

TP n°2 : La tige, un système ramifié de distribution des sèves

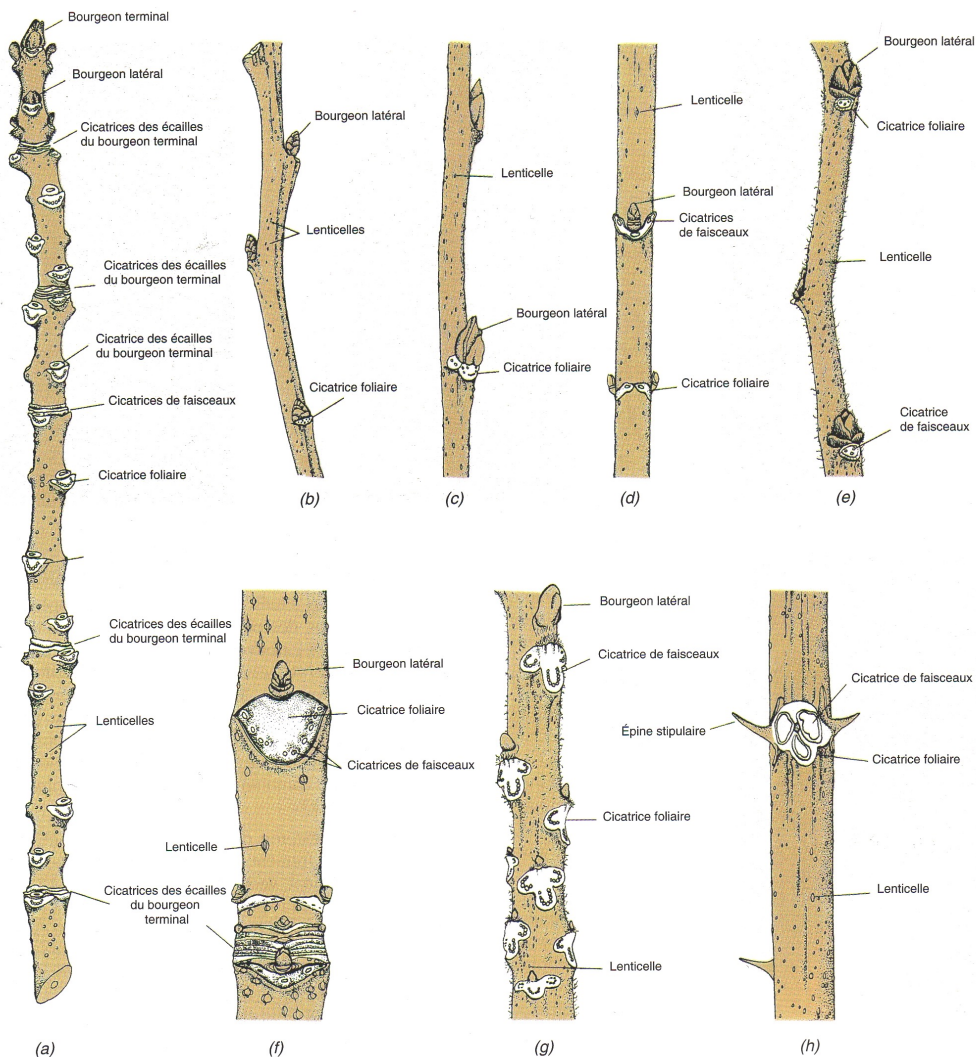
**I- Morphologie générale des tiges d'Angiospermes :**

**A- Reconstitution de l'histoire d'un rameau :**

Chaque année, une plante ligneuse produit une **unité de végétation**, qui correspond à une portion de tige, avec plusieurs nœuds et donc plusieurs feuilles et bourgeons axillaires. Lors de sa mise en place, au printemps, cette tige est chlorophyllienne et souple, comme chez les plantes herbacées. Pendant l'été suivant, la portion de tige produite s'épaissit et se rigidifie grâce à la mise en place de tissus secondaires (bois et écorce). Une unité de végétation est donc la portion de tige développée en un an.

→ En analysant le rameau de Marronnier fourni, construire un schéma des différentes unités de croissance

**Document 1 : Diversité des rameaux ligneux :**



Caractéristiques externes des tiges ligneuses. L'examen des rameaux de plantes ligneuses décidues permet d'identifier maints caractères importants du développement et de la structure de la tige. Les structures les plus apparentes sur les rameaux sont les bourgeons. Ces derniers sont situés au sommet — les bourgeons terminaux — ou à l'aisselle des feuilles — les bourgeons latéraux, ou axillaires. Il existe en outre des bourgeons annexes chez certaines espèces. Généralement présents par paires, les bourgeons annexes sont situés des deux côtés des bourgeons latéraux. Chez certaines espèces, ils restent dormants si le bourgeon latéral auquel ils sont asso-

ciés se développe normalement. Chez d'autres, ils produisent des fleurs et le bourgeon axillaire forme une pousse feuillée.

Après la chute des feuilles, on peut voir des cicatrices foliaires, avec les traces de leurs faisceaux, sous les bourgeons latéraux. La cicatrice provient de l'assise protectrice de la zone d'abscission. Les traces des faisceaux sont les extrémités des faisceaux conducteurs qui s'étendaient de la trace foliaire au pétiole avant l'abscission, et qui ont été brisés.

Des groupes de cicatrices d'écailles des bourgeons terminaux précédents ; on

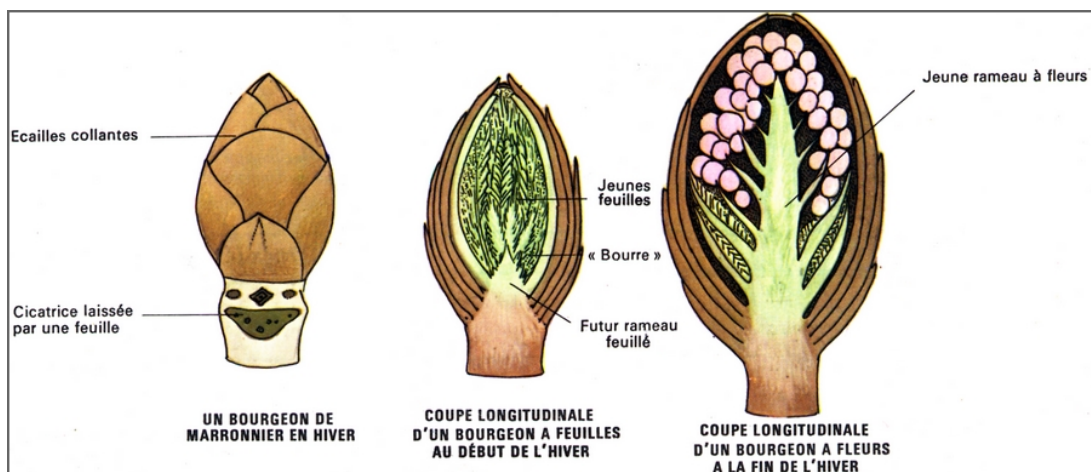
peut s'en servir pour déterminer l'âge des portions de tige, tant qu'ils n'ont pas été masqués par la croissance secondaire. La portion de tige séparant deux groupes de ces cicatrices représente la croissance d'une année. Les lenticelles apparaissent comme des zones légèrement bombées à la surface de la tige. (a) Frêne (*Fraxinus pennsylvanica* var. *subintegerrima*). (b) Chêne blanc (*Quercus alba*). (c) Tilleul (*Tilia americana*). (d) Érable (*Acer negundo*). (e) Orme d'Amérique (*Ulmus americana*). (f) Marronnier (*Aesculus hippocastanum*). (g) Noyer (*Juglans cinerea*). (h) Robinier (*Robinia pseudoacacia*).

## B- Les différents types de bourgeons :

Les bourgeons sont des organes portés par la tige et responsables de sa croissance en longueur, ainsi que de la mise en place des feuilles et d'éventuelles ramifications latérales de la tige. On distingue, selon leur position le long de la tige, le bourgeon **terminal** (à l'extrémité de la tige dont il a permis la croissance) et les bourgeons **axillaires** (à l'aisselle des feuilles). Suivant leur protection de surface, on distingue également les bourgeons **nus** (spécifiques des plantes herbacées) et les bourgeons **écailleux**, recouverts de cires imperméables et contenant de la bourre isolante (permettant de passer l'hiver chez les plantes ligneuses). Enfin, les bourgeons **végétatifs** mettront en place des tiges feuillées, alors que les bourgeons **reproducteurs** donneront naissance à des fleurs ou des inflorescences.

→ Réaliser un dessin comparatif d'un bourgeon Marronnier et d'un chou de Bruxelles.

Document 2 : Evolution du bourgeon de Marronnier au fil des saisons :



## C- Bourgeons et ramifications latérales de la tige :

Chaque unité de végétation contient plusieurs phytomères. Un **phytomère** est une unité comprenant un entrenœud, un nœud, une feuille et un bourgeon axillaire. Chaque phytomère peut donc théoriquement être à l'origine d'une ramification. Cependant, le bourgeon terminal inhibe le développement des bourgeons axillaires les plus proches, ce qui limite le nombre de ramifications.

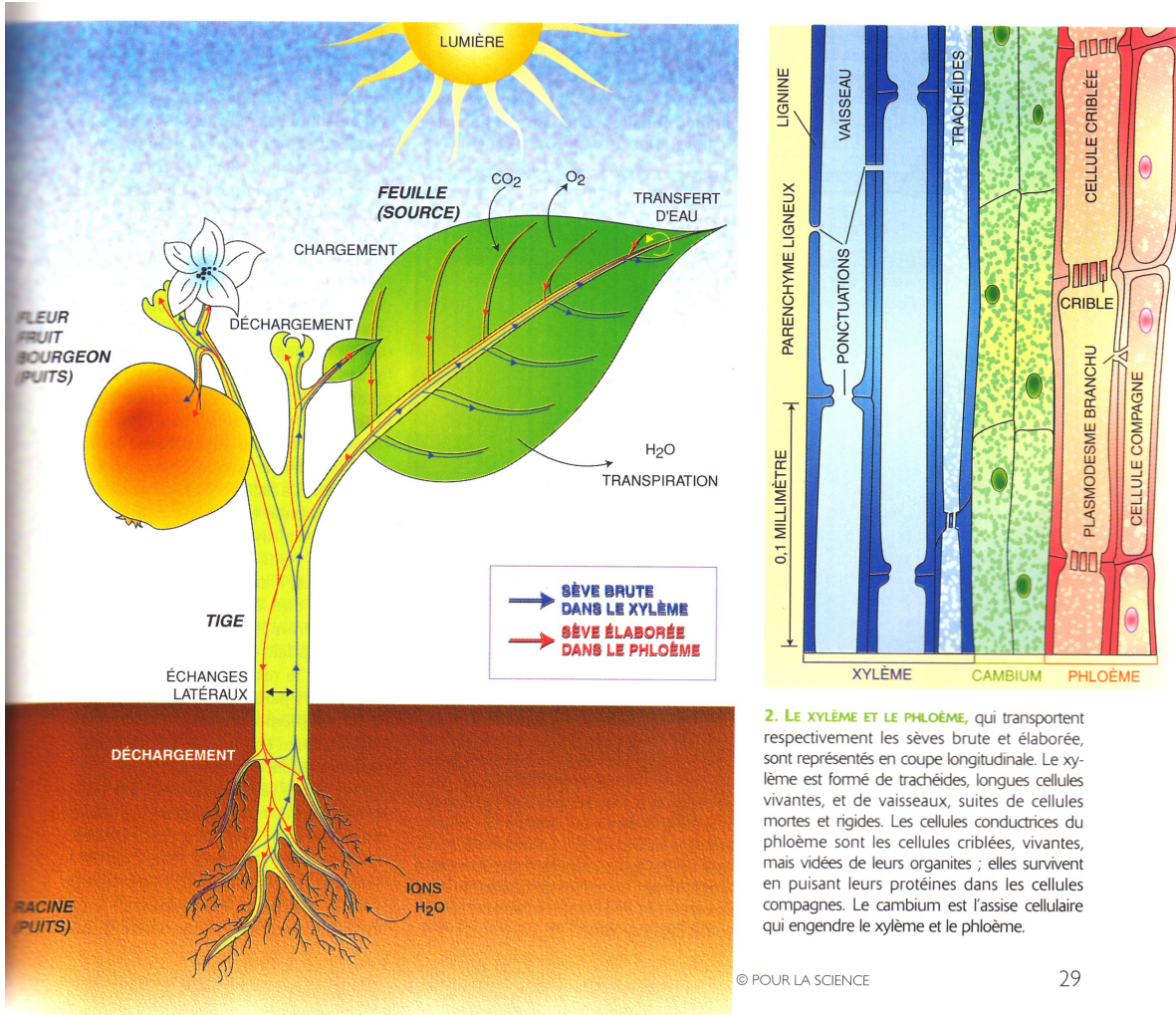
Le fonctionnement des différents bourgeons (terminal, axillaires) va déterminer la disposition des différents rameaux et donc le port du végétal, typique de l'espèce étudiée. Ainsi, lorsque la croissance des bourgeons terminaux prédomine, on obtient un port **dressé** (arbre) avec une tige principale prédominante (tronc). Au contraire, lorsque le développement des bourgeons axillaires de la base est important, on obtient un port **rampant** (buisson).

## II- Anatomie des tiges d'Angiospermes :

### A- Comparaison des tiges de Dicotylédones et de Monocotylédones :

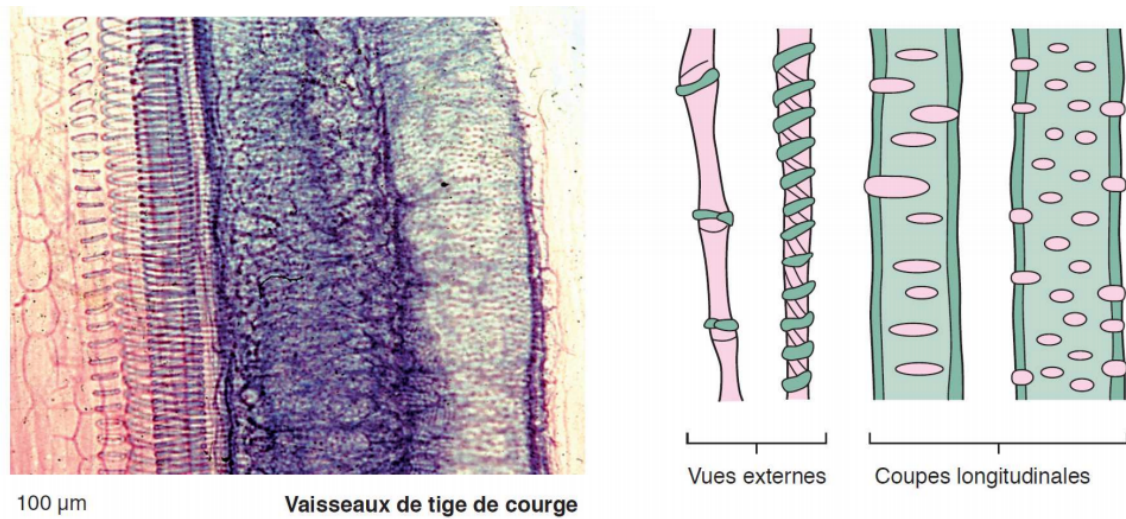
Des coupes transversales de tige montrent l'absence de cylindre central nettement délimité (contrairement aux racines). La surface de l'organe est recouverte d'un **épiderme stomatifère** plus ou moins cutinisé, permettant les échanges gazeux et limitant les pertes d'eau. A l'intérieur des tiges, on trouve du parenchyme chlorophyllien dans le cortex (parenchyme cortical) et dans la moelle (parenchyme médullaire). Parfois, les cellules du parenchyme médullaire régressent et laissent place à une grande **lacune** centrale. On observe également des **tissus de soutien** donnant la forme à la tige, tels que du collenchyme (à parois pecto-cellulosiques), souvent situé juste sous l'épiderme, ou du sclérenchyme (contenant uniquement des fibres à parois lignifiées), fréquent chez les Monocotylédones.

Document 3 : Transport des sèves dans le xylème et le phloème



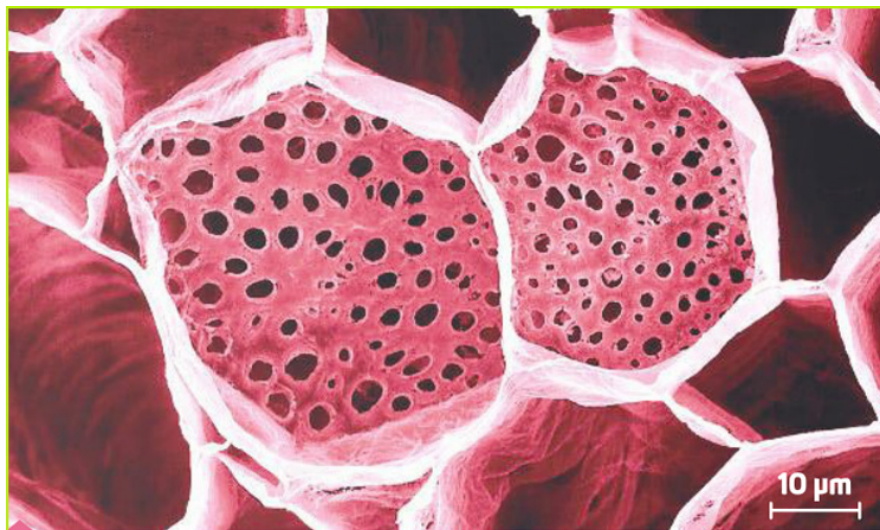
Dans les tiges de monocotylédones et les jeunes tiges de Dicotylédones, on observe du **xylème primaire**, issu de l'activité d'un méristème primaire. Celui-ci contient du **protoxylème** (premiers éléments à se mettre en place) constitué de trachéides : les **trachéides** sont des files de cellules allongées et lignifiées. Les parois transversales entre cellules sont maintenues et la sève circule donc uniquement par le biais des ponctuations. Lors de la croissance ultérieure de la tige (en largeur et en épaisseur), le protoxylème sera étiré et écrasé (la lumière des cellules du protoxylème est donc très peu visible sur les CT). On observe également dans le xylème primaire quelques éléments de **métaxylème** constitué de vaisseaux vrais : les éléments de vaisseau sont des cellules courtes et dix fois plus épaisses que les trachéides (300  $\mu\text{m}$ ). Elles ont subi une différenciation cellulaire poussée, incluant une apoptose, et les parois transversales entre cellules ont été hydrolysées (perforations). Dans le xylème primaire, on peut observer différents types de lignification (vaisseaux annelés, spiralés, rayés ou ponctués).

Document 4 : Différents types de lignification de la paroi des éléments conducteurs du xylème  
(D'après Segarra et al. 2015)



De la même façon, dans les tiges de monocotylédones et les jeunes tiges de Dicotylédones, on observe du **phloème primaire**, issu de l'activité d'un méristème primaire. Celui-ci contient du **protophloème** (premiers éléments à se mettre en place) constitué de cellules vivantes à paroi non lignifiées : Les cellules criblées sont associées par leur parois transversales perforées (**cribles**) : la sève élaborée circule dans les tubes criblés ainsi formés. Les cellules criblées sont toutes associées à une cellule compagne. On trouve également dans le phloème primaire quelques éléments de **métaphloème** (tubes criblés de diamètre plus important).

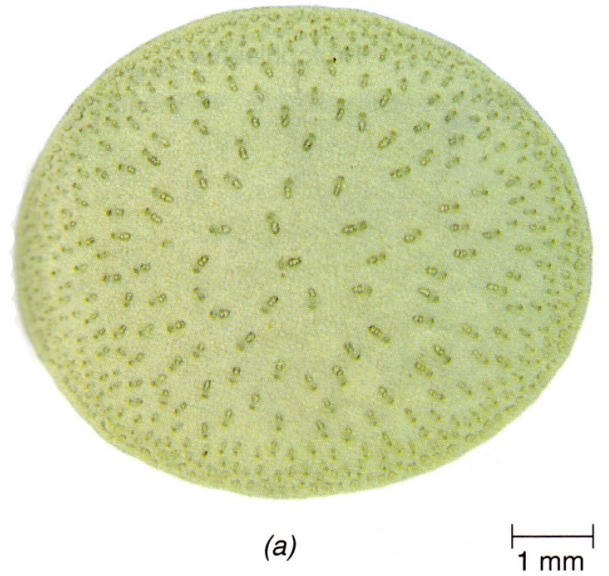
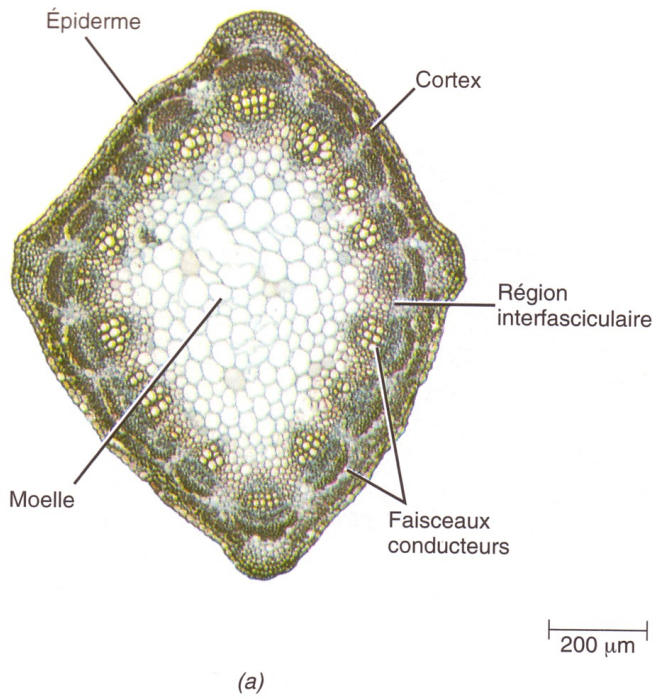
Document 5 : Observation au MEB du phloème



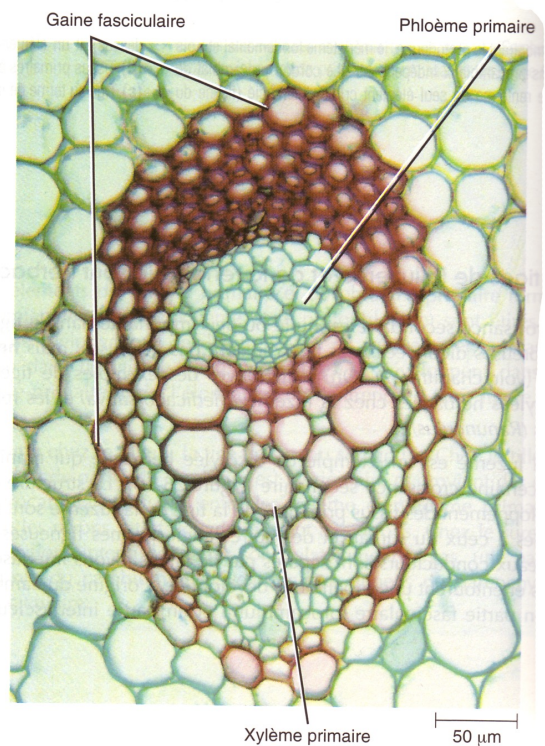
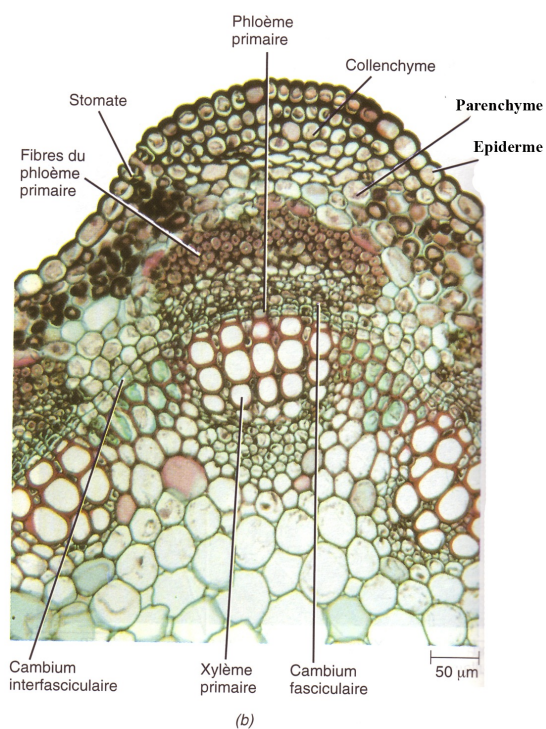
Dans la tige (et également les feuilles), le xylème primaire et le phloème primaire sont regroupés au sein de **faisceaux cribro-vasculaires**. Ainsi, dans les tiges, on observe une superposition de xylème primaire à **différenciation centrifuge** (les pôles de protoxylème sont situés vers l'intérieur de la tige) et de phloème primaire à différenciation centripète (les pôles de protophloème sont situés vers l'extérieur de la tige). Parfois, le xylème primaire peut même englober le phloème primaire. Entre les 2 massifs de xylème et phloème, on observe quelques cellules rectangulaires indifférenciées, à paroi fine, qui constituent le **cambium**. La prolifération de ces cellules permettra de donner naissance aux tissus secondaires de la tige chez les Dicotylédones âgées. Chez les Dicotylédones, les FCV sont disposés sur un seul cercle, alors que chez les Monocotylédones, les FCV sont disposés sur plusieurs cercles concentriques (les FCV du centre étant plus gros que ceux de la périphérie).

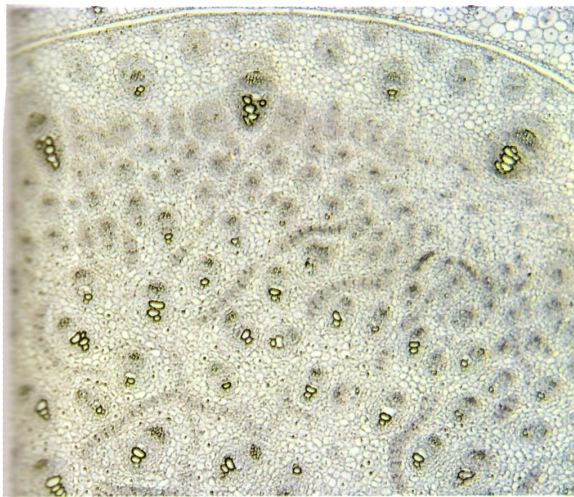
- Réaliser une coupe transversale de tige de Mercuriale (*Dicotylédone jeune*), la colorer, l'observer et faire le schéma d'interprétation correspondant.
- Comparer avec l'organisation d'une tige d'Asperge (*Monocotylédone*).

**Document 6 : Comparaison de la structure générale d'une tige de Dicotylédone (a, Luzerne) et de Monocotylédone (b, Maïs).**



**Document 7 : Détails des faisceaux cribro-vasculaires d'une Dicotylédone (Luzerne) (a et b)**



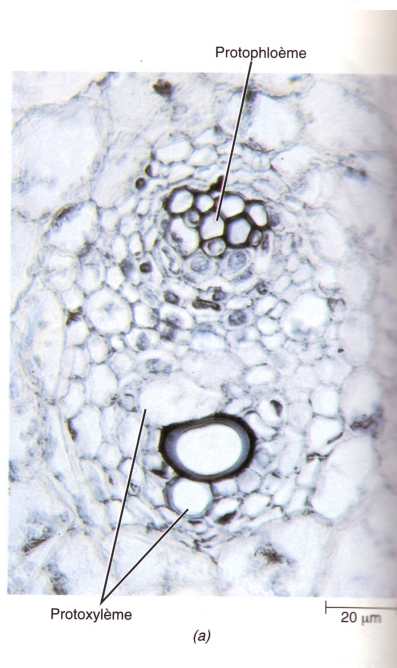


(b)

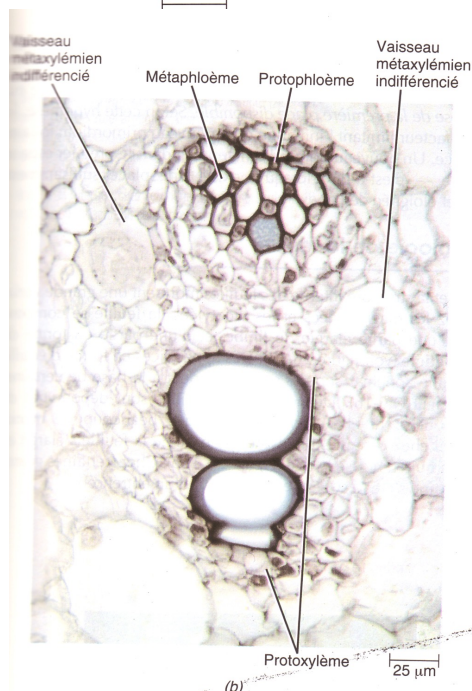
Document 8 : Détails des faisceaux cribro-vasculaires d'une Monocotylédone (Maïs)

a- Vue d'ensemble.

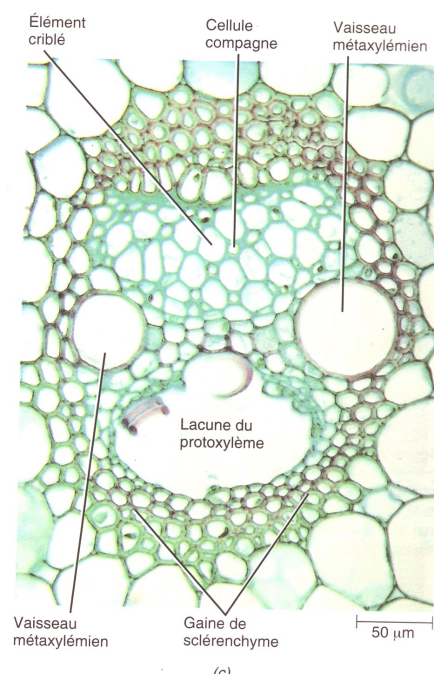
b -Les trois photographies ci-dessous illustrent la différenciation progressive des faisceaux conducteurs. A la fin de la différenciation, la partie du faisceau conducteur occupée auparavant par le protoxylème est remplacée par une vaste lacune (Monocotylédone uniquement).



(a)



(b)



(c)

**B- Observation du bois dans les tiges de Dicotylédones âgées :**

Dans les tiges de Dicotylédones âgées, on trouve du xylème secondaire, appelé également **bois**, tissu constitué de plusieurs types de cellules, conductrices ou non de la sève brute :

- des **fibres**, ayant un rôle de soutien et constituant 50 à 80 % du xylème secondaire : ce sont des cellules allongées à paroi très épaisse et très lignifiée.
- du **métaxylème**, comprenant des vaisseaux vrais, tous de type ponctué.
- du **parenchyme ligneux**, constitué de cellules à paroi peu épaisse et peu lignifiée, jouant un rôle dans le transport radial de la sève brute et le stockage de réserves durant l'hiver.

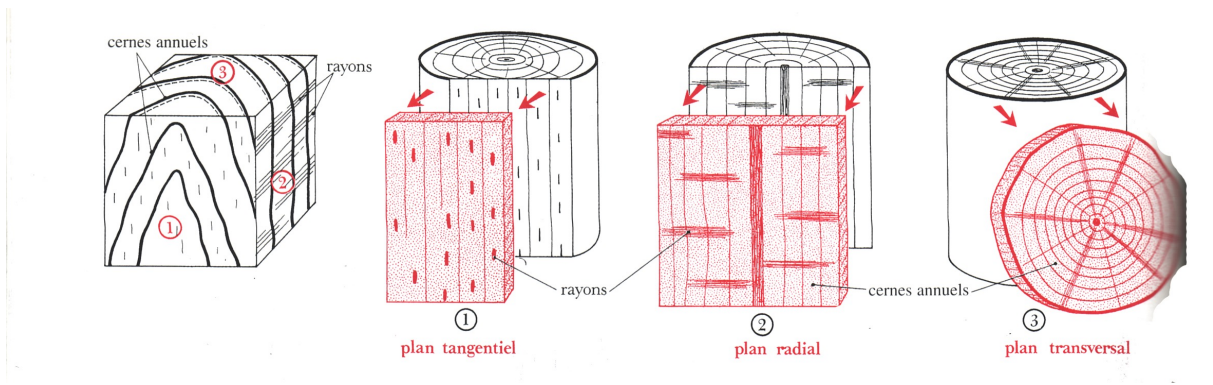
Dans les tiges âgées de Dicotylédones, on trouve également du phloème secondaire, appelé **liber**, qui est lui aussi un tissu composite contenant :

- des tubes criblés du **métaphloème**, ayant un rôle de conduction verticale.
- quelques **fibres** lignifiées.
- du **parenchyme libérien**, ayant une fonction de drainage radial et de stockage.

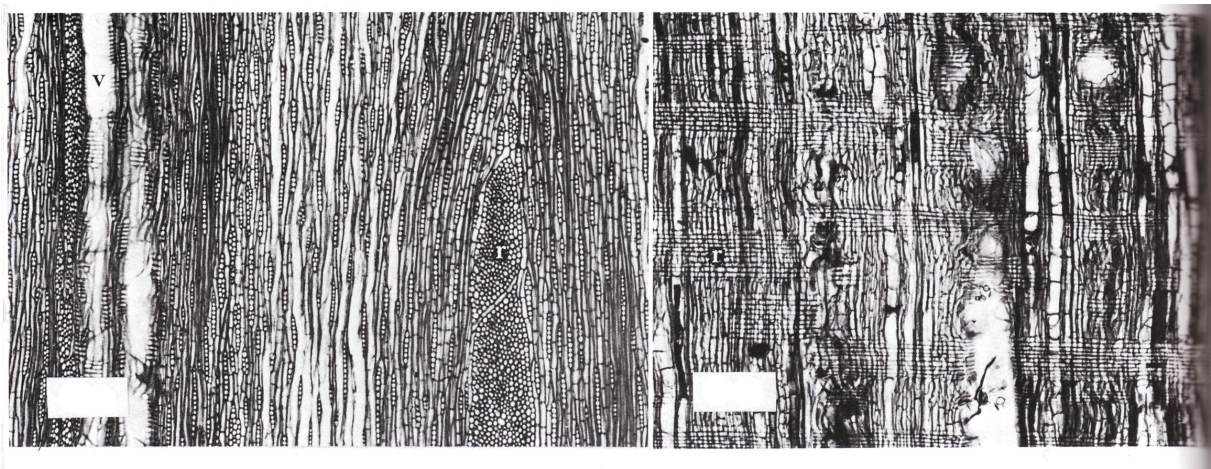
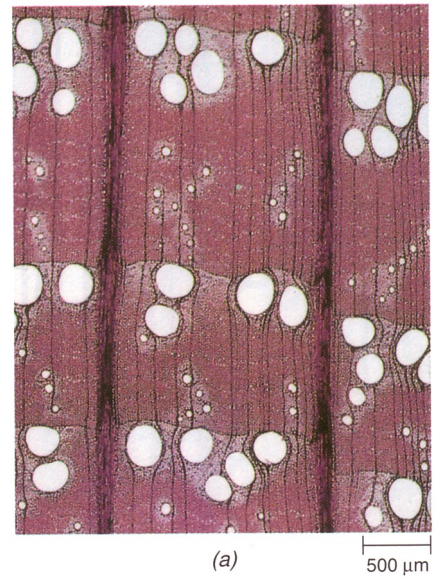
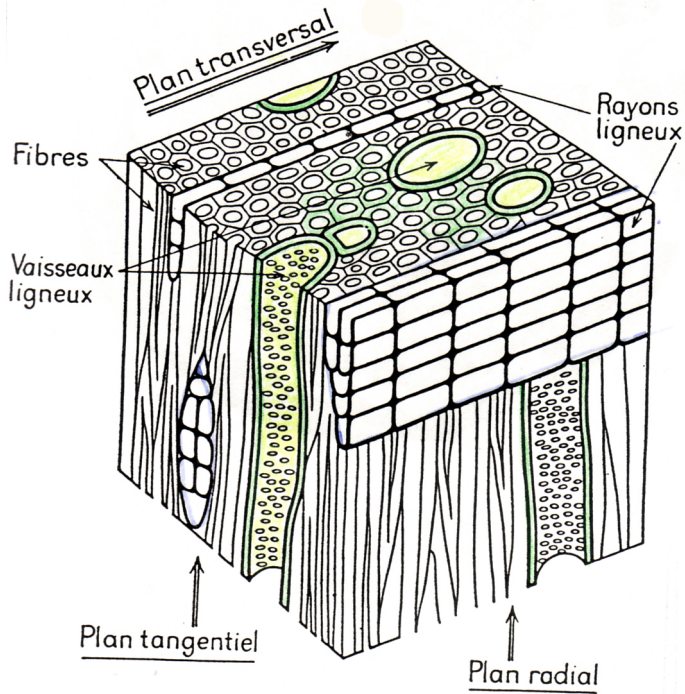
→ Réaliser une coupe transversale de tige de Lierre (*Dicotylédone âgée*), la colorer, l'observer et faire le schéma d'interprétation correspondant.

→ Comparer avec l'organisation d'une tige de Tilleul.

Document 9 : Les différents plans de coupe dans le bois



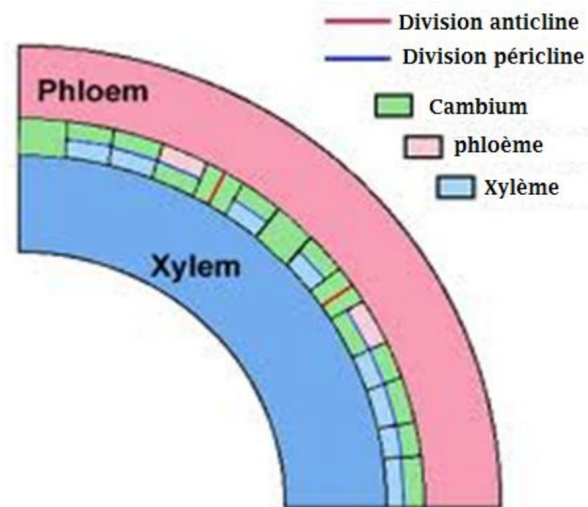
Document 10 : Bois en coupe transversale (a), en coupe tangentielle (b) et en coupe radiale (c).



La croissance en épaisseur (ou croissance secondaire) est due au fonctionnement de méristèmes différents des méristèmes apicaux, les **méristèmes secondaires**, ainsi nommés car ils apparaissent tardivement dans la vie de la plante, grâce à la dédifférenciation de certains tissus. Comme les méristèmes primaires, ces méristèmes sont constitués d'un ensemble de cellules se divisant activement. Cependant, les méristèmes secondaires sont disposés en couronnes dans la tige ou la racine. Les cellules des méristèmes secondaires subissent deux types de divisions :

- des divisions **anticlines** (cloison radiale, perpendiculaire au bord), peu fréquentes, elles permettent l'ajustement de la circonférence au fur et à mesure que le diamètre du végétal augmente.
- des divisions **périclines** (cloison tangentielle, parallèle au bord) qui forment des files de cellules permettant l'augmentation de diamètre. Lors des divisions périclines, les méristèmes secondaires produisent alternativement (de façon plus ou moins régulière) des cellules vers l'intérieur et vers l'extérieur de la tige ou de la racine :

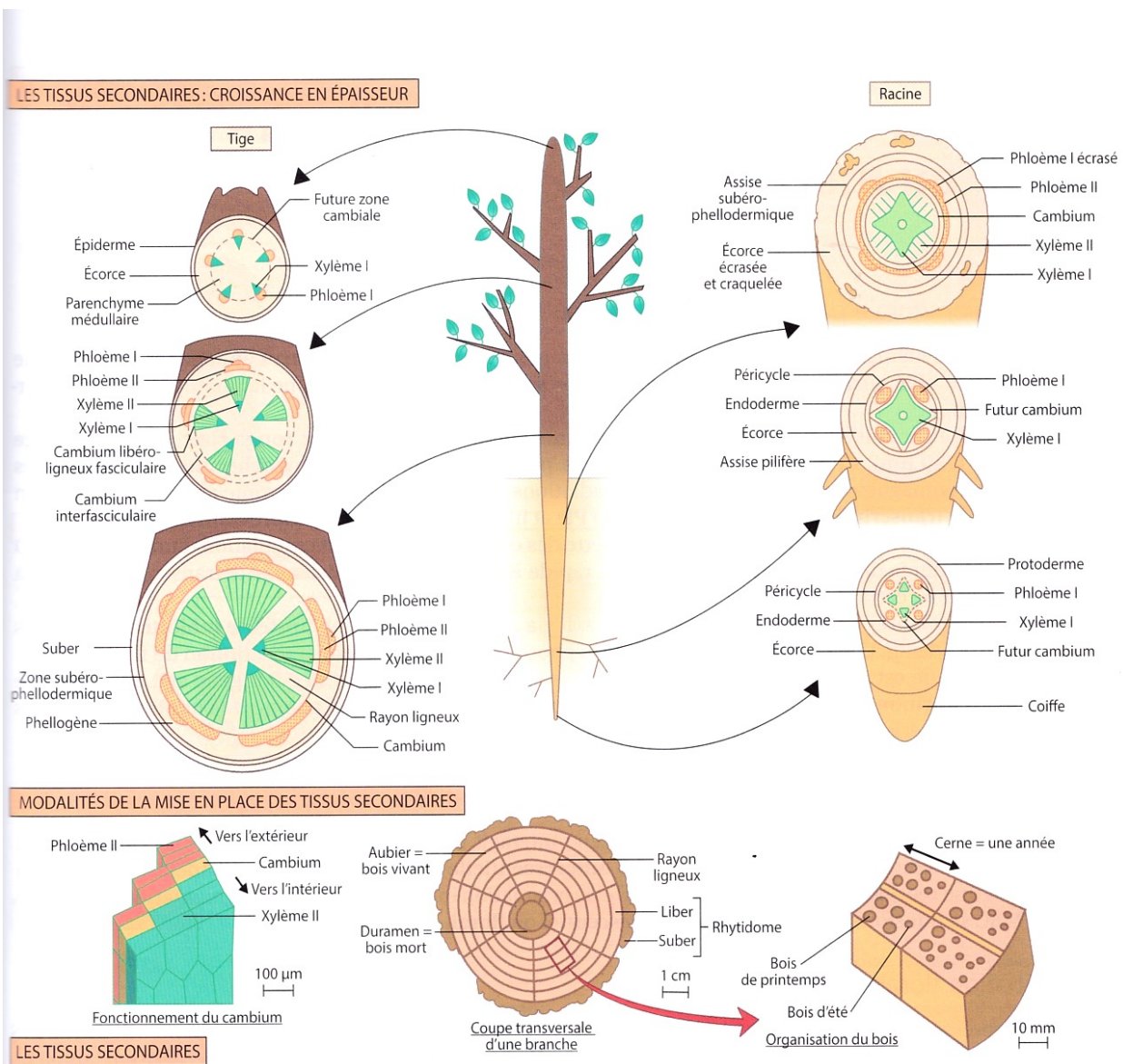
Document 11 : Divisions anticlines et périclines dans un méristème secondaire.



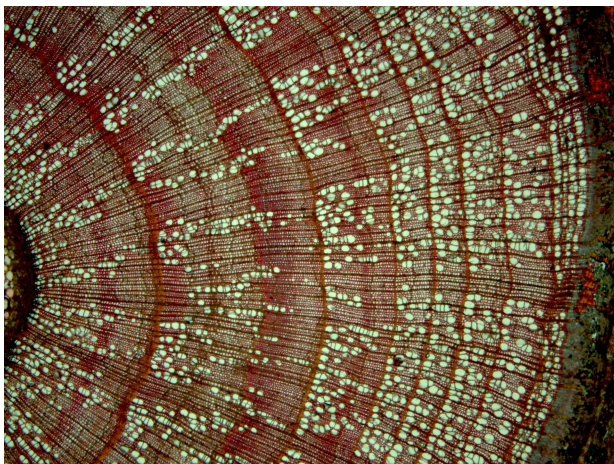
Il existe deux méristèmes secondaires différents :

- le **cambium** ou **Zone Génératrice Libéro Ligneuse (ZGLL)** produit les tissus conducteurs secondaires. Vers l'intérieur de l'organe, il y a production de bois (xylème secondaire), permettant le soutien et la conduction de la sève brute. Vers l'extérieur de l'organe, il y a production de liber (phloème secondaire) assurant essentiellement la conduction de la sève élaborée.
- le **phellogène** ou **Zone Génératrice Subéro Phellodermique (ZGSP)** se met en place sous la surface de l'organe. Il donne naissance, vers l'intérieur de l'organe, à quelques cellules de parenchyme chlorophyllien, formant le phelloderme. Vers l'extérieur, la ZGSP produit le liège ou suber, comprenant plusieurs couches de cellules aux parois subérifiées, dont la fonction est protectrice. Ce tissu étant imperméable, il provoque la destruction des structures plus externes, notamment de l'épiderme. Liège et suber forment le périderme. A mesure que la tige s'accroît, de nouveaux péridermes se forment, de plus en plus profondément dans la tige. L'ensemble des péridermes forme le **rhytidome** (écorce externe). Il est uniquement constitué de tissus morts (isolés par la subérine du reste de l'arbre). Les péridermes les plus anciens se craquent et se détachent donnant un aspect particulier à chaque espèce d'arbre.

## Document 12 : Mise en place des tissus secondaires dans la tige et la racine



Le fonctionnement de ces méristèmes est dépendant du cycle saisonnier (forte production de tissu au printemps et en été, arrêt de l'activité durant la mauvaise saison). Ceci provoque l'apparition de **cernes**, bien visibles dans le bois, dus à l'alternance du **bois de printemps** et du bois d'été et d'automne, qui ne sont pas constitués de cellules identiques (le bois printemps comprend de nombreux vaisseaux de gros diamètre, le **bois d'été et d'automne** continent davantage de fibres). Chaque cerne correspond donc à la quantité de bois produite durant une année, et son épaisseur varie selon les conditions de vie de l'année (température, pluviosité, lumière...). Il existe également des cernes dans le liber mais ceux-ci sont moins visibles car les cernes les plus externes sont écrasés par le fonctionnement des méristèmes secondaires



**Document 13** : Structure des cernes du bois dans une tige de Noisetier