

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (1)

Problématique, tique, tique

Pour une Angiosperme, autotrophe et immobile, les ressources (CO_2 , eau, sels minéraux) sont très diluées, dispersées dans le milieu.

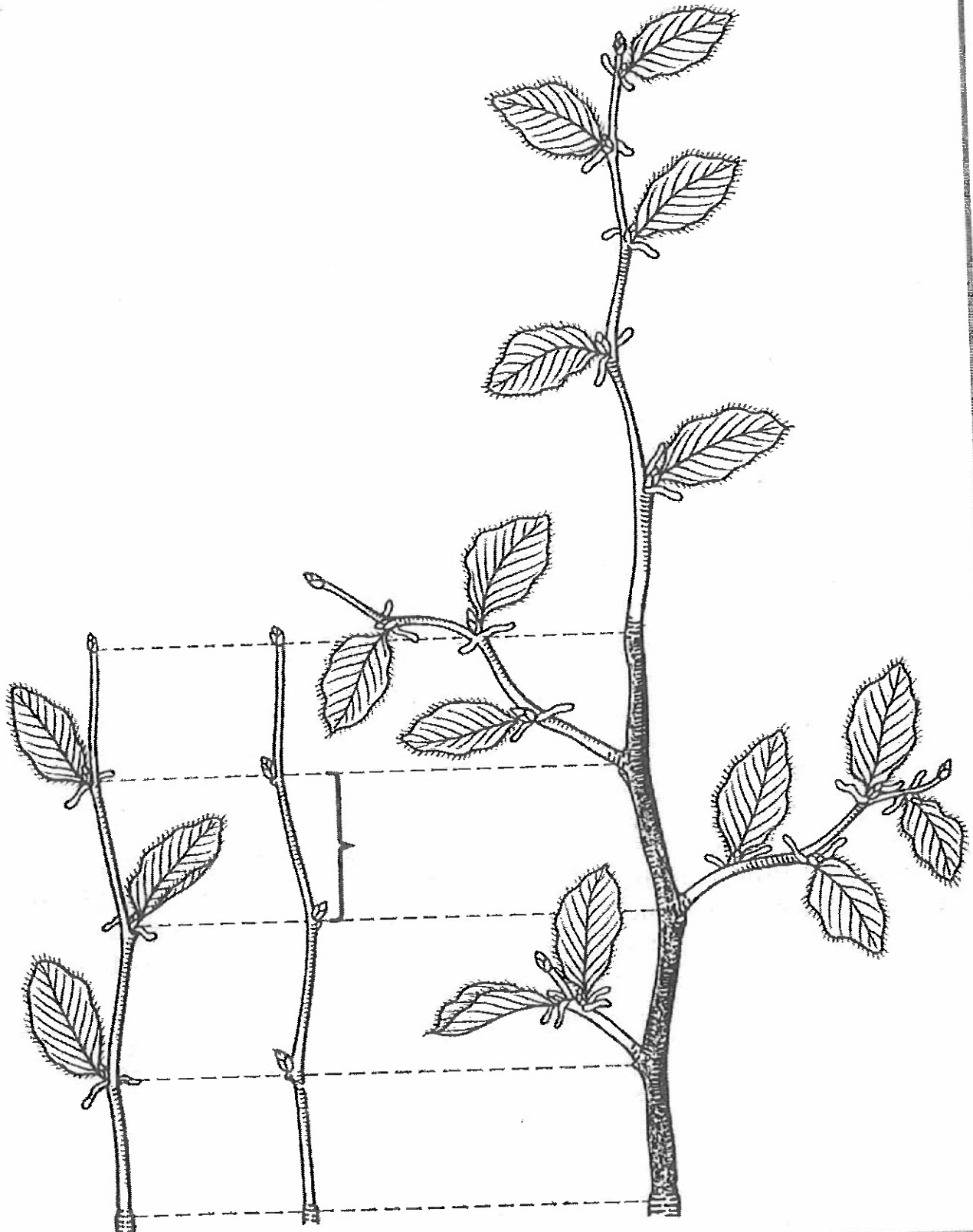
La difficulté majeure est alors d'aller chercher la ressource tout en développant des surfaces d'échange conséquentes.

La croissance et le développement ne sont donc pas uniquement des processus de mise en place de structures et d'augmentation de dimension ; ce sont des moyens de subsistance.

Comment la croissance et le développement (intimement liés chez les Angiospermes) participent-ils à la recherche de la ressource et au minimum de «mouvement qu'exige cette recherche» ?

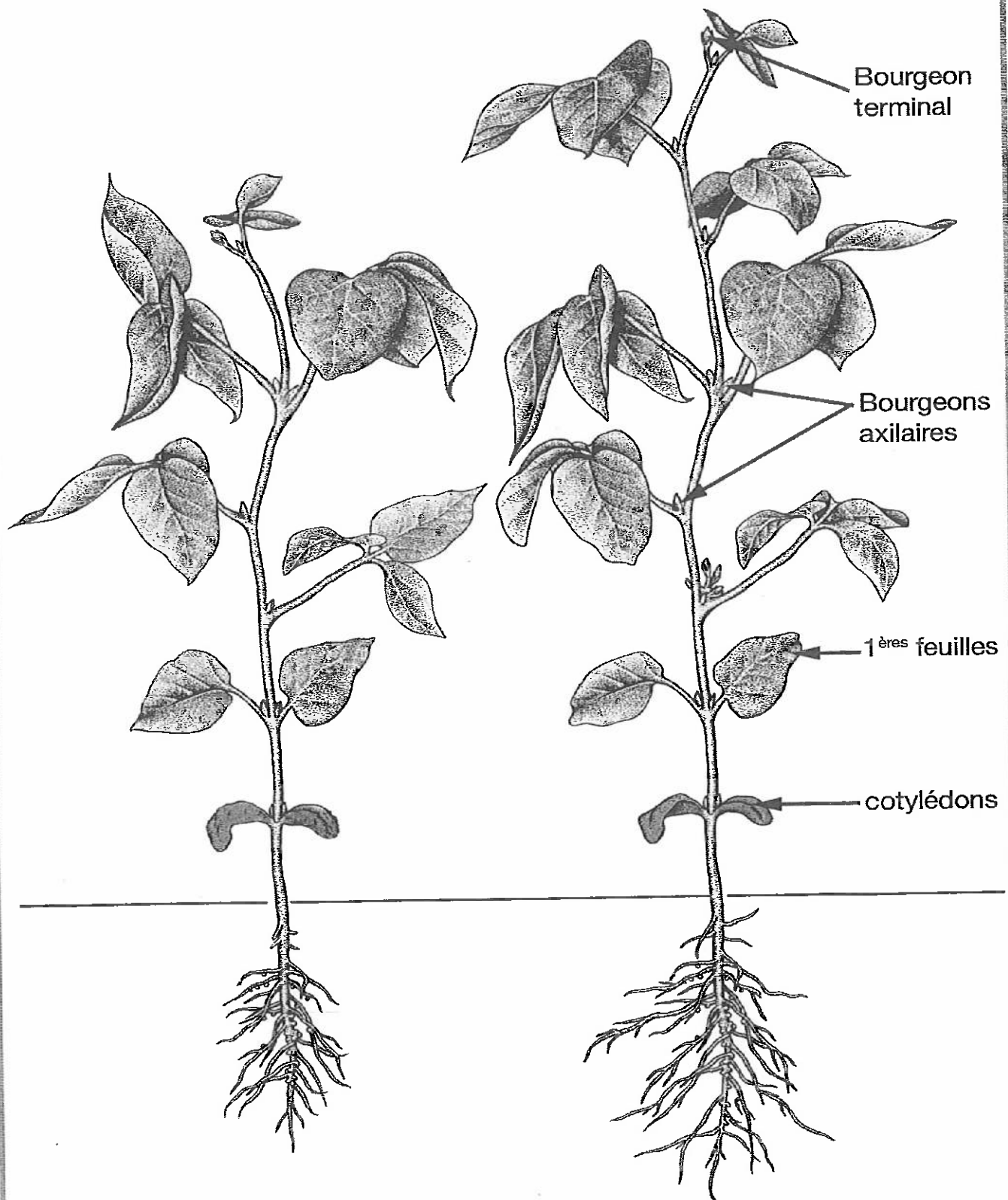
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (2)

Croissance d'un rameau de Hêtre



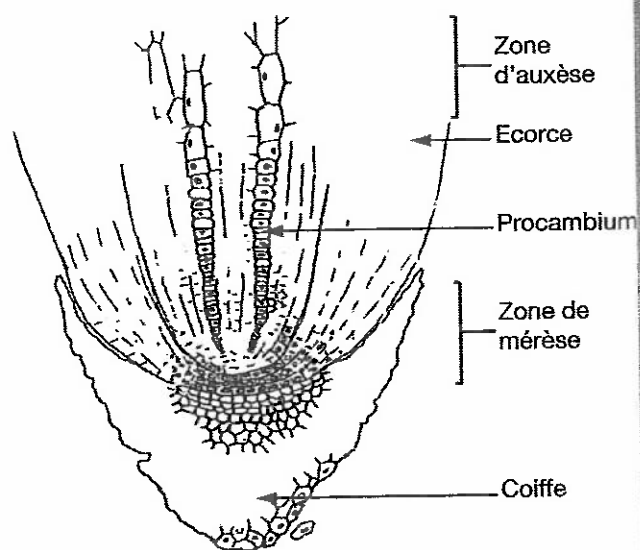
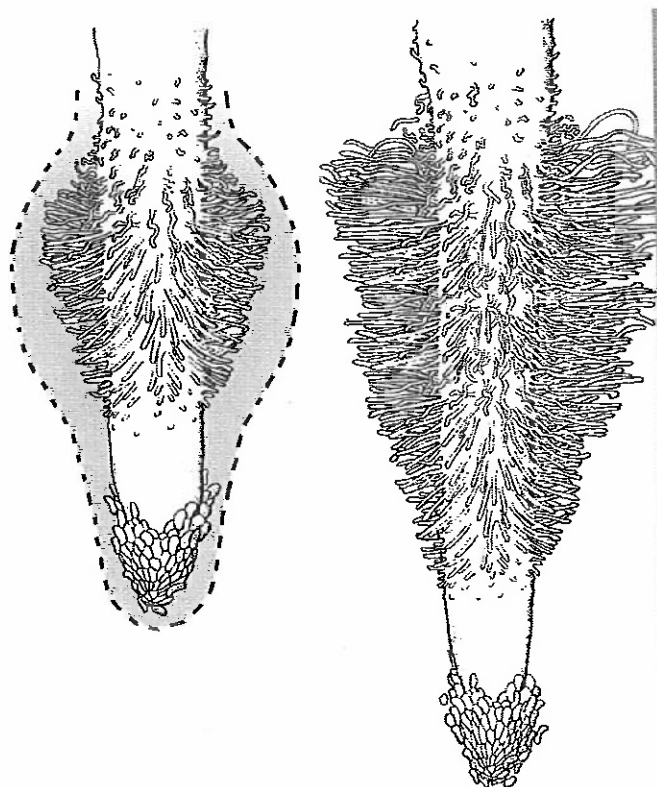
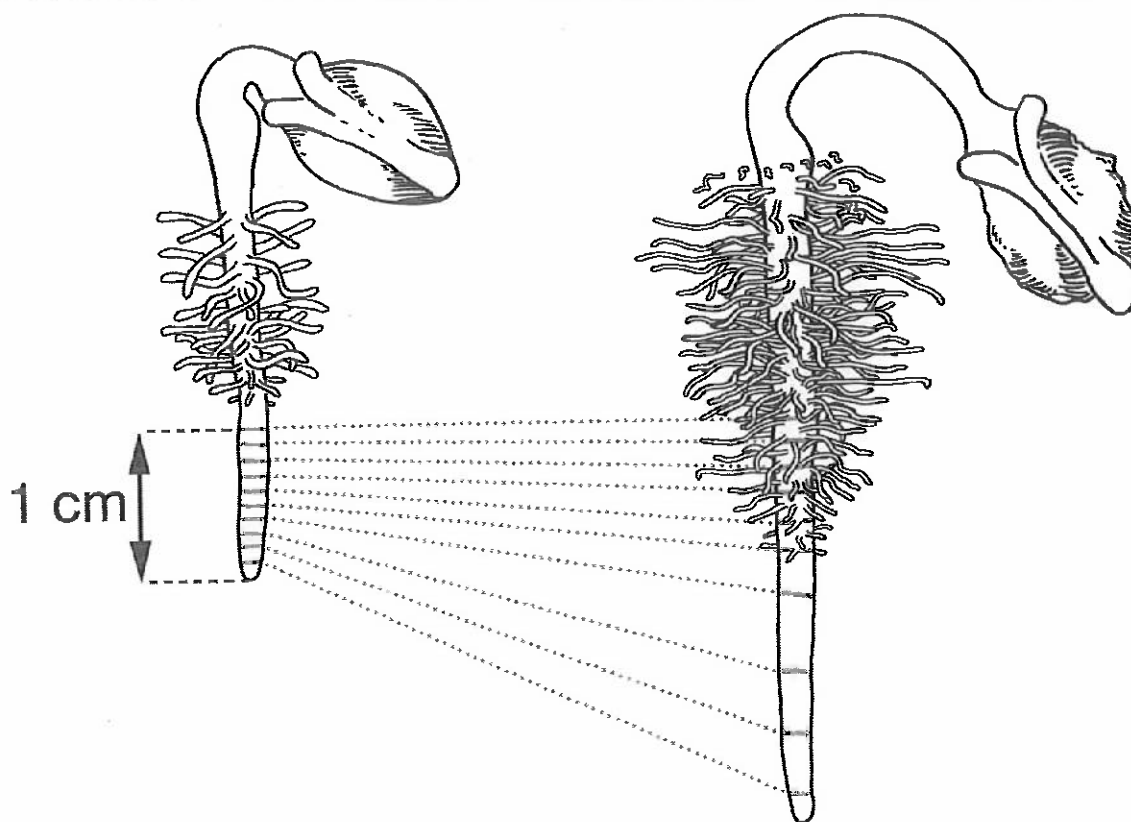
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (3)

Croissance d'un pied de Haricot



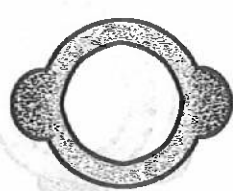
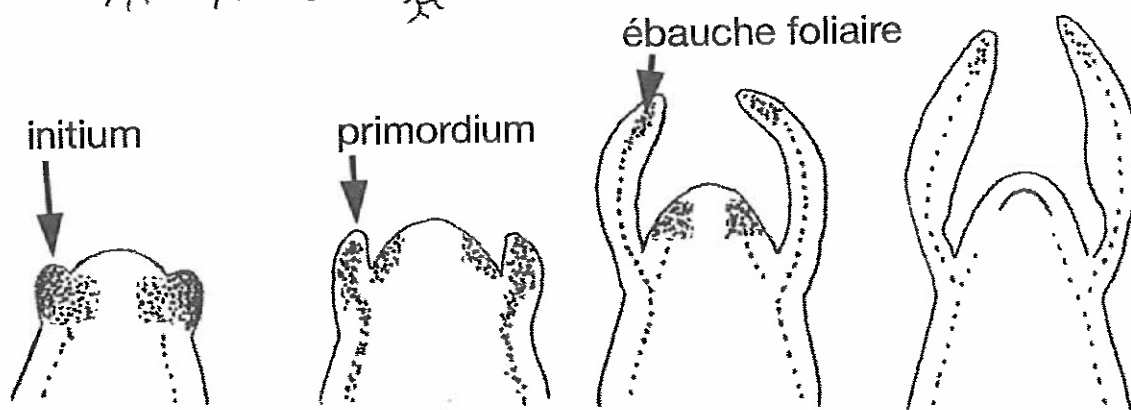
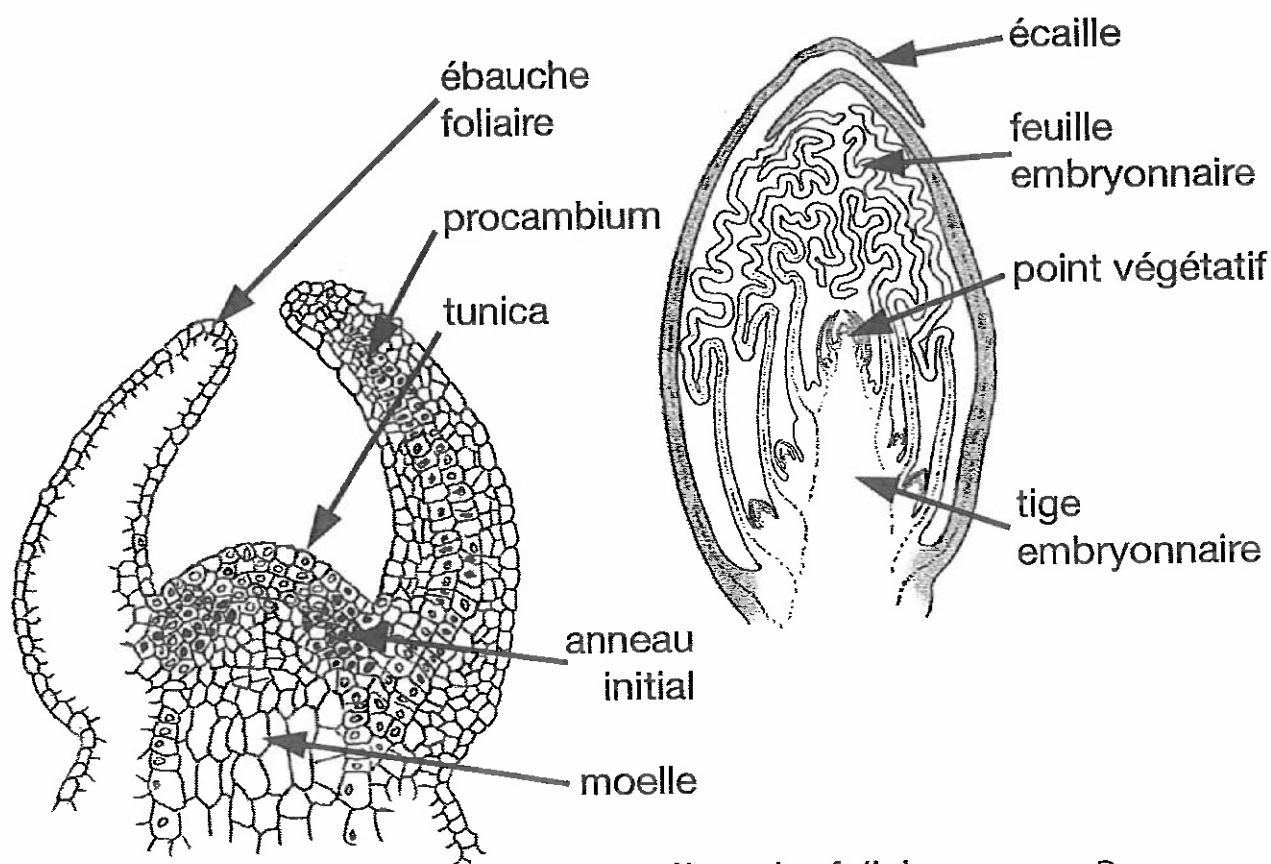
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (4)

La croissance indéfinie de la racine



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (5)

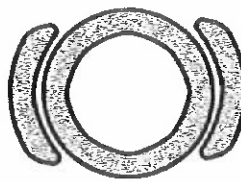
Croissance indéfinie de la tige



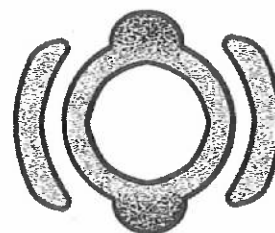
aire maximale



aire minimale



restauration



aire maximale

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (6)

Le méristème apical caulinaire

Stratification horizontale :

Tunica (2 assises cellulaires ou plus) : divisions exclusivement anticlines.

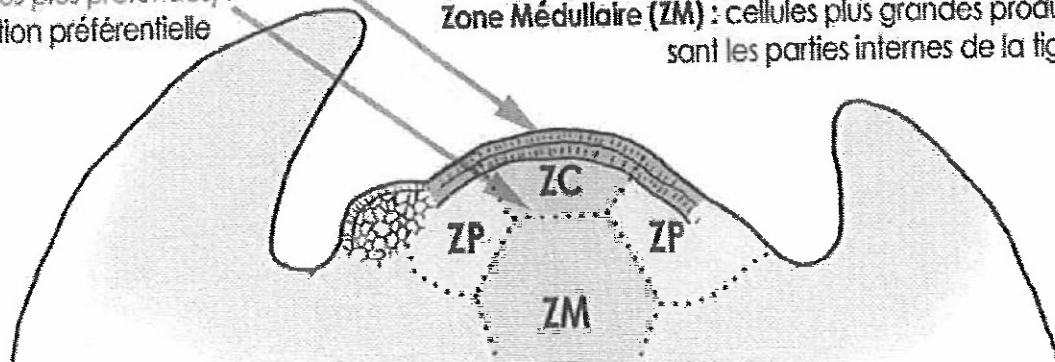
Corpus (cellules plus profondes) : pas d'orientation préférentielle des divisions.

Organisation radiale :

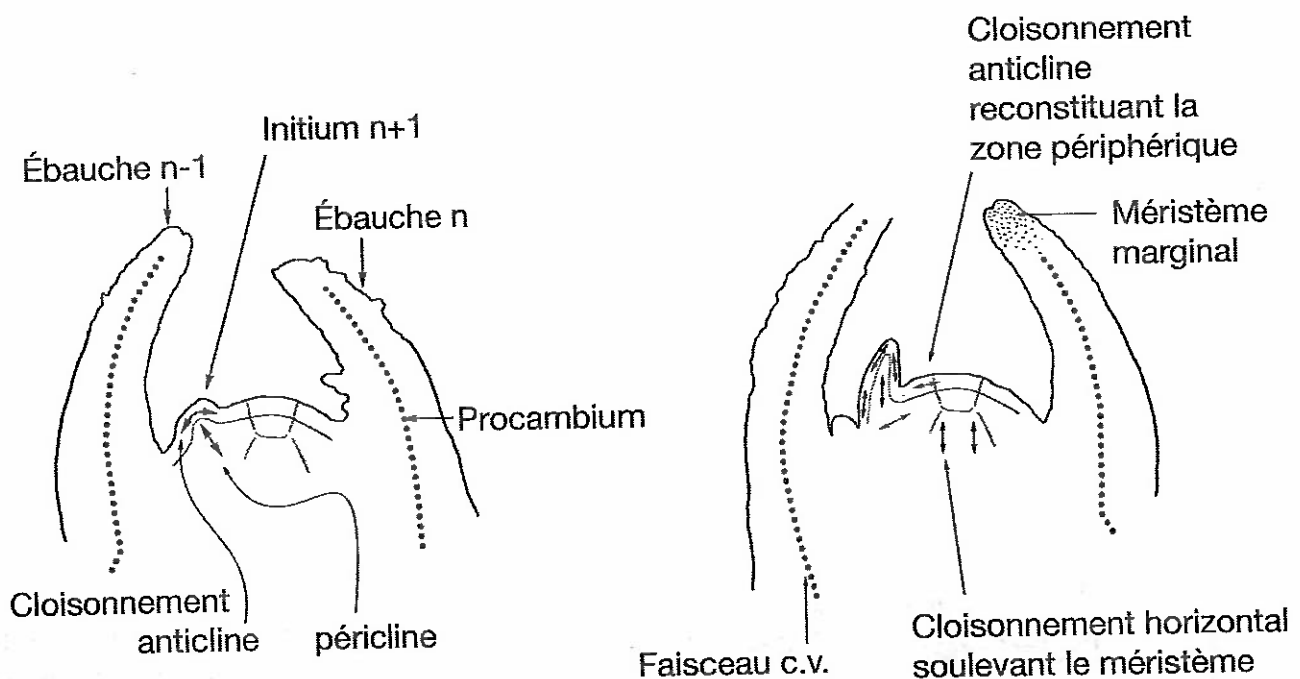
Zone Centrale (ZC) : faible taux de division

Zone Périphérique Annulaire (ZP) : taux de division plus fort (rapport de 1 à 8 avec ZC) ; zone de formation des primordiums foliaires.

Zone Médullaire (ZM) : cellules plus grandes produisant les parties internes de la tige

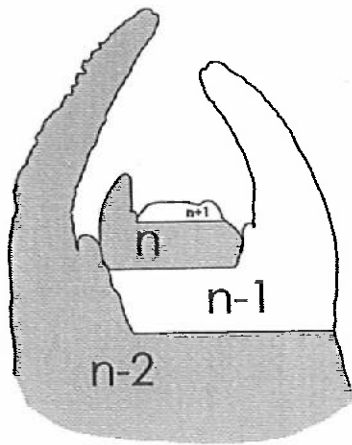


Conclusion ZP : mise en place d'organes latéraux.
ZC : maintien du méristème (cellules souches)



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (7)

Les phytomères

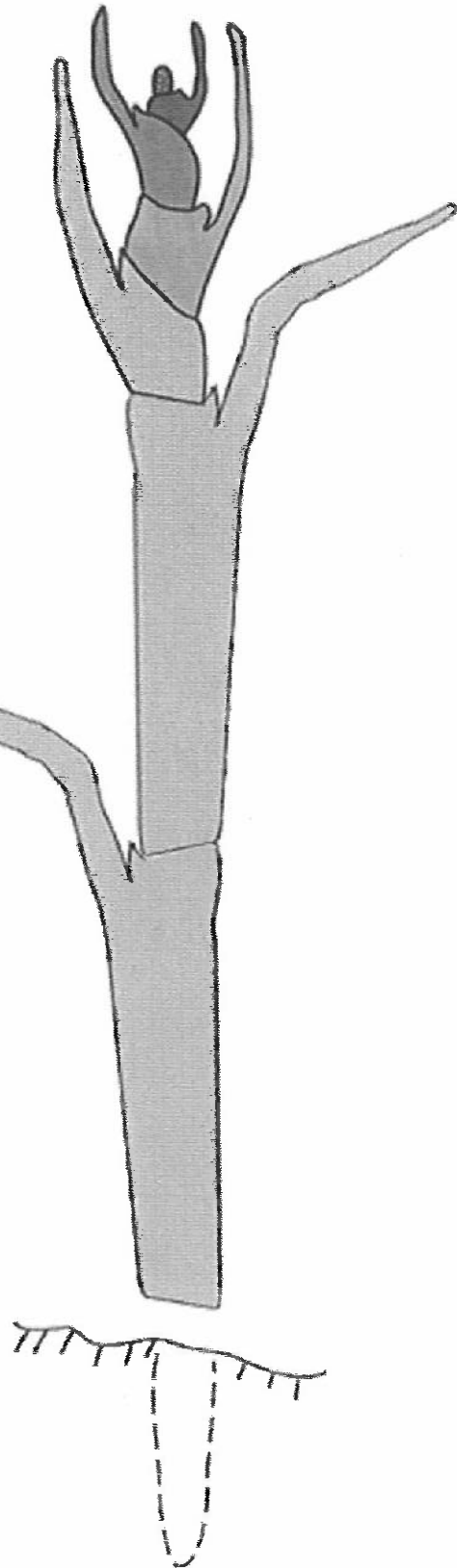


L'activité du méristème installe régulièrement des feuilles, des bases de feuilles et des ébauches de bourgeon axillaire.

Après auxèse, cette organisation perdure.

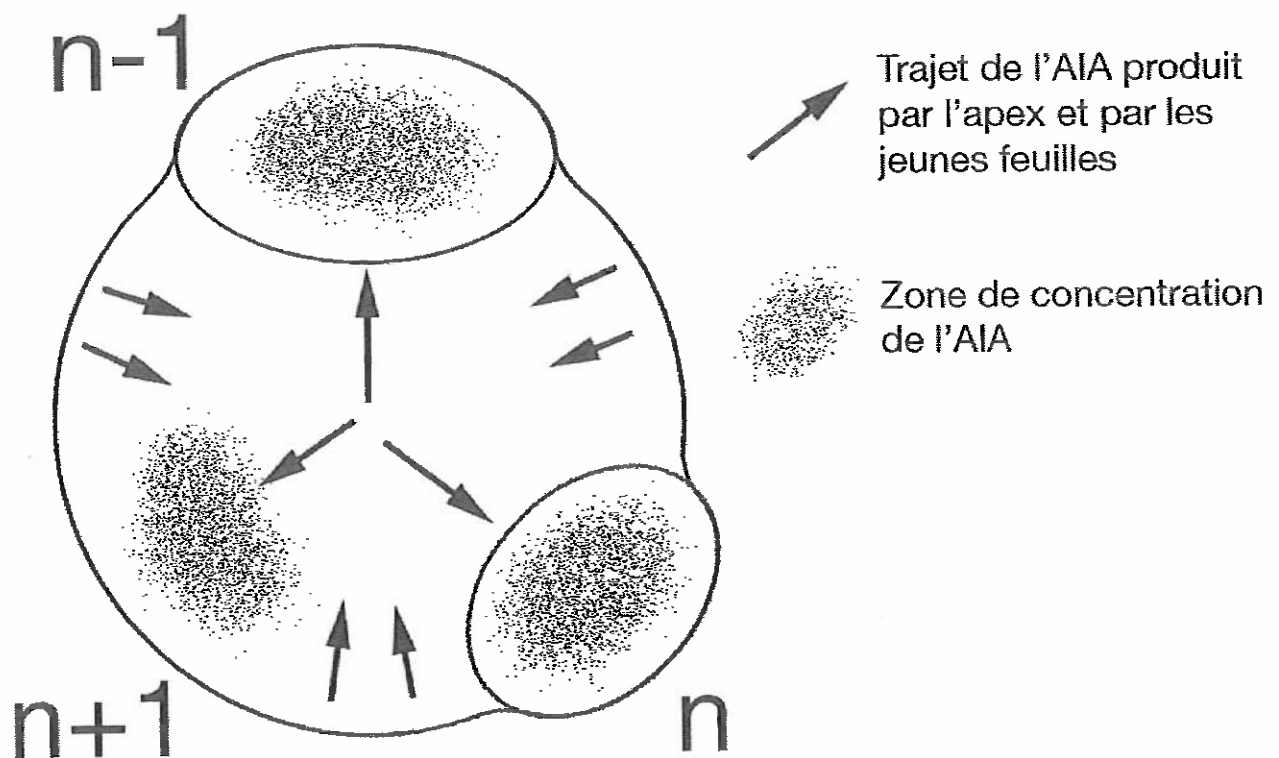
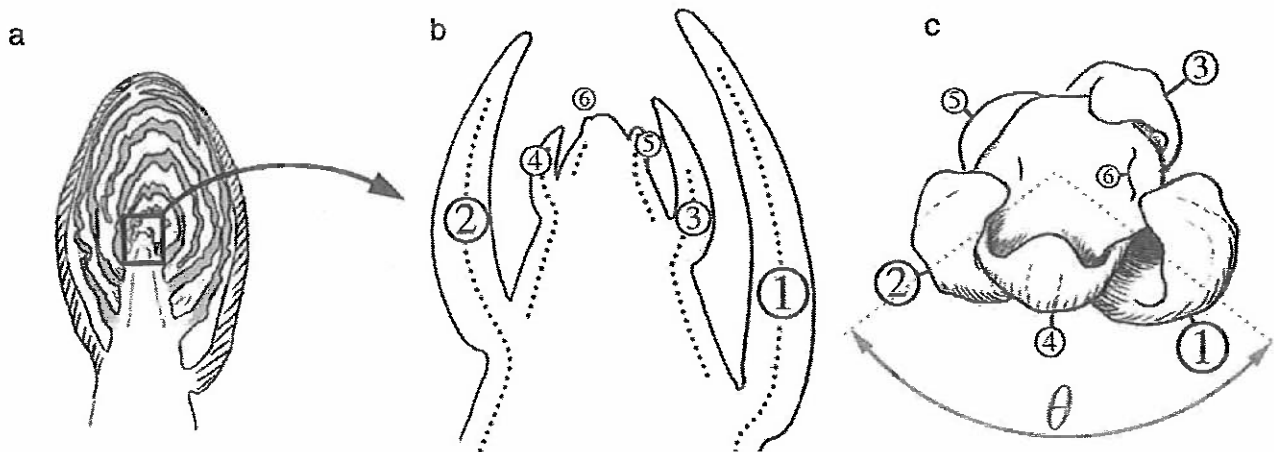
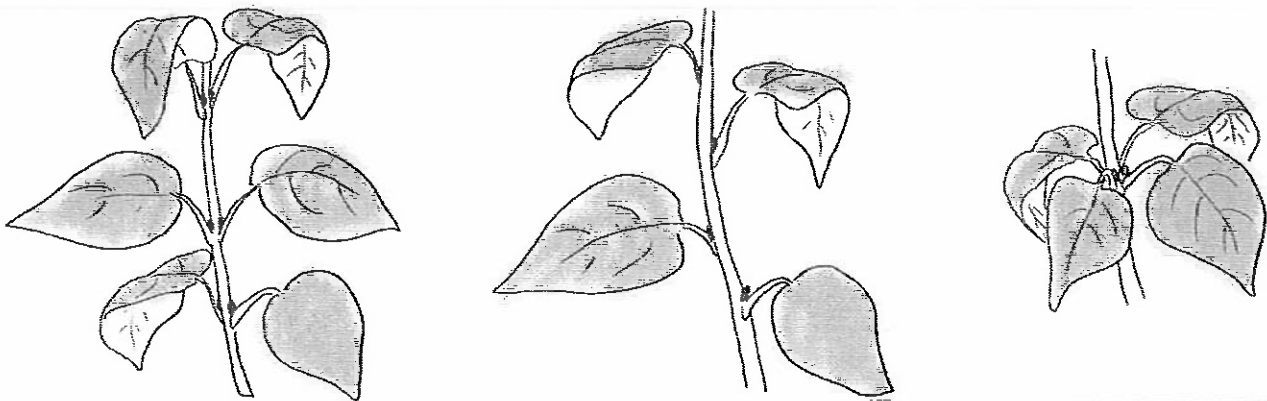
On nomme phytomère l'unité végétative constituée d'une base foliaire (un entre-nœud, donc), d'une feuille et d'un bourgeon axillaire.

Une tige feuillée est ainsi une succession de phytomères.



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (8)

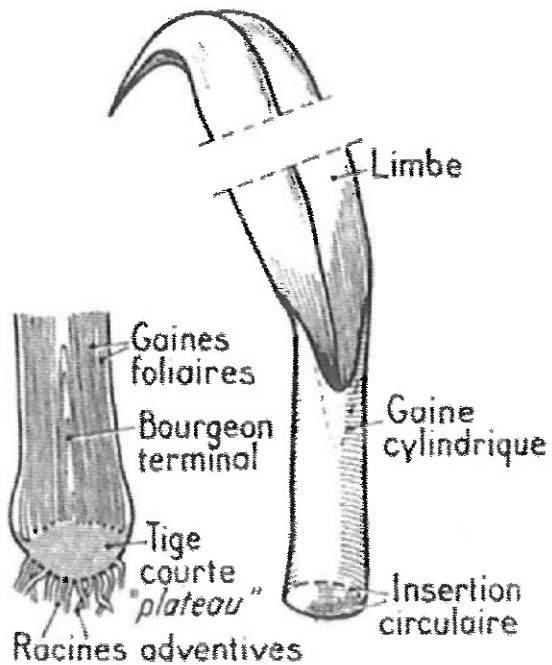
Hélices foliaires et phyllotaxie



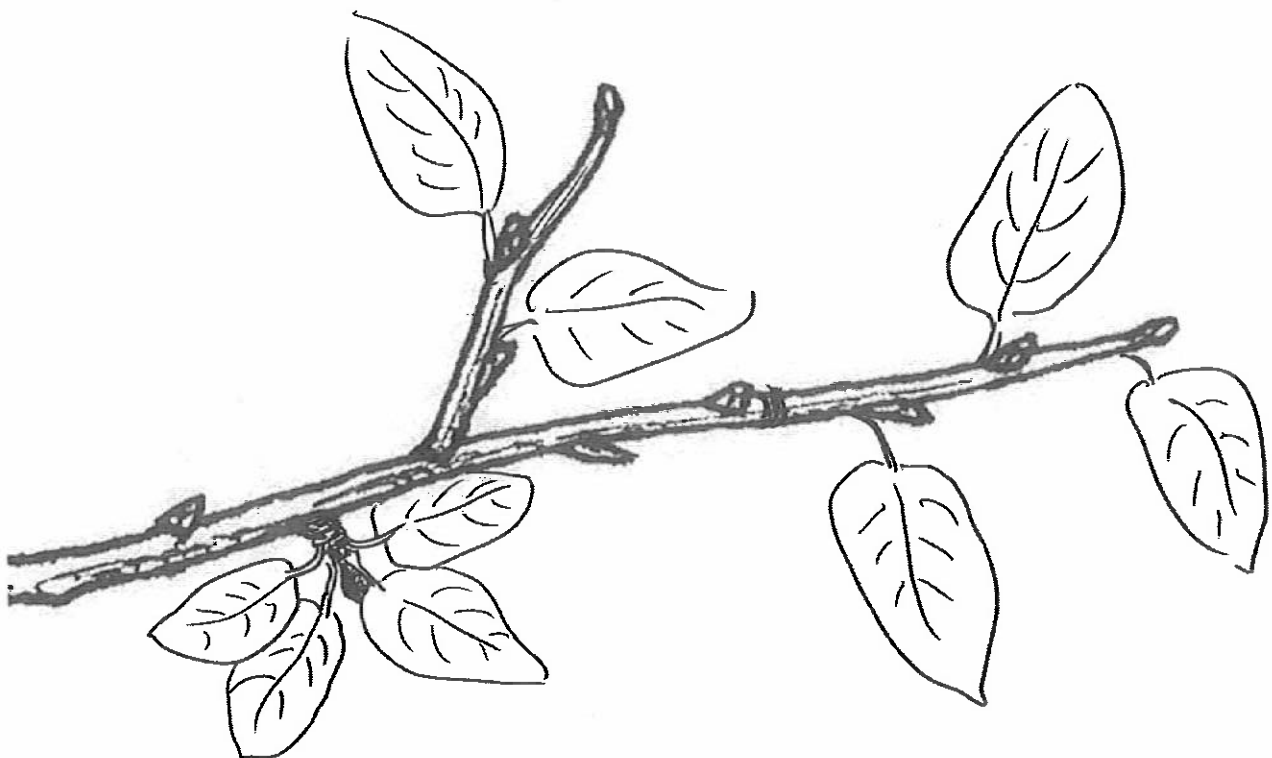
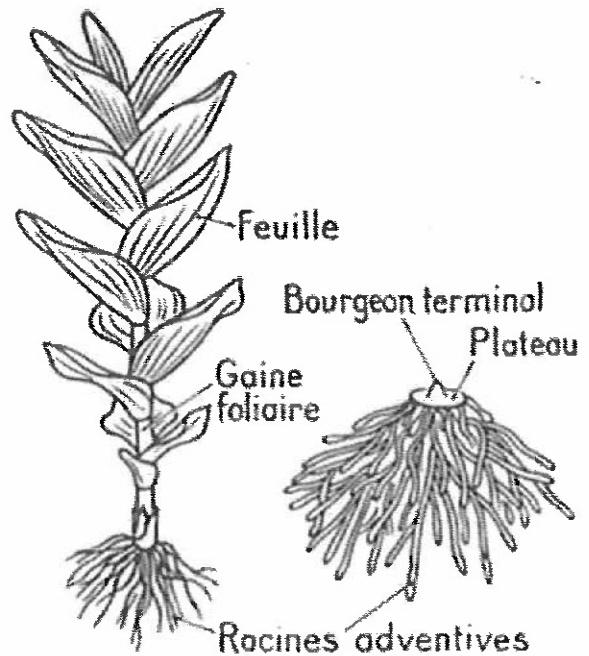
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (9)

Tiges en plateau et rameaux courts

Poireau

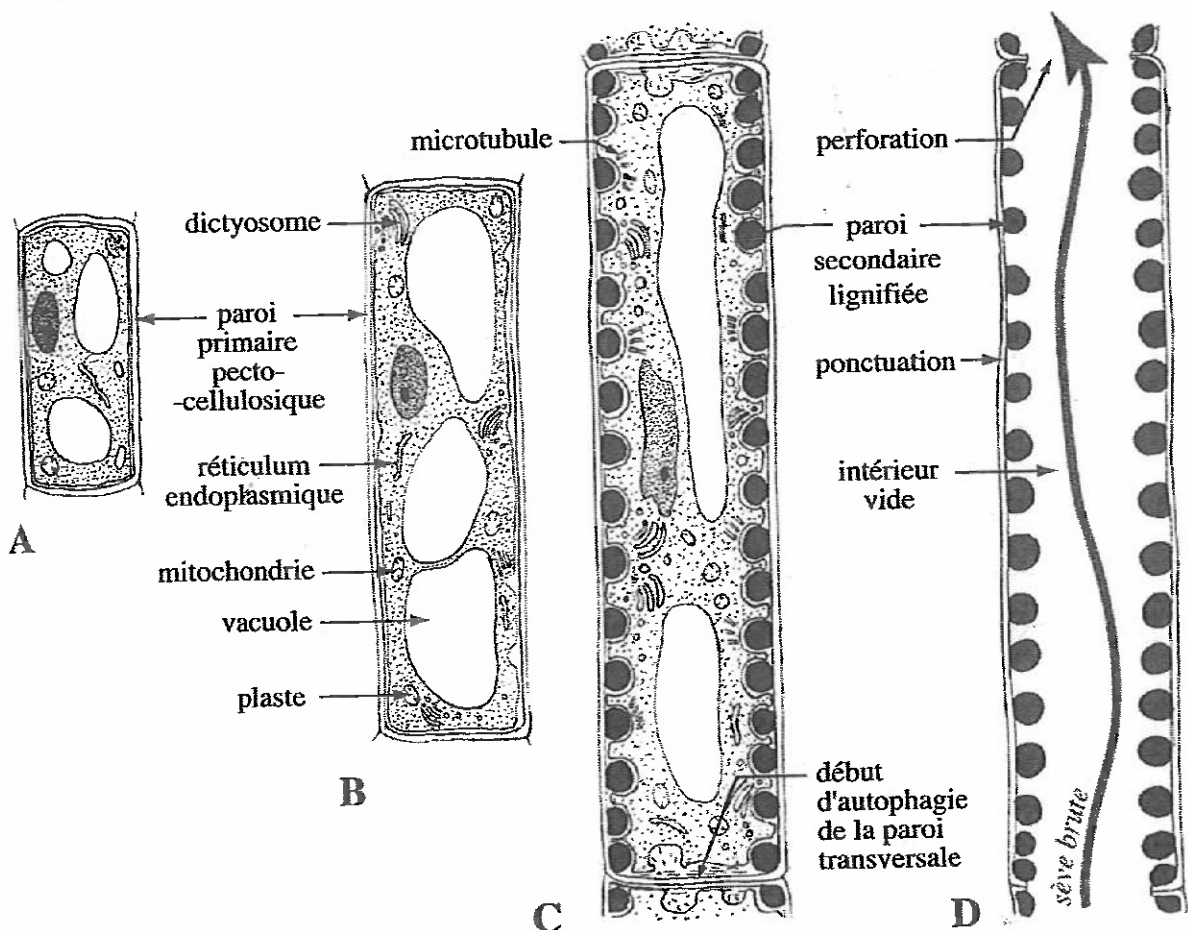
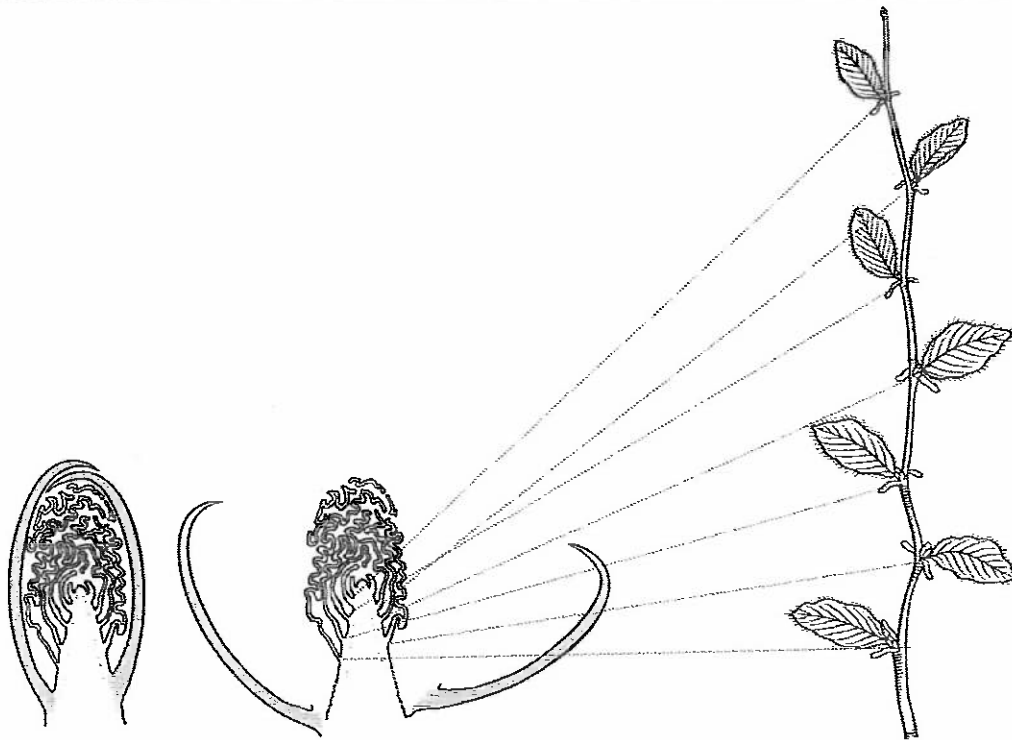


Vératre



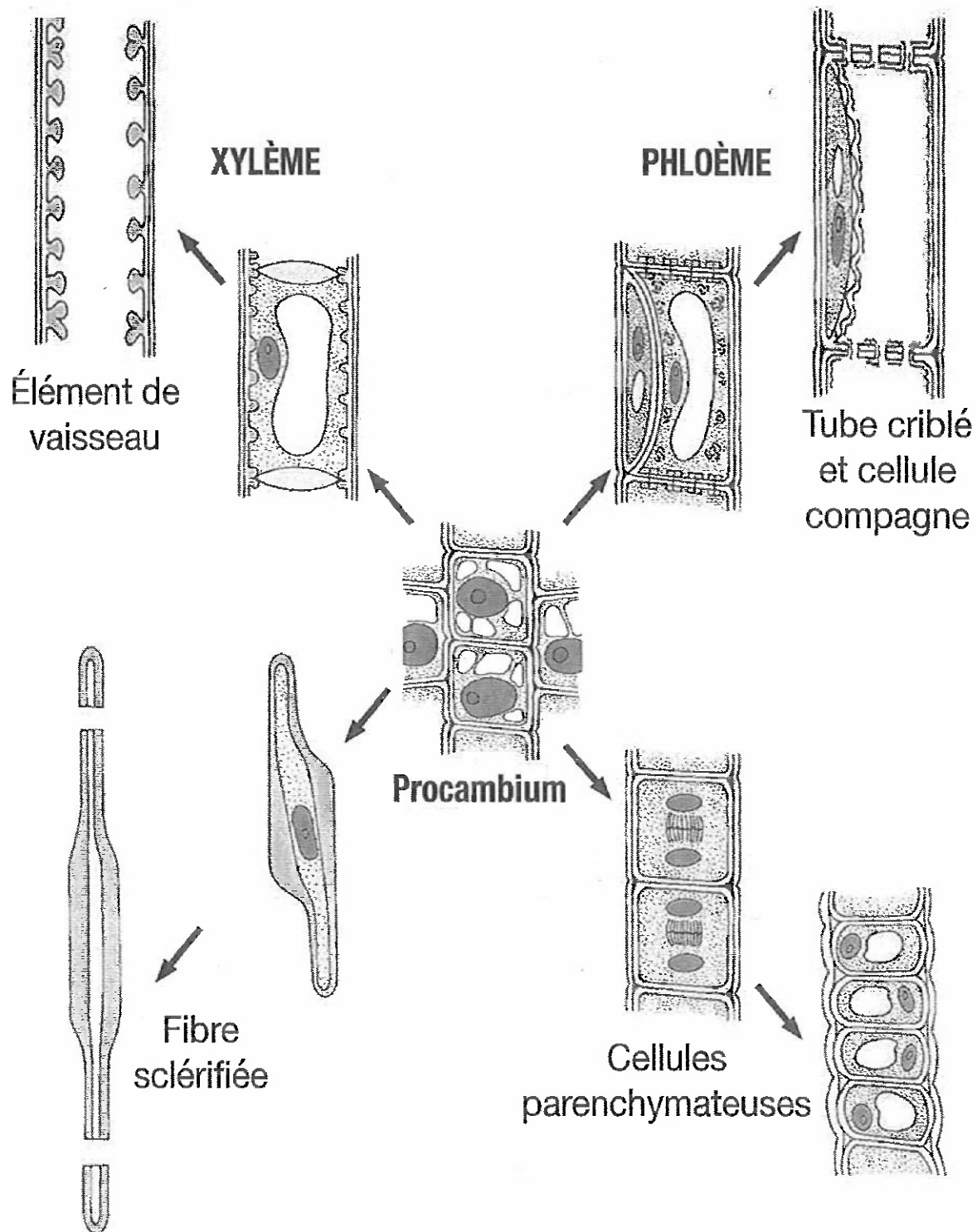
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (10)

Déboitement des entre-nœuds



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (11)

Procambium et différenciation



Divers types de cellules peuvent provenir d'une cellule procambiale (au centre).

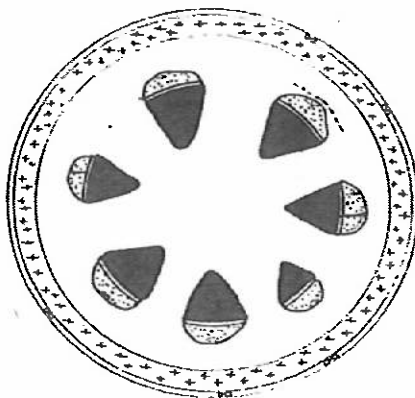
La différenciation de ces cellules s'exprime particulièrement dans l'organisation de leur paroi.

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (12)

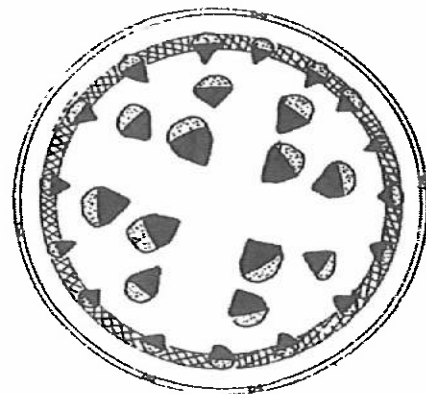
Structures primaires

Structure primaire de tige

Dicotylédones



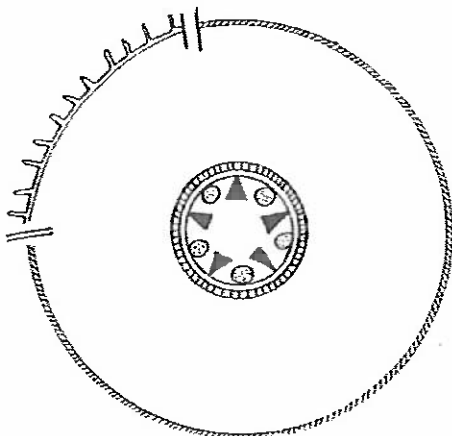
Monocotylédones



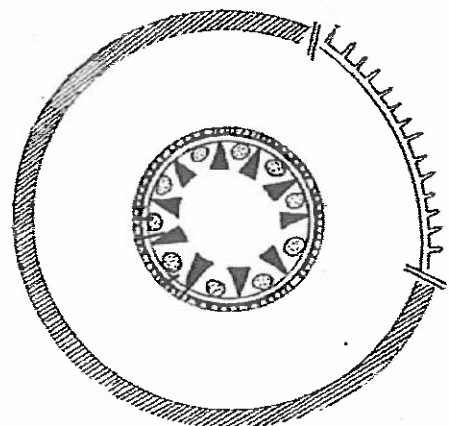
- | | |
|---------------------|---------|
| Parenchyme | Xylème |
| Collenchyme | Phloème |
| Sclérenchyme | |
| Epiderme | |
| Epiderme à stomates | |

Structure primaire de racine

Dicotylédones



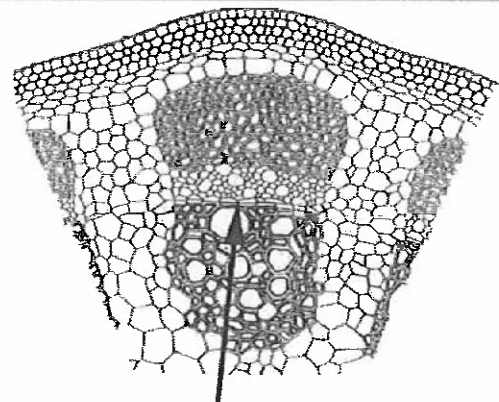
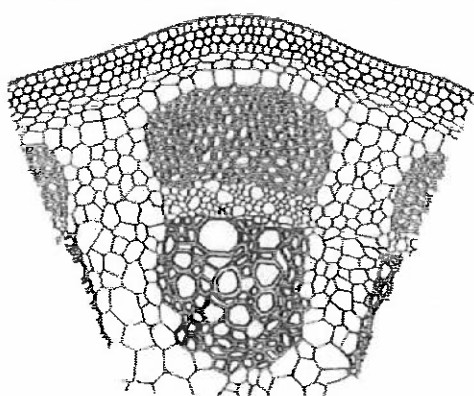
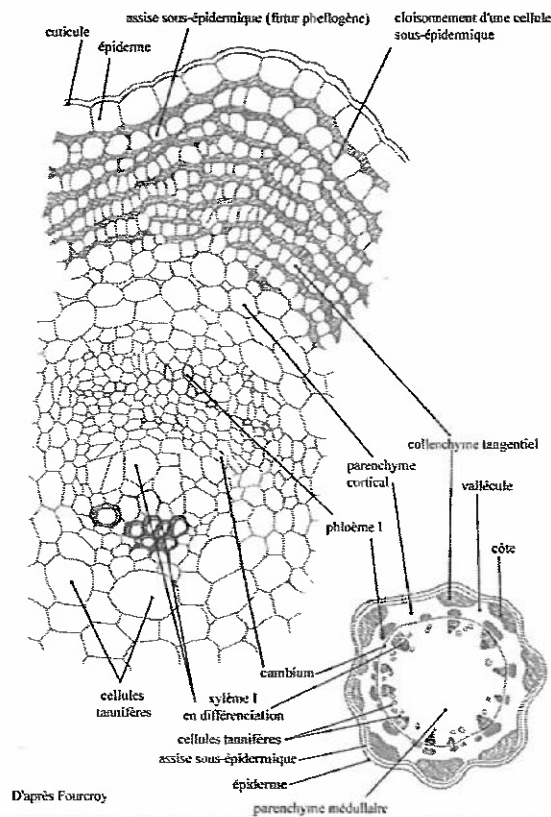
Monocotylédones



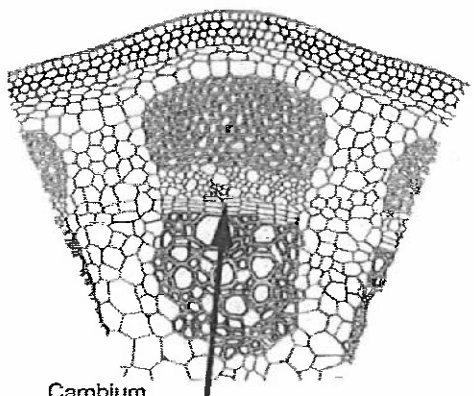
- | | |
|----------------------|---------|
| Rhizoderme | Xylème |
| Parenchyme sclérifié | Phloème |
| Parenchyme | |
| Péricycle | |
| Endoderme | |

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (13)

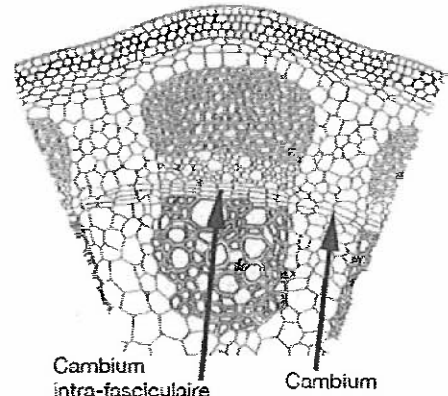
Cambium, bois et liber



Apparition du cambium



Cambium intra-fasciculaire

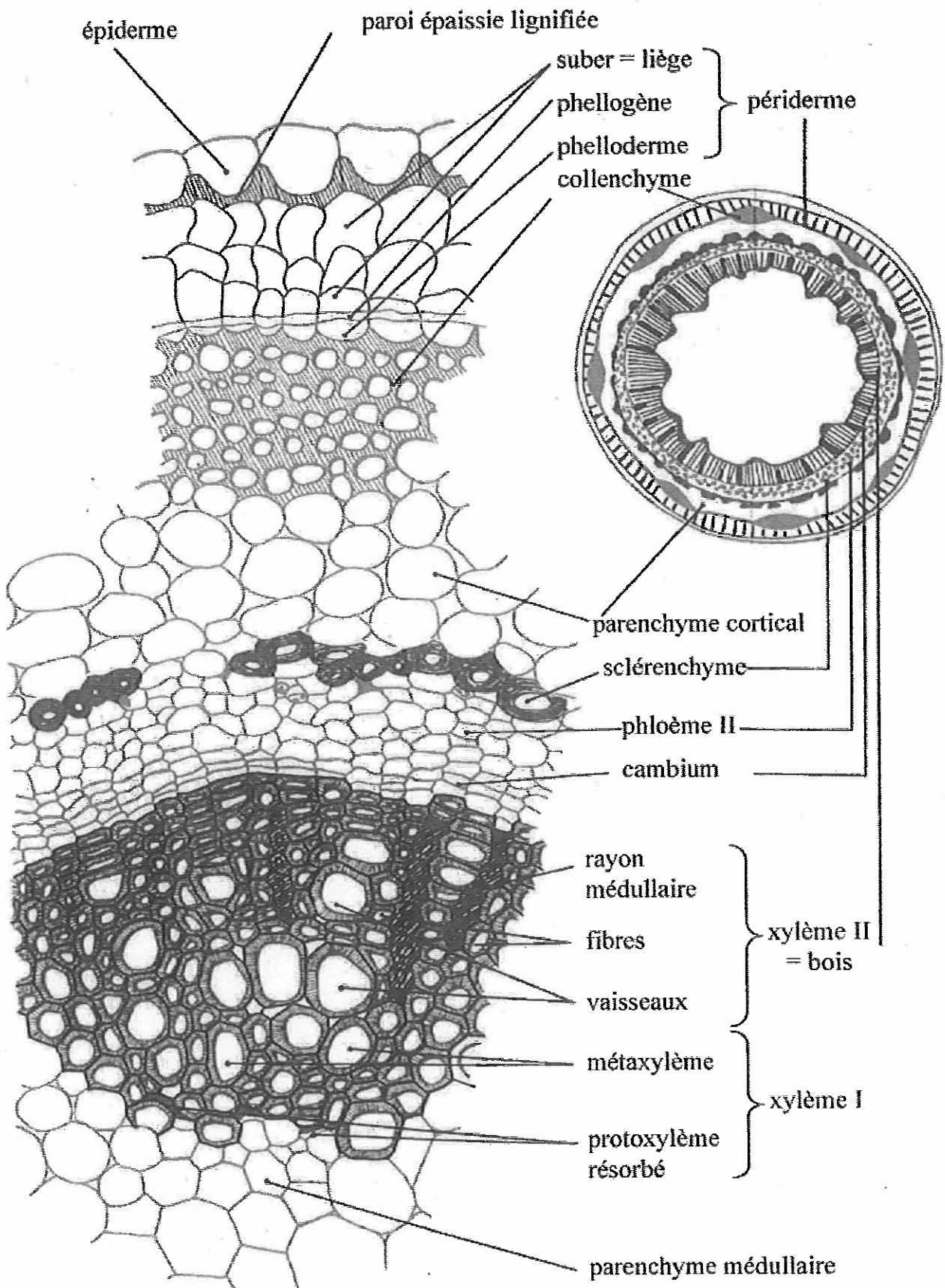


Cambium intra-fasciculaire

Cambium inter-fasciculaire

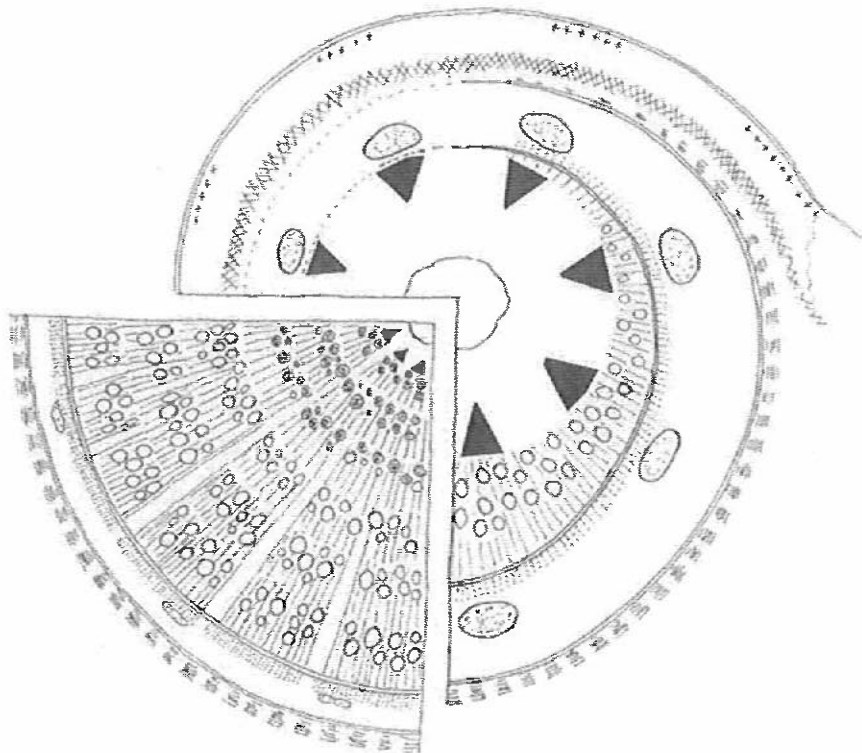
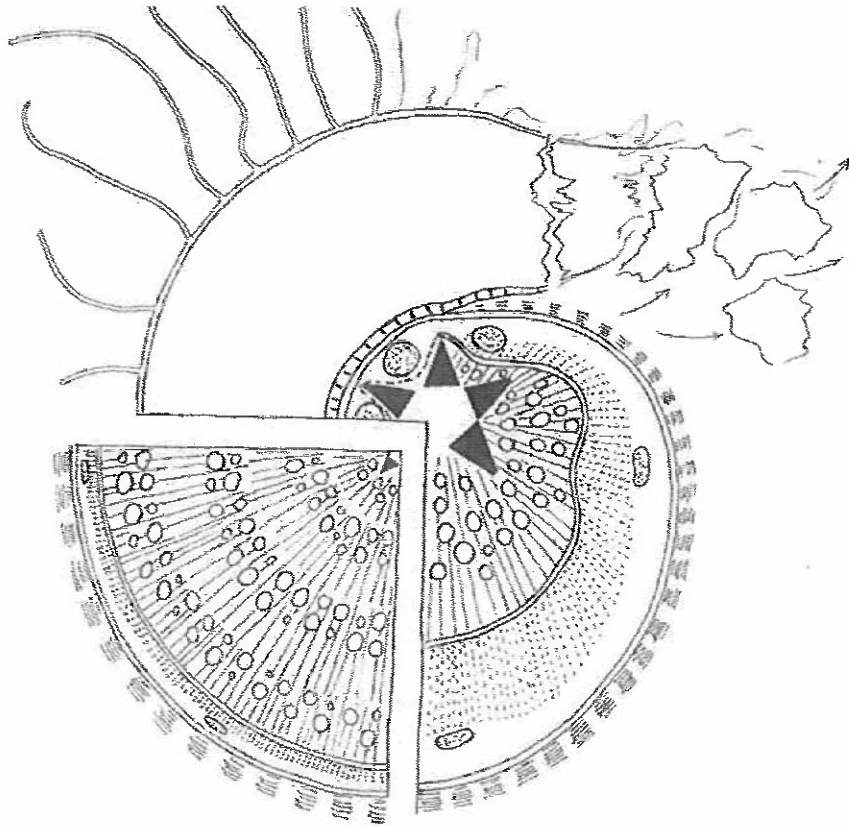
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (14)

Cambium, bois, liber et phellogène



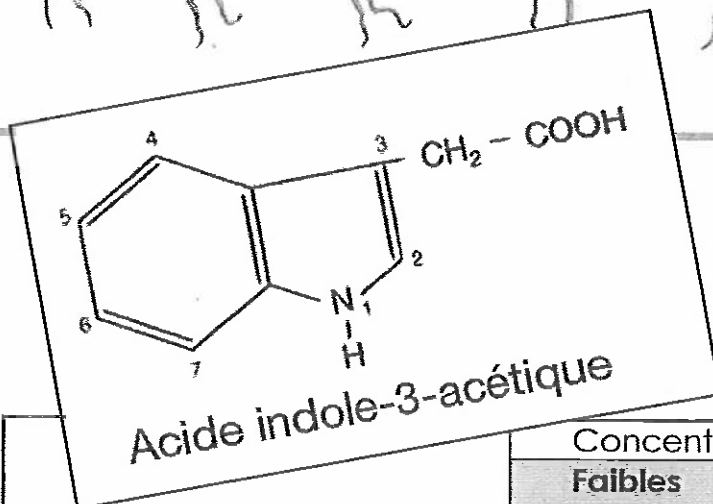
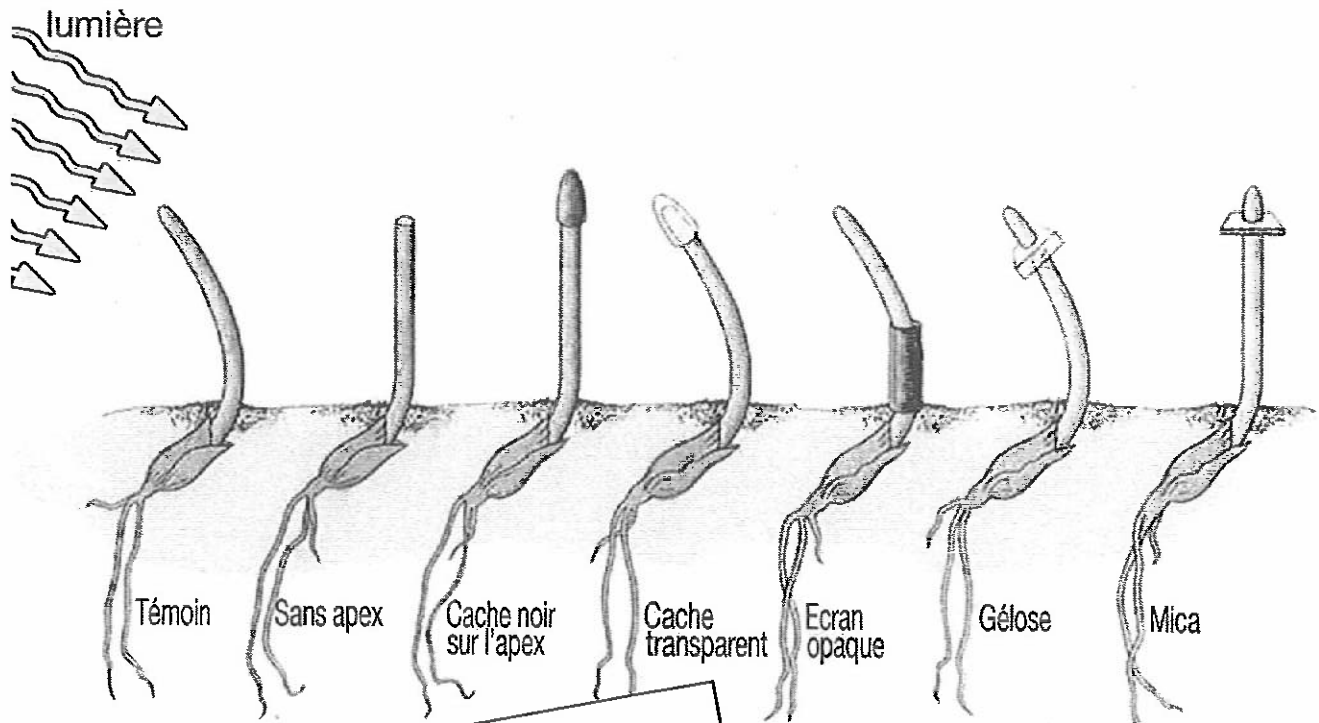
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (15)

Croissance en épaisseur : Tiges et Racines



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (16)

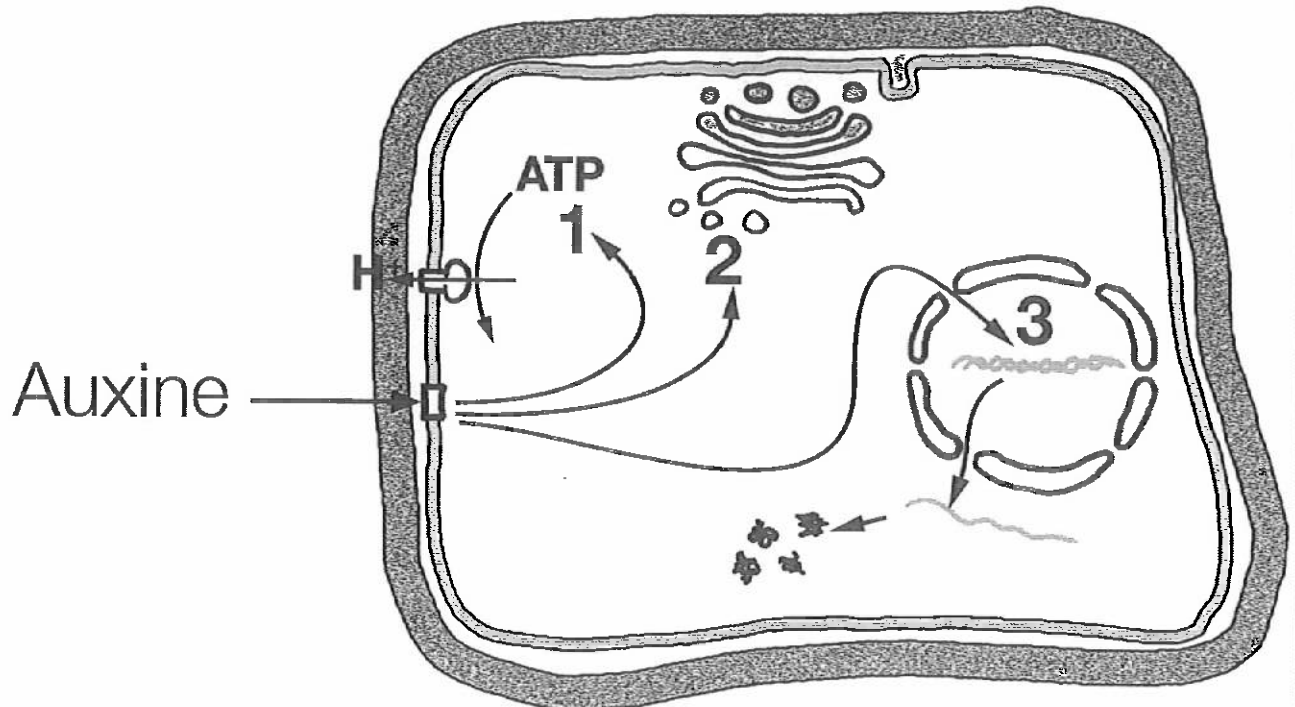
L'auxine et ses effets



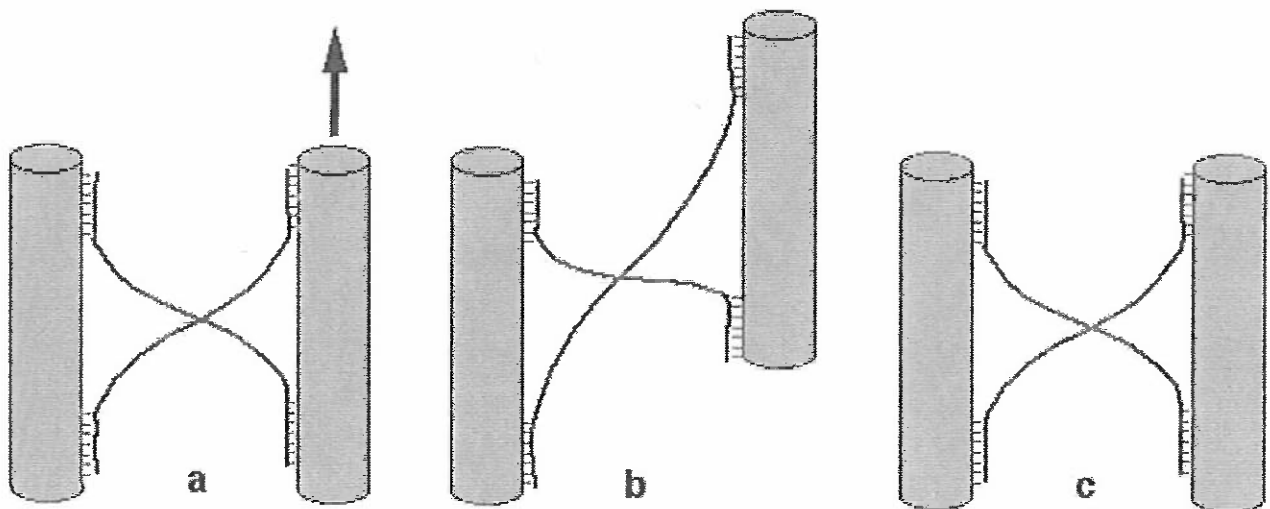
	Concentrations en g.mL ⁻¹ (et en mM)		
	Faibles 10 ⁻⁸ (0,05)	Moyennes 10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶ (0,5 - 5)	Fortes 10 ⁻⁵ (50)
Elongation			
- Coléoptile, tige, pétiole, limbe (monocot.)	+	+++	+
- Limbe (sauf Monocot.)	-	--	---
- Racine	+	--	---
Prolifération			
- Cambiums, fruits	+	+++	-
- Zone d'abscission	-	--	---
Différenciation			
- Histogenèse	+	+++	-
- Bourgeons	+	--	---
- Rhizogenèse	0	++	+++

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (17)

Action cellulaire de l'auxine

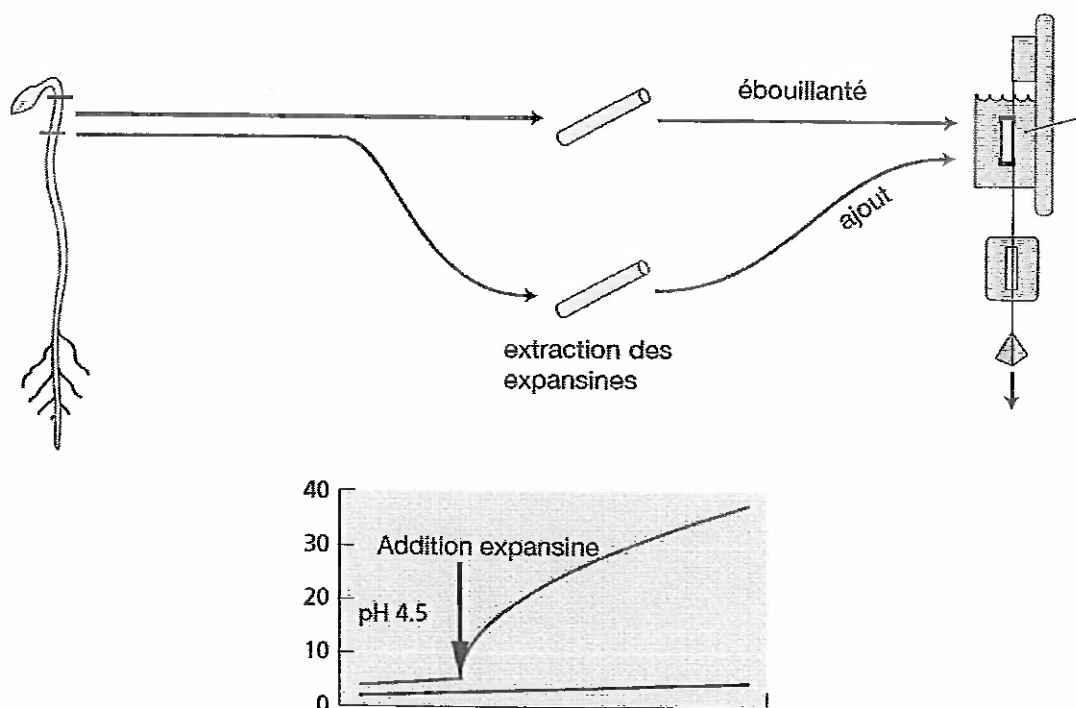
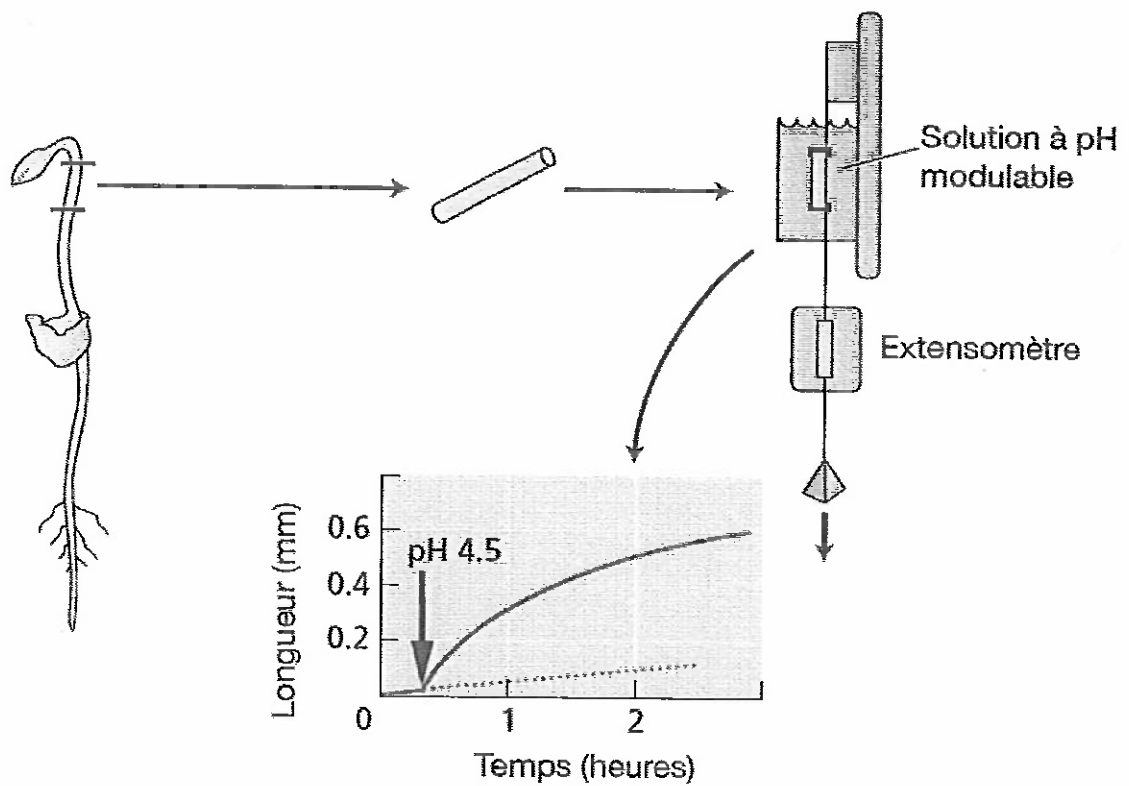


1. Acidification de la paroi par activation des pompes à H^+ - 2. Stimulation de la synthèse de paroi
3. Activation de gènes (protéines de croissance)



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (18)

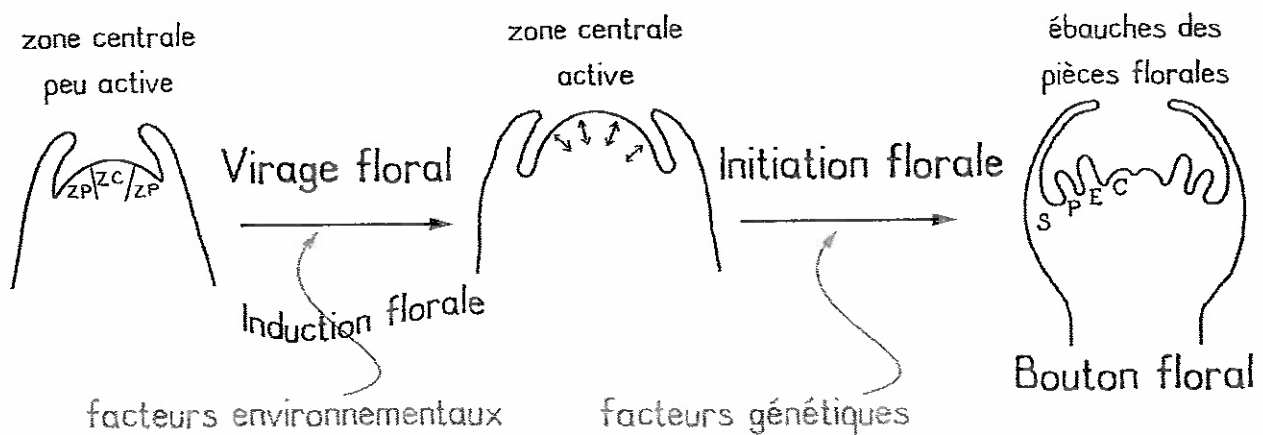
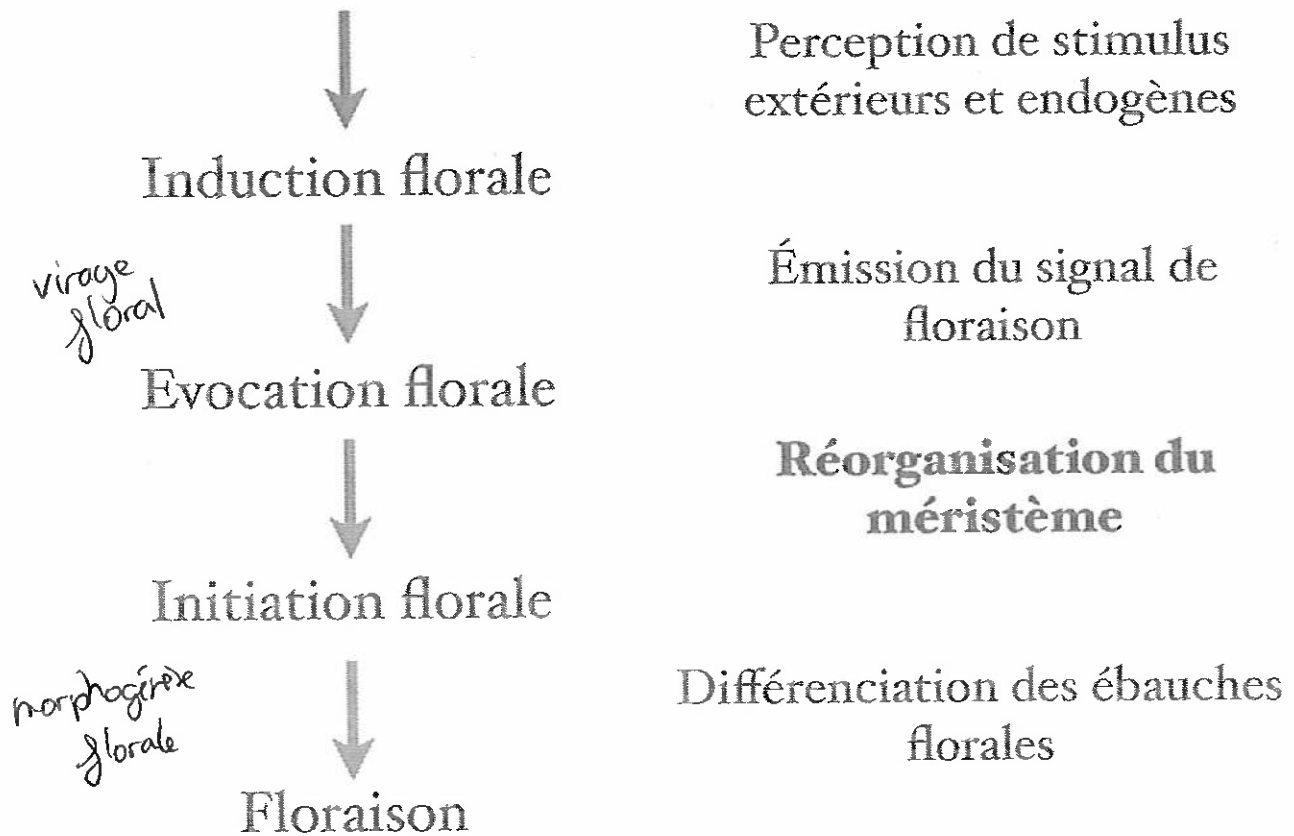
Effet acide et extensibilité de la paroi



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (19)

Induction et évocation florales

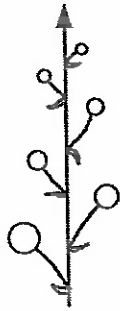
PLANTE VÉGÉTATIVE



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (20)

Fleur et inflorescence (1)

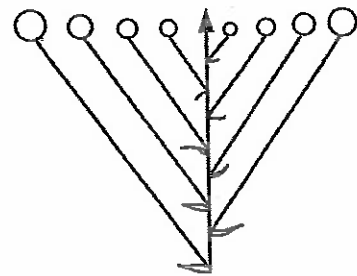
Inflorescences indéterminées



Grappe

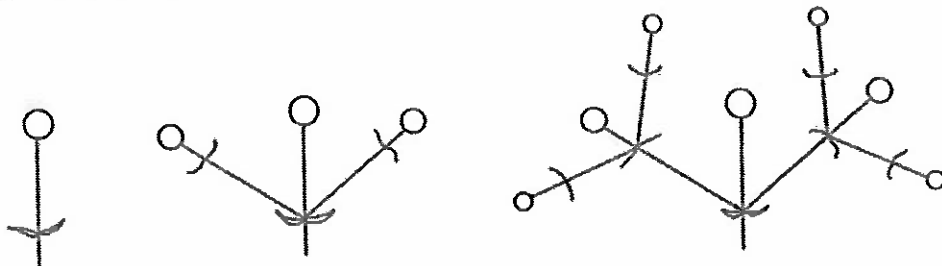


Épi

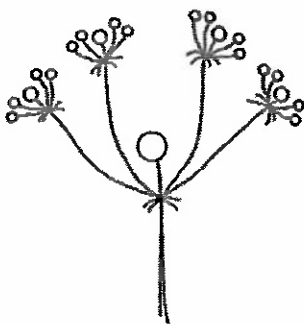


Corymbe

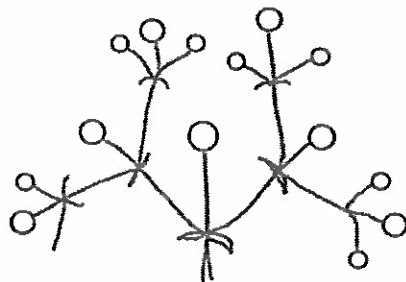
Inflorescences déterminées



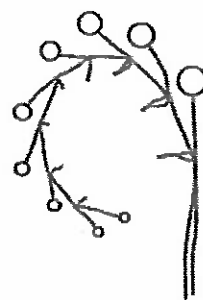
Formation des fleurs dans une cyme



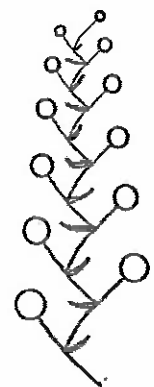
Cyme multipare



Cyme bipare



Scorpioïde

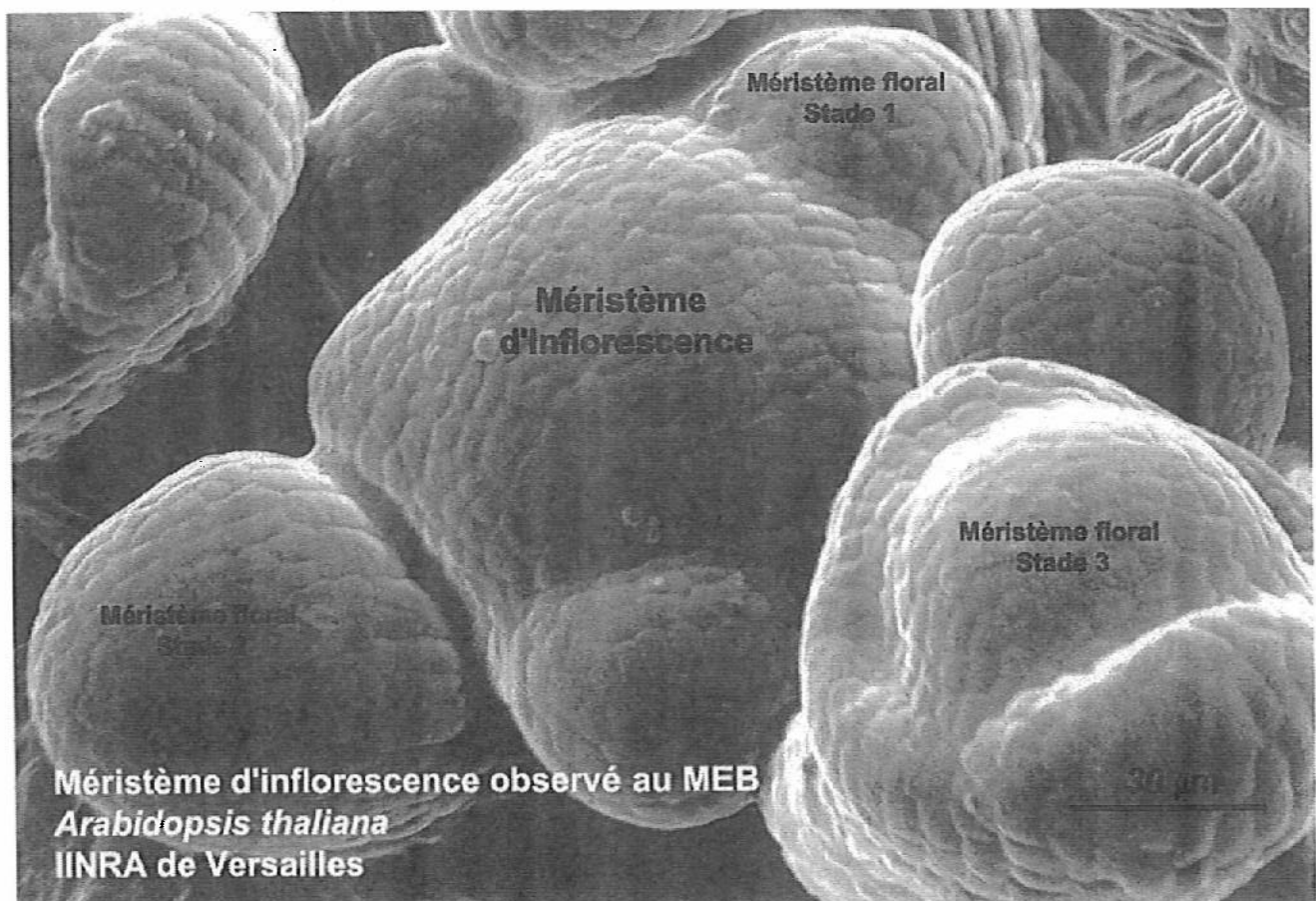


Hélicoïde

Cyme unipare

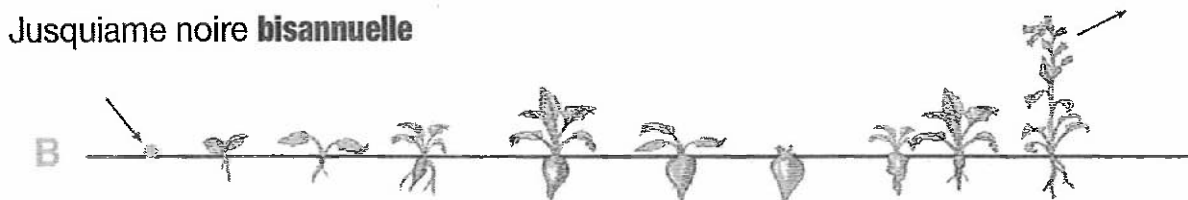
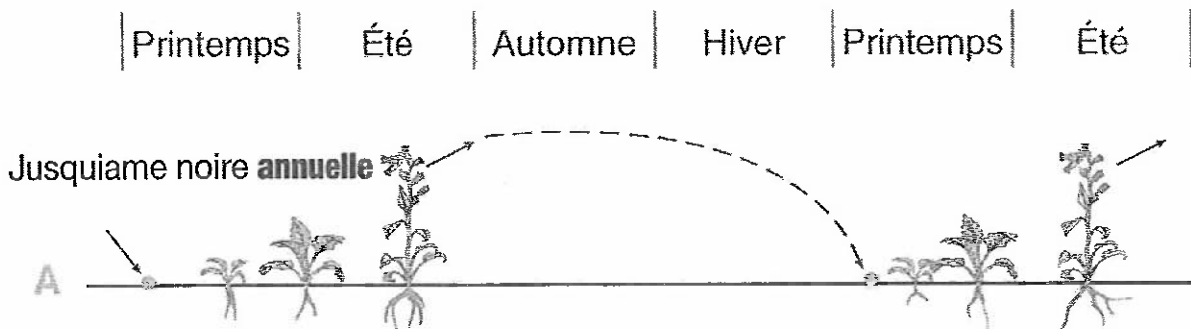
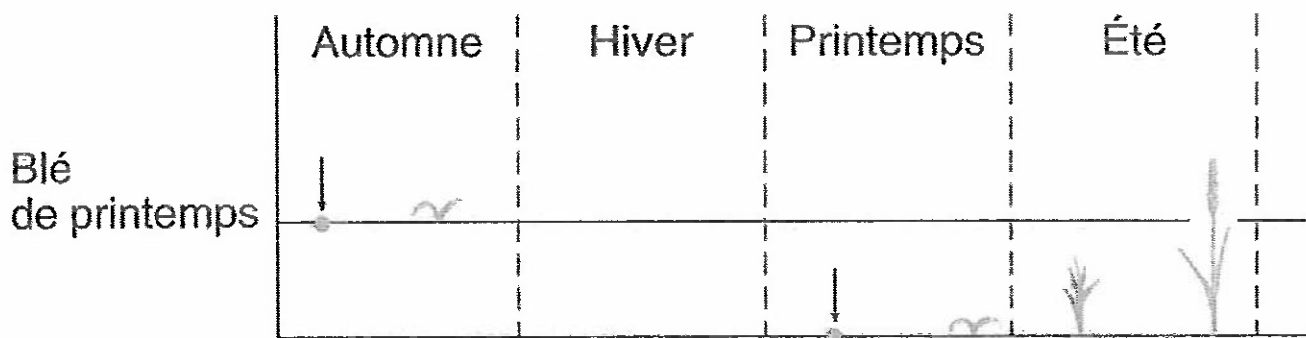
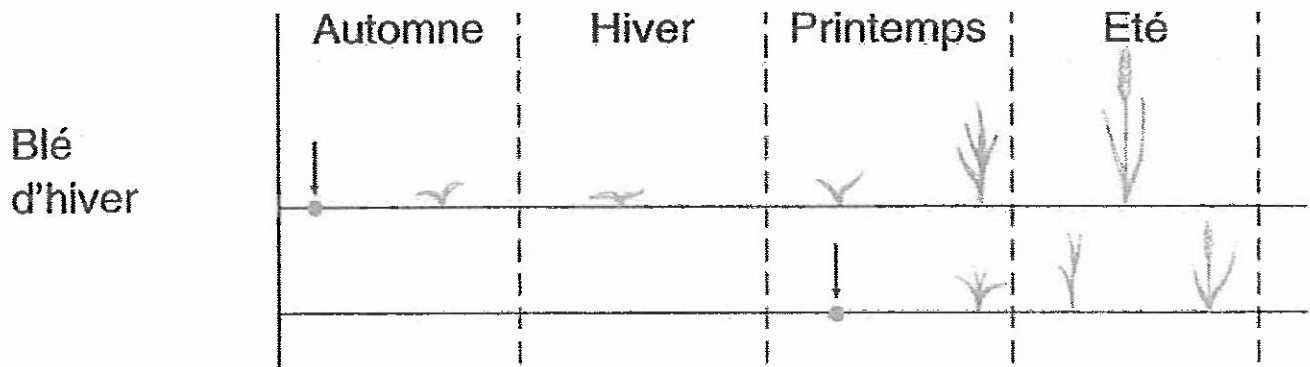
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (21)

Fleur et inflorescence (2)



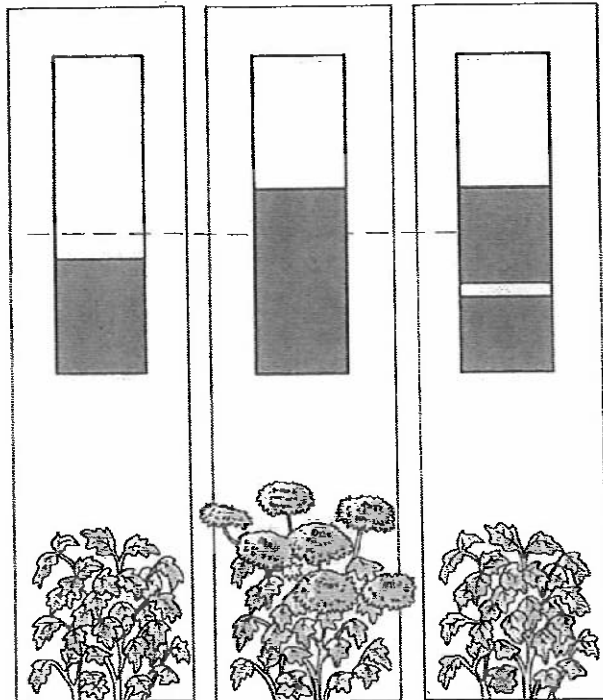
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (22)

Vernalisation et aptitude à fleurir



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (23)

Photopériodisme et mise à fleur



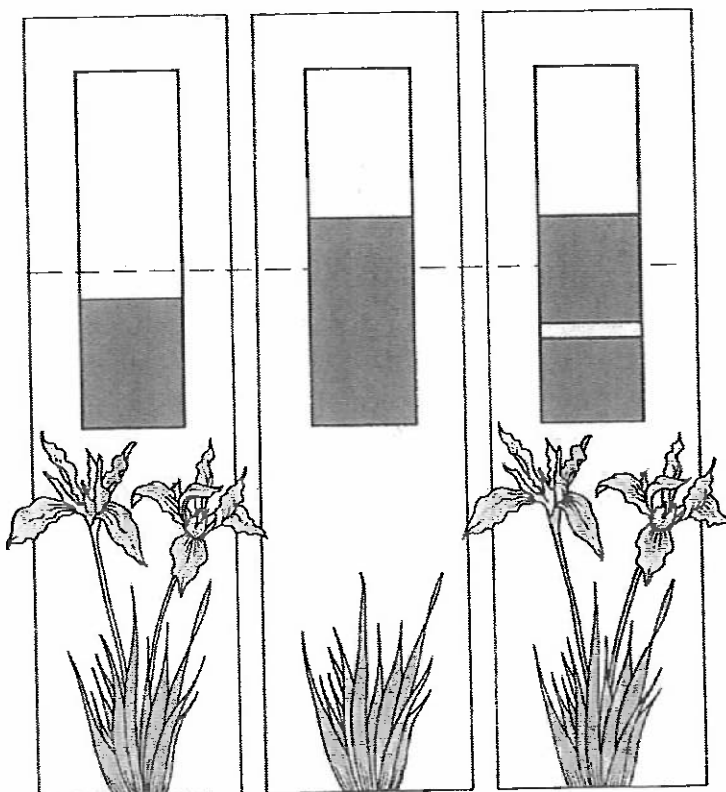
Short-day plants

Plante de jours courts

Pour une plante de «jours courts», la floraison est déclenchée par une période de nuits «longues».

Si la nuit est interrompue par un éclair de lumière, les effets de la nuit sont annulés.

C'est donc une nuit longue ininterrompue qui stimule la floraison.



Long-day plants

Plante de jours longs

Pour une plante de «jours longs», la floraison est inhibée par une période de nuits «longues».

Si la nuit est interrompue par un éclair de lumière, les effets de la nuit sont annulés.

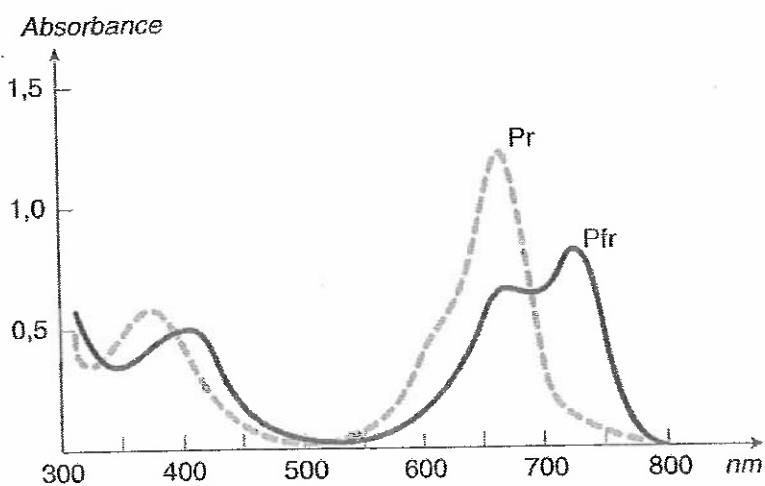
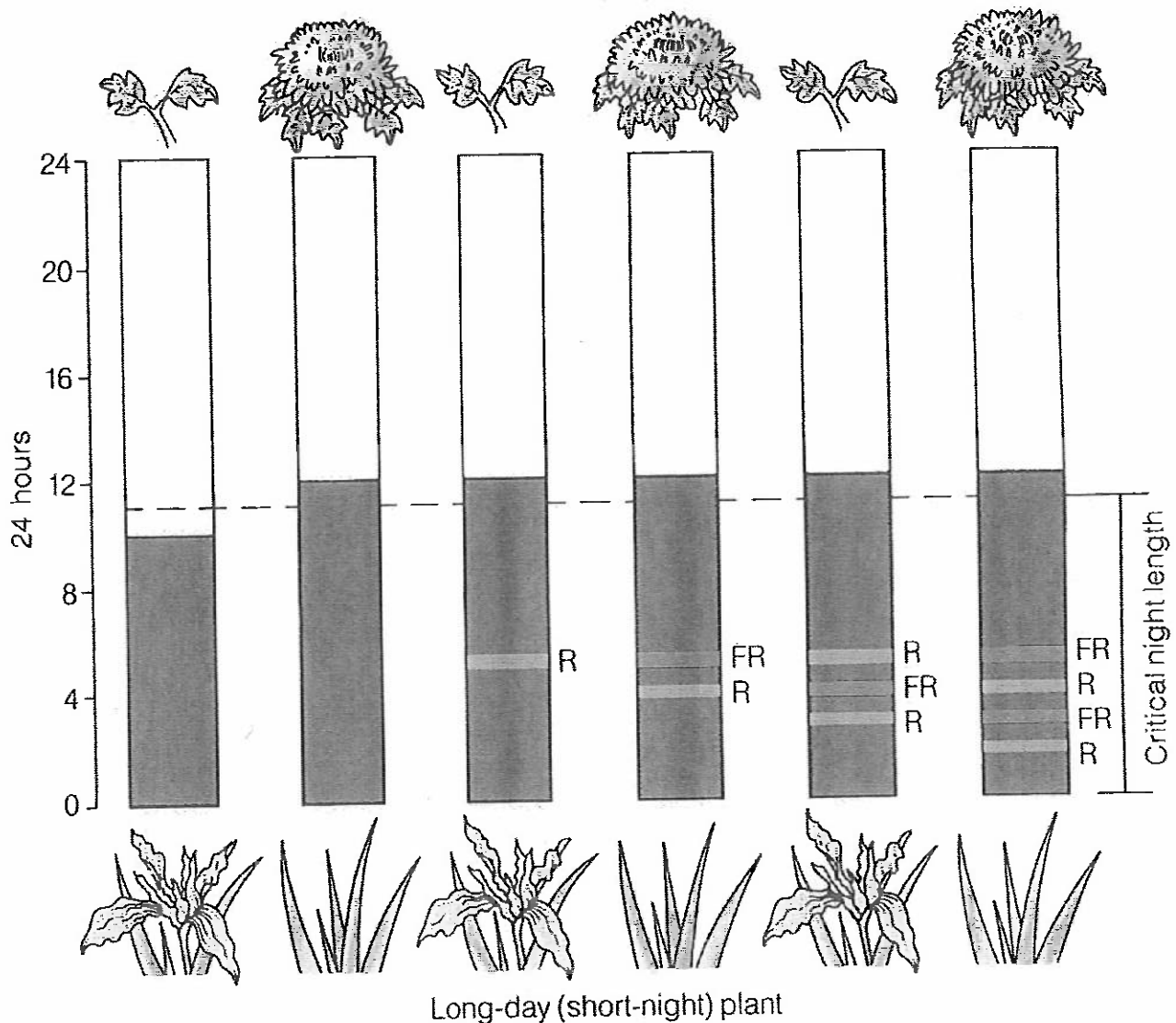
C'est donc une nuit longue ininterrompue qui inhibe la floraison.

La sensibilité est donc la même que pour les plantes de «jours courts», mais les effets de la nuit sont différents.

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (24)

Phytochrome et mise à fleur (1)

Short-day (long-night) plant

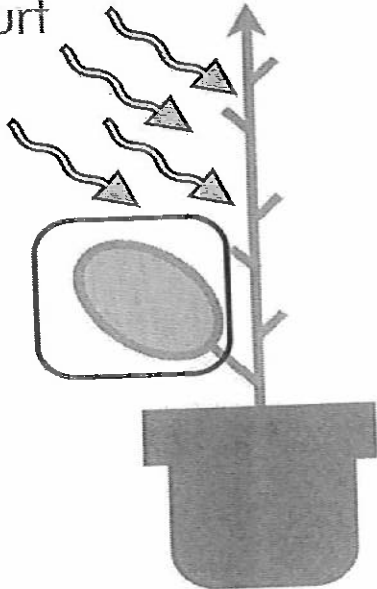


Spectre d'absorption de Pr et de Pfr

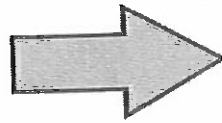
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (26)

Le florigène

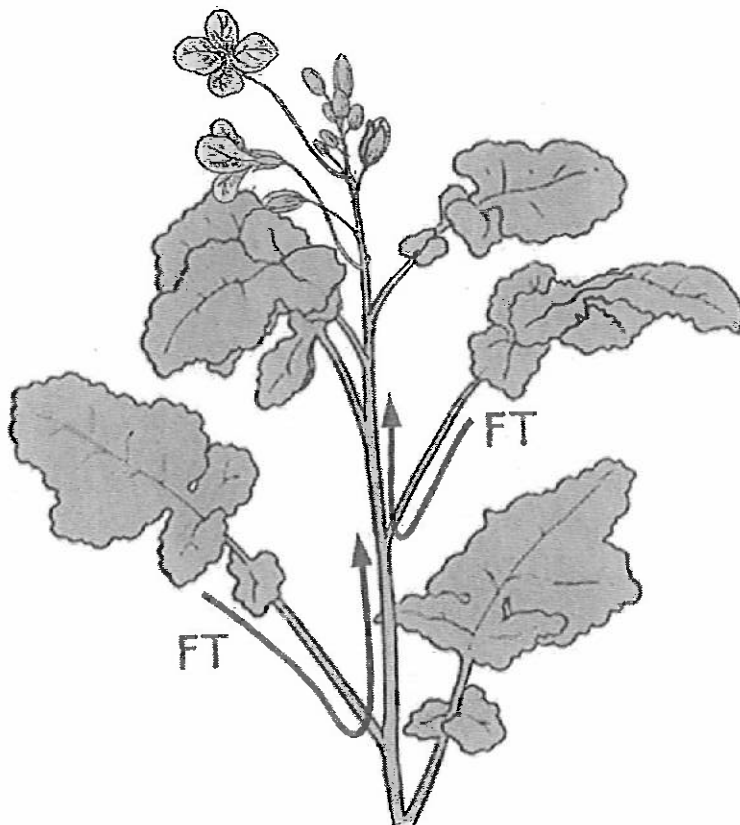
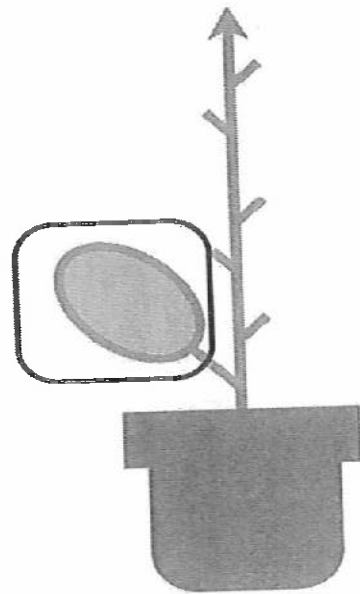
Stimulus
hémériopériodique
court



Plante de jour court



Pas de floraison



Des mutants "FT"
ont été identifiés,
insensibles au
stimulus
photopériodique.
On a pu montrer
que la protéine FT,
produite par les
feuilles était le
Florigène

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES : (27)

Sensibilité aux facteurs environnementaux

Vernalisation et espèces d'Angiospermes

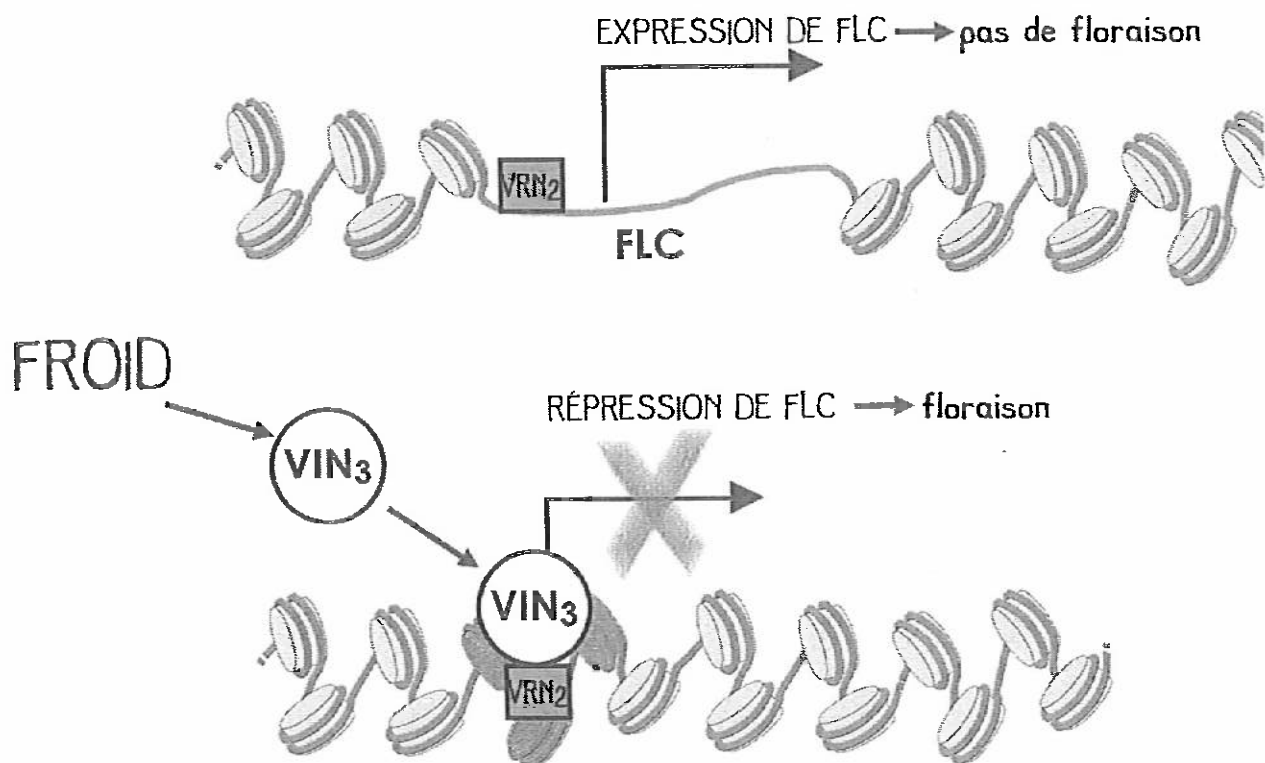
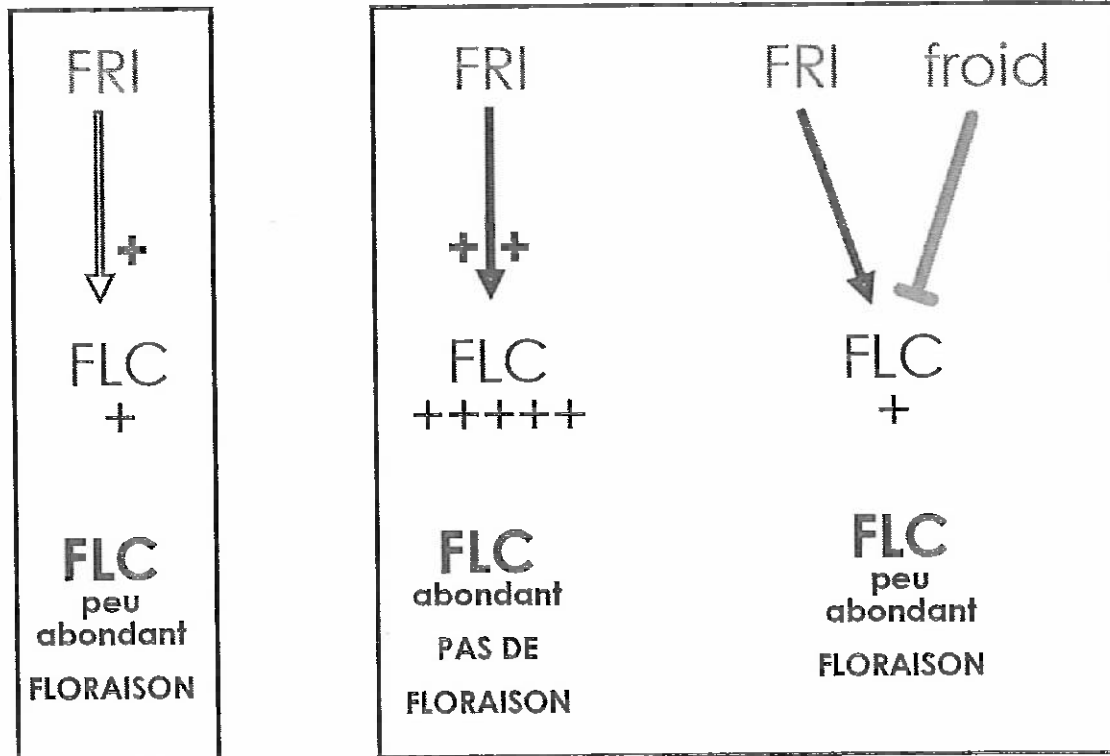
		Exemples
Espèces exigeantes	Plantes bisannuelles	Betterave, Carotte
Espèces préférentes	Plantes annuelles d'hiver Quelques pérennes	Seigle d'hiver, Blé d'hiver Laitue (bisannuelle)
Espèces indifférentes	Plantes annuelles ou bien ébauches florales avant l'hiver	Coquelicot (annuelle) Lilas, Cerisier (pérennes)

Photopériodisme et espèces d'Angiospermes

	Caractères	Exemples
Espèces aphotiques	Forment l'initium floral à l'obscurité	Jacinthe Pomme de terre
Espèces nyctipériodiques (jours courts)	Requière un nbre minimal de cycles ($H_c < H_{cc}$)	Chrysanthème (8 à 10 cycles) H_{cc} de 9 à 10 heures
Espèces héméropériodiques (jours longs)	Requière un nbre minimal de cycles ($H_c > H_{cl}$)	Soja, épinard, chanvre, Jusquiame noire H_{cc} de 13 à 14 heures (épinard)
Espèces indifférentes	Floraison indépendante du nombre de cycles	Orge, tomate, maïs, pois

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (28)

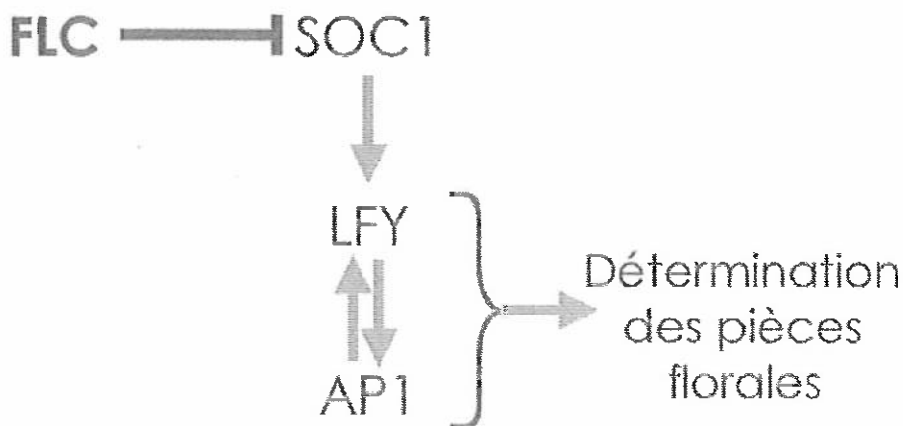
Les gènes de la vernalisation



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (29)

Photopériodisme et signal florigène

Dans le méristème



Le couple LFY / AP1 constitue une boucle autoexcitatrice jouant un rôle de déclencheur. Cette boucle peut être actionnée d'une part par l'action de SOC1 (contrôlé par FLC) et d'autre part par l'action de FT (contrôlé par la photopériode dans les feuilles).

Dans les feuilles

Photopériode
+
Phytochrome

CO

FT

Protéine FT
Signal florigène

Dans le méristème

SOC1

LFY

AP1

Pièces florales

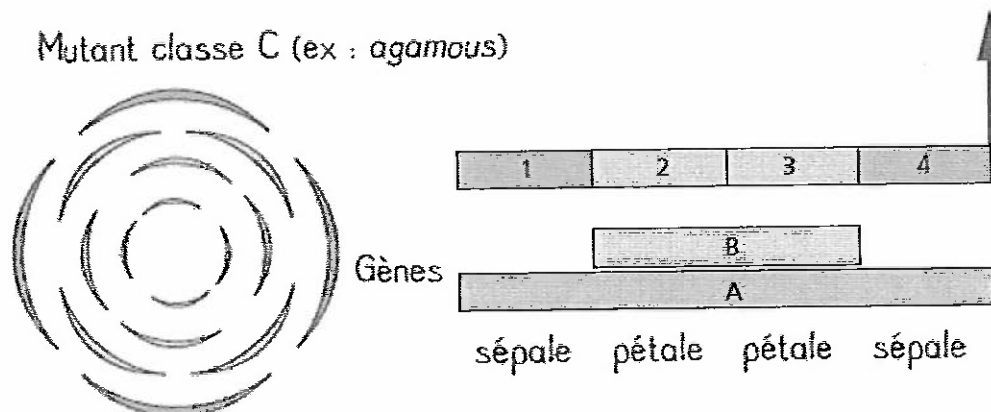
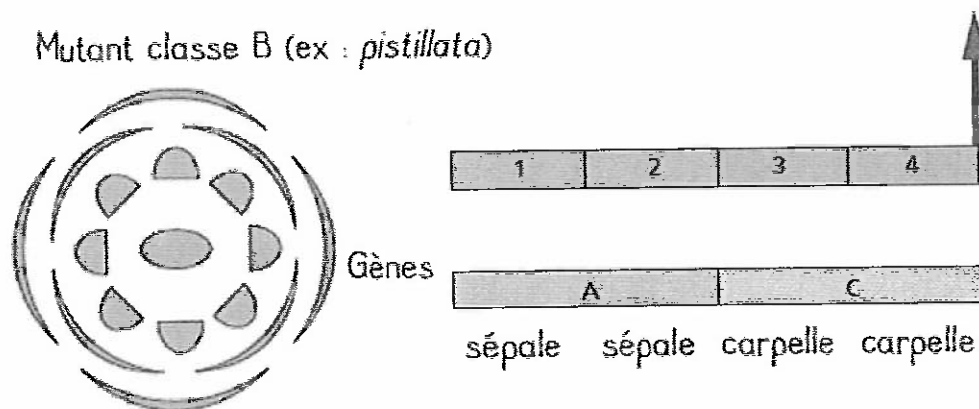
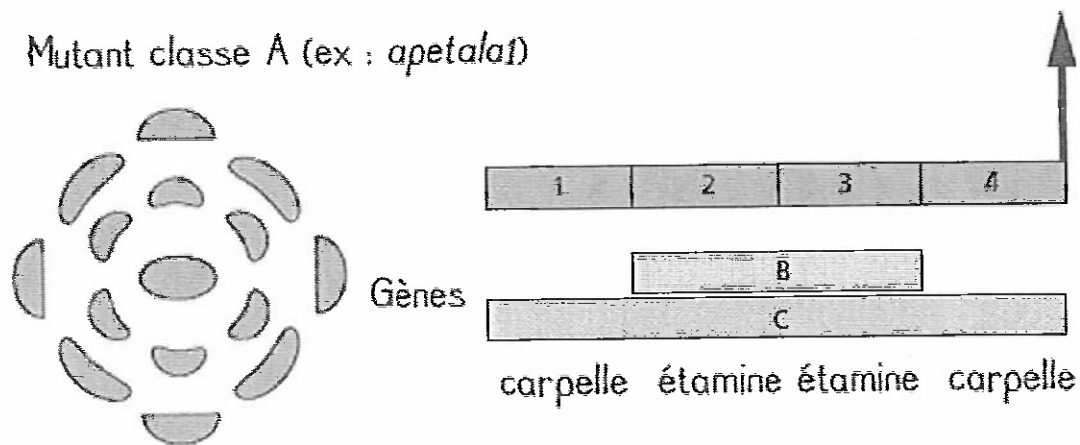
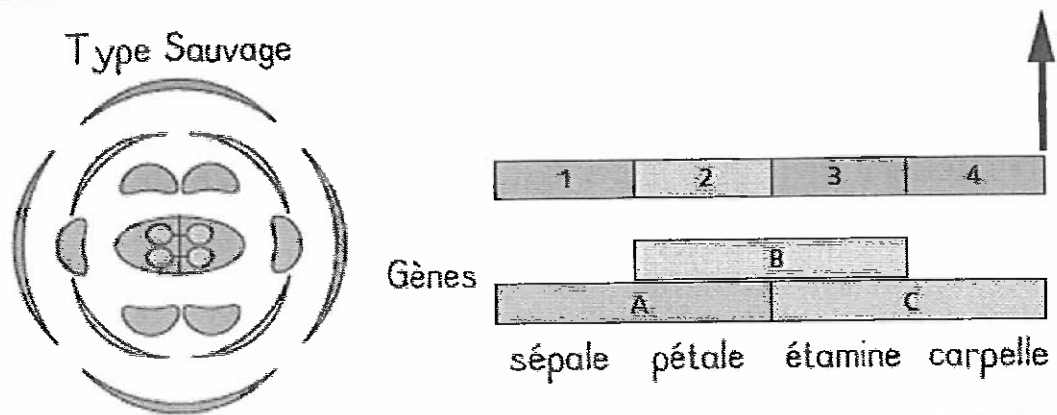
FT

.....



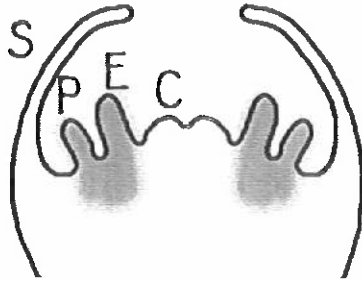
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (30)

Le modèle ABC de déterminisme floral

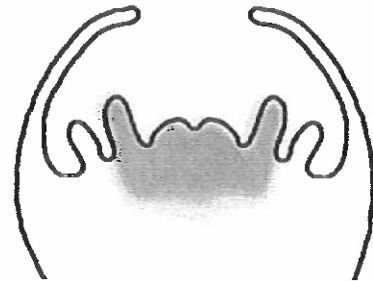


LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (31)

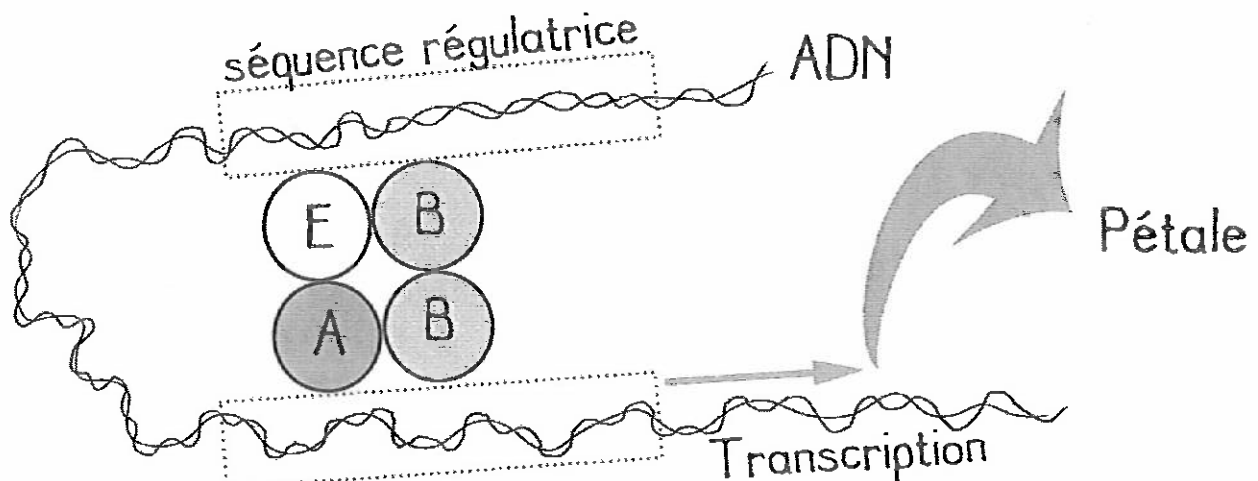
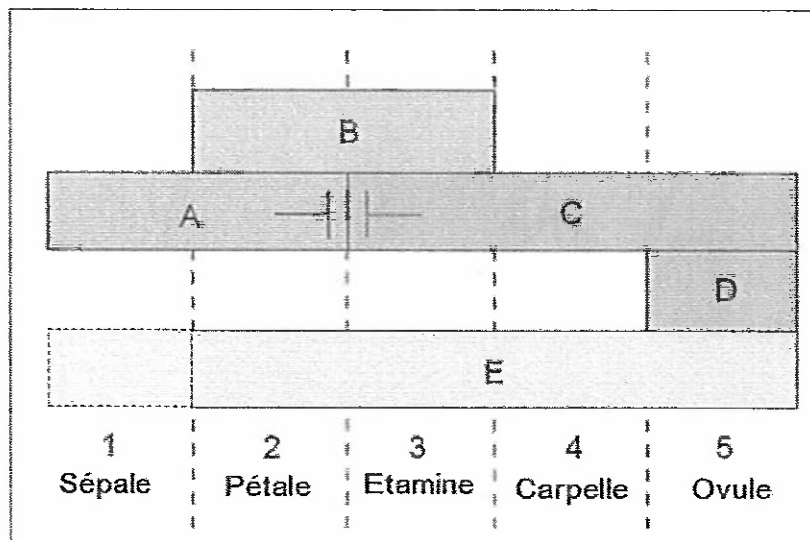
Expression des gènes - modèle ABCDE



Domaine d'expression
d'un gène B chez un
sauvage

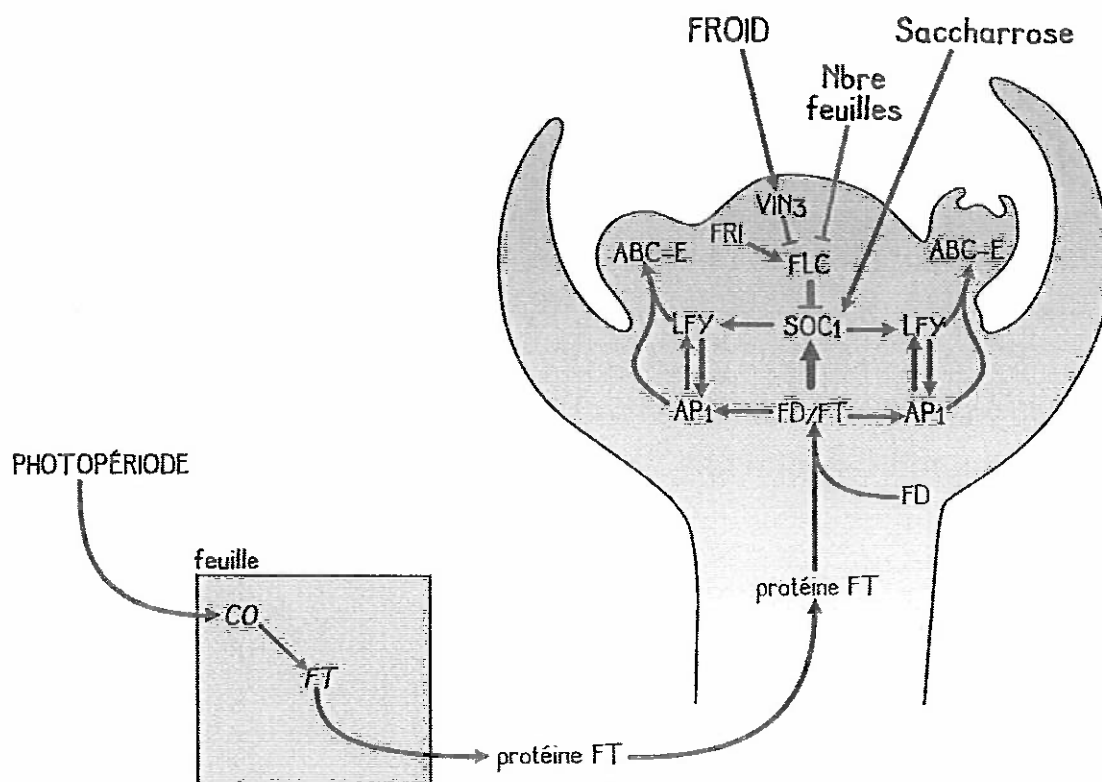
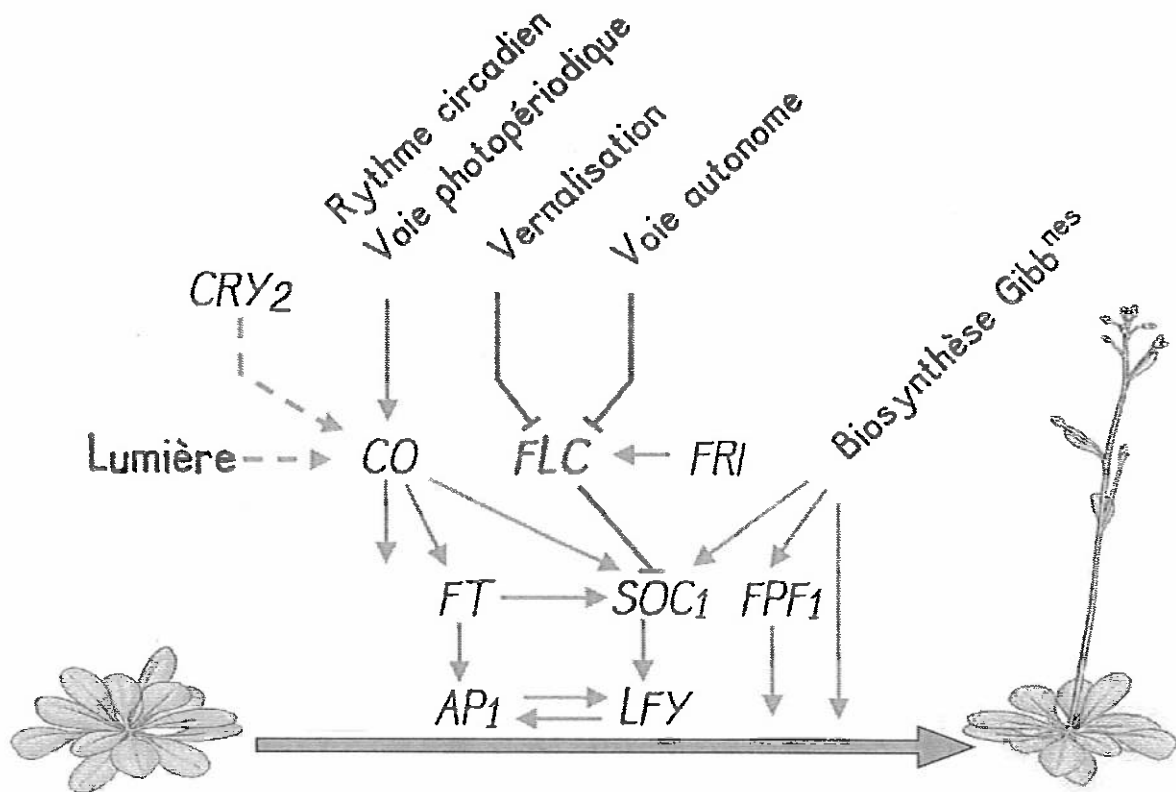


Domaine d'expression
d'un gène C chez un
sauvage



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (32)

Génétique de la floraison, bilan



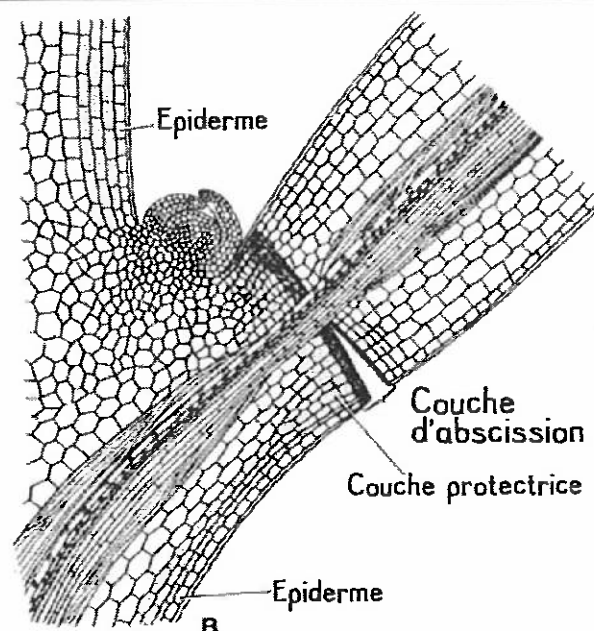
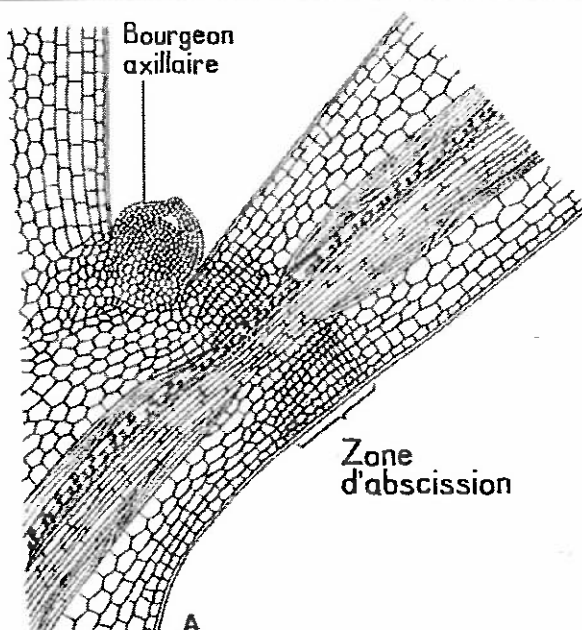
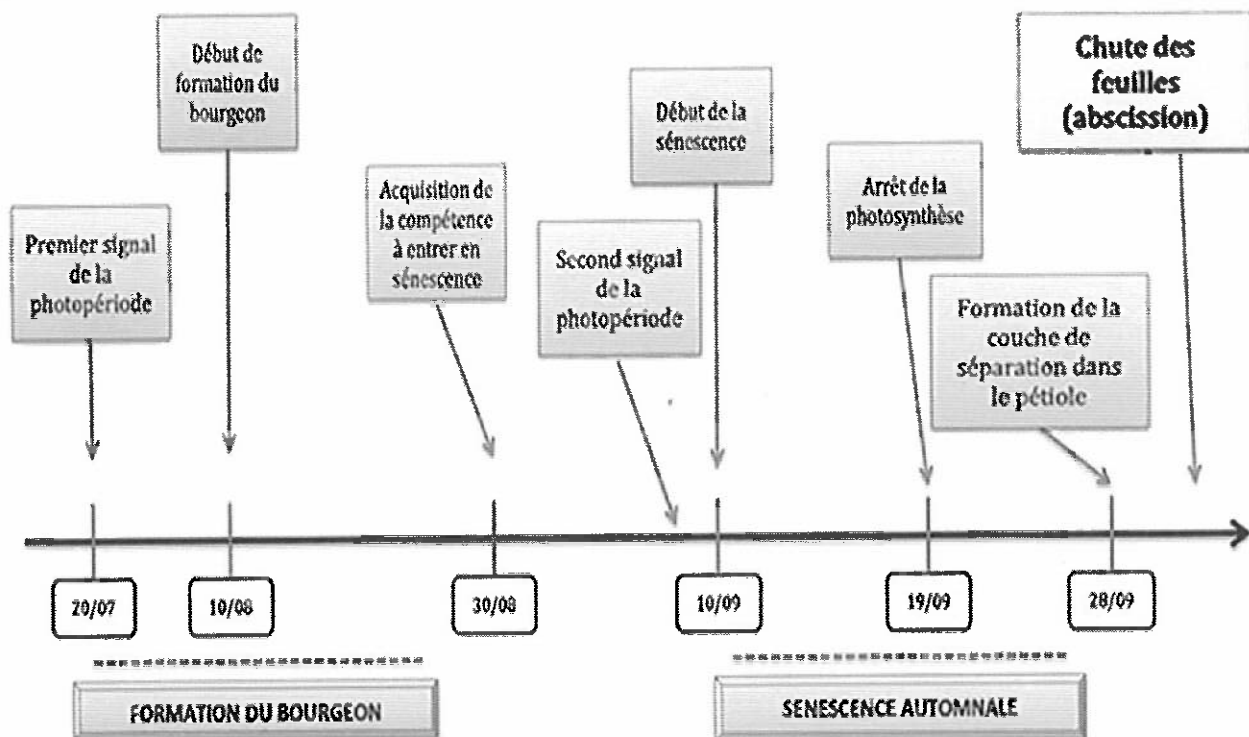
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (33)

Adaptation et accomodation

Les Angiospermes présentent des caractéristiques adaptatives en relation avec leur vie fixée en milieu terrestre. Ces **adaptations** sont le résultat de l'évolution

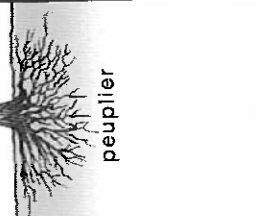
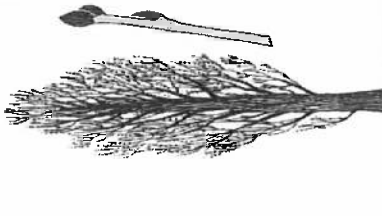
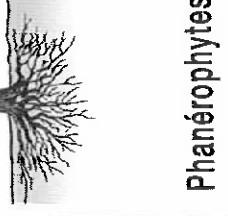
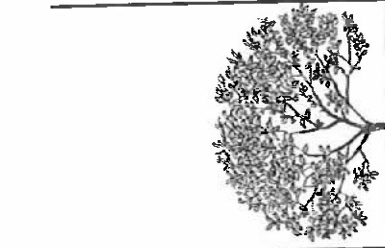
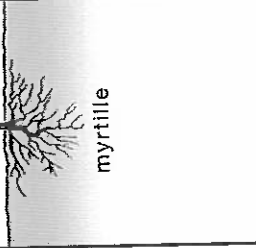
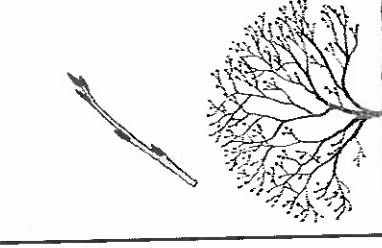
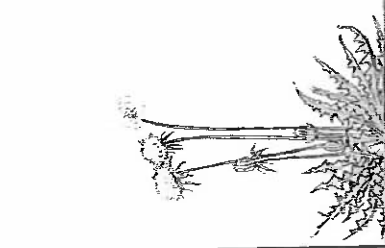
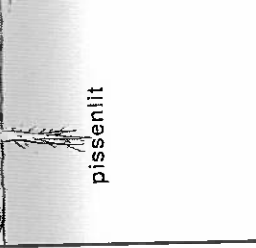
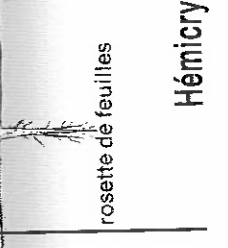
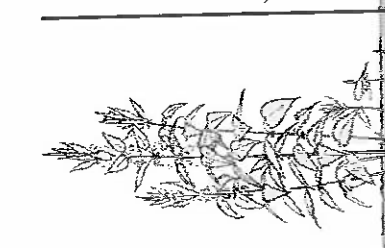
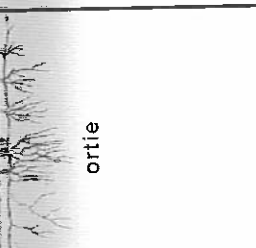
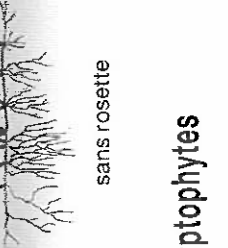
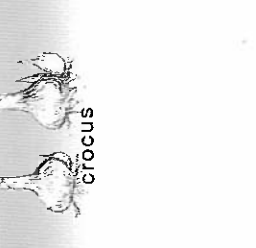
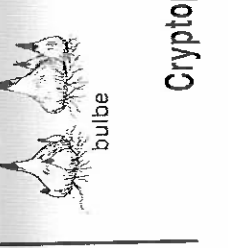
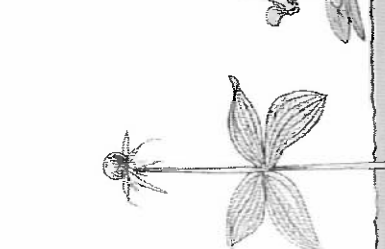
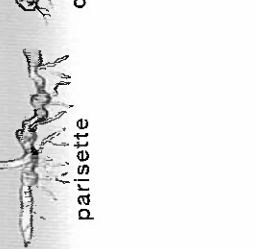
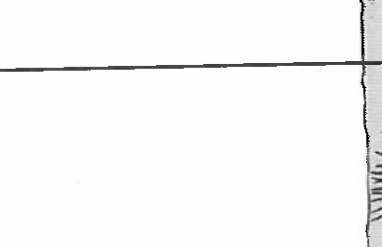
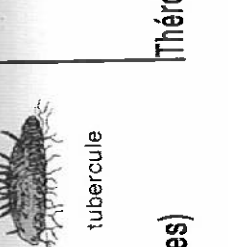
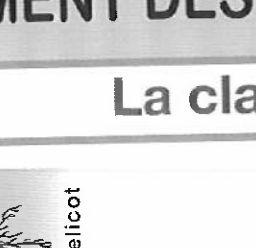
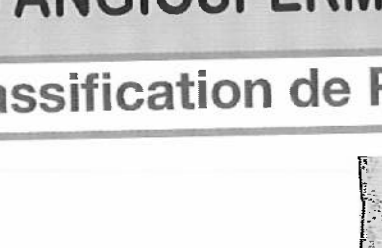
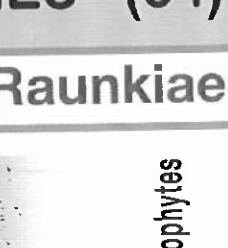
D'autres variations morphologiques, anatomiques et physiologiques au sein d'une même espèce sont sous la dépendance de facteurs du milieu au cours de leur développement. On parle d'**accommodation**.

L'abscission des feuilles



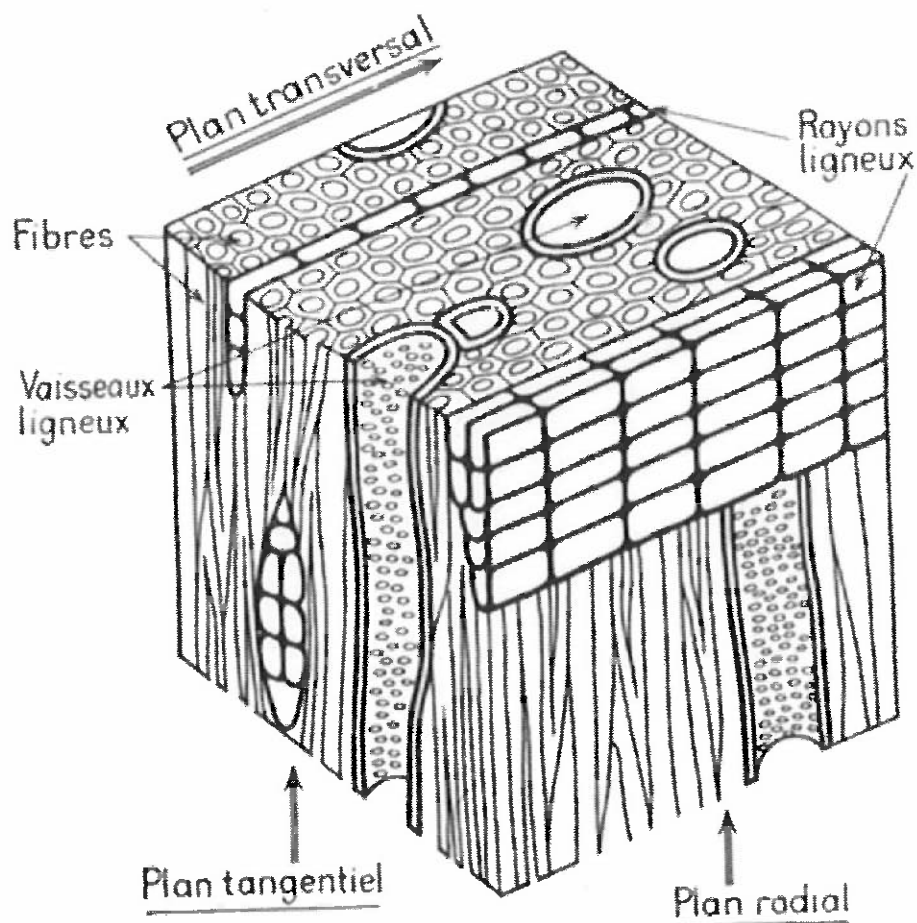
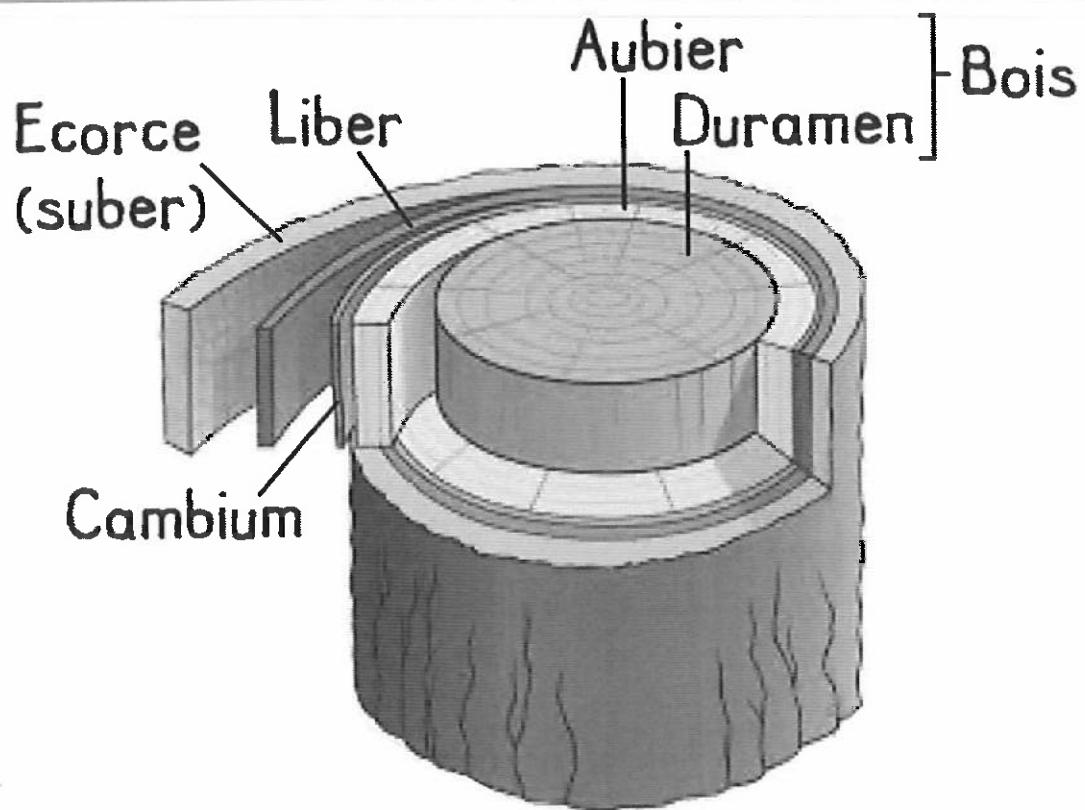
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (34)

La classification de Raunkiaer

				Phanérophytes
				Chamaephytes
				Hémicryptophytes
				Cryptophytes (= Géophytes)
				Thérophytes
				
				
				

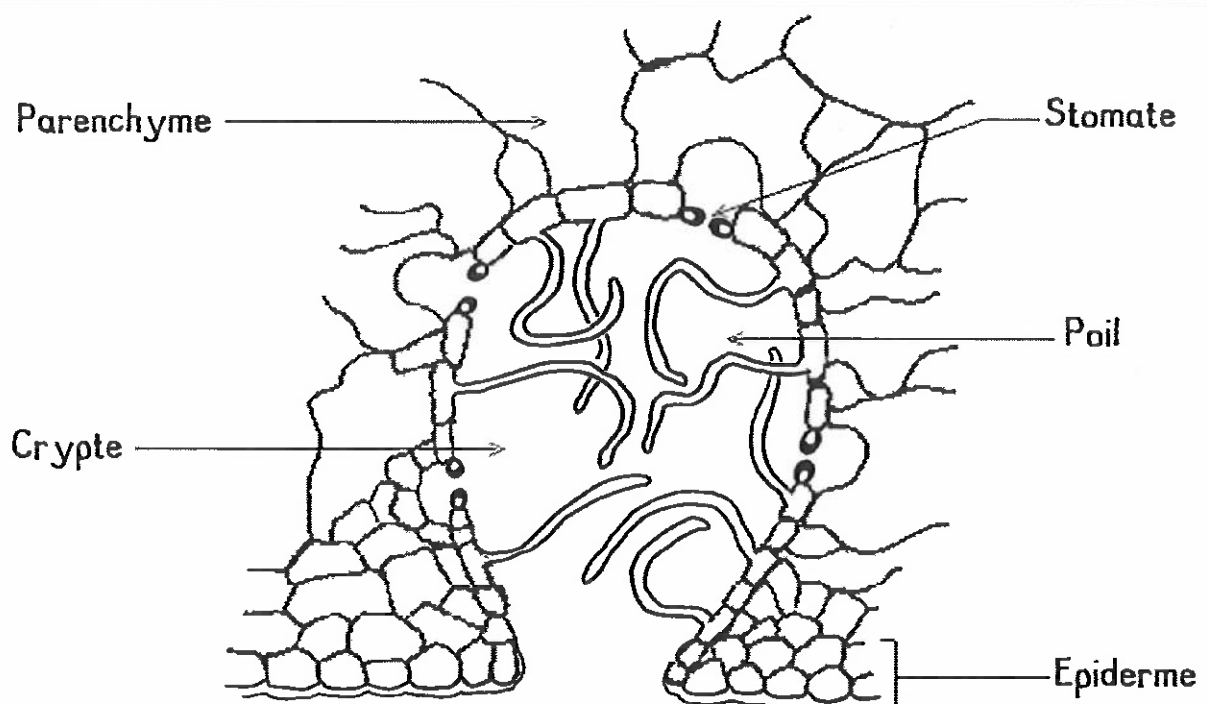
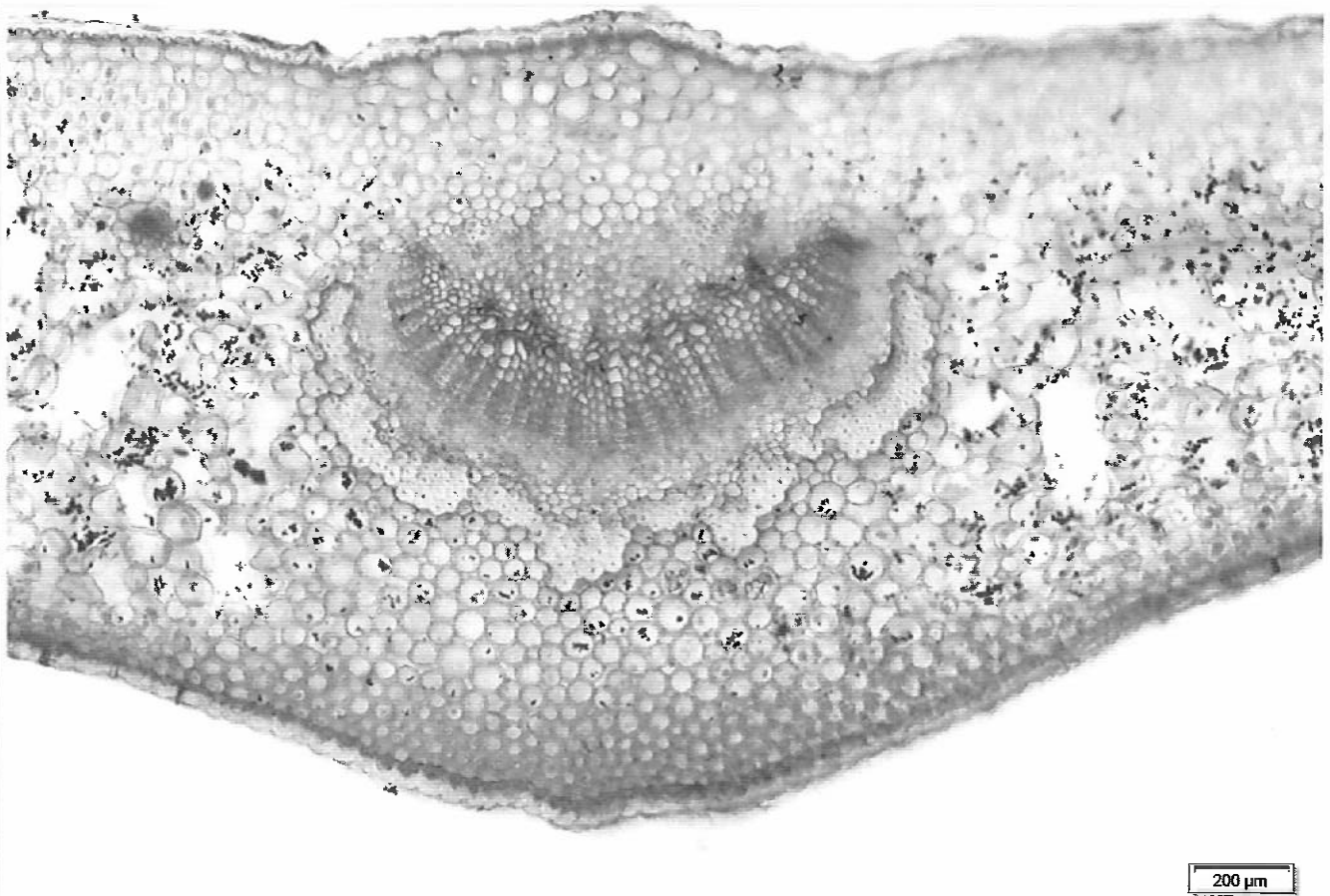
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (35)

Le bois et le soutien des arbres



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (36)

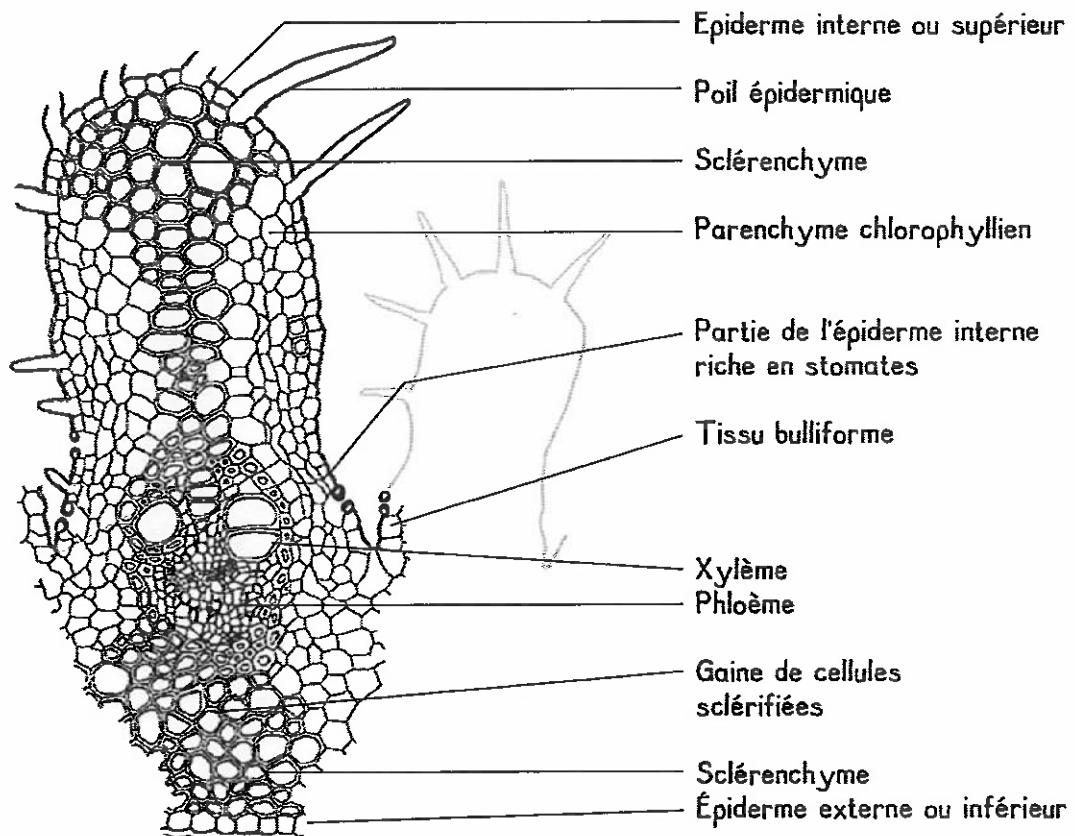
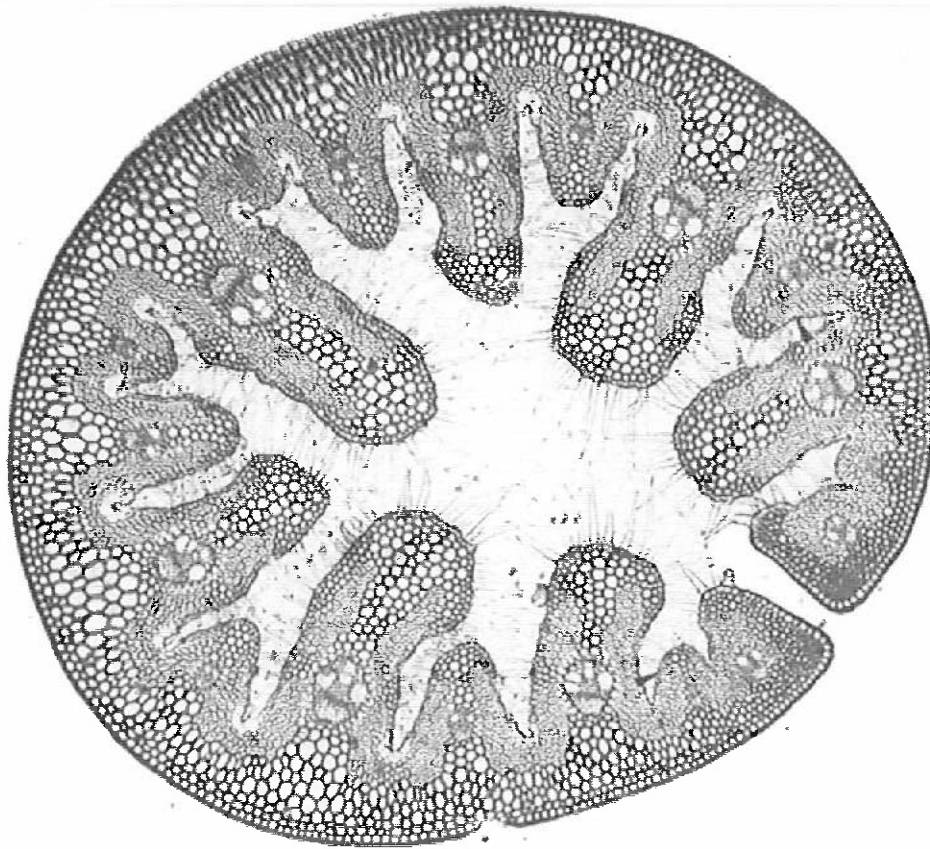
Limiter les pertes d'eau



Crypte pilifère de la face inférieure
d'une feuille de Laurier rose

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (37)

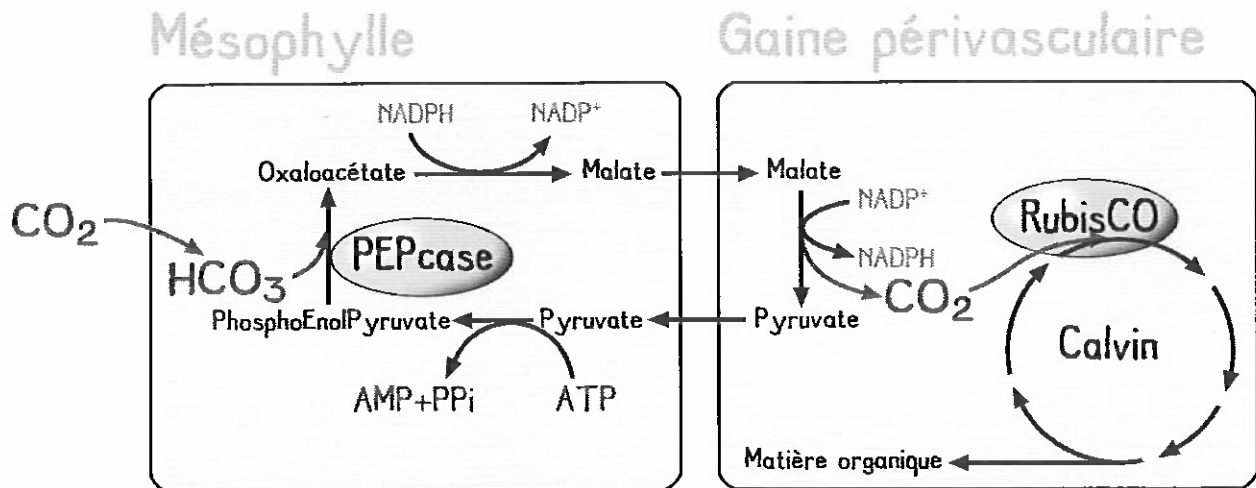
Moduler les pertes d'eau



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (38)

Un métabolisme économe en eau

Métabolisme en C4



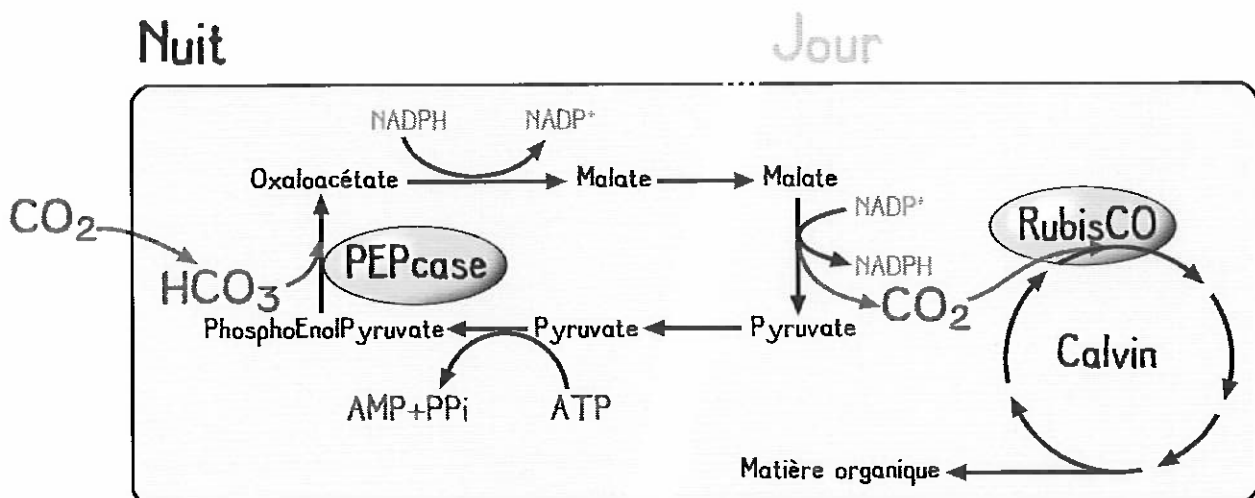
La photosynthèse se fait en deux temps :

- Fixation du carbone sur un C3 (le **PEP**), donnant de l'**oxaloacétate**
- Récupération du CO_2 dans la gaine périvasculaire et entretien d'un cycle de Calvin.

L'ensemble du cycle est coûteux en énergie.

Le meilleur rendement (pas de photorespiration) de ce système le rend économe en eau puisque les stomates peuvent être ouverts moins longtemps.

Métabolisme CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*)

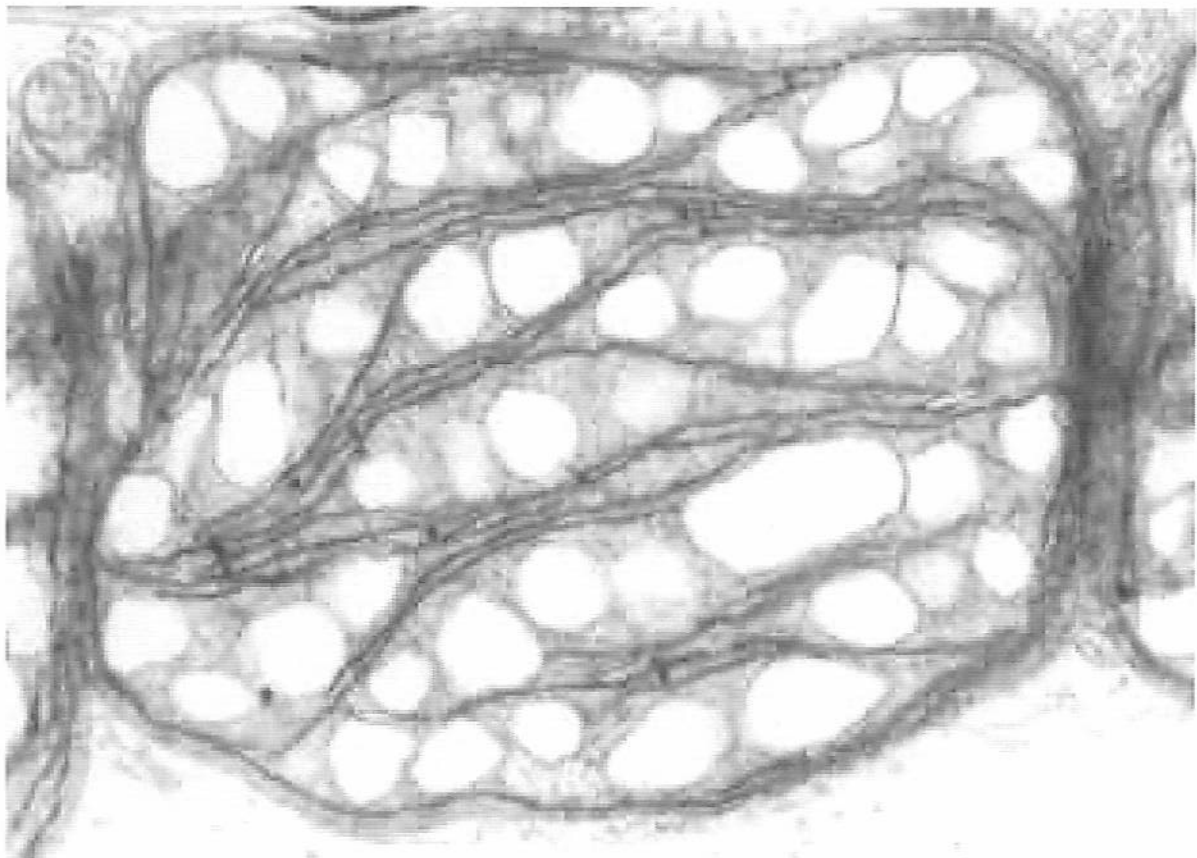
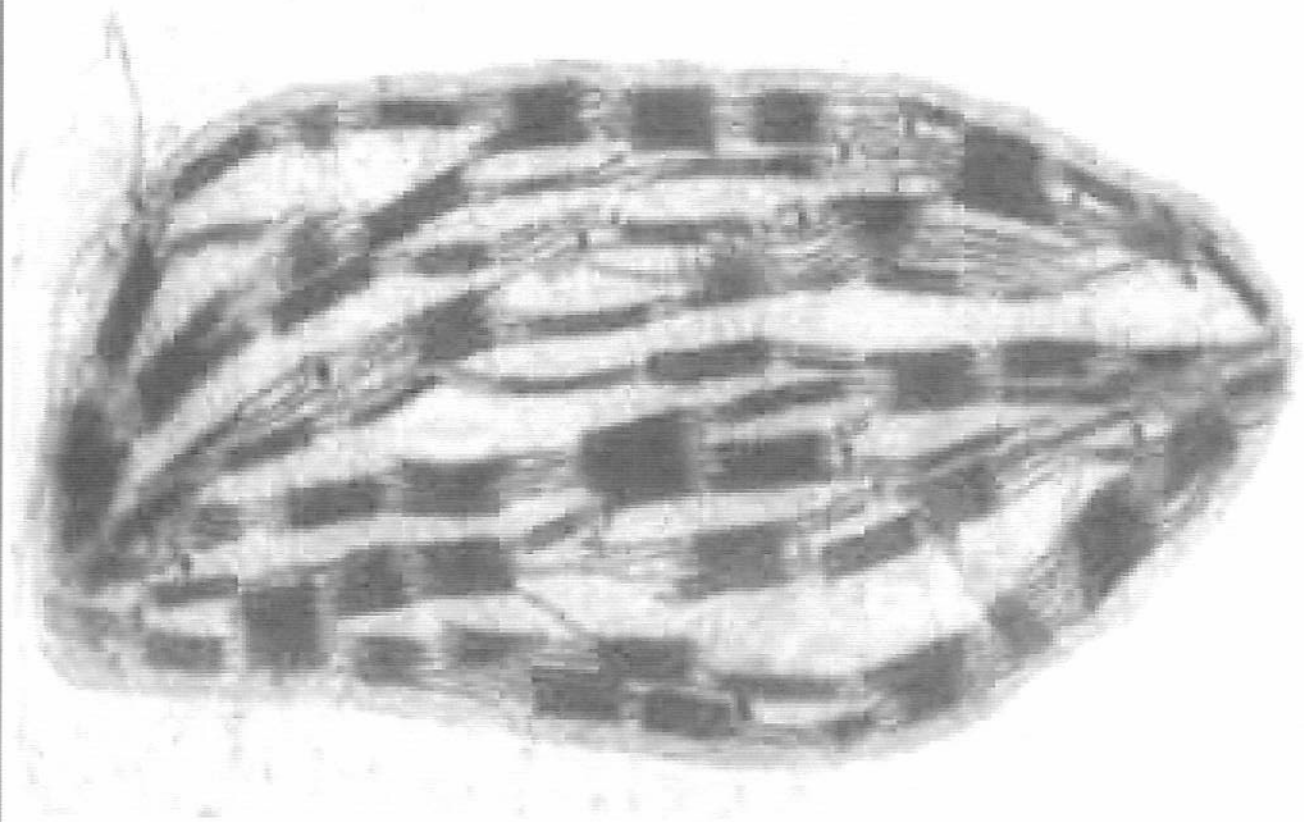


La voie métabolique est décalquée du métabolisme C4.

Chez les Crassulacées, la disjonction entre fixation et réduction se fait dans le temps (jour / nuit) et non pas dans l'espace.

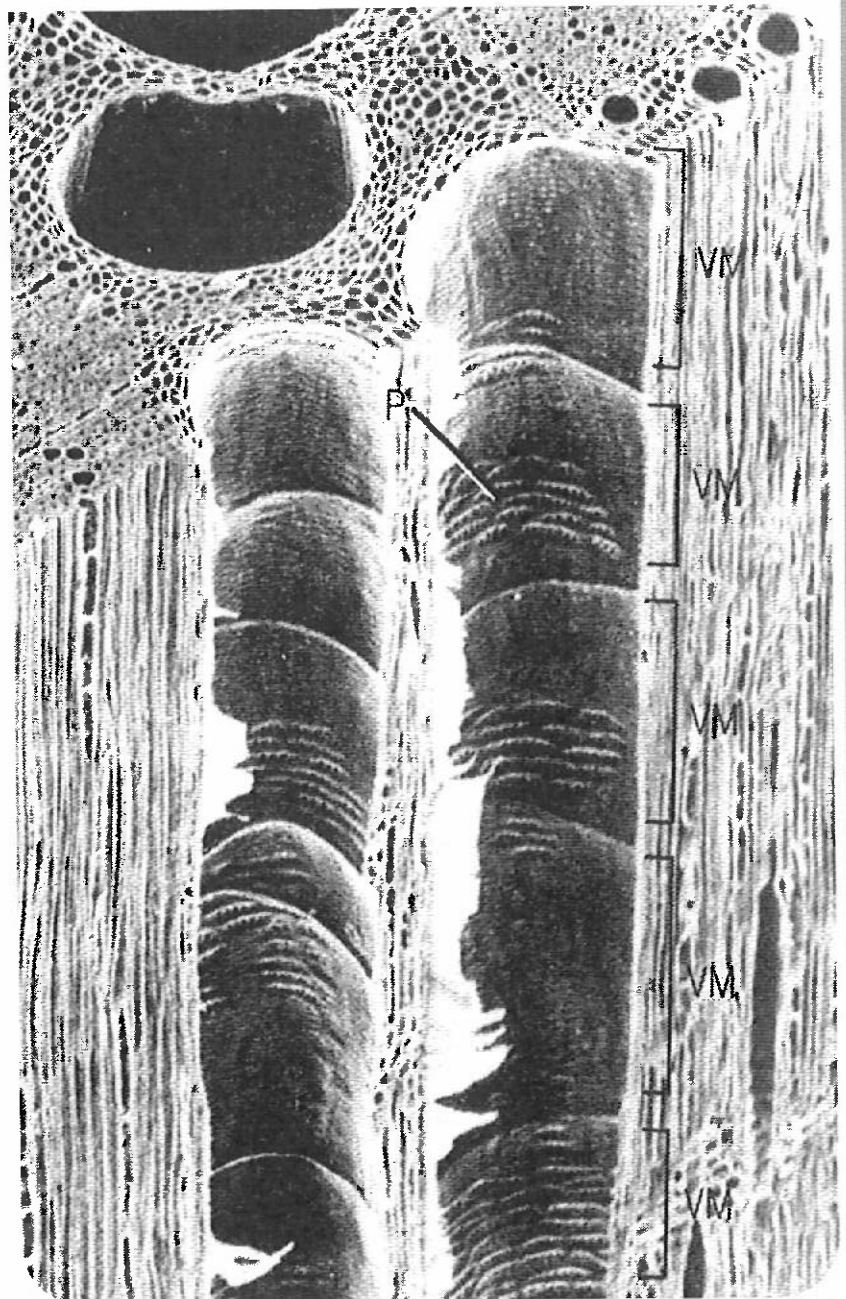
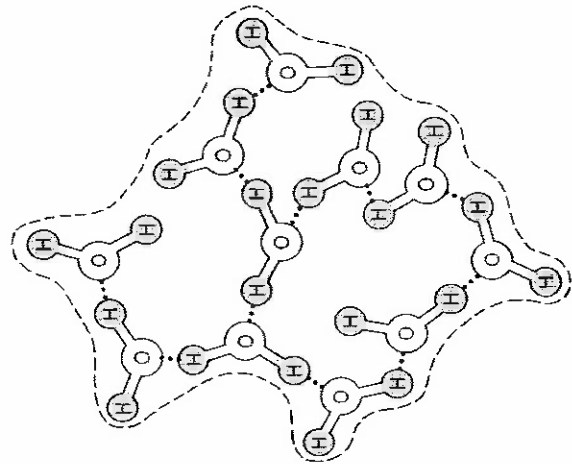
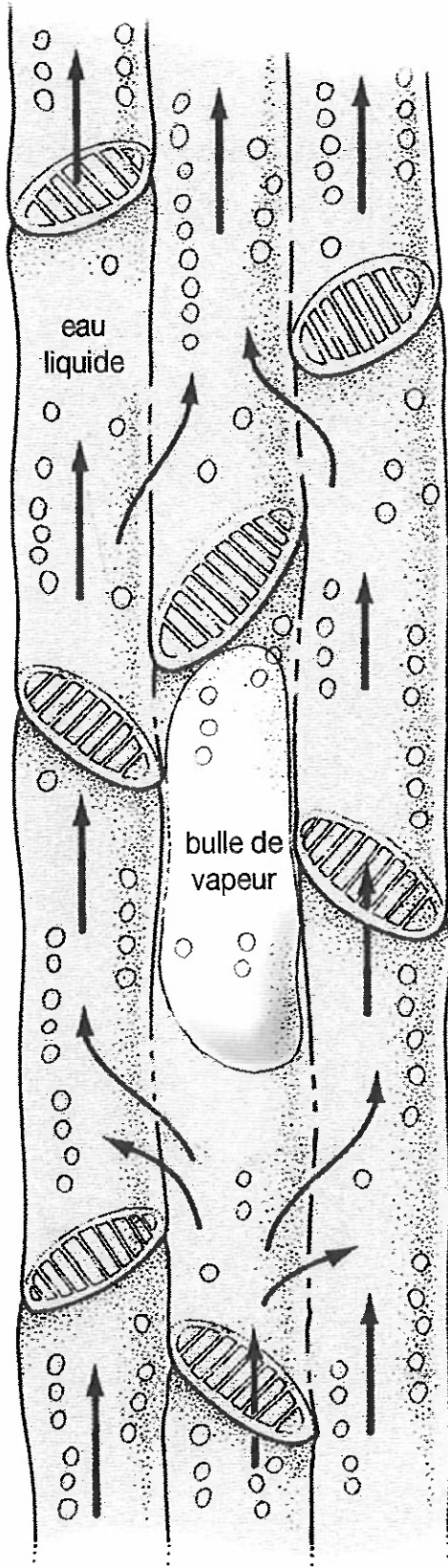
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (39)

Chloroplastes de la feuille de Maïs



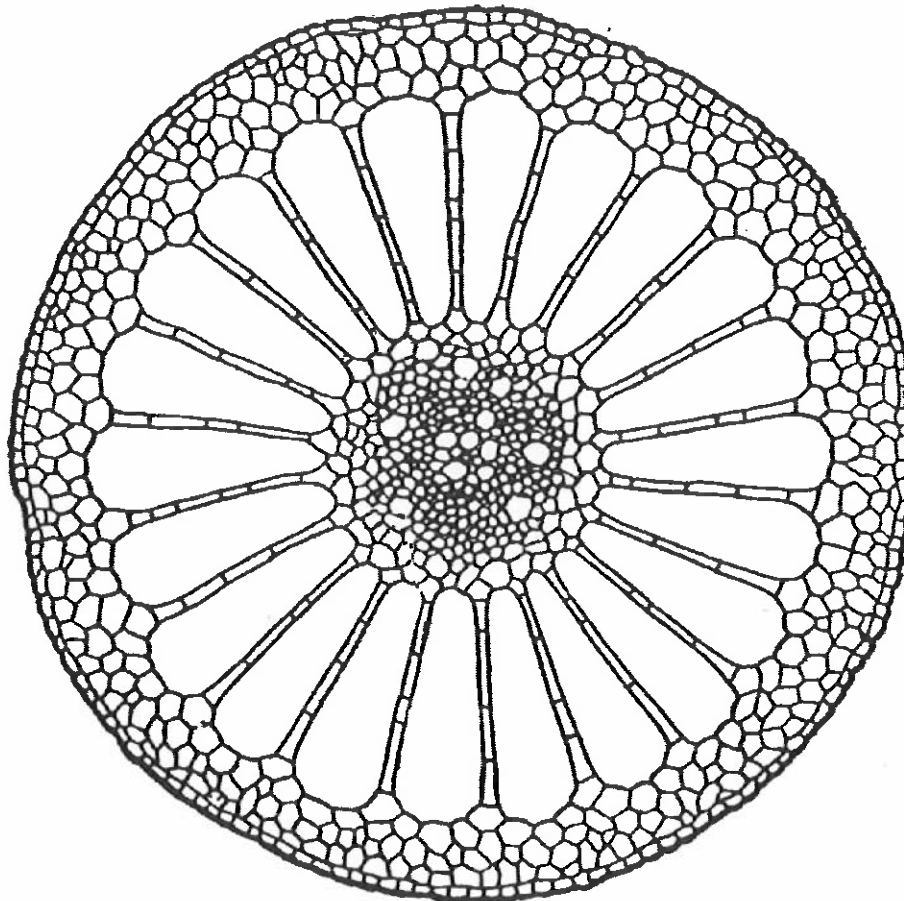
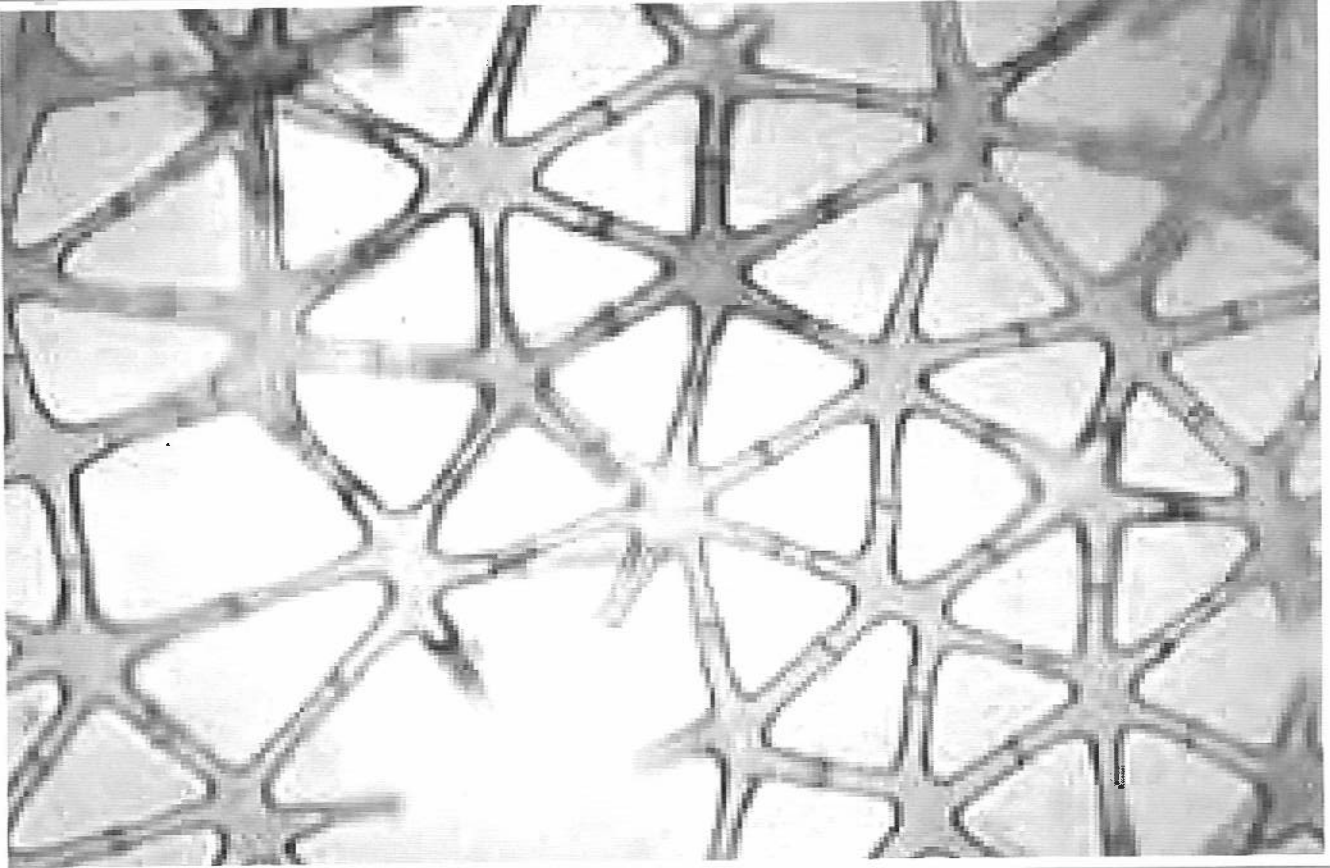
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (40)

Quand le xylème coince la bulle



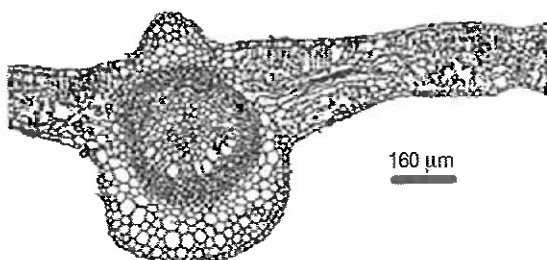
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (41)

Parenchymes aérifères

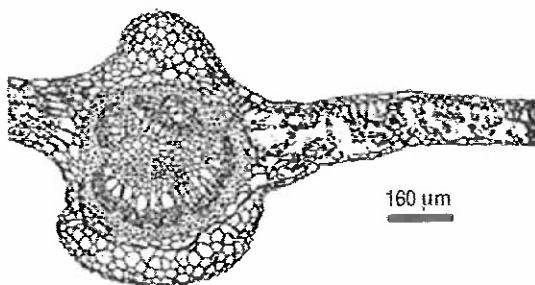
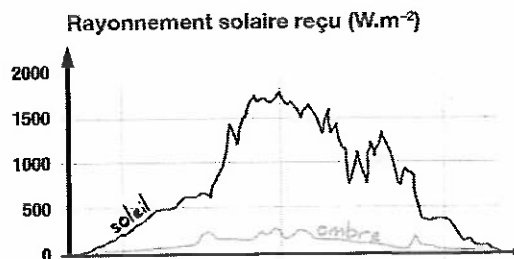


LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (42)

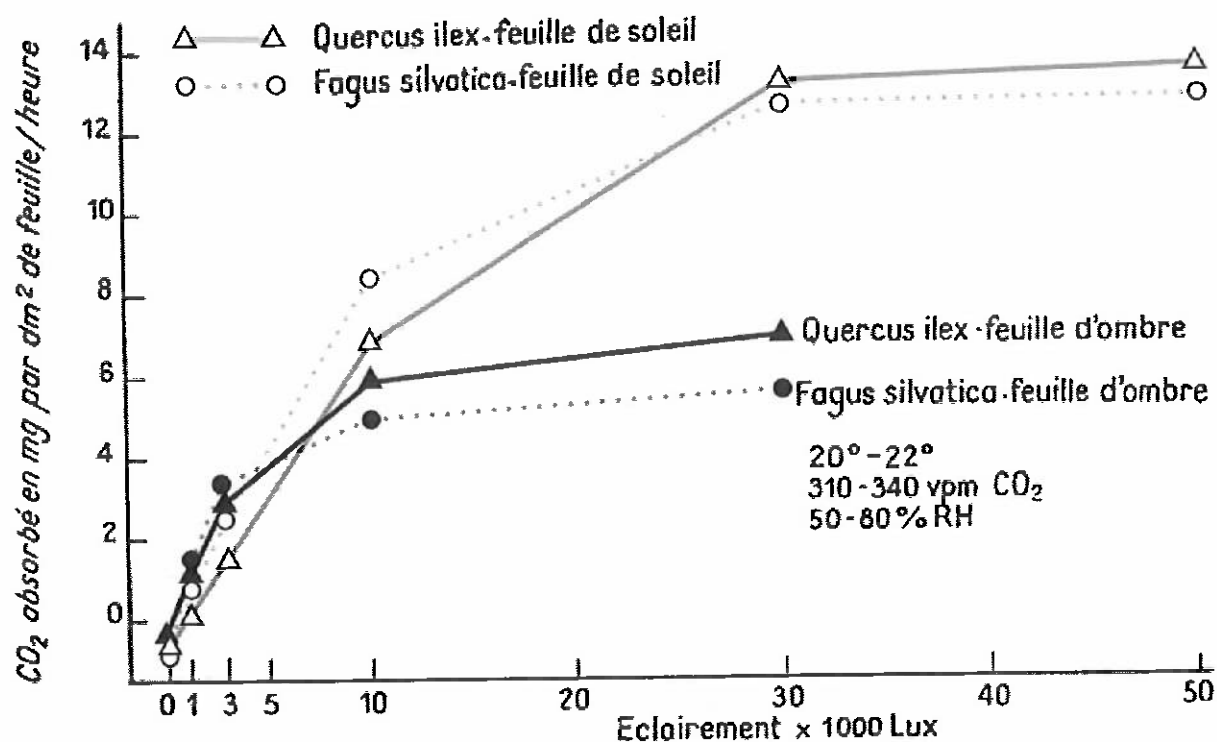
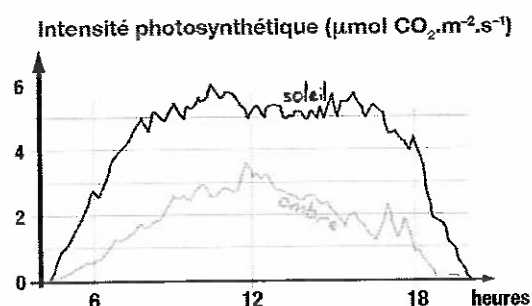
Feuilles d'ombre et de lumière



Coupe transversale d'une feuille de Hêtre exposée au soleil.
Surface foliaire moyenne = 28,8 cm²
Concentration chlorophylle : 1,6 mg/feuille

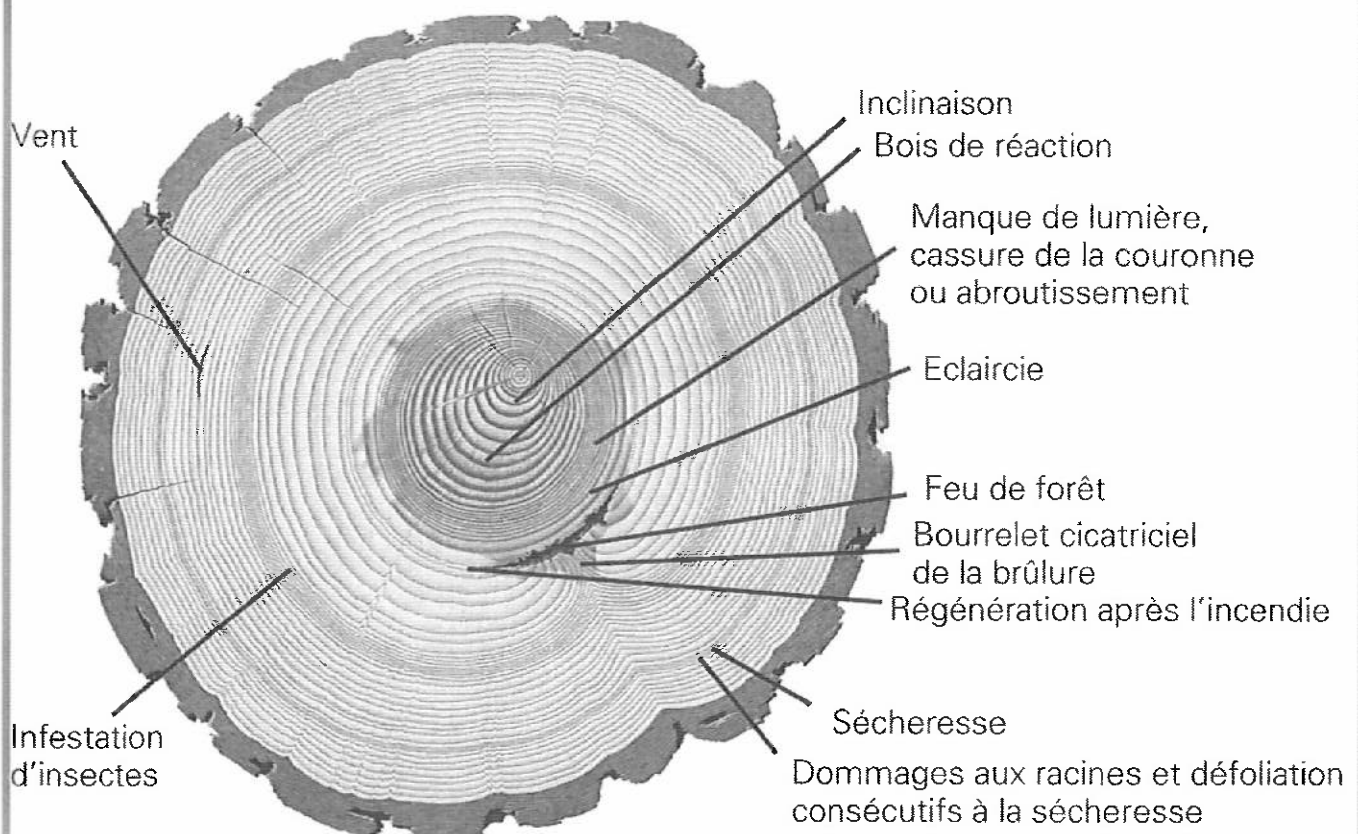
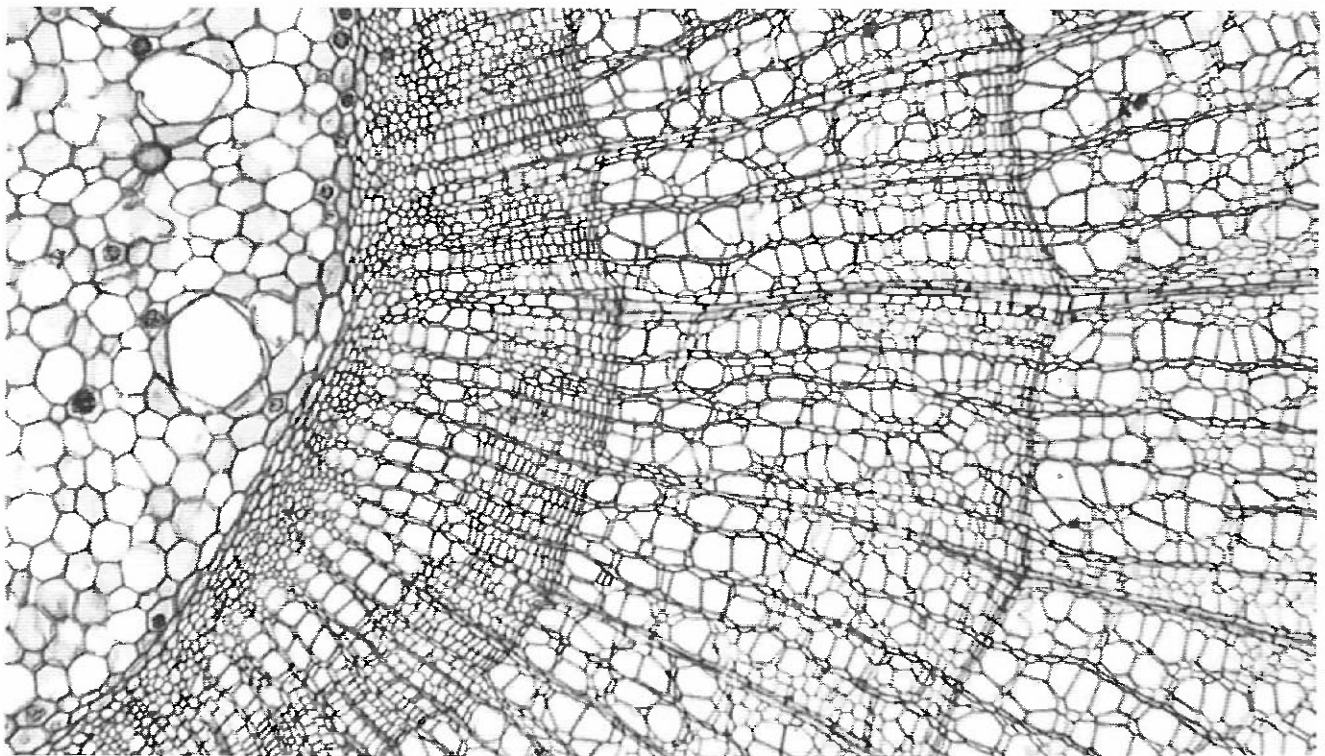


Coupe transversale d'une feuille de Hêtre située à l'ombre
Surface foliaire moyenne = 48,9 cm²
Concentration chlorophylle : 1,9 mg/feuille



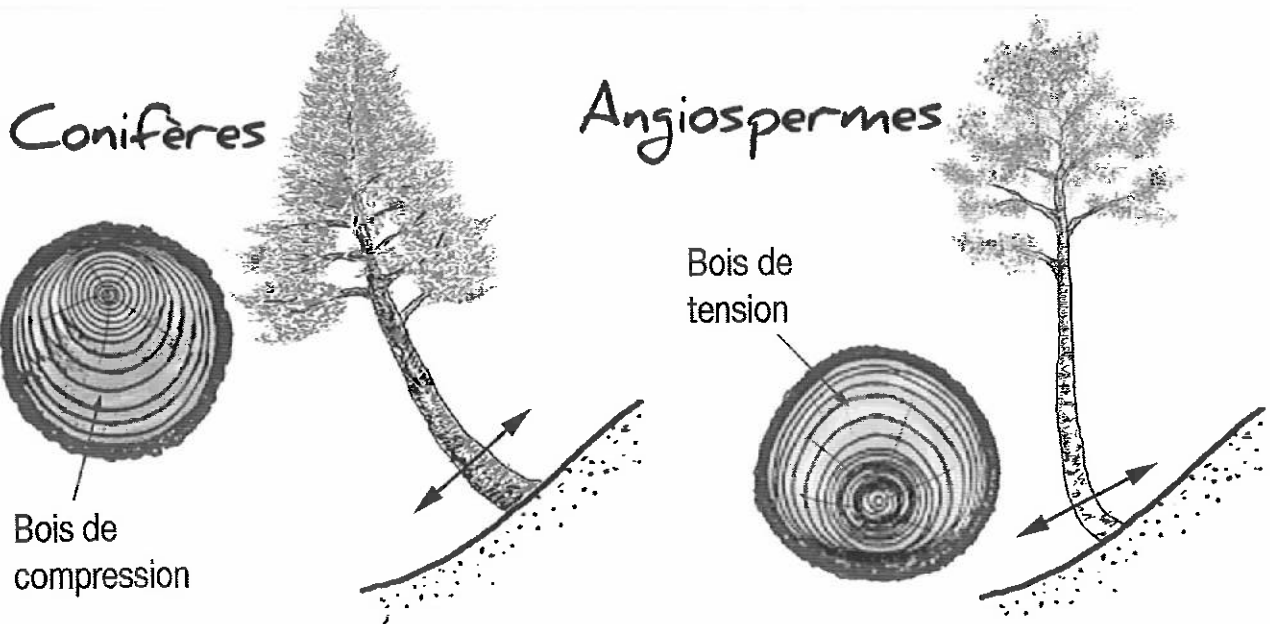
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (43)

Bois de printemps - bois d'été



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (44)

Bois de réaction



La croissance en épaisseur est également un moyen de «bouger» pour les arbres. Les mouvements de redressement lors de la croissance font apparaître des tensions et des compressions dans le bois.

L'arbre compense ces contraintes en développant un «bois de réaction».

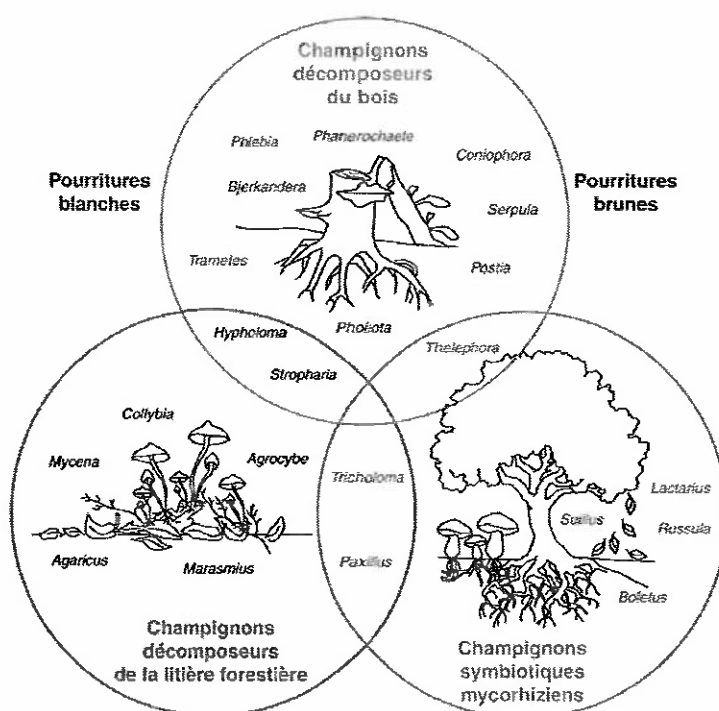
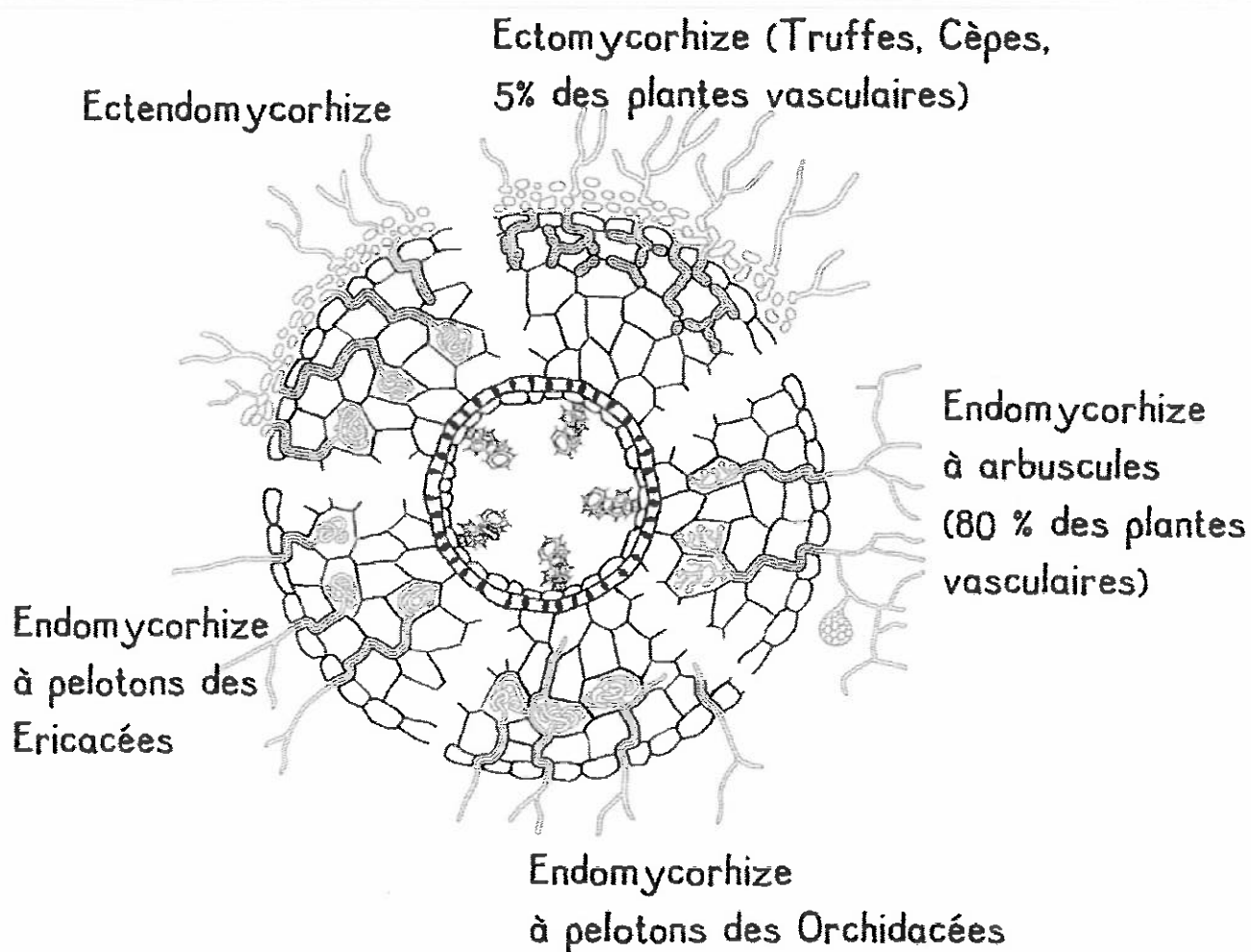
- Chez les Conifères : la réaction se fait par un bois de compression, situé à l'extrados de la courbure du tronc, il supporte le poids de l'arbre et se trouve donc comprimé.
- Chez les Angiospermes : la réaction se fait par un bois de tension, situé à l'intrados de la courbure du tronc ; il retient le poids de l'arbre et se trouve donc sous tension.



Les Conifères font donc confiance à la lignine, les Angiospermes font confiance à la cellulose...

LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (45)

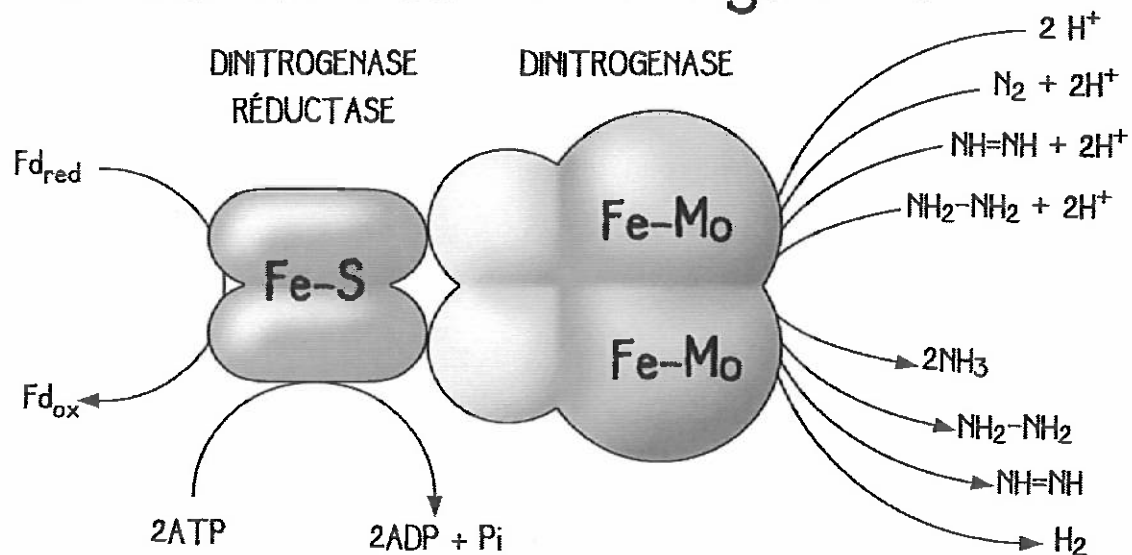
Mycorhizes



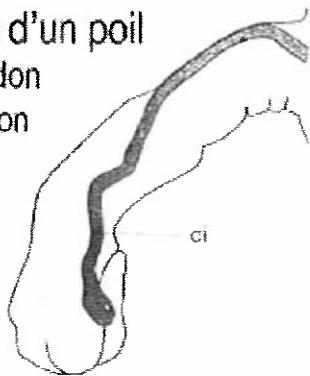
LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (46)

Fabacées et symbiose fixatrice d'azote (1)

Fonctionnement de la Nitrogénase

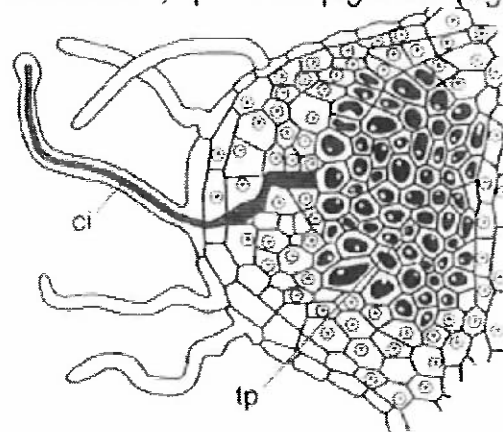


Coupe d'un poil
ci = cordon
d'infection

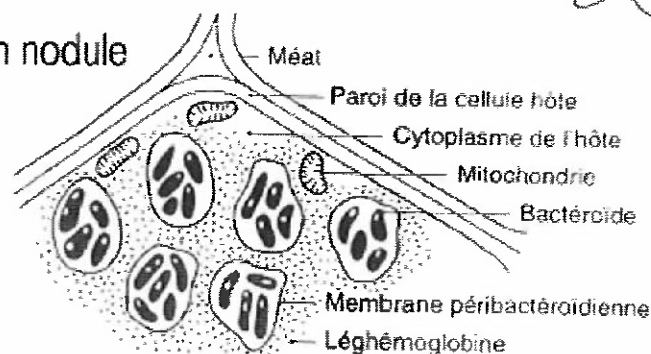


Coupe d'un nodule

ci = cordon d'infection ; tp = tissu pigmenté (leg-Hb)



Cytologie d'un nodule



LE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES - (47)

Fabacées et symbiose fixatrice d'azote (2)

LE BACTÉROÏDE DANS LA CELLULE RACINAIRE

