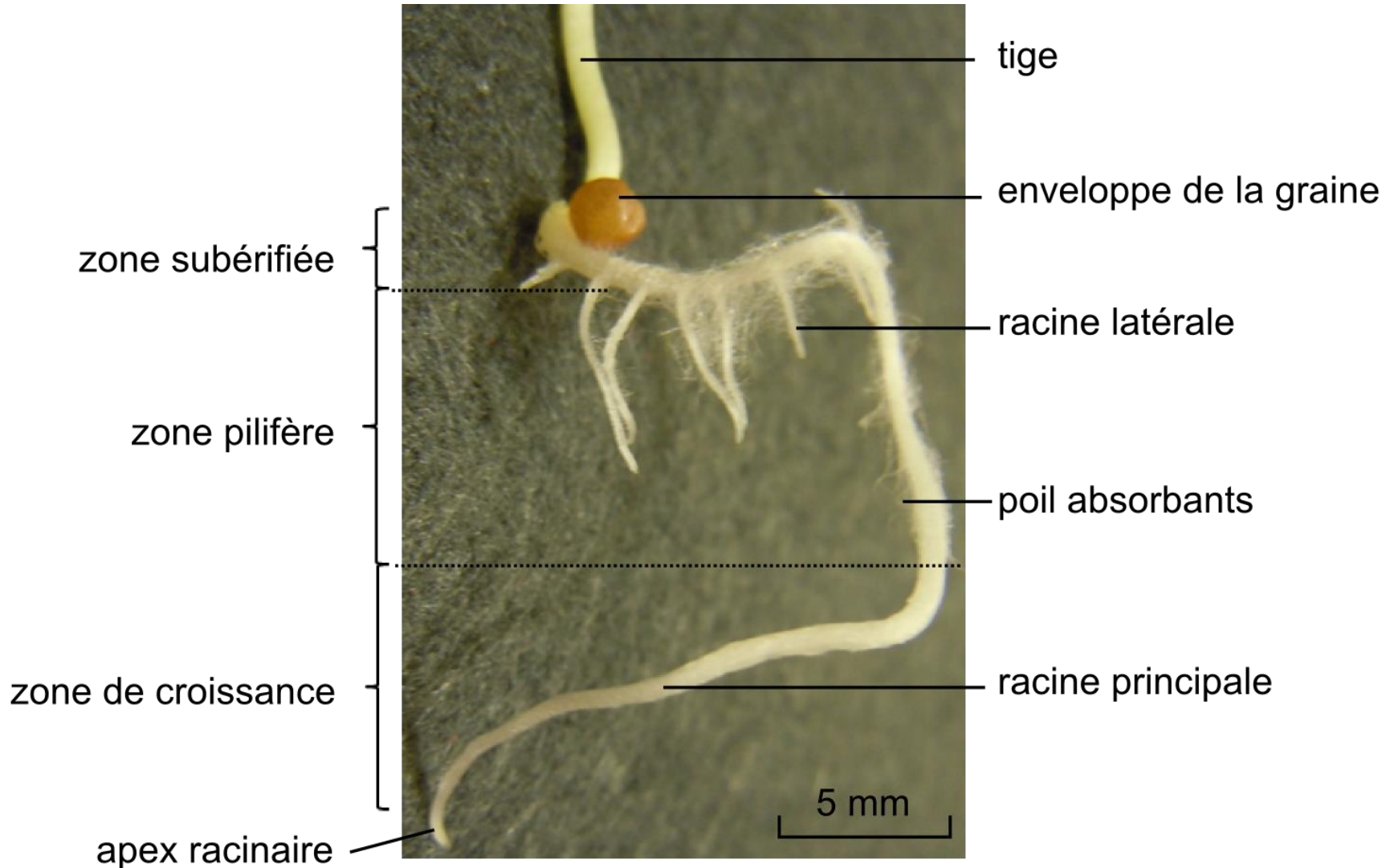


SV-B-3 Le développement des angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique

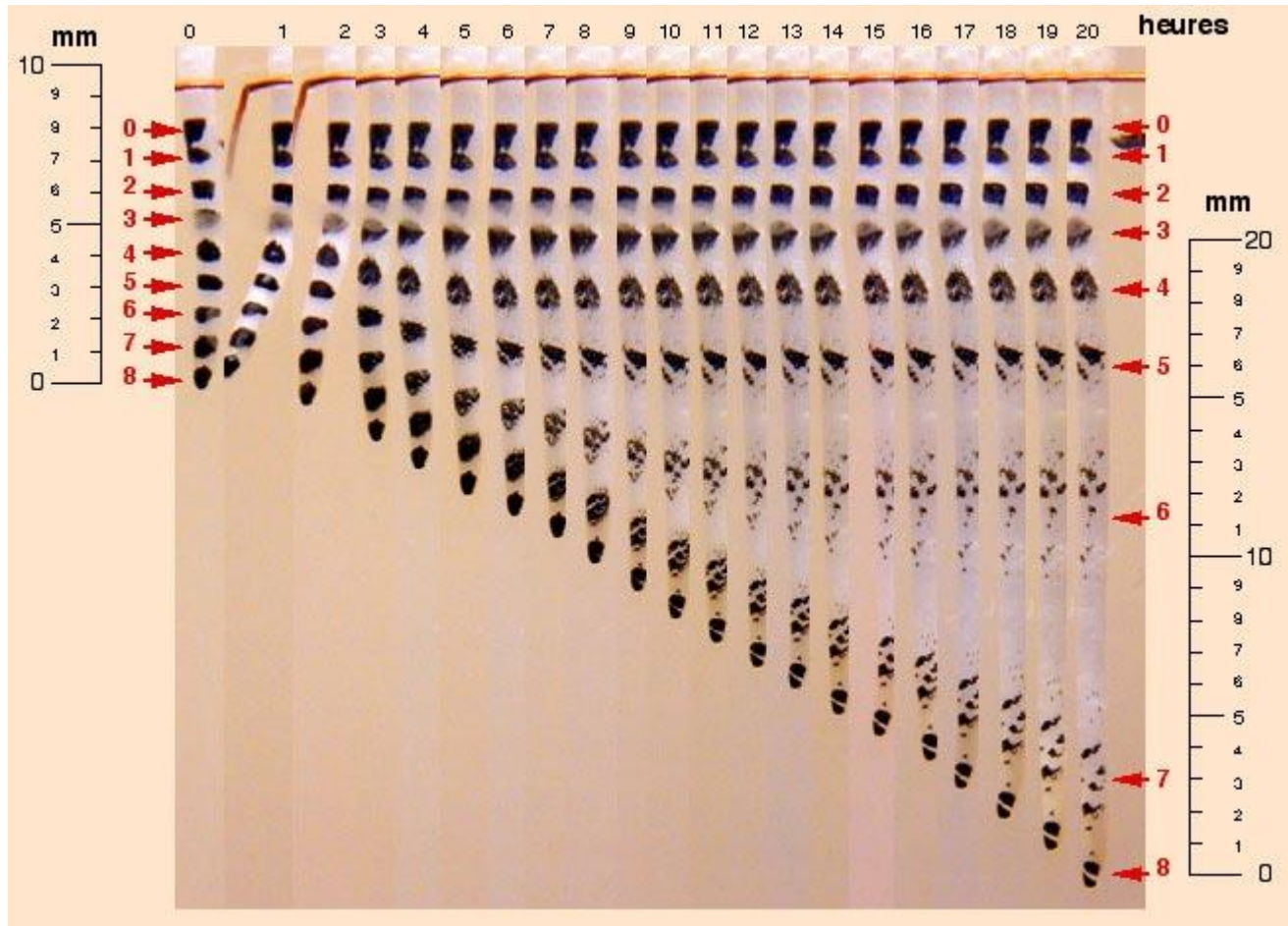
SV-B3-1 Le développement végétatif à l'interface sol/air



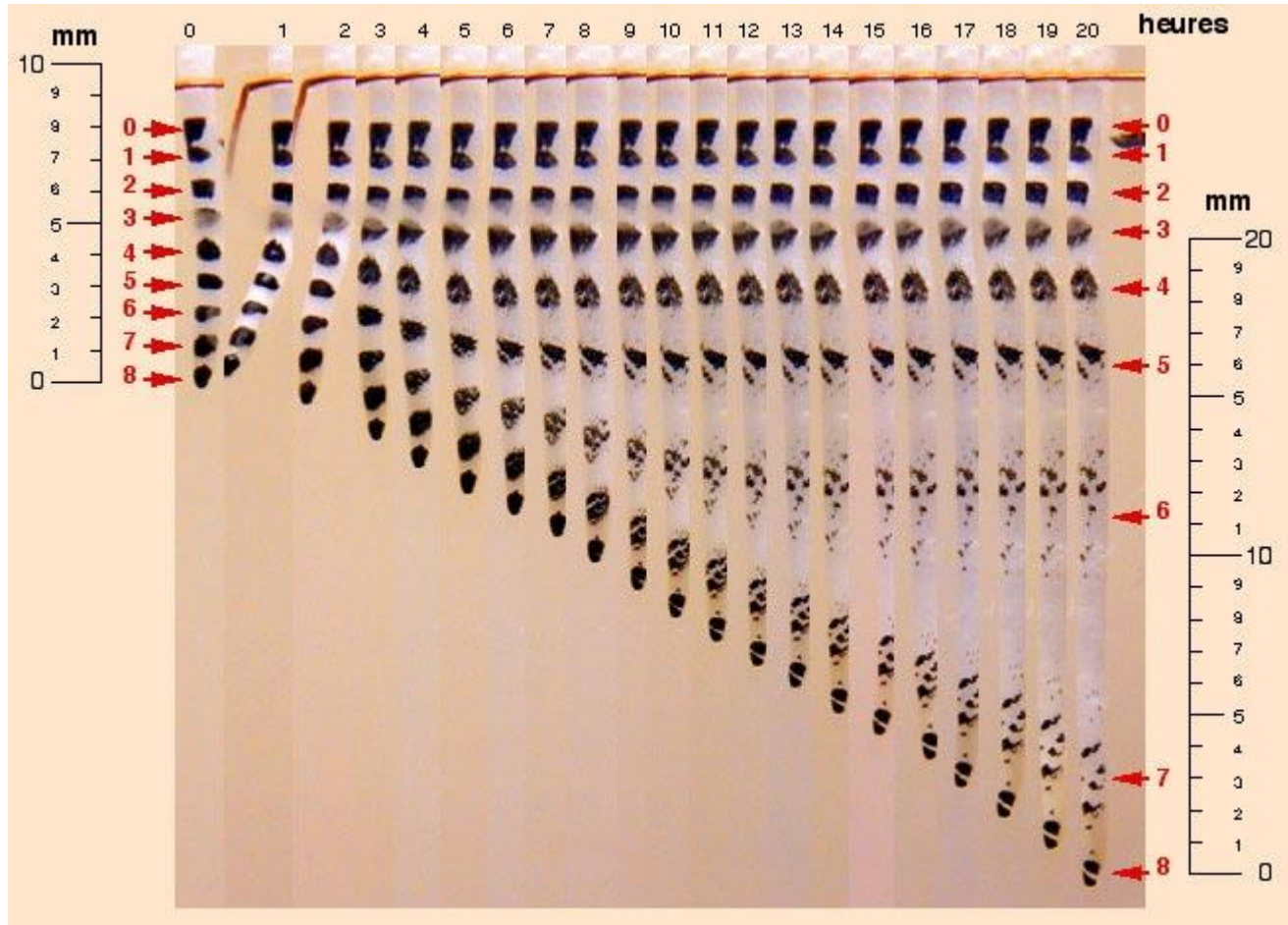
Zonation fonctionnelle d'une jeune racine (maïs)



L'expérience de Sachs

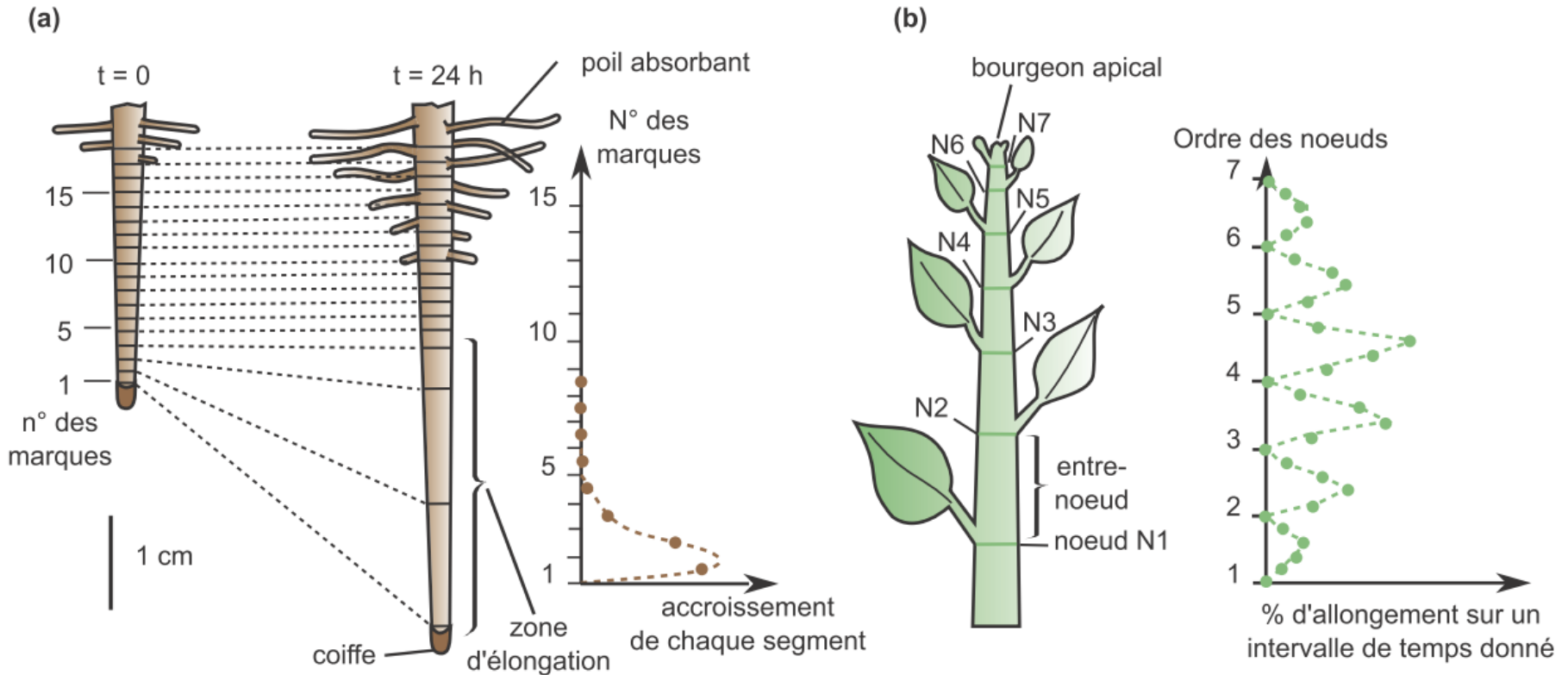


L'expérience de Sachs



Au niveau de la racine, la croissance est subapicale

Document 1. Localisation expérimentale des zones de croissance en longueur des racines (a) et des tiges (b).



L'arabette des dames
Arabidopsis thaliana
(Brassicacées)



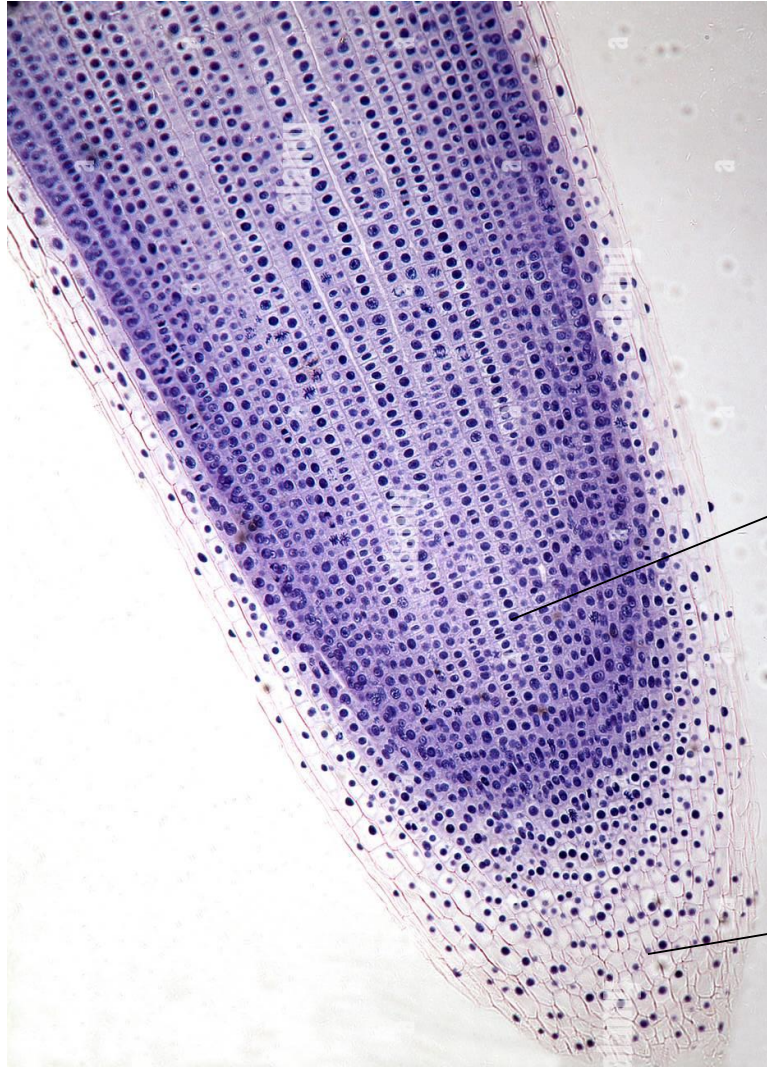
Photo Pierre GOUJON



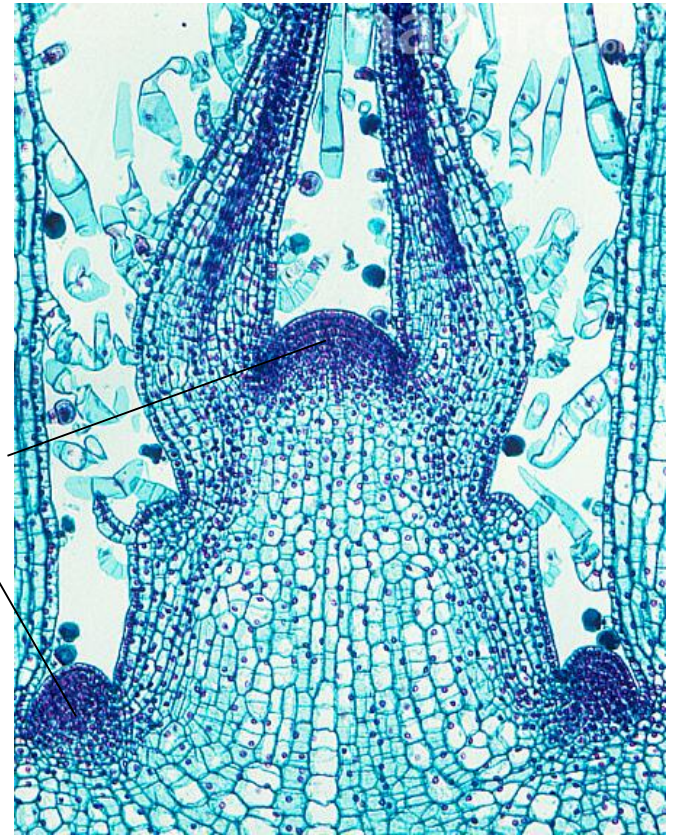
**croissance intercalaire
réduite → feuilles en
rosette**

Méristèmes primaires

Apex racinaire



Apex caulinaire



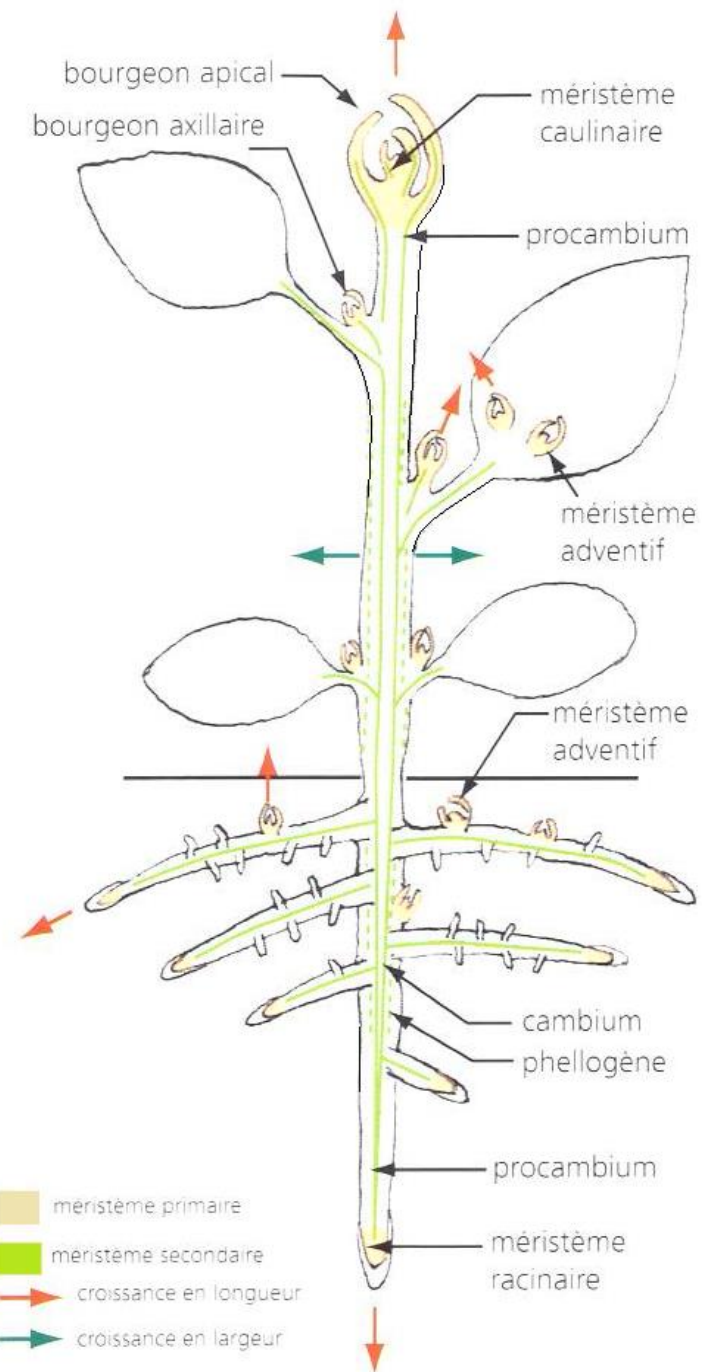
méristèmes

coiffe (cellules mortes)

- Protection
- Perception de la gravité

Document 2. Localisation des méristèmes chez une Dicotylédone.

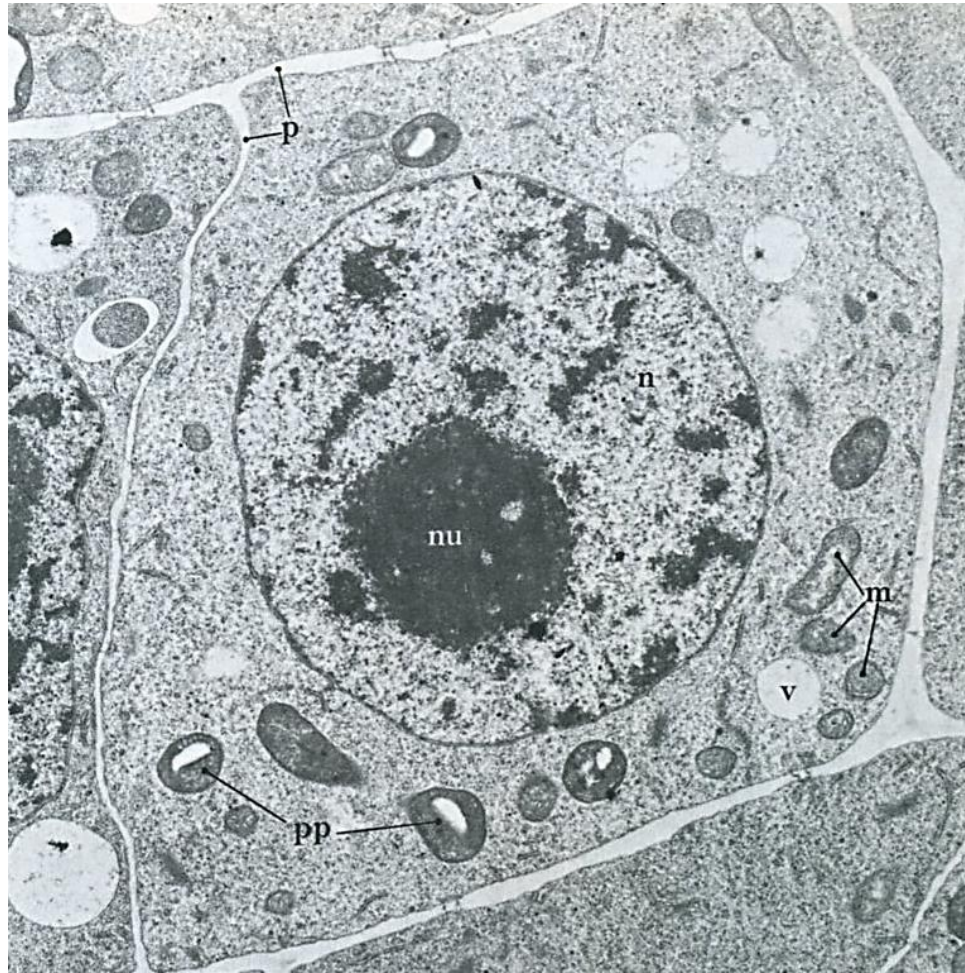
-  Méristèmes caulinaires et racinaires
-  Procambium
-  Croissance en longueur
-  Croissance en largeur



(S. Meyer et coll. « Botanique – Biologie et physiologie végétales » Maloine Ed. 2008)

Document 3. Une cellule méristématique (MET).

20 μm



Pois (MET x 5 000). pp : proplaste ; v : vacuole ; p : paroi ; m : mitochondrie ; nu : nucléole ; n : noyau.

(ROLAND J.C. et F., “ Atlas de Biologie Végétale – 2. Organisation des plantes à fleurs ”, Masson Ed., 1995).

Anatomie d'une tige de sureau en CT



Photo David Busti



Photo David Busti

Au niveau du 1^{er}
entrenoeud



Photo David Busti

Au niveau du 2^e entrenoeud

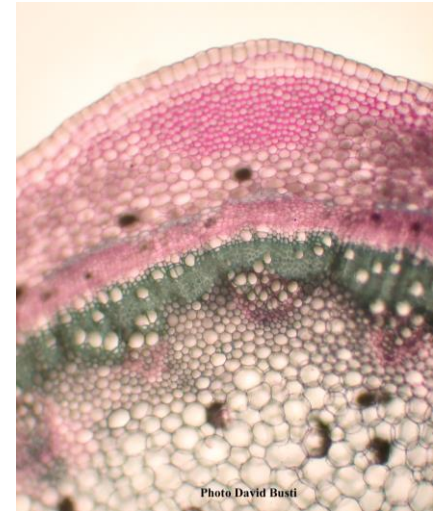


Photo David Busti

Au niveau du
3^e entrenoeud

Tige âgée, entrenoeud
de deux ans

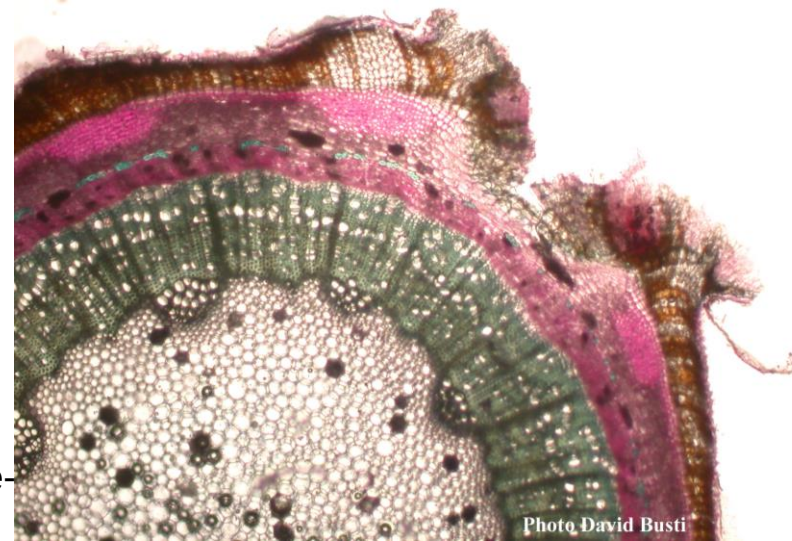
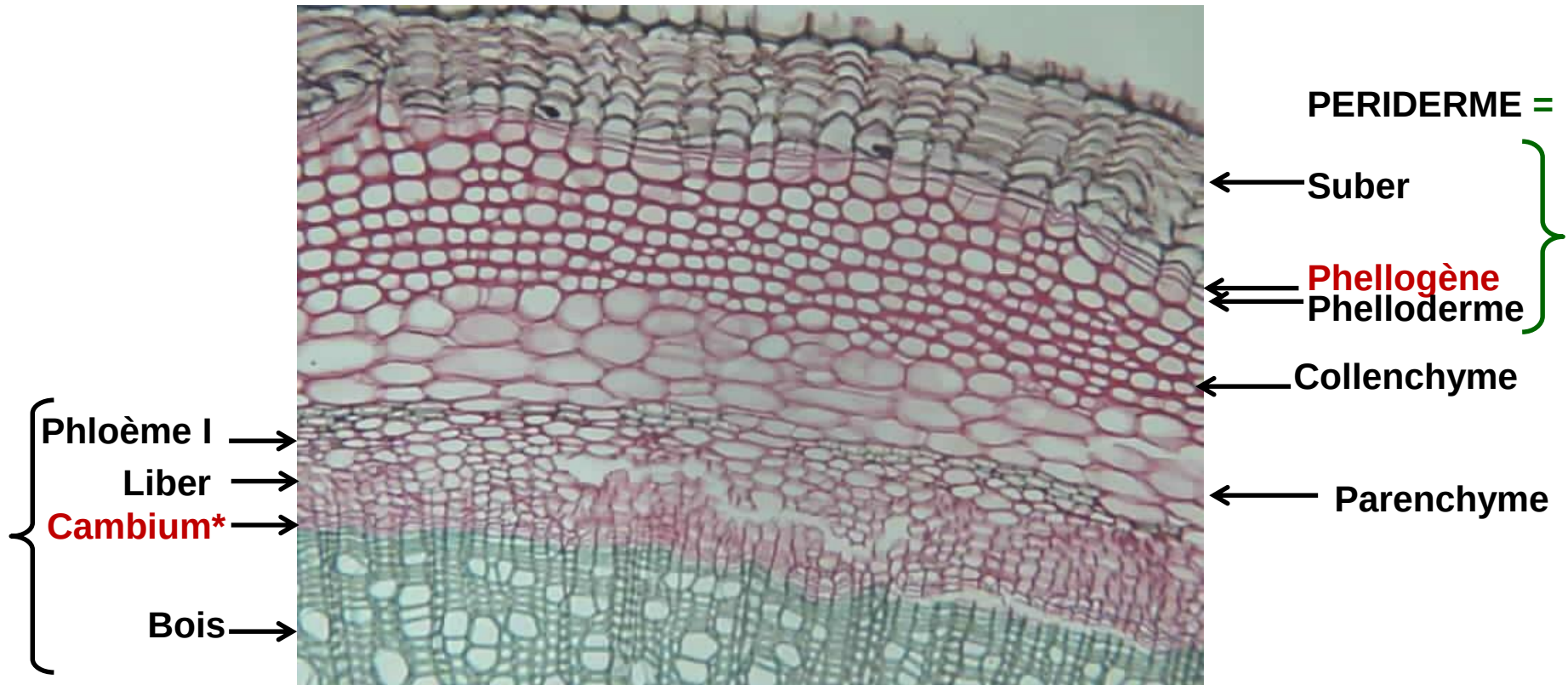


Photo David Busti

Localisation des méristèmes secondaires dans une tige de Sureau âgée

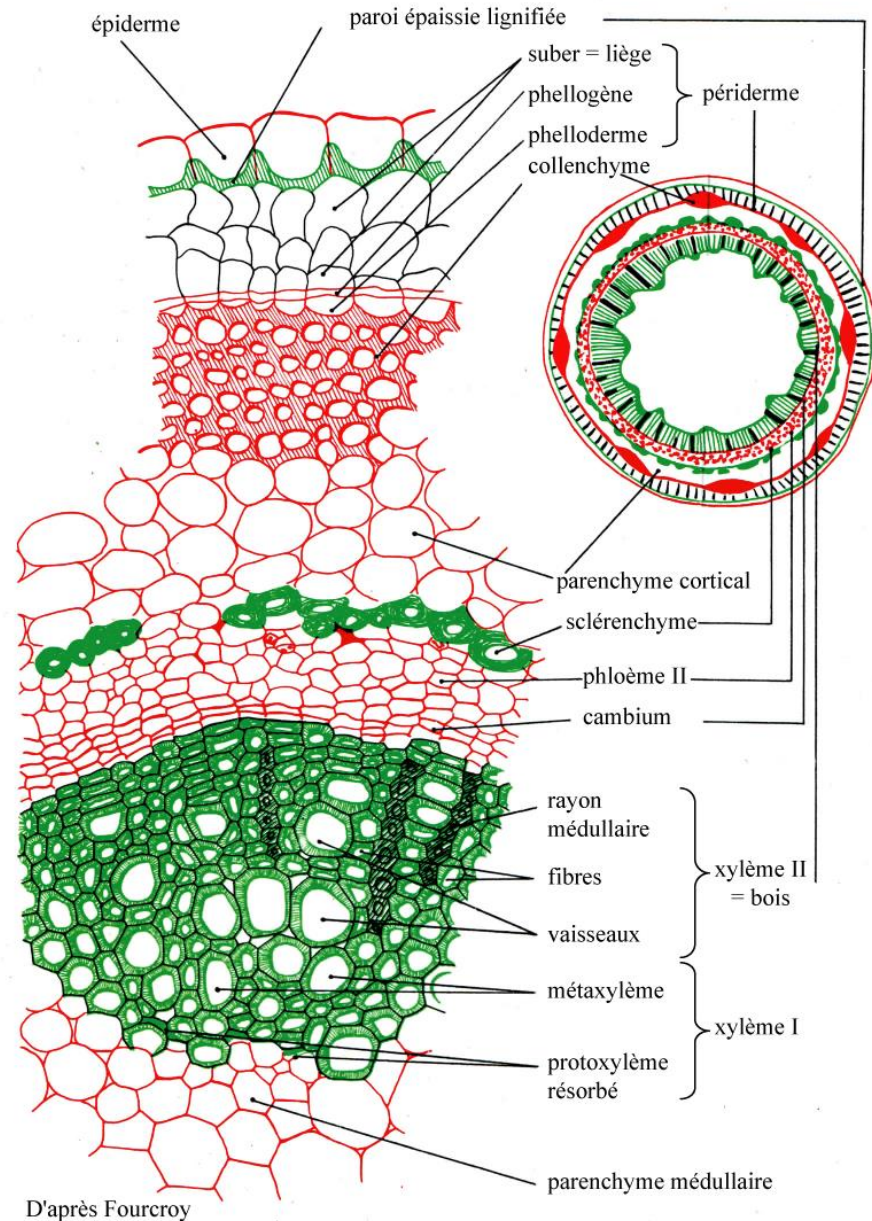
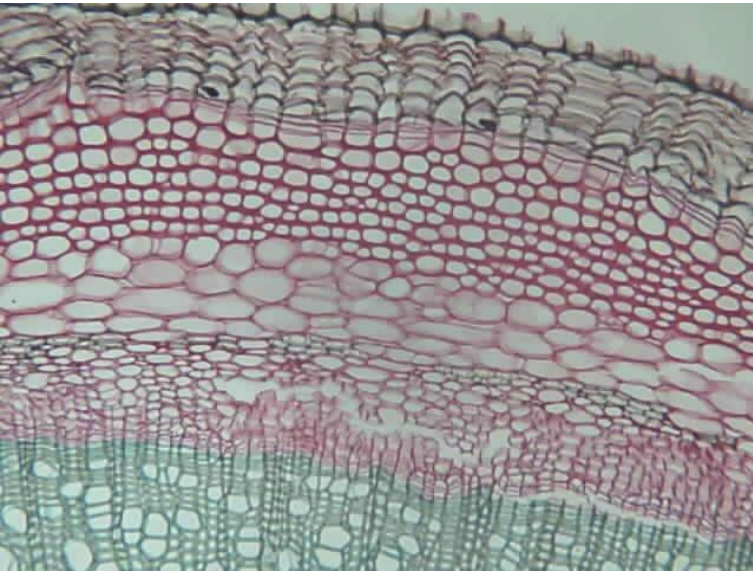
Coupe transversale tige de Sureau (x 100)



*Paroi mince, fragile, facile à repérer

Document 4. Localisation des méristèmes secondaires dans une tige de Sureau âgée.

Coupe transversale de tige de Sureau (x 100)



[http://biologie.ens-
lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la-
plante-du-mois/le-sureau-un-modele-de-
differentiation-des-tissus/le-sureau-un-modele-de-
differentiation-des-tissus](http://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la-
plante-du-mois/le-sureau-un-modele-de-
differentiation-des-tissus/le-sureau-un-modele-de-
differentiation-des-tissus)

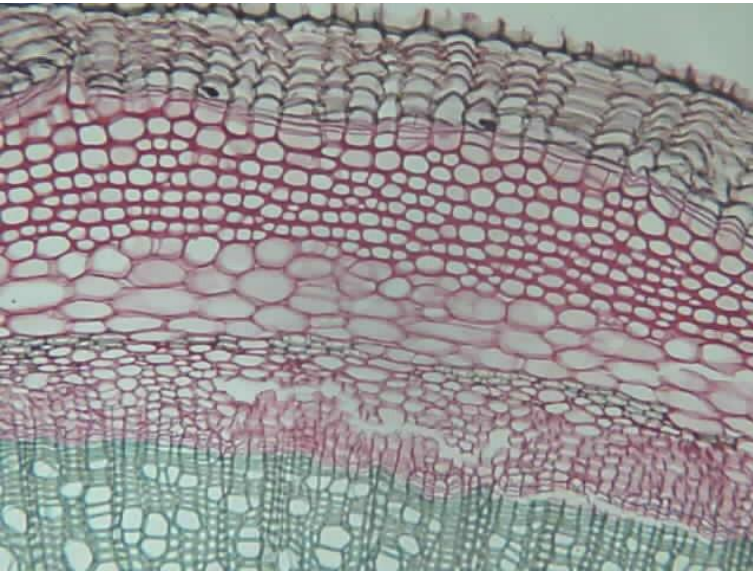
	Méristèmes primaires	Cambium
Localisation	Apex racinaire et caulinaire	Parties âgées des racines et des tiges
Forme	Section polygonale	Allongée pour les initiales fusiformes
Taille	20 à 30 μm	100 μm pour les initiales fusiformes ; 15 à 50 μm pour les initiales radiales
Rapport nucléoplasmique	≥ 1	< 1
Vacuome	Réduit à quelques vésicules	Une ou deux grandes vacuoles
Paroi	Mince, pecto-cellulosique	Mince, pecto-cellulosique
Plastes	Proplastes	Proplastes
Réserves	Absentes	Quelques lipides

Document 5. Comparaison des cellules méristématiques primaires et secondaires.

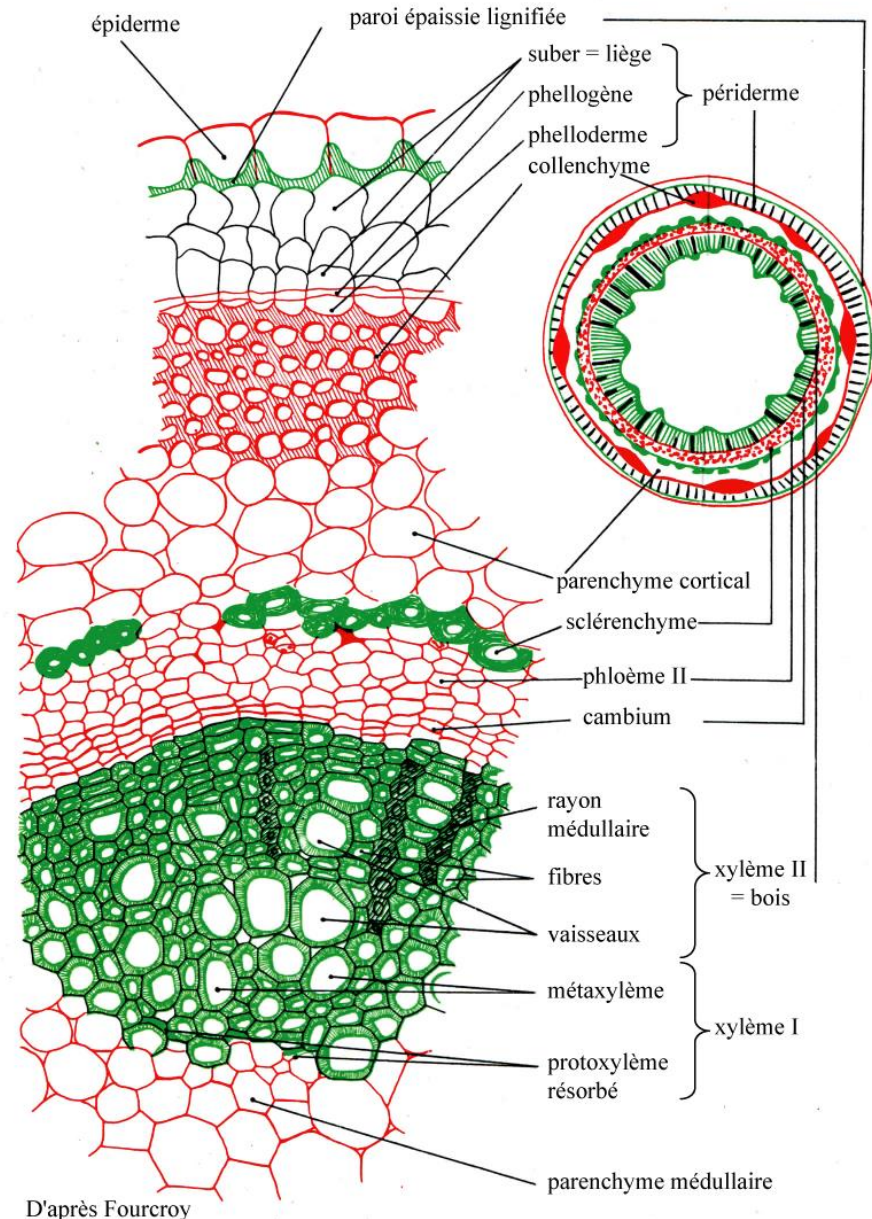
(PEYCRU P. et coll., " Biologie 1^{ère} année BCPST ", Dunod Ed., 2007).

Document 4. Localisation des méristèmes secondaires dans une tige de Sureau âgée.

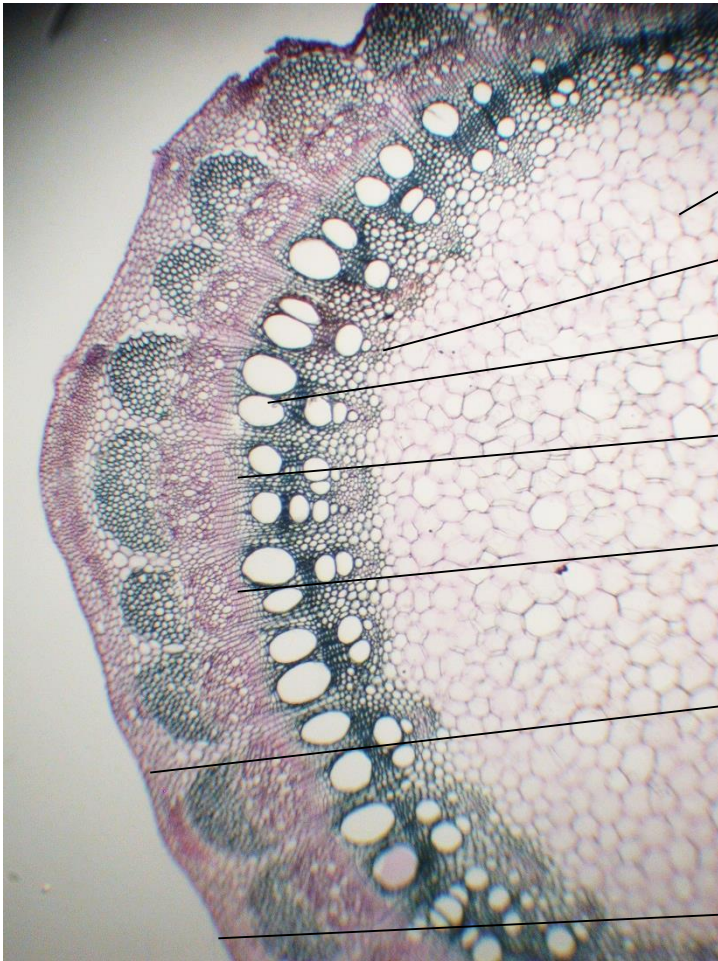
Coupe transversale tige de Sureau (x 100)



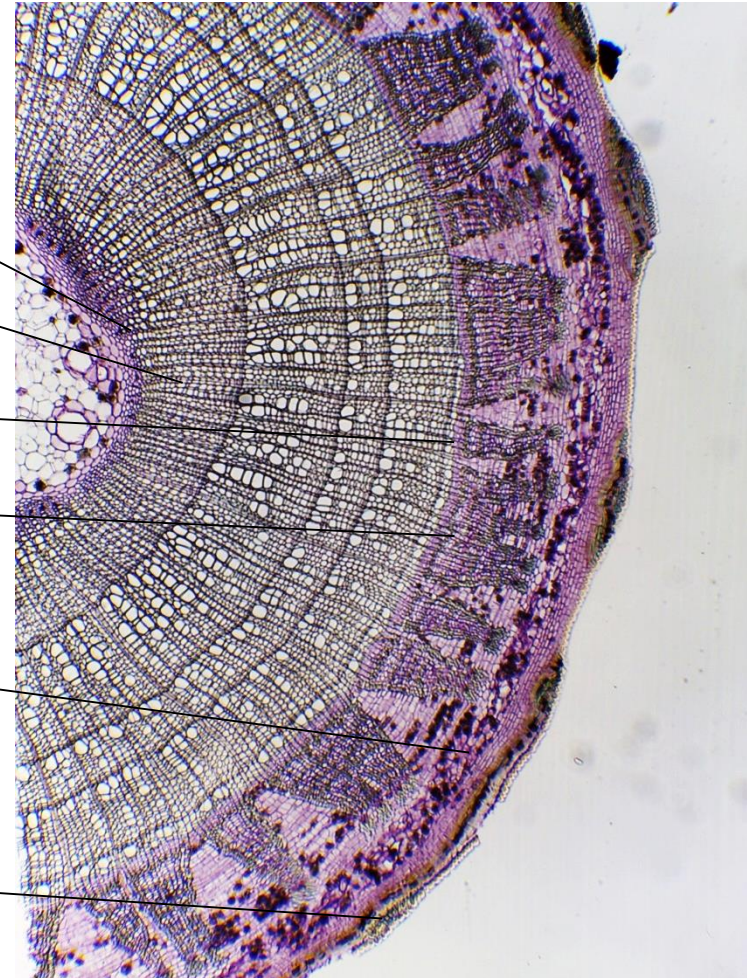
<http://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la- plante-du-mois/le-sureau-un-modele-de- differenciation-des-tissus/le-sureau-un-modele-de- differenciation-des-tissus>



Tiges à structure secondaire



a) tige de vigne



b) tige de tilleul

parenchyme
médullaire

xylème I

bois

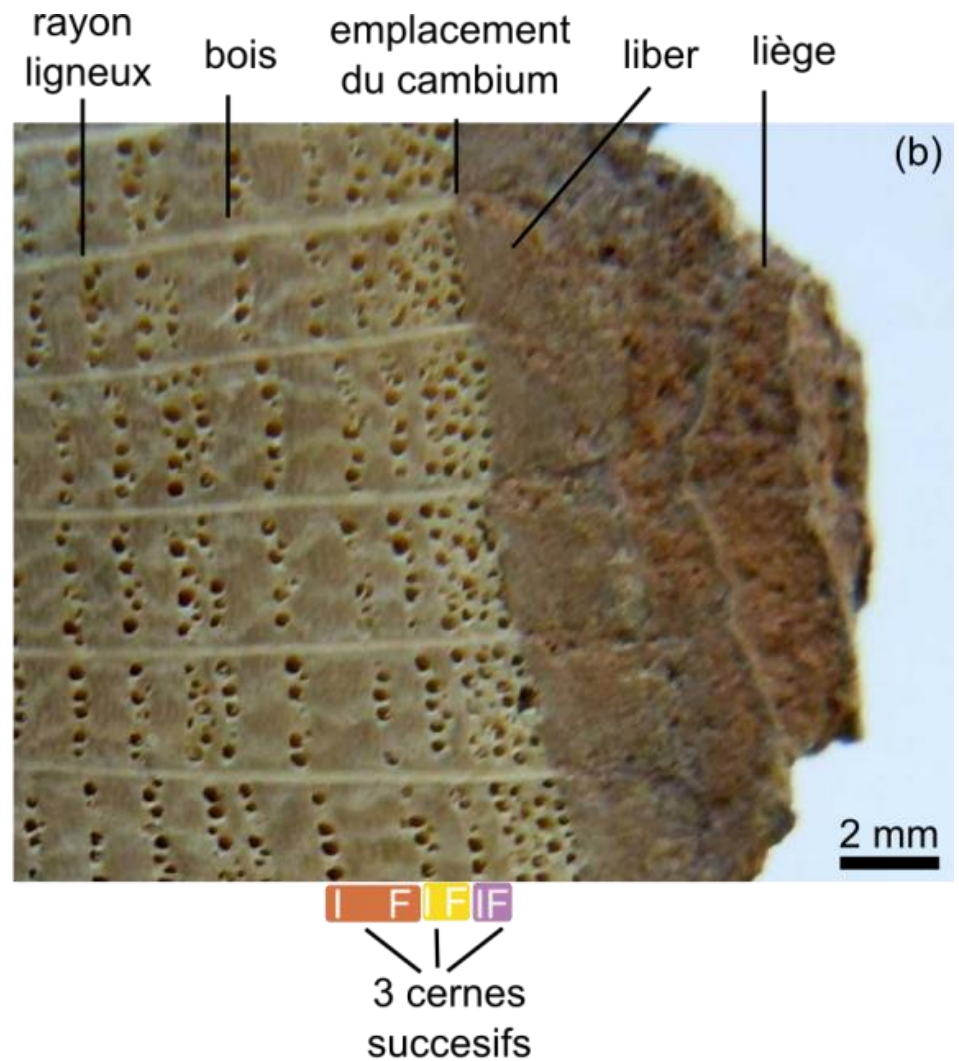
emplacement
du **cambium**

liber

parenchyme
cortical

tissu
protecteur

Croissance en diamètre indéfinie d'un tronc de chêne



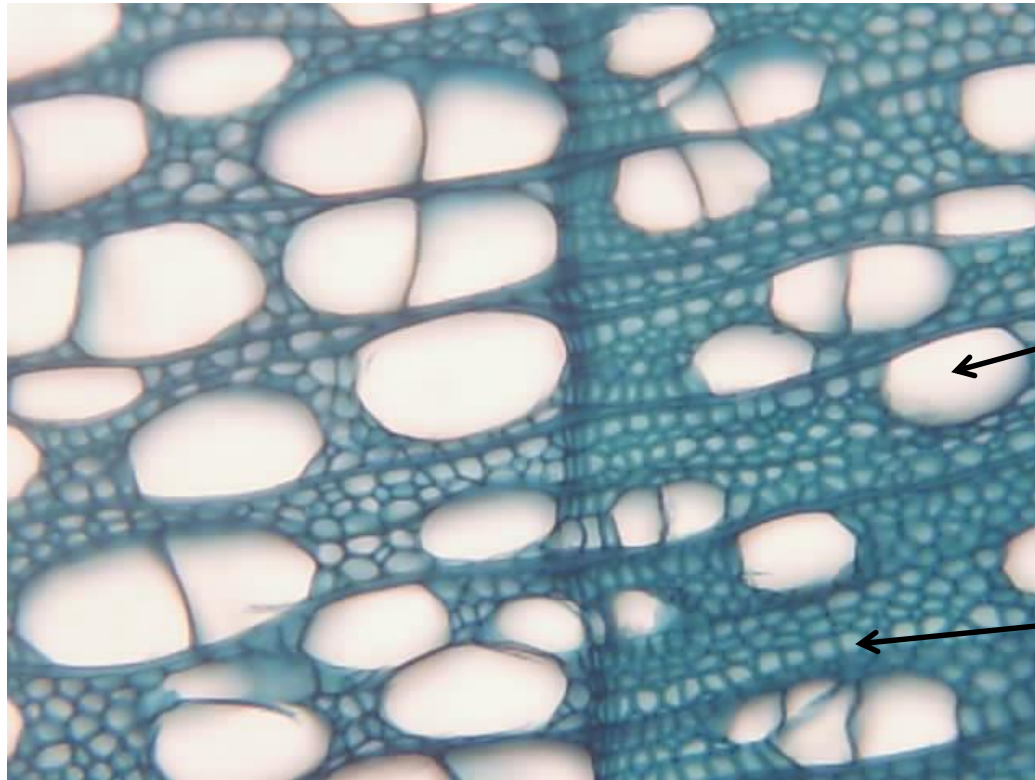
**Marque de l'arrêt du
fonctionnement
cambial pendant l'hiver**

Vers cambium

Bois de printemps

Bois d'été

**Vers centre
organe**

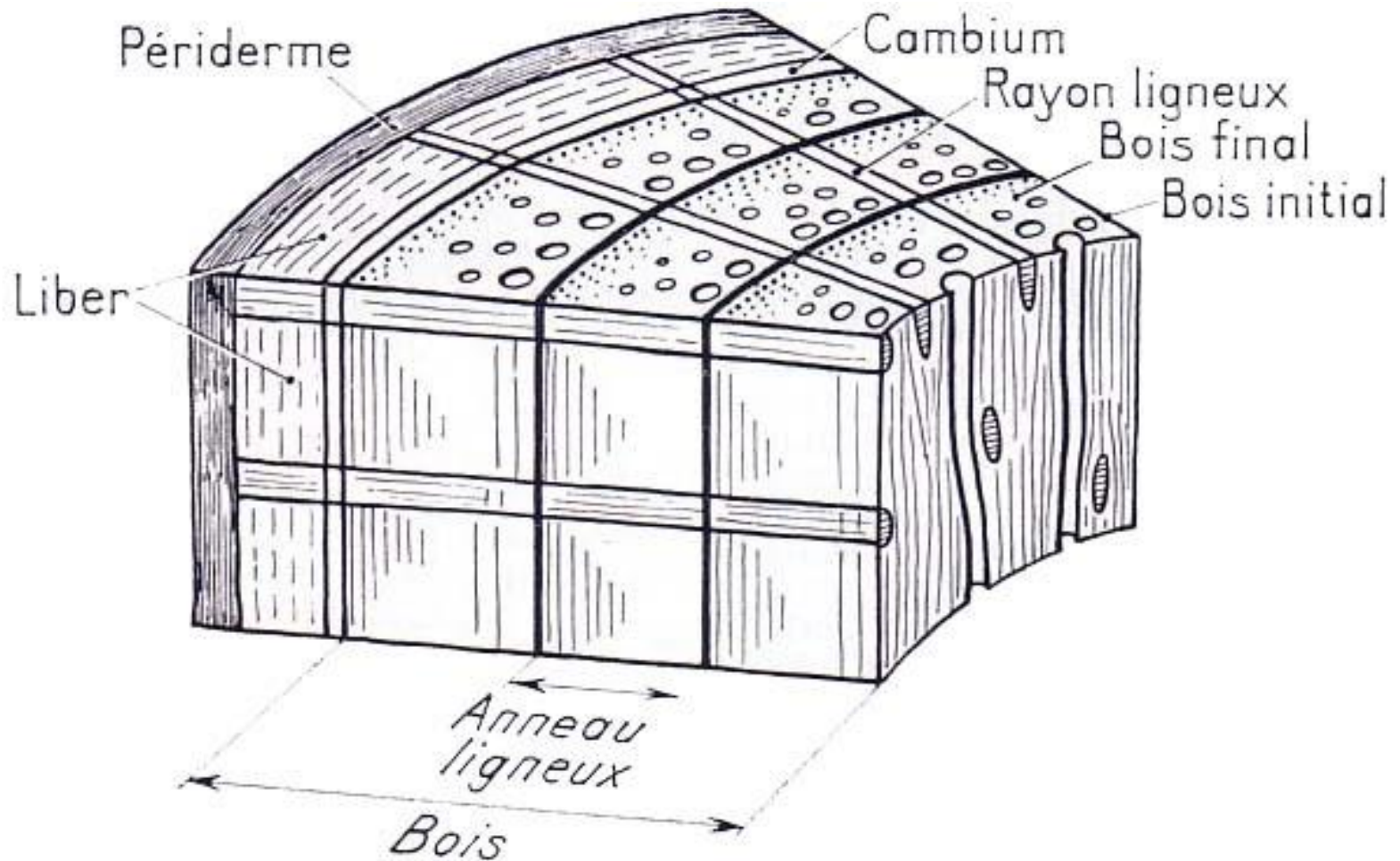


Vaisseaux

Rayon ligneux

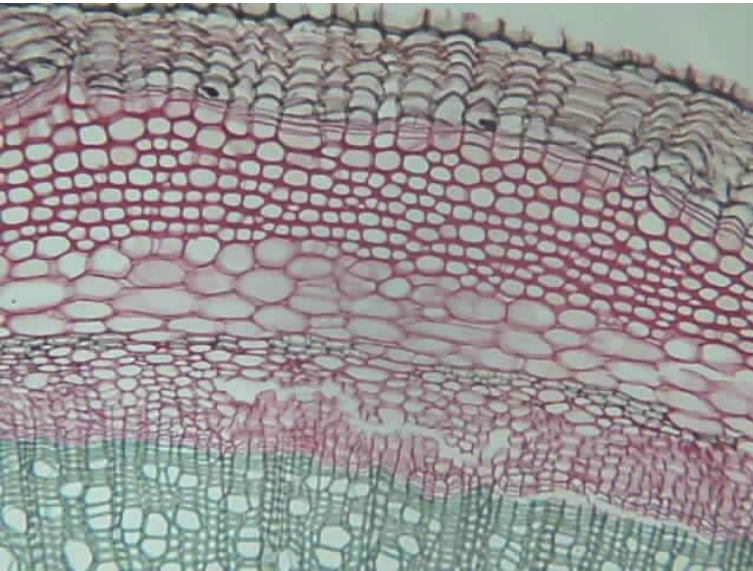
Coupe transversale de bois de Peuplier (x 100)

Document 6. Bloc diagramme montrant l'organisation générale d'un bois.

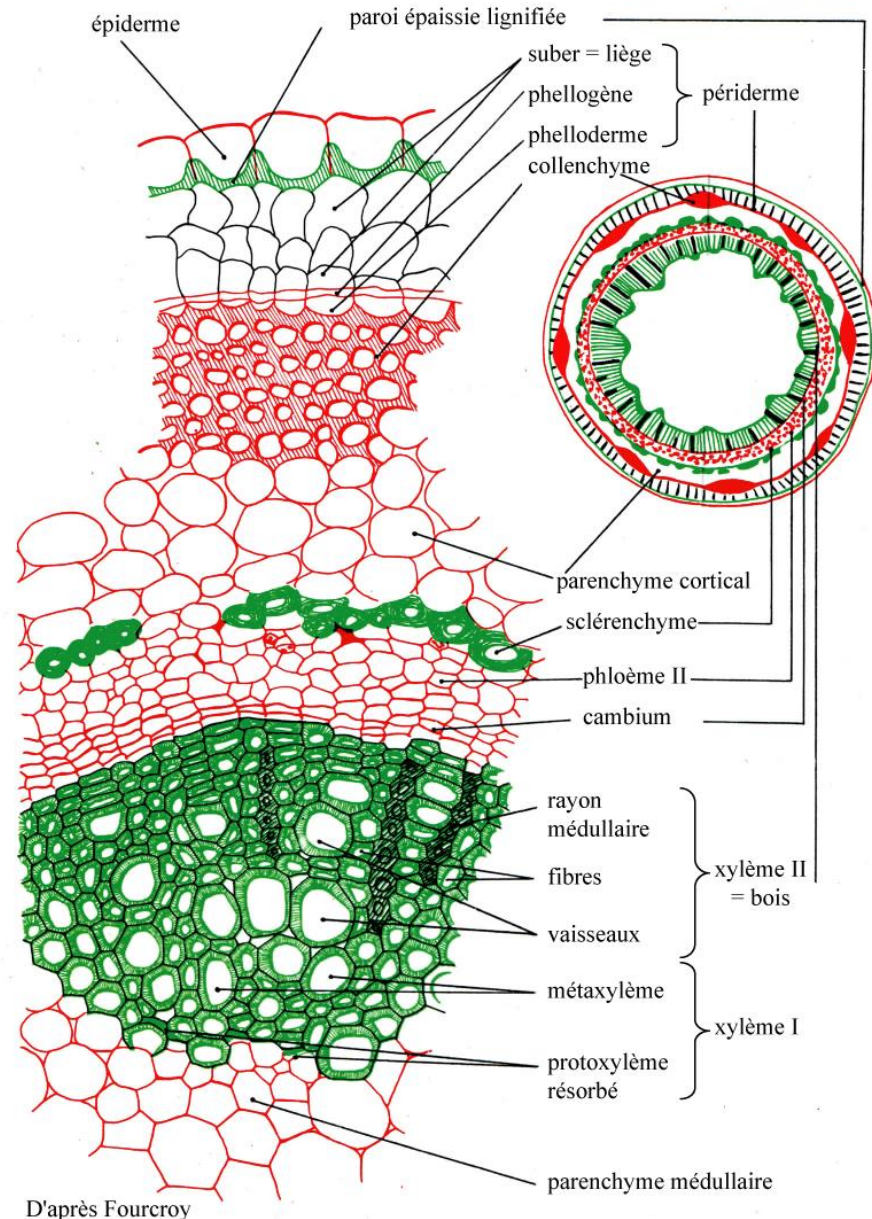


Document 4. Localisation des méristèmes secondaires dans une tige de Sureau âgée.

Coupe transversale tige de Sureau (x 100)



<http://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la- plante-du-mois/le-sureau-un-modele-de- differenciation-des-tissus/le-sureau-un-modele-de- differenciation-des-tissus>



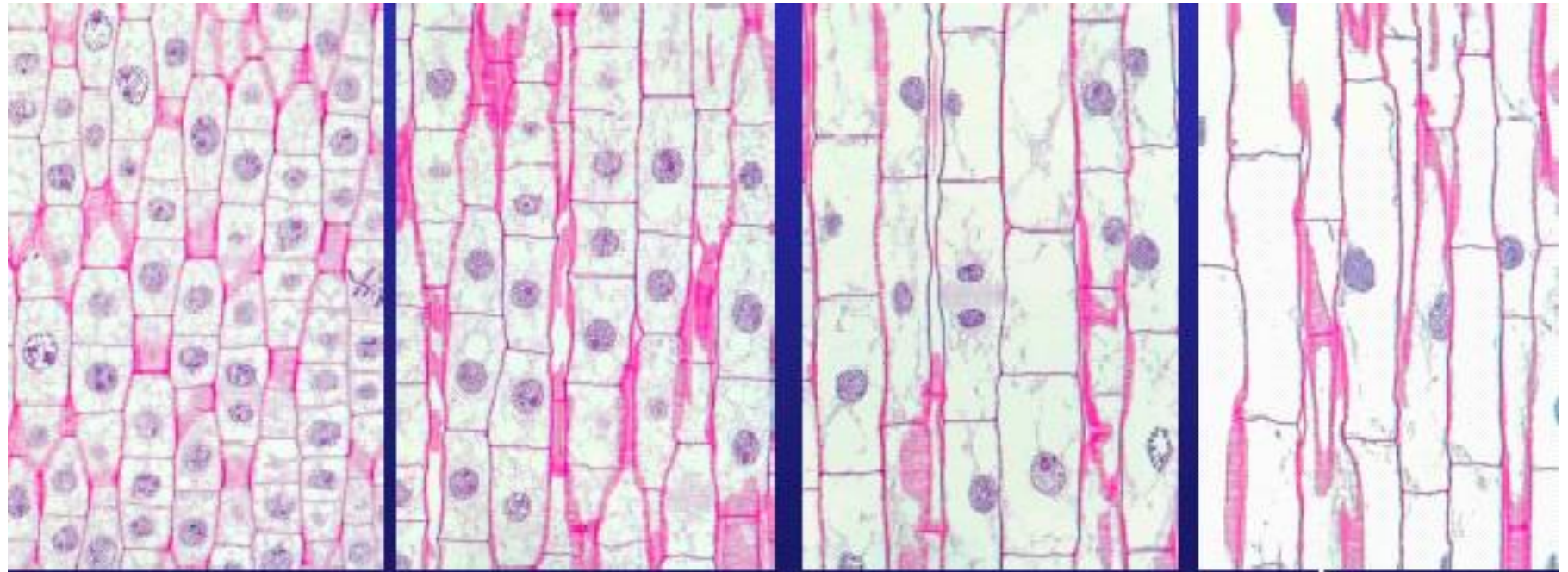
Le suber du chêne liège





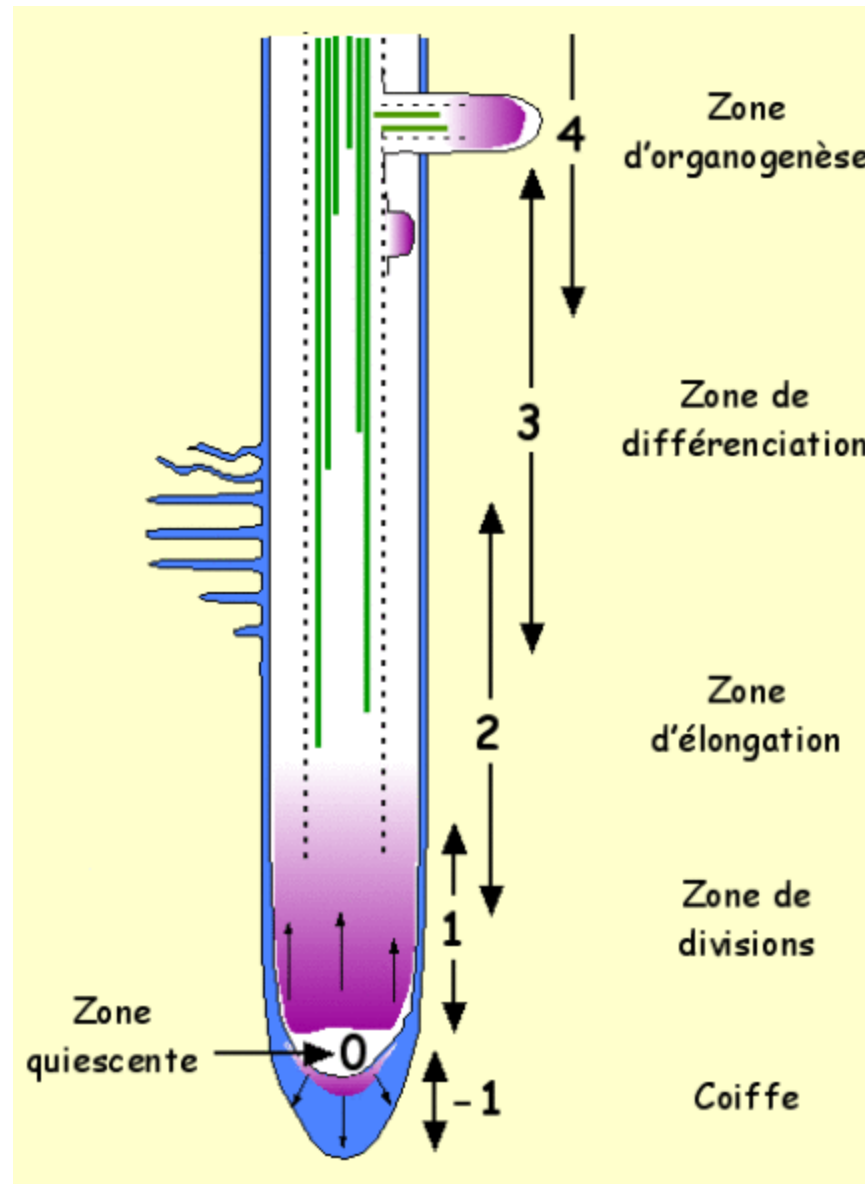
Le rhytidome du Platane



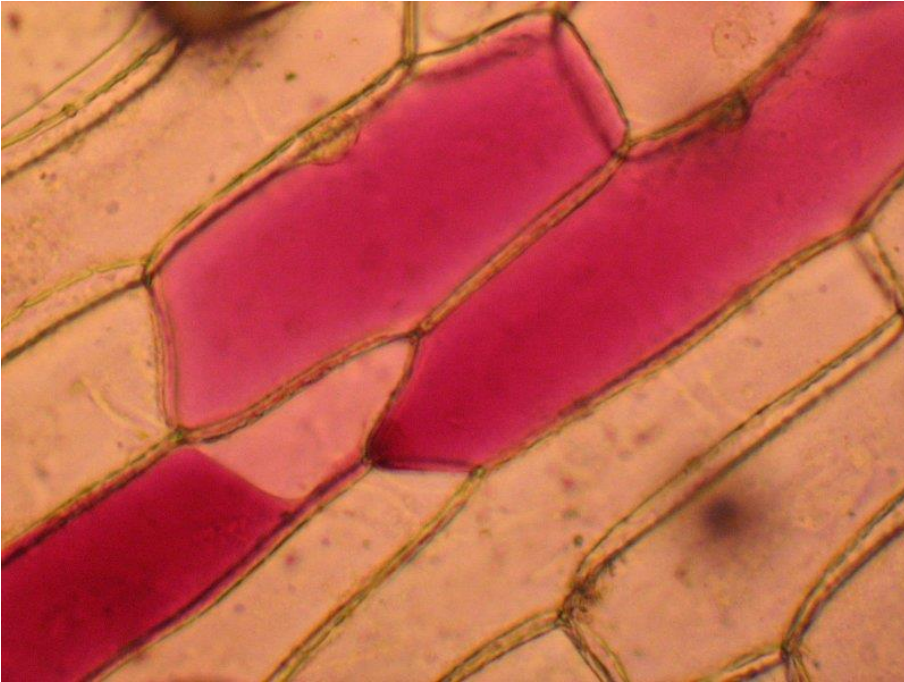


Éloignement progressif de l'apex (racine)

Document 7. Croissance et différenciation de la racine.



Observation de cellules d'épiderme d'oignon violet (MO x640)

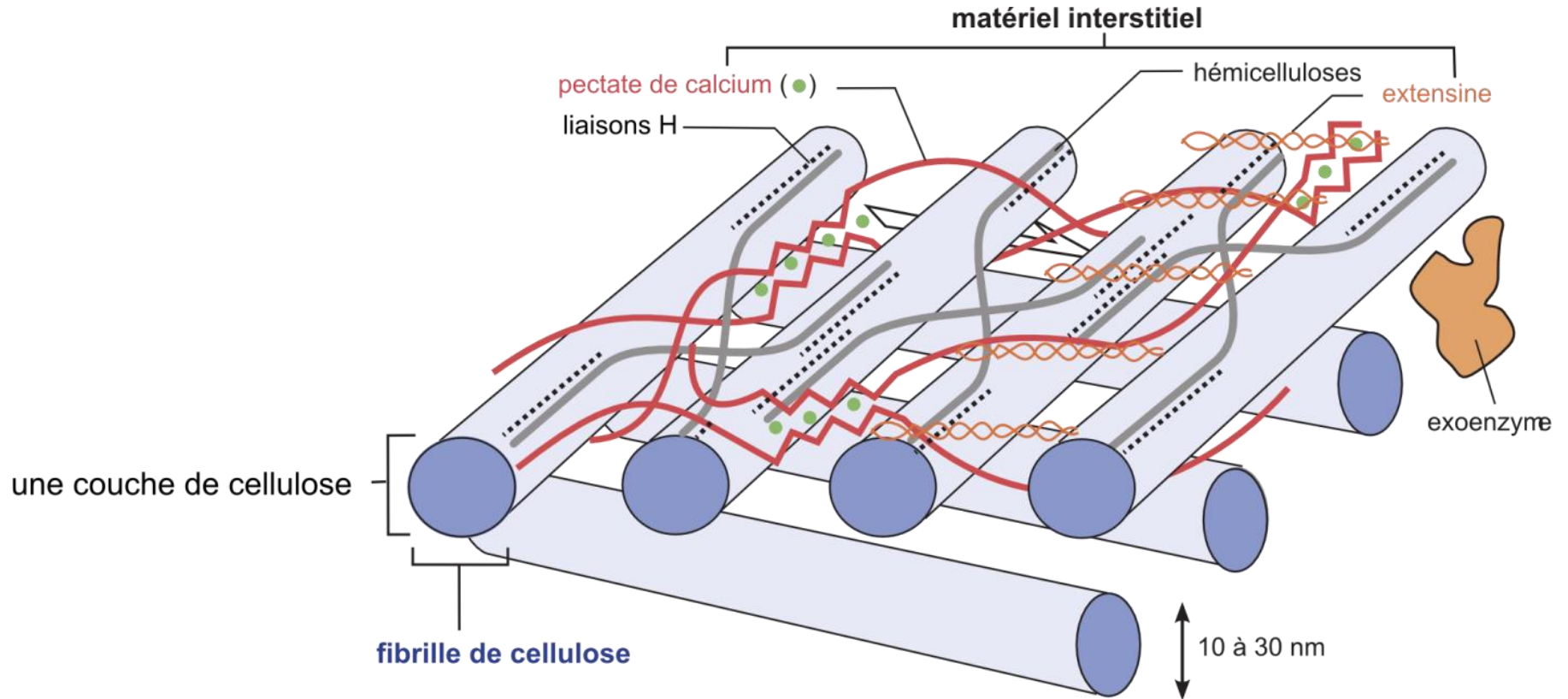


montées dans l'eau
(MOx640)

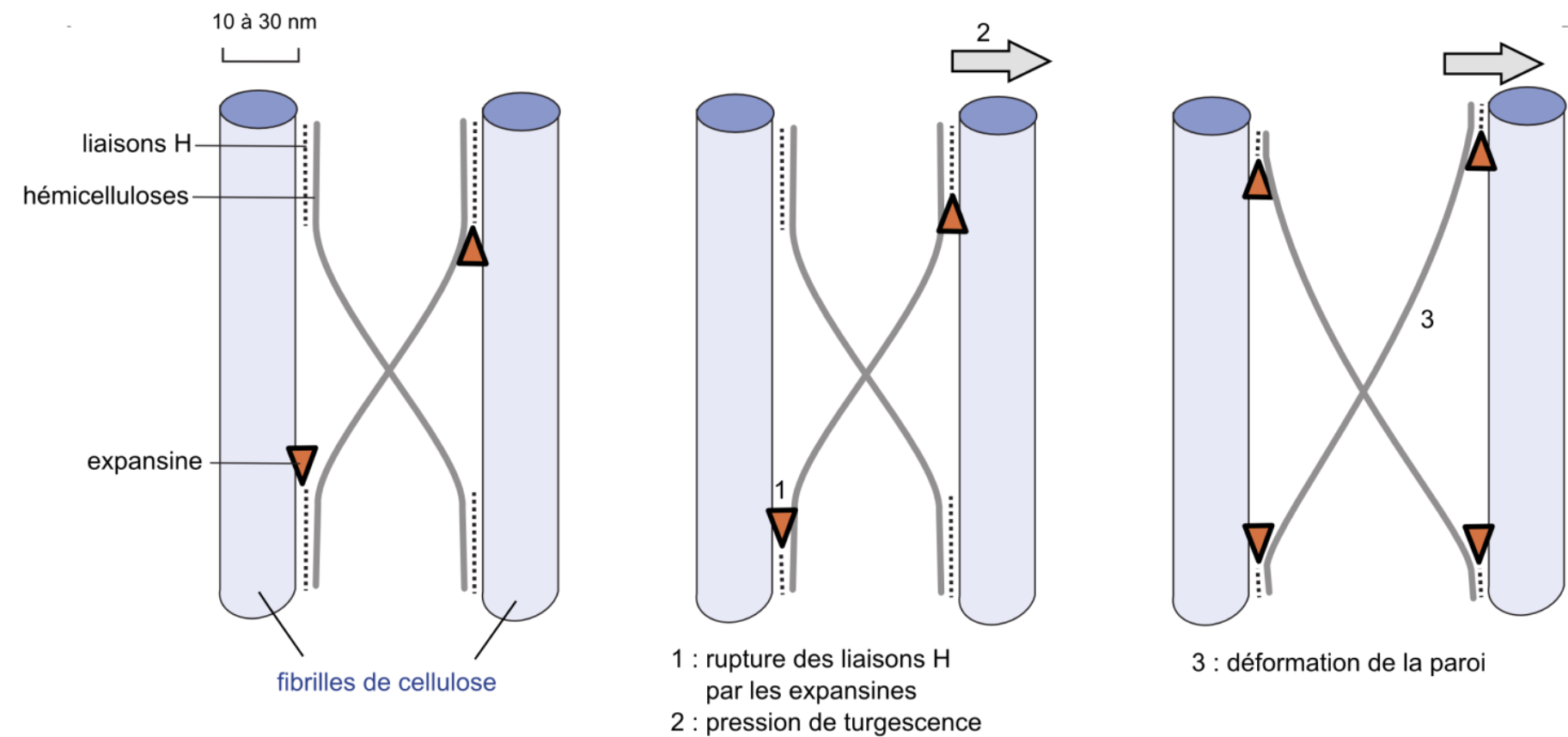


montées dans une
solution de saccharose
(MOx640)

Document 8. Architecture de la paroi primaire.



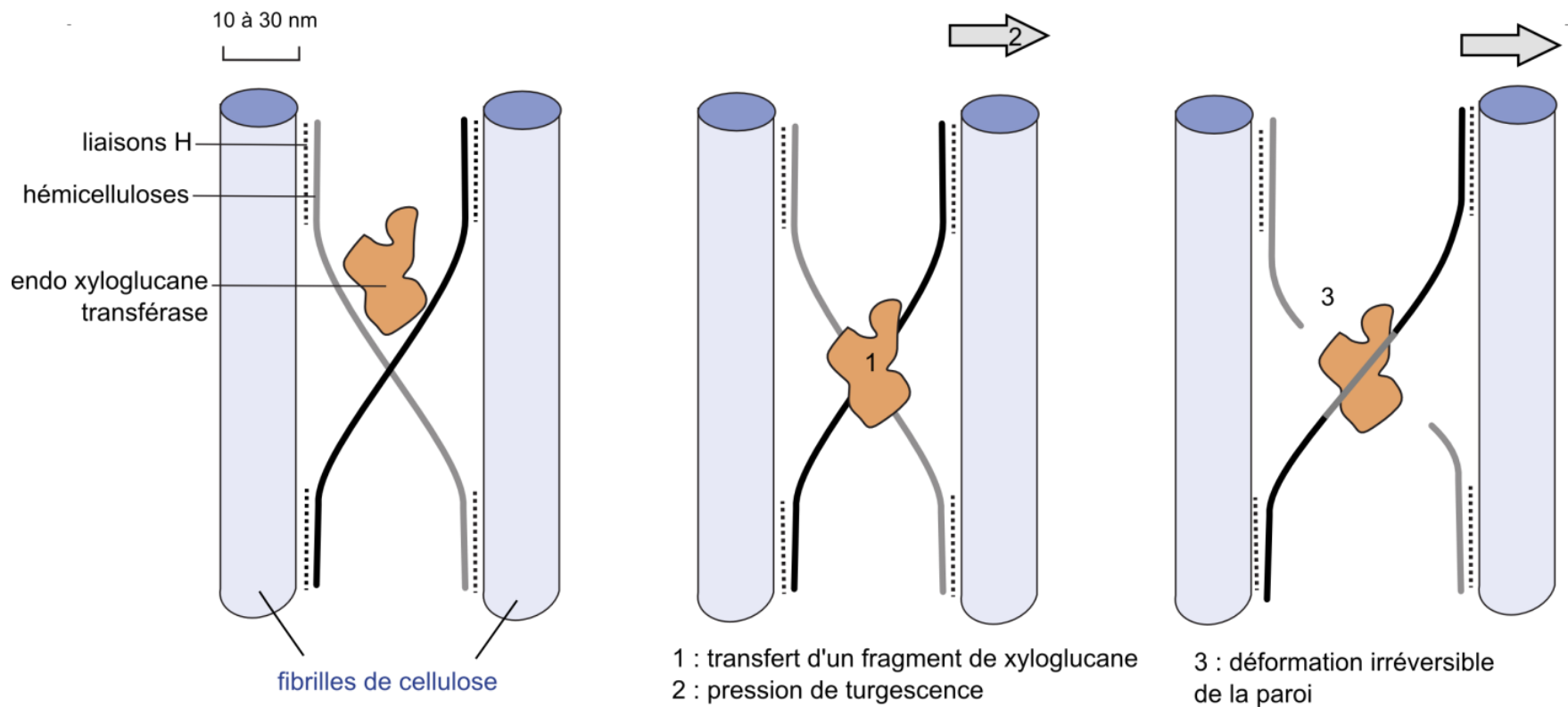
Document 9a. Deux mécanismes contribuant à la déformation pariétale lors de l'auxèse.



a - Représentation schématique du rôle possible des expansines dans l'auxèse

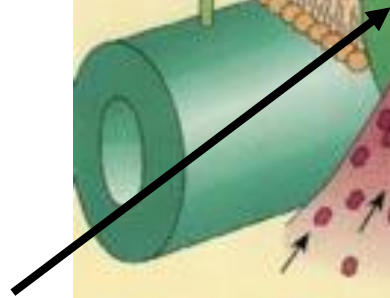
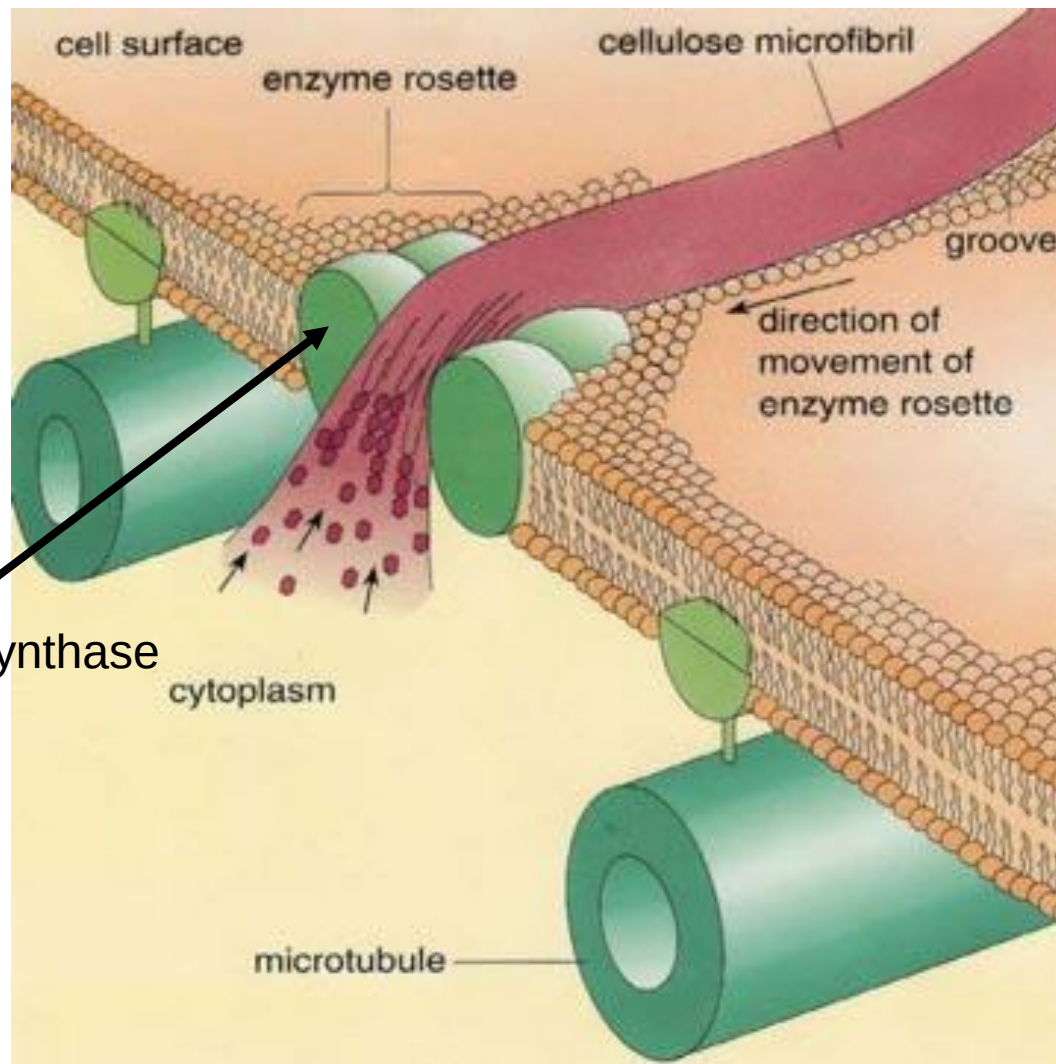
D'après <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/cell/08hypothese.htm>

Document 9b. Deux mécanismes contribuant à la déformation pariétale lors de l'auxèse.



b - Représentation schématique du rôle endo xyloglucane transférases dans l'auxèse

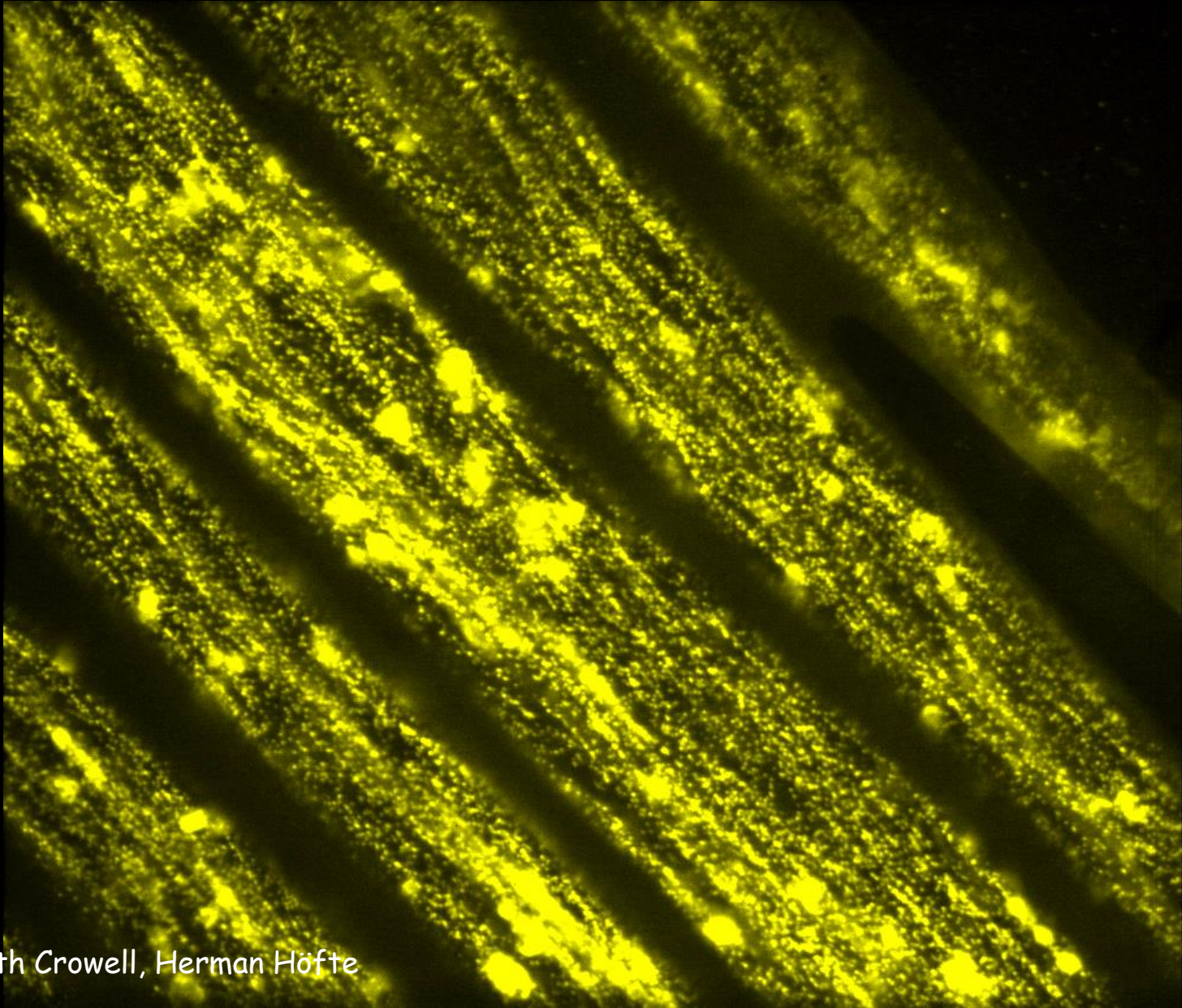
D'après <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/cell/08hypothese.htm>



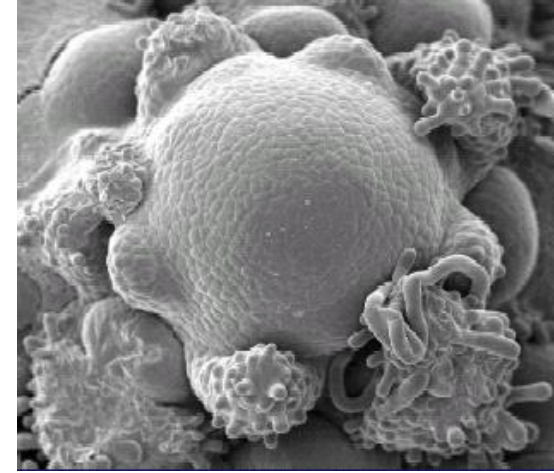
Complexe cellulose synthase

Mise en place des microfibrilles de cellulose par les complexes en rosette (cellulose synthase) de la membrane plasmique

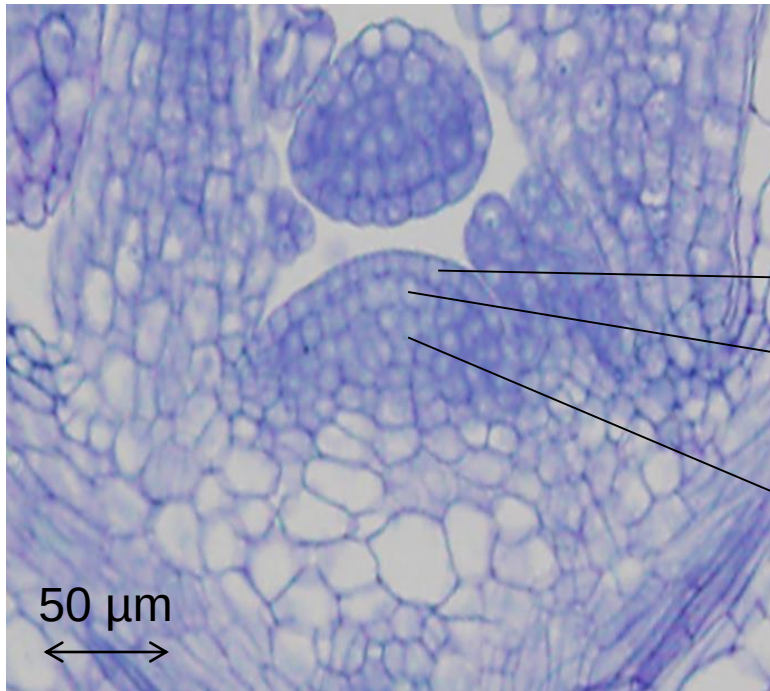
*Parcours de la **cellulose synthase** le long des microtubules du cytosquelette*



Zonation du méristème apical caulinaire d'*Arabidopsis thaliana*



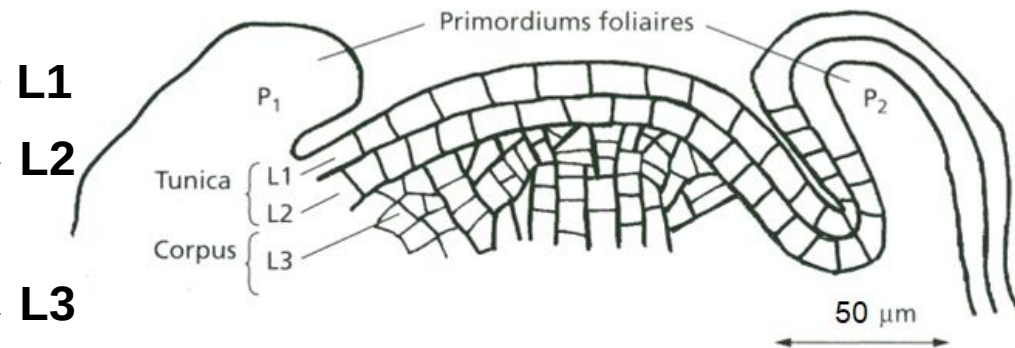
MEB



L1

L2

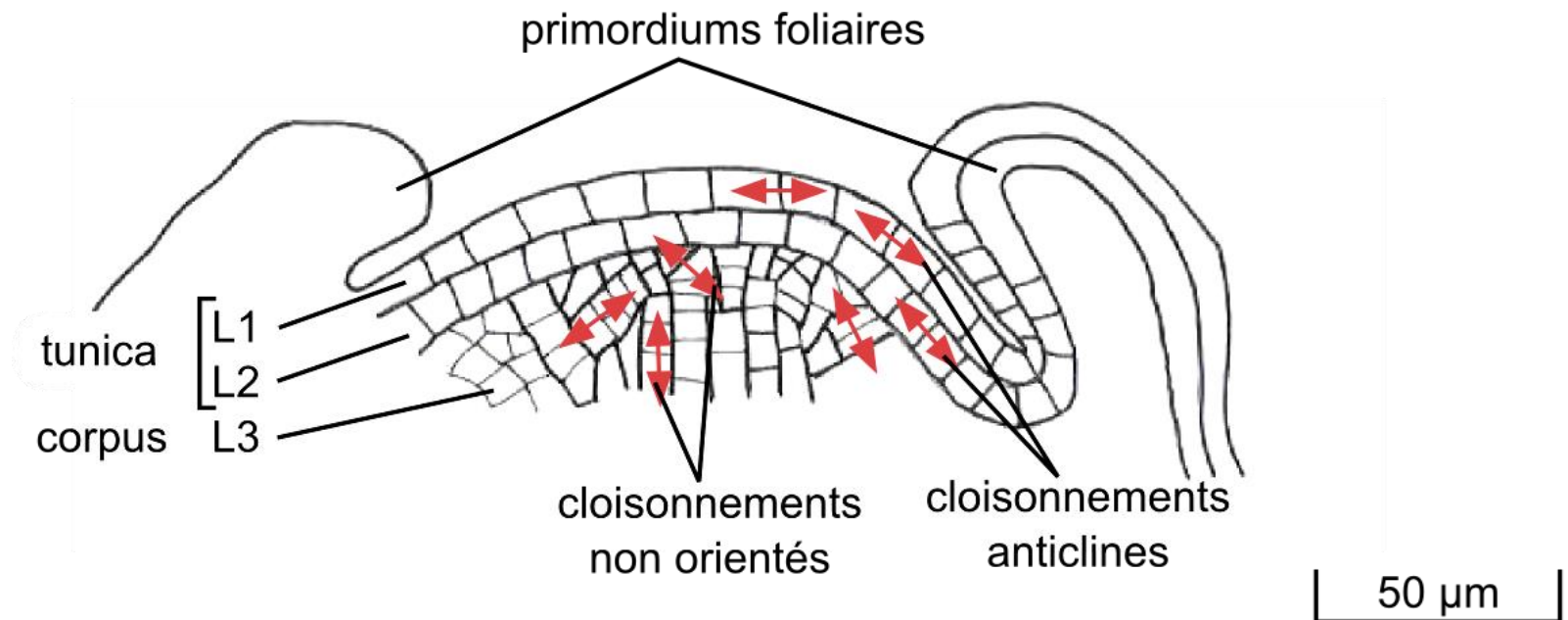
L3



Coupe longitudinale

Document 10. Organisation fonctionnelle du méristème apical caulinaire suivant une coupe longitudinale.

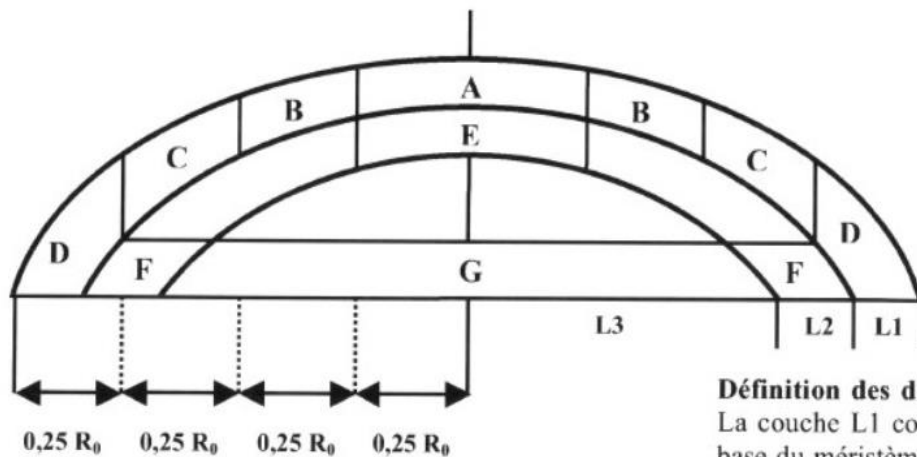
a. Zonation en fonction de l'orientation des cloisonnements cellulaires.



Une stratification horizontale :

- **Tunica** : 2-3 assises cellulaires, les divisions sont exclusivement anticlines
- **Corpus** : cellules plus profondes, pas d'orientation préférentielle des divisions

axe du méristème



Etude de l'indice mitotique dans les différents domaines du MAC d'*Arabidopsis thaliana*

Définition des domaines du MAC d'*Arabidopsis thaliana*. Sept domaines ont été définis (A à G). La couche L1 comprend quatre domaines concentriques (A à D) qui, lorsqu'ils sont projetés sur la base du méristème, correspondent à quatre domaines circulaires de largeur $0,25 R_0$, où R_0 est le rayon de la base du méristème. Les cellules de la couche L2 qui sont au-dessous du domaine A forment le domaine E. Sur la base du méristème, les cellules de la couche L2 et de la couche L3 forment respectivement les domaines F et G.

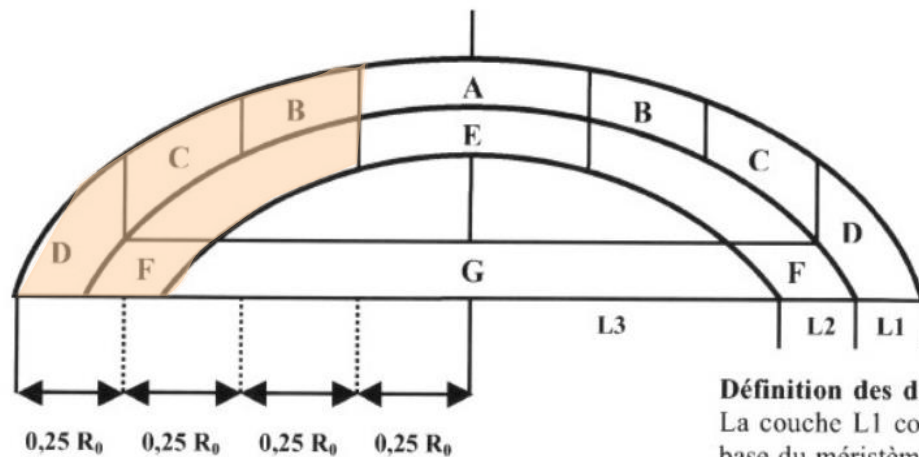
Tableau 1. Index mitotique et taille des cellules méristématiques dans le MAC d'une population sauvage d'*Arabidopsis thaliana*. Le diamètre de la base du méristème est de $52 \mu\text{m}$. Les nombres entre parenthèses correspondent aux marges d'erreur standards.

Zones méristématiques	Nombre de méristèmes ^a (n)	Nombre de cellules ^a	Nombre de mitoses ^a	Index mitotique	Taille ^b en μm
Couche L1					
Domaine A	50	280	5	1,8 % (0,6)	5,1 (0,2)
Domaine B	50	329	14	4,3 % (0,5)	4,5 (0,1)
Domaine C	50	377	17	4,5 % (0,5)	4,6 (0,1)
Domaine D	50	373	18	4,8 % (0,5)	4,5 (0,3)
Couche L2					
Domaine E	50	545	9	1,7 % (0,7)	5,2 (0,2)
Domaine F	50	1183	48	4,1 % (0,6)	4,6 (0,1)
Couche L3					
Domaine G	30	1652	40	2,4 % (0,4)	5,8 (0,1)

^a En raison du faible nombre de cellules par domaine, les mesures des nombres de cellules et de mitoses ont été effectuées sur un nombre n de méristèmes.

^b La taille cellulaire a été déterminée en mesurant la distance entre les noyaux des cellules dans les différents domaines de 12 méristèmes sauvages. Les valeurs données correspondent aux tailles cellulaires moyennes.

axe du méristème



Etude de l'indice mitotique dans les différents domaines du MAC d'*Arabidopsis thaliana*

Définition des domaines du MAC d'*Arabidopsis thaliana*. Sept domaines ont été définis (A à G). La couche L1 comprend quatre domaines concentriques (A à D) qui, lorsqu'ils sont projetés sur la base du méristème, correspondent à quatre domaines circulaires de largeur $0,25 R_0$, où R_0 est le rayon de la base du méristème. Les cellules de la couche L2 qui sont au-dessous du domaine A forment le domaine E. Sur la base du méristème, les cellules de la couche L2 et de la couche L3 forment respectivement les domaines F et G.

Tableau 1. Index mitotique et taille des cellules méristématiques dans le MAC d'une population sauvage d'*Arabidopsis thaliana*. Le diamètre de la base du méristème est de $52 \mu\text{m}$. Les nombres entre parenthèses correspondent aux marges d'erreur standards.

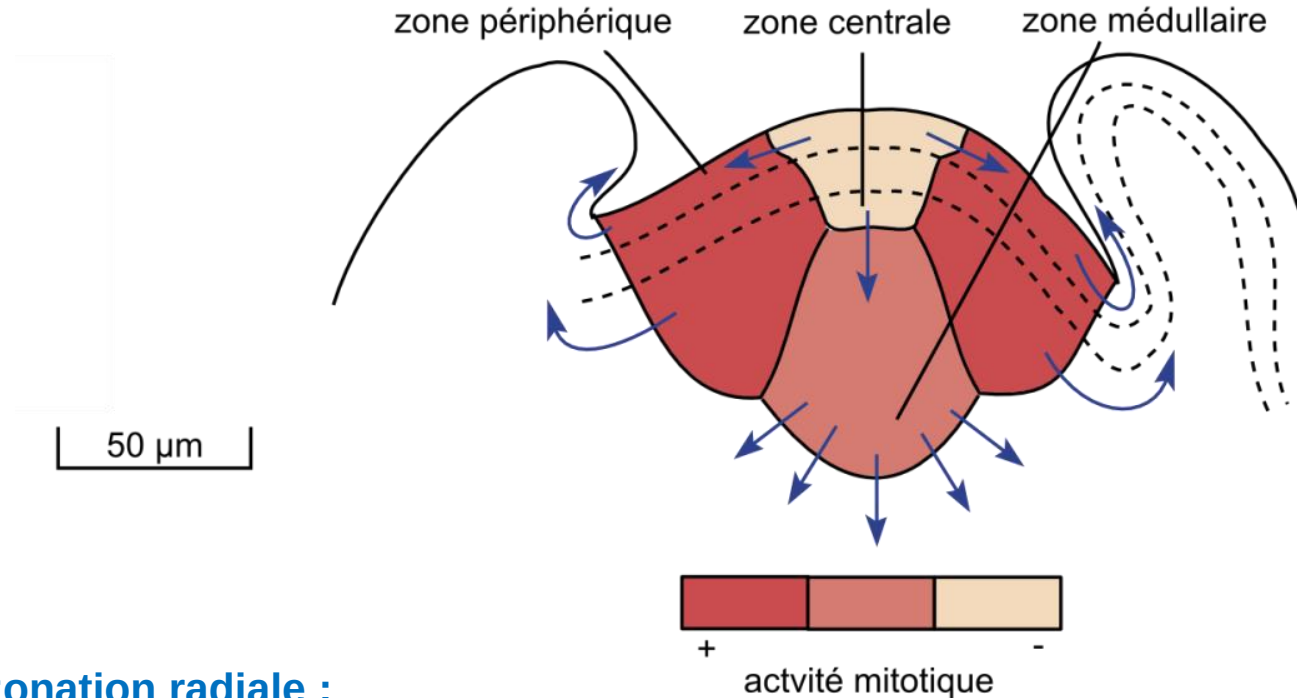
Zones méristématiques	Nombre de méristèmes ^a (n)	Nombre de cellules ^a	Nombre de mitoses ^a	Index mitotique	Taille ^b en μm
Couche L1					
Domaine A	50	280	5	1,8 % (0,6)	5,1 (0,2)
Domaine B	50	329	14	4,3 % (0,5)	4,5 (0,1)
Domaine C	50	377	17	4,5 % (0,5)	4,6 (0,1)
Domaine D	50	373	18	4,8 % (0,5)	4,5 (0,3)
Couche L2					
Domaine E	50	545	9	1,7 % (0,7)	5,2 (0,2)
Domaine F	50	1183	48	4,1 % (0,6)	4,6 (0,1)
Couche L3					
Domaine G	30	1652	40	2,4 % (0,4)	5,8 (0,1)

^a En raison du faible nombre de cellules par domaine, les mesures des nombres de cellules et de mitoses ont été effectuées sur un nombre n de méristèmes.

^b La taille cellulaire a été déterminée en mesurant la distance entre les noyaux des cellules dans les différents domaines de 12 méristèmes sauvages. Les valeurs données correspondent aux tailles cellulaires moyennes.

Document 10. Organisation fonctionnelle du méristème apical caulinaire suivant une coupe longitudinale.

b. Zonation selon l'activité mitotique.



Une zonation radiale :

ZC : zone centrale à faible taux de division

ZP : zone périphérique annulaire à taux de division plus fort = zone de formation des primordiums foliaires

ZM : zone médullaire à cellules plus grandes qui produisent les parties internes de la tige

Conclusion : la zone centrale permet le maintien des cellules souches, la zone périphérique permet la mise en place des organes latéraux.



Feuilles opposées décussées
(gentiane)



Feuilles alternes (Orme)

Les principales dispositions phyllotaxiques

verticillées

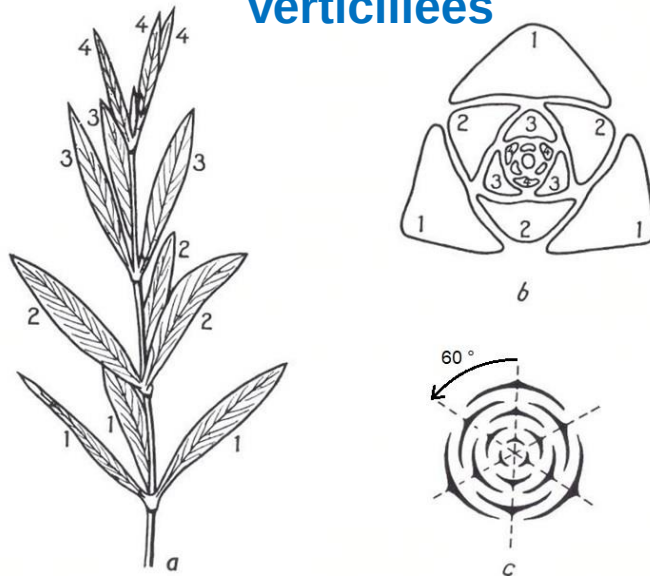


FIG. 168. — Feuilles verticillées par trois.

a : rameau feuillé de Laurier-rose; b : coupe transversale dans un bourgeon;
c : diagramme foliaire.

opposées

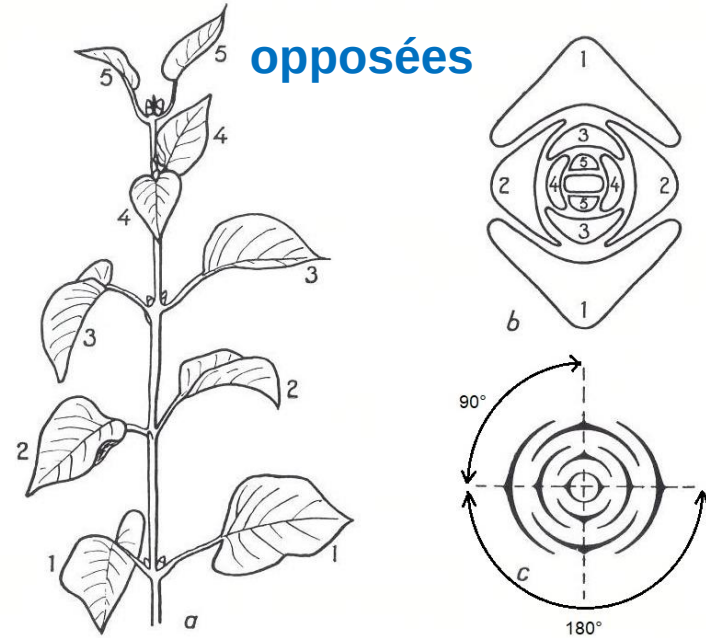


FIG. 167. — Feuilles opposées-décussées (feuilles verticillées par 2).

a : rameau feuillé de Lilas; b : coupe transversale dans un bourgeon de Lilas;
c : diagramme foliaire.

alternes

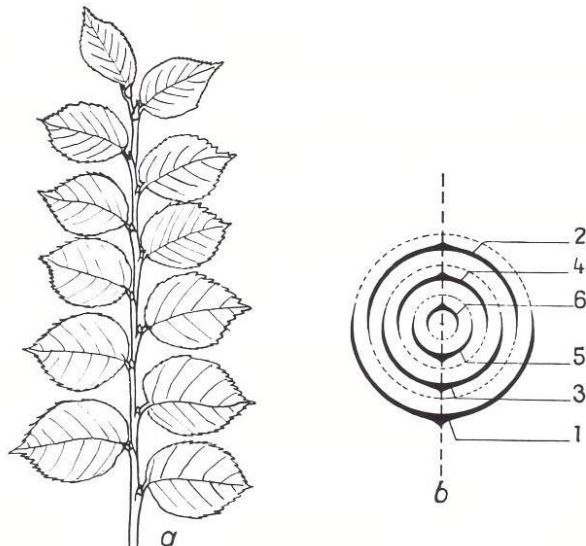


FIG. 169. — Feuilles alternes distiques :

a : rameau feuillé d'Orme (*Ulmus campestris*); b : diagramme foliaire.

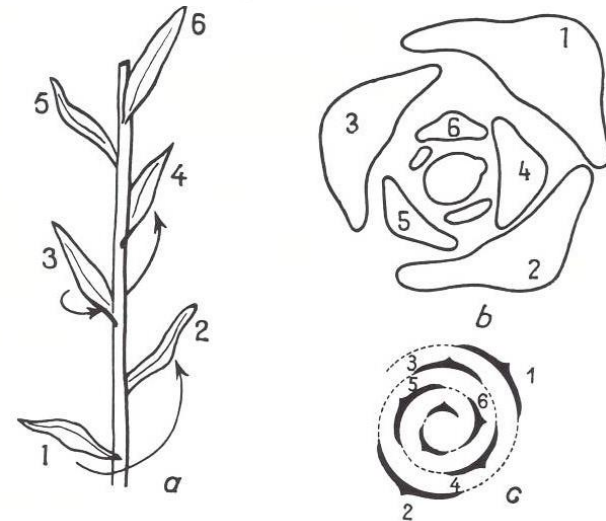


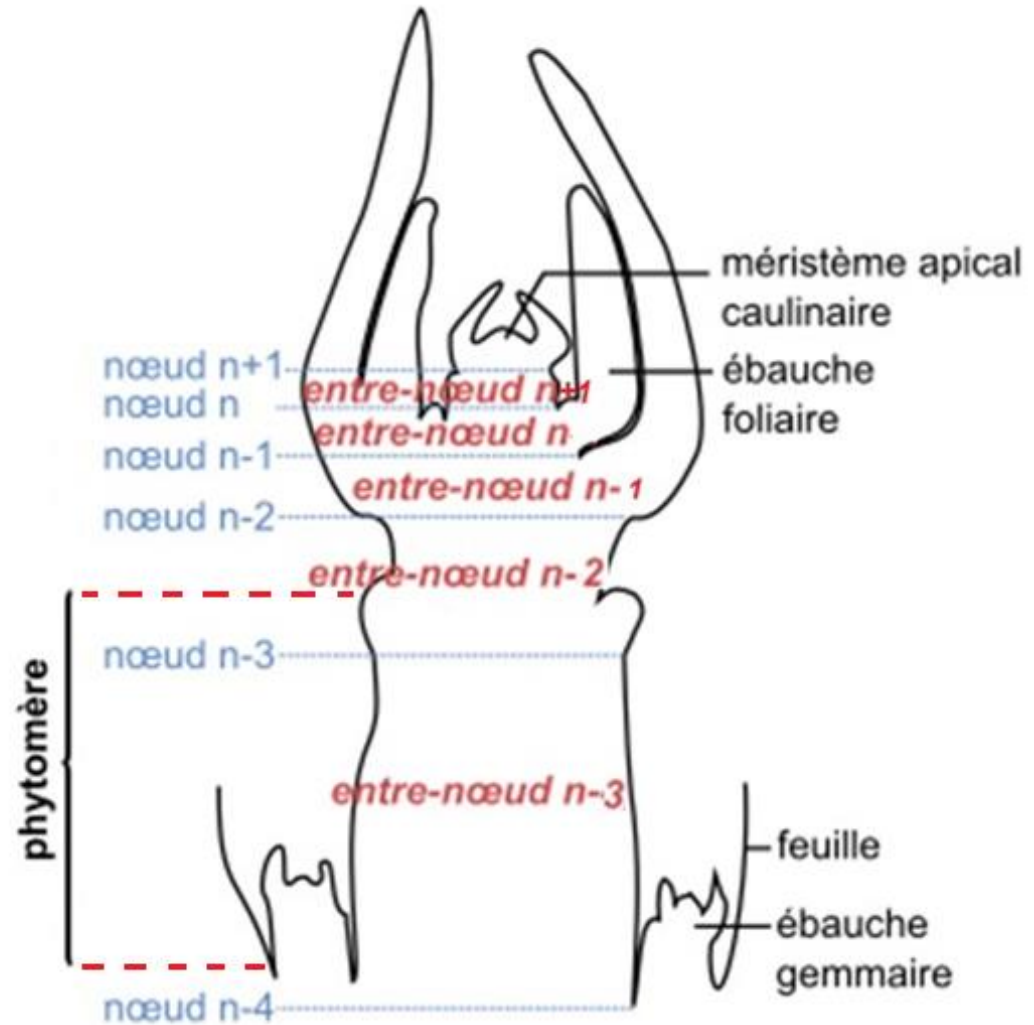
FIG. 170. — Feuilles alternes quinconciales.

a : rameau feuillé de Lin; b : coupe transversale dans un bourgeon;
c : diagramme foliaire.

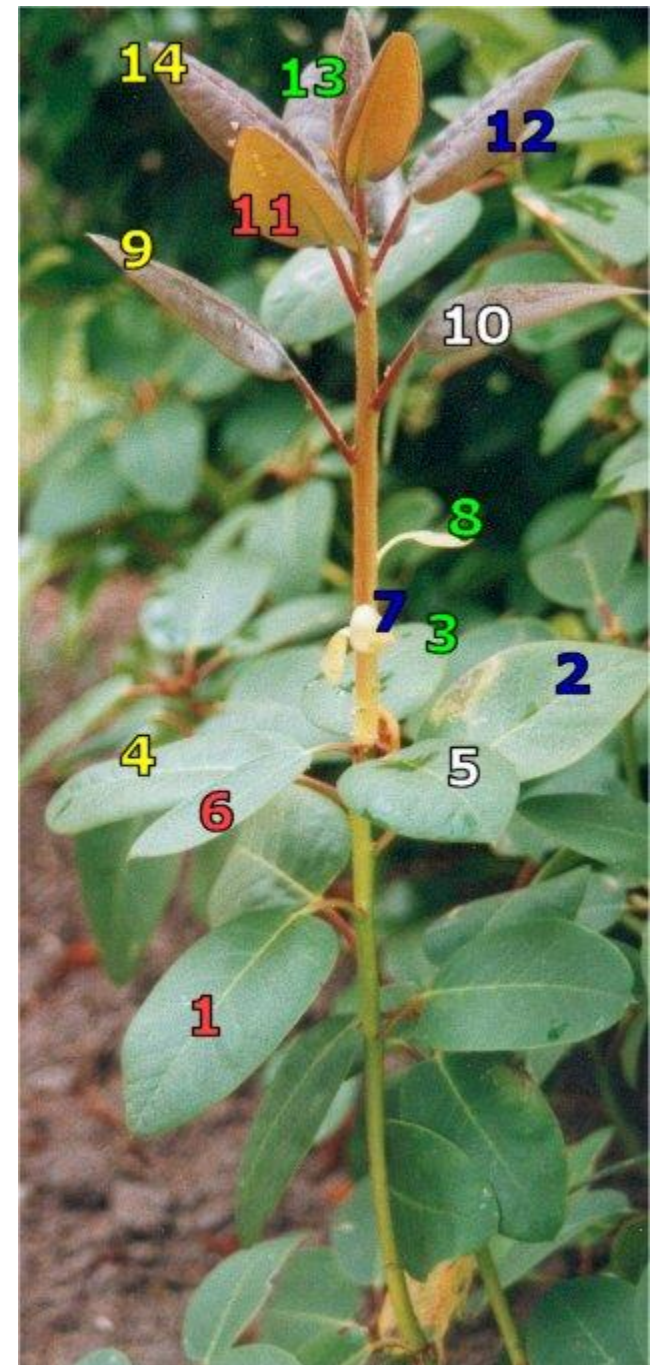
Apex caulinaire de Coleus



1 mm

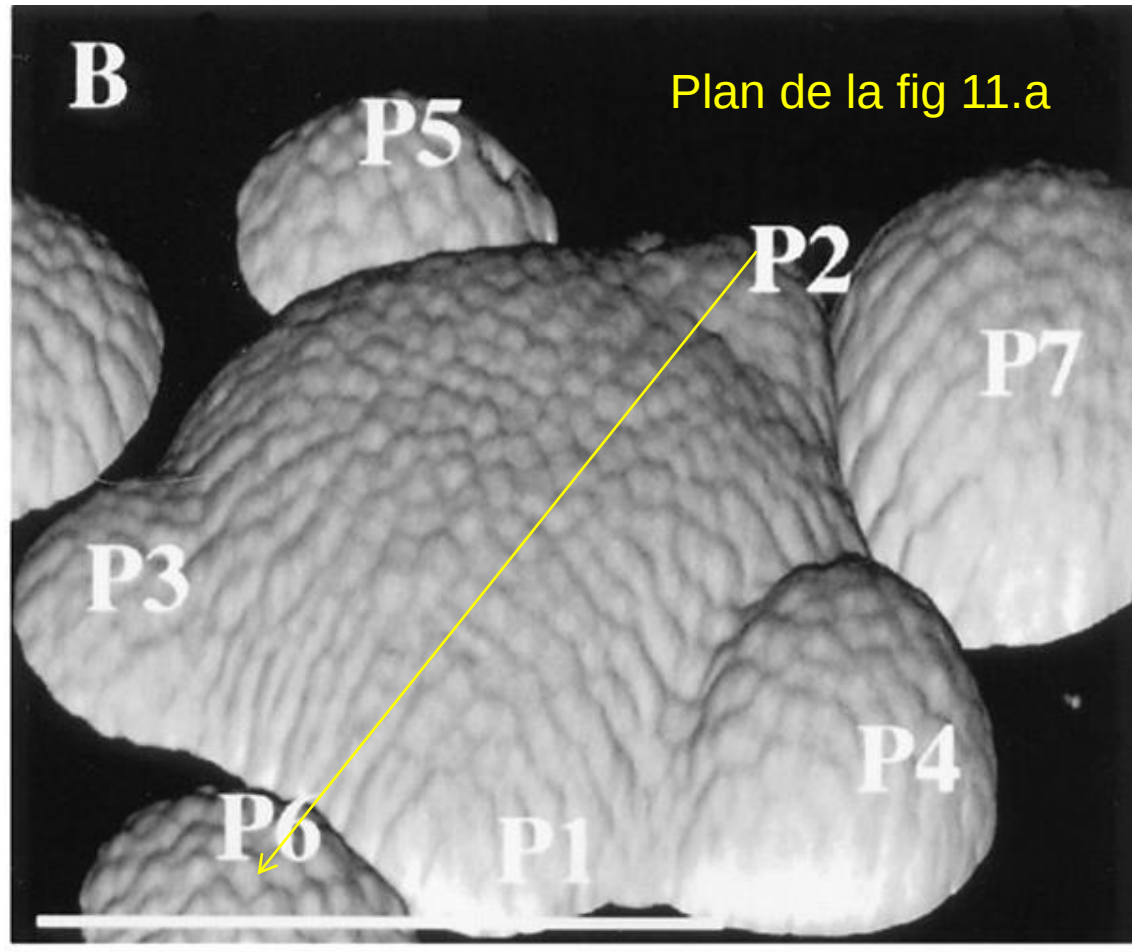


Etude de la phyllotaxie chez un Rhododendron



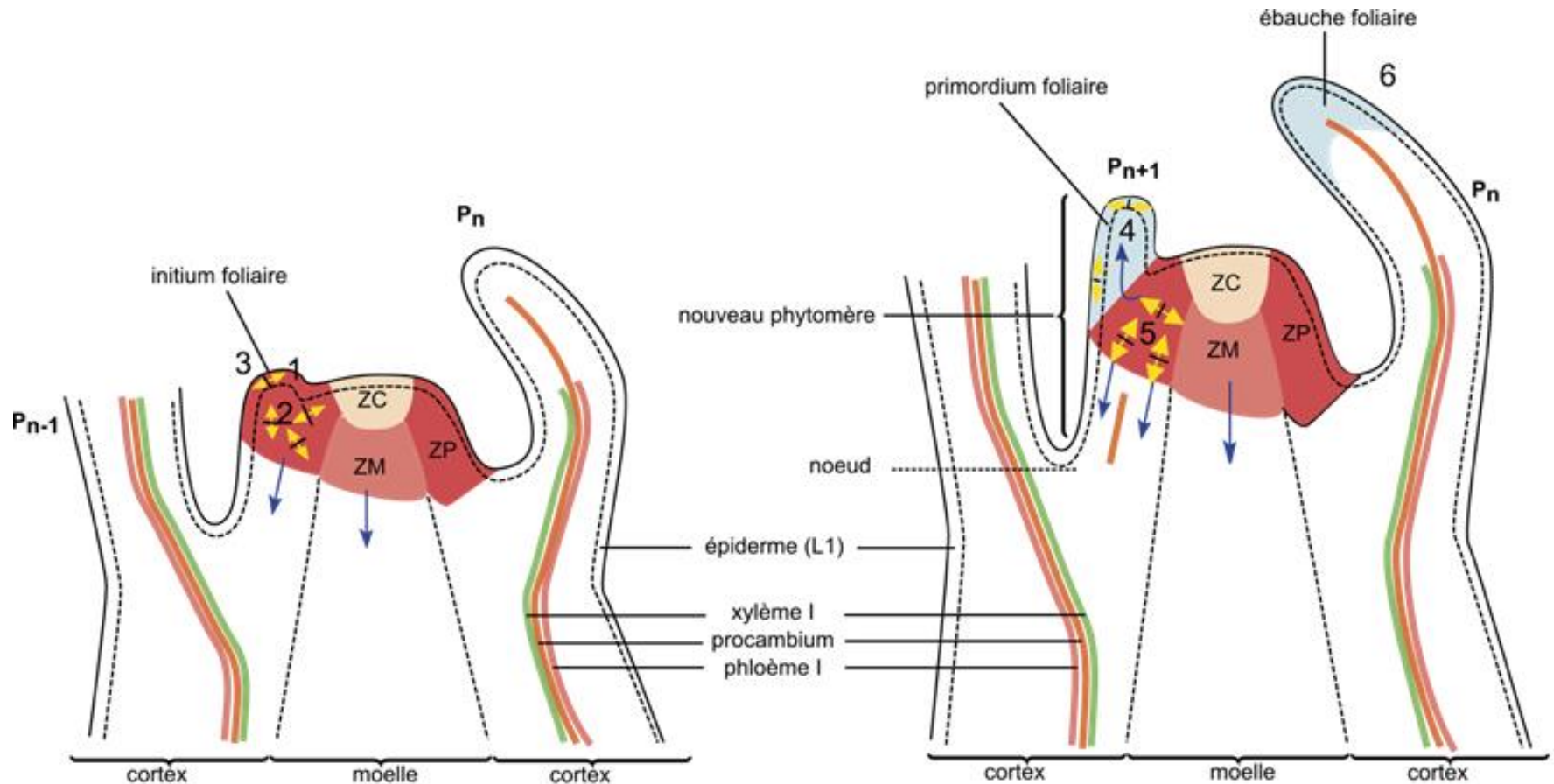
Méristème apical caulinaire d'*Arabidopsis thaliana*

Vue de dessus



Document 11. Deux étapes de la mise en place d'un phytomère d'une tige à feuilles alternes.

ZC : zone centrale ; ZM : zone médullaire ; ZP : zone périphérique



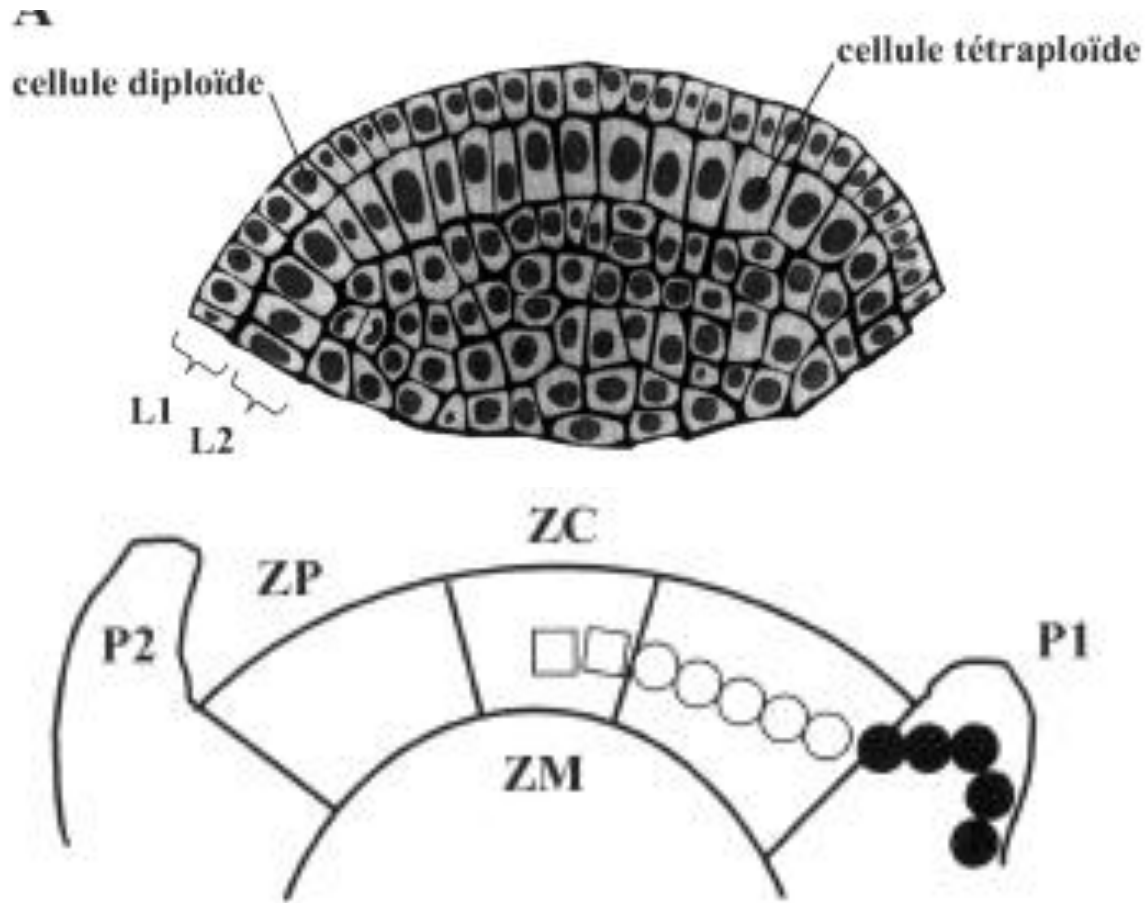
a) aire maximale de la zone périphérique

- 1 : divisions anticlines de la tunica
- 2 : divisions de L3
- 3 : bombement d'un initium foliaire

b) aire minimale de la zone périphérique

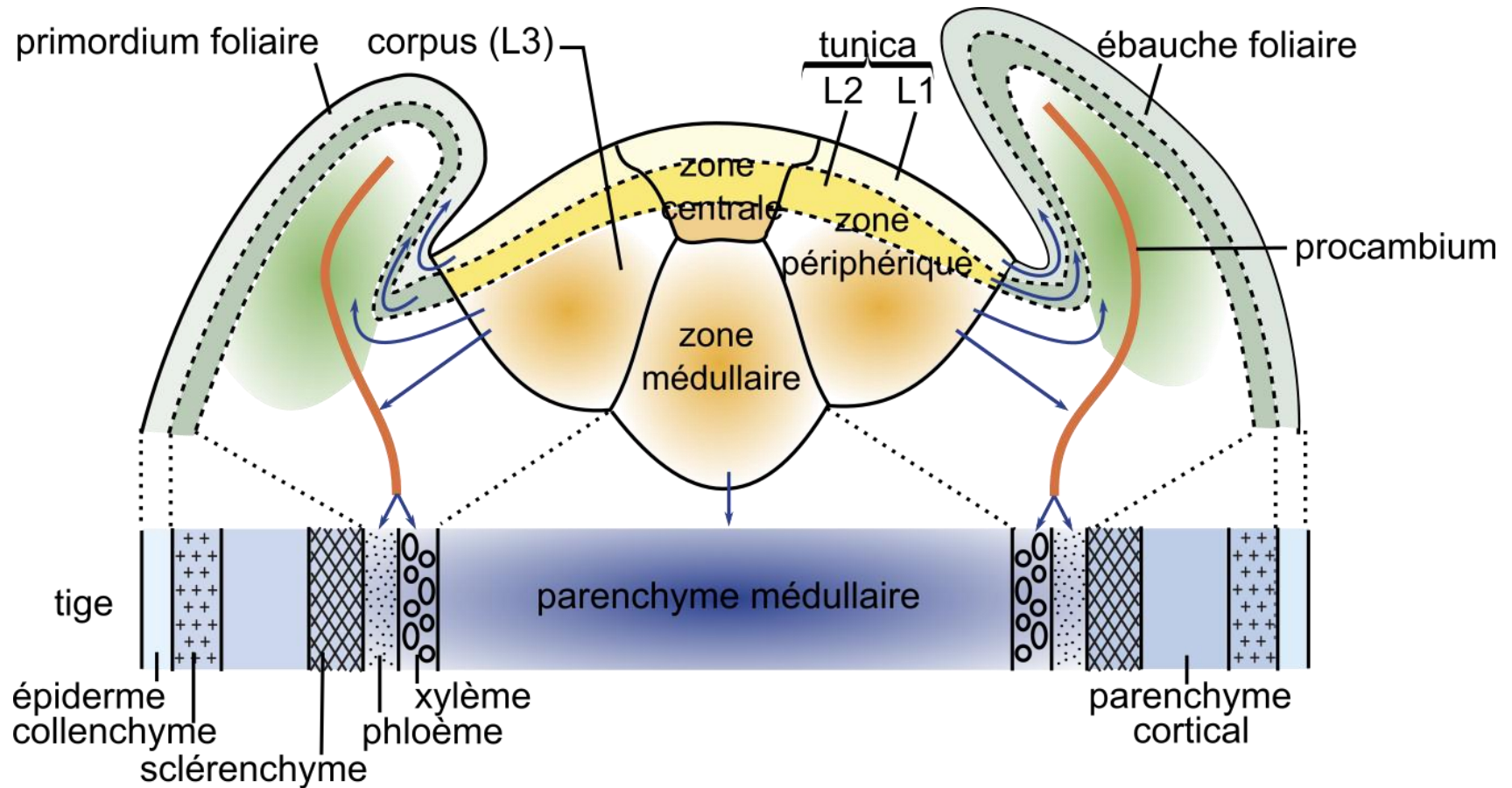
- 4 : individualisation du primordium foliaire
- 5 : reconstitution de ZP
- 6 : croissance des ébauches foliaires

Utilisation de chimère pour repérer les filiations cellulaires dans l'apex caulinaire

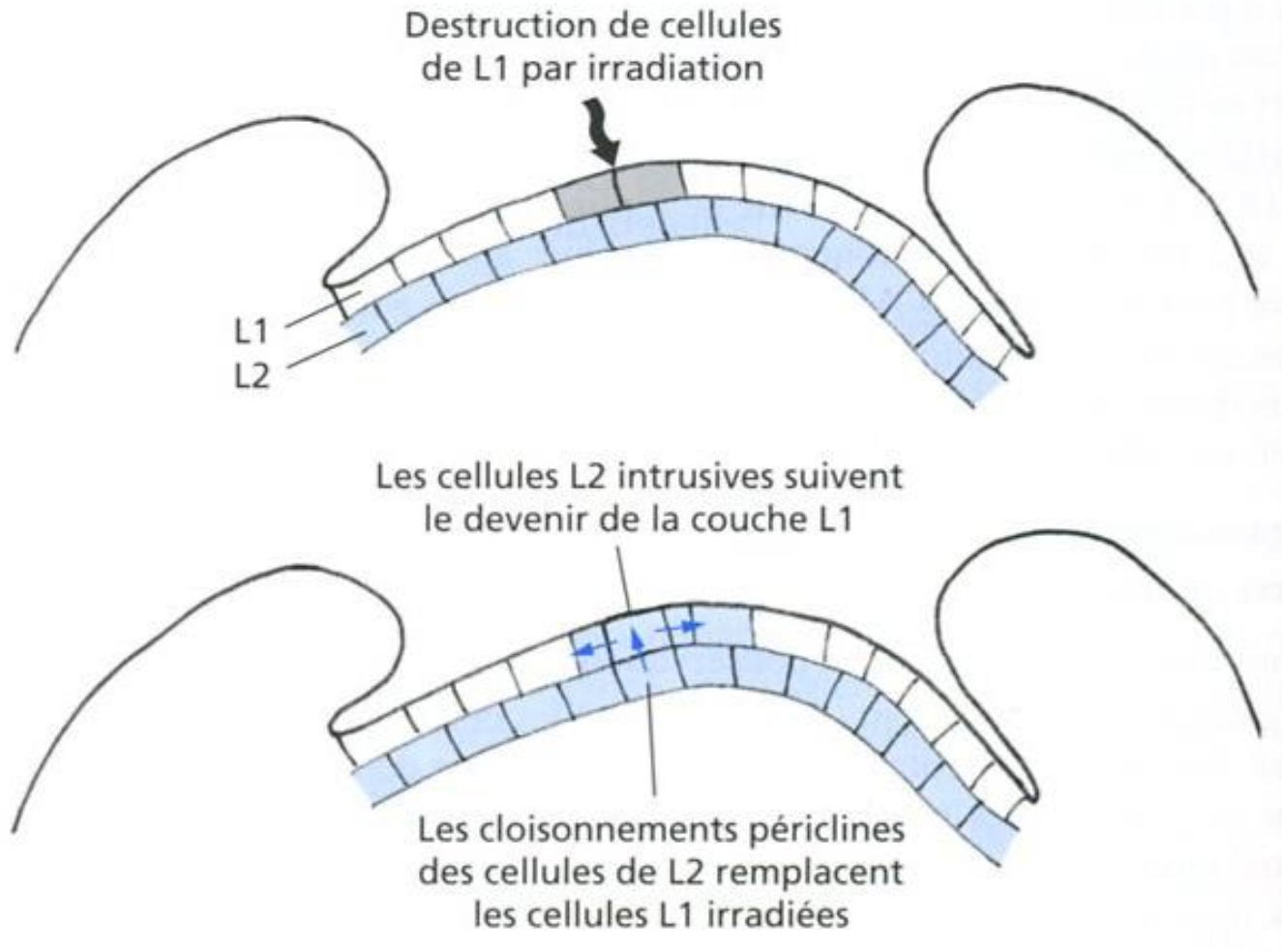


En haut : Méristème chimère composé de C/ $2n$ (dans L1) et de cellules $4n$ (dans L2).
En bas : Dynamique du développement du MAC. Les carrés, les cercles vides et les cercles pleins représentent les positions successives d'une cellule de L2 à différents temps de son développement. (d'après sujet de biologie, concours ENS 2004).

Document 13. Devenir des cellules issues du méristème apical caulinaire.

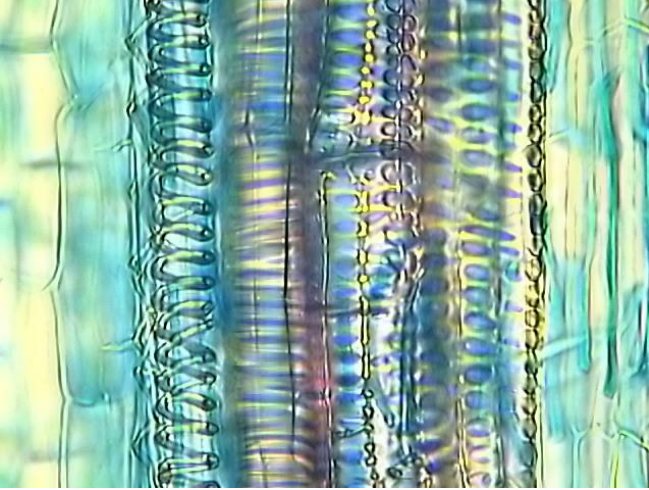


Résultats d'expériences de lésions de cellules de L1



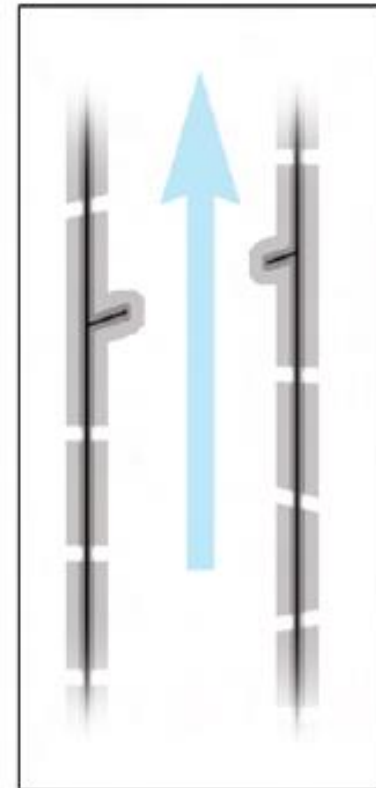
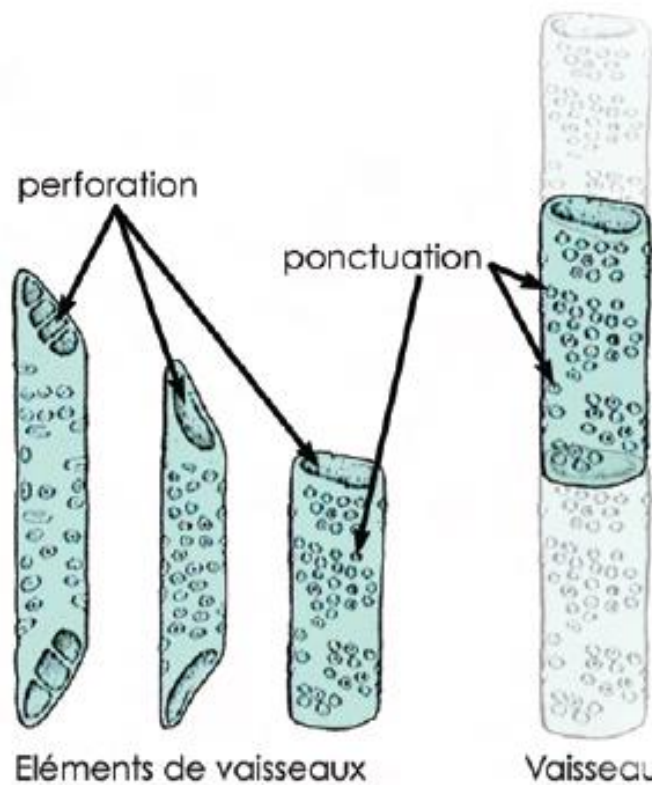
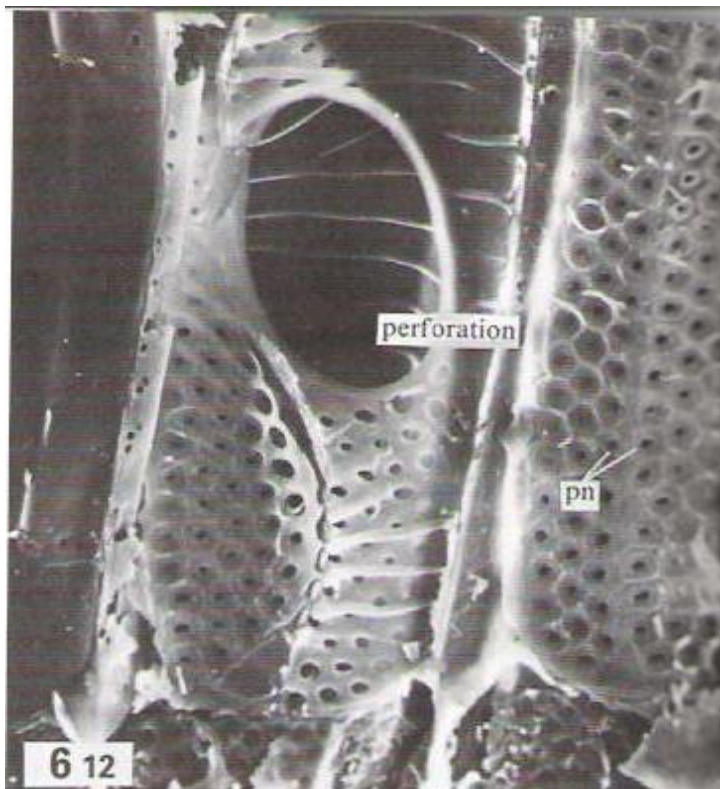
Conclusion :

Le devenir des cellules n'est pas fixé et dépend d'interactions avec les cellules voisines.



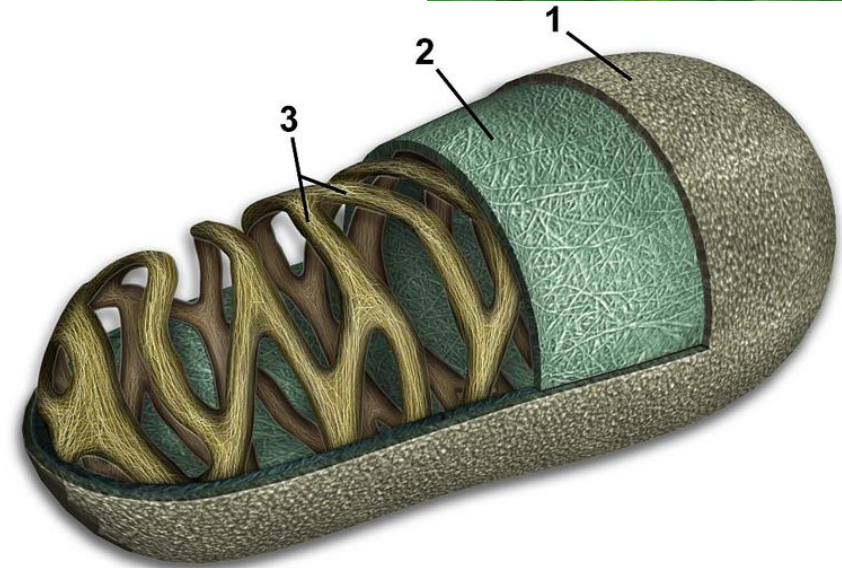
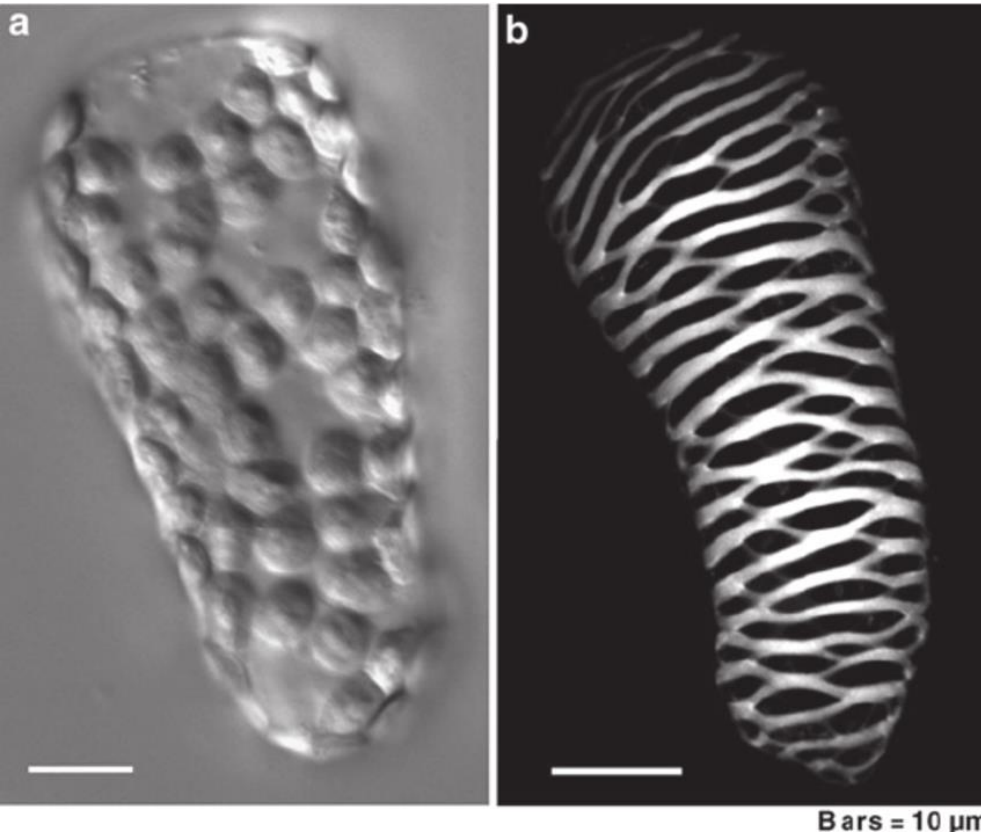
Les éléments conducteurs du xylème, des structures différenciées

Eléments conducteurs spirales, rayés, réticulés, ponctués



Vaisseaux vrais du tilleul (MEB)

La différenciation du xylème chez *Zinnia elegans*



Architecture de la paroi d'un élément de vaisseau de *Z. elegans*

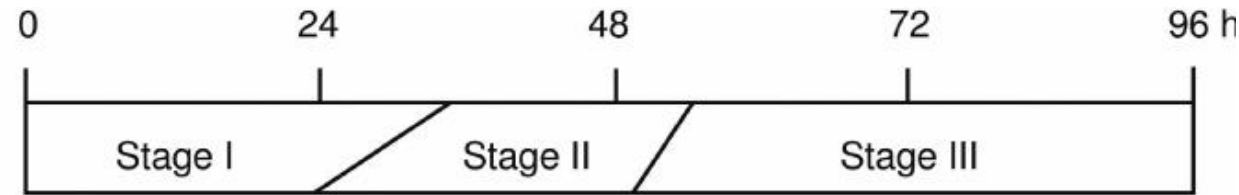
A gauche : cellule de mésophylle isolée (MO)

A droite : élément de vaisseau (MEB)

https://link.springer.com/protocol/10.1007/978-1-61779-008-9_1

<https://academic.oup.com/plphys/article/154/1/121/6111221?login=false>

La différenciation du xylème chez *Zinnia elegans*



Dedifferentiation

- Loss of photosynthetic function

Restriction of development potential

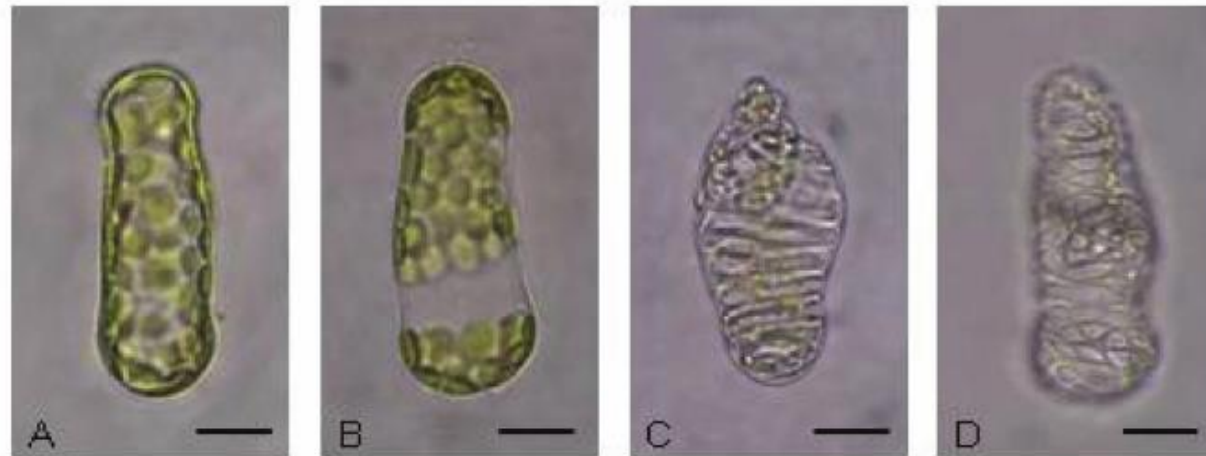
- Start of TE differentiation
- Early expression of genes involved in xylem differentiation

TE specific development

- Secondary cell wall deposition (lignification)
- Protoplast autolysis
- Programmed cell death

Etapes de la différenciation d'un élément de vaisseau (TE) à partir d'une cellule du mésophylle chez *Zinnia elegans*.

- (A) Cellule du mésophylle au stade I.
 (B) Cellule au stade II (début de différenciation).
 (C et D) Cellules au stade III : le programme de mort cellulaire est enclenché, la lignification a commencé.



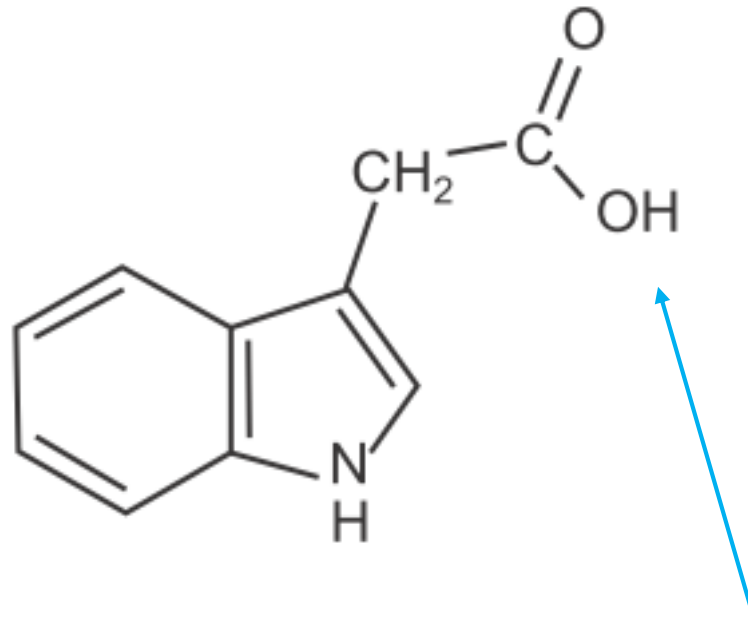
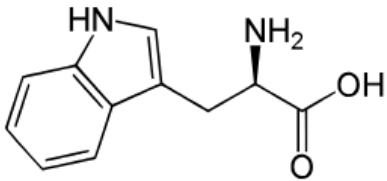
L'auxine, une phytohormone

L'auxine : acide indole-acétique (AIA)

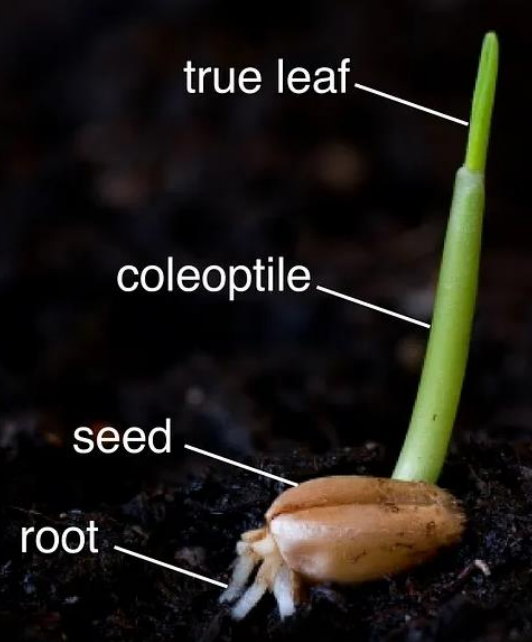
Synthétisée par :

- l'apex caulinaire (méristème)
- Les jeunes feuilles

Dérivé du tryptophane :

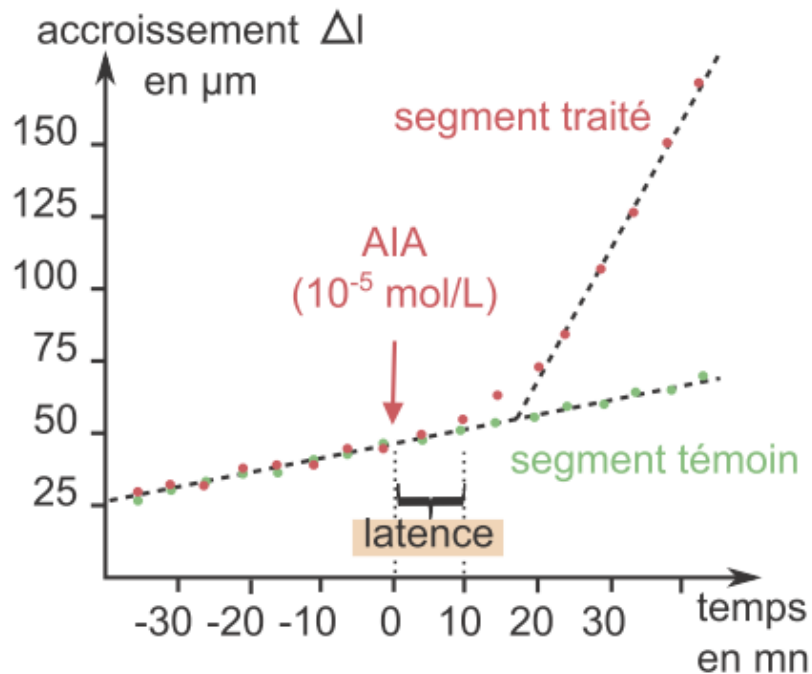


Un composé lipophile pouvant être ionisé

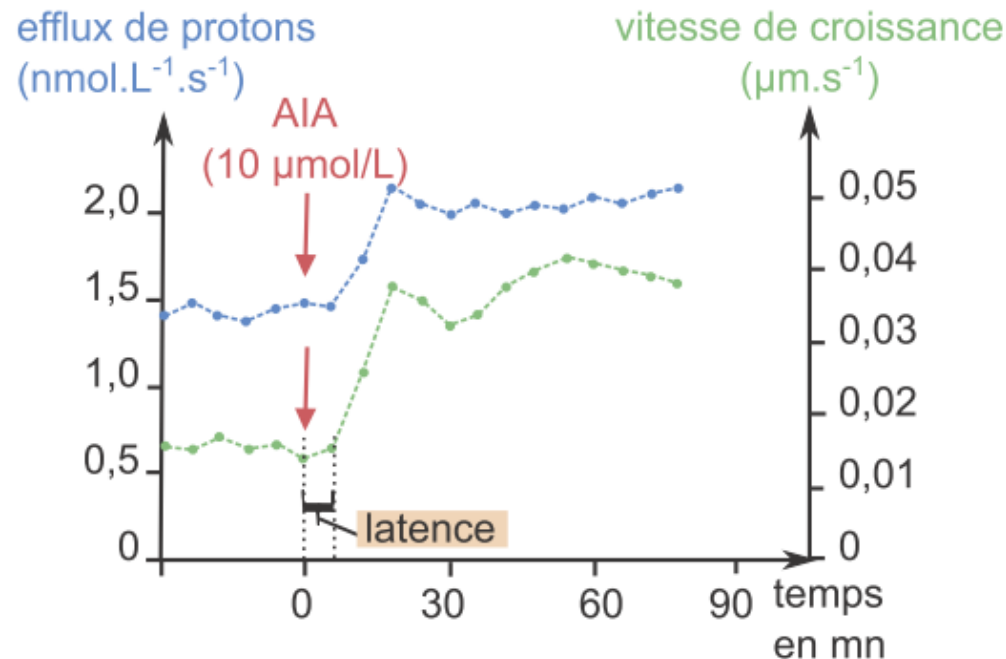


Document 14. Effet d'un traitement à l'auxine de jeunes segments de coléoptiles d'avoine.

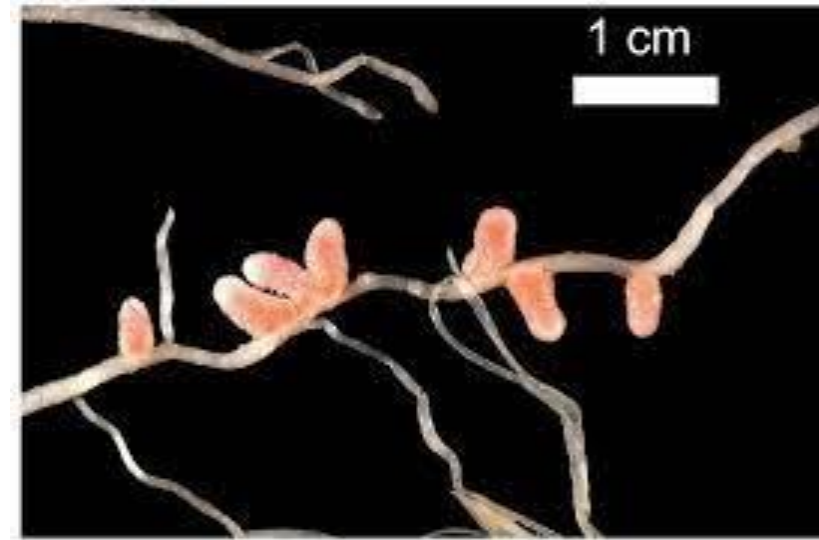
(a)



(b)

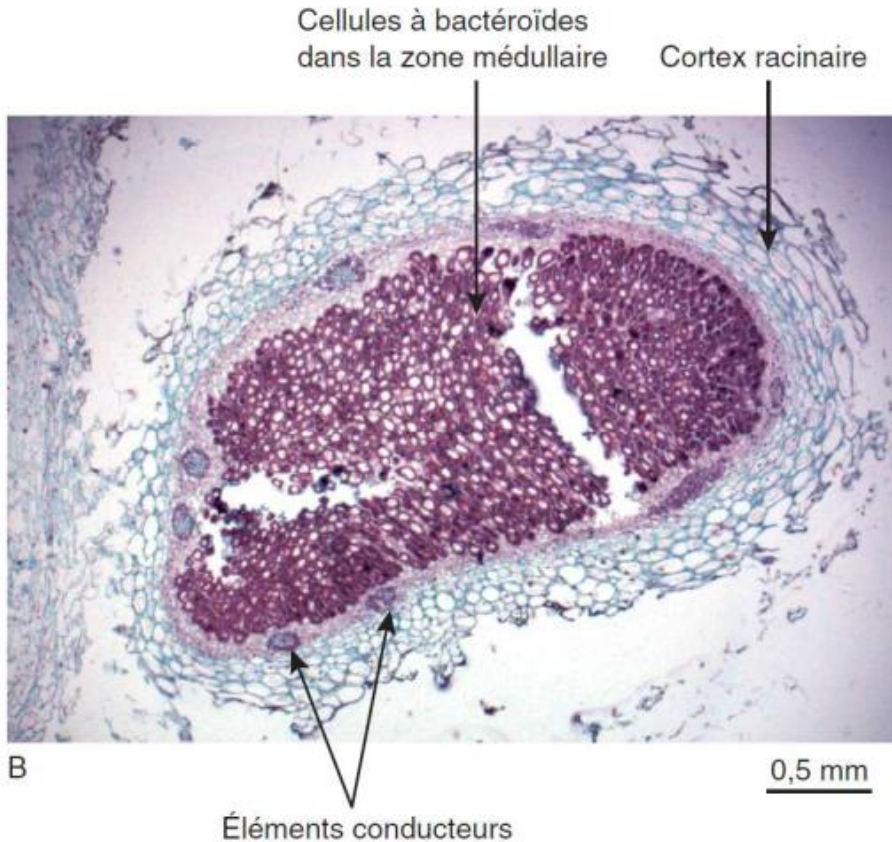


Un exemple de contrôle du développement par des facteurs biotiques : la formation de nodosités



Observation de nodosités sur l'appareil racinaire d'une Fabacée

https://www.wikiwand.com/en/Root_nodule

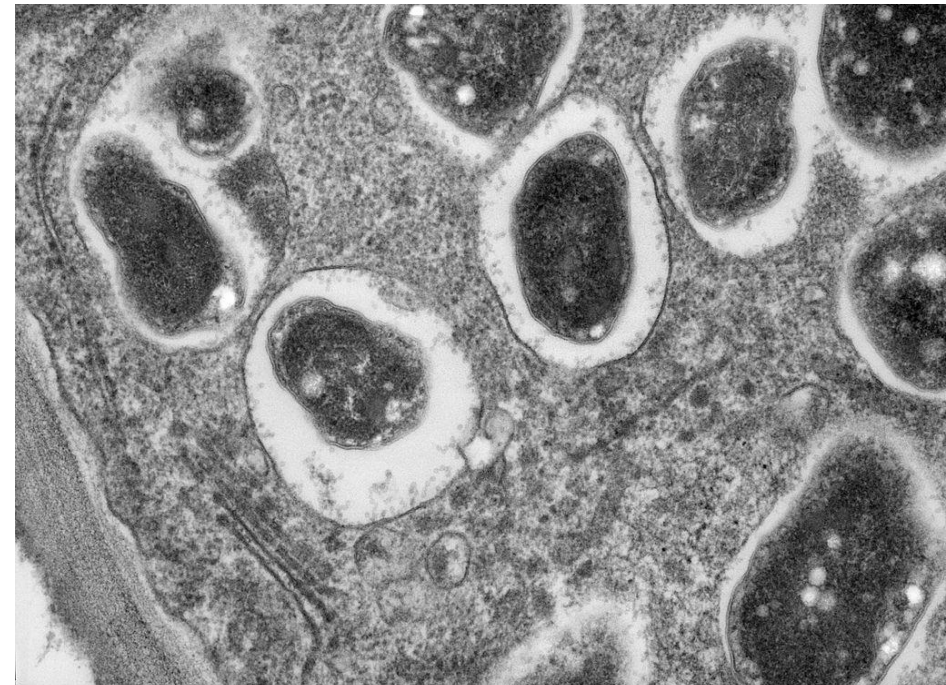


CT d'une nodosité observée en MO

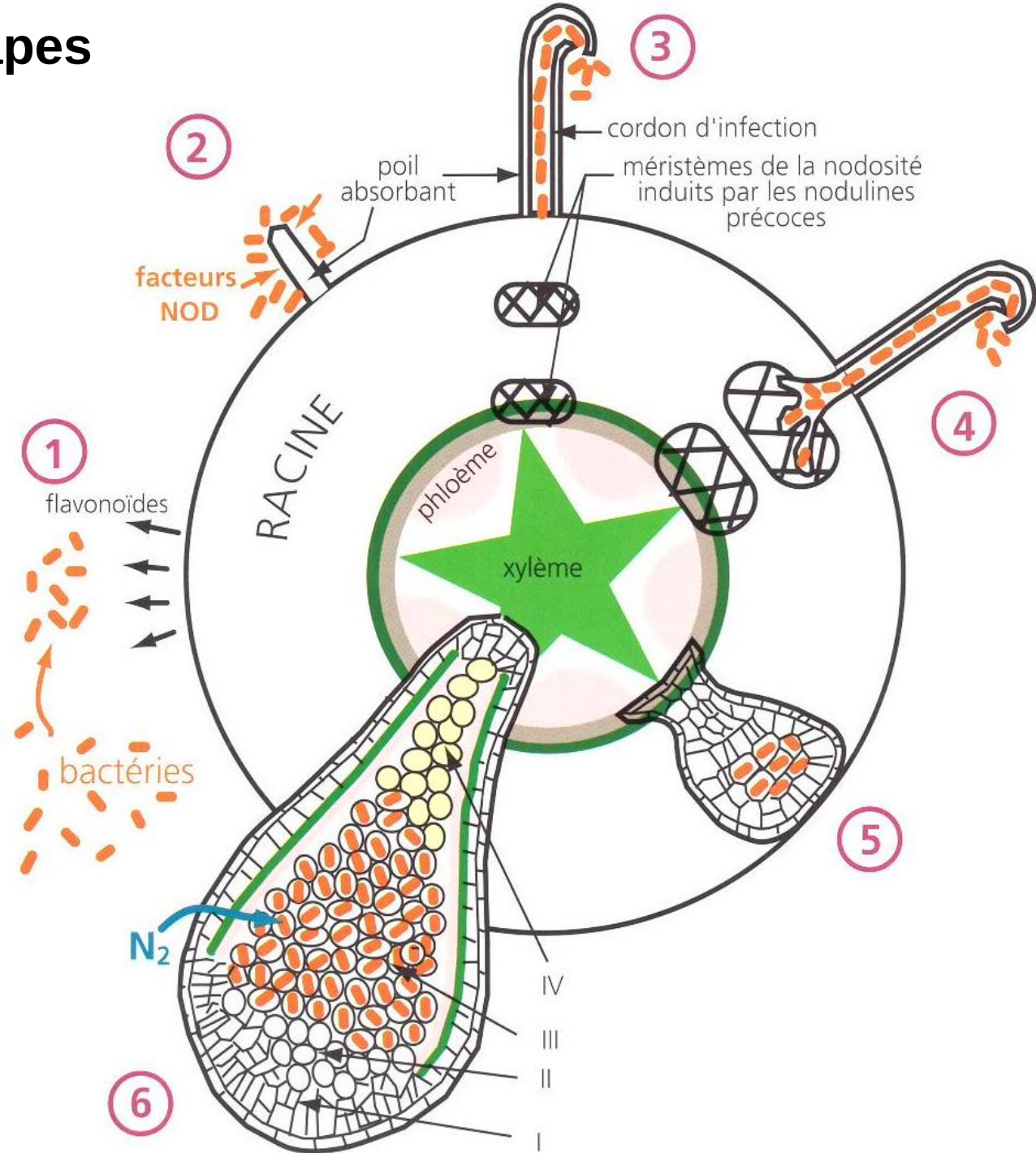
D'après Segarra et al. Biologie BCPST 2^e année, Ellipses, 2015

Observation en MET d'une cellule de nodosité d'une racine de Soja

https://fr.wikipedia.org/wiki/Fixation_biologique_du_diazote#/media/Fichier:Root-nodule01.jpg



Les principales étapes de l'établissement d'une symbiose entre une Fabacée et *Rhizobium*



Mycorrhizes (vue externe)

Racine longue

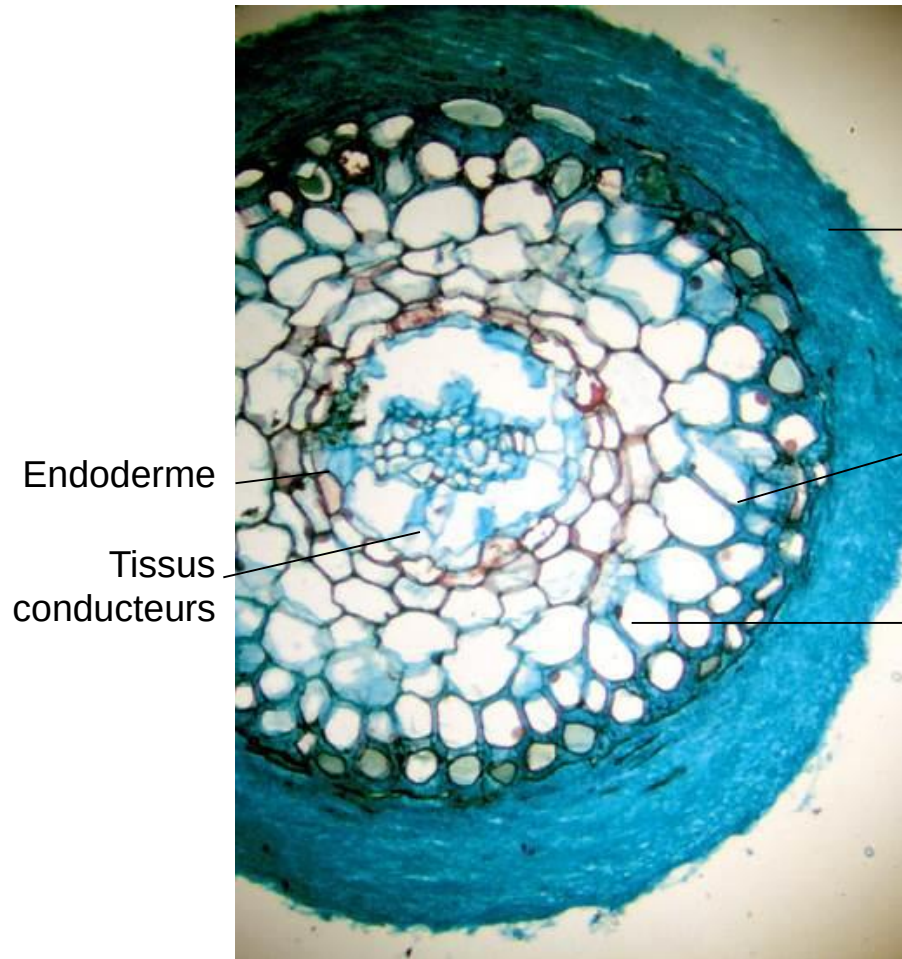


0,1 mm

Hyphes
extra-racinaires

Racine latérale courte
recouverte d'un manchon

Coupe transversale d'une racine mycorhizée

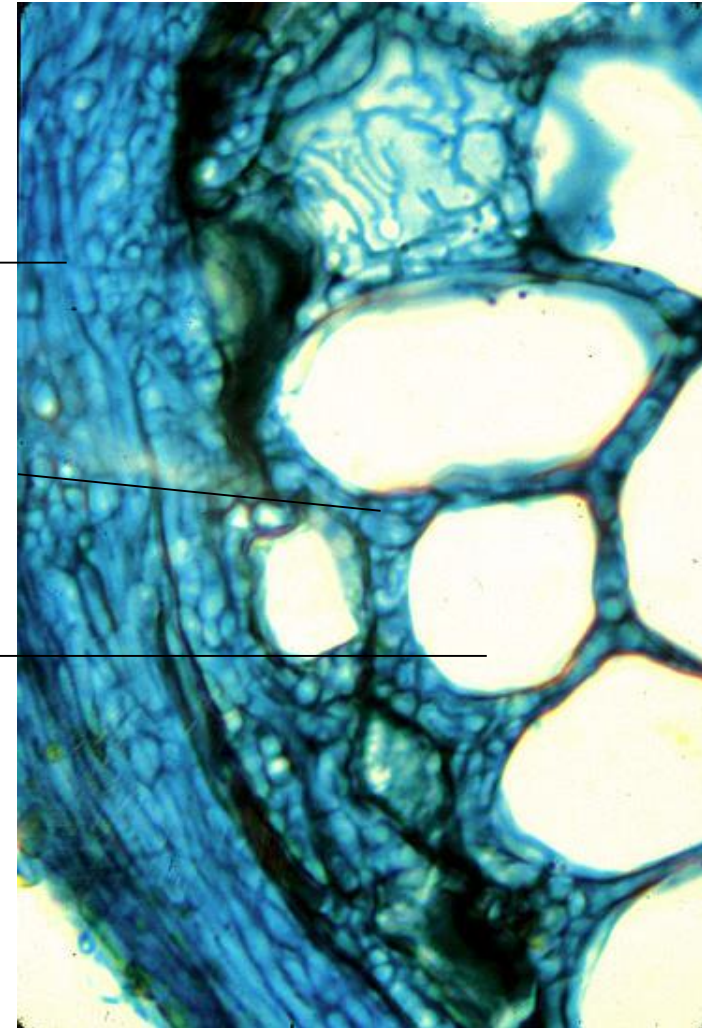


200 μm

manchon
mycélien

réseau de
Hartig

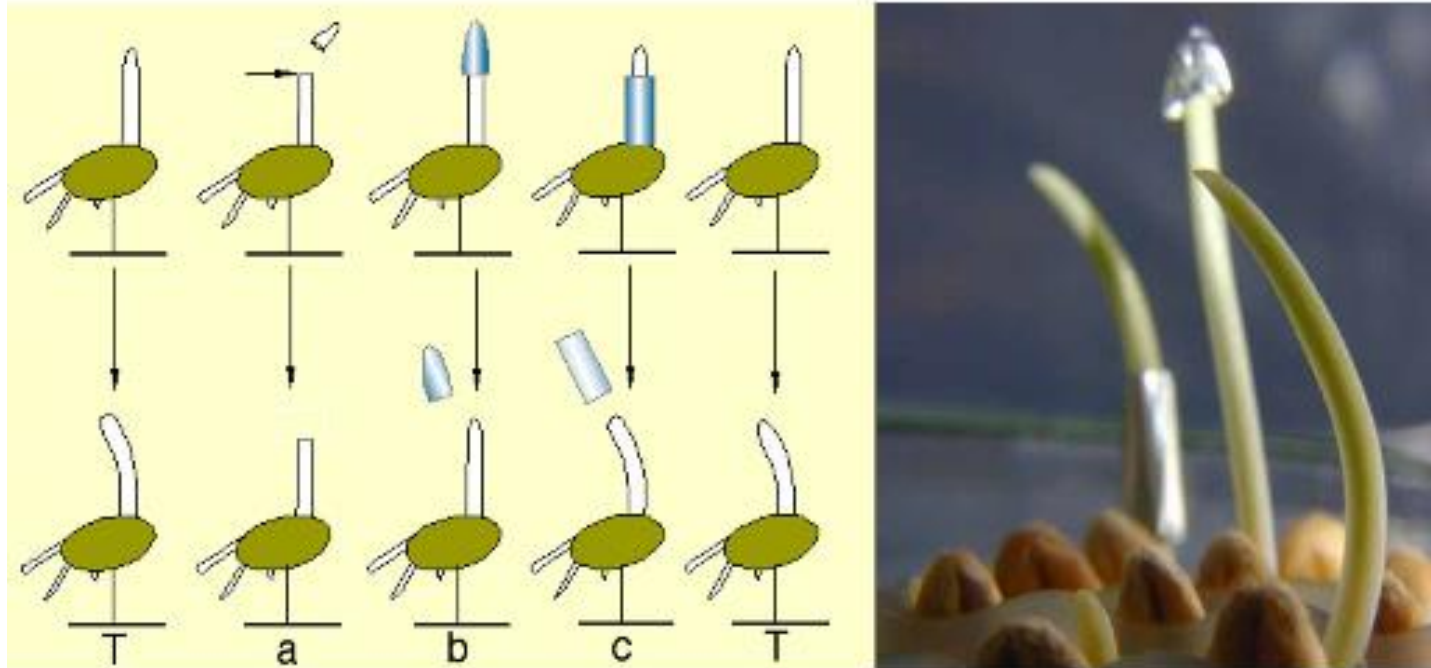
cellules
corticales



20 μm

Ectomycorhize

Contrôle du développement par des facteurs abiotiques : cas du phototropisme des tiges



A gauche : protocole expérimental et résultats

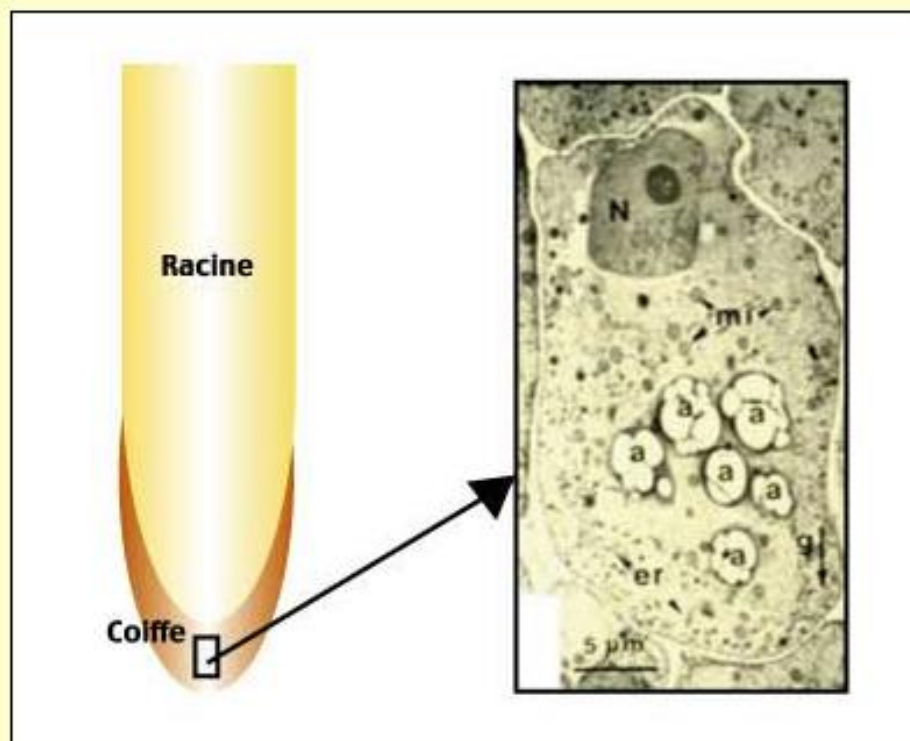
Les coléoptiles sont soumis à un éclairage directionnel de faible intensité (venant de gauche) pendant 3 h.

A droite : résultats obtenus pour c, b et T.

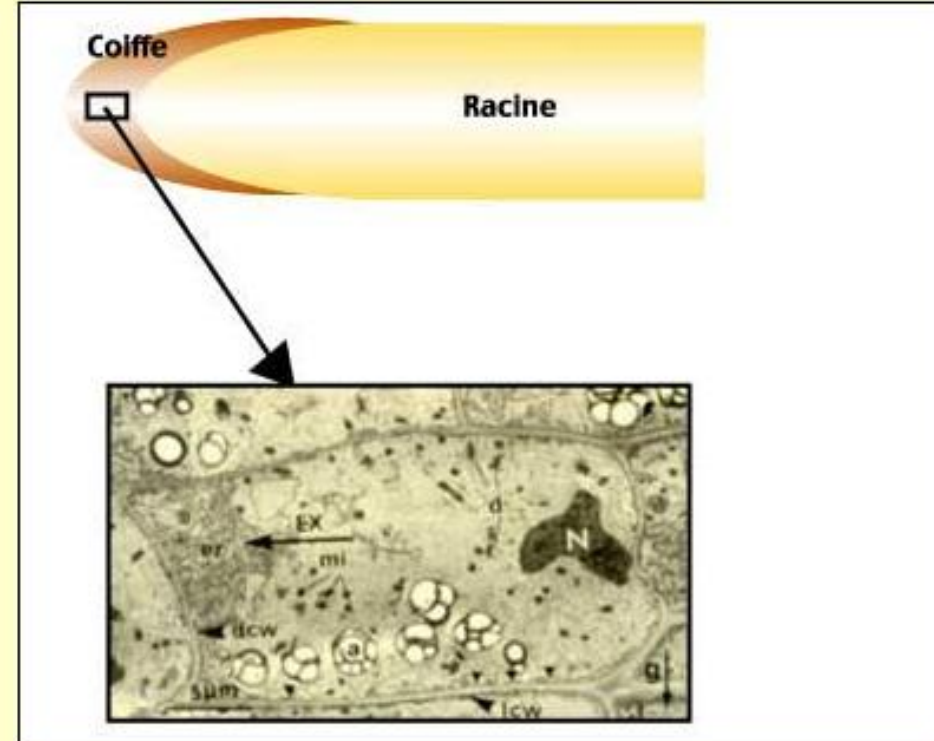
Si l'apex est sectionné ou masqué, pas de phototropisme

→ l'apex est une zone de perception de l'anisotropie de la lumière

Contrôle du développement par des facteurs abiotiques : cas du gravitropisme de la racine



Photographie G. Perbal, laboratoire CEMV, université Paris 6.

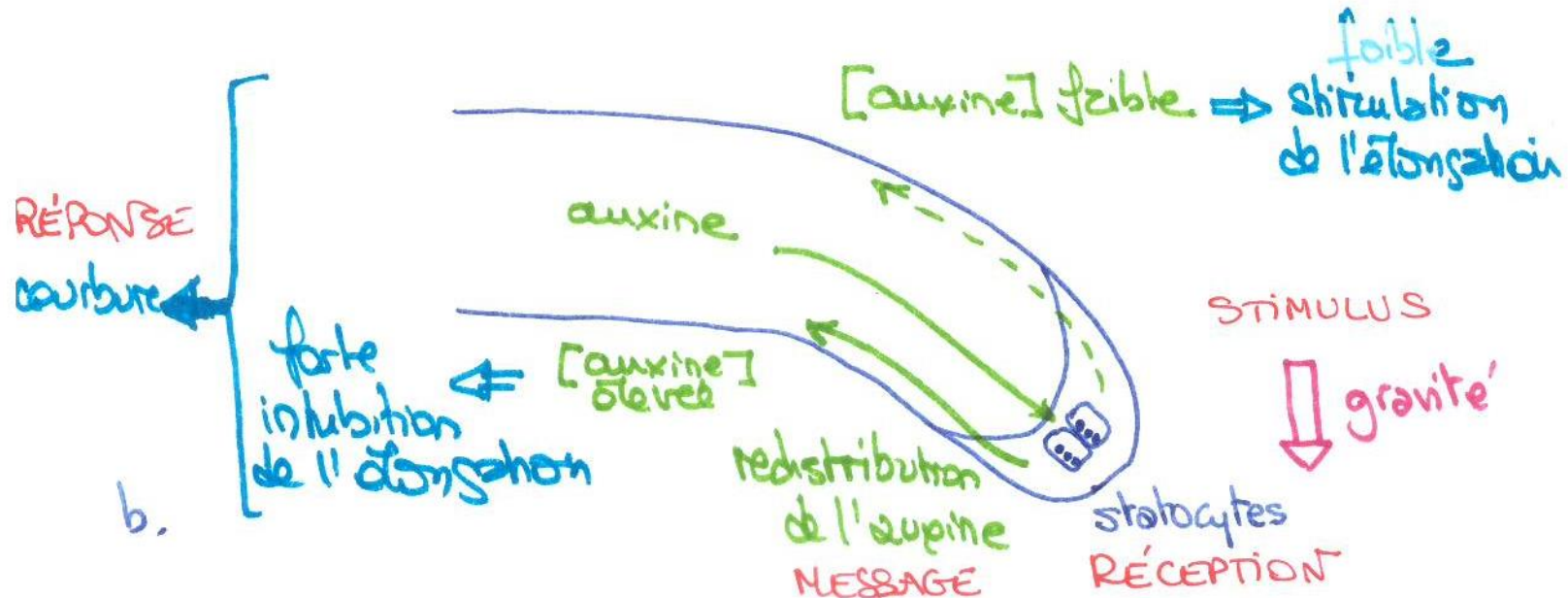
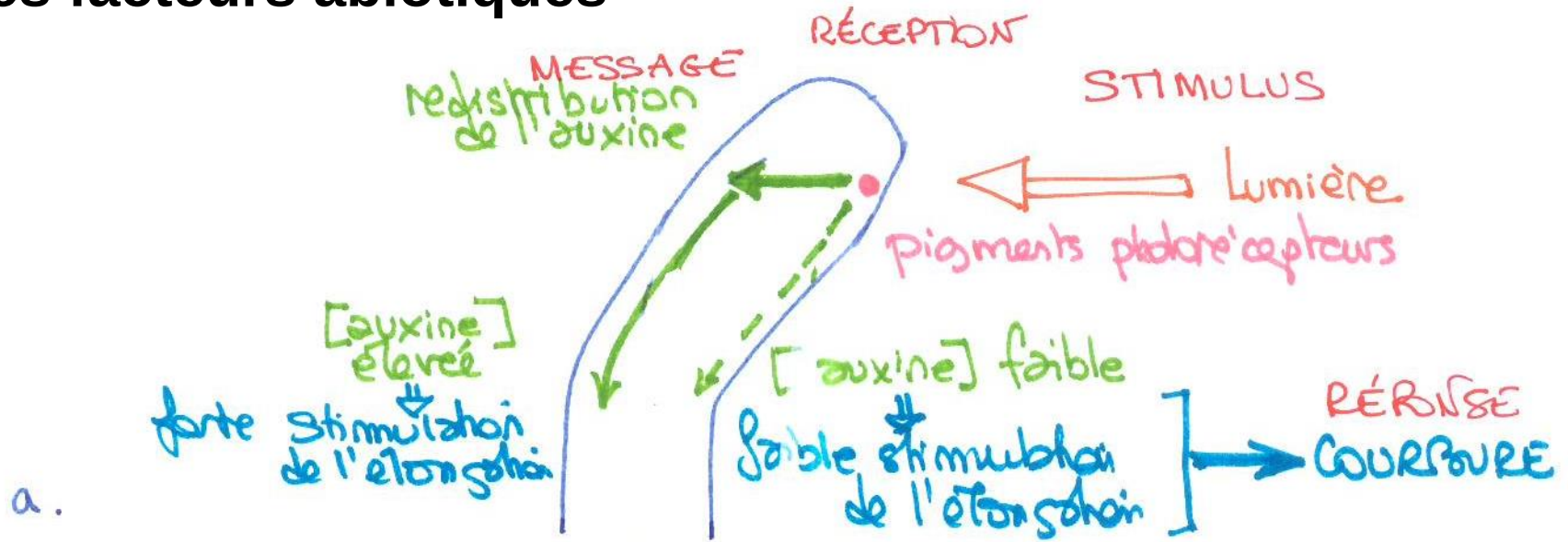


Photographie G. Perbal, laboratoire CEMV, université Paris 6.

Un statocyte (cellule de la coiffe contenant des amyloplastes nommés ici statolithes) lorsque la racine est en position verticale (à gauche) et lorsque la racine est en position horizontale (à droite). Observation réalisée sur la racine de lentille, MET.

a : amyloplastes (statolithes) ; N : noyau ; mi : mitochondries ; er : reticulum endoplasmique ; g : direction de la force de gravitation.

Auxine et contrôle du développement par des facteurs abiotiques



Conclusion : Comparaison développement animal et végétal

- **Mêmes processus à l'échelle de l'organisme** (croissance ; modifications qualitatives) **et à l'échelle cellulaire** (mitose, grandissement cellulaire ; différenciation). **Chez les végétaux : plus grande importance du grandissement cellulaire ; pas de mouvements cellulaires.**
- **Croissance définie chez les animaux ; indéfinie chez les végétaux** (compense leur vie fixée)
- **Plan d'organisation mis en place par individualisation progressive de territoires de plus en plus déterminés.** **Plus grande aptitude à la dédifférenciation des cellules végétales.**
- **Contrôle par communication intercellulaire relayée par une communication intracellulaire + contrôle par l'environnement** (facteurs abiotiques et biotiques). **Davantage de plasticité chez les végétaux.**

Ces caractéristiques permettent au végétal, organisme fixé, une exploration de son milieu, une adaptation aux modifications environnementales.