

# ANATOMIE ET ÉCOLOGIE FONCTIONNELLES DES PLANTES SUPÉRIEURES





## TRAVAUX PRATIQUES

### TP1 : De la plante à la cellule : caractéristiques structurales et fonctionnalités

#### Objectifs

- Apprendre quelques techniques simples de préparation et d'observation pour le matériel végétal non fixé.
- Observer et documenter les caractéristiques morphologiques des organes végétatifs des plantes supérieures.
- Analyser la structure histologique des différents organes végétatifs.
- Mettre en relation la morphologie et la structure de l'organe végétatif avec ses fonctions.
- Identifier les **traits fonctionnels** significatifs quant aux contraintes écologiques dans le milieu naturel de chaque espèce.
- Illustrer les informations fournies dans le cours, notamment dans les chapitres 2 à 4.

#### Matériel végétal

Espèce	Classe	Famille	Type botanique / Stratégie écologique <sup>1</sup>	Habitat	Photo
<i>Picea abies</i>	Gymnospermes	Pinaceae	mésophyte / de conservation	Nord de l'Europe et régions montagneuses d'Europe centrale et méridionale	
<i>Rosmarinus officinalis</i>	dicotylédones	Lamiacées	xérophyte / de conservation	maquis méditerranéen	
<i>Cyperus zumula</i> & <i>Cyperus alternifolius</i>	monocotylédones	Cyperaceae	hygrophyte / d'acquisition	tropiques, Afrique & Madagascar	
<i>Chlorophytum comosum</i>	monocotylédones	Agavaceae	mésophyte / d'acquisition	Afrique du Sud et de l'Est	

<sup>1</sup>**Stratégie écologique** (« *Leaf economic spectrum* » *sensu* Wright et al. 2004) : **conservation** : privilégie le maintien et l'entretien des organes foliaires (propriétés : fort investissement en carbone, peu de nutriments / activité physiologique modérée, métabolisme secondaire et défenses développées / longue durée de vie) ; **acquisition** : privilégie l'acquisition rapide et l'exportation des assimilats vers les autres organes ; renouvellement accéléré des organes foliaires (propriétés opposées)

## Méthodes

### *Morphologie*

Dans un premier temps, examiner soigneusement chaque espèce étudiée *in situ* (pots transparents). Prélever un organe et compléter les observations sous la loupe et à l'aide des statifs pour téléphone portable. Concernant les organes aériens, observer en particulier la disposition des nervures, la morphologie des épidermes, des poils, des stomates ou de l'écorce. Dans le cas des racines, identifier et documenter les éventuelles mycorrhizes la zone de croissance/élongation, la zone absorbante, la zone de ramification et la longueur moyenne des poils absorbants, s'il y en a (alternative : exoderme ou mycorrhize). Documenter vos observations avec des prises de vues (appareil photo / téléphones portables). Les observations morphologiques sont réalisées, en principe, lors de la première séance de TP.

### *microtomie (1<sup>ère</sup> séance de TP)*

- Prélèvement de matériel frais à conserver dans H<sub>2</sub>O jusqu'à l'inclusion.
- Inclusion dans un cylindre de carotte, selon instructions.
- Obtention de coupes épaisses (idéalement : 70 µm) avec un microtome manuel.
- Transfert des coupes dans un verre de montre avec H<sub>2</sub>O (selon instructions).

**La procédure est illustrée dans un clip vidéo fourni dans l'archive de TP :**

***"Fresh cuttings using a hand-microtome.mp4"***

### *coloration (2<sup>ème</sup> séance de TP)*

- Coloration avec la **coloration triple**. Protocole :

#### **Coloration triple (safranine/fuch sine basique/bleu astra)**

La safranine colore une partie du contenu cellulaire, notamment vacuolaire, en pourpre; la fuch sine colore les parois lignifiées en rose; le bleu astra colore les parois cellul osiques en bleu.

Réactif (fourni et prêt à l'emploi): safranine: 0.5 g, bleu astra: 2.5 g, fuch sine basique: 0.5 g, à dissoudre dans 500 ml d'eau distillée; ajouter 20 ml d'acide acétique glacial et compléter à 1000 ml avec H<sub>2</sub>O. Filtrer la solution avant l'emploi

Coloration (à effectuer): remplacer H<sub>2</sub>O dans le verre de montre par quelques gouttes de réactif et colorer 10' (couvrir pour éviter l'évaporation). Contraster et rincer l'excès de colorant avec de l'alcool technique (! ne jamais laisser sécher !) puis avec H<sub>2</sub>O. Transférer les coupes sur des lames porte-objet (dans une goutte d'eau avec une pipette plastique tronquée) et monter les coupes dans de la glycérine : H<sub>2</sub>O (8 : 2).

- Annoter la préparation au crayon (plante/organe/coloration/préparateur/date)
- Conserver les coupes à plat dans un cartable jusqu'à l'observation.

### Observations et organisation du travail

**Matériel végétal** : observations morphologiques sur **matériel frais**, **coupes histologiques à effectuer**, observations microscopiques sur **coupes préparées en TP** et sur **préparations permanentes**.

Espèce	Organe	Observations morphologiques	Coupe	Observations microscopiques
Picea	aiguille	+	+	+, +
	rameau de l'année	+	+	+, +
	racines conductrices lignifiées	+	-*	(+)*
	racines absorbantes	+	-*	(+)*
	et zone de ramification	+	-*	
Rosmarinus	Feuille	+	+	+, +
	tige (herbacée/lignifiée)	+	+	+, +
	racine (absorbante/conductrice/lignifiée)	+	-	+
Cyperus	feuille	+	+	+, +
	tige	+	+	+, +
	racine	+	-	-
Chlorophytum	feuille	+	+	+, +
	tige (herbacée)	+	+	+, +
	racine (en croissance/absorbante/conductrice)	+	-	+

\*des coupes semi-fines seront observées au cours du TP3

Les coupes épaisses (70 µm) sont réalisées lors de la première séance de TP, avec les microtomes à main fournis (1 organe et 2 espèces par groupe). Les coupes semi-fines (2 µm) sont mises à disposition (boîtes vertes).

**Organisation du travail** : Chaque groupe (en principe trois personnes) observe deux espèces appartenant à deux classes différentes. Lors de la **première séance** du TP1, la priorité est donnée à la morphologie et à la préparation de coupes épaisses. En **deuxième séance**, la priorité va aux observations histologiques et cytologiques sur la base des coupes préparées et de celles mises à disposition.

**Remarque** : Un article de recherche sur les effets du stress hydrique chez le romarin est fourni dans l'archive téléchargée.

### Résultats attendus

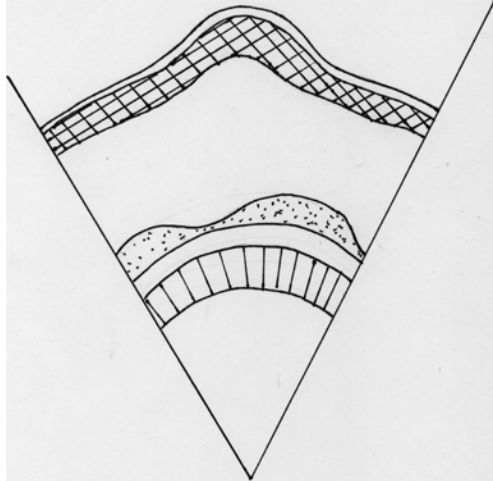
#### Morphologie

- sur une photo ou un croquis de la plante, indiquer la position des différentes préparations
- sur la base des annexes 2 et 3 (extraits du chap. 4), caractériser le type de système racinaire et les zones fonctionnelles de la racine

#### Microscopie

- observation et analyse des coupes :

- Analyse et représentation schématique de la composition histologique des organes étudiés, en utilisant la clé de symboles fournie (annexe 1) et les annexes 4-6. Exemple pour la tige herbacée de Rosmarinus (tige quadrangulaire à symétrie axiale => représentation seulement d'un quart de la section de la tige) :



- Observations de détail pour chaque type de préparation sur la base de l'aide-mémoire ci-dessous
- Documentation des observations avec des prises de vue (voir ci-dessous).
- Synthèse des observations, en faisant le lien entre les caractéristiques structurales, l'activité physiologique de l'organe et les affinités écologiques de l'espèce
- Légende et analyse de la photo de microscopie électronique fournie avec ce protocole et dans l'archive de TP.

#### *Prises de vue*

- morphologie :
  - votre téléphone portable, directement en utilisant les fonctions de loupe et la lampe intégrée à l'appareil
  - l'adaptateur fourni et la loupe binoculaire, pour la macro à fort grossissement (voire le protocole spécifique fourni dans l'archive de TP et mis à disposition avec les adaptateurs)
- microscopie :
  - les micrographies fournies en microscopie photonique et électronique dans l'archive de TP, à annoter (histologie, structures remarquables)
  - votre téléphone portable monté sur un adaptateur pour oculaire (voire le protocole spécifique fourni dans l'archive et mis à disposition avec les adaptateurs)

## Aide-mémoire pour les structures microscopiques remarquables dans chaque préparation

### Picea

Observer, déterminer et documenter :

#### *aiguille*

- la structure histologique compacte (référence: document 3/39, annexe 6)
- les tissus et les structures de revêtement renforcés (hypoderme et épiderme sclérifiés, stomates au niveau de l'hypoderme, chambre sus- et sous-stomatique, cuticule épaisse, référence: doc. 3/39, 3/42)
- le mésophylle avec les replis internes des parois (référence: document 2/15)
- le cylindre central et ses tissus (référence: annexe 6)

#### *Tige*

- les parties herbacées et lignifiées de la tige (référence: document 3/34)
- l'arrangement relatif des tissus primaires et secondaires, l'activité cambiale et les cellules en cours de différenciation (référence: document 3/34, 49-51)
- le bois homoxylé (référence: document 3/51)

#### *Racines*

##### Racine à tissus lignifiés et fonction de conduction/stockage

- l'arrangement relatif des tissus primaires et secondaires, les tissus conducteurs et les similitudes/différences avec la tige (référence: document 3/34, 48-51, annexes 2-5)
- l'âge de la racine
- à fort grossissement : les divisions cambiales, le nombre d'initiales (repérer les parois périclines les plus fines) et la différenciation des cellules dérivées (référence: document 3/34)

#### *En conclusion*

- Dresser une liste des caractéristiques structurales xéromorphiques permettant à l'épicéa d'endurer la sécheresse hivernale, suite à l'interruption de la circulation de la sève (référence: document 3/43).

### Rosmarinus

Observer, déterminer et documenter :

#### *Feuilles*

##### Faisceau conducteur

- structure transversale et longitudinale du xylème primaire (référence: document 3/48)
- les fibres libériennes (référence: document 3/34, 37, 39)
- les tissus conducteurs primaires et secondaires (référence: document 3/49-51)

##### Limbe

- le dimorphisme des tissus et structures de revêtement ad- et abaxiaux (hypoderme, épiderme et cuticule, référence: document 3/40, 42)
- à fort grossissement : les cryptes pilifères / les stomates / les parenchymes palissadiques et lacuneux / les métabolites secondaires dans le mésophylle / les poils sécréteurs (déterminer le nombre de cellules sécrétrices) (référence: document 2/19, 3/35, 47)

#### *Tige*

- les parties herbacées et lignifiées de la tige (référence: document 3/34, 39)
- l'arrangement relatif des tissus primaires et secondaires, l'activité cambiale et les cellules en

- cours de différenciation (référence: document 3/34, 39)
- les fibres libériennes (référence: document 3/34, 37, 39)
- les tissus de revêtement et le collenchyme angulaire (référence: document 3/36, 39, 40, 47).
- à fort grossissement : les poils tecteurs et sécréteurs (documents 2/19, 3/47)

### *Racines*

#### Racine à tissus lignifiés et fonction de conduction/stockage

- l'arrangement relatif des tissus primaires et secondaires, les tissus conducteurs et les similitudes/différences avec la tige (référence: document 3/34, 49-51)
- l'âge de la racine
- à fort grossissement : les divisions cambiales, le nombre d'initiales (repérer les parois péricleines les plus fines) la différenciation des cellules dérivées (référence: document 3/34)

#### Racine à tissus primaires et fonction de conduction (référence: annexes 2-5)

- l'organisation histologique typique d'une racine conductrice à tissus primaires
- le proto- / méta-xylème et –phloème (le protophloème est oblitéré)
- le cambium fraîchement différencié
- l'endoderme et son cadre de Caspary, la subérisation de la paroi (en bleu foncé dans la coupe avec révélation spécifique des lipides)
- le cortex et ses méats et l'exoderme subérisé sous les restes dégénérés du rhizoderme

#### Racine à tissus primaires et fonction d'absorption (référence: annexes 2-5)

- l'organisation histologique typique d'une racine absorbante
- les tissus conducteurs (proto-xylème et –phloème)
- l'endoderme et son cadre de Caspary, la subérisation de la paroi (en bleu foncé dans la coupe avec révélation spécifique des lipides)
- le cortex avec ses méats et l'exoderme subérisé

### *En conclusion*

- Décrire les changements structuraux accompagnant le changement des fonctions racinaires de l'absorption à la formation d'organes pérennes pour la conduction et le stockage des nutriments.
- Dresser une liste des caractéristiques structurales confirmant que *Rosmarinus* est une xérophyte héliophile.
- Analyser les effets morphologiques du stress hydrique, sur la base de l'article de recherche fourni.

## **Cyperus**

### *Feuilles*

#### Faisceau conducteur

- Observer l'arrangement du proto- (lacune) et du métaxylème, différencier les types cellulaires dans le phloème (référence : document 3/38, 49)

#### Limbe

- *Cyperus* est une plante en C4 (voir le deuxième encarté ci-dessous). Documenter les caractéristiques structurales prouvant cette affirmation. En référence aux documents 2/10 et 3/35, 40 (plantes en C3) et en vous aidant des micrographies de microscopie électronique en fin de protocole, établir une liste comparative des caractéristiques respectives des plantes en C3 et C4.
- Observer et documenter la structure de l'épiderme supérieur et les cellules bulliformes : En observant la morphologie des feuilles entières et en tenant compte des autres structures protectrices, discuter le mode de fonctionnement potentiel et les avantages probables procurés par cette structure pour les organes foliaires.

**Bulliform cells** are large, bubble-shaped [epidermal cells](#) that occur in groups on the upper surface of the leaves of many [grasses](#). Loss of [turgor pressure](#) in these cells causes leaves to "roll up" during water stress. During [drought](#), the loss of moisture through [vacuoles](#) induces bulliform cells to cause the leaves of many grass species to close as the two sides of the grass blade fold up toward each other. Once adequate water is available, these cells enlarge and the leaves open again. Folded leaves offer less exposure to sunlight, so they are heated less thus reducing evaporation and conserving the remaining water in the plant.

Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bulliform\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Bulliform_cell)

#### 3.1.6.6 Cycle des acides dicarboxyliques en C<sub>4</sub>

Un certain nombre d'espèces de graminées comme le maïs, la canne à sucre et le millet, les *Amaranthaceae*, ainsi que d'autres familles de plantes (*Chenopodiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Portulacaceae*), se signalent par leur rendement photosynthétique très haut qui, de toute évidence, repose sur une utilisation spécialement efficace du gaz carbonique, même en cas de très faible disponibilité.

**Particularités du métabolisme en C<sub>4</sub>**. L'affinité particulièrement élevée pour le gaz carbonique (point de compensation du gaz carbonique très bas!) est en relation étroite avec le rejet d'eau très faible de ces plantes: la diminution de la transpiration stomatale réduit forcément l'absorption du gaz carbonique par la feuille (résistance à la diffusion augmentée!). Ces particularités, et d'autres, comme une forte diminution de la photorespiration, rendent possible l'adaptation de ces espèces au milieu tropical, ainsi qu'aux conditions extrêmes: forte insolation, température élevée et faible disponibilité en eau dans le sol. Les feuilles présentent une autre anomalie: les cellules du mésophylle ne sont pas disposées en couches comme d'habitude mais elles sont arrangées en couronne, formant deux anneaux concentriques autour des faisceaux conducteurs (fig. 3.67a). Vers l'intérieur, les cellules de la gaine périvasculaire sont pourvues de chloroplastes pauvres en grana et en chlorophylle mais riches en amidon et, à l'extérieur, les cellules du mésophylle ont des chloroplastes bien verts - dans les coupes de feuilles non fixées - à grana bien développés mais contenant moins d'amidon. Ce dimorphisme des chloroplastes est surtout remarquable chez les graminées. Les travaux de Hatch, Slack et Kortschak, en particulier, ont montré que toutes ces singularités dans l'anatomie et la physiologie foliaires, par rapport aux plantes en C<sub>3</sub>, ont leur cause première dans un mécanisme biochimique spécial de fixation du gaz carbonique. Sur la base de traçages radioactifs (<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>) et en utilisant des feuilles de maïs ou de canne à sucre, ces chercheurs ont mis en évidence que le CO<sub>2</sub> était d'abord incorporé dans du malate, puis de l'oxaloacétate et de l'aspartate (Asp) et enfin, avec un certain retard, dans du 3-phospho-D-glycérate et dans les autres produits intermédiaires du cycle de Calvin. A cause du rôle-clé de ces acides rapidement marqués, on a dénommé cette voie de fixation du gaz carbonique: « cycle des acides carboxyliques en C<sub>4</sub> » ou « voie en C<sub>4</sub> ». Ainsi, on appelle les plantes utilisant cette voie métabolique « plantes en C<sub>4</sub> », en les opposant aux « plantes en C<sub>3</sub> » (lesquelles utilisent le D-ribulose-1,5-diphosphate comme accepteur primaire de CO<sub>2</sub>). Le terme de cycle implique que le processus décrit une boucle, au cours de laquelle un accepteur est utilisé puis à nouveau régénéré. La réduction du CO<sub>2</sub> dans les plantes en C<sub>4</sub> s'opère à cheval sur les deux types de cellules de la couronne péri-vasculaire (fig. 3.67(b)) : dans l'assise du mésophylle a lieu la formation de co-facteurs enzymatiques réduits (phase lumineuse de la photosynthèse) et la fixation du CO<sub>2</sub> lequel est transféré dans les cellules de l'assise périvasculaire (sous forme de malate) en vue de la production de glucides par le cycle de Calvin.



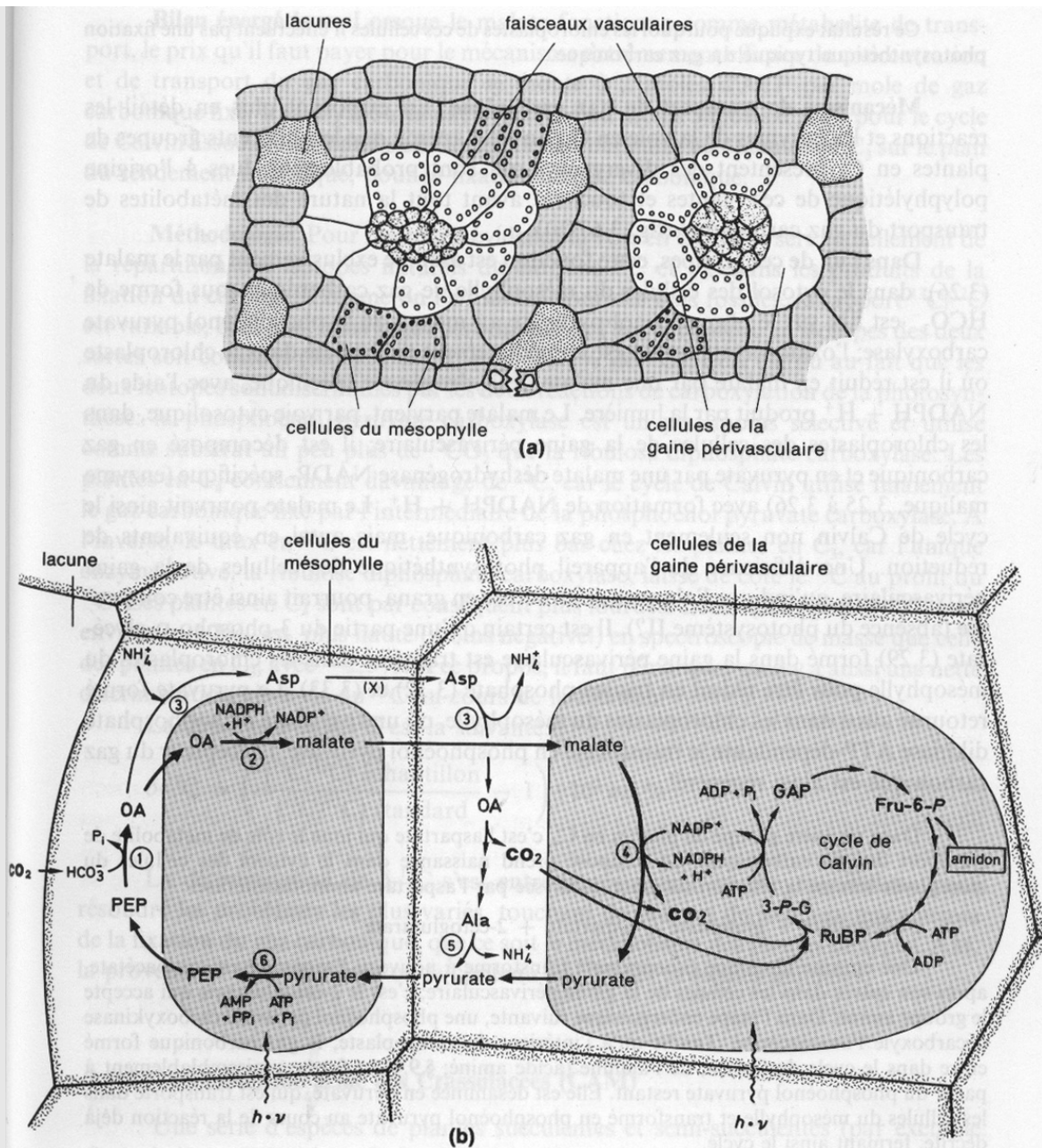


FIG. 3.67

(a) Anatomie de la feuille (coupe transversale schématique) d'une plante en C<sub>4</sub> caractéristique. (b) Déroulement des réactions au cours du cycle dicarboxylique en C<sub>4</sub> dans les cellules de la couronne; les surfaces grises représentent les chloroplastes.

Enzymes prenant part aux réactions: ① phosphoenol pyruvate carboxylase; ② NADP-malate déshydrogénase; ③ aspartate aminotransférase; ④ NADP-malate déshydrogénase décarboxylante (enzyme malique); ⑤ alanine aminotransférase; ⑥ pyruvate, orthophosphate dikinase; Ala alanine; Asp L-aspartate; Fru-6-P fructose-6-phosphate; 3-P-G 3-phospho-D-glycérate; GAP D-glycéraldéhyde-3-phosphate; OA oxaloacétate; PEP phosphoenol pyruvate; RuBP D-ribulose-1,5-diphosphate.

référence : Richter, G., 1993. Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. PPUR, Lausanne.



### *Tige*

- référence: document 3/38
- observer l'arrangement des tissus, la disposition des faisceaux vasculaires (atactostèle), l'aérenchyme, les îlots de sclérenchyme en renforcement sous l'épiderme et la distribution des tissus chlorophylliens
- Observer l'agencement typique des monocotylédones du méta-phloème, du proto- et du métaxylème dans les faisceaux vasculaires
- Observer et documenter l'arrangement des tissus de revêtement

### *En conclusion*

A votre avis, quelles sont les caractéristiques structurales typique des cypéracées (1) qui permettent leur utilisation comme litière pour le bétail mais qui sont contre-indiquées en vue d'une utilisation comme fourrage et (2) qui indiquent que *Cyperus* est particulièrement bien adaptée à un milieu tropical chaud et humide?

Justifier votre point-de-vue en quelques phrases.

## **Chlorophytum**

Observer, déterminer et documenter :

### *Feuilles*

- l'arrangement des tissus, la répartition dorso-ventrale des fonctions d'assimilation et d'échange gazeux typique des plantes en C3 et des feuilles plagiotropes (référence : document 3/35, 40).
- remarquer aussi les chloroplastes de grande taille et l'absence de structures protectrices, en contraste des autres espèces et typique d'un mésophyte performant et compétitif (stratégie écologique d'acquisition ; référence : document 2/10, 21, 22)

### Faisceau conducteur

- les pôles de proto- et de méta-xylème/phloème (le protophloème est oblitéré) pleinement différenciés (référence: document 3/49)

### Limbe

- la structure des épidermes, notamment les cellules bulliformes et l'appareil stomatique
- les différentes organelles et les inclusions vacuolaires dans le mésophile (référence: doc. 2/10)

### *Tige (stolon)*

- référence: document 3/38
- observer l'arrangement des tissus, la disposition des faisceaux vasculaires (atactostèle),
- observer le cortex chlorophyllien et l'anneau de sclérenchyme en renforcement de la rigidité de la tige
- observer l'agencement typique des monocotylédones du méta-phloème, du proto- et du métaxylème dans les faisceaux vasculaires. Différencier les tubes criblés des cellules compagnes
- Observer et documenter l'arrangement de l'épiderme, les poils occasionnels et le renforcement des stomates dans l'épiderme. Observer le contraste entre la cuticule et la paroi

### *Racines*

#### Racine à tissus primaires et fonction de conduction

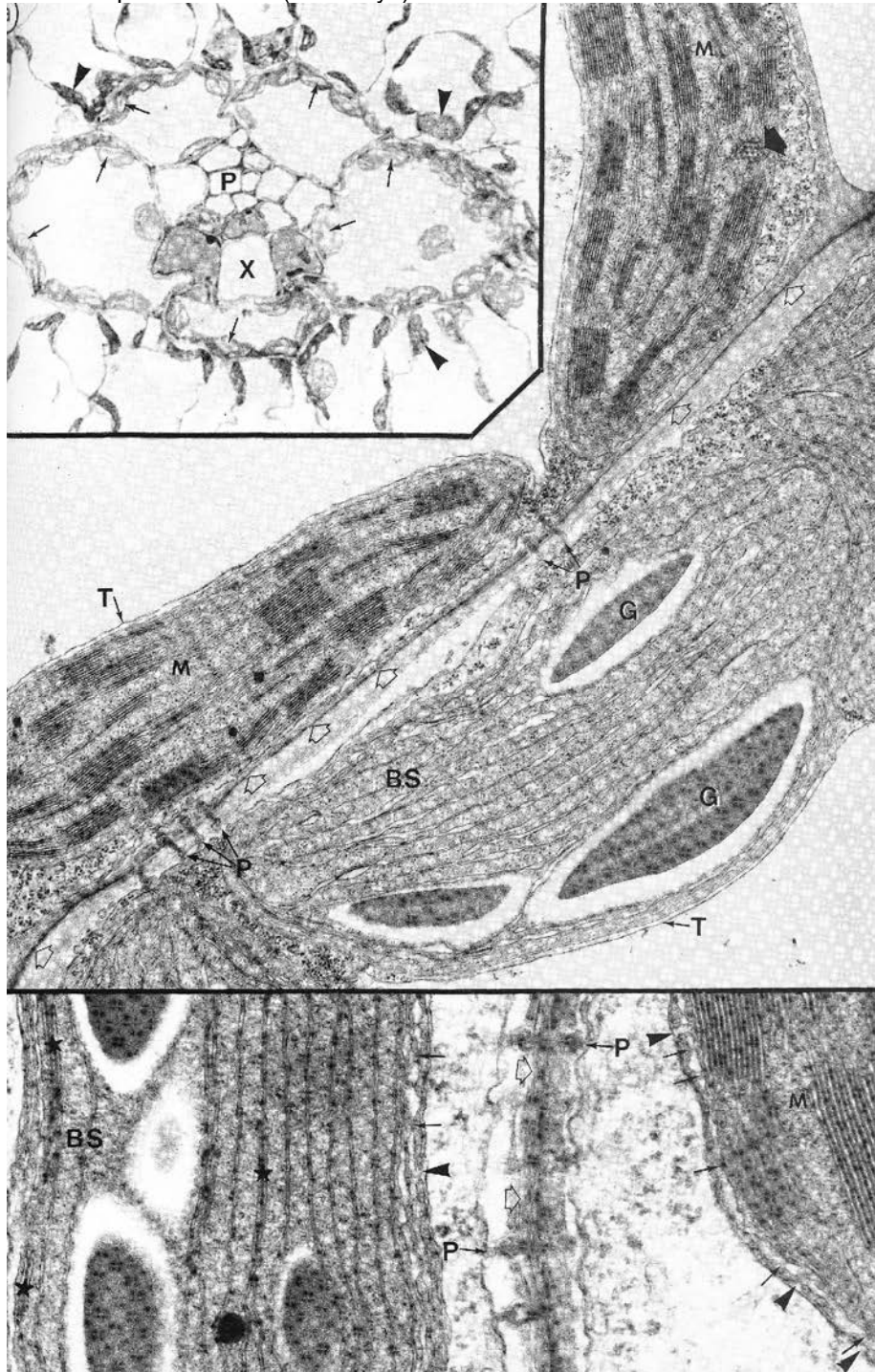
- l'organisation histologique typique d'une racine conductrice à tissus primaires
- les tissus conducteurs et les pôles de xylème et de phloème
- l'endoderme et son cadre de Caspary
- le cortex avec ses méats, l'exoderme et le rhizoderme dégénéré

#### Apex racinaire à fonction absorbante

- l'organisation histologique typique d'un apex racinaire à fonction absorbante
- le rhizoderme et l'exoderme non-renforcés et fonctionnels
- l'endoderme limitant le cylindre central et son cadre de Caspary (atténuation de la coloration de la paroi radiale) bloquant la voie de transport apoplastique (effet de filtre)
- l'assise sous-jacente du péricycle encore nettement méristématique (noyau et nucléole de grande taille, cytoplasme très dense, vacuole de petite taille ; référence : document 2/18, 3/31)
- le protoxylème entièrement différencié et sa paroi épaissie

### Microscopie électronique

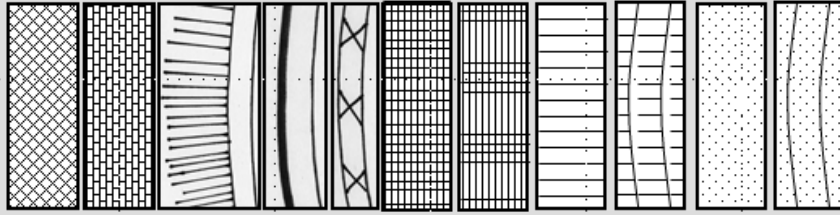
Caractéristiques ultra-structurales des cellules du mésophile et des cellules de la gaine péri-vasculaire chez les plantes en C4 (*Zea mays*).

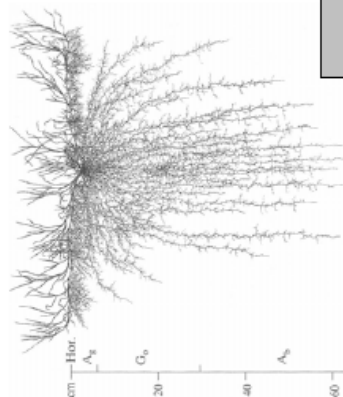


- écrire une légende en s'aidant des labels et des flèches sur les micrographies
- en s'appuyant sur les encarts fournis dans ce TP et la matière abordée au cours, discuter les caractéristiques structurales en relation avec le métabolisme en C4.

### 3. Encart no. 10: Représentation schématique des tissus

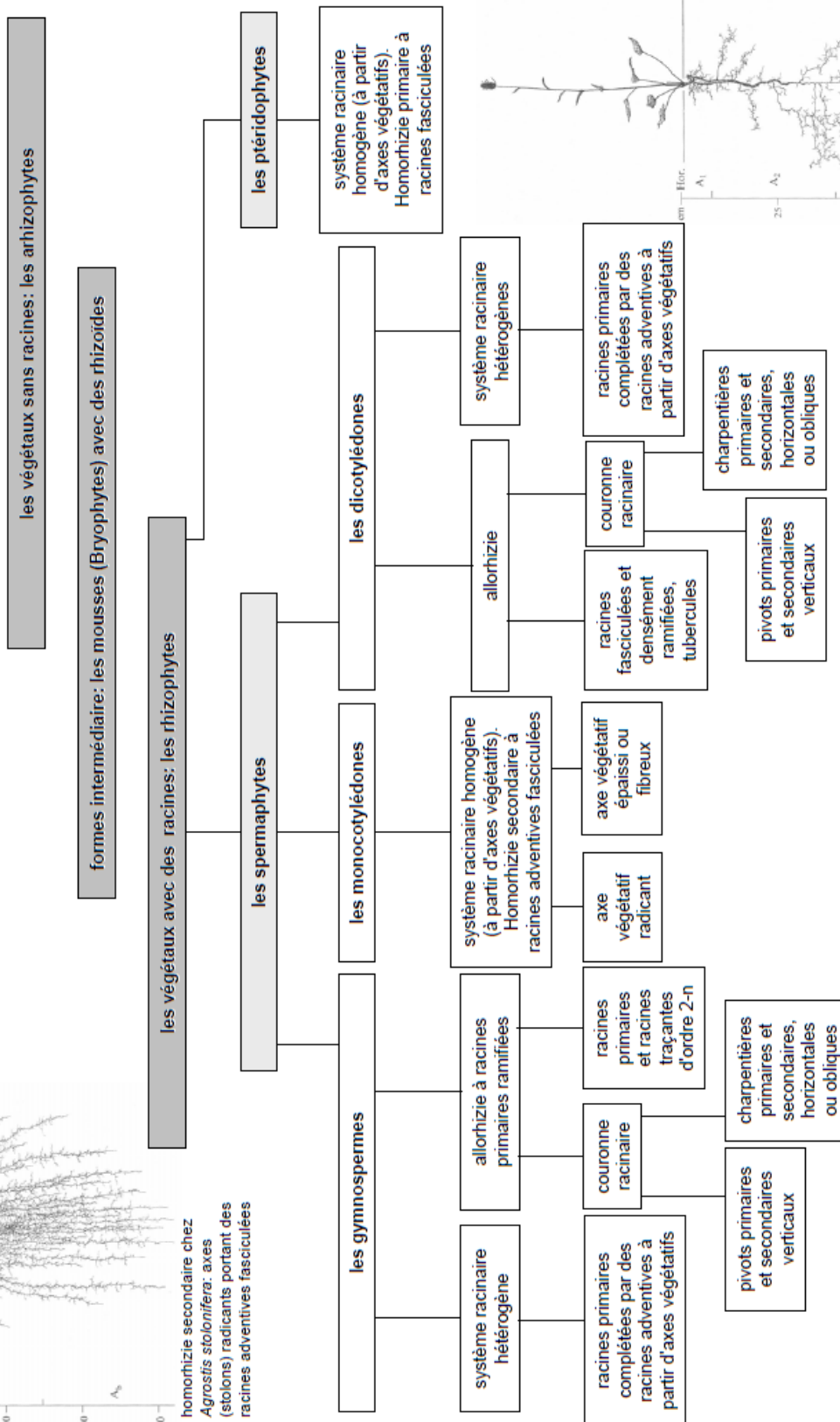
Tissu	Organe/s	Représentation
collenchyme	aériens	symbole
sclérenchyme	aériens et souterrains	symbole
rhizoderme	racine	symbole
exoderme	racine	symbole
épiderme (avec stomates)	aériens	symbole
suber	aériens et souterrains	symbole
phelloderme	aériens et souterrains	symbole
xylème I	aériens et souterrains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





homorhizie secondaire chez *Agrostis stolonifera*: axes (stolons) radicaux portant des racines adventives fasciculées

## 4. Morphologie des systèmes racinaires

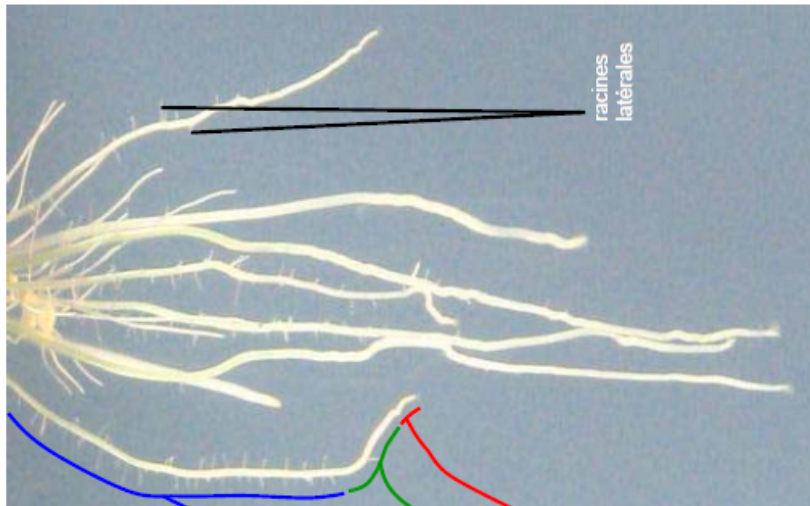


allorhizie chez *Phyteuma spicatum*: racine pivotante pérenne avec des racines fines, latérales et ramifiées



## 4. Morphologie et fonctions de la racine

appareil racinaire d'une jeune herbacée



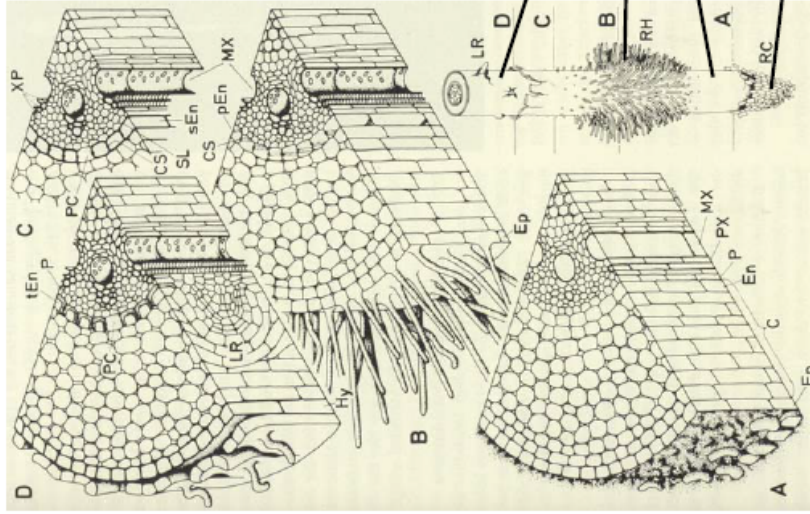
partie en croissance

partie assimilatrice

partie conductrice

racines latérales

structure schématique de l'apex racinaire



tissu de revêtement

exoderme

rhizoderme

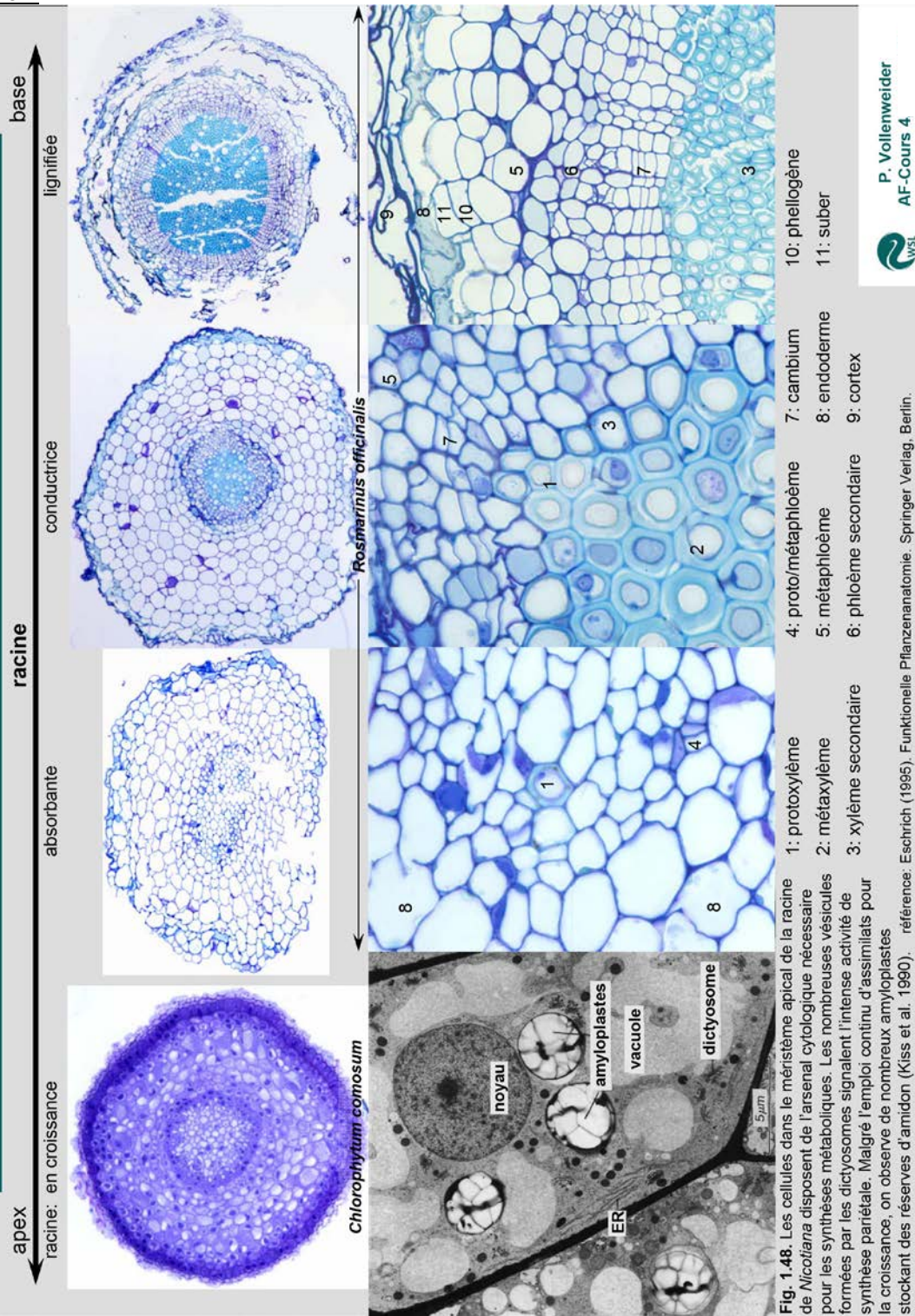
protoderme

coiffe

Abb. 22:2 Räumliches Schema einer primären Wurzel (rechts unten), mit scheibenförmigen Ausschnitten aus den vier sukzessiven Zonen (A-D). (A) Differenzierungszone; (B) Wurzelhaarzone mit primärer Endodermis; (C) Zone der sekundären Endodermis; (D) Zone der Seitenwurzelbildung, Hypodermis und tertiären Endodermis. C, Rinde (Cortex); CS, CASPARY Streifen; En, Endodermis (pEn, primär; sEn, sekundär; tEn, tertiär); Ep, Epidermis; Hy, Hypodermis; R, Seitenwurzelanlage; MX, Metaxylem (dies ist später gebildetes, leistungsfähigeres Xylem); P, Perizykel; PC, Durchlasszelle; PX, Protoxylem (dies ist zuerst angelegtes, noch wenig leistungsfähiges Xylem); RC, Wurzelhaube; RH, Wurzelhaar; SL, Suberinlamelle; XP, Xylemparenchym (aus U. Lüttge, *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 15A, Springer, Heidelberg 1983).

référence: Lüttge et al. (2005). Botanik. Wiley-CH Verlag, Weinheim

#### 4. Encart no. 21: diversité structurale en relation avec les changements fonctionnels





## 4. Absorption de l'eau et des sels minéraux (I): modifications structurales et fonctionnelles de l'endoderme

imperméabilisation de l'endoderme dans la racine conductrice

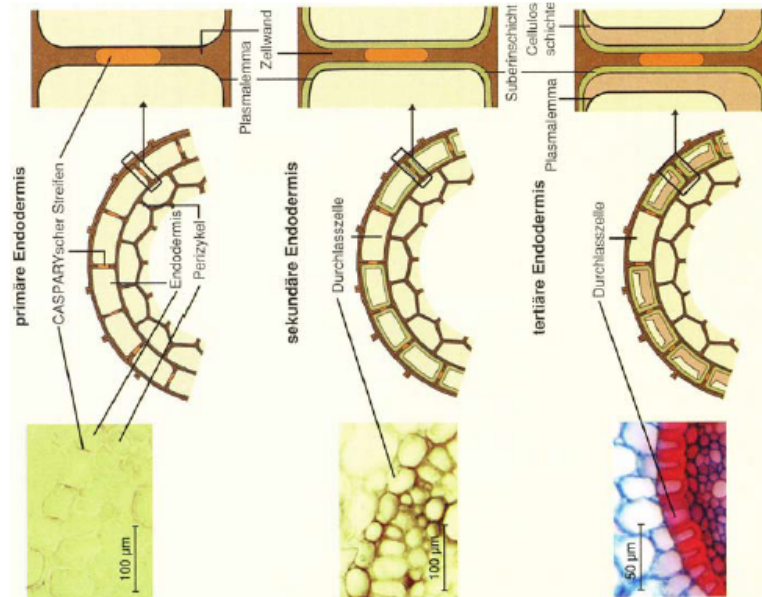


Abb. 22-4 Die Entwicklung der Endodermis. Die Abbildung zeigt in der Mitte jeweils einen schematischen Querschnitt durch eine primäre Wurzel im Bereich der Endodermis. Rechts sind die schematischen Darstellungen der radialen Zellwände der Endodermis zu sehen, und links mikroskopische Bilder von primären und sekundären Endodermis stammen vom Mais (*Zea mays*), die der tertiären Endodermis von der Schwertlilie (*Iris germanica*).

structure de l'endoderme dans la racine absorbante

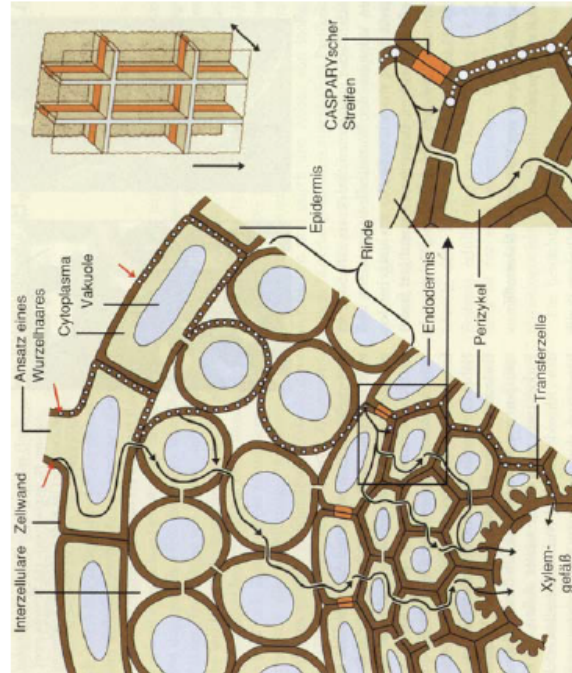
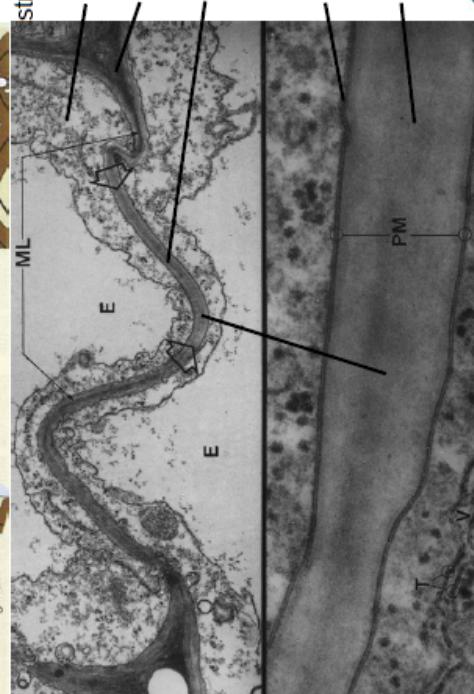


Abb. 22-9 Die Wege beim Radial Transport von Wasser und Nährsalzen in der primären Wurzel, in Höhe der Wurzelhaarzone. Weiss gepunktete Linien, apoplastischer Transport, ausgeogene schwarze Linien: symplastischer Transport. Die roten Pfeile symbolisieren den Eintritt von Wasser und darin gelösten Ionen in die Wurzel. Der Detailausschnitt unten rechts zeigt die Unterbrechung des apoplastischen Transportes am CASPARYschen Streifen. Das dreidimensionale Schema oben rechts zeigt die räumliche Anordnung des CASPARYschen Streifens (= orange - rotes Band), wobei vorne die Rinne und hinten der Zentralzylinder zu denken sind (aus U. LÜTTGE und N. HIGINBOTHAM, *Transport in Plants*, Springer, New York 1979).

structure du cadre de Caspary



référence: - Lüttge et al. (2005). Botanik. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.  
- Gunning et Steer (1995). Plant cell biology. Jones & Bartlett publ., London.

## Annexe 6

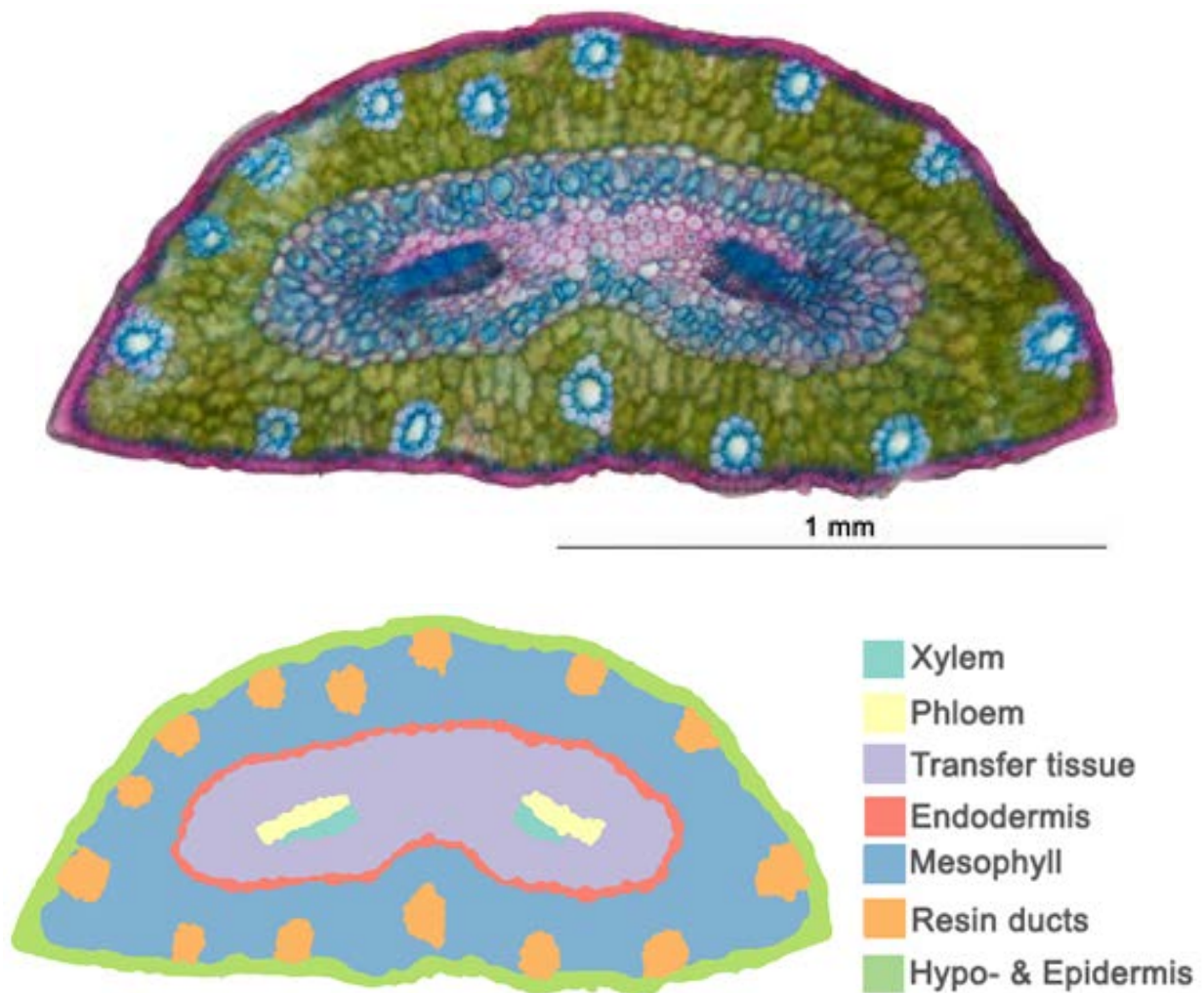


Schéma histologique d'une coupe transversale d'aiguille de pin sylvestre (consulter aussi le document 3/39).

Source: Rovina C, Schleppi P, Bugmann H, Vollenweider P (2013) Micro- and macromorphological responses in foliage of Scots pine to changes in soil water availability. In: WOHLGEMUTH T, PRIEWASSER K (eds) 2013: ClimTree 2013. International Conference on Climate Change and Tree responses in Central European Forests. Conference, 1 to 5 September 2013. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL. 69.