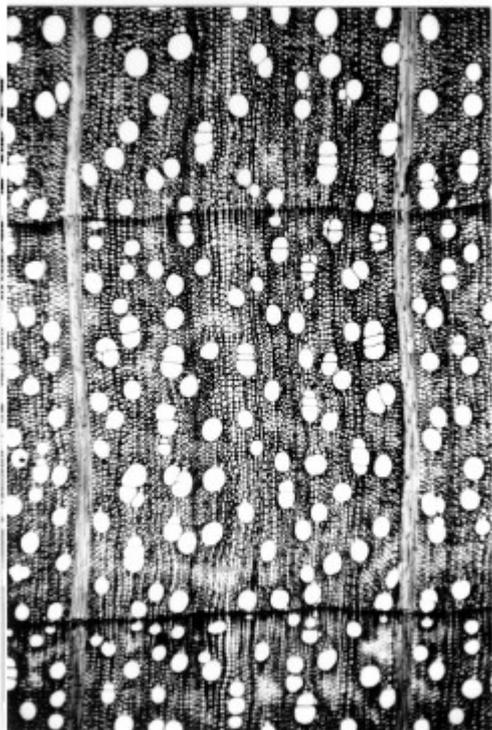
Bois de *Betula pendula* (coupe transversale)

1

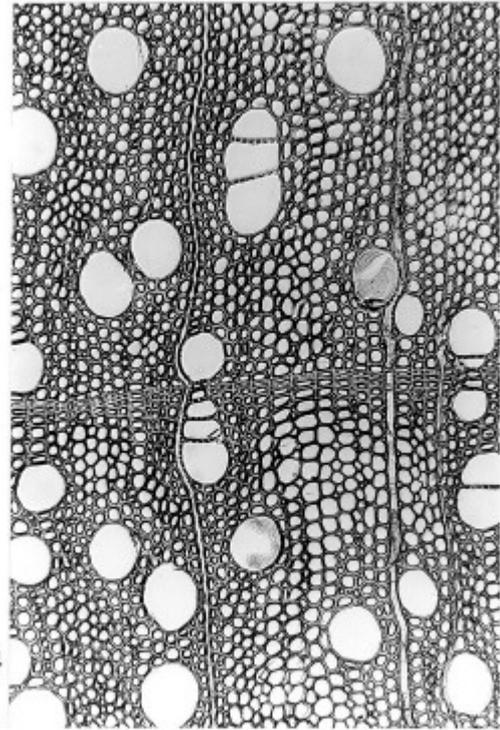


2

↓ Cœur de l'arbre

Bois de *Acer platanoides* (coupe transversale)

3



4

↓ Cœur de l'arbre

Le bois homoxylé

Coupes transversales

Ce sont celles qui sont perpendiculaires à l'axe du tronc.

- **Le bois de mélèze** (*Larix europaea*, 1) présente une très nette différence entre bois initial, à trachéides à parois minces, et bois final, à trachéides à parois épaisses. Ces caractéristiques histologiques sont à l'origine des qualités mécaniques du bois : par son bois final à forte proportion de lignine, le bois de mélèze est un bois dur presque imputrescible. Après cassure, le bois final est à l'origine de redoutables échardes !

Le bois de mélèze est un bois résineux. Un canal résinifère longitudinal apparaît dans le bois final sur la photo 1. La résine est aussi localisée dans des poches résinifères. Comme chez presque toutes les Gymnospermes, le parenchyme ligneux longitudinal est absent ou rare et le parenchyme transverse existe sous formes de rayons unisériés.

- **Le bois d'if** (*Taxus baccata*, 2) présente des trachéides d'un diamètre moindre que celles du bois de mélèze : on dit que c'est un bois à grain fin. Sa structure est assez homogène : le bois initial et le bois final sont peu distincts. On comprend pourquoi ce type de bois, qui est aussi un bois dur, prend un très beau poli ! C'est un bois non résineux, sans parenchyme longitudinal, à rayons ligneux unisériés.

Tous les bois de Gymnospermes, pauvres en parenchyme, sont des bois pauvres en eau, surtout lorsqu'il s'agit de bois de cœur qui n'a plus de rôle conducteur : leur séchage pour le bois d'œuvre est facile et rapide.

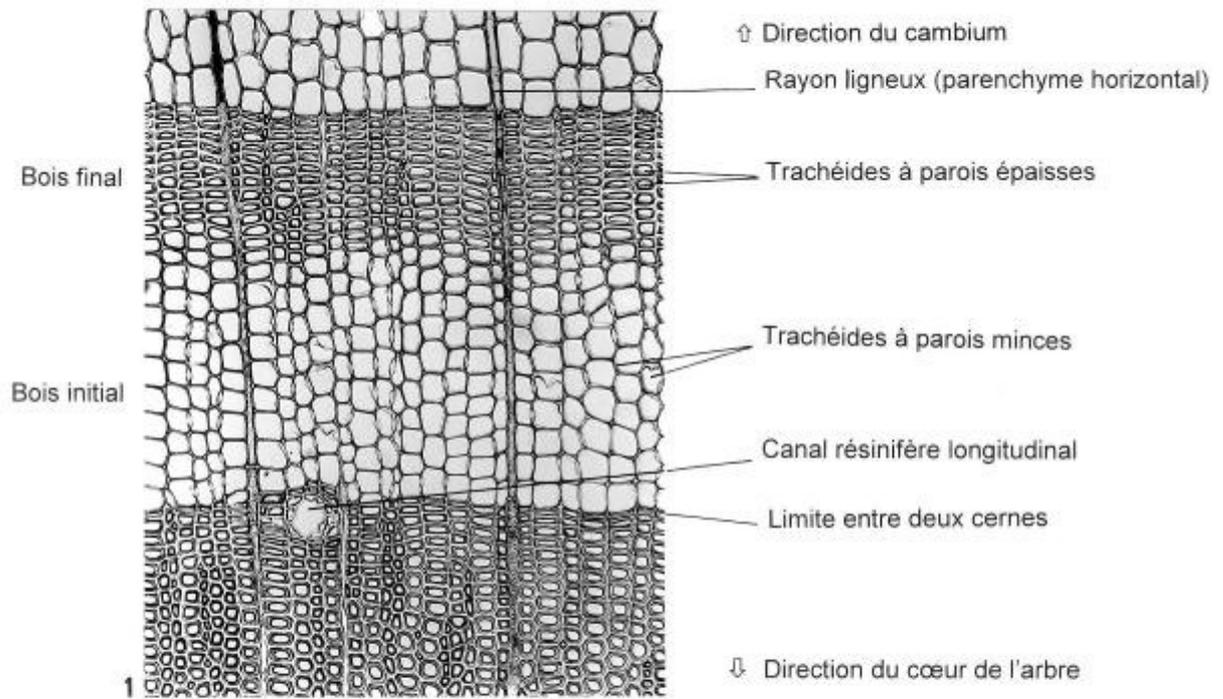
Coupes longitudinales tangentielles (18)

Toutes les coupes longitudinales qui ne passent pas par l'axe du tronc sont dites tangentielles parce qu'elles sont tangentes à au moins un cerne.

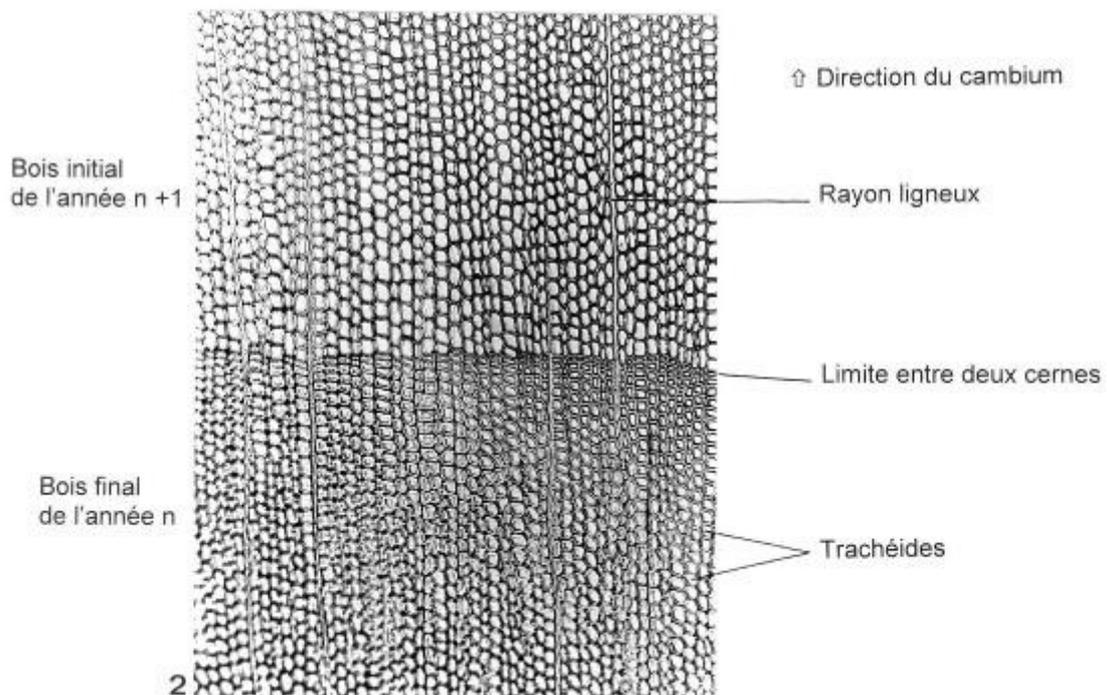
Dans ce type de coupe, les rayons ligneux sont coupés transversalement et on peut juger à la fois de leur répartition dans le bois, de leur structure et de leur hauteur. Dans le bois de *Pinus halepensis* (18, 1), on se rend compte que certains rayons plurisériés recèlent un canal résinifère transverse. La "hauteur" des rayons ligneux unisériés est rarement de plus de 15 cellules.

Les éléments longitudinaux sont des trachéides dont les terminaisons en biseau sont bien visibles. Les ponctuations aréolées sont nombreuses et localisées sur les seules parois radiales. Elles apparaissent en coupe, par paires, donnant un aspect de chaînette aux parois radiales des trachéides (18, 4).

Exemple d'un bois homoxylé à bois initial et bois final très distincts : celui de *Larix europaea* (coupe transversale) Planche 17

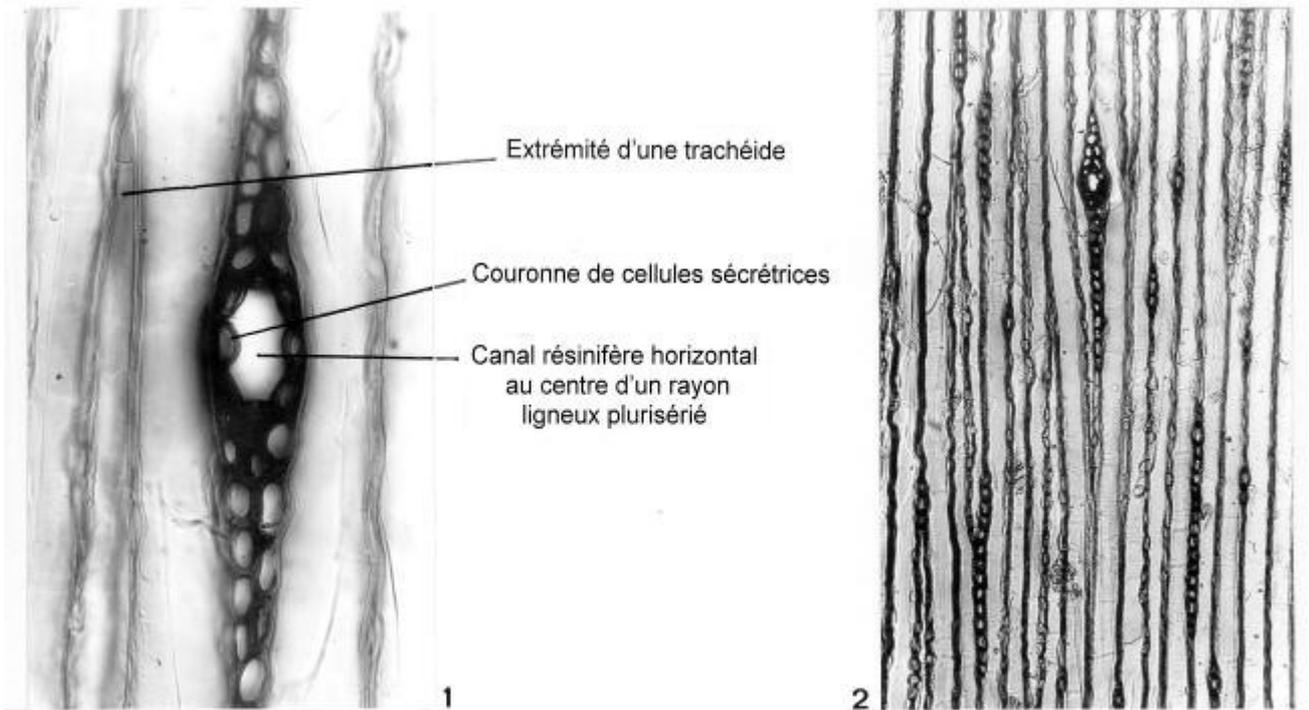


Exemple d'un bois homoxylé homogène, à bois initial et bois final peu distincts : celui de *Taxus baccata* (coupe transversale)

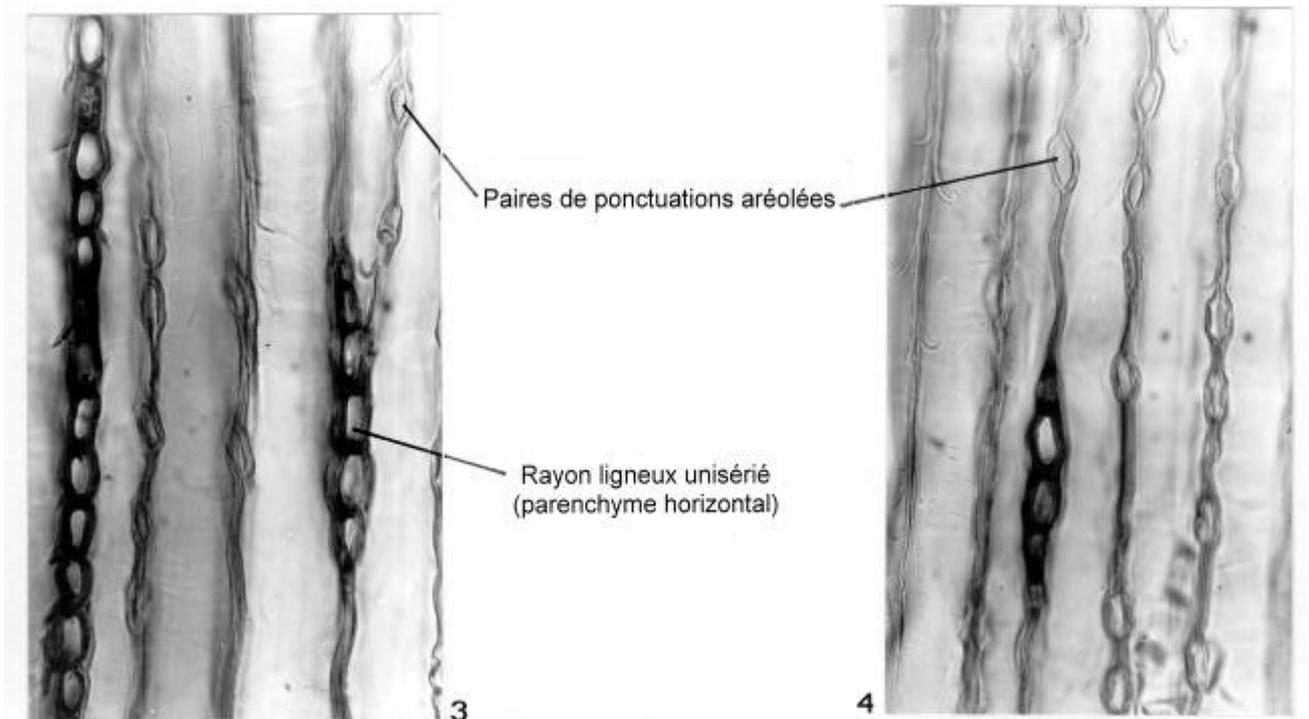


Bois de *Pinus*, coupes longitudinales tangentielles

18



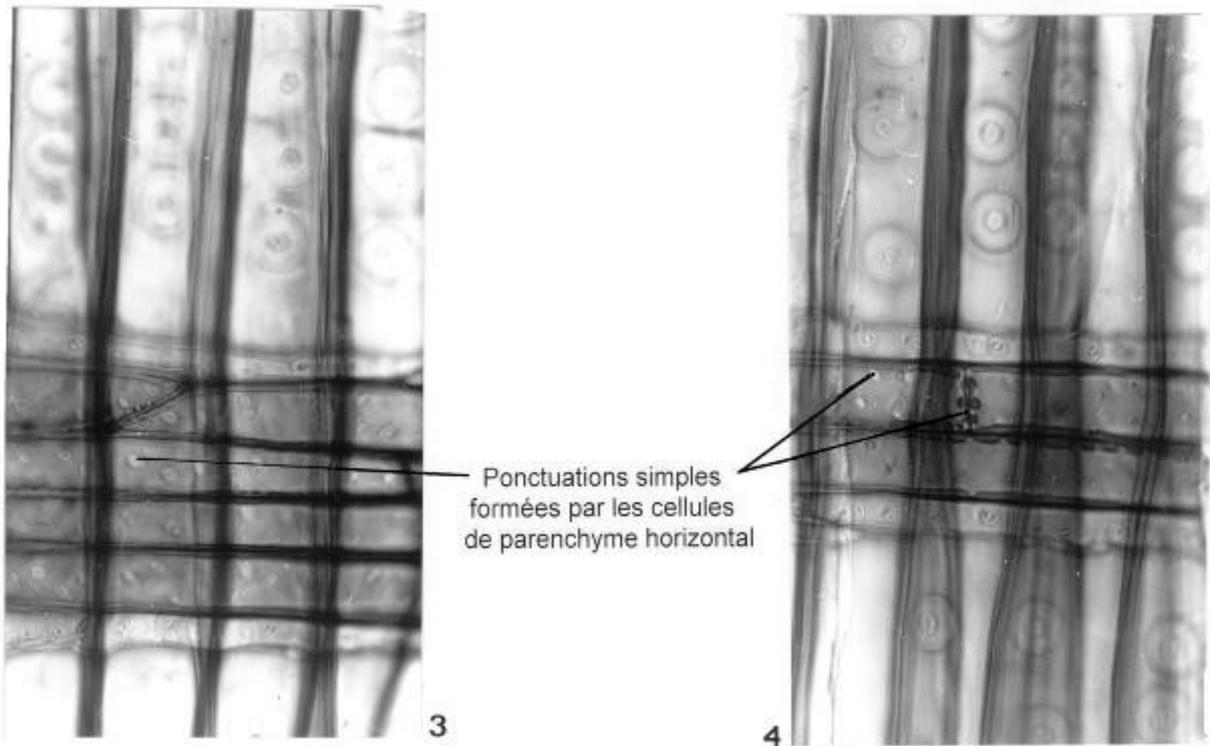
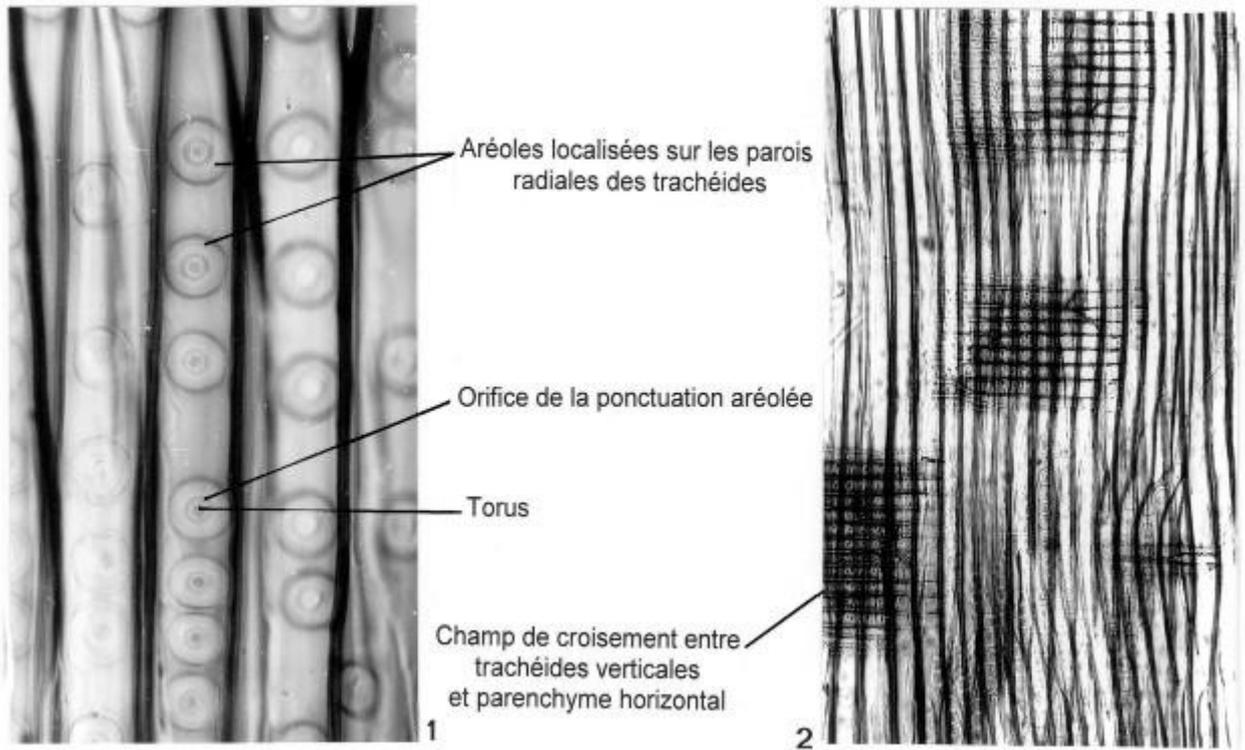
Exemple de bois homoxylé : il n'y a qu'un seul type d'élément conducteur, des trachéides



Les ponctuations aréolées sont localisées sur les parois radiales

Bois de *Pinus*, coupes longitudinales radiales

Planche 19



Le bois homoxylé (suite)

Coupes longitudinales radiales (19 et 21)

Ce sont des coupes qui passent par l'axe du tronc. Leur aspect est très différent de celui des coupes tangentiels à cause de la présence des "champs de croisement" qui résultent de l'intersection d'une portion de rayon ligneux, coupé longitudinalement, avec les trachéides.

Les parois des trachéides présentent des ponctuations aréolées qui sont, dans ce cas, vues de face. Chez le pin d'Alep, il y a une seule file de ponctuations aréolées et le torus n'est pas toujours présent.

Dans les champs de croisement, on se rend compte que les cellules de parenchyme horizontal portent des ponctuations simples sur toutes leurs parois. Ce sont des paires de ponctuations simples, vues en coupe, entre cellules de parenchyme. Quant à celles portées par les parois radiales de ces cellules, elles sont vues de face et sont le plus souvent borgnes.

Des trachéides horizontales existent parfois en bordure des champs de croisement. Les paires de ponctuation aréolées sur leurs parois obliques sont bien visibles sur les photos

2 et 3.

Bois de *Pinus*, coupes longitudinales radiales montrant les trachéides horizontales en bordure des champs de croisement

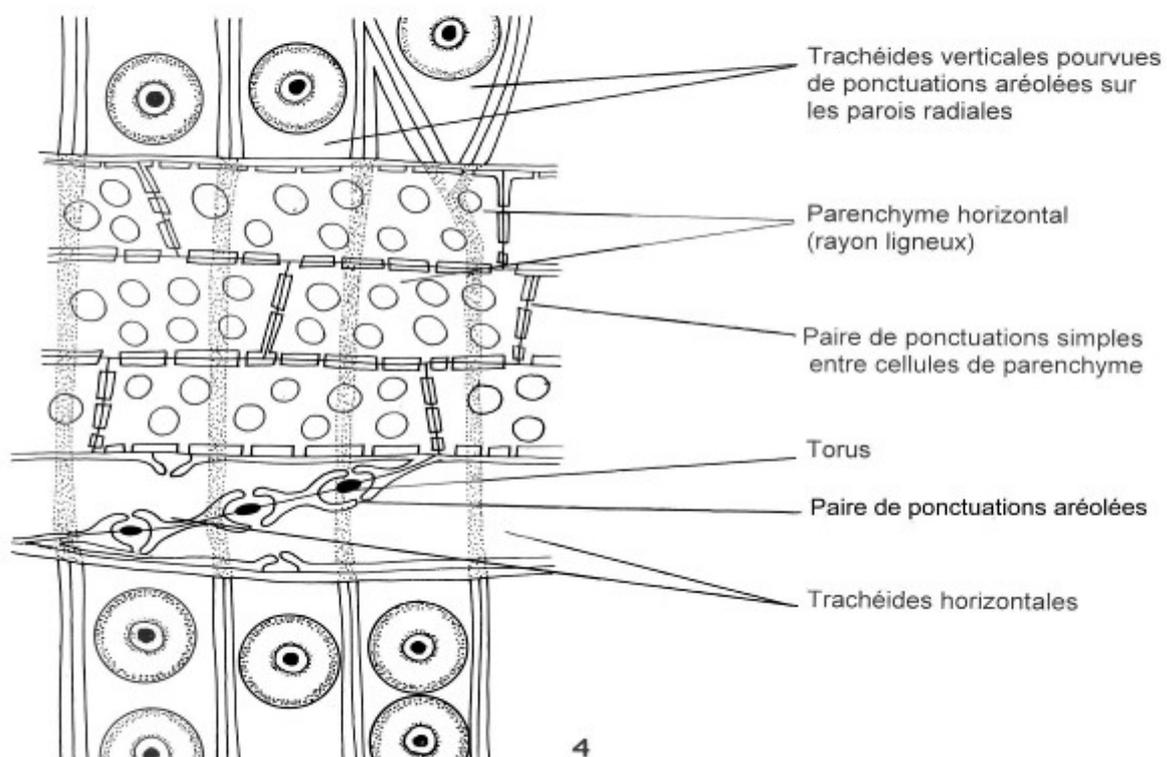
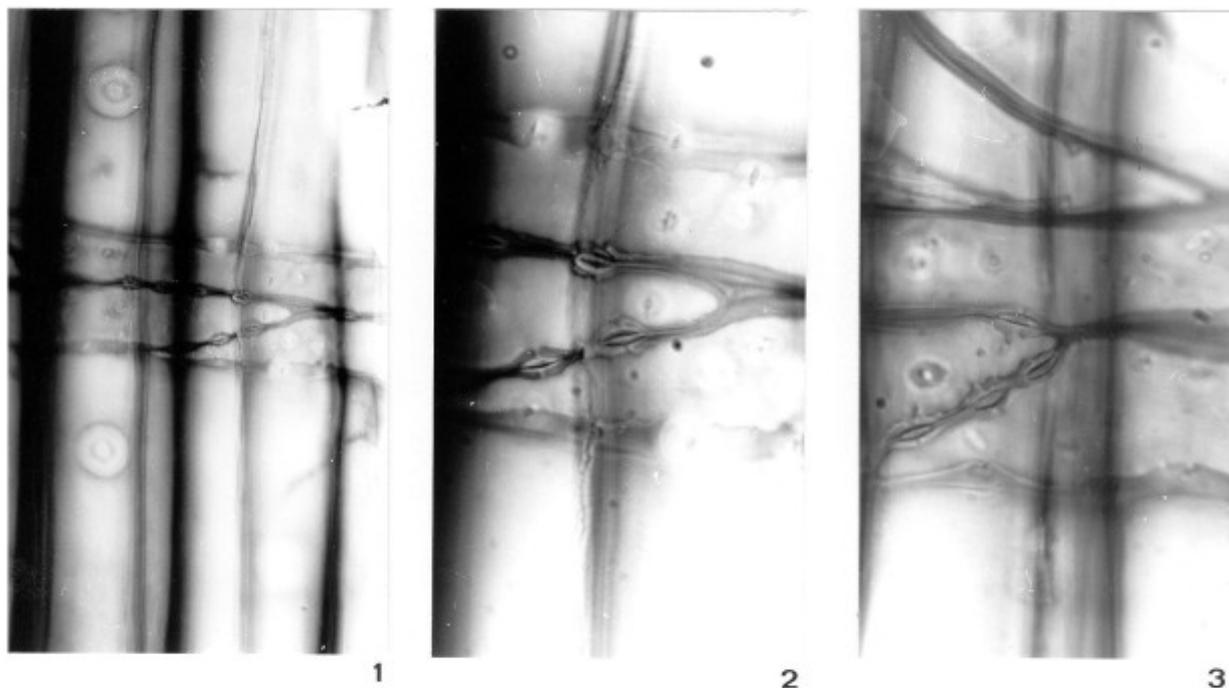


Schéma d'un champ de croisement dans du bois de *Pinus*

Le bois hétéroxylé

Exemple du bois de chêne : Quercus (suite)

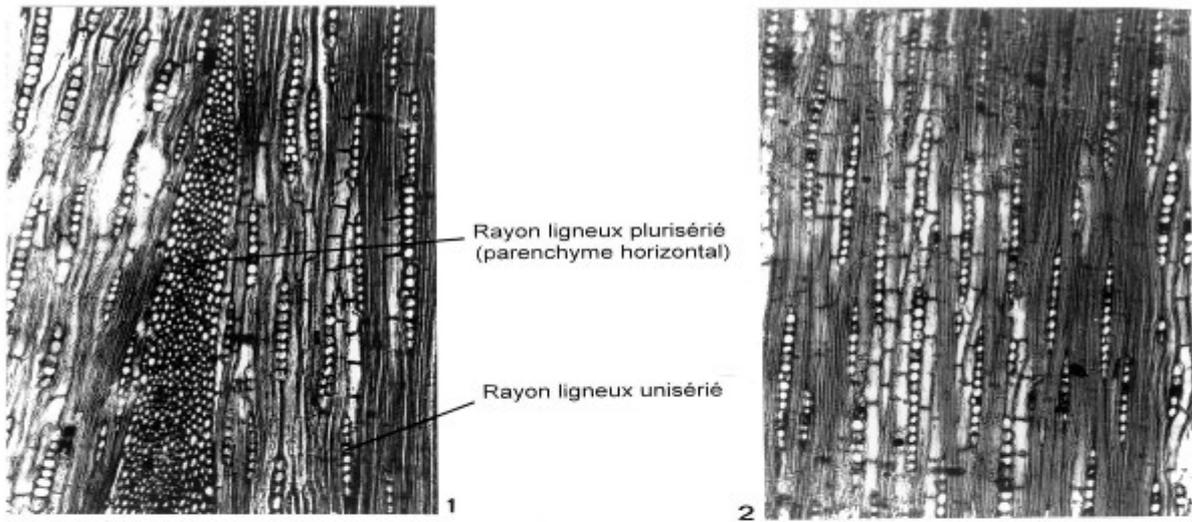
Coupes longitudinales tangentielles

Les photos 1 et 2 résultent de coupes réalisées dans le bois final. Les éléments longitudinaux sont des fibres à parois épaisses, sans ponctuations et des files de cellules de parenchyme vertical.

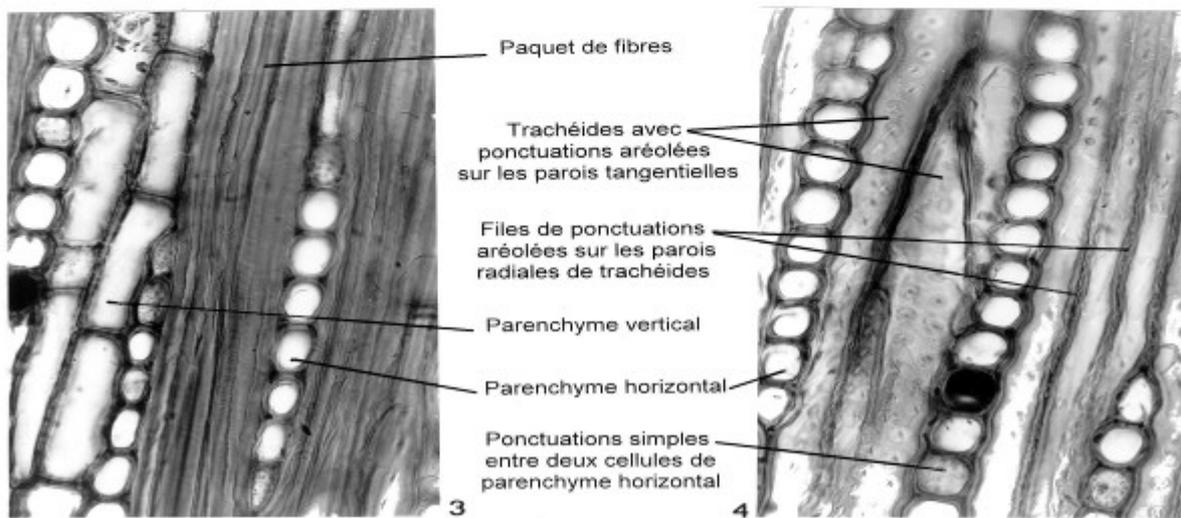
Les rayons ligneux unisériés, coupés transversalement, sont nombreux. Une des caractéristiques du bois de chêne est de présenter par places de gros rayons plurisériés larges et hauts. L'un d'eux figure sur la photo 1.

Dans le bois initial, les fibres ne sont pas absentes et les trachéides sont abondantes. Selon leurs tailles, elles présentent une ou plusieurs rangées de ponctuations aréolées sur leurs parois radiales (4). L'ouverture de la ponctuation est souvent allongée, réalisant entre deux trachéides contiguës des paires de ponctuations croisées (4). Les parois tangentielles des mêmes trachéides portent des ponctuations aréolées dont on voit la coupe. Cette répartition des ponctuations sur toutes les parois permet la circulation de la sève brute aussi bien tangentiellement que radialement.

Dans les rayons ligneux, la coupe passe parfois par une cloison entre deux cellules de parenchyme horizontal, pourvue de nombreuses ponctuations simples (4). Le même type de ponctuation est visible, en coupe, entre les cellules de parenchyme vertical (3).

Bois de *Quercus*, coupes longitudinales tangentielles

Bois final : il n'y a ni vaisseaux ni trachéides



Bois initial : le parenchyme vertical et les trachéides sont abondants mais les coupes ne passent par aucun vaisseau

Le bois hétéroxylé

Exemple du bois de chêne : Quercus

Coupe transversale

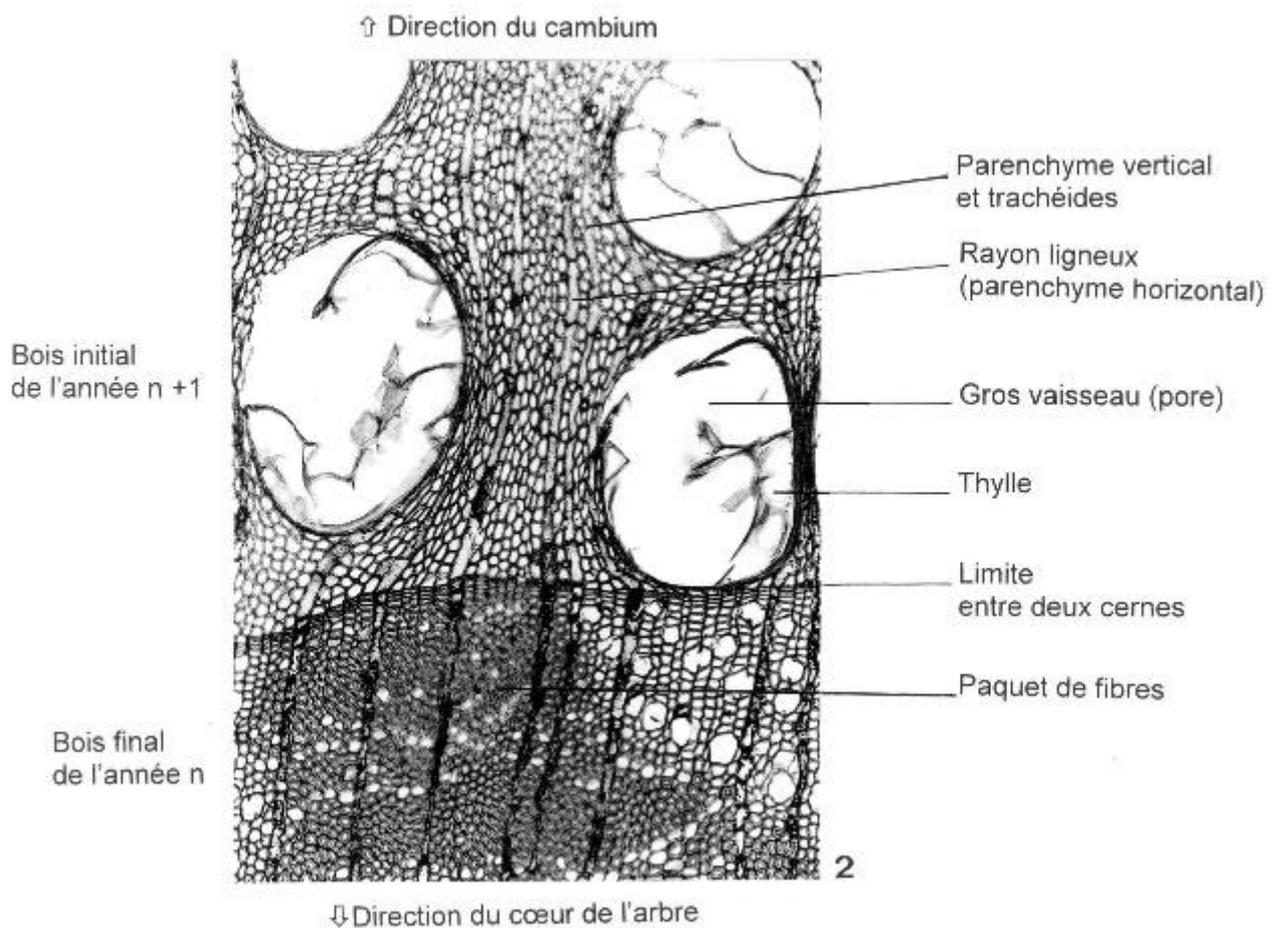
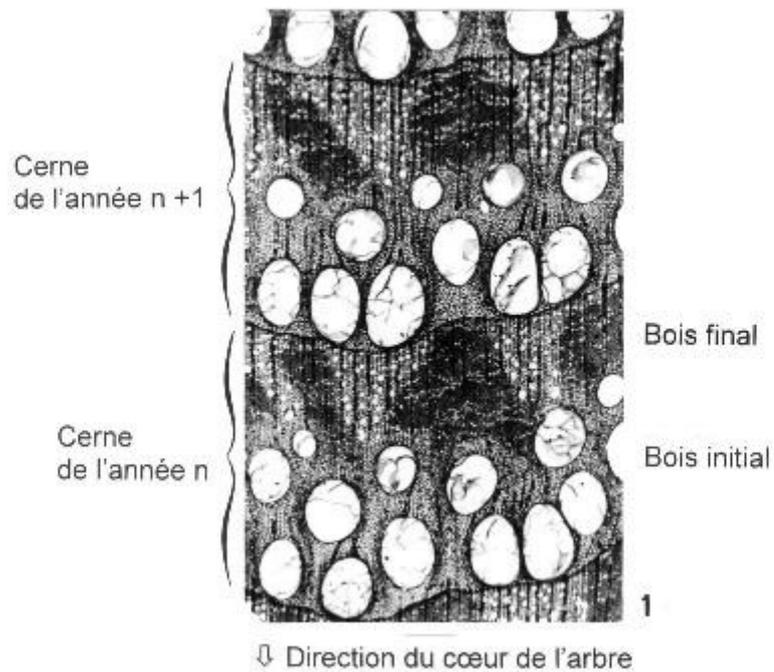
Bois initial et bois final sont bien distincts car le bois de chêne est un bois à zone poreuse ;

les vaisseaux, de grand diamètre, sont localisés dans le bois initial. Ces vaisseaux sont entourés d'un abondant parenchyme vertical. La lumière des vaisseaux âgés est obstruée par des thylls. "Un thyll est une expansion vésiculaire produite par une cellule vivante à travers la ponctuation d'un vaisseau" (Deysson 1954). Ces thylls se forment dans le bois de cœur dont ils provoquent l'obturation. Ils jouent ainsi un rôle dans la conservation du bois en empêchant la pénétration de tous les agents destructeurs du bois : champignons, bactéries, eau. Tous les bois durables, celui de chêne étant l'un des meilleurs, sont riches en thylls.

Dans le bois final, se rencontrent de gros paquets de fibres à lumières étroites et parois épaisses, reconnaissables par leur couleur sombre, des trachéïdes, ainsi que du parenchyme vertical. Sur les photos, les rayons ligneux du parenchyme horizontal sont de type unisérié.

Comme le montre la **photo 1**, la concavité du cerne n'est pas, localement, un bon indicateur de la direction du centre du tronc : une analyse de la polarité de cerne est toujours nécessaire. La raison en est que le contour du cambium n'est pas toujours circulaire, il est parfois sinueux, surtout dans les branches.

Exemple d'un bois hétéroxylé à zone poreuse

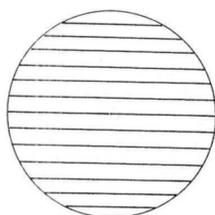
Bois de *Quercus* (coupe transversale)

Le bois hétéroxylé : bois de chêne : Quercus

Coupes longitudinales radiales

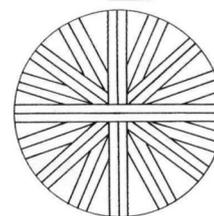
La présence des champs de croisement caractérise ce type de coupe et confère aux surfaces des plans radiaux un aspect macroscopique très différent de celui des surfaces tangentielles. Les champs de croisement apparaissent comme des plages d'aspect moiré d'un à plusieurs centimètres carrés de surface, que les ébénistes appellent la maille et dont l'aspect est apprécié sur le bois de chêne. Seules les planches passant par le cœur de l'arbre présentent l'aspect maillé. Le sciage du bois doit tenir compte de cette évidence : le sciage en "plots" ne livrera qu'une ou deux planches maillées ; encore faut-il prendre soin de prélever près du cœur des planches de faible épaisseur. Obtenir des planches toutes maillées oblige à une constante réorientation de la grume en cours de sciage. Ce débit, dit "débit hollandais", est de façon coûteuse et il y a des chutes. Son nom lui vient du fait qu'il a été imaginé par des ébénistes hollandais du 18^{ème} siècle qui ont ainsi fait croire à tout le reste de l'Europe, pendant plusieurs décennies, que le beau chêne maillé qu'ils façonnaient, provenait de leurs lointaines colonies orientales !

Il en est ainsi pour tous les types de bois ; cette évidence histologique justifie l'usage du placage. Les placages maillés ne peuvent être obtenus que par tranchage. Le déroulage, en revanche, procure de grandes surfaces qui ne sont jamais maillées (sauf par endroits, dans le cas de l'utilisation de billes artificiellement réalisées, à cœur

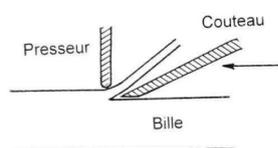


Débit en plots

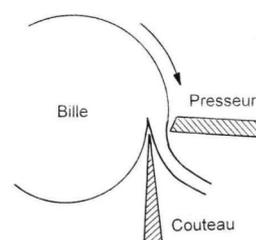
Exemples de types de débits de grumes



Débit hollandais

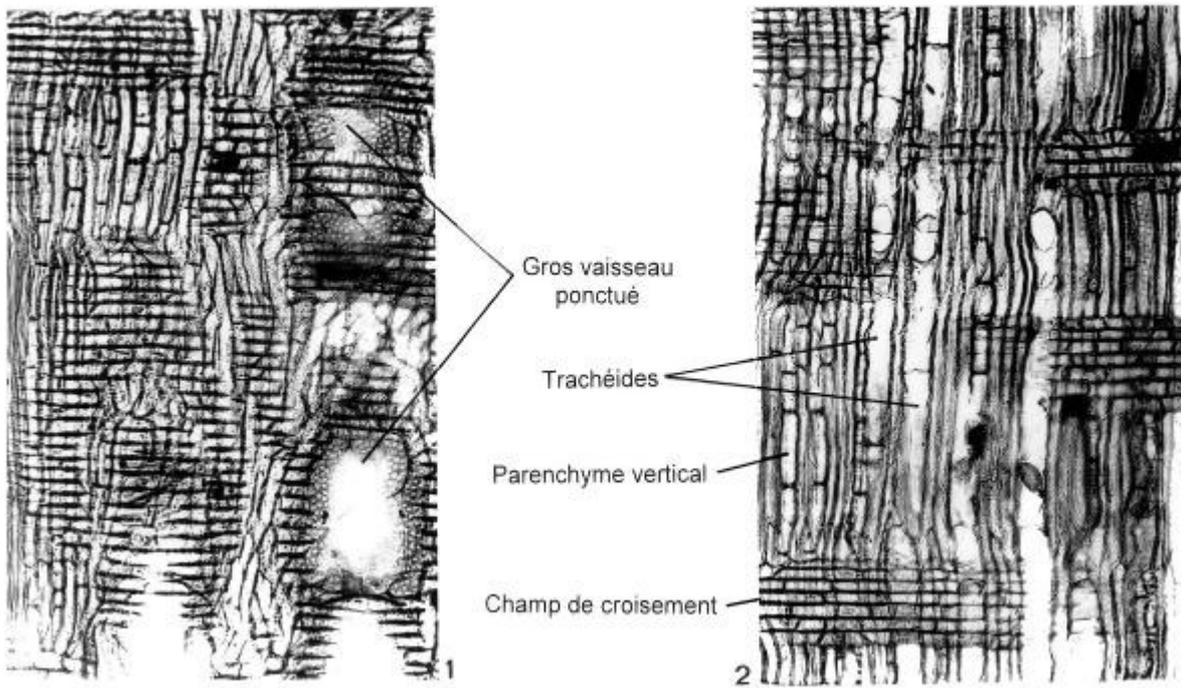


Tranchage : comme s'il s'agissait d'un énorme microtome, un couteau, monté sur un chariot à mouvement alternatif, découpe en feuilles la bille maintenue fixe.

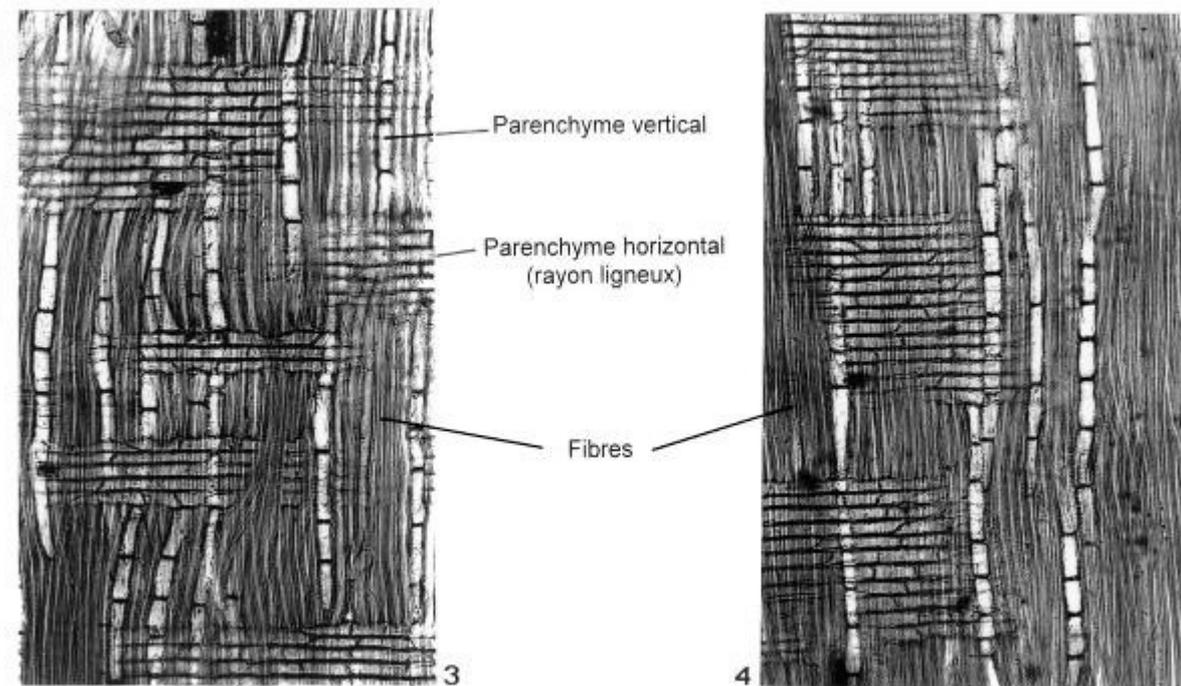


Déroulage : la bille, maintenue entre pointes, est animée d'un mouvement de rotation. Le couteau se rapproche du centre d'un mouvement continu en détachant une feuille sans fin.

Procédés de fabrication du placage

Bois de *Quercus*, coupes longitudinales radiales

Bois initial : vaisseaux et trachéides, beaucoup de parenchyme vertical, peu de fibres



Bois final : pas de vaisseaux, peu de parenchyme vertical, beaucoup de fibres

Structure anatomique primaire de la racine des Dicotylédones

Exemple de Ficaria

La ficaria est une petite Renonculacée à fleurs jaunes, à floraison vernale commune dans les lieux humides, les fossés et les bords des cours d'eau.

La racine est un organe à symétrie axiale dans lequel se reconnaissent deux parties bien distinctes d'inégale importance : l'écorce et le cylindre central.

L'**écorce** est représentée par un ensemble de tissus qui sont, de l'extérieur vers l'intérieur :

- l'**assise pilifère** (absente de la photo),
- la **zone subéreuse primaire** ou subéroïde ; c'est l'imprégnation de subérine des parois des cellules les plus externes de l'écorce qui les rend étanches et provoque la chute des poils absorbants,
- le **parenchyme cortical** ; c'est un parenchyme à méats dans lequel s'accumulent des réserves amyliacées responsables de la tubérisation des racines de ficaria,
- l'**endoderme** ; c'est l'assise cellulaire la plus interne de l'écorce ; il est formé de cellules à section rectangulaire parfaitement jointives dont les parois radiales sont épaissies et imprégnées de lignosubérine ; un tel endoderme est dit "**à cadres**".

Le **cylindre central** est de petite taille, en comparaison de l'étendue de l'écorce. C'est à l'intérieur du cylindre central que se trouvent localisés les tissus conducteurs ; on donne le nom de stèle à l'ensemble des tissus conducteurs primaires. Le cylindre central comprend :

- le **péricycle** ; c'est l'assise cellulaire la plus externe du cylindre central. Ses cellules alternent avec les celles de l'endoderme auxquelles elles sont étroitement appliquées,

- les **faisceaux ligneux** sont constitués de trachéides de xylème, il n'y a pas de parenchyme. Les premières trachéides différenciées, simplement annelées ou spiralées, constituent le protoxylème dont le pôle est appuyé au péricycle (la position de ce pôle est dite exarche, du grec *ektos* = extérieur et *arkhos* = chef, tête). Les trachéides plus âgées, de plus grand diamètre sont réticulées, rayées ou ponctuées et constituent le métaxylème ; elles se différencient vers l'intérieur : on dit que la différenciation du xylème primaire est centripète ; l'ensemble donne l'image d'une étoile à 6 branches (parfois 4 ou 5). Il n'y a pas de moelle,

- les **faisceaux du phloème**, dans lesquels le protophloème est lui aussi appuyé au péricycle, sont de petits massifs qui alternent avec les massifs de xylème. À la face interne des faisceaux de phloème, du côté du métaphloème, s'observe parfois un début de fonctionnement cambial dont quelques cloisonnements tangentiels sont le signe.

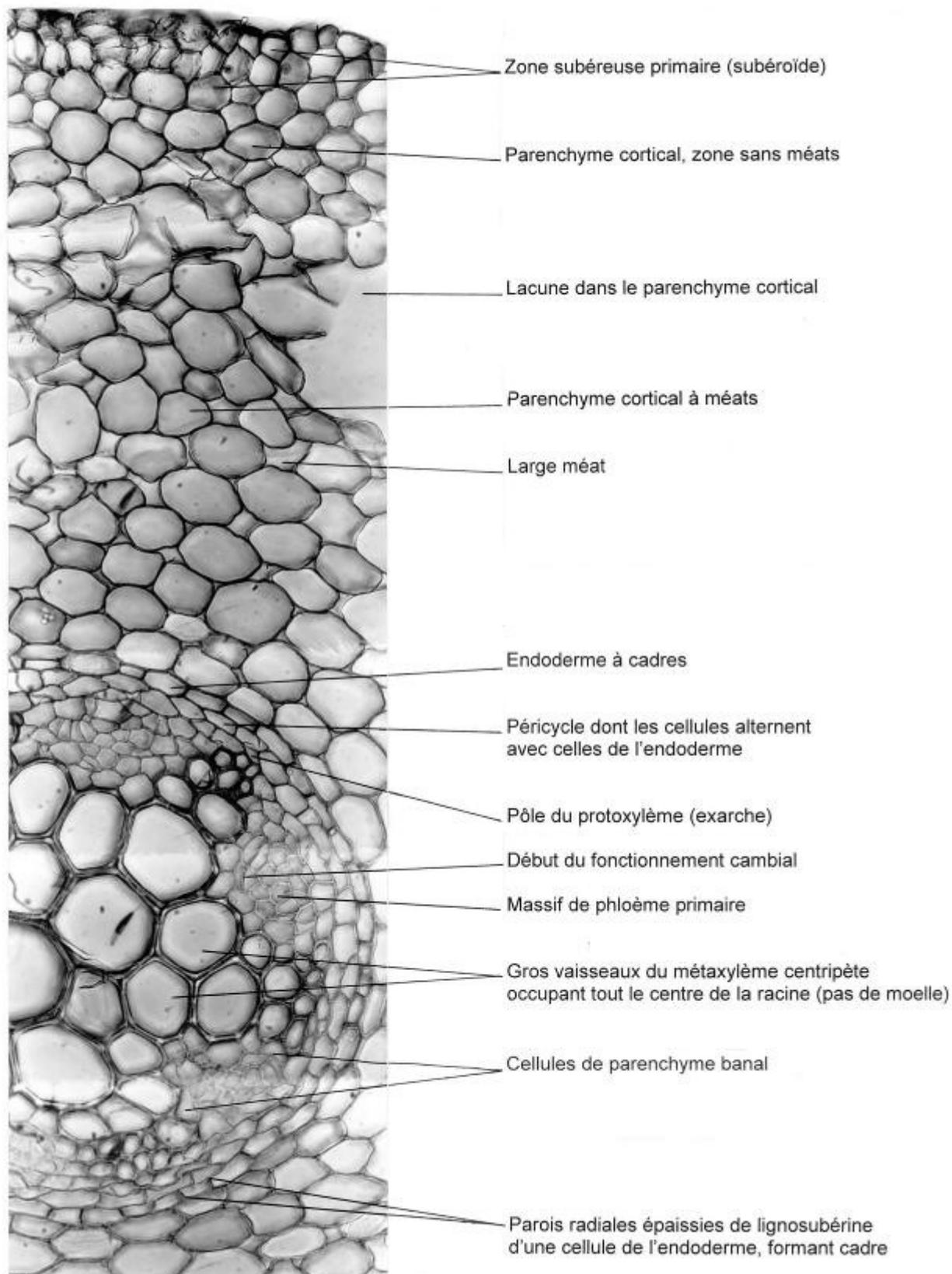
L'ensemble de la stèle ainsi réalisée est une protostèle, plus précisément une actinostèle. Cette structure archaïque se retrouve dans la tige de *Psilotum* et de certains lycopodes. Dans les stades plus jeunes de la racine, la moelle existe toujours ; c'est le développement du métaxylème qui a fini par l'éliminer.

- Le **parenchyme banal** est réduit à une assise cellulaire entre les massifs de phloème et ceux du xylème.

Cette structure anatomique avec un endoderme à cadres et un nombre de faisceaux qui n'est jamais supérieur à 6 se retrouve chez presque toutes les Dicotylédones.

Image de portion de coupe transversale de racine
d'une Dicotylédone : *Ficaria ranunculoides*

Planche 29



Structure anatomique primaire de la racine des Monocotylédones

Exemple de l'Iris

Chez les Monocotylédones comme l'*Iris*, la structure primaire persiste pendant toute la vie du végétal : elle se retrouve aussi bien dans les racines jeunes que dans les racines âgées.

En proportion, le cylindre central est plus développé que dans la racine de ficaire alors que les caractéristiques anatomiques des tissus externes de l'écorce sont assez semblables.

La chute de l'assise pilifère est provoquée par la subérisation des assises les plus externes de l'écorce.

L'endoderme est formé de cellules dont la paroi tangentielle externe est demeurée cellulosique, alors que les autres sont fortement épaissies de lignosubérine. Ce type d'endoderme dit "en fer à cheval" ou en U est fréquent chez les Monocotylédones. De telles cellules sont imperméables. Pour permettre la conduction entre le cylindre central et l'écorce, il subsiste, dans les racines jeunes, quelques cellules endodermiques à parois non épaissies (absentes de la photo).

Le péricycle est, comme chez la ficaire, constitué d'une seule assise de cellules qui alternent avec celles de l'endoderme.

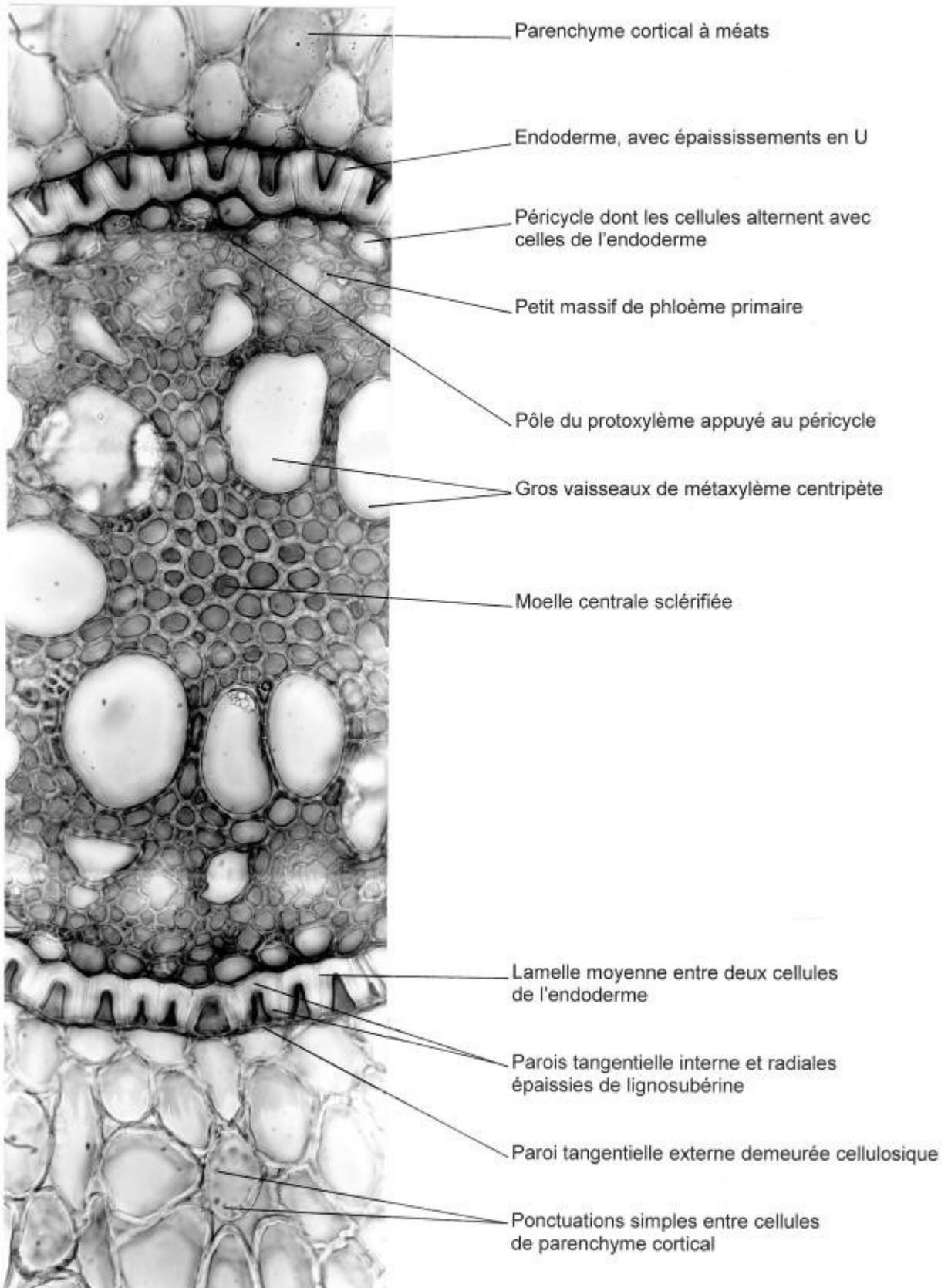
De même que chez la ficaire, xylème et phloème sont organisés en faisceaux selon une disposition alterne, en un seul cycle. Leur nombre est élevé : il y a toujours plus de 10 faisceaux de chaque sorte, parfois même plus de 20.

Chaque faisceau de xylème est à pôle exarche, appuyé au péricycle, donc à différenciation centripète. Il en est de même dans les faisceaux de phloème. Indépendamment des faisceaux de xylème, il existe, dans la région centrale de gros éléments de métaxylème.

Tout le centre de l'organe est occupé par une moelle fortement sclérifiée.

Image de portion de coupe transversale de racine
d'une Monocotylédone : *Iris germanica*

Planche 31

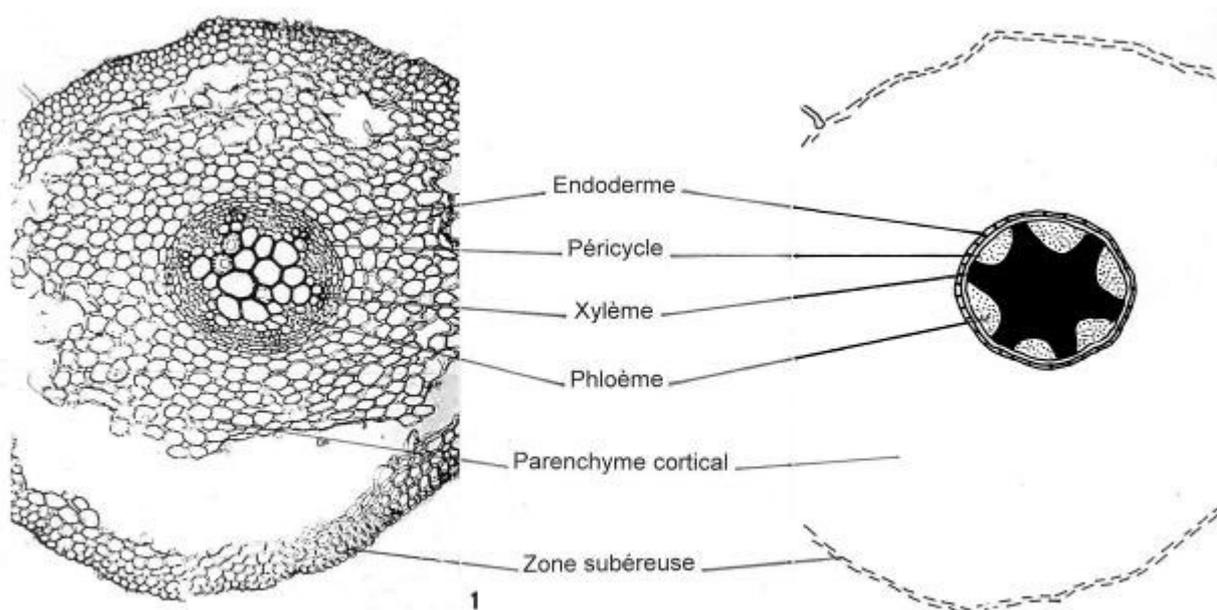


Principales caractéristiques anatomiques de la structure primaire de la racine

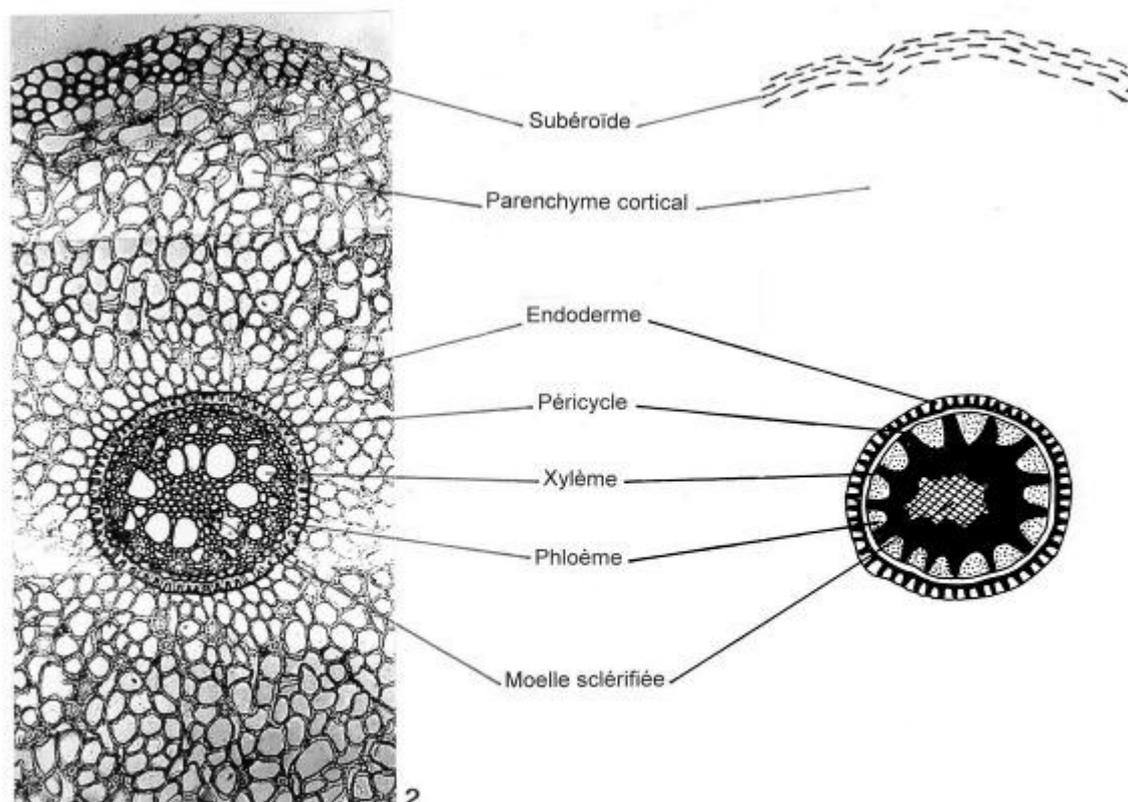
- L'organisation est à symétrie rayonnante,
- l'assise pilifère est présente sur les racines jeunes,
- l'écorce est toujours plus développée que le cylindre central,
- l'endoderme et le péricycle sont généralement bien différenciés,
- les faisceaux conducteurs sont disposés sur un seul cycle,
- xylème et phloème sont à disposition alterne, à pôles exarches et à différenciation centripète,
- la moelle n'est pas toujours présente.

Caractères distinctifs de la structure primaire de la racine des Monocotylédones par rapport aux Dicotylédones

- L'endoderme "en fer à cheval" est fréquent chez les Monocotylédones, celui "à cadres" chez les Dicotylédones,
- le cylindre central connaît un développement plus important chez les Monocotylédones,
- le nombre des faisceaux de xylème et de phloème, jamais supérieur à 6 chez les Dicotylédones, est élevé (de 10 à 20) chez les Monocotylédones,
- de gros éléments de métaxylème, indépendants des faisceaux existent chez les seules Monocotylédones,
- la moelle, toujours présente chez les Monocotylédones, tend à disparaître dans les racines âgées des Dicotylédones.



Coupe transversale de racine de *Ficaria* et schéma conventionnel correspondant



Coupe transversale de racine d'*Iris* et schéma conventionnel correspondant

Structure anatomique secondaire de la racine des Dicotylédones

Exemple de racine à pachyte discontinu : la racine de Cucurbita

Le **pachyte** est l'ensemble des formations vasculaires d'origine secondaire, engendrées par le fonctionnement du cambium libéro-ligneux.

Dans les photos, le xylème primaire est reconnaissable (1, 2) sous la forme d'une étoile à

4 branches : on dit que la stèle est tétrarche. Le centre de l'étoile est occupé par un gros élément du métaxylème primaire.

Les pôles exarches du protoxylème sont parfaitement identifiables.

Entre les branches de l'étoile prennent place de gros massifs de métaxylème secondaire auxquels appartiennent les gros vaisseaux à large section. Ces massifs ont une forme grossièrement triangulaire à pointe aiguë tournée vers le centre.

Au-dessus de ces massifs de bois, se reconnaissent des files radiales de liber dans lequel se rencontrent de gros tubes criblés.

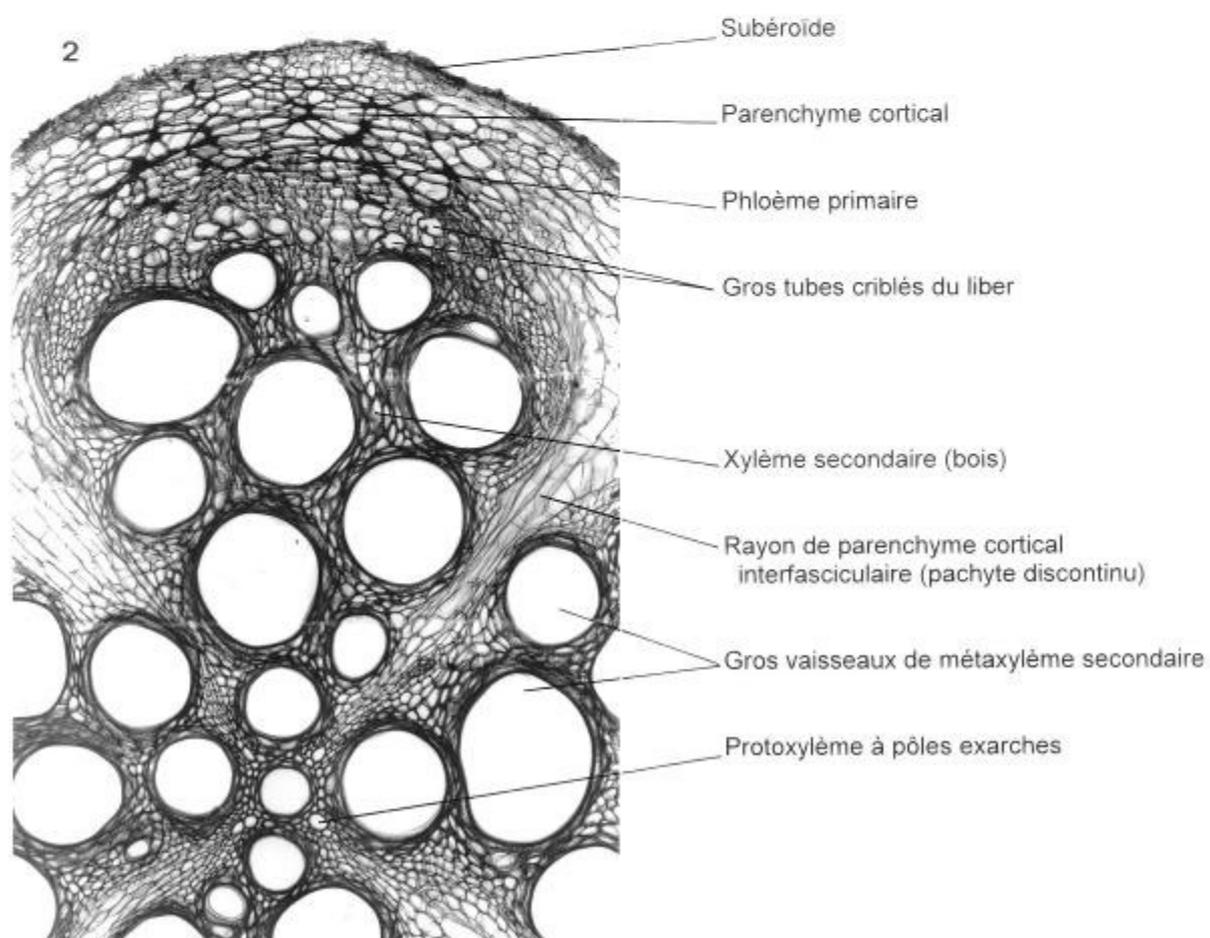
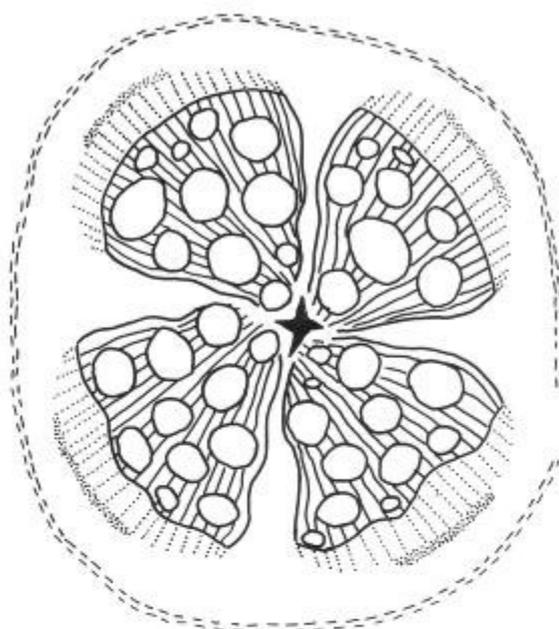
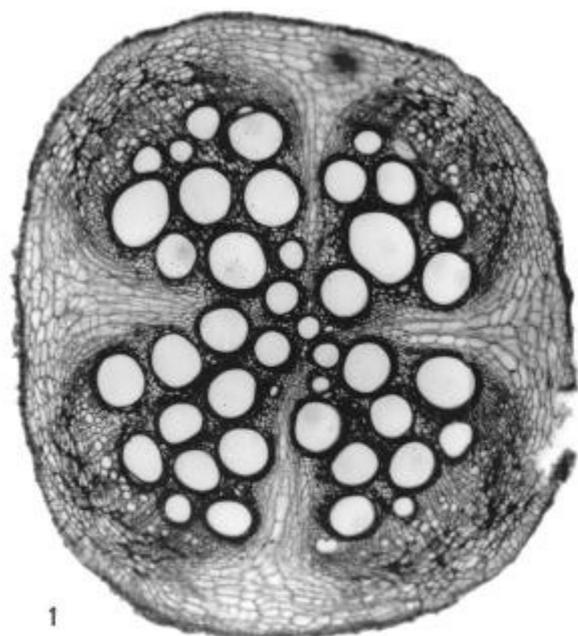
L'ensemble de ces formations secondaires a été engendré par le fonctionnement d'une assise cambiale discontinue.

Des rayons de parenchyme cortical séparent les 4 îlots de formations secondaires.

C'est à l'extérieur du phloème secondaire qu'il faut rechercher les massifs de phloème primaire : ils sont encore visibles, en position alterne avec les branches de l'étoile de xylème primaire.

Images de coupe transversale de racine de *Cucurbita* et
schéma conventionnel correspondant

Planche 35



Structure anatomique secondaire de la racine des Dicotylédones

Exemple de racine à pachyte continu : la racine de Vitis (2)

Chez la plupart des Dicotylédones, le cambium libéro-ligneux est continu : il forme un anneau complet de bois et de liber qui écarte les formations primaires dans lesquelles les faisceaux de xylème sont souvent les seuls reconnaissables, près du centre de l'organe, avec leur pointe tournée vers l'extérieur.

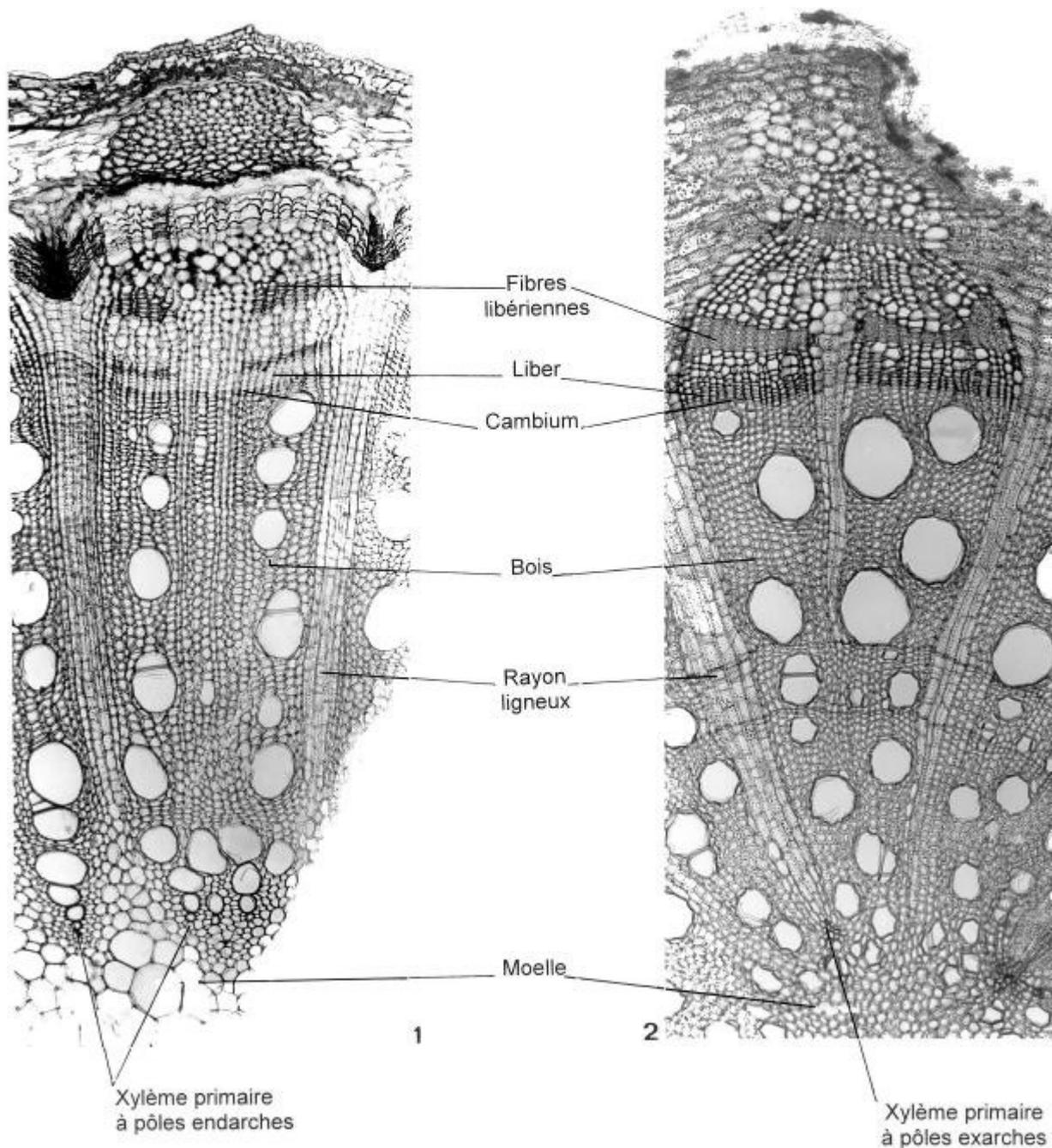
Les éléments produits par le cambium de racine sont les mêmes que ceux produits par le cambium de tige : métaxylème avec vaisseaux vrais et trachéides, rayons ligneux (qui chez la vigne sont plurisériés), liber incluant des fibres libériennes stratifiées.

Très souvent, c'était le cas chez la ficaire ([29](#)) et la courge ([35](#)), la différenciation centripète du xylème primaire aboutit à la disparition de la moelle. Ce critère est souvent la seule différence notable entre les structures secondaires de la racine et de la tige.

Comparaison de la structure anatomique d'une tige et d'une racine de *Vitis*
avec formations secondaires

Image de portion de coupe
transversale de tige

Image de portion de coupe
transversale de racine



Structure anatomique primaire de la tige des Dicotylédones

Exemple de *Ranunculus*

C'est un organe à symétrie axiale dont le centre est occupé par une grande lacune : la tige est creuse.

L'épiderme est l'assise la plus externe. Il est toujours uniassial à cellules jointives dont la face externe est recouverte d'une fine cuticule. Cet épiderme est pourvu de stomates (2) dont l'ostiole donne accès à une chambre sous-stomatique creusée dans le parenchyme cortical sous-jacent.

L'écorce ou parenchyme cortical est relativement réduite, à l'extérieur des faisceaux vasculaires. Elle est constituée par un parenchyme à méats fait de cellules d'assez petit diamètre. Il n'y a pas d'endoderme différencié.

Le cylindre central est situé sous l'écorce et réunit, dans un parenchyme médullaire fait de cellules dont le diamètre va en grandissant jusqu'au contact de la lacune centrale, des faisceaux libéro-ligneux répartis sur un même cycle, les uns de grande taille, les autres de petite taille. Il n'y a pas de péricycle différencié.

Les plus gros faisceaux servent à la vascularisation de la tige ; les plus petits sont les " traces foliaires " destinées à quitter la tige pour assurer la vascularisation des feuilles.

Les faisceaux sont tous constitués de la même manière : xylème primaire et phloème primaire sont superposés, on dit aussi qu'ils forment un faisceau cribrovasculaire collatéral. Le massif de phloème est, comme dans la racine, à développement centripète alors que le massif de xylème est à pôle endarche (situé du côté du centre de l'organe) et à développement centrifuge.

Entre xylème et phloème des plus gros faisceaux s'observe un début de fonctionnement cambial qui donne peu de formations secondaires.

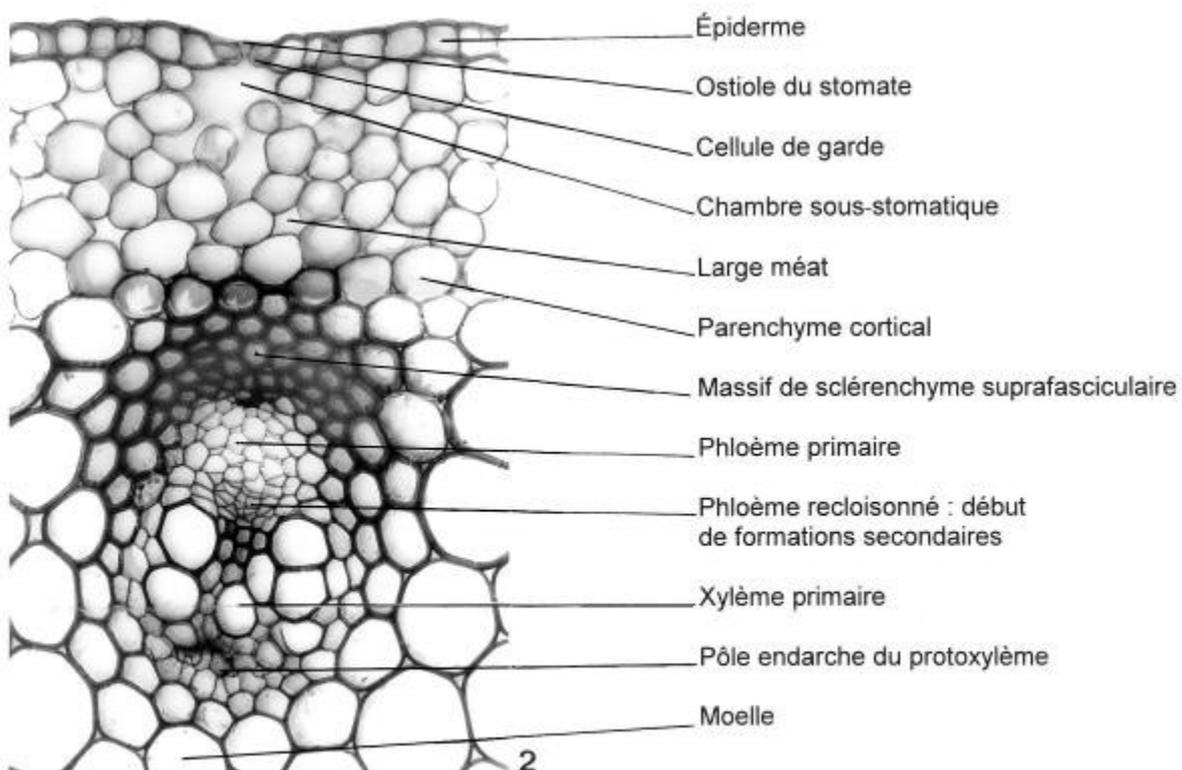
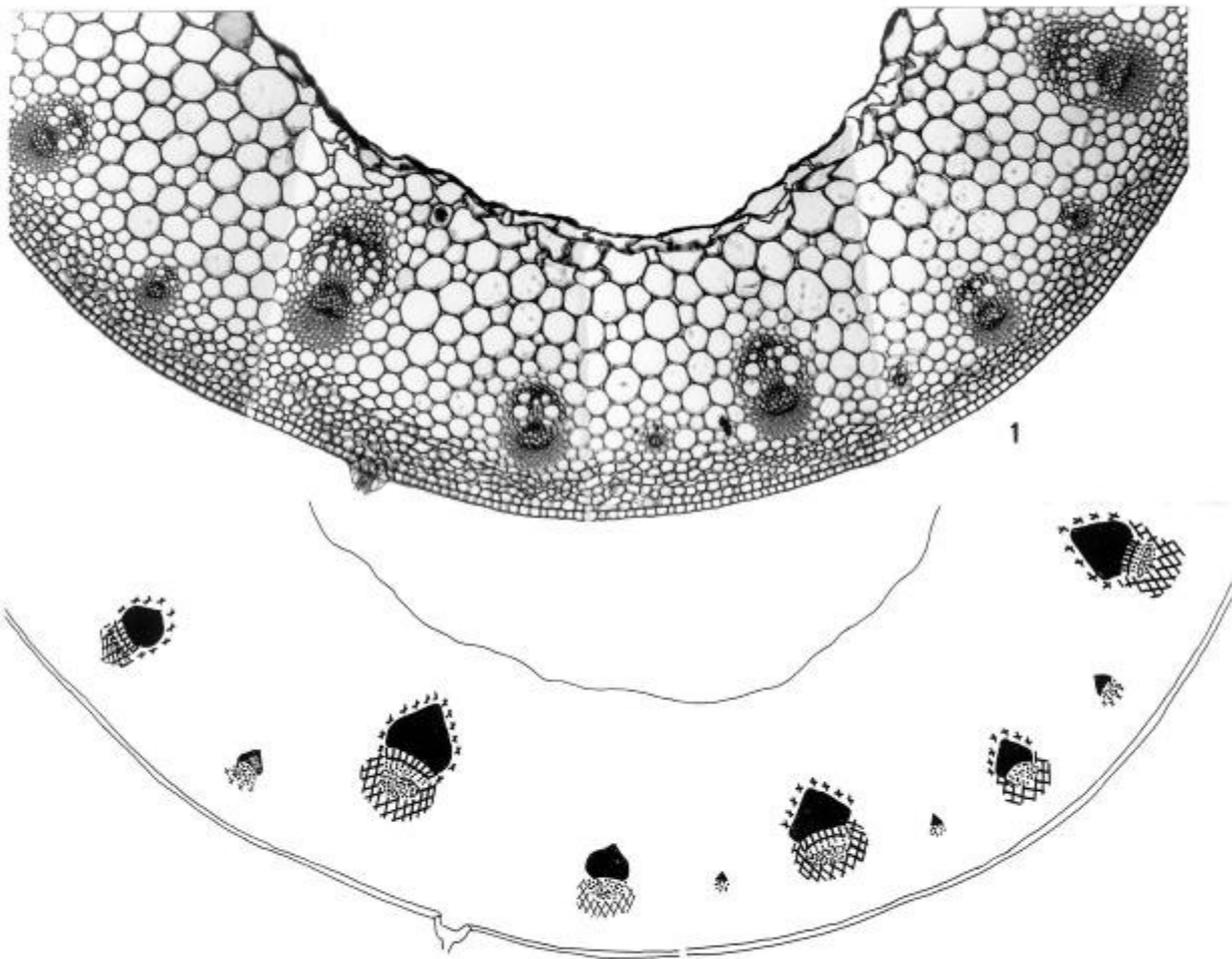
Chaque faisceau cribrovasculaire est surmonté d'un petit massif de sclérenchyme, parfois qualifié de péricyclique en raison de sa position à la limite externe du cylindre central, et entouré presque complètement par une assise de cellules plus ou moins sclérifiées.

On peut résumer ainsi les caractéristiques anatomiques de la structure primaire de la tige de Dicotylédone :

- organe à symétrie axiale,
- présence d'un épiderme cutinisé à stomates,
- écorce relativement réduite en comparaison du cylindre central,
- moelle abondante ou lacune centrale,
- phloème et xylème superposés,
- xylème à pôles endarches et développement centrifuge.

Images de coupe transversale de tige de *Ranunculus* et
schéma conventionnel correspondant

Planche 39



Structure anatomique primaire de la tige des Monocotylédones

Exemple d'Asparagus

Chez les Monocotylédones la structure primaire persiste pendant toute la vie du végétal.

Chez l'asperge, l'épiderme est fortement cutinisé et les stomates donnent accès à une petite chambre sous-stomatique (2). Le parenchyme cortical est réduit à 3 ou 4 assises cellulaires seulement ; la plus interne, à cellules plus grosses que les autres, est l'endoderme.

Le cylindre central qui occupe la plus grande partie de l'organe est limité extérieurement par un anneau de sclérenchyme fait de petites cellules, en position péricyclique.

À l'intérieur de cet anneau, au sein d'un parenchyme médullaire lui-même sclérifié, les faisceaux cribrovasculaires sont très nombreux et apparemment sans ordre (bien qu'on les décrive parfois comme étant disposés sur plusieurs cycles ... ce qui est évidemment toujours possible). La taille des faisceaux augmente de la périphérie vers le centre.

Chaque faisceau est constitué de la façon suivante : le xylème qui est à pôles endarches et développement centrifuge, a la forme d'un V dont la pointe est tournée vers le centre et le massif de phloème, à développement centripète, est logé dans les branches du V. Chez les autres Monocotylédones, l'iris par exemple, le xylème entoure complètement le phloème, formant un faisceau concentrique.

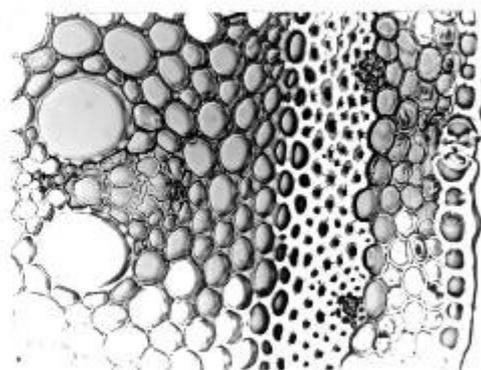
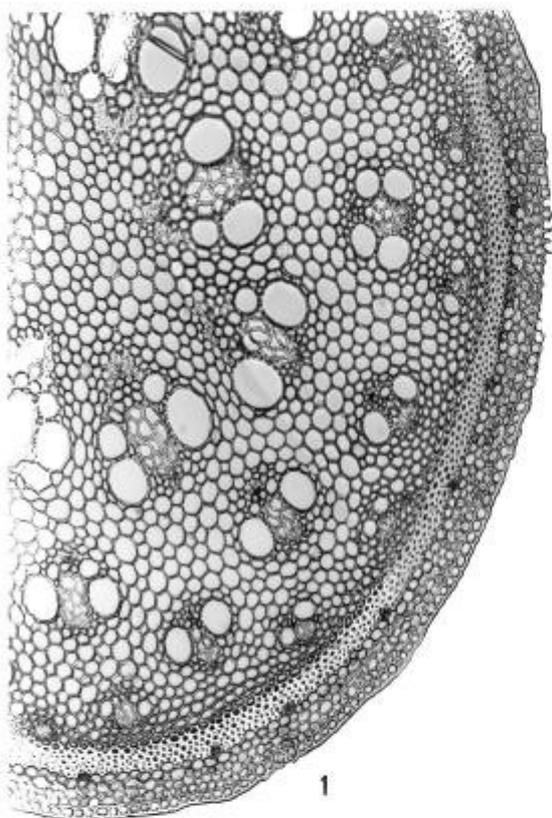
La structure primaire de la tige d'*Asparagus* diffère de celle de *Ranunculus* par les faits suivants :

l'endoderme existe,

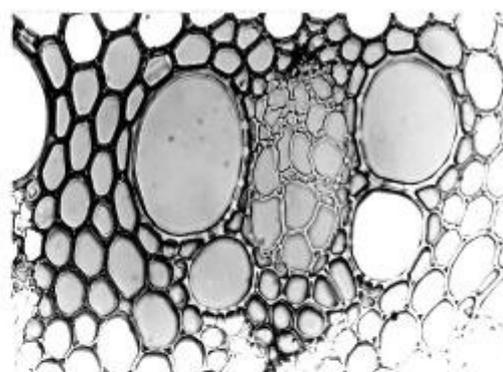
le péricycle est souligné par une structure particulière,

Images de coupe transversale de tige d'*Asparagus* et
schéma conventionnel correspondant

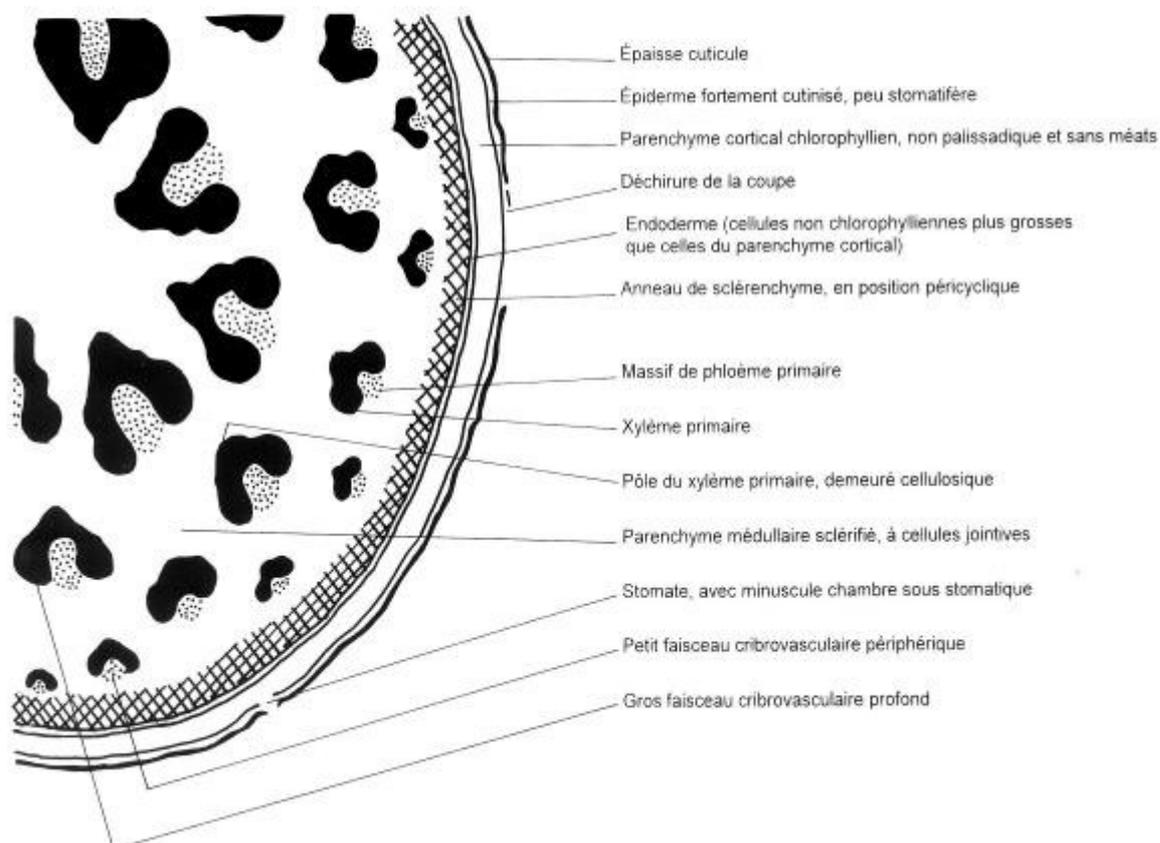
Planche 41



2



3



Structure anatomique primaire de la tige des Monocotylédones

Exemple de la tige de Juncus

Les joncs (famille des Juncacées) sont des plantes des lieux humides. Ce sont des plantes herbacées, vivaces par leur souche souterraine d'où part un bouquet de tiges raides et aiguës, peu ou pas ramifiées. Les feuilles sont réduites et la tige est chlorophyllienne.

La coupe transversale, de section circulaire, révèle une très large moelle faite d'un parenchyme à cellules étoilées qui est une caractéristique de la moelle des joncs (2). La coupe longitudinale fait apparaître que cette moelle est cloisonnée par des diaphragmes transversaux (un caractère qui existe aussi chez les Juglandacées et quelques Gymnospermes vivantes et fossiles).

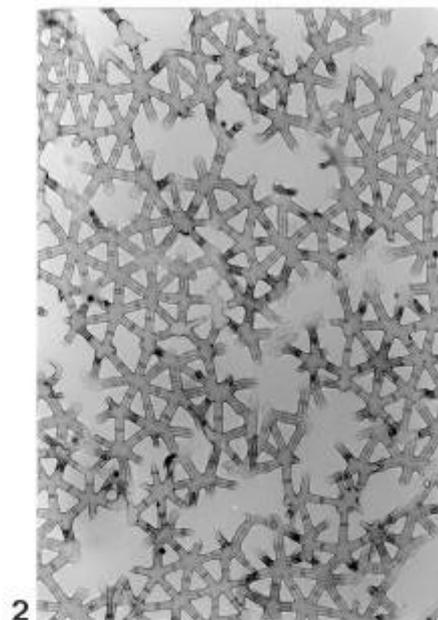
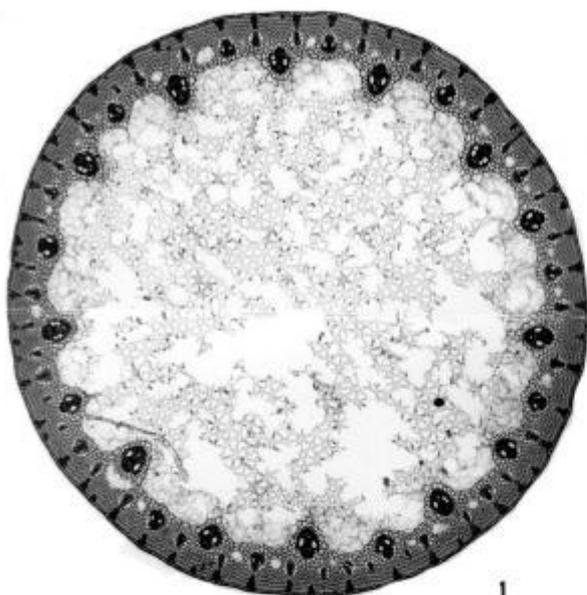
L'écorce et le cylindre central, périphériques, sont très réduits par rapport à l'étendue de la moelle.

L'épiderme à stomates est cutinisé. Au-dessous, le parenchyme palissadique est représenté par 3 ou 4 assises. De petits piliers de sclérenchyme cortical, appuyés à l'épiderme, cloisonnent le parenchyme palissadique (3).

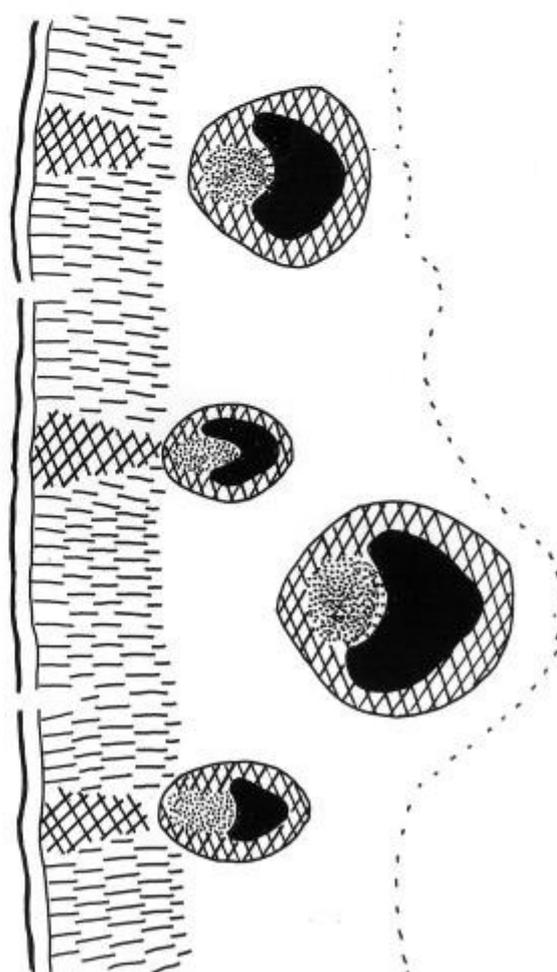
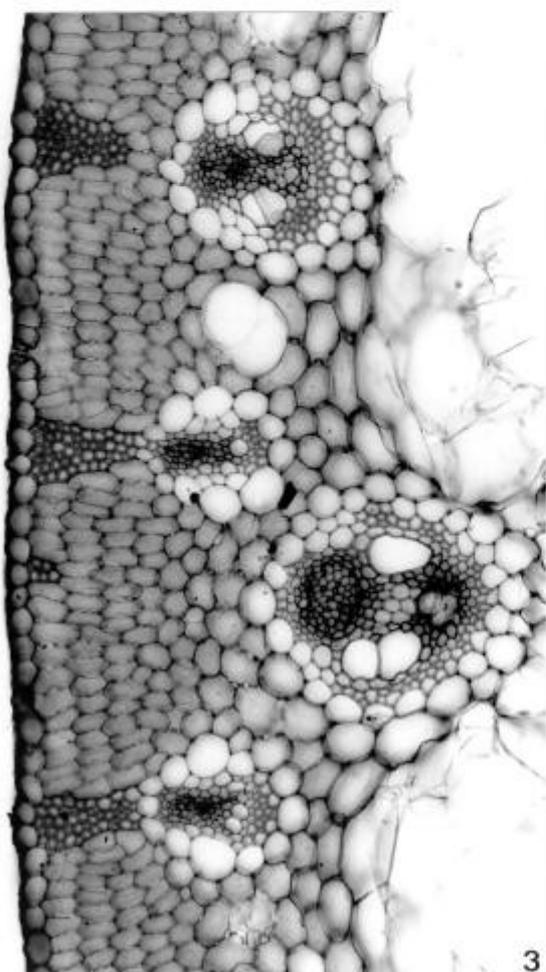
La vascularisation est composée de faisceaux cribrovasculaires répartis sur plusieurs cycles, les plus gros du côté de la moelle. Chaque faisceau est entouré d'un endoderme. Le xylème est disposé en V dans les branches duquel se loge le massif de phloème, parfois recloisonné sur sa face interne dans les plus gros faisceaux. Ces éléments conducteurs sont entourés d'un parenchyme sclérifié.

Images de coupe transversale de tige de *Juncus* et
schéma conventionnel correspondant

Planche 43



Cellules étoilées de la moelle



Structure anatomique de la tige des Ptéridophytes

Les Ptéridophytes actuelles, fougères, prêles, lycopodes... sont des plantes herbacées qui ne présentent que des formations primaires mais leurs ancêtres fossiles étaient parfois des arbres. L'arbre est un type biologique connu dès l'ère primaire : les *Lépidodendron*, *Calamites* et *Sigillaria* étaient des composants habituels des forêts du Carbonifère.

Exemple de la tige de Selaginella

Les sélaginelles sont des petites plantes herbacées voisines des lycopodes. Elles sont fréquemment utilisées comme "*plantes vertes*" ornementales dans les serres ou les appartements.

La coupe transversale de la tige fait apparaître un parenchyme cortical à cellules hexagonales et jointives dont les assises les plus externes sont transformées en sclérenchyme.

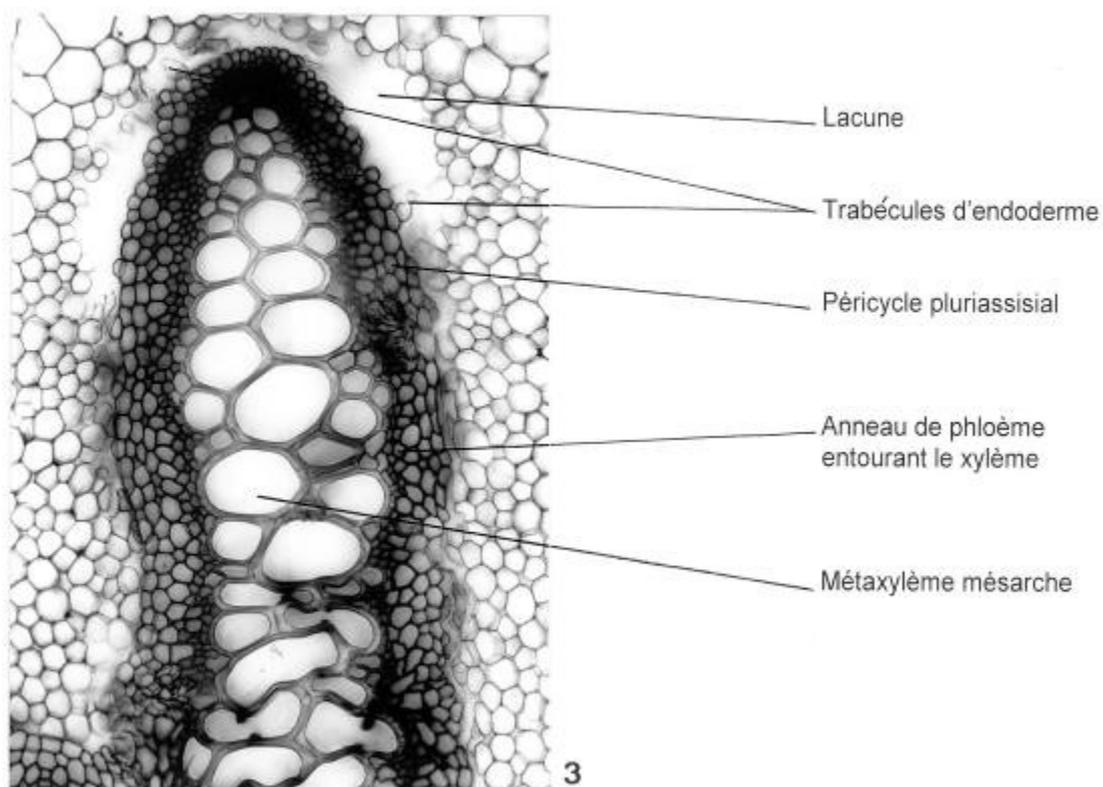
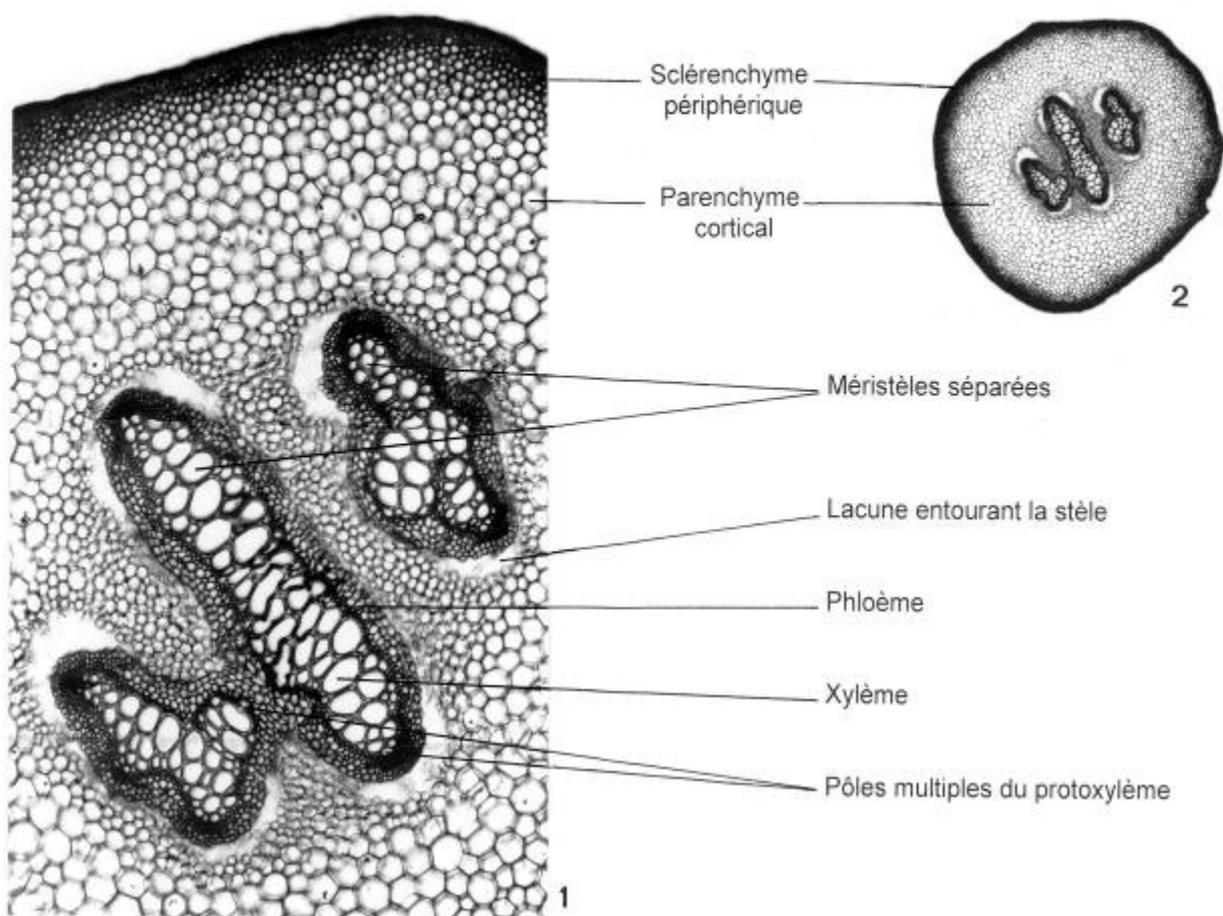
La stèle est composée de plusieurs cordons vasculaires indépendants. Chacune de ces stèles élémentaires (ou méristèles, du grec *meros* = partie) semble être suspendue au milieu d'une lacune par quelques cellules qui la relient au parenchyme général voisin et qui sont interprétées comme des cellules endodermiques.

Quelques assises péricycliques constituent un manchon autour des tissus vasculaires. Ceux-ci se composent, dans chaque méristèle, d'un manchon de phloème qui entoure complètement le xylème. Il n'y a pas de moelle. Chaque lame de xylème présente plusieurs pôles qui ne sont ni endarches ni exarches à partir desquels se fait la différenciation qui est qualifiée de mésarche.

Chaque méristèle a la structure d'une protostèle qui est la plus simple et la plus ancienne connue des structures vasculaires. Chez les *Rhynia* du Silurien qui sont probablement les premiers végétaux terrestres, cette structure existait dans toutes les parties de la plante.

Images de coupe transversale de tige de *Selaginella*

Planche 45



Structure anatomique de la tige des Ptéridophytes

Exemple de la tige d'*Equisetum arvense*

Les prèles actuelles sont le seul genre vivant de l'embranchement des Sphénophytes qui a connu un grand développement au Carbonifère où il était représenté par des arbres élevés pouvant atteindre 20 ou 30 m et pourvus d'abondantes formations secondaires ligneuses.

Chez les prèles, les feuilles sont réduites, verticillées et la tige est chlorophyllienne. La tige est striée longitudinalement par des carènes (bourrelets épaissis) qui alternent avec des vallécules (dépressions entre les carènes).

La coupe transversale de la tige fait apparaître une grande lacune centrale et un parenchyme cortical creusé d'une lacune en face de chaque vallécule. L'épiderme est silicifié et le parenchyme cortical est lui aussi plus ou moins silicifié à l'endroit des carènes. Le cylindre central bien distinct, est limité par un endoderme. Il n'y a pas de péricycle. Le système vasculaire est constitué de faisceaux régulièrement situés en face des carènes.

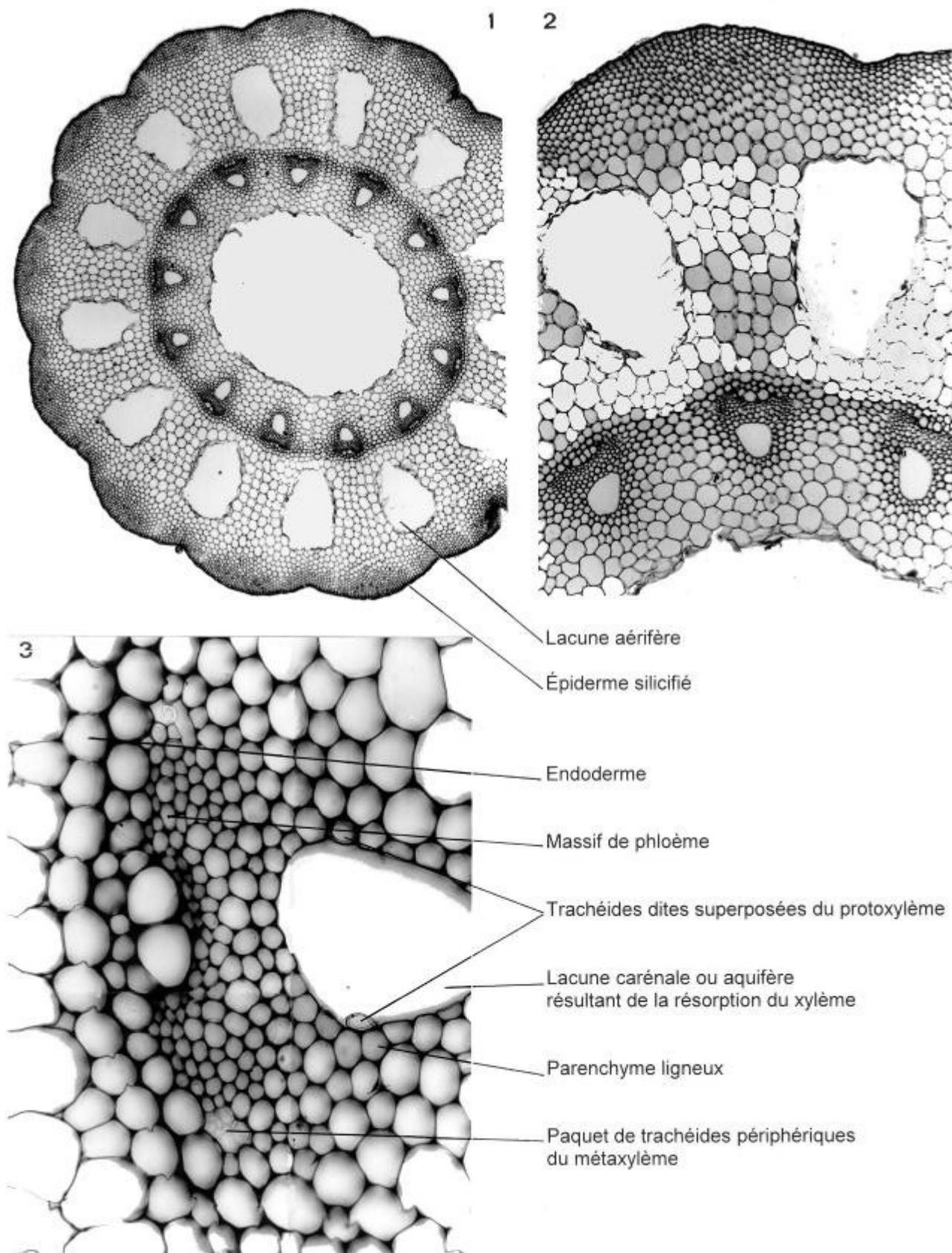
Chaque faisceau a originellement une structure superposée (ou collatérale) comme dans la tige des Dicotylédones actuelles : un petit massif de phloème se trouve au-dessus d'un faisceau de xylème à pôle endarche.

Dans les tiges âgées, la résorption de la plus grande partie du xylème fait apparaître une assez vaste lacune (lacune carénale ou aquifère) en bordure de laquelle se reconnaissent encore quelques trachéides (trachéides dites superposées). D'autres trachéides de xylème persistent de part et d'autre du massif de phloème (trachéides périphériques).

Cette structure moderne (structure eustélique) singularise les prèles parmi toutes les autres Ptéridophytes.

Images de coupe transversale de tige d'*Equisetum arvense*

Planche 47



Structure anatomique secondaire de la tige de *Clematis*

Exemple d'une tige à pachyte discontinu

La clématite vigne blanche, *Clematis vitalba*, est une liane de la famille des Renonculacées commune dans les ripisylves et les haies.

La tige cannelée donne, en coupe transversale, l'image d'un hexagone étoilé.

L'épiderme, qui porte des stomates, est peu cutinisé et le parenchyme cortical évolue en collenchyme dans les crêtes, au-dessus des plus gros faisceaux cribrovasculaires (collenchyme suprafasciculaire).

Le parenchyme cortical est relativement réduit et le cylindre central est limité par un manchon étoilé de sclérenchyme, en position péricyclique. Il n'y a pas d'endoderme. Il y a 6 gros faisceaux vasculaires en face des crêtes et 6 petits en face des dépressions.

Chaque faisceau présente vers l'intérieur un petit triangle de xylème primaire à pôle endarche et vers l'extérieur, superposé au xylème, un petit massif de phloème primaire.

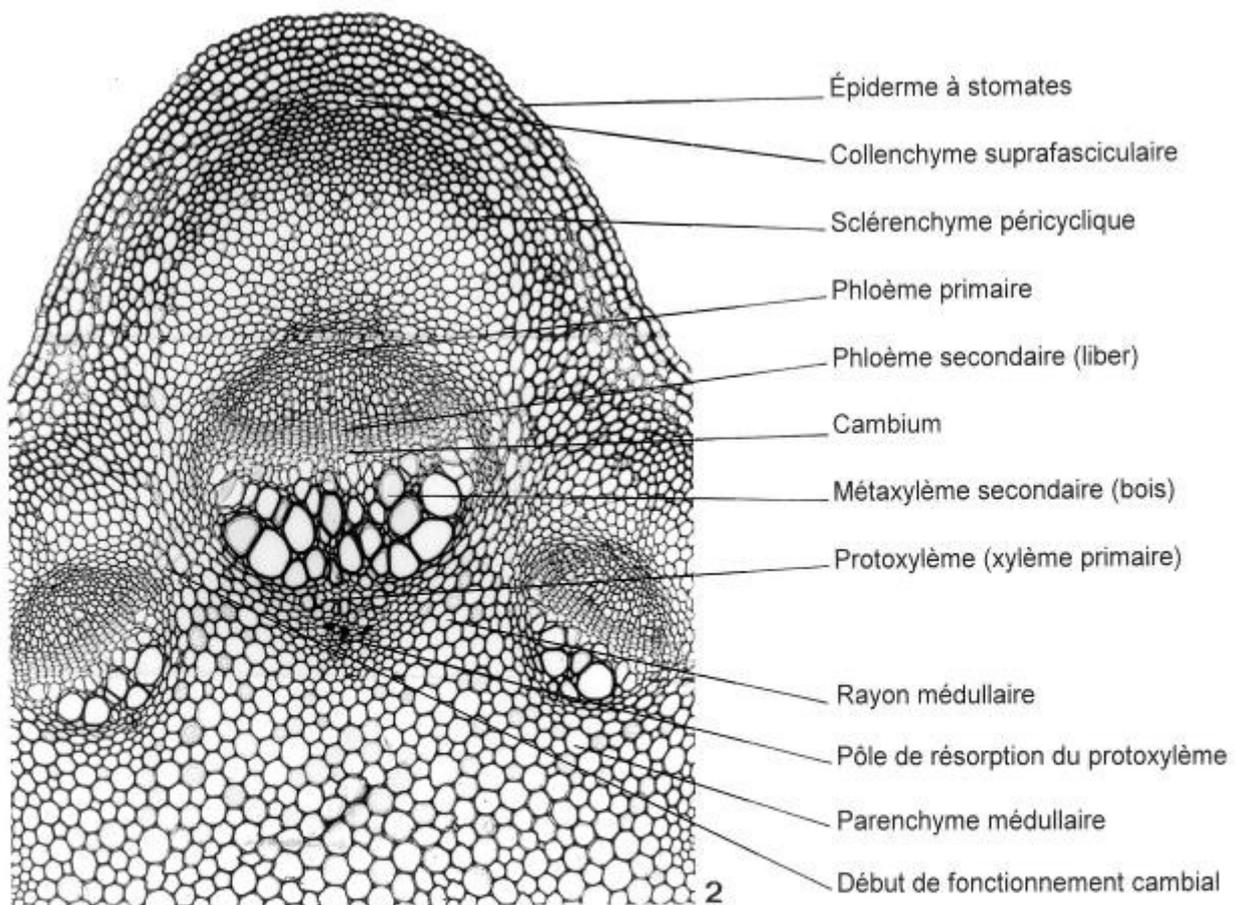
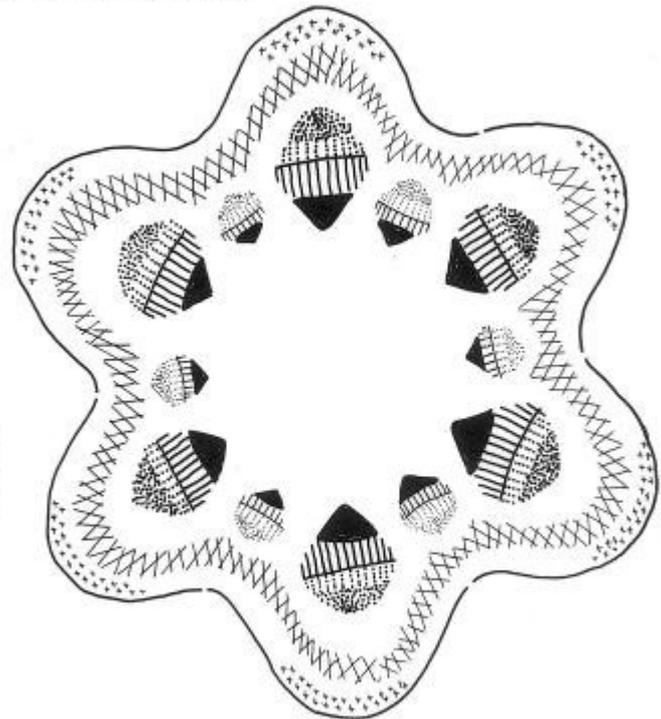
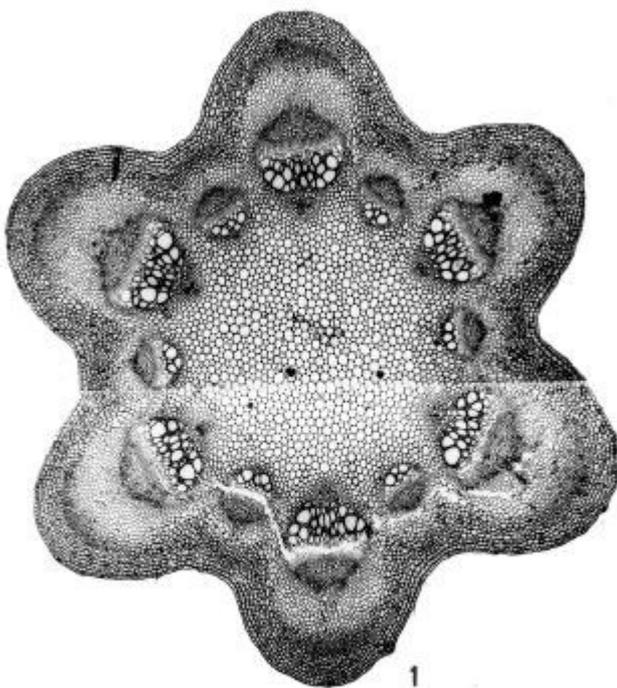
Entre les deux se situent les formations secondaires libéro-ligneuses, liber et bois, engendrées par le fonctionnement du cambium.

Le cambium libéro-ligneux étant limité aux seuls faisceaux, les formations secondaires le sont aussi : on dit que le pachyte est discontinu. Cette disposition permet une certaine souplesse de la tige qui convient aux lianes.

Tout le centre de l'organe est occupé par une moelle. Traditionnellement, on donne le nom de rayons médullaires aux espaces entre les faisceaux : cette dénomination est assez mal choisie car ces espaces n'appartiennent pas à la moelle mais au parenchyme général du cylindre central.

Images d'une coupe transversale de tige de *Clematis*
et schéma conventionnel correspondant

Planche 49



Structure anatomique secondaire de la tige d'une Dicotylédone

Exemple d'une tige à pachyte discontinu et à phloème pérимédullaire : Bryonia

La bryone, commune dans les haies, est une liane dioïque appartenant à la famille des Cucurbitacées.

La tige, à section vaguement pentagonale, présente une lacune centrale et sa structure anatomique rappelle celle de *Clematis* (49).

L'épiderme peu cutinisé, porte de gros aiguillons de structure pluricellulaire. Sous l'épiderme, le parenchyme cortical est transformé en collenchyme ; il y a un manchon péricyclique de sclérenchyme.

La vascularisation est assurée par 5 gros faisceaux répartis sur un cycle interne et un nombre plus grand de petits faisceaux, correspondant à des traces foliaires, répartis sur un cycle externe.

Comme chez *Clematis*, le pachyte est discontinu et les formations secondaires sont localisées entre les massifs de phloème et de xylème primaires.

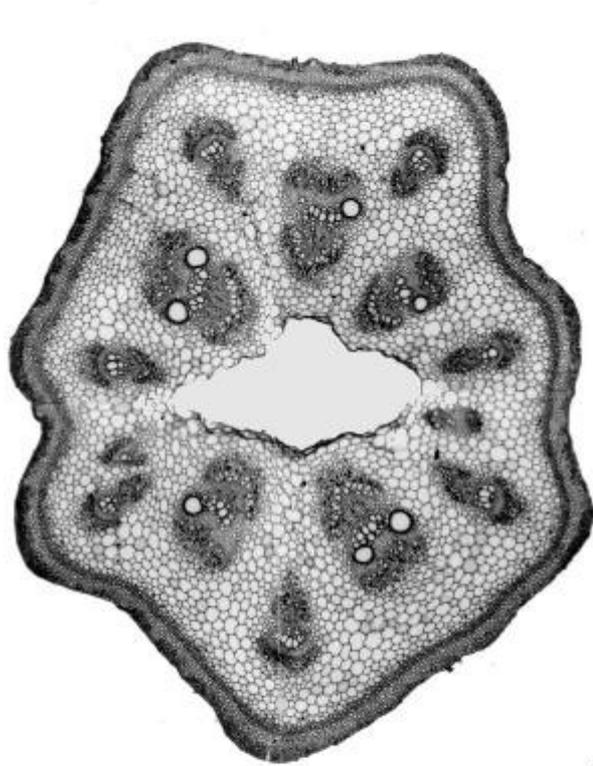
La différence avec *Clematis* réside dans l'existence de petits massifs de phloème interne situés à la périphérie de la moelle au voisinage du protoxylème. Ce phloème pérимédullaire qui est de nature primaire, n'est jamais en contact avec le protoxylème dont il est toujours séparé par une ou plusieurs assises cellulaires appartenant à la moelle.

De tels faisceaux dans lesquels le xylème est compris entre deux massifs de phloème primaire, l'un externe, comme dans toutes les tiges, l'autre interne, sont désignés sous le terme de " faisceaux bicollatéraux ".

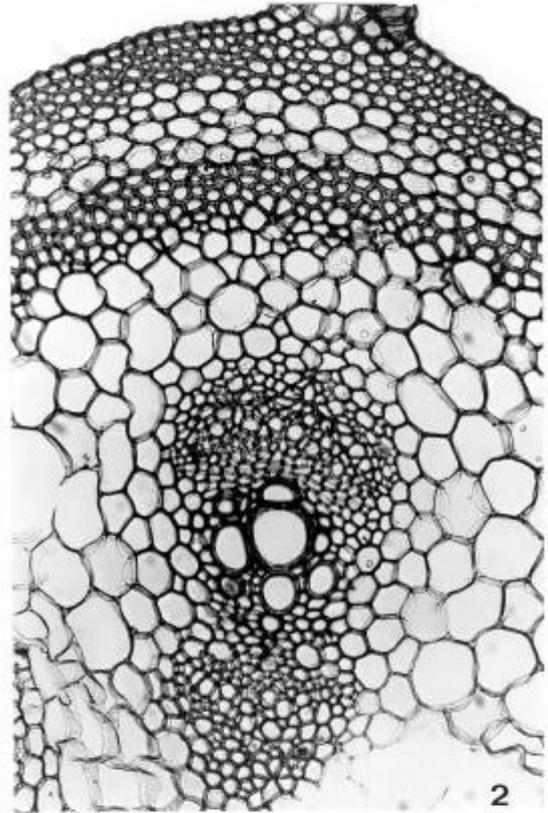
Le phloème interne est une caractéristique anatomique de certaines familles de Dicotylédones gamopétales : Cucurbitacées, Apocynacées (cf. *Nerium*, 67),

Images de coupe transversale de tige de *Bryonia* et schéma conventionnel correspondant

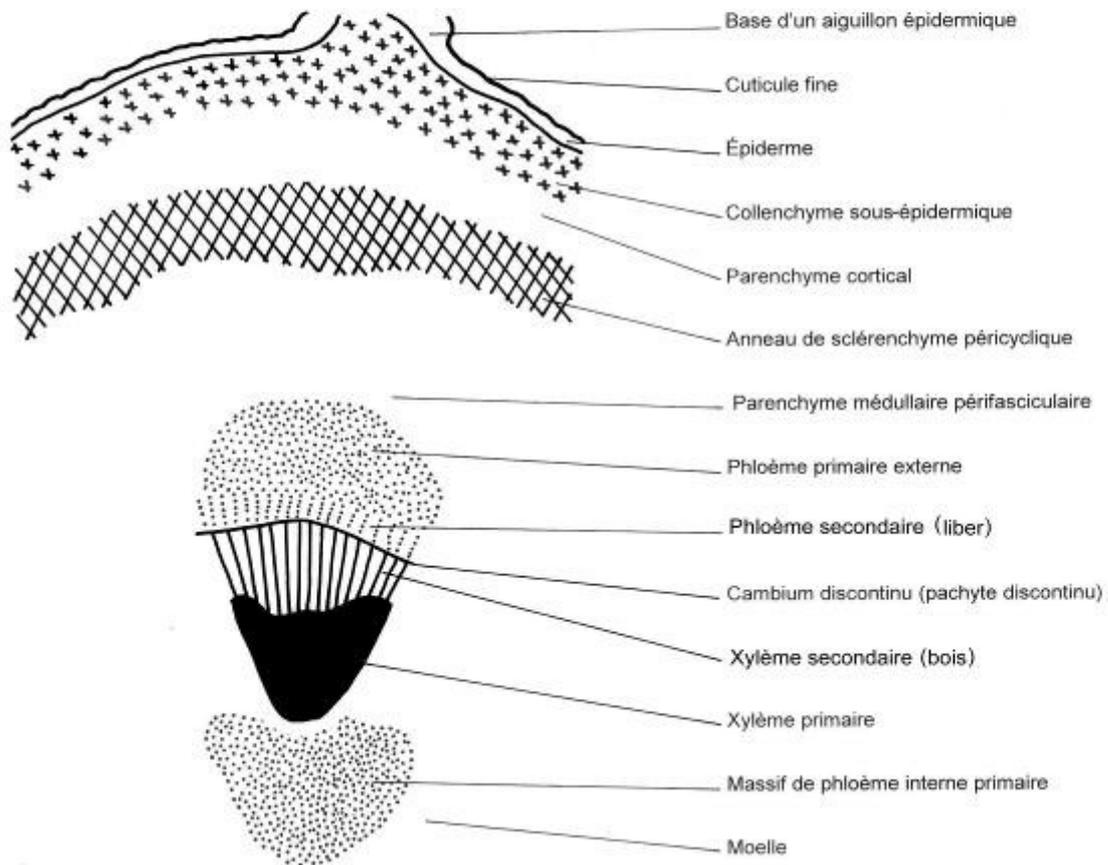
Planche 51



1



2



Structure anatomique secondaire de la tige d'une Dicotylédone

Exemple d'une tige à pachyte continu et formations péridermiques superficielles : Sambucus

Dans une jeune tige de sureau (3, 4), l'épiderme est continu et le parenchyme cortical recèle de petits massifs de collenchyme qui font saillie à la périphérie de l'organe.

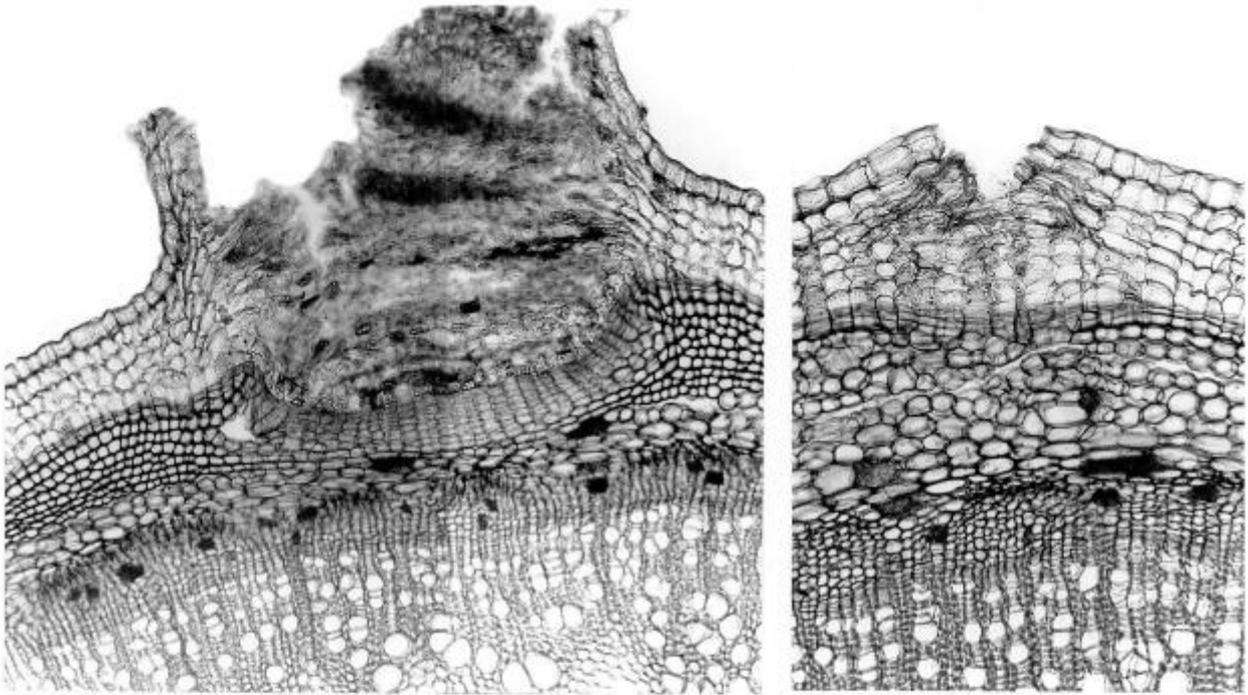
Il y a une importante moelle centrale à la périphérie de laquelle se reconnaissent facilement, par places, les massifs de xylème primaire à pôles endarches. Les massifs de phloème primaire leur sont superposés ; on donne le nom de " rayons médullaires " aux parties de la moelle localisées entre les pointements de protoxylème. Entre les deux ensembles de formations primaires, les formations secondaires d'origine cambiale forment un anneau continu.

Les lenticelles (1 et 2)

Ce sont, à la surface de la tige, des sortes de verrues d'où s'échappe une poussière brunâtre. Elles correspondent à des zones de la tige, souvent à l'emplacement d'anciens stomates, où le phellogène fonctionne activement en donnant non pas du liège mais une sorte de suber à cellules non jointives dont la prolifération finit par rompre l'épiderme. Par cet orifice, ces cellules dissociées se répandent. Ces blessures naturelles permettent les échanges gazeux que le liège, tissu imperméable, rend impossibles.

Images de coupes transversales de tiges de *Sambucus*

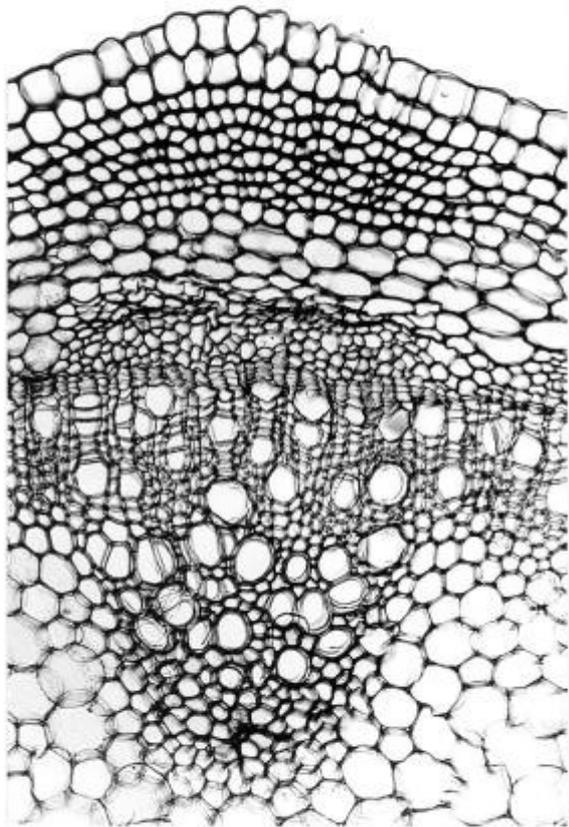
Planche 53



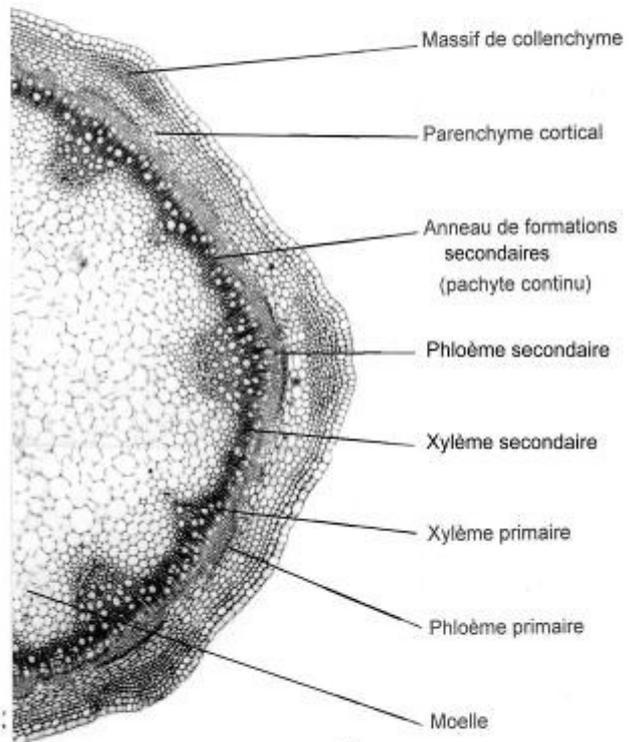
1

Lenticelles à la périphérie du péricorde

2



3



4

Jeune tige de *Sambucus*, sans formations péricoridiques

Structure anatomique secondaire de la tige d'une Dicotylédone

Exemple d'une tige à pachyte continu et formations péridermiques superficielles : Sambucus (suite)

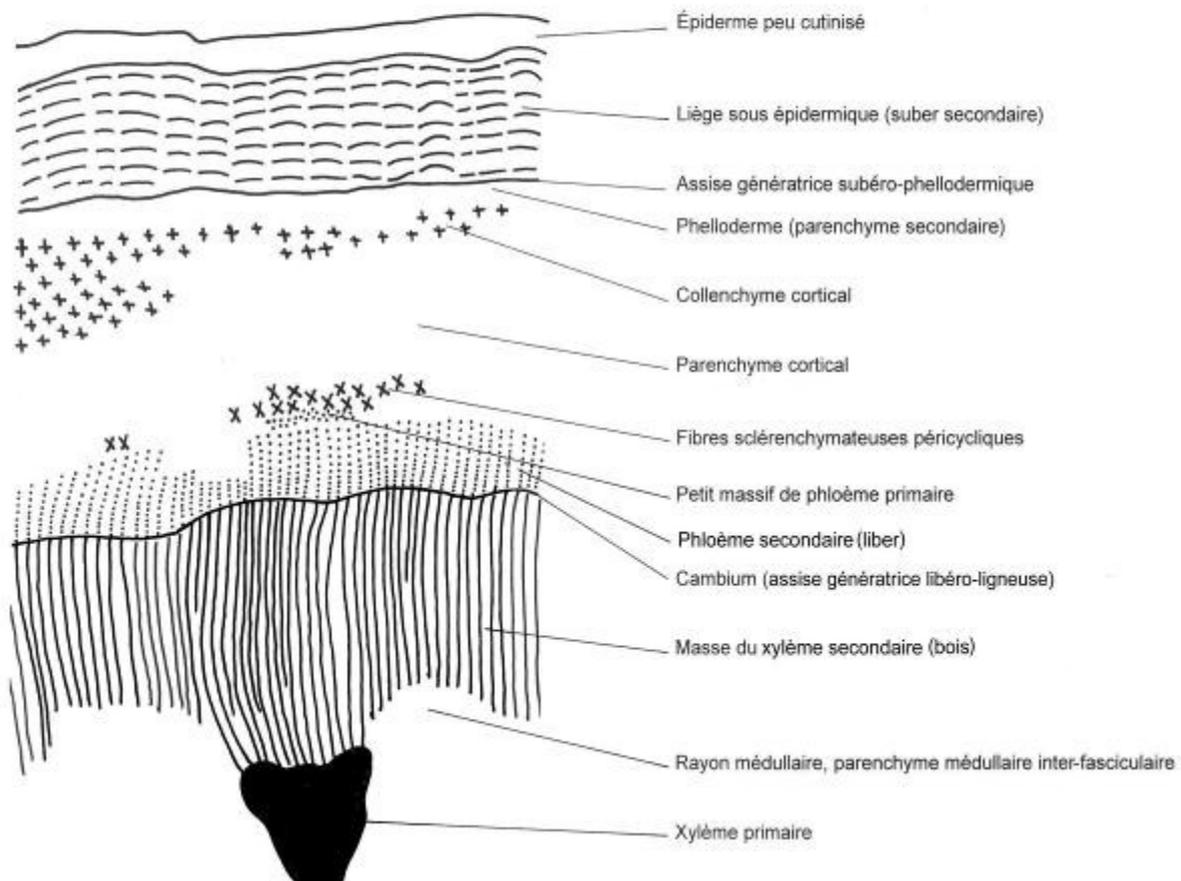
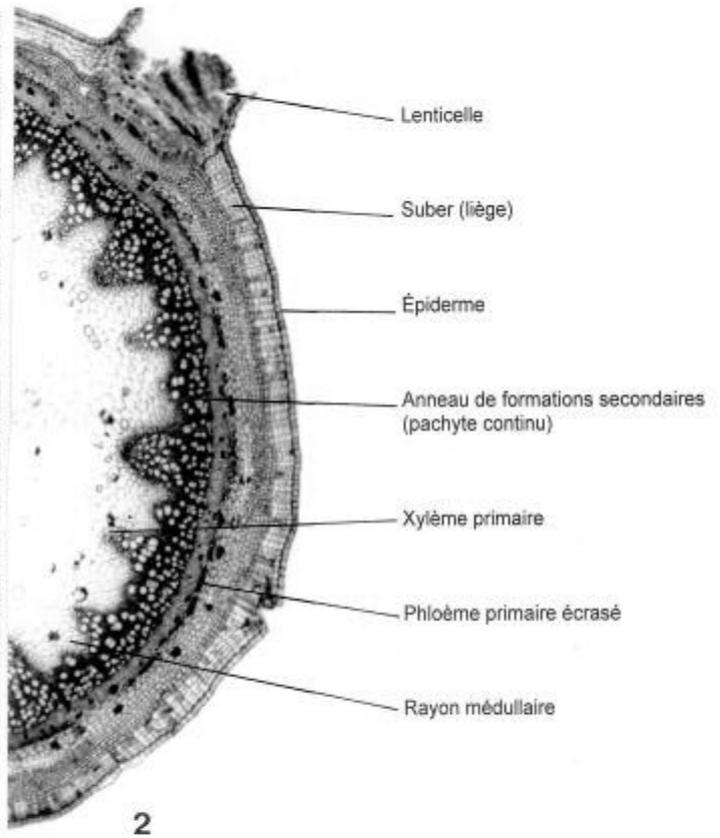
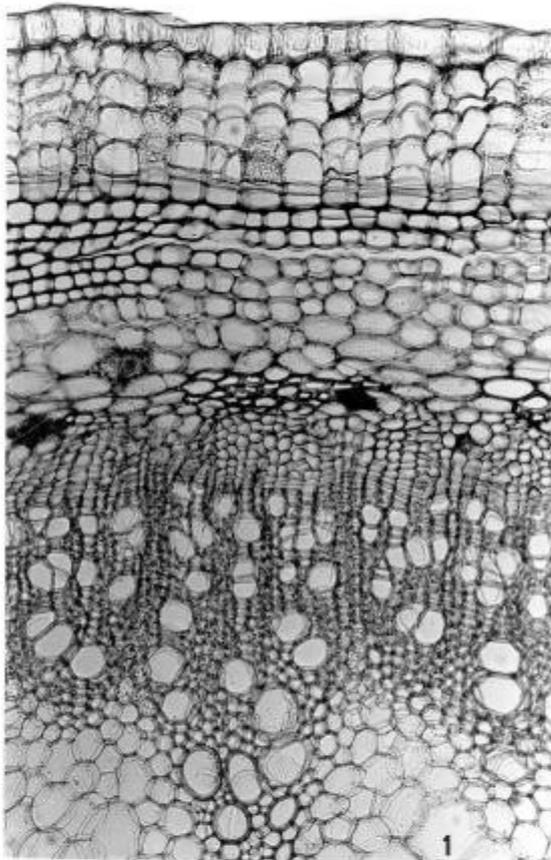
Dans une tige âgée de sureau, l'épiderme est interrompu par l'occurrence des lenticelles ([53](#), 1, 2) et s'observent des formations secondaires corticales dont l'ensemble constitue le périderme. Ces formations péridermiques apparaissent toujours après les formations secondaires vasculaires. Elles tirent leur origine du fonctionnement d'un méristème latéral, le phellogène, ou assise génératrice subéro-phellodermique qui engendre du liège, ou suber secondaire vers l'extérieur et du phelloderme ou parenchyme secondaire vers l'intérieur.

Chez le sureau, le phellogène a une origine sous-épidermique, ses productions se trouvent donc intercalées entre l'épiderme lui-même et le collenchyme cortical.

Dans la photo 1, le suber est représenté par 4 ou 5 assises de cellules à parois minces et le phelloderme par deux assises de cellules rectangulaires accolées au collenchyme cortical.

Images de coupes transversales et
schéma conventionnel correspondant de tige de *Sambucus*

◀ Planche 55



Coupe transversale de tige de *Vitis vinifera* (Dicotylédone)

Exemple de tige à pachyte continu et formations péridermiques profondes

La vigne est une liane de la famille des Vitacées commune à l'état naturel dans les ripisylves des régions tempérées où elle cohabite avec la clématite. C'est son aptitude à fleurir et fructifier sur le bois de l'année qui permet de la cultiver avec une taille annuelle qui ne laisse persister que le tronc, ou cep.

La coupe transversale fait apparaître un anneau continu de formations secondaires et une moelle centrale à la périphérie de laquelle se reconnaissent les nombreux pointements de protoxylème à pôles endarches.

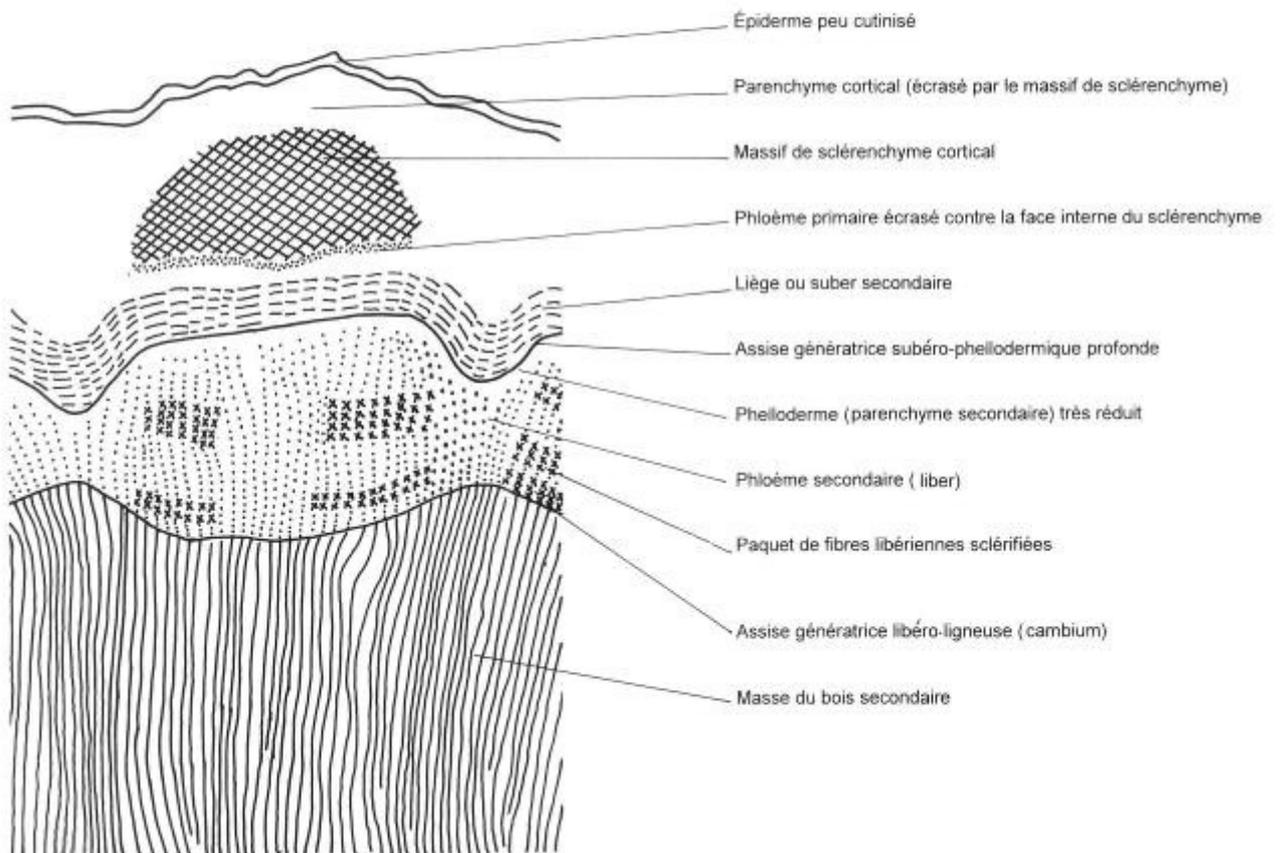
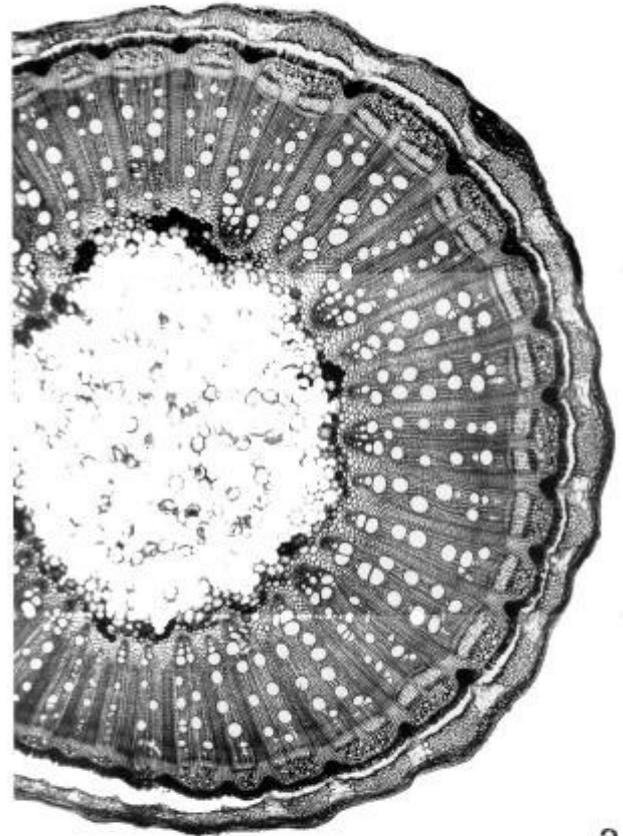
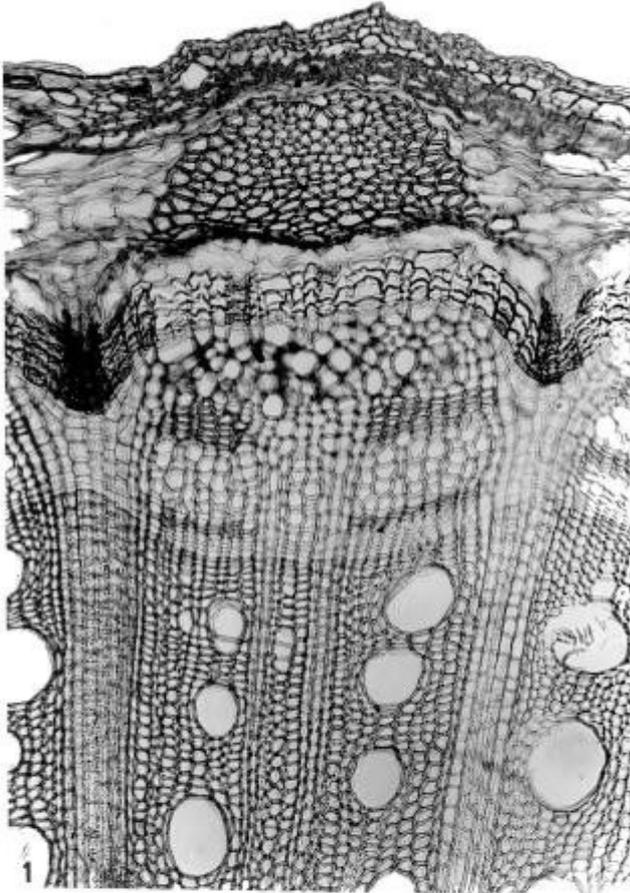
L'anneau ligneux est composé de faisceaux de bois dont chacun prolonge un faisceau de protoxylème. Ces faisceaux sont séparés par des rayons ligneux plurisériés de parenchyme ligneux horizontal. À chaque faisceau correspond, dans l'écorce, un massif de fibres sclérenchymateuses, en forme de croissant ou de demi-cercle.

C'est à la face interne de ces croissants ligneux qu'il faut chercher ce qui reste des massifs de phloème primaire, souvent complètement écrasés.

Au contact du bois, le liber se singularise par la présence de fibres lignifiées interstratifiées. Les rayons médullaires se prolongent dans le liber sous forme de rayons libériens.

Le phellogène prend naissance entre le phloème primaire et le liber. Il engendre sur sa face interne, quelques assises de phelloderme et vers l'extérieur du liège ou suber secondaire sensiblement plus épais. Ce tissu étanche finira par provoquer la mort et la dessiccation de tous les tissus sus-jacents, formant ainsi un rhytidome (du grec *rhytis*, ride et *domos*, enveloppe = revêtement ridé) annulaire qui s'exfoliera par bandes.

Images de coupe transversale de tige de *Vitis* et
schéma conventionnel correspondant



Coupe transversale de tige de *Lamium album* (Dicotylédone)

Exemple de tige à cambium continu et pachyte discontinu

Le lamier blanc ou ortie blanche (en raison de la ressemblance de ses feuilles avec celles de la grande ortie) est une élégante Labiée* commune dans les jardins, les fossés et les bords des chemins mais rare dans la région méditerranéenne. C'est une plante herbacée pluriannuelle grâce à une souche souterraine d'où naît chaque année un bouquet de tiges à fleurs blanches.

La tige est creuse à section carrée. Les angles sont soutenus par des cordons de collenchyme qui sont un bel exemple de collenchyme de type angulaire (3).

L'épiderme, peu cutinisé et stomatifère, est doublé intérieurement par un hypoderme uniassial. Il porte quelques poils sécréteurs sessiles constitués d'une grosse cellule sécrétrice entourée d'une couronne de cellules basales (3).

Le cordon vasculaire est formé de faisceaux répartis sur un seul cycle : il y a quatre gros faisceaux aux angles et quelques faisceaux plus petits entre ceux-ci.

Bien que le cambium soit continu, les formations secondaires de bois et de liber ne prennent quelque importance qu'au niveau des faisceaux, écartant xylème et phloème primaires.

Entre les faisceaux, les formations secondaires sont quasi-absentes, les cellules du cambium y sont seulement recloisonnées une ou deux fois. C'est la raison pour laquelle on peut dire que le pachyte est discontinu bien que le cambium soit continu.

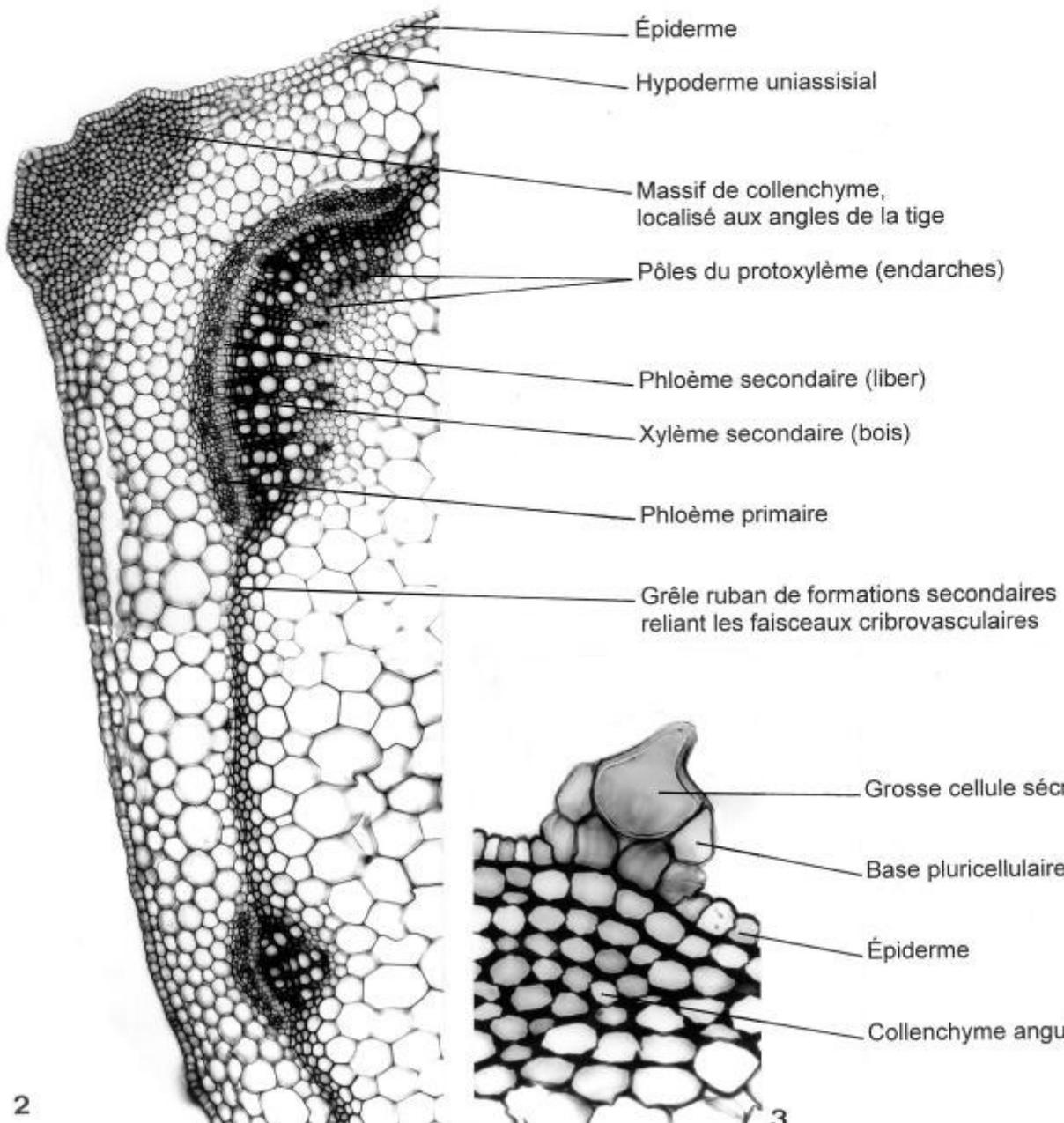
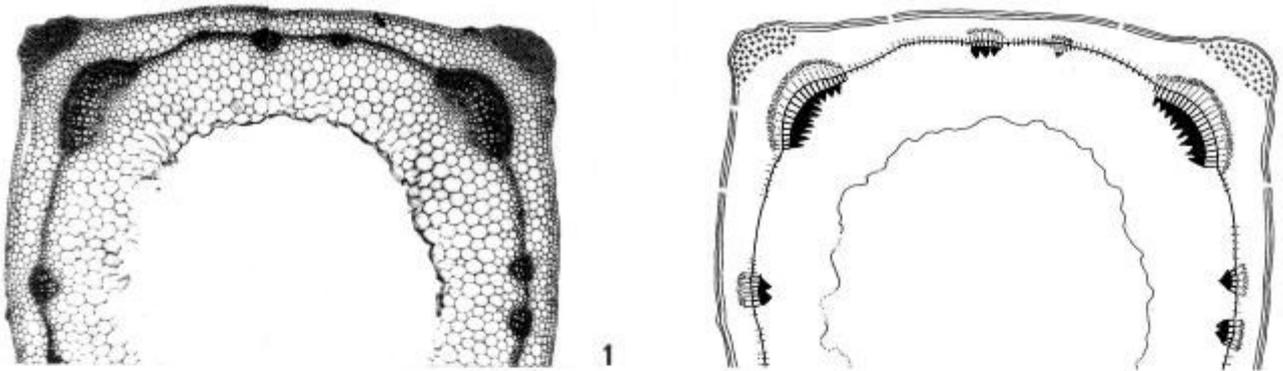
* Dans la nomenclature botanique, le nom des familles de plantes est toujours celui d'un genre de la famille suivi du suffixe "acées", mais il y a quelques exceptions consacrées par l'usage :

Labiées = Lamiacées
Graminées = Poacées

Composées = Astéracées
Légumineuses = Fabacées

Images de coupe transversale de tige de *Lamium album* et schéma conventionnel correspondant

Planche 59



2

3

Coupe transversale de tige de *Foeniculum* (Dicotylédone)

Exemple de tige chlorophyllienne à canaux sécréteurs

Le fenouil est une Ombellifère des régions méditerranéennes. Abondant sur l'île de Madère, il a donné son nom à Funchal, la capitale de cet archipel portugais.

La tige est verte et participe à la fonction chlorophyllienne par un parenchyme palissadique sous-épidermique. Le centre de l'organe est occupé par une très large moelle.

L'épiderme, assez fortement cutinisé, est doublé par un hypoderme dont les cellules alternent avec celles de l'épiderme. Les stomates donnent accès à une chambre sous-stomatique qui correspond, à ce niveau, à la disparition des cellules de l'hypoderme (1).

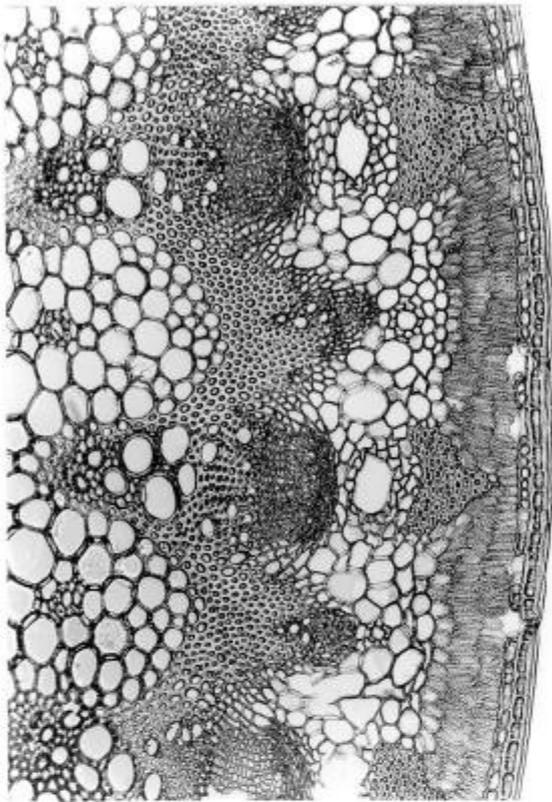
Le parenchyme palissadique, représenté par deux ou trois assises cellulaires, est interrompu, par places, en face de gros faisceaux cribrovasculaires, par des piliers de collenchyme cortical qui s'appuient ou non à l'hypoderme. Ces piliers donnent un bel exemple de collenchyme rond (2).

Au-dessous de ces piliers se rencontrent des canaux sécréteurs qui sont une caractéristique anatomique constante des Ombellifères. Chez le fenouil, les cellules de ces canaux produisent une essence à l'origine du goût anisé de toutes les parties de la plante.

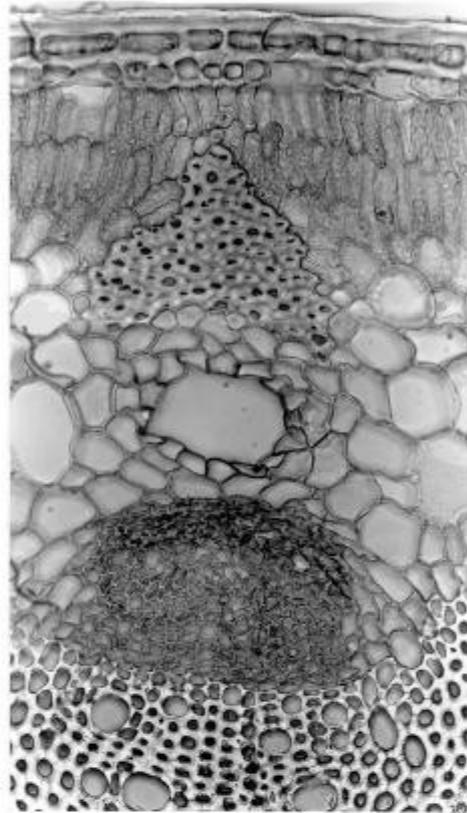
L'anneau de formations vasculaires est constitué de faisceaux, les uns de grande taille, les autres, en alternance et plus excentrés, plus petits, réunis entre eux par un ruban de sclérenchyme à contour festonné. Les formations secondaires sont limitées aux gros faisceaux dont les massifs de protoxylème plongent dans la moelle, laissant entre eux des " rayons médullaires " dans lesquels existent de petits canaux sécréteurs. Il n'est pas exclu qu'une partie au moins de l'anneau de sclérenchyme soit d'origine secondaire.

Images de coupe transversale de tige de *Foeniculum* et schéma conventionnel correspondant

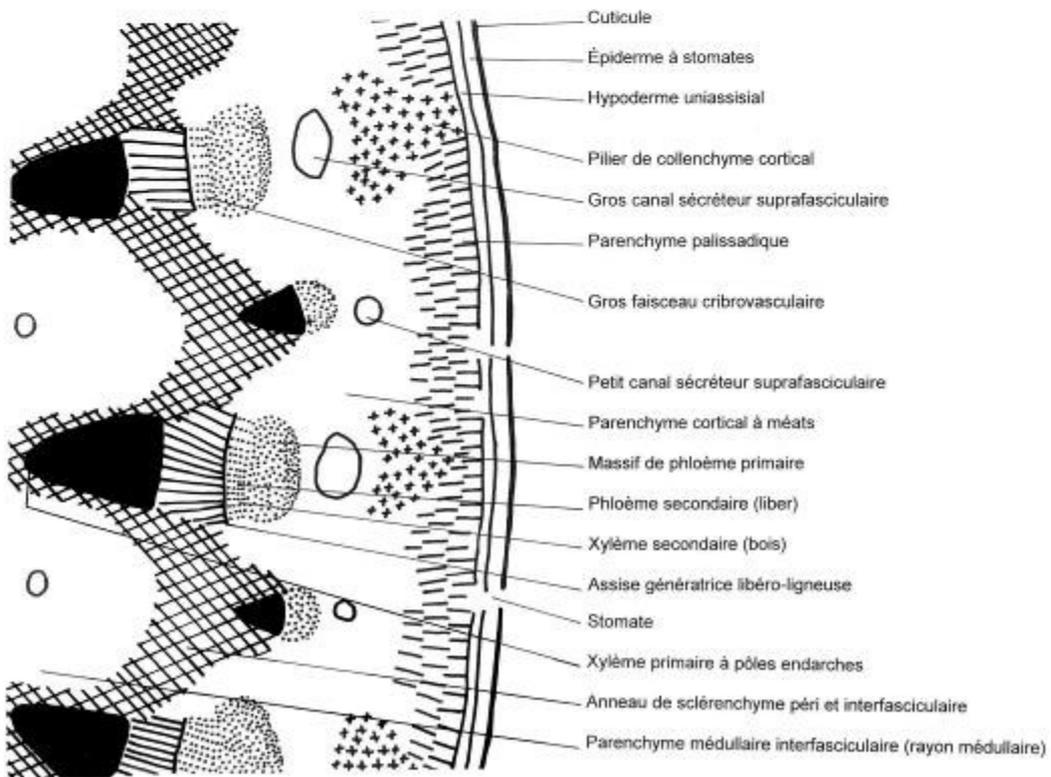
Planche 61



1



2



Coupe transversale de tige de *Spartium junceum* (Dicotylédone)

Exemple de tige chlorophyllienne à pachyte continu et fibres

Le spartier ou genêt d'Espagne est un buisson à belles fleurs jaunes odorantes, commun dans toute la région méditerranéenne, appartenant à la famille des Légumineuses (= Fabacées). Les feuilles sont peu nombreuses et petites. La tige est chlorophyllienne et junciforme.

La coupe transversale fait apparaître un épiderme fortement cutinisé, un parenchyme palissadique sous-épidermique et une large moelle centrale.

Dans le parenchyme cortical se rencontrent des paquets de fibres de sclérenchyme, séparés de l'épiderme par une ou deux assises de cellules collenchymateuses (2).

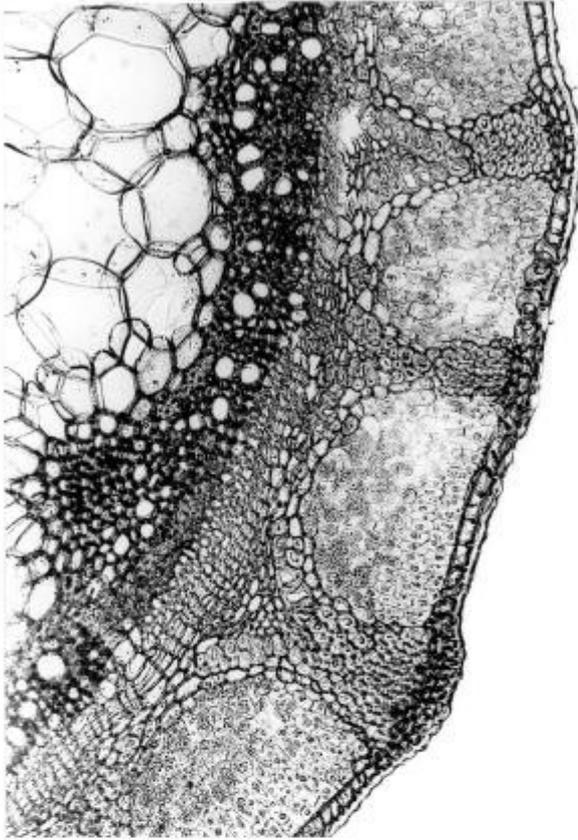
Il y a un endoderme à contour sinueux mais pas de péricycle. Le pachyte est continu, avec peu de formations secondaires. Des paquets de fibres péricycliques suprafasciculaires existent au-dessous des paquets de fibres corticales dont ils ne sont séparés que par l'endoderme (2), réalisant des sortes de piliers. Ces fibres sont à lumière plus grande que les fibres corticales.

Toutes ces fibres procurent à la tige de *Spartium* une très grande résistance : faire un bouquet de rameaux fleuris de *Spartium* est presque impossible sans l'usage de ciseaux.

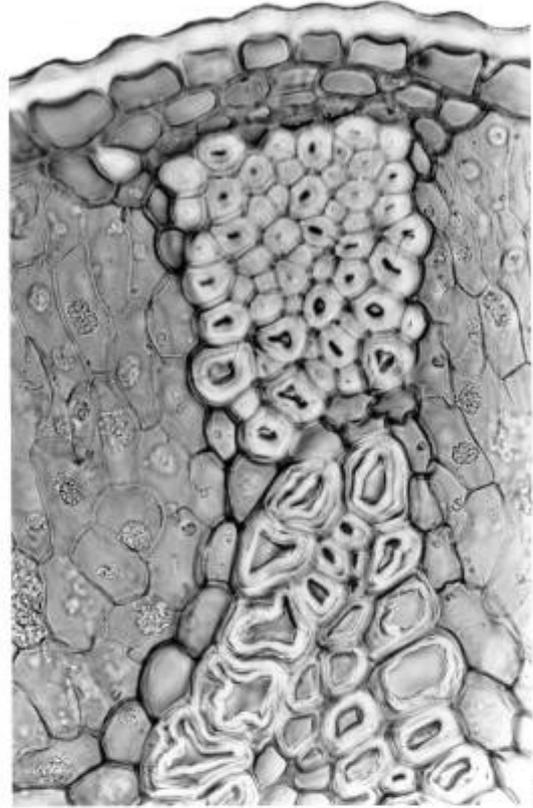
Par rouissage, ces fibres livrent une matière textile assez grossière mais d'excellente qualité dont on peut tirer des cordes, des tapis, des moquettes et qui est connue sous le nom de sparterie. Les Romains et les Carthaginois en tissaient les voiles de leurs bateaux.

Images de coupe transversale de tige de *Spartium* et schéma conventionnel correspondant

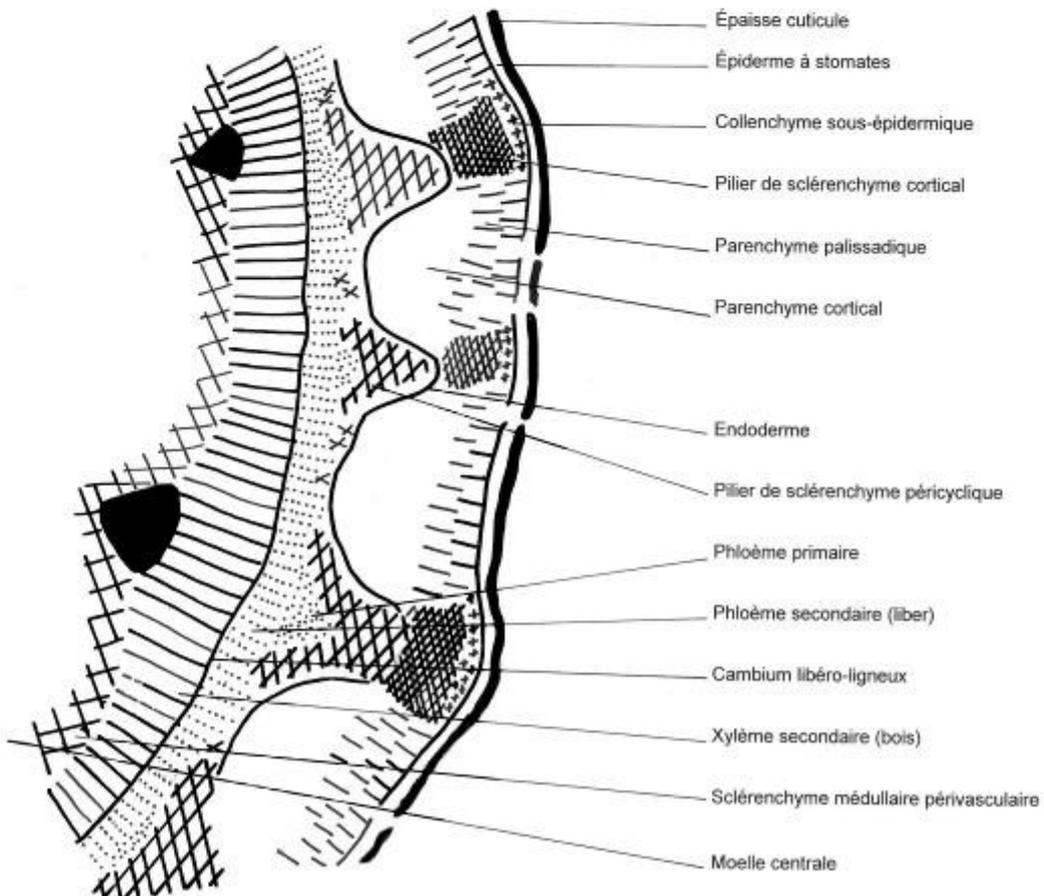
Planche 63



1



2



Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones

Exemple de feuille à structure bifaciale : Laurus nobilis

La feuille des végétaux vasculaires est un organe généralement aplati, ce qui lui confère une symétrie bilatérale. Les feuilles sont exclusivement portées par la tige ; la racine n'est jamais feuillée. C'est ainsi que le tubercule de pomme de terre dont les petites écailles en forme de croissant (à l'aisselle desquelles se reconnaît un bourgeon axillaire) sont des feuilles, est une tige souterraine.

La vascularisation de la feuille est assurée par les nervures qui sont issues des "traces foliaires" émises par le cylindre central de la tige au niveau des nœuds. La nervure principale fait généralement saillie à la face inférieure de la feuille, on dit parfois, de façon abusive, la face ventrale. Mais les feuilles n'ont ni dos ni ventre et le caractère "supérieur" ou "inférieur" des faces n'est pas discriminant : si leur position physiologique la plus fréquente chez les Dicotylédones est d'être aplaties dans un plan perpendiculaire à l'allongement de la tige qui les porte, les exceptions sont nombreuses. Chez beaucoup d'*Eucalyptus* par exemple, une torsion du pétiole amène les feuilles dans un plan qui est le plan axial de la tige. C'est un caractère anatomique qui permet d'orienter à coup sûr la feuille par rapport à l'axe qui la porte : comme l'insertion des feuilles est toujours oblique, il y a une face de la feuille qui est tournée du côté de l'axe, on dit que c'est la face adaxiale (= face supérieure), l'autre est dite abaxiale. On se souviendra que dans la vascularisation de la nervure principale le xylème est toujours du côté adaxial.

La feuille de Laurus nobilis

Un épiderme fortement cutinisé est présent sur les deux faces mais les stomates n'existent que sur la face abaxiale (3). On qualifie cette disposition des stomates d'hypostomatique (on dira épistomatique pour des feuilles dont les stomates sont sur la face adaxiale et amphistomatique lorsque les stomates sont sur les deux faces).

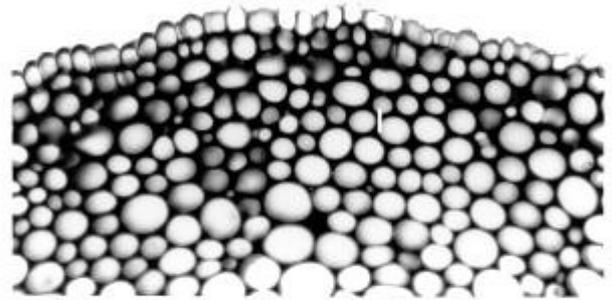
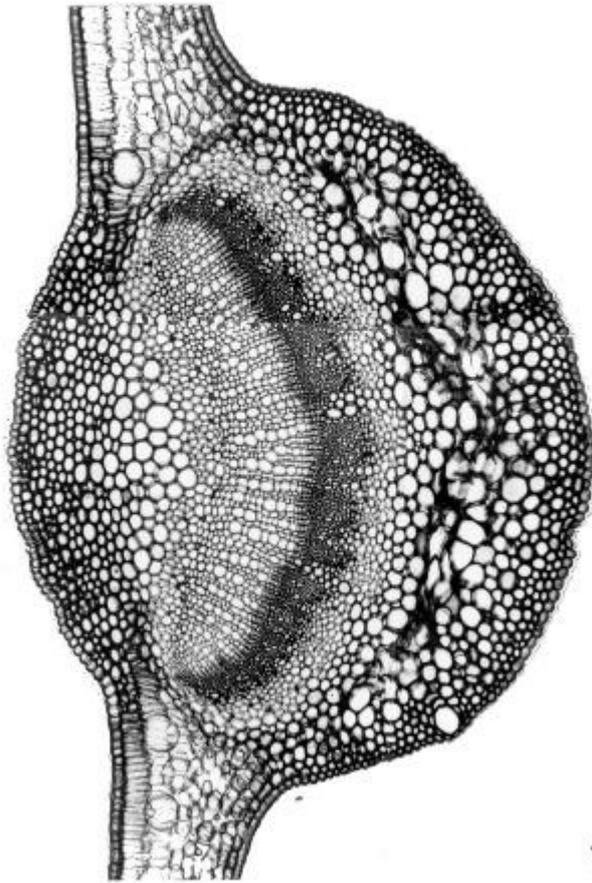
En dehors de la nervure principale le mésophylle présente une structure bifaciale typique (3). Sous l'épiderme de la face adaxiale se reconnaît un parenchyme palissadique formé de deux assises cellulaires. Chez les Dicotylédones ce parenchyme qui recèle quelque 80 % des chloroplastes est le lieu privilégié de la photosynthèse.

Du côté de la face abaxiale, le parenchyme est de type lacuneux, dans lequel s'ouvrent les chambres sous-stomatiques. De grosses cellules sécrétrices d'essence se rencontrent dans ces deux types de parenchyme (1, 3).

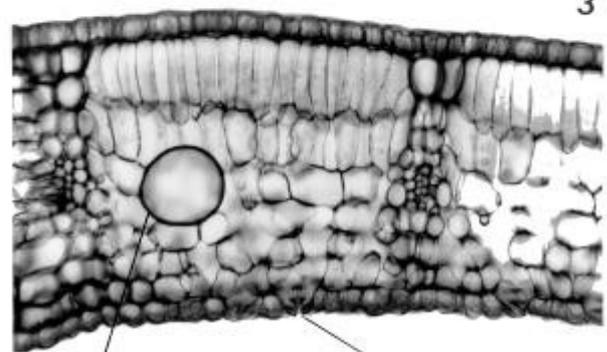
Le cordon vasculaire de la nervure principale est à symétrie bilatérale, en forme de croissant dans la concavité duquel se reconnaissent de nombreux pointements de xylème, désignant la face adaxiale ; des massifs de phloème leur sont superposés. Entre les deux, le cambium libéro-ligneux a produit des files de formations secondaires : bois adaxial et liber. Cette lame vasculaire est entourée d'un manchon de sclérenchyme.

Cet ensemble est rigidifié par du collenchyme ; celui de la face adaxiale, sous l'épiderme, donne un bon exemple de collenchyme rond (2).

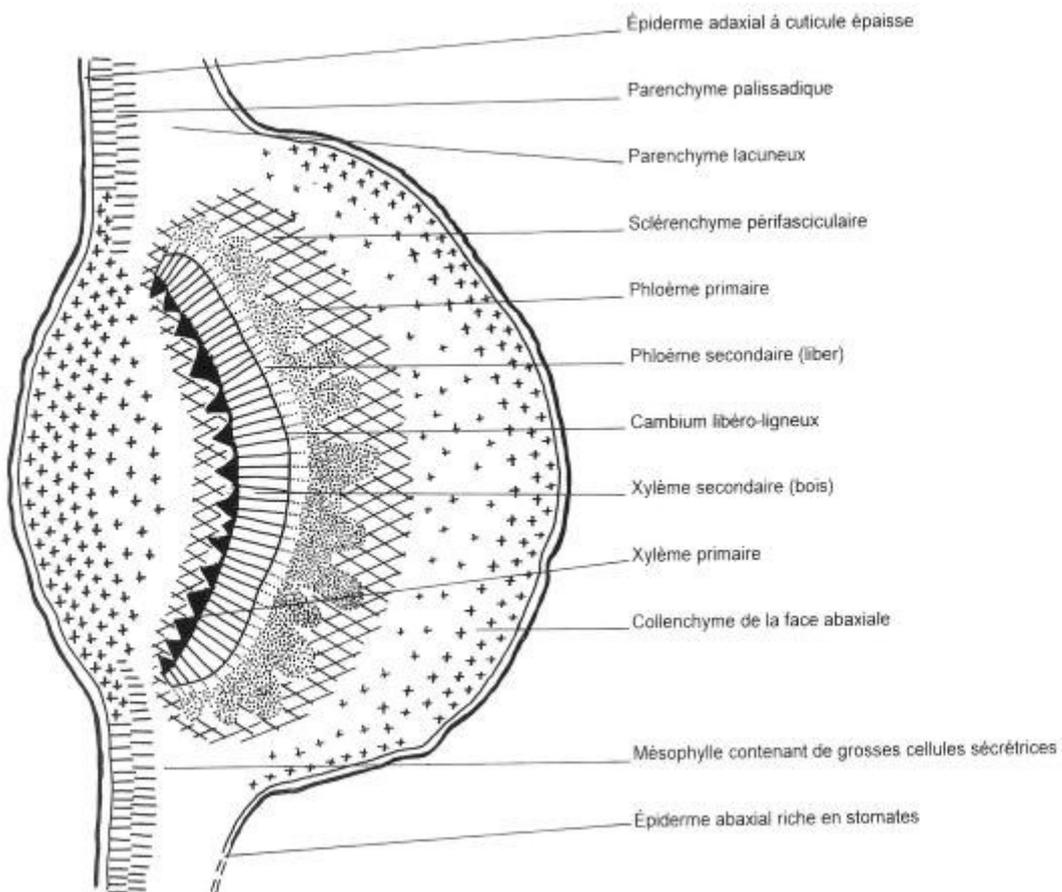
Images de coupe transversale de feuille de *Laurus* (Laurier) et schéma conventionnel correspondant



Collenchyme rond



Grosse cellule sécrétrice Stomate



Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones

Exemple de feuille adaptée à la sécheresse : *Nerium oleander*

Le laurier rose est une Apocynacée qui ne se rencontre que dans les régions méditerranéennes les plus chaudes. Il forme en Corse et en Afrique du nord des peuplements rivulaires dans le lit asséché des oueds. Les feuilles sont rendues coriaces par une épaisse cuticule présente sur les deux faces. L'épiderme de la face adaxiale est doublé d'un hypoderme.

Le mésophylle est à structure bifaciale avec un parenchyme palissadique adaxial formé de deux assises cellulaires et un parenchyme lacuneux abaxial. C'est du côté abaxial seulement qu'existent les stomates (type hypostomatique). Ceux-ci sont localisés au fond de profondes cryptes dont l'entrée est garnie de nombreux poils épidermiques de structure unicellulaire. Cette disposition permet de réduire l'évaporation de l'eau par les stomates. Dans ces cryptes pilifères, l'épiderme est dépourvu de cuticule. Partout dans le mésophylle, de nombreuses cellules renferment des macles étoilées de cristaux d'oxalate de calcium qui sont responsables de la toxicité de la plante.

La nervure principale fait saillie sur la face abaxiale. La lame vasculaire y est soutenue par un collenchyme sous-épidermique qui existe sur les deux faces ainsi que par des paquets de fibres sclérenchymateuses plus profondes, périvasculaires. Parmi les formations secondaires, le liber est peu développé au regard du bois.

Une des particularités du laurier rose est de comporter, comme beaucoup d'autres Gamopétales, du phloème primaire interne. Celui-ci se localise à la pointe des faisceaux de xylème primaire, réalisant avec ceux de phloème primaire externe (du côté abaxial) des faisceaux bicollatéraux comme ceux qui existent dans la tige de

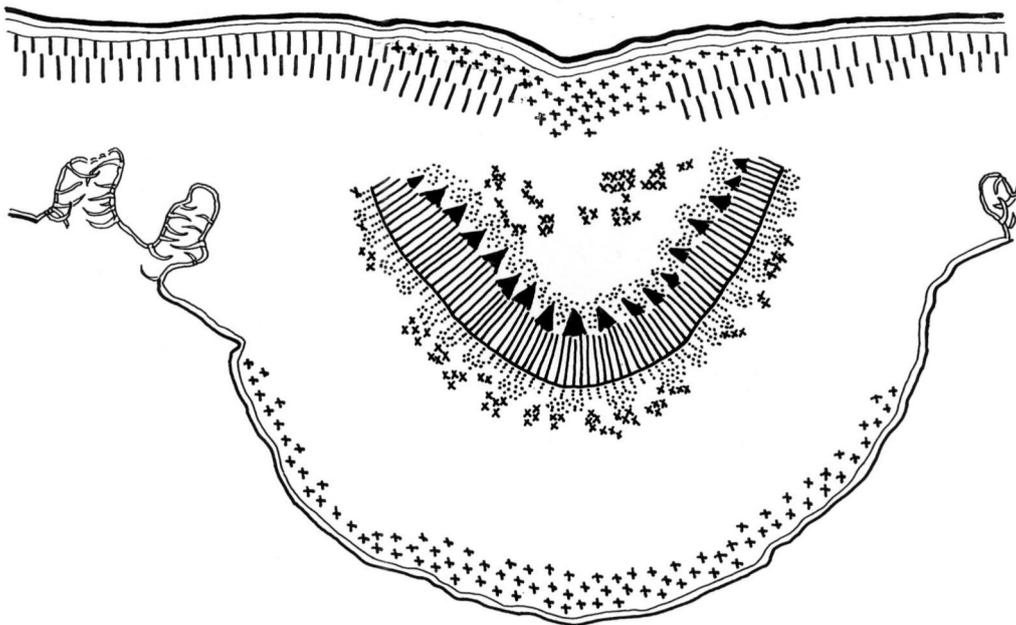
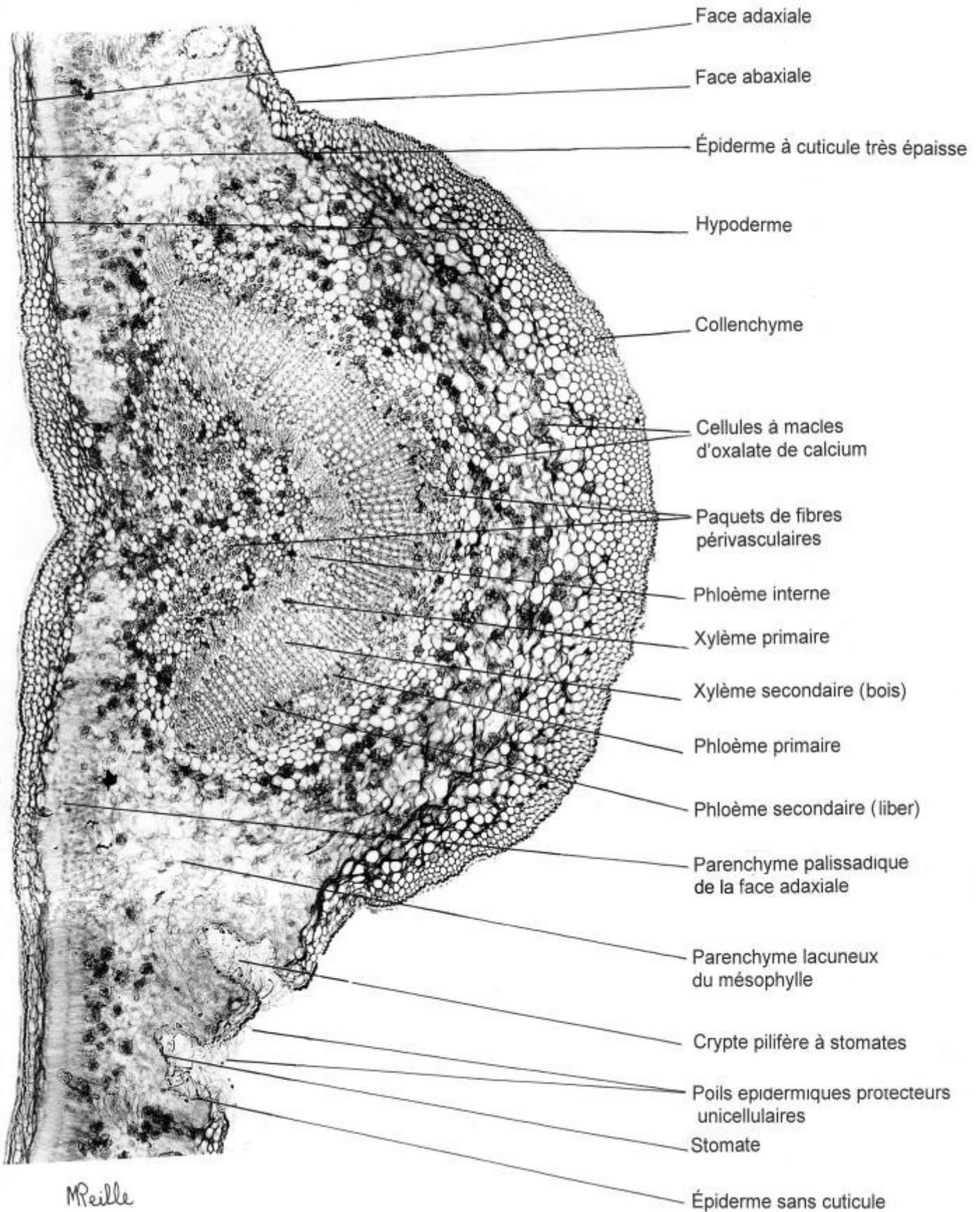


Schéma conventionnel de coupe transversale de feuille de *Nerium oleander*

Image de coupe transversale de la feuille de *Nerium* (Laurier rose),
au niveau de la nervure médiane

Planche 67



Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones

Exemple de feuille à structure monofaciale : *Lavandula*

Les lavandes sont des sous-arbrisseaux méditerranéens appartenant à la famille des Labiées (= Lamiacées). Un abondant trichome (= ensemble des poils, du grec *trichos* = poil) épidermique est responsable de l'aspect argenté des feuilles de lavande.

Ces poils sont de deux types :

- les plus nombreux, présents sur les deux faces (1) sont dits poils tecteurs. Ce sont des poils pluricellulaires dans lesquels une cellule basale sert de pied, surmonté de 3 à 6 cellules rayonnantes. Ce feutrage réduit l'évaporation de l'eau ;

- les autres, plus rares et localisés sur la face abaxiale (3) sont des poils sécréteurs. Ce sont aussi des poils pluricellulaires à cellule basale formant pied. Leur extrémité distale, renflée en tête, est formée de 4 à 8 cellules à rôle sécréteur. Ce sont elles qui contiennent l'essence de lavande appréciée en parfumerie.

La cuticule épidermique est épaissie, surtout du côté adaxial. Un parenchyme palissadique occupe tout le mésophylle, il n'y a pas de parenchyme lacuneux. Du côté abaxial, où sont localisés les stomates, les chambres sous-stomatiques sont creusées dans le parenchyme palissadique et les stomates font légèrement saillie à l'extérieur de l'alignement de l'épiderme.

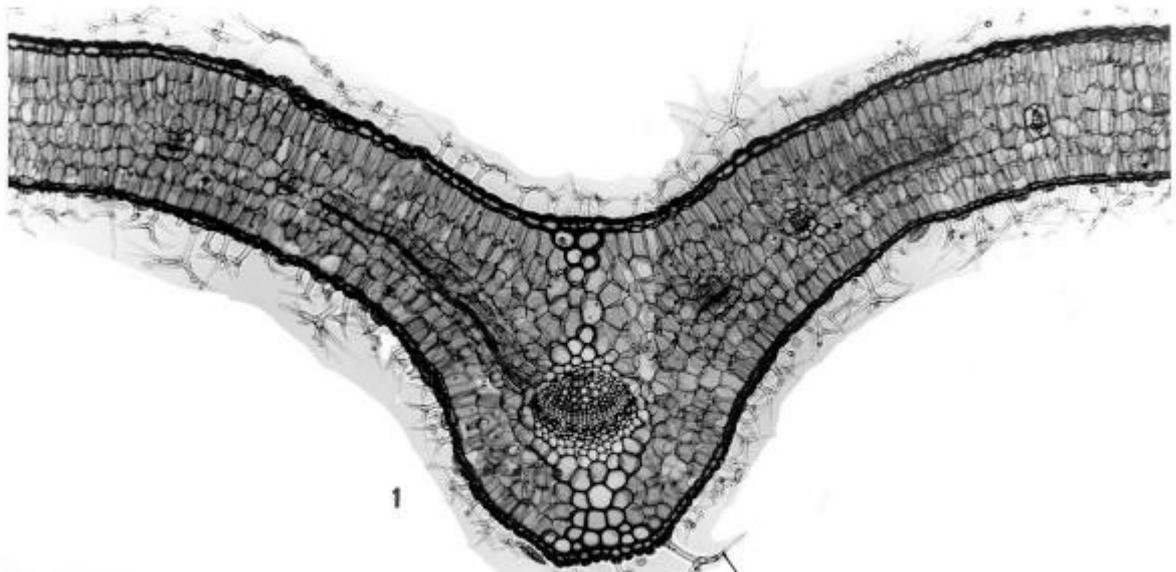
Mésophylle et mésophile

Le **mésophylle** est un nom formé de deux racines grecques (*mesos* = médian et *phullon* = feuille) qui désigne la partie moyenne de la feuille.

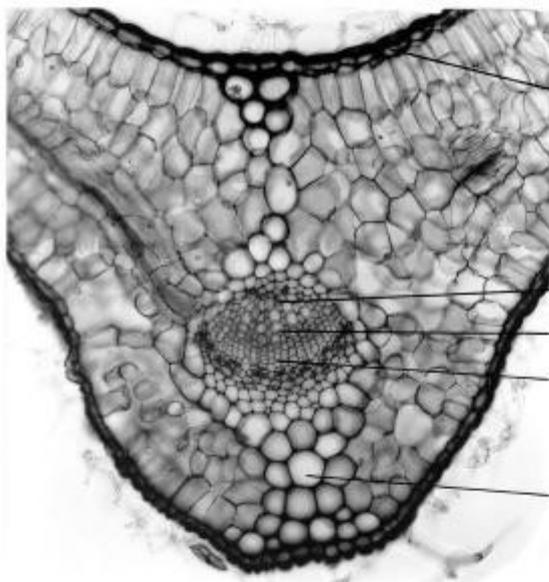
Son homonyme **mésophile** formé avec une autre racine grecque (*philos* = ami) est un adjectif qui est souvent utilisé pour qualifier des organismes végétaux ou animaux qui s'accommodent de conditions moyennes. Les tilleuls et les chênes sont des arbres mésophiles.

Images de coupe transversale de feuille de *Lavandula*

Planche 69



1



2

Poils pédonculés pluricellulaires

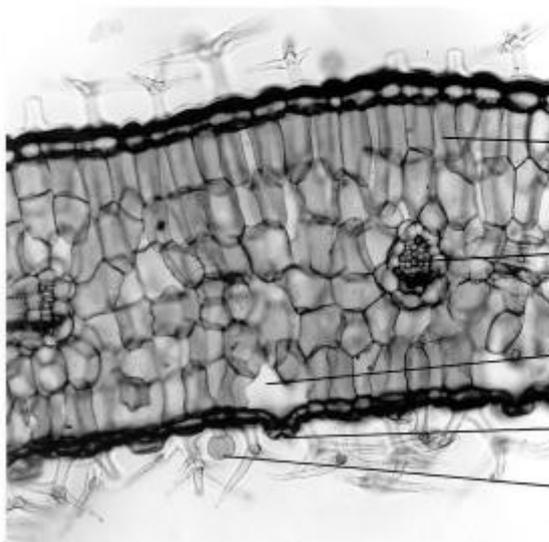
Épiderme adaxial à cuticule épaisse

Xylème primaire

Xylème secondaire

Phloème secondaire

Pilier de collenchyme



3

Cuticule de l'épiderme adaxial

Parenchyme palissadique

Petite nervure secondaire

Chambre sous-stomatique

Stomate

Poil sécréteur

Structure anatomique de la feuille des Monocotylédones

Exemple de feuille adaptée à la sécheresse : *Ammophila arenaria*

Cette plante connue sous le nom de gourbet, oyat ou roseau des sables est commune partout en Europe sur les sables maritimes. Elle est souvent utilisée pour fixer les dunes.

Comme chez la plupart des Monocotylédones et toujours chez les Graminées, la feuille est longuement engainante à sa base et les nervures sont parallèles, longeant l'axe longitudinal de la feuille. Les feuilles d'oyat, longues d'environ 50 cm, flexibles, pointues et tranchantes sur les bords, sont enroulées dans le sens de la longueur formant une gouttière étroite.

La face externe de la gouttière est la face abaxiale. Elle est limitée par un épiderme glabre à cuticule silicifiée et sans stomates. Dans la concavité de la gouttière, la face adaxiale est velue et les nervures parallèles font saillies sous forme de crêtes séparées par des vallécules.

L'épiderme adaxial est peu cutinisé et les poils, longs et unicellulaires, constituent un feutrage réduisant la dessiccation. Les stomates sont localisés sur les bords des vallécules. Au fond de ces dernières, des cellules épidermiques de grande taille, dites cellules bulliformes, sont à l'origine, par leur turgescence, de l'ouverture de la gouttière que réalise la feuille.

Dans le mésophylle, le parenchyme chlorophyllien est localisé, du côté adaxial, sous forme de bandes qui tapissent les parois des crêtes et le fond des vallécules.

Chaque nervure est représentée par un faisceau cribrovasculaire qui apparaît comme suspendu entre des piliers de parenchyme plus ou moins sclérifié, reliant les deux épidermes.

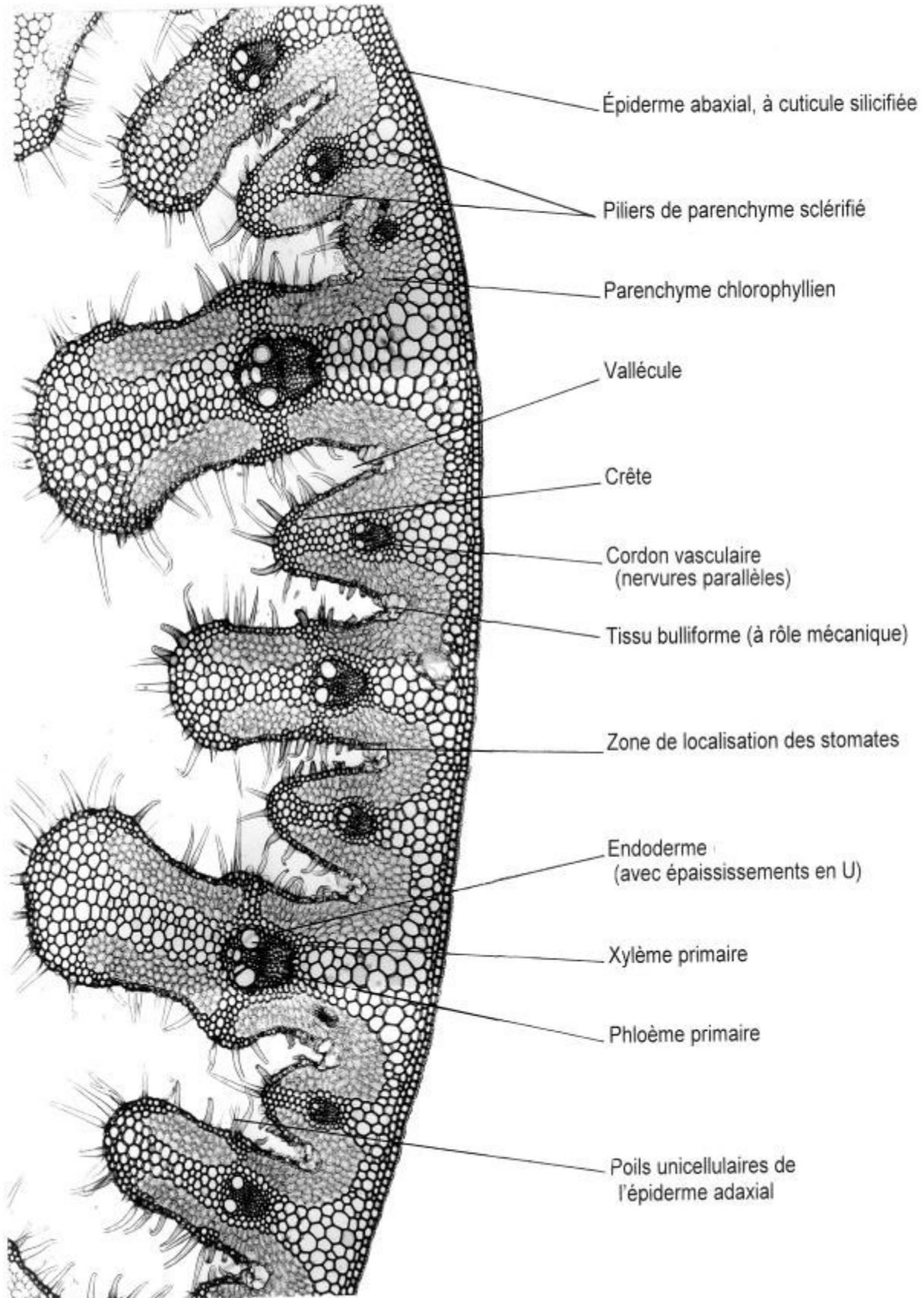
Chaque faisceau est entouré par un endoderme dont les cellules présentent des épaissements en U. À l'intérieur de cet endoderme, le xylème primaire forme un V à pointe adaxiale ; le phloème lui est superposé, entre les branches du V, du côté abaxial.

Comme chez toutes les Monocotylédones il n'y a pas de formations secondaires.



Image de coupe transversale de la feuille d'*Ammophila*

Planche 71



Structure anatomique de la feuille des Monocotylédones

Exemple de feuille à structure monofaciale : Iris

Les feuilles d'iris naissent en bouquet à l'extrémité d'un rhizome souterrain. Elles ont la forme d'une lame de faux (feuilles falciformes). La nervation est parallèle et la feuille est pliée longitudinalement, sa face adaxiale vers l'intérieur. Sur presque toute sa longueur, la section transversale de la feuille a la forme d'un V mais dans sa portion terminale, les branches du V se soudent, faisant ainsi disparaître ce qui était la face adaxiale. Les deux "faces" de l'organe appartiennent l'une et l'autre à la face abaxiale de la feuille.

Les nervures parallèles sont symétriques par rapport à un plan longitudinal mais à l'extrémité de l'organe, deux nervures de tailles inégales sont orientées dans ce plan de symétrie.

L'épiderme est identique sur les deux côtés. Il est à cuticule fine et les stomates sont nombreux, donnant accès à une minuscule chambre sous-stomatique qui est le plus souvent réalisée par l'écartement distal de deux cellules du parenchyme palissadique sous-jacent. Ce dernier existe identiquement des deux côtés sous la forme de 2 ou 3 assises de cellules hexagonales parfaitement jointives. Le centre de l'organe est occupé par un parenchyme banal dans lequel existent d'assez grandes lacunes.

Chaque nervure se présente sous la forme d'un faisceau cribrovasculaire unique entouré d'un endoderme qui, dans le cas des plus grosses nervures, s'appuie à l'épiderme.

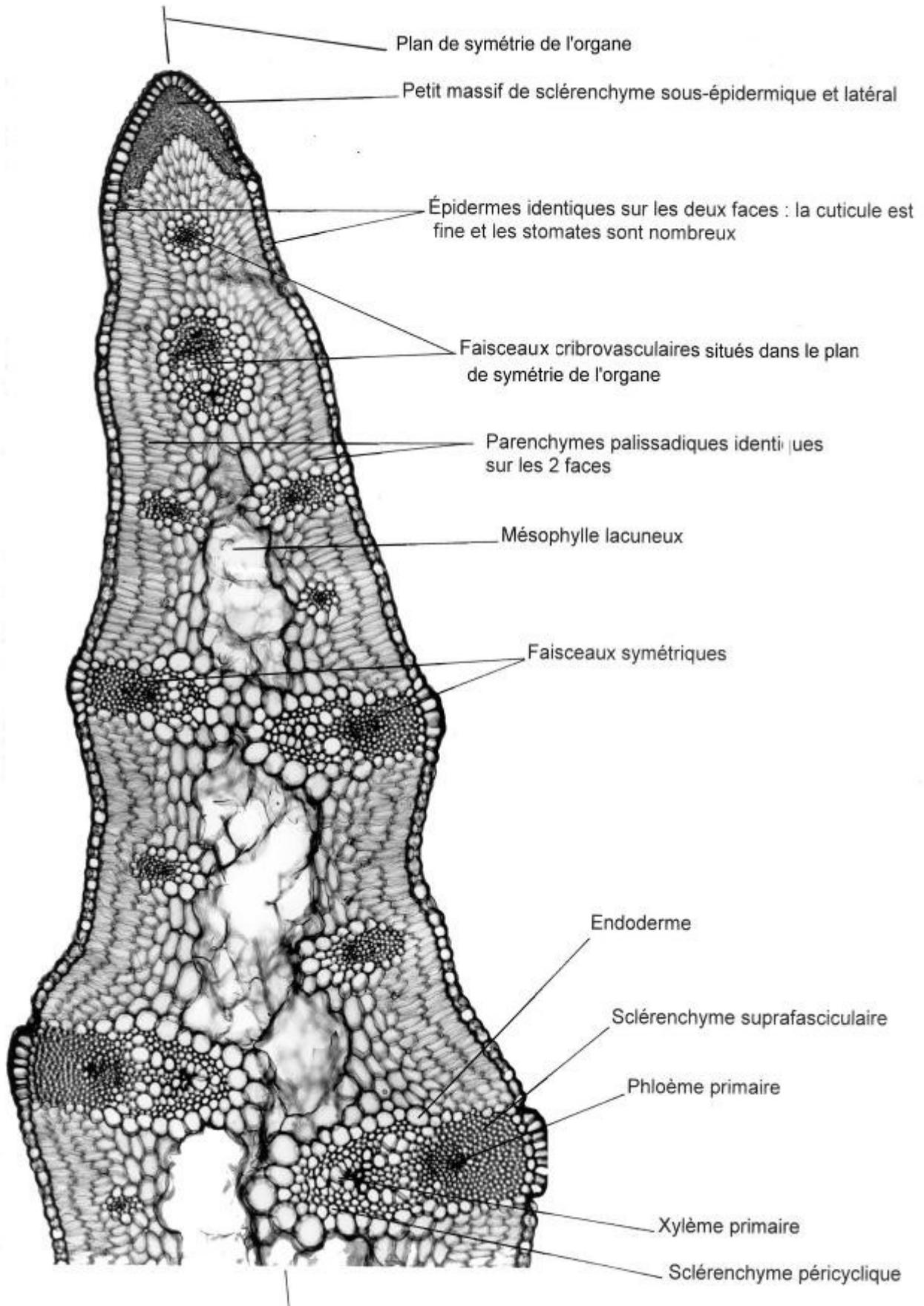
À l'intérieur de cet endoderme, le massif de xylème primaire a la forme typique d'un V dont la pointe est tournée vers l'intérieur. Le massif de phloème primaire qui lui est superposé, du côté externe, est lui-même surmonté d'un petit massif de sclérenchyme bien différencié, que sa position à l'intérieur de l'endoderme permet de qualifier de péricyclique.

Un parenchyme plus ou moins sclérifié occupe tout l'espace entre l'endoderme et les branches du V de xylème.

À l'extrémité de l'organe est localisé un petit massif de sclérenchyme sous-épidermique.

Image de coupe transversale de feuille d'*Iris*

Planche 73



Structure anatomique de la feuille des Gymnospermes

Exemple d'une feuille aciculaire : *Pinus*

Chez les Gymnospermes actuelles, les feuilles ont des formes très variées : celles de *Ginkgo biloba* sont cordiformes à nervation dichotome, celles des *Cycas* ressemblent à celles des palmiers, celles des cyprès sont réduites à des écailles, celles des sapins et de l'if sont longues et aplaties. Dans le genre *Pinus*, les feuilles ont la forme d'aiguilles. Elles sont groupées par 2, 3 ou 5 selon les espèces à l'extrémité d'un très petit rameau court ou brachyblaste qui est caduc et tombe en même temps que les aiguilles qu'il porte.

La coupe de l'aiguille de *Pinus* est à section semi-elliptique (1). La face plane est la face adaxiale.

L'épiderme sclérifié est recouvert d'une cuticule et consolidé d'un hypoderme pluriassisial formé de cellules également sclérifiées (2). L'épiderme est perforé de nombreux stomates enfoncés profondément. Les cellules épidermiques qui encadrent le stomate sont plus hautes que les autres et limitent la chambre sus-stomatique. Au sein des stomates, les deux cellules de garde contrôlent l'ouverture et la fermeture de l'ostiole, sous lequel se trouve la chambre sous-stomatique (3).

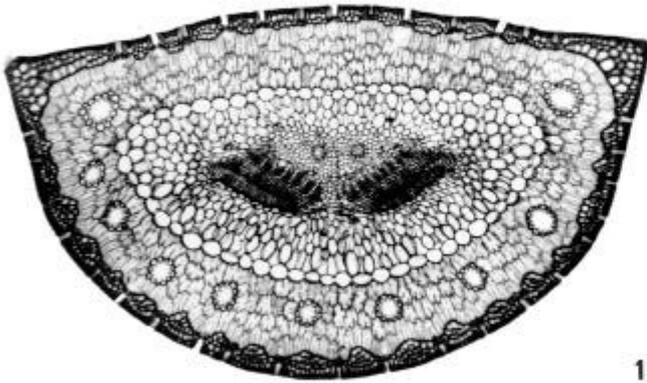
Le mésophylle est formé d'un seul type de parenchyme dont les parois des cellules isodiamétriques présentent de nombreux replis (2, 3). C'est dans le mésophylle que sont situés les canaux résinifères. Chaque canal est entouré d'un manchon de cellules de collenchyme (2).

Deux faisceaux libéro-ligneux indépendants, orientés obliquement, sont situés de part et d'autre de l'axe de symétrie bilatérale (2). Le xylème primaire et le bois sont situés du côté de la face adaxiale plane. Les deux faisceaux sont enveloppés dans un **tissu de transfusion**, lui-même entouré par un endoderme formé d'une seule assise de cellules plus ou moins ovales. Le tissu de transfusion a un rôle de réserve hydrique et de conduction, assurant la jonction entre les faisceaux et le mésophylle. Il est formé de cellules vivantes parenchymateuses aux parois minces, généralement plus abondantes vers l'endoderme, et de courtes trachéïdes dont les parois sont pourvues de ponctuations aréolées, plus fréquentes près des faisceaux.

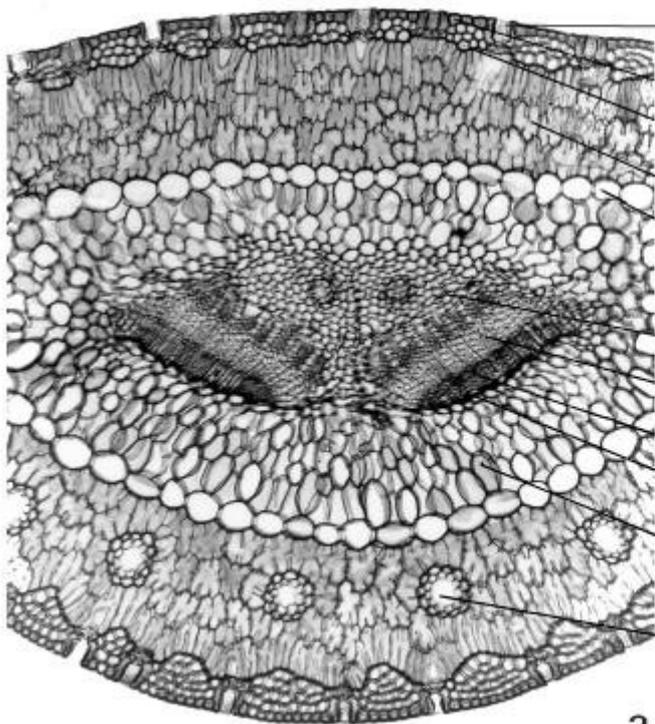
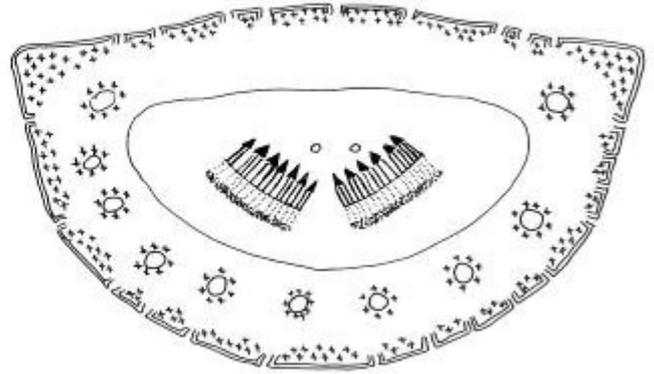
Quelques cellules de collenchyme sont localisées dans les deux angles de la face adaxiale (3).

Images d'une coupe transversale d'aiguille de *Pinus*
et schéma conventionnel correspondant

Planche 75

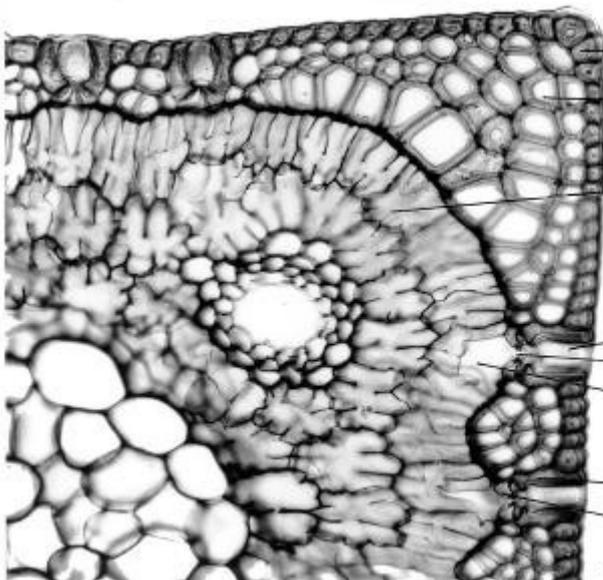


1



2

- Puits stomatique
- Épiderme sclérifié
- Hypoderme pluriassial
- Mésophylle
- Endoderme
- Xylème primaire
- Xylème secondaire (bois)
- Phloème secondaire (liber)
- Phloème primaire
- Tissu de transfusion
- Canal résinifère entouré d'une couronne de cellules de collenchyme



3

- Épiderme sclérifié à cuticule fine
- Angle de collenchyme
- Parenchyme du mésophylle à cellules pourvues de nombreux replis
- Puits = chambre sus-stomatique
- Ostiole du stomate
- Chambre sous-stomatique
- Cellule de la paroi du puits
- Cellule de garde du stomate

Quelques éléments du tissu sécréteur

On rassemble sous le nom de "tissu sécréteur" des objets très variés dont la fonction sécrétrice est le seul point commun et qui sont soit d'origine épidermique, soit d'origine parenchymateuse. Le "tissu sécréteur" n'est donc pas un vrai tissu mais un ensemble hétéroclite et artificiel.

Les produits de sécrétion sont eux-mêmes très variés : essences diverses, résines, latex, tanins, gommes et mucilages.

Les poils sécréteurs

Ce sont des structures d'origine épidermique. Chez la plupart des Labiées, par exemple la lavande ([69](#), 3), les poils sécréteurs sont pluricellulaires avec un pied unicellulaire et une tête formée de 4 à 8 cellules. Chez d'autres comme *Lamium album* ([59](#), 3) les poils sécréteurs sont sessiles et unicellulaires, entourés d'une couronne de cellules non sécrétrices.

Les cellules sécrétrices

Celles qui se rencontrent dans le mésophylle de la feuille de laurier ([65](#), 1, 3), sont d'aspect très différent de toutes les autres cellules du mésophylle : elles sont de très grande taille et globuleuses à parois distendues par le produit de sécrétion, une essence responsable de l'odeur caractéristique de ces feuilles.

Les poches sécrétrices

Celles si typiques du péricarpe des agrumes (1) (peau des oranges, mandarines, citrons..), sont dites de type schizolysigène : c'est une lacune dans laquelle l'essence sécrétée par plusieurs assises de cellules bordantes est mêlée aux résultats de la lyse des cellules les plus internes.

Les canaux sécréteurs

Un canal sécréteur n'est qu'une poche sécrétrice allongée bordée par une (4) ou deux (3) assises cellulaires.

Les canaux résinifères des Gymnospermes se rencontrent aussi bien dans le xylème secondaire sous forme de canaux longitudinaux ([17](#), 1) ou transversaux ([18](#), 1) que dans le mésophylle des feuilles ([75](#), 1, 2, 3).

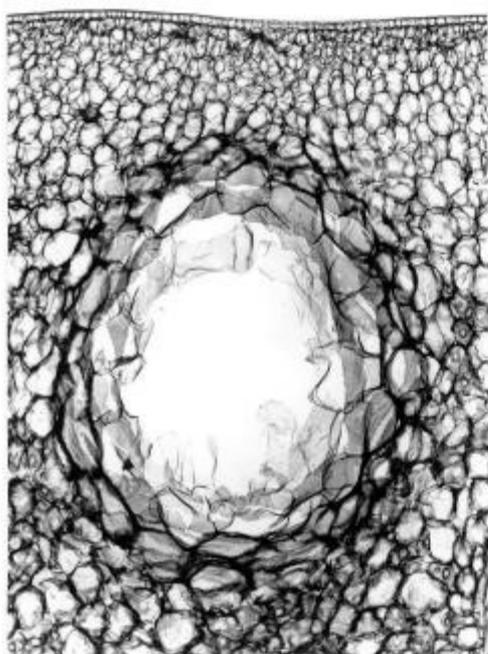
Les laticifères

Ce sont des appareils dans lesquels le produit de sécrétion est accumulé dans la vacuole des cellules sous forme de mélange ou de solution aqueuse.

Ceux que l'on rencontre chez les représentants de la famille des Composées comme le salsifis (2), sont des files de cellules anastomosées en réseau.

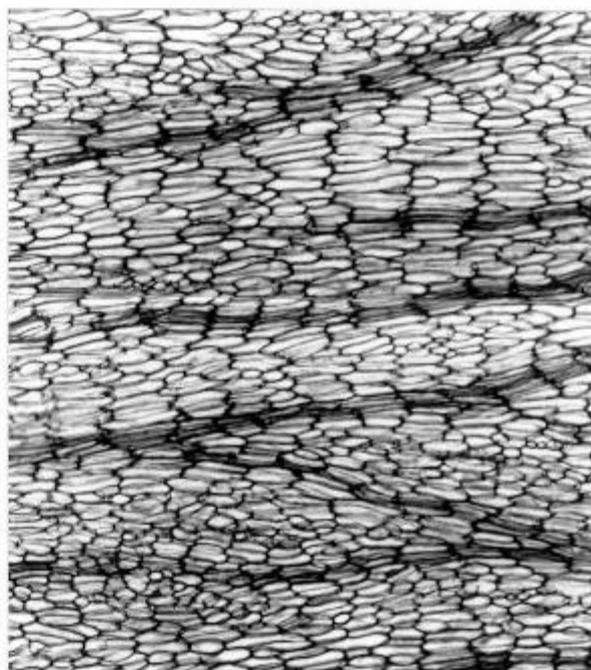
Images de quelques éléments du tissu sécréteur

Planche 77



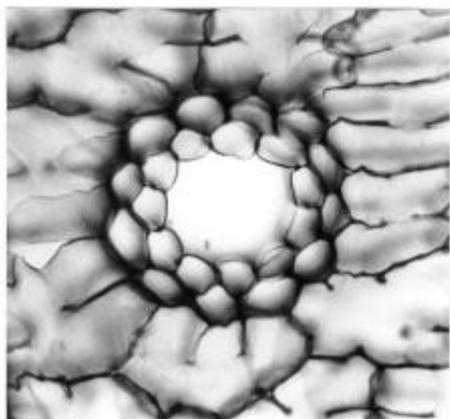
1

Poche à essence, de type schizolysigène
du péricarpe d'orange



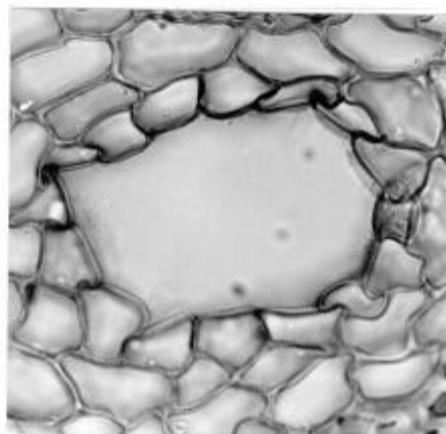
2

Laticifères anastomosés dans le parenchyme
cortical de la racine de salsifis



3

Canal sécréteur résinifère dans l'aiguille
de *Pinus*. Le canal est entouré d'un
manchon de cellules à rôle de soutien.



4

Canal sécréteur simple dans
la tige d'une Ombellifère

Références

ABBAYES des H., CHADEFAUD M., FERRÉ de Y., FELDMANN J., GAUSSEN H., GRASSÉ P.-P., LEREDDE M. C., OZENDA P., PRÉVOT A. R. 1963. Botanique. Masson, Paris

AUTEURS MULTIPLES 1999. Dictionnaire de la Botanique. Encyclopædia Universalis et Albin Michel, Paris

BACH D. Sans date. Cours de Botanique générale. Tome 1. Organisation et reproduction des plantes vasculaires. Société d'édition d'enseignement supérieur, Paris

BOLD C. H., ALEXOPOULOS C., DELEVORAS T. 1990. Morphology of plants and fungi. Fourth edition. Harper International, New York

BOWES B. G. 1998. Structure des plantes, atlas en couleur, INRA éditions, Paris

BRACEGIRDLE B., MILES P. 1971. An atlas of plant structure, vol. 1. Heinemann educational books, London

DEYSSON G. 1954. Éléments d'anatomie des plantes vasculaires. Société d'édition d'enseignement supérieur, Paris

EMBERGER L. 1960. Traité de botanique, tome 2 : les végétaux vasculaires. Masson, Paris

ESAU K. 1977. Anatomy of seed plants, second edition, Wiley & Sons, New York

GORENFLOT R. 1990. Biologie végétale, plantes supérieures, tome 1 : appareil reproducteur, 3^{ème} édition. Masson, Paris

Table des matières

La représentation conventionnelle des tissus.....	2
Le schéma conventionnel d'anatomie.....	3
Le tissu libérien ou phloème	4
Phloème primaire de <i>Cucurbita</i> (coupes transversales et longitudinales de tige).....	5
Liber secondaire de <i>Vitis</i> (coupes longitudinales de tige)	5
Le tissu ligneux ou bois	6
Les éléments du xylème primaire (coupes longitudinales de tige de <i>Cucurbita</i>).....	7
Vaisseaux rayés, réticulés, ponctués du métaxylème de <i>Cucurbita</i> (coupes longitudinales de tige)	9
Fibres du sclérenchyme péricyclique de <i>Cucurbita</i>	9
Schéma de coupes de parois entre deux cellules contiguës au niveau de ponctuations simples	11
Schéma d'une ponctuation aréolée	11
Le xylème secondaire ou bois.....	13
Croissance en épaisseur des arbres : le cerne ligneux.....	13
Exemples de bois hétéroxylés à pores diffus - bois de <i>Betula</i> - bois de <i>Acer platanooides</i>	15
Le bois homoxylé.....	16-20
Exemples de bois homoxylé : <i>Larix europaea</i> et <i>Taxus baccata</i> (coupes transversales)	17
Bois de <i>Pinus</i> , coupes longitudinales tangentielles.....	18
Bois de <i>Pinus</i> , coupes longitudinales radiales	19
Schéma d'un champ de croisement dans du bois de <i>Pinus</i>	21
Le bois hétéroxylé.....	22
Exemple du bois de chêne : <i>Quercus</i>	22-26
Bois de <i>Quercus</i> , coupe transversale	23
Bois de <i>Quercus</i> , coupes longitudinales tangentielles.....	25
Bois de <i>Quercus</i> , coupes longitudinales radiales	27
Structure anatomique primaire de la racine des Dicotylédones.....	28
Exemple de <i>Ficaria</i>	28
Image de portion de coupe transversale de racine d'une Dicotylédone : <i>Ficaria ranunculoides</i>	29
Structure anatomique primaire de la racine des Monocotylédones	30
Exemple de l'Iris	30
Image de portion de coupe transversale de racine d'une Monocotylédone : <i>Iris gernamica</i>	31
Principales caractéristiques anatomiques de la structure primaire de la racine.....	32
Caractères distinctifs de la structure primaire de la racine des Monocotylédones par rapport aux Dicotylédones.....	32
Coupe transversale de racine de <i>Ficaria</i> et schéma conventionnel	33
Coupe transversale de racine d' <i>Iris</i> et schéma conventionnel.....	33
Structure anatomique secondaire de la racine des Dicotylédones	34
Exemple de racine à pachyte discontinu : la racine <i>Cucurbita</i>	34
Images de coupe transversale de racine de <i>Cucurbita</i> et schéma conventionnel.....	35
Structure anatomique secondaire de la racine des Dicotylédones	36
Exemple de racine à pachyte continu : la racine de <i>Vitis</i> (2).....	36
Comparaison de la structure anatomique d'une tige et d'une racine de <i>Vitis</i> avec formations secondaires	37
Structure anatomique primaire de la tige des Dicotylédones	38
Exemple de <i>Ranunculus</i>	38

Images de coupe transversale de tige de <i>Ranunculus</i> et schéma conventionnel	39
Structure anatomique primaire de la tige des Monocotylédones	40
Exemple d' <i>Asparagus</i>	40
Images de coupe transversale de tige d' <i>Asparagus</i> et schéma conventionnel	41
Structure anatomique primaire de la tige des Monocotylédones	42
Exemple de la tige de <i>Juncus</i>	42
Images de coupe transversale de tige de <i>Juncus</i> et schéma conventionnel	43
Structure anatomique de la tige des Ptéridophytes	44
Exemple de la tige de <i>Selaginella</i>	44
Images de coupe transversale de tige de <i>Selaginella</i>	45
Exemple de la tige d' <i>Equisetum arvense</i>	47
Images de coupe transversale de tige d' <i>Equisetum arvense</i>	47
Structure anatomique secondaire de la tige de <i>Clematis</i>	48
Exemple d'une tige à pachyte discontinu	48
Images d'une coupe transversale de tige de <i>Clematis</i> et schéma conventionnel	49
Structure anatomique secondaire de la tige d'une Dicotylédone	50
Exemple d'une tige à pachyte discontinu et à phloème pérимédullaire : <i>Bryonia</i>	50
Images de coupe transversale de tige de <i>Bryonia</i> et schéma conventionnel	51
Structure anatomique secondaire de la tige d'une Dicotylédone	52
Exemple d'une tige à pachyte continu et formations péridermiques superficielles : <i>Sambucus</i>	52-54
Images de coupes transversales de tiges de <i>Sambucus</i>	53
Tige de <i>Sambucus</i> (coupes transversales) et schéma conventionnel	55
Coupe transversale de tige de <i>Vitis vinifera</i> (Dicotylédone)	56
Exemple de tige à pachyte continu et formations péridermiques profondes	56
Images de coupe transversale de tige de <i>Vitis</i> et schéma conventionnel	57
Coupe transversale de tige de <i>Lamium album</i> (Dicotylédone)	58
Exemple de tige à cambium continu et pachyte discontinu	58
Images de coupe transversale de tige de <i>Lamium album</i> et schéma conventionnel	59
Coupe transversale de tige de <i>Foeniculum</i> (Dicotylédone)	60
Exemple de tige chlorophyllienne à canaux sécréteurs	60
Images de coupe transversale de tige de <i>Foeniculum</i> et schéma conventionnel	61
Coupe transversale de tige de <i>Spartium junceum</i> (Dicotylédone)	62
Exemple de tige chlorophyllienne à pachyte continu et fibres	62
Images de coupe transversale de tige de <i>Spartium</i> et schéma conventionnel	63
Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones	64
Exemple de feuille à structure bifaciale : <i>Laurus nobilis</i>	64
Images de coupe transversale de feuille de <i>Laurus nobilis</i> et schéma conventionnel	65
Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones	66
Exemple de feuille adaptée à la sécheresse : <i>Nerium oleander</i>	66
Image de coupe transversale de feuille de <i>Nerium</i> au niveau de la nervure médiane	67
Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones	68
Exemple de feuille à structure monofaciale : <i>Lavandula</i>	68
Images de coupe transversale de feuille de <i>Lavandula</i>	69
Structure anatomique de la feuille des Monocotylédones	70
Exemple de feuille adaptée à la sécheresse : <i>Ammophila arenaria</i>	70
Image de coupe transversale de feuille d' <i>Ammophila</i>	71

Structure anatomique de la feuille des Monocotylédones -----	72
Exemple de feuille à structure monofaciale : <i>Iris</i> -----	72
Image de coupe transversale de feuille d' <i>Iris</i> -----	73
Structure anatomique de la feuille des Gymnospermes-----	74
Exemple d'une feuille aciculaire : <i>Pinus</i> -----	74
Images de coupe transversale d'aiguille de <i>Pinus</i> et schéma conventionnel -----	75
Quelques éléments du tissu sécréteur -----	76
Images de quelques éléments du tissu sécréteur -----	77
Références -----	78
Table des matières-----	79

Remerciements

Nous exprimons notre gratitude envers tous ceux qui nous ont aidés à réaliser cet opuscule d'enseignement :

- *Claudine Reille a assuré la dactylographie et la mise en page du texte et des photos;*
- *Laurence Affre, Alain Geslot et Brigitte Talon ont mis à notre disposition les collections de préparations microscopiques dont ils sont les gestionnaires;*
- *Valérie Andrieu-Ponel, Brigitte Talon et Marjolaine Reille ont été des lectrices attentives et avisées;*
- *Christophe Poggi et Florent Cheylan, les reprographes du service Imprimerie de notre Faculté ont assuré la numérisation des images;*
- *le professeur J.-P. Zahra a accepté que l'UFR de Propédeutique scientifique qu'il dirige soit le producteur de cet ouvrage qui sera offert à nos étudiants;*
- *J.-L. de Beaulieu, le directeur du Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie en est l'éditeur.*

M. R. et M. L.

Autres livres de M. REILLE :

- REILLE M., 1990. - Leçons de palynologie et d'analyse pollinique. 206 p. Éditions du CNRS, Paris
- REILLE M., 1999. - Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord, seconde édition, 544 p. Éditeur : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille. *Ce livre contient 13 195 photos représentant spores et pollen de 2 276 taxons appartenant à 900 genres de 190 familles* (prix 244 €)
- REILLE M., 1995. - Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Supplément 1. 332 p. Éditeur : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille. *Ce livre contient 8 082 photos représentant spores et pollen de 1 615 taxons appartenant à 581 genres de 114 familles* (prix 122 €)
- REILLE M., 1998. - Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Supplément 2. 521 p. Éditeur : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille. *Ce livre contient 12 867 photos représentant spores et pollen de 2 180 taxons appartenant à 788 genres de 153 familles* (prix 244 €)
- REILLE M., 1999. - Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Index, 243 p.
Éditeur : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille (prix 15 €)
- REILLE M., 2000. - Images de la reproduction des végétaux et notions fondamentales associées, 98 p. Éditeur : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille
(prix 7,62 €)
- REILLE M. 2010.—Images de quelques arbres et arbustes de Lozère et d'ailleurs. Telabotanica

Adresse :

Maurice REILLE :
F48000 BRENOUX Venède
04 664806 40
maurice.reille@neuf.fr

ISBN : 2-9507175-6-X

Les auteurs

Maurice Reille est un paléoécologiste dont les recherches s'intéressent à l'histoire de la végétation, du climat et de l'action humaine dans tous les pays du bassin de la Méditerranée occidentale ainsi qu'en Europe orientale et centrale; il est Maître de Conférences hors classe à l'Université d'Aix-Marseille 3 où il a enseigné l'anatomie végétale pendant deux décennies.

Martin Lavoie est un paléoécologiste spécialisé en analyse pollinique et macrorestes végétaux. Ses travaux portent entre autres sur la dynamique des tourbières, les changements des niveaux lacustres et l'histoire de la végétation et du climat en France et au Québec. Il est Maître de Conférences à l'Université d'Aix-Marseille 3.

L'ouvrage

C'est une illustration commentée en 103 photos et 22 schémas, des tissus végétaux et de l'anatomie, principalement en coupe transversale, de la tige, la racine et la feuille de 22 exemples classiques de Cryptogames vasculaires, Gymnospermes et Angiospermes (Monocotylédones et Dicotylédones).

Le Public

À but essentiellement pédagogique, cet opuscule s'adresse à tous les étudiants en Botanique, à tous les niveaux de leur cursus. Il sera utile :

- aux élèves des classes de terminale des lycées
- aux étudiants des DEUG scientifiques (Sciences de la vie)
- aux étudiants de premier cycle en pharmacie
- aux étudiants des classes préparatoires "agro"
- aux candidats aux Capes et Agrégation de Sciences naturelles.