

# CHAPITRE 6 : COOPÉRATION ET SYMBIOSE



« RIEN N'EST OBLIGATOIRE ! »







# ATTENTION AU VOCABULAIRE !!

- LE SENS LARGE DU MOT SYMBIOSE (ANGLO SAXON) VS  
LE SENS STRICT (FRANÇAIS)



- PAS DE RACINE, PAS DE FEUILLE => **THALLE**

- ASSOCIATION CHAMPIGNON / ALGUE : 85 %

LES CELLULES ALGALES SONT APPELÉES **GONIDIES**



- ASSOCIATION CHAMPIGNON / CYANOBACTÉRIE : 5%

- ASSOCIATION CHAMPIGNON / CYANOBACTÉRIE / ALGUE : 10%

- AU MOINS UN **PHOTOBIONTE (AUTOTROPHE)** ET UN **MYCOBIONTE (HÉTÉROTROPHE)** (98% ASCOMYCÈTE)

THALLE ENCROÛTANT OU CRUSTACÉ

EX : RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM



## THALLE FOLIACÉ

EX : PARMELIA

EX : PELTIGERA CANINA





## THALLE FRUTICULEUX

EX : USNEA FLORIDA



EX : RAMALINA FRAXINEA



THALLE COMPLEXE

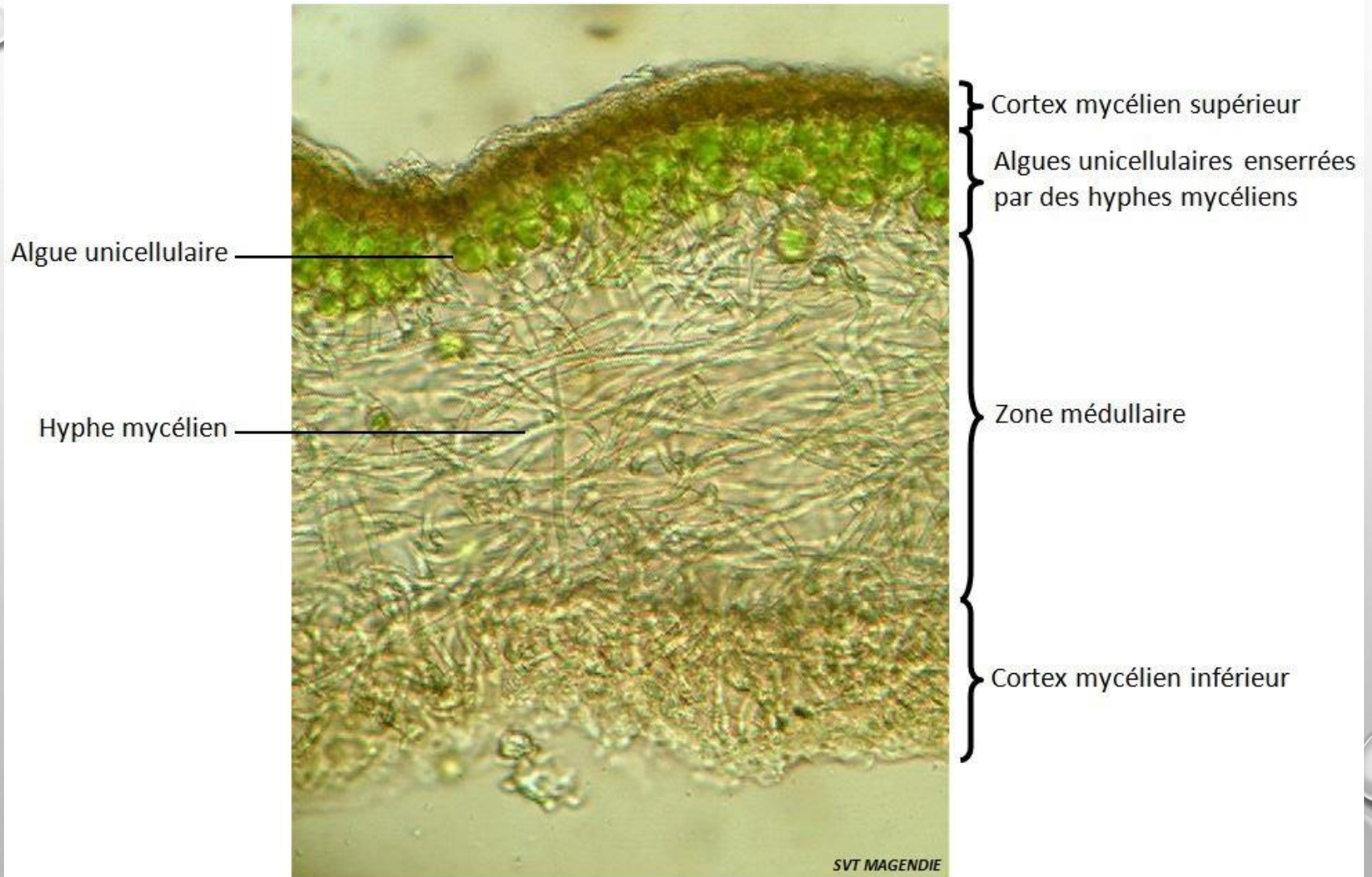
EX : CLADONIA



# THALLE HÉTÉROMÈRE

EX : PARMELIA

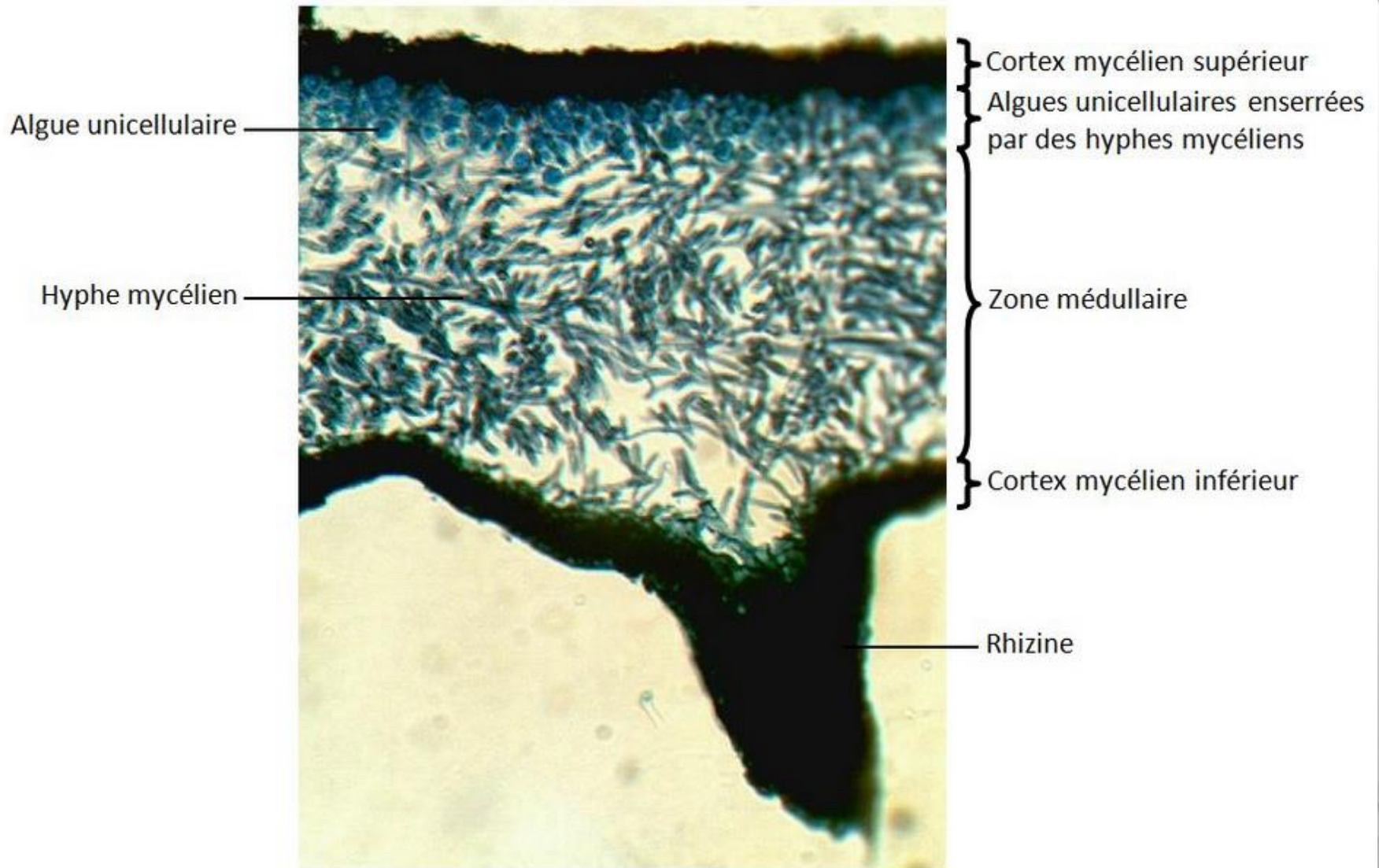
EX USNEA



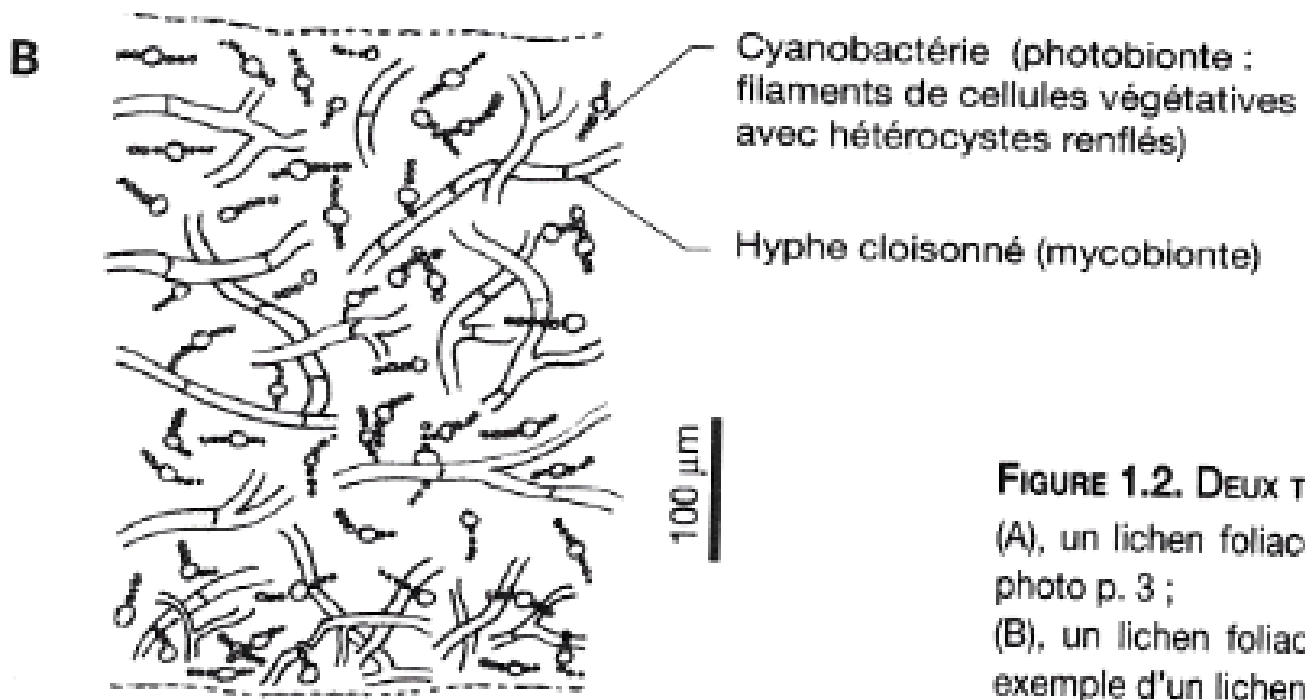
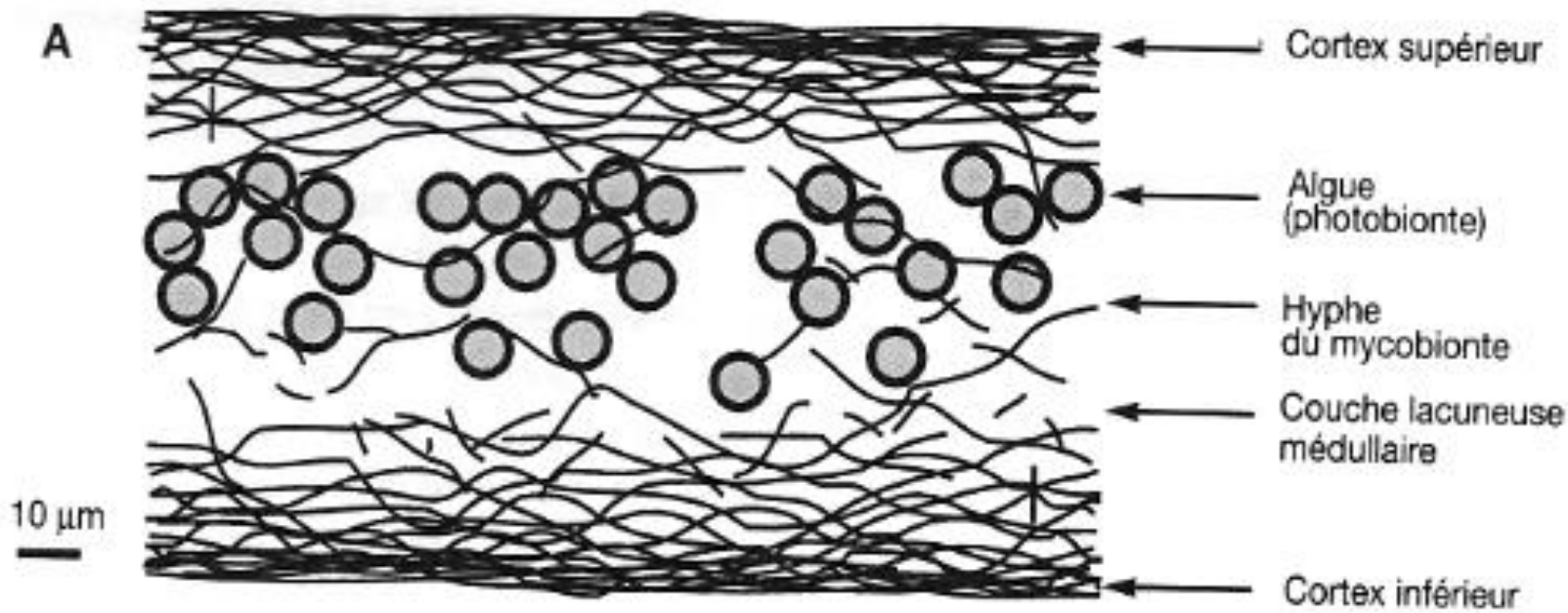
Coupe transversale d'un lichen observé au microscope optique (x400)

# THALLE HOMÉOMÈRE

Ex : collema

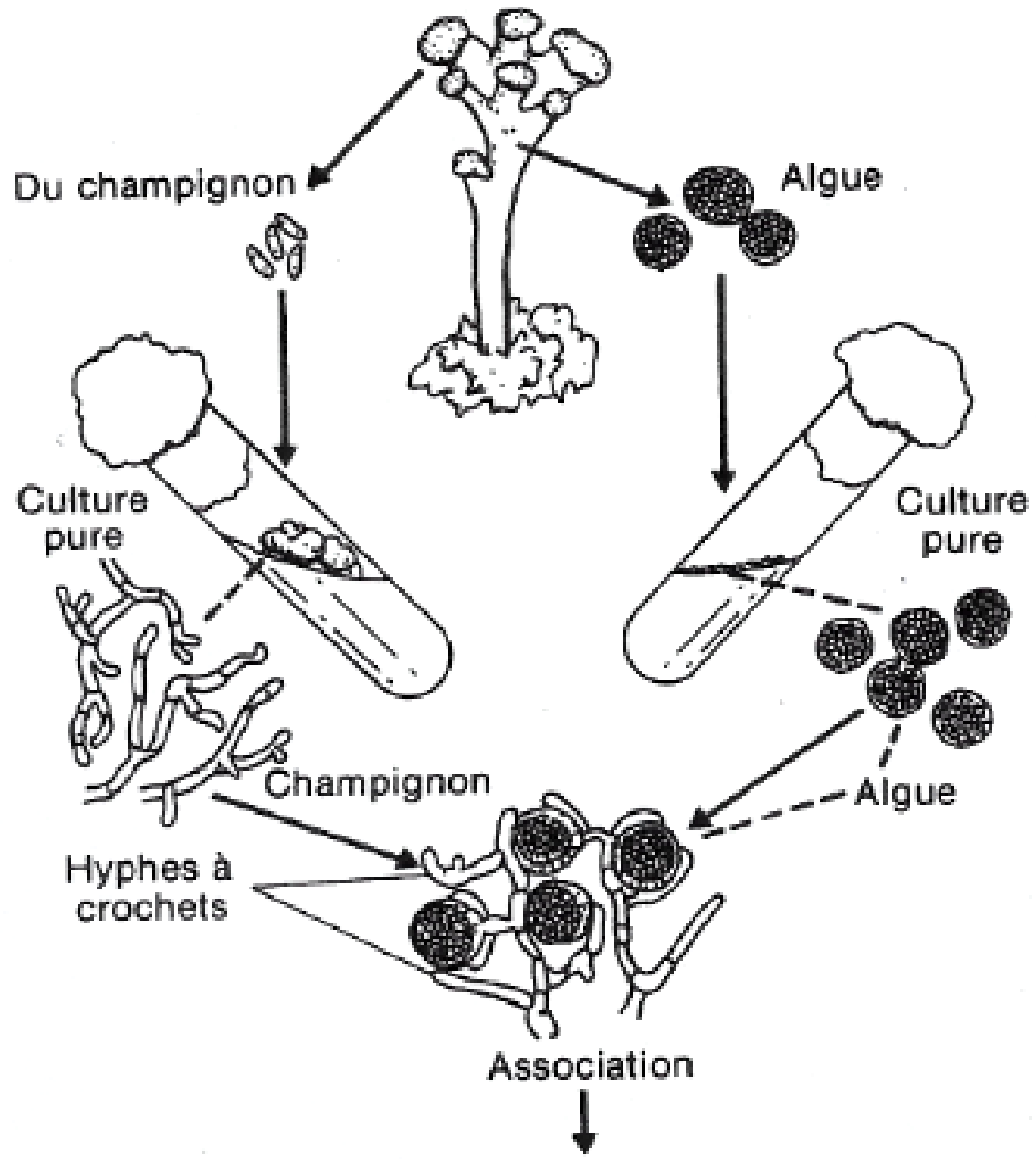


Coupe transversale d'un lichen observé au microscope optique (x400)



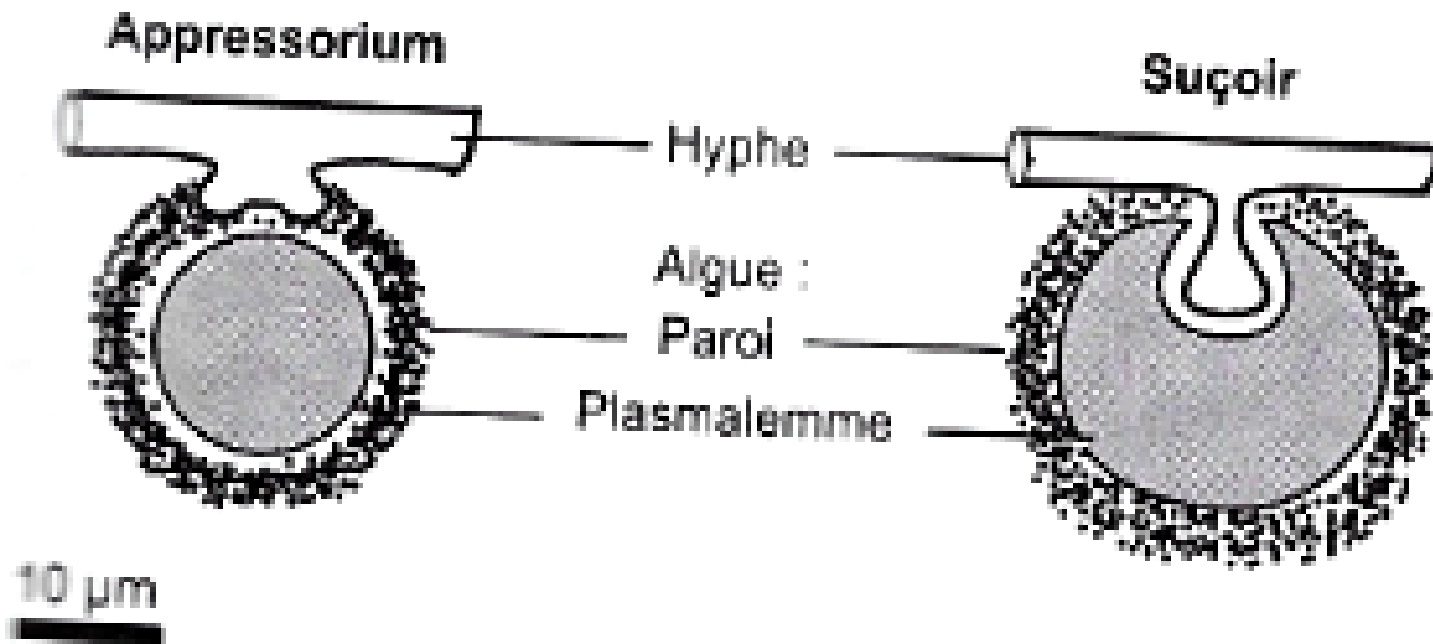
**FIGURE 1.2. DEUX TYPES D'ANATOMIE DE LICHENS :**  
 (A), un lichen foliacé à thalle ordonné (= hétéromère) voir photo p. 3 ;  
 (B), un lichen foliacé à thalle homogène (= homéomère, exemple d'un lichen à cyanobactéries).

# Lichen à maturité



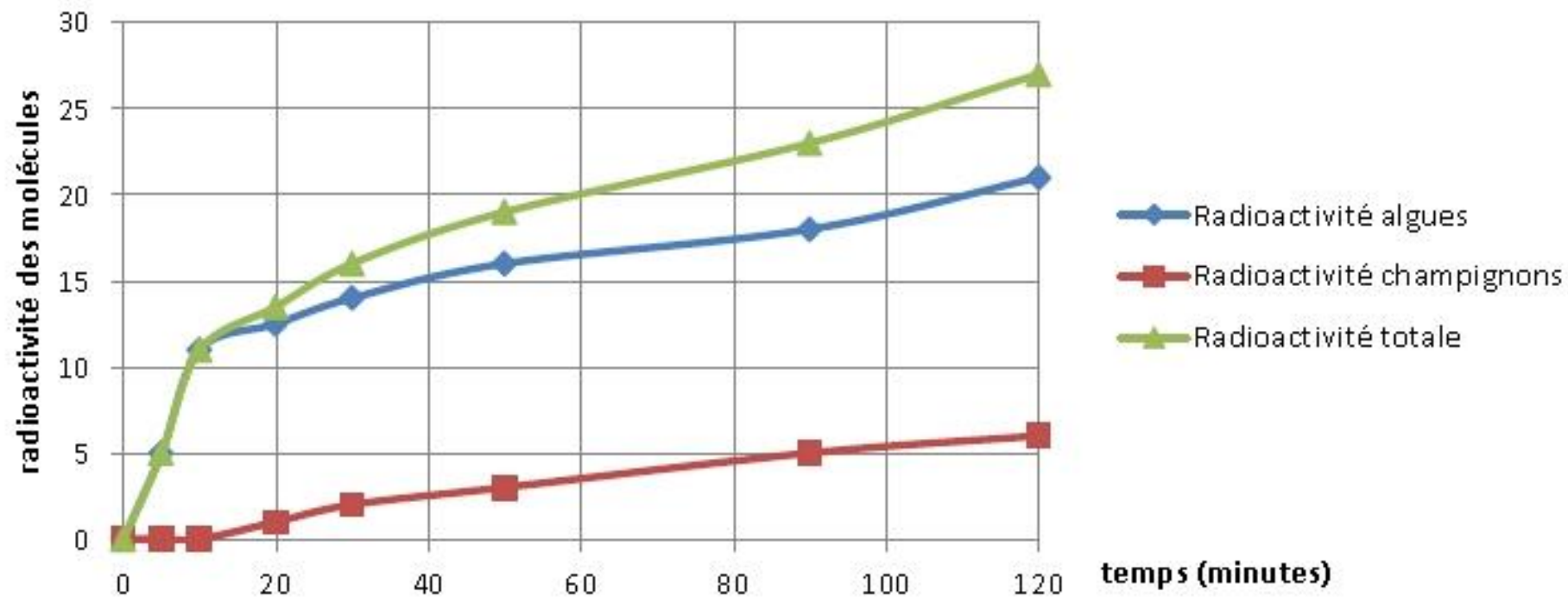
Le lichen se forme dans la nature  
mais rarement en laboratoire

# DIFFÉRENTS CONTACTS POSSIBLES ENTRE MYCOBIONTE ET PHOTOBIONTE



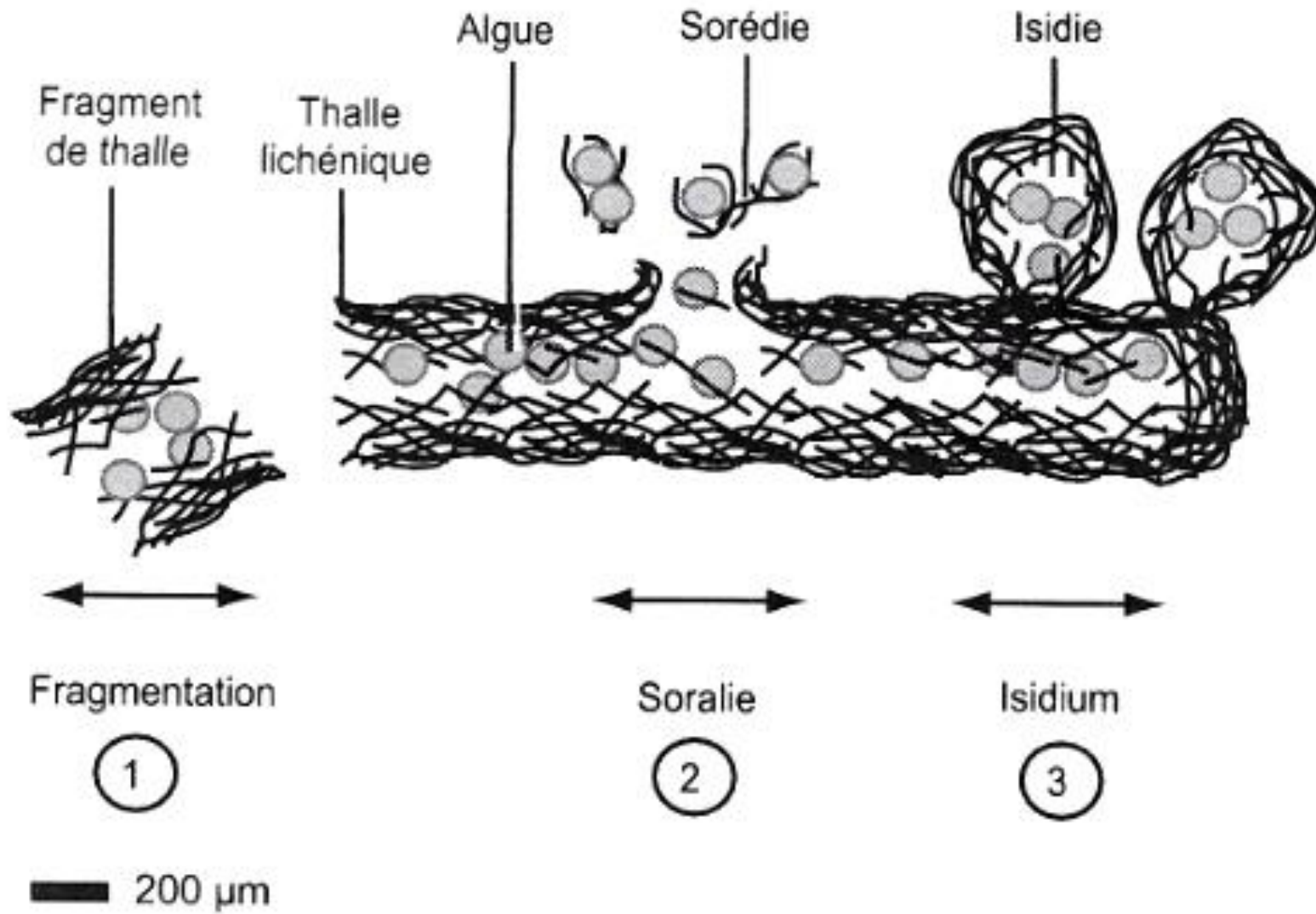
**FIGURE 1.3. DIFFÉRENTS CONTACTS POSSIBLES ENTRE MYCOBIONTE ET PHOTOBIONTE AU SEIN D'UN LICHEN.**

## Evolution de la radioactivité des molécules organiques

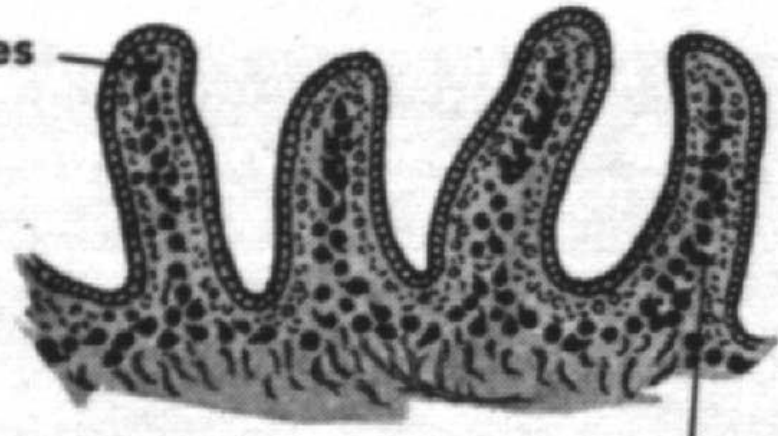




A

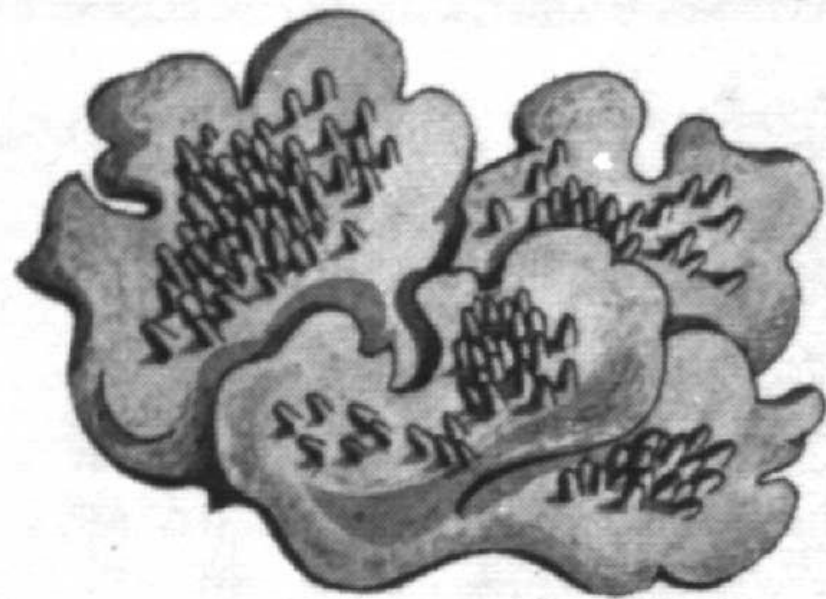


hyphes



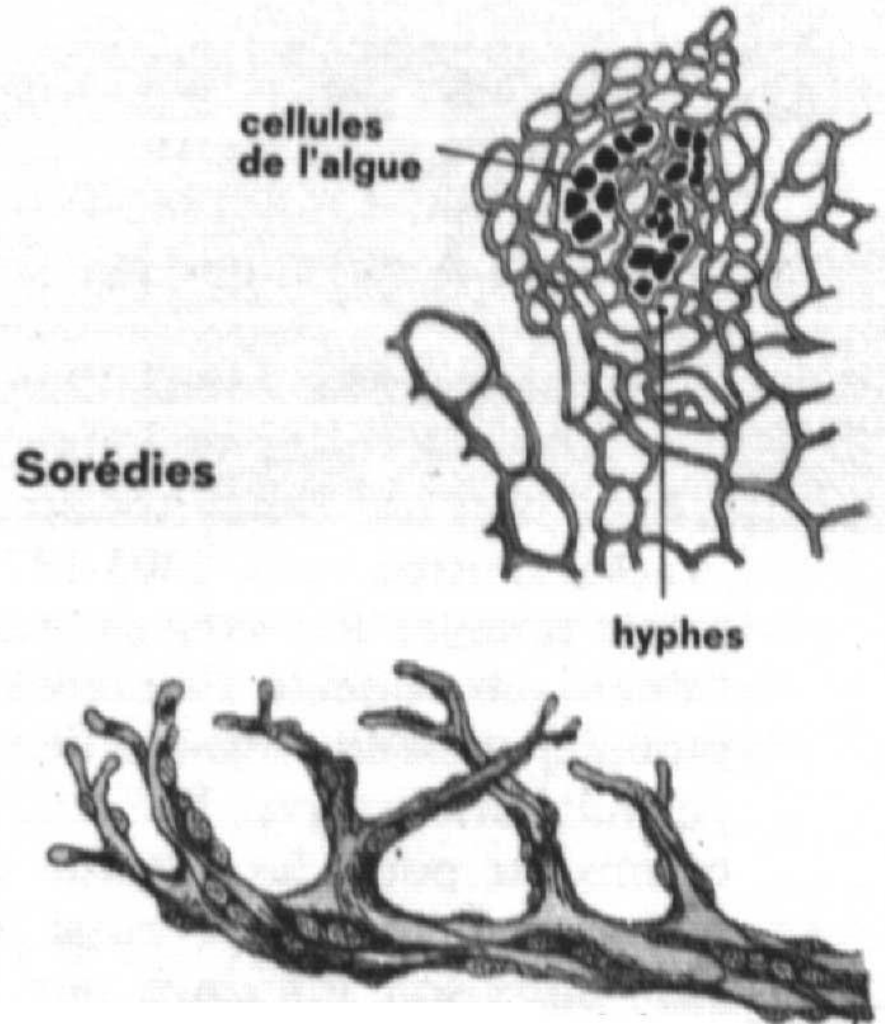
cellules  
de l'algue

Isidies



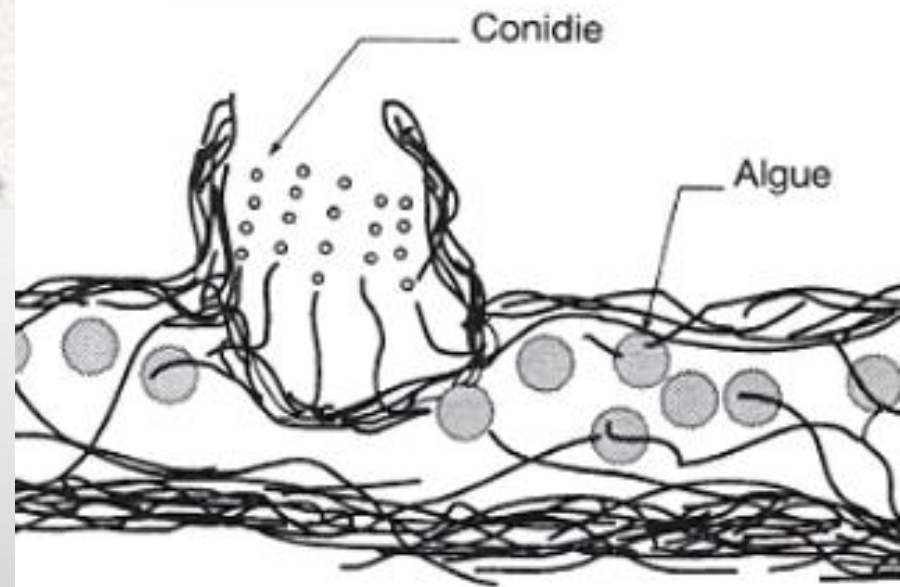


Sorédie

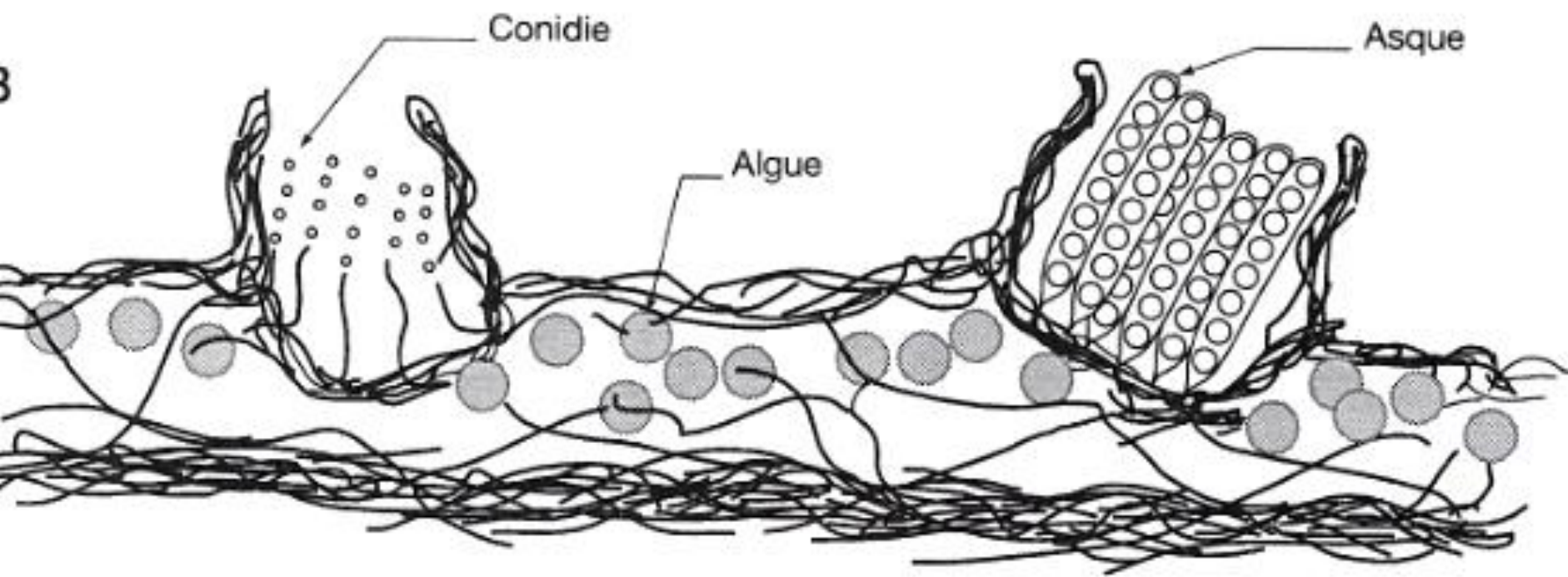




# Pycnide



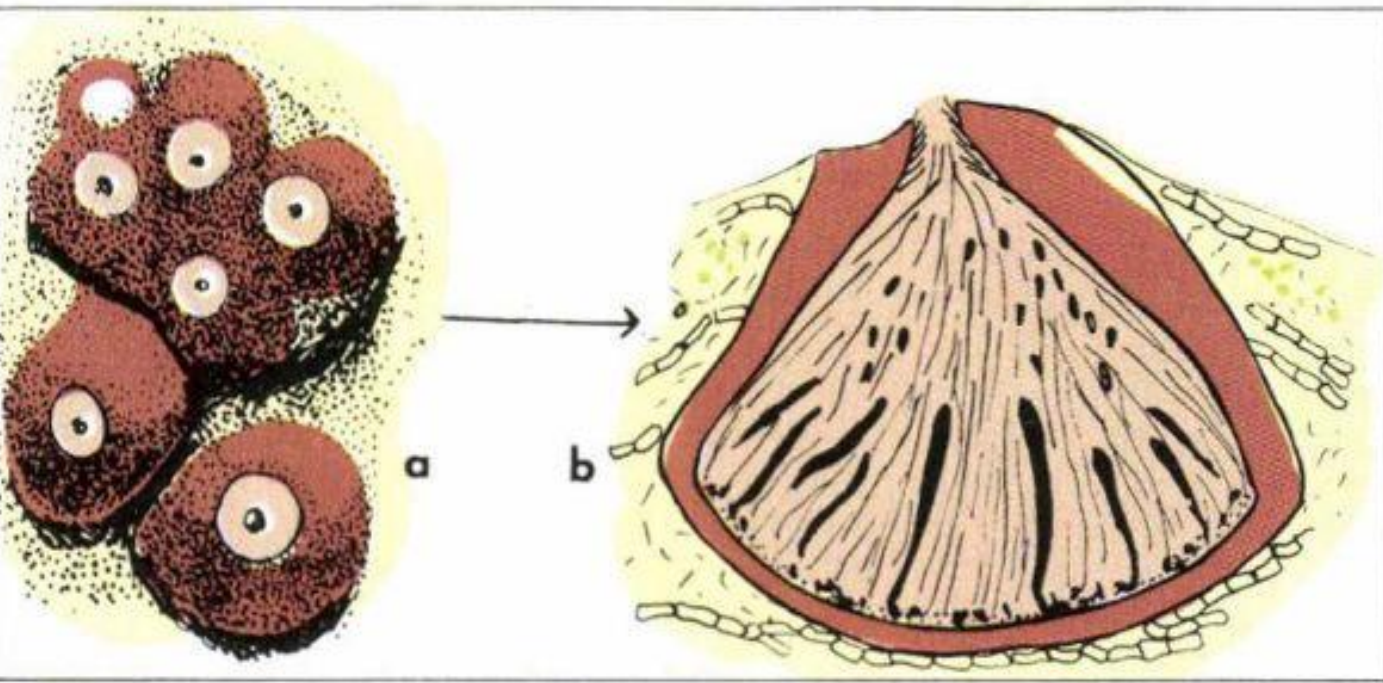
① Pycnide :  
multiplication  
asexuée



① Pycnide :  
multiplication  
asexuée



② Apothécie :  
multiplication  
méiotique



Un Ascolichen  
à périthèces,  
*Pyrenula nitida* :  
a) thalle et  
périthèce;  
b) coupe  
d'un périthèce.



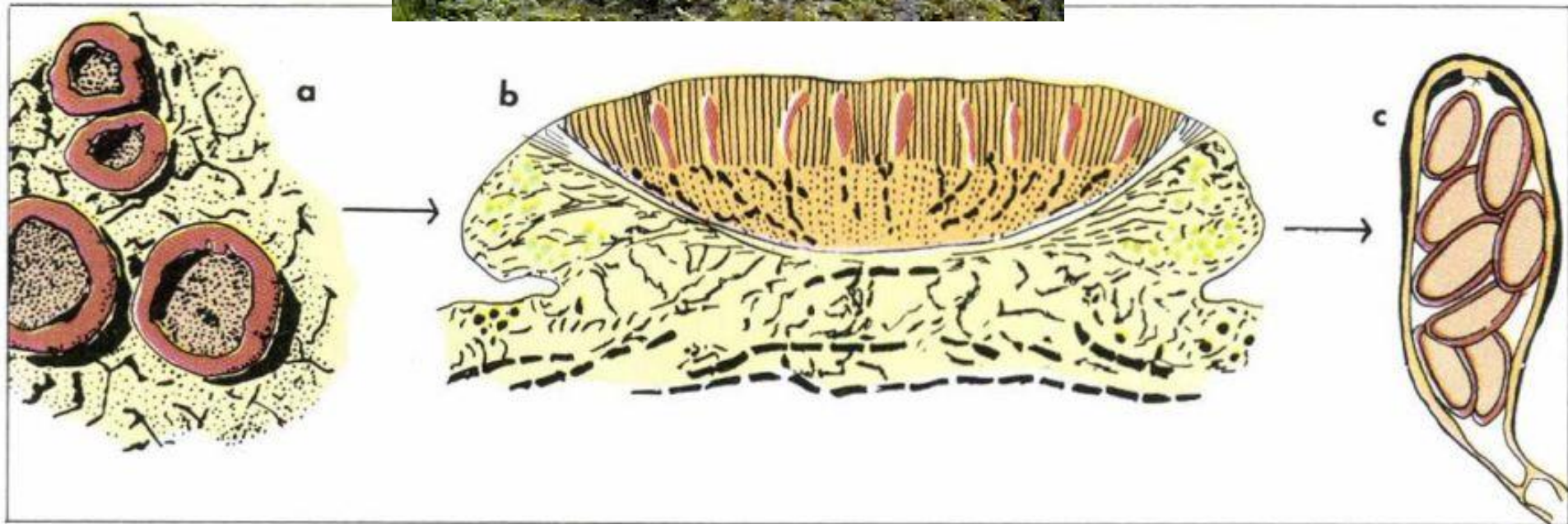




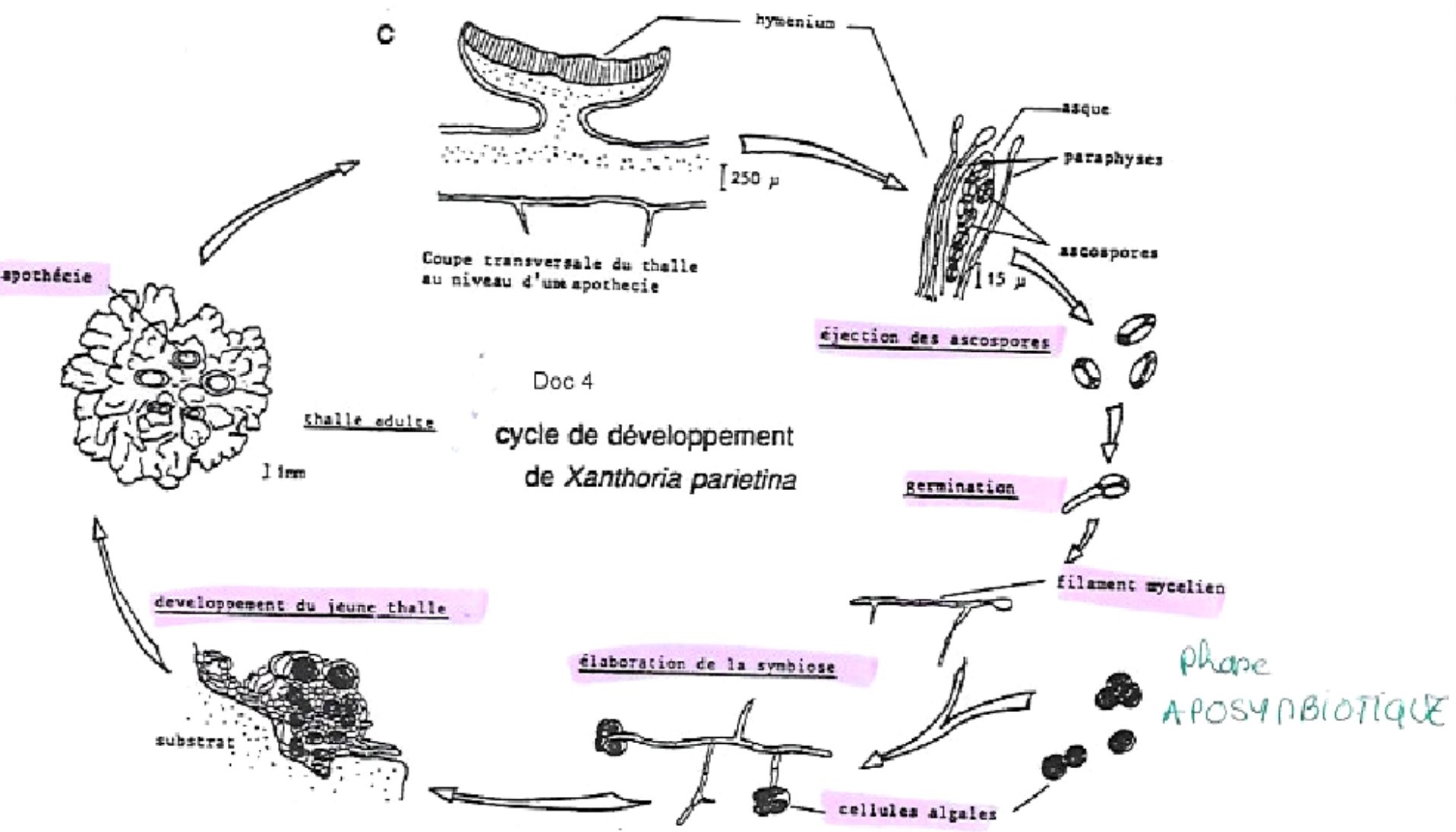
*Phaeophysia orbicularis*  
Apothécie vue en coupe, zoom

20  $\mu\text{m}$



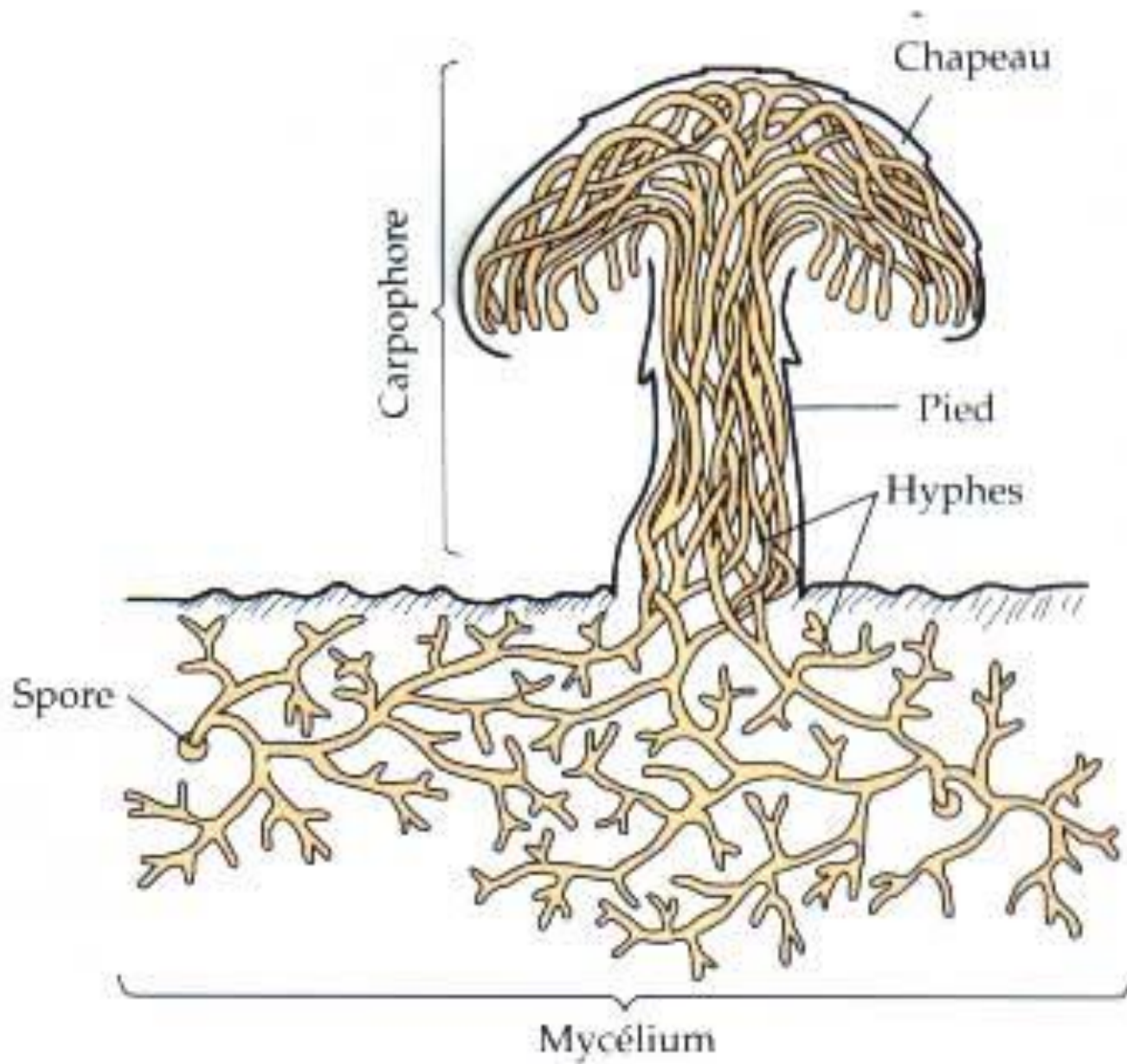


Un Ascolichen à apothécies, *Lecanora chlorotera* : a) thalle et apothécies; b) coupe d'une apothécie; c) asques et ascospores (internes).





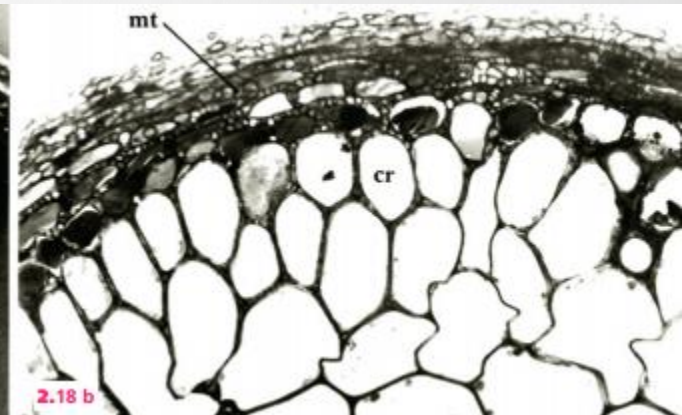




# LES ECTOMYCORHIZES

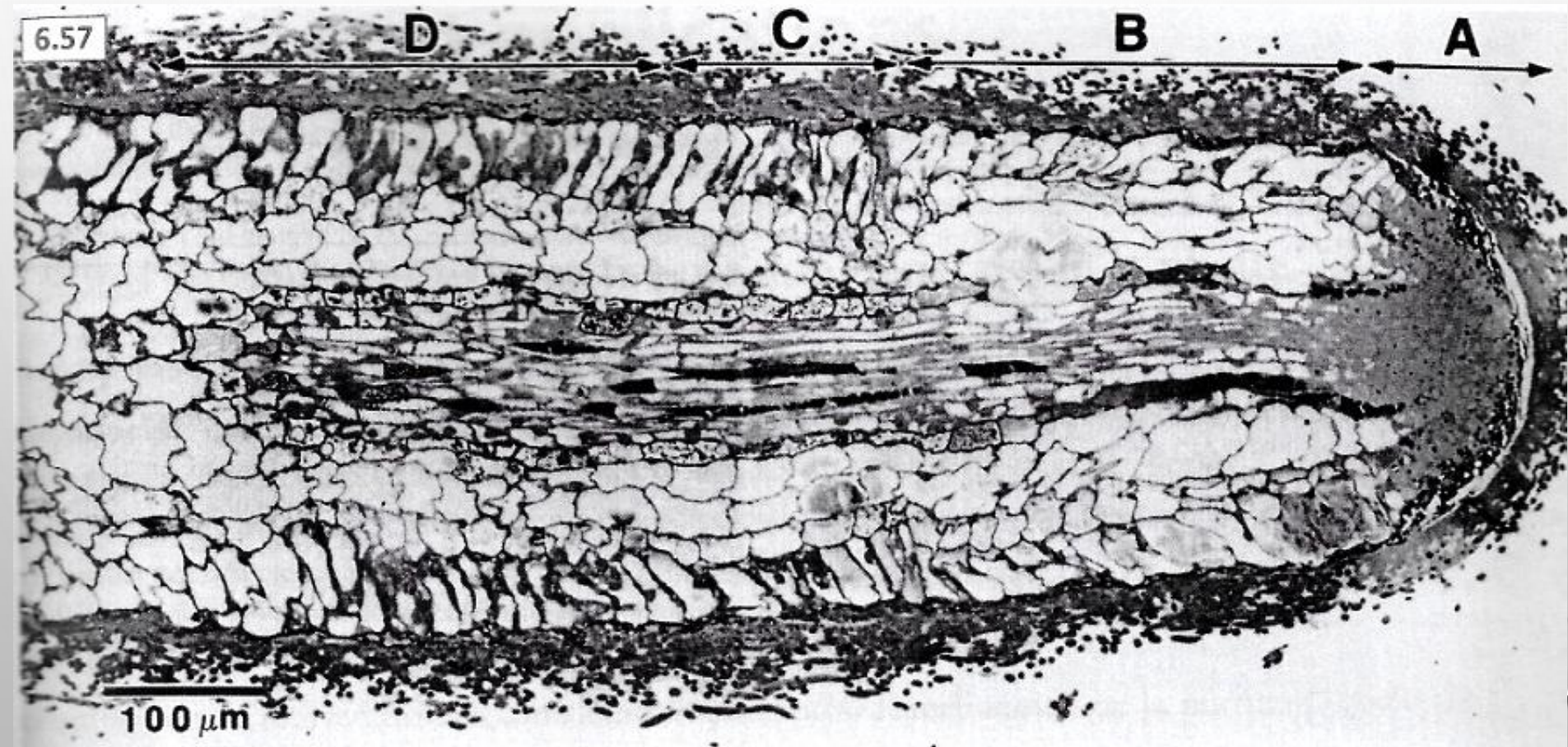


*Leccinum aurantiacum*

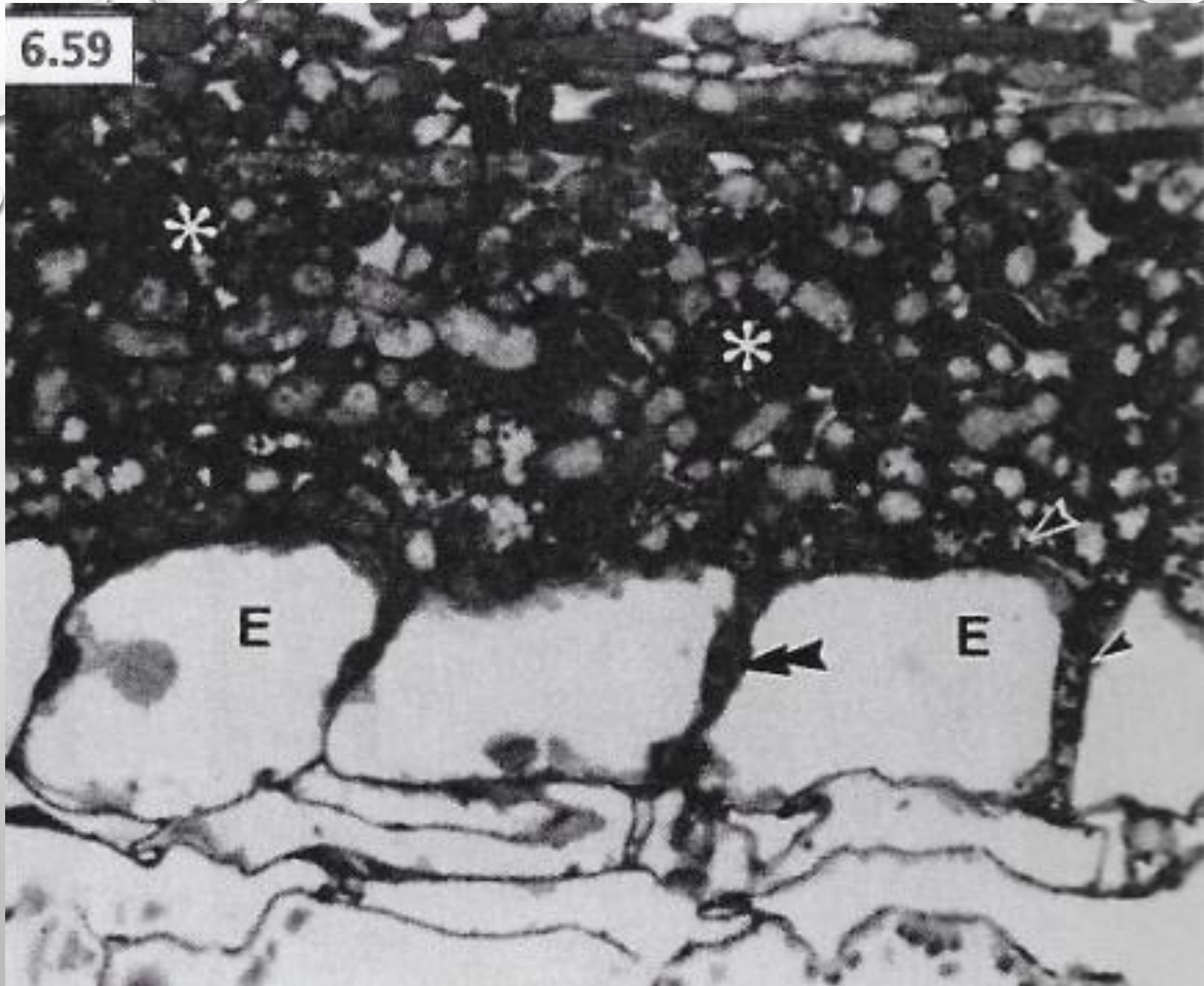


Racine d'orchidée ectomycorhizée

# LE RÉSEAU DE HARTIG



6.59





Racine

Parenchyme cortical

Endoderme

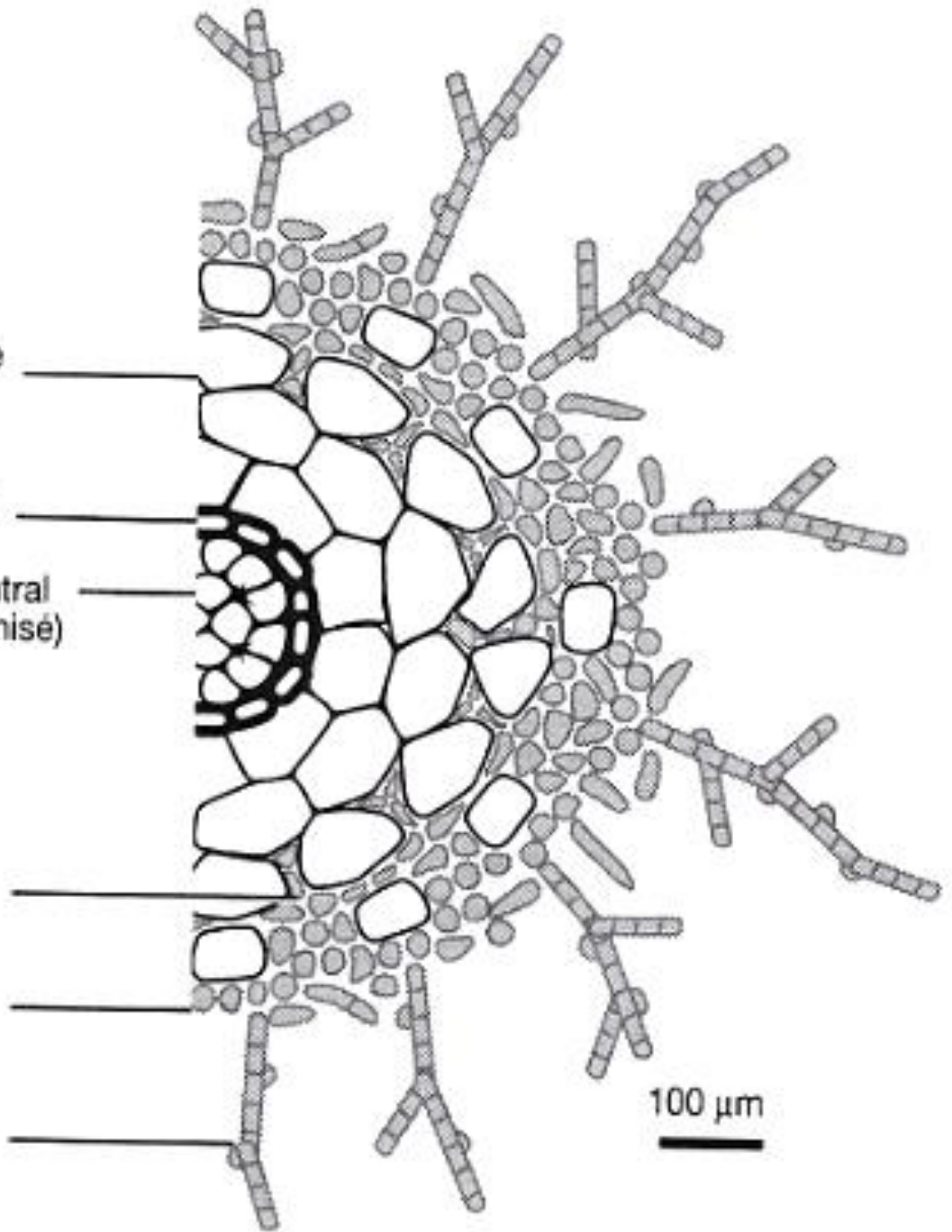
Cylindre central  
(jamais colonisé)

Champignon

Réseau de Hartig

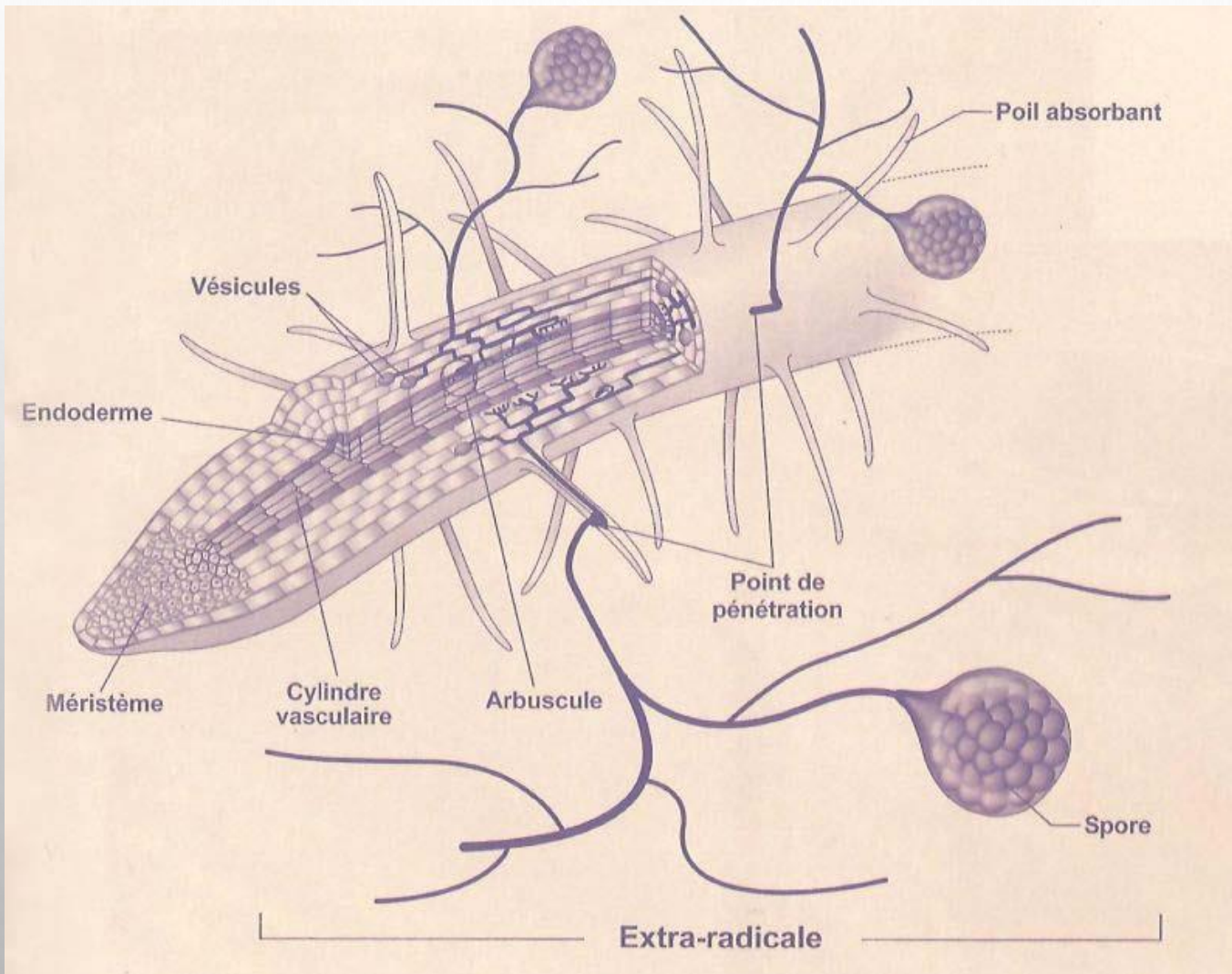
Manteau

Hyphes externes

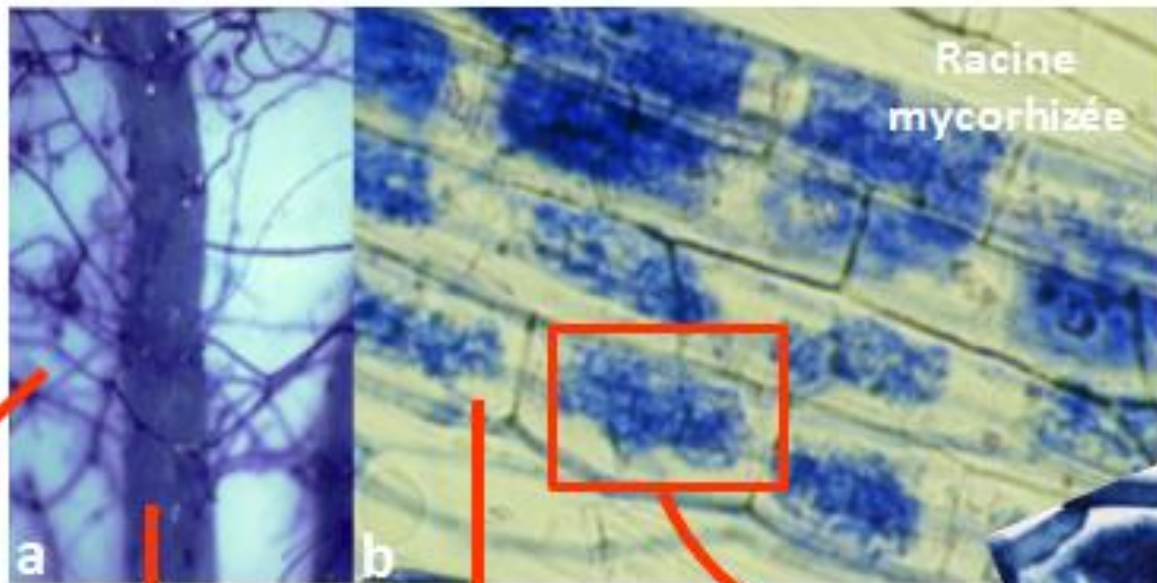


100  $\mu$ m

# LES ENDOMYCORHIZES



# LES ENDOMYCORHIZES À ARBUSCULE



Racine  
mycorhizée

Observation microscopique de racines mycorhizées colorées au bleu trypan:  
(a) Développement fongique extracellulaire (hyphes) et  
(b) Intracellulaire (arbuscules)

Hyphes

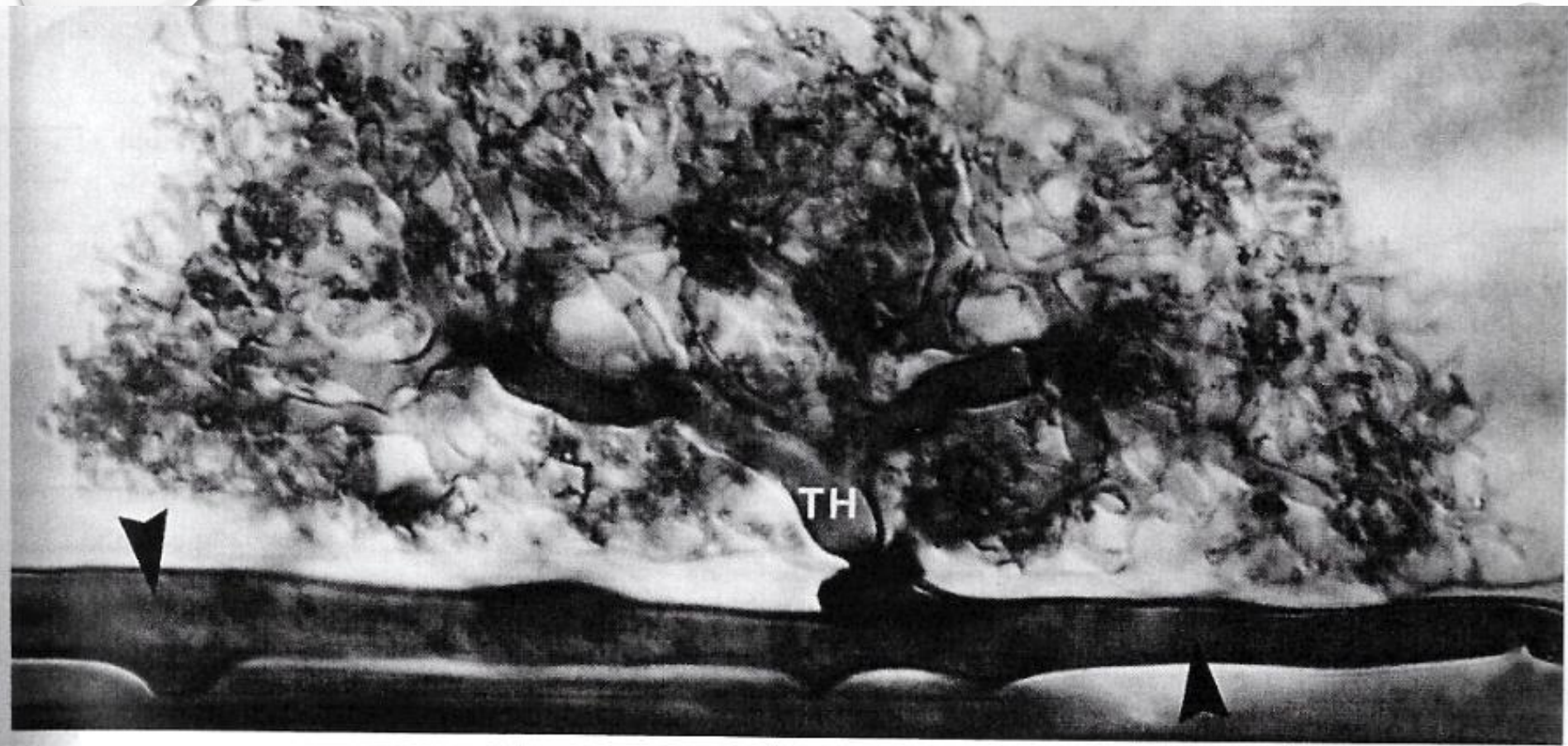
a

b

Racine

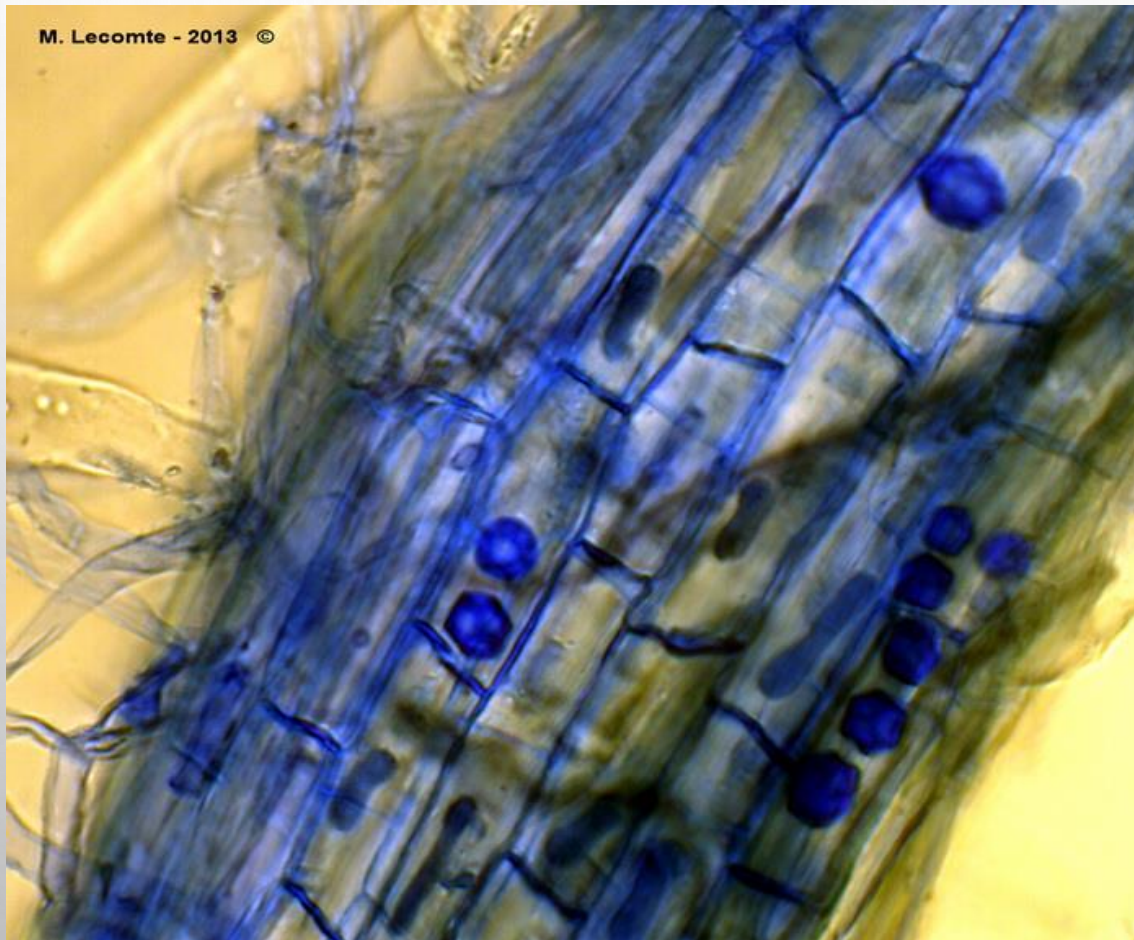
Cellule végétale  
contenant un arbuscule

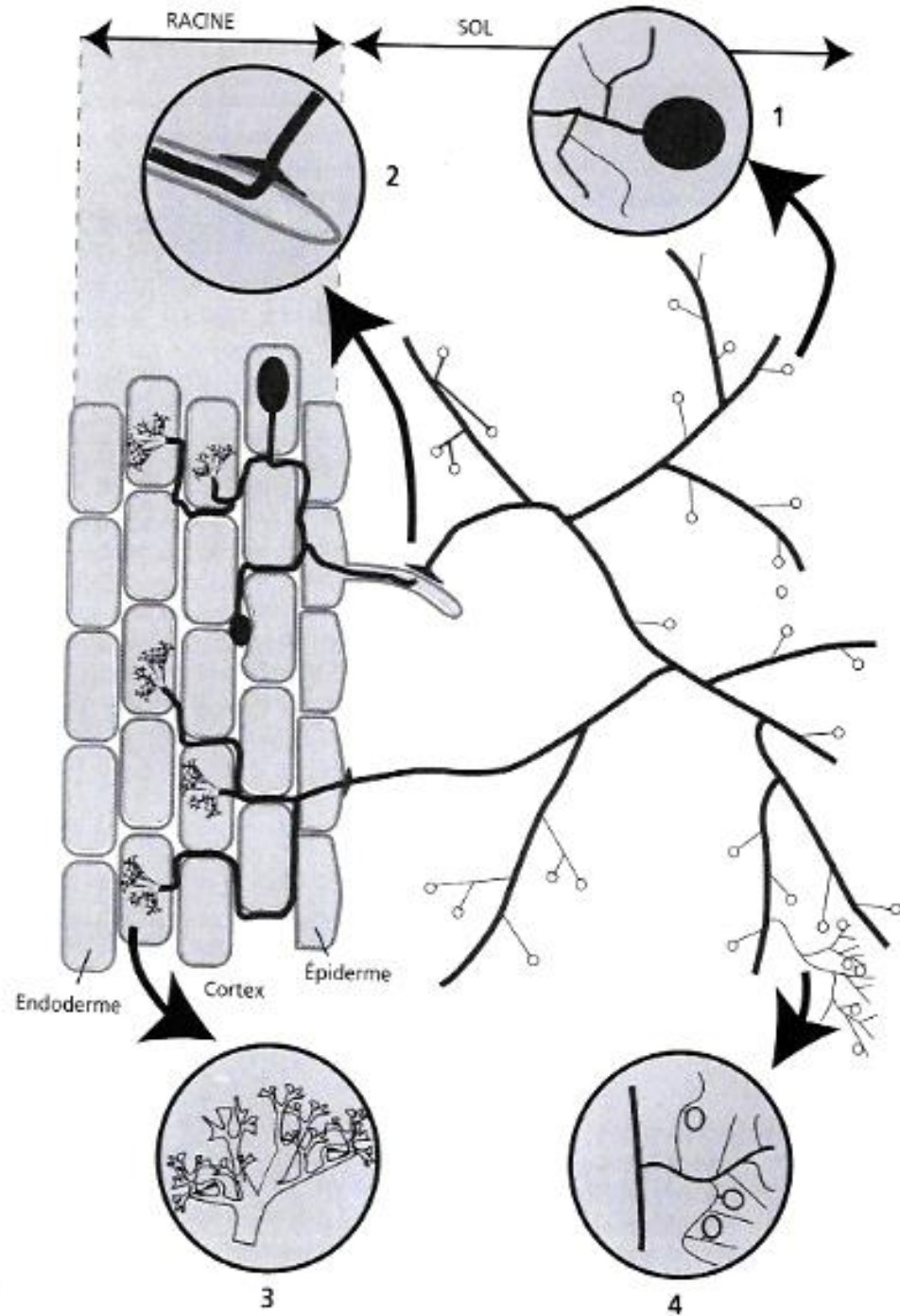
Arbuscule



**6.17** Observation microscopique (contraste interférentiel Nomarski associé à une coloration au Noir de chlorazol E) d'un arbuscule mature de *Glomus mosseae* colonisant une racine de poireau. On note à la base de l'arbuscule finement découpé, le tronc (TH) en connexion avec le filament mycélien intrusif (flèches) (Brundrett et coll., 1984) ( $\times 1\ 800$ ).

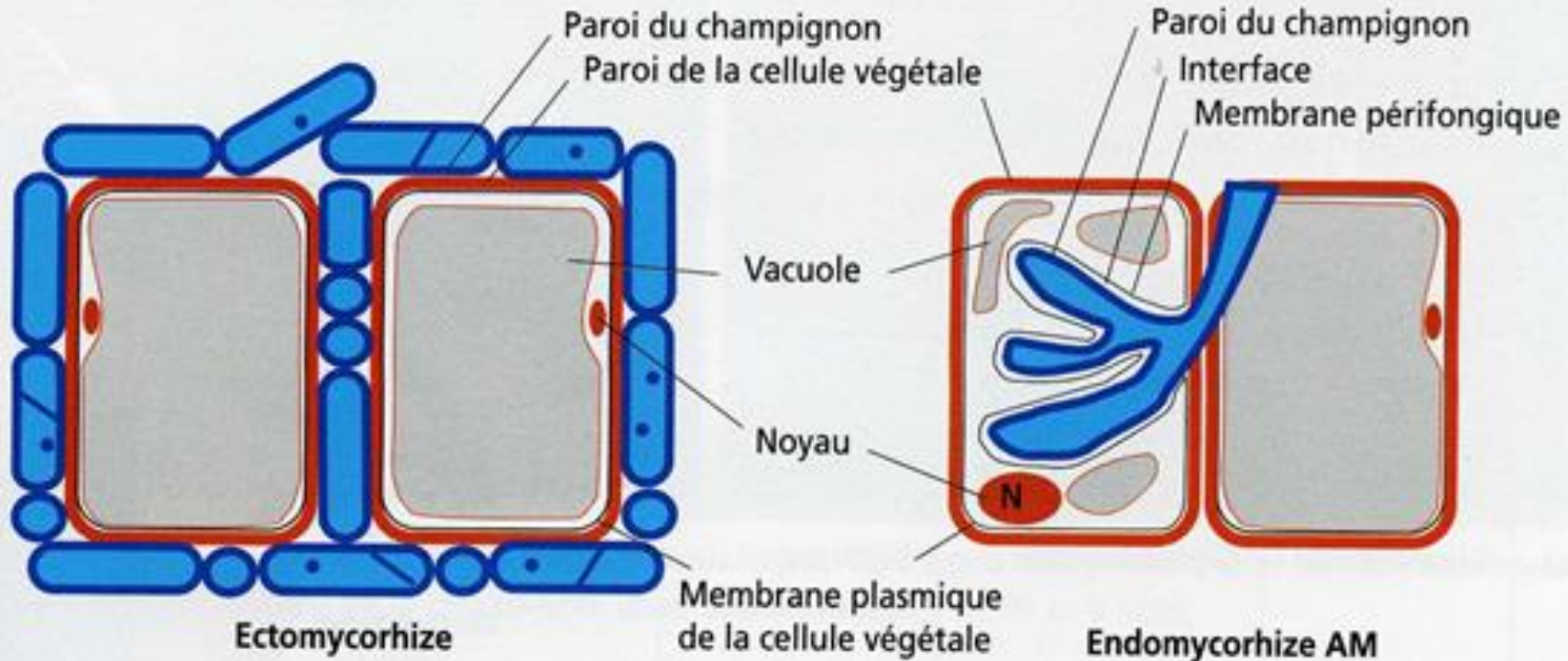
# LES ENDOMYCORHIZES À PELOTON

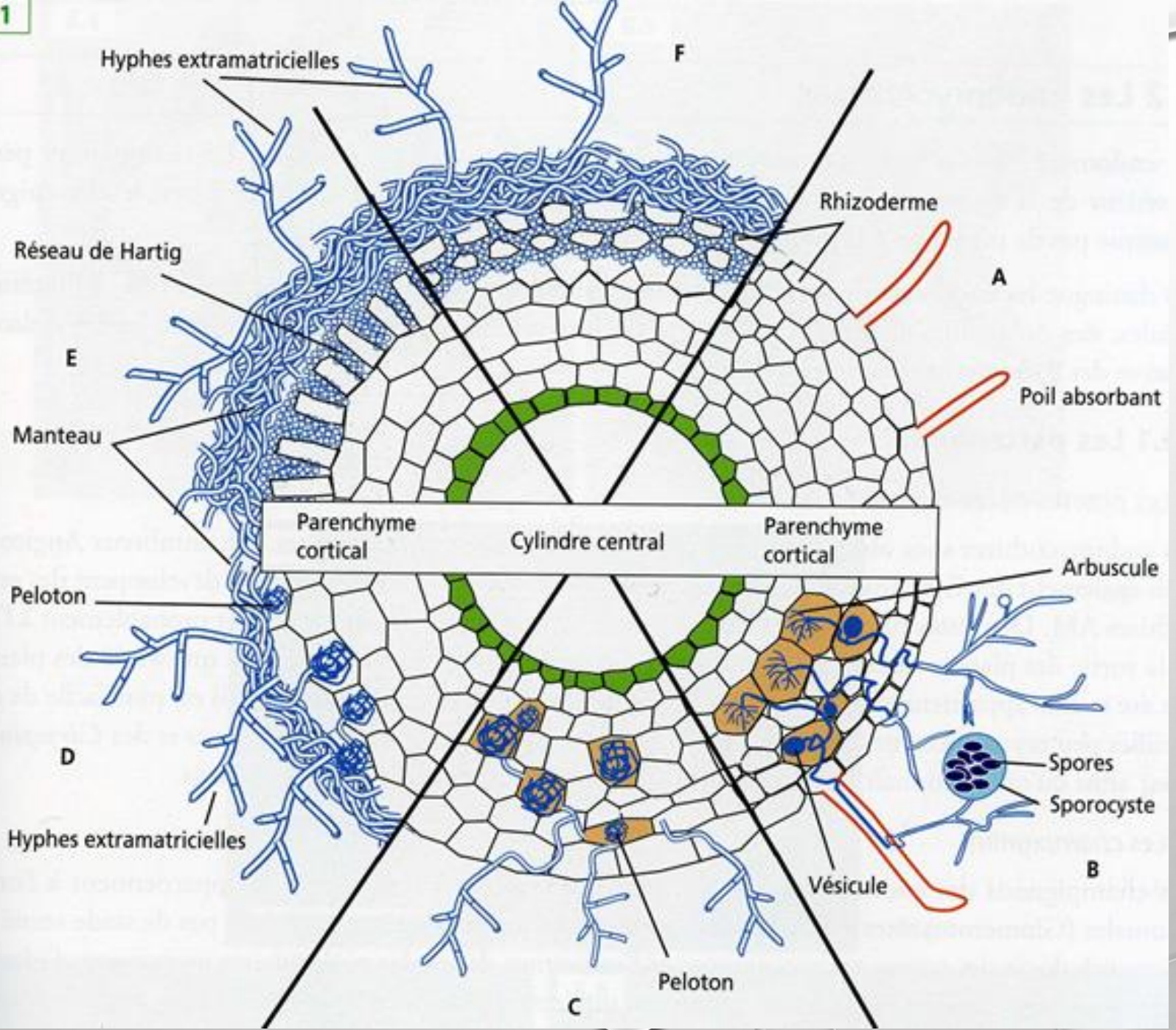




6.10 Cycle d'un champignon endomycorhizien AM (redessiné d'après Bass et coll., 2000)

6.2

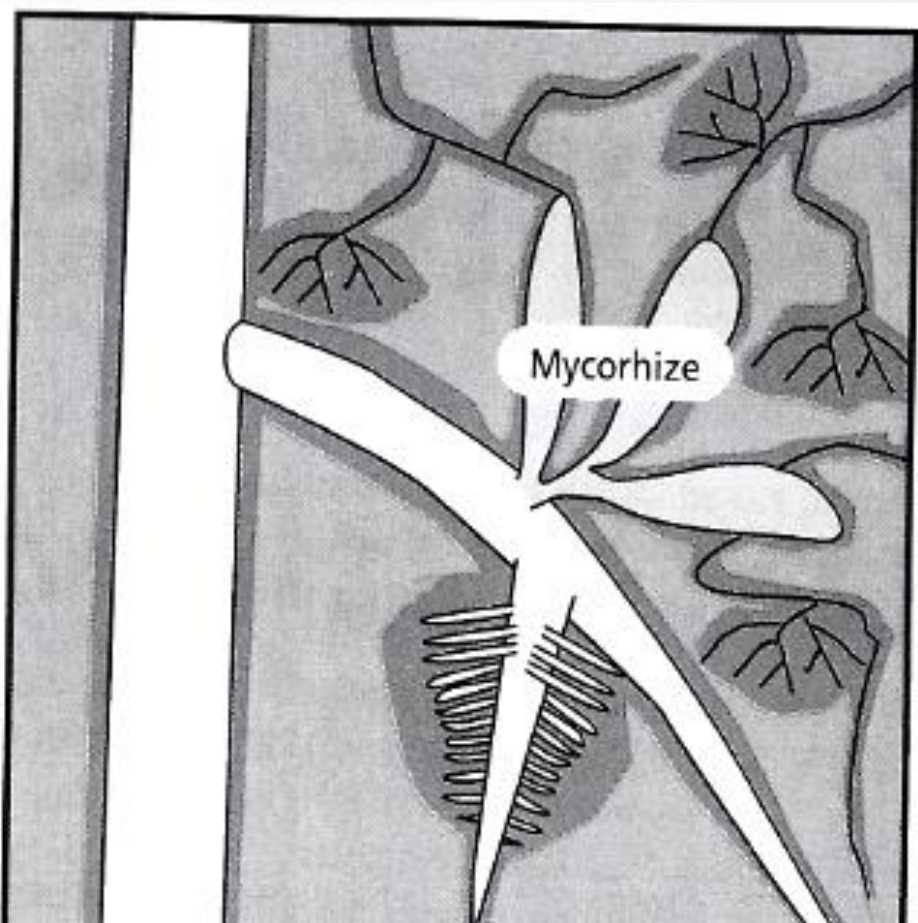
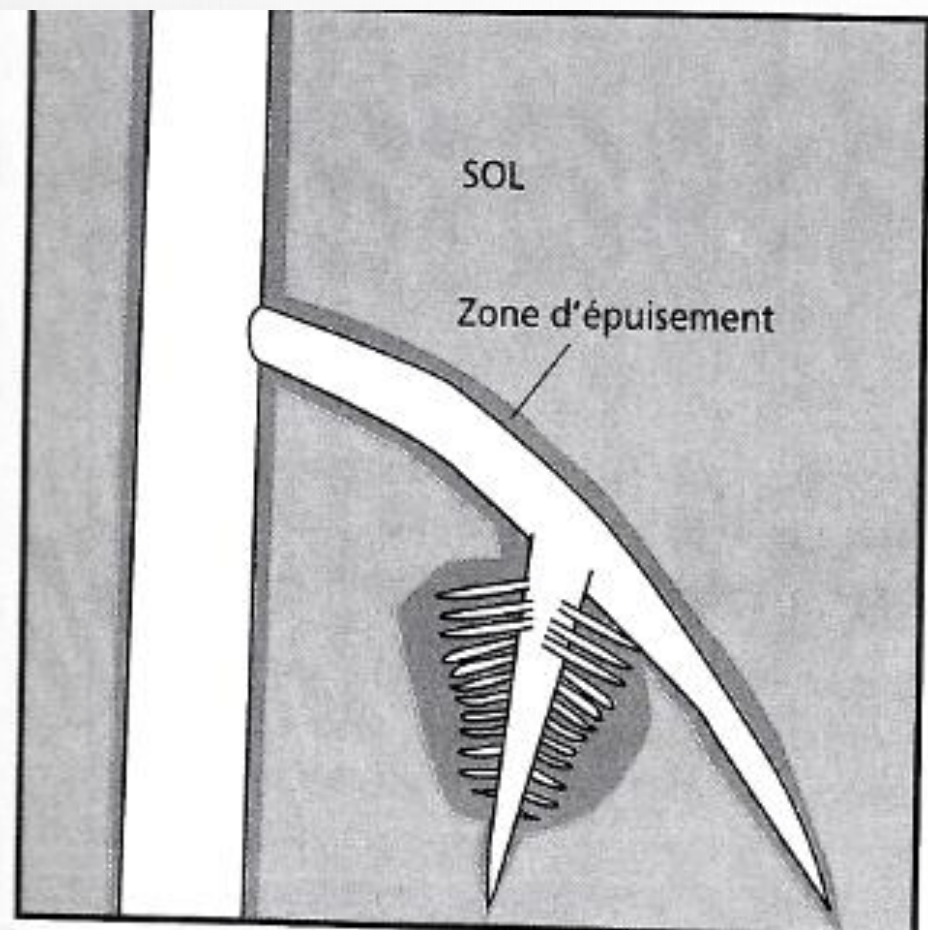


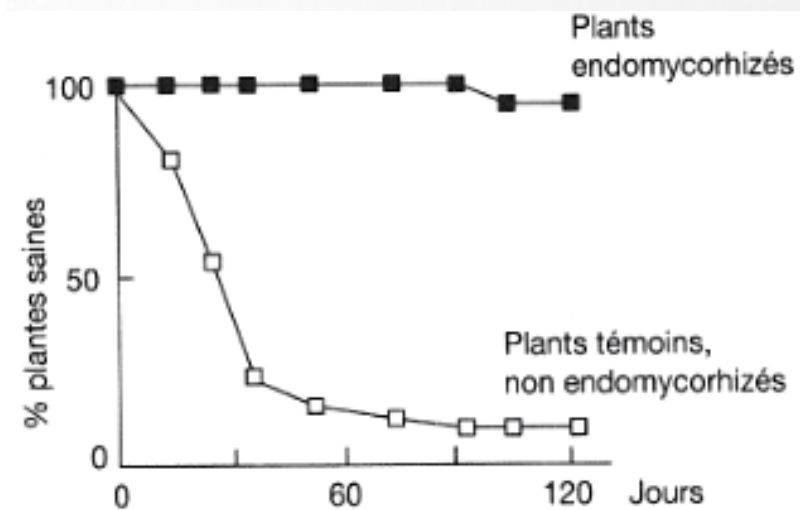
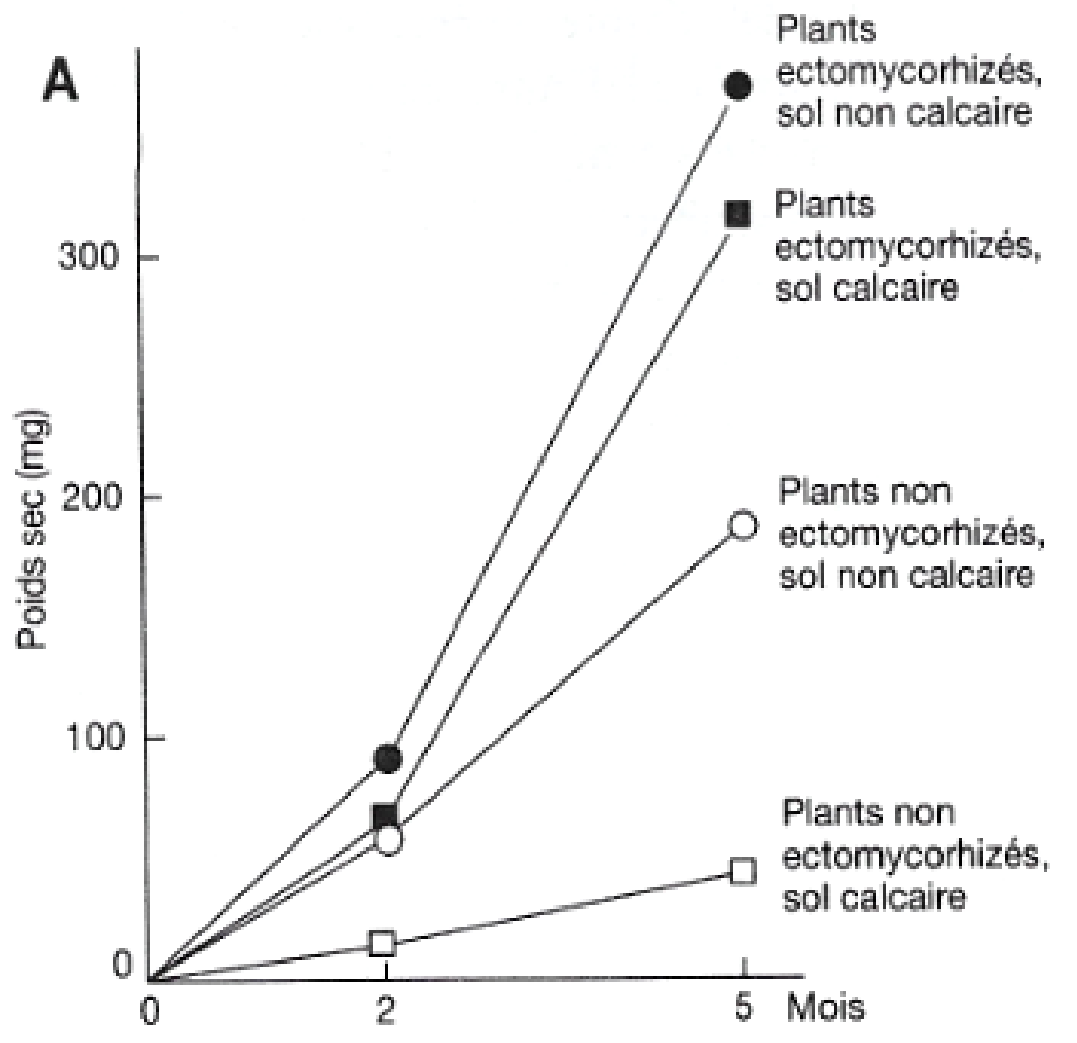




## Caractéristiques des principaux types de mycorhizes.

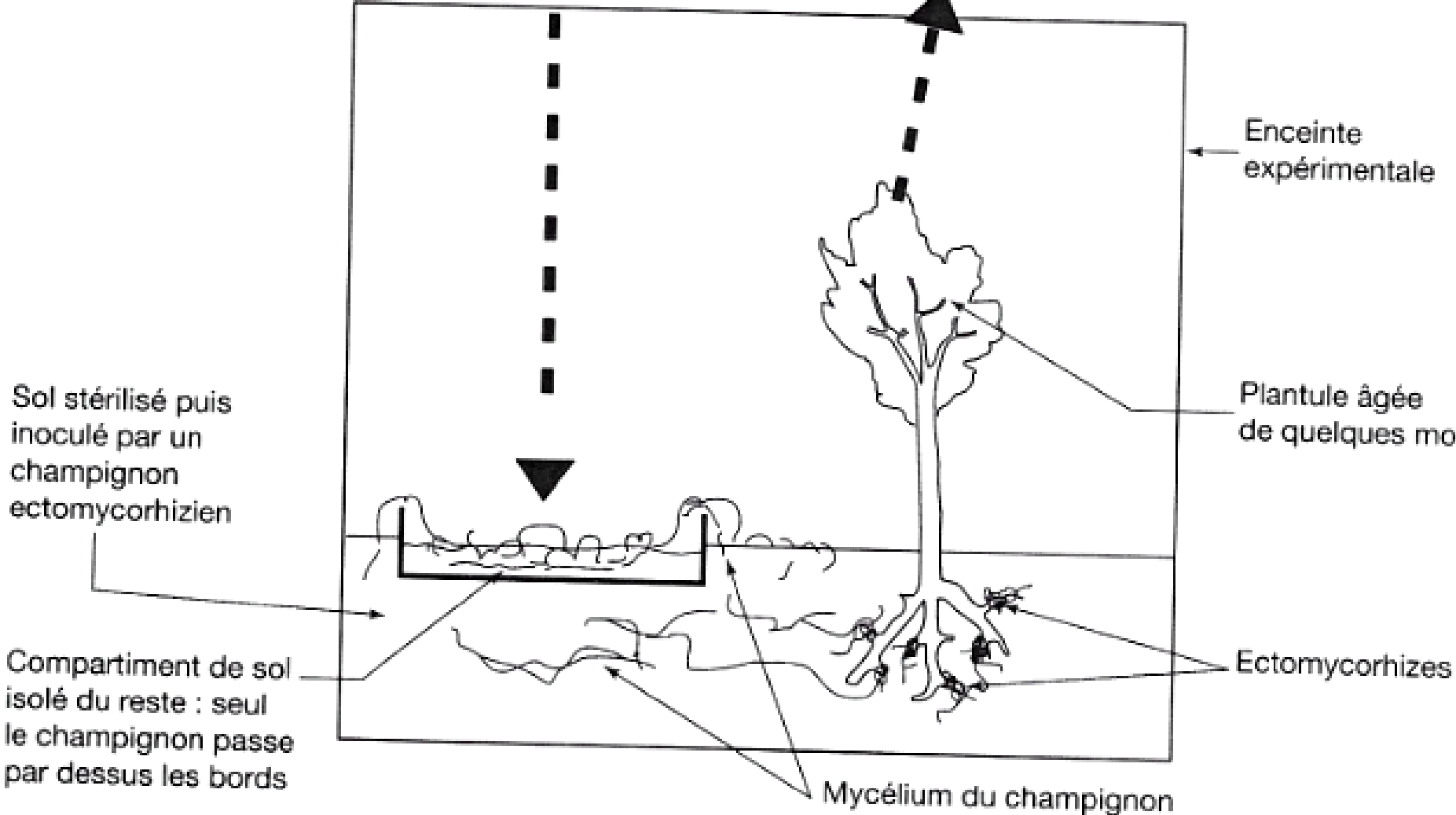
Caractéristiques	Types de mycorhizes	
	AM	Ectomycorhizes
<b>Champignon</b> Hyphes cloisonnées Hyphes non cloisonnées Intracellulaire Manteau Réseau de Hartig Vésicules Arbuscules Taxonomie	- + + - - + ou - + Zygomycètes = Gloméromycètes	+ - - + + - - Basidiomycètes Ascomycètes Zygomycètes
<b>Plante</b> Taxonomie	Bryophytes Ptéridophytes Gymnospermes Angiospermes	Rares Ptéridophytes Gymnospermes Angiospermes



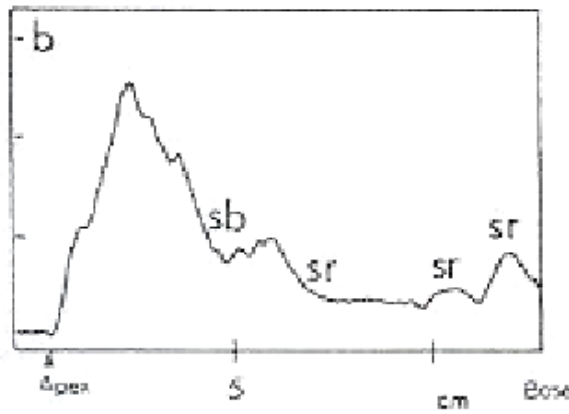
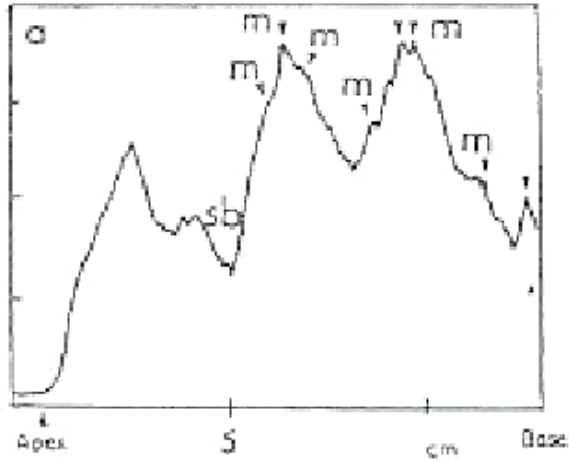


1 Introduction de sels minéraux marqués ( $^{32}\text{P}$  par exemple) dans le compartiment isolé

2 Recherche de radioactivité transférée dans les parties aériennes de la plante

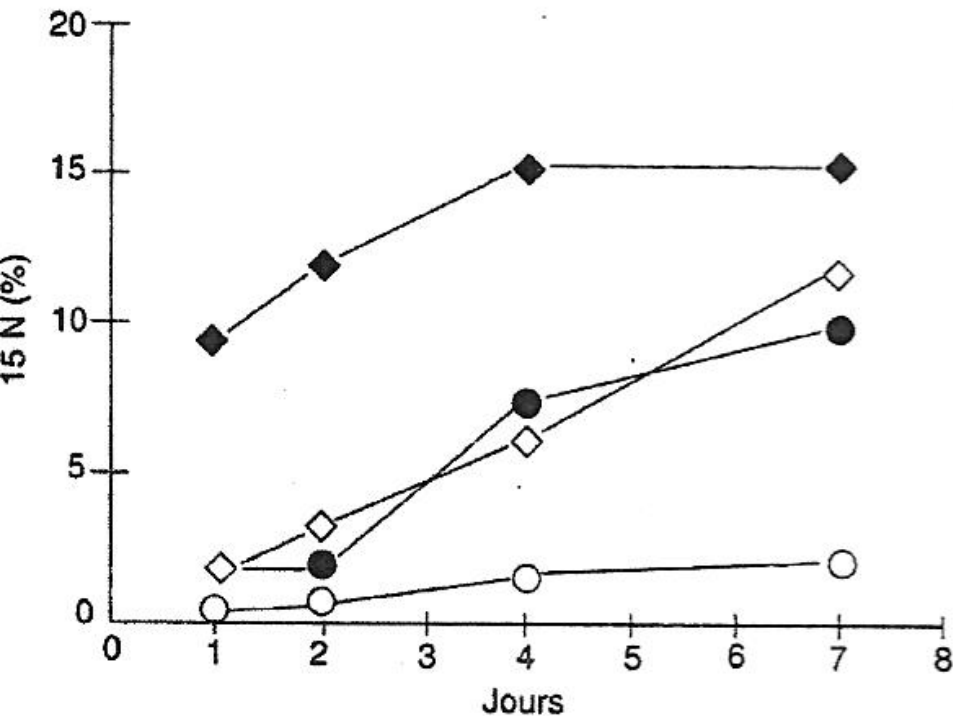


radioactivité



**Prélèvement de phosphate le long de racines de *Pinus radiata* (Strulo p 51)**

En haut: racines mycorrhizées; en bas: racines non mycorrhizées  
Résultats obtenus avec une solution contenant  $5\mu\text{M}$  de phosphate avec  $^{32}\text{P}$ .  
m: mycorrhizes  
Sr: position des racines courtes non mycorrhizées  
Sb: début de subérisation



**Effet de la mycorhization sur l'incorporation de  $^{15}\text{NH}_4^+$  dans les racines fines d'*Eucalyptus grandis*.**

Racines de plants non mycorhizés (O) ;  
 racines mycorhizées par *Pisolithus* (losange vide) ;  
 racines mycorhizées par *Hydnanqium* (losange plein) ;  
 racines mycorhizées par un scléroderme (cercle plein)

TRAITEMENT	Non mycorhizée	Mycorhizée
Poids sec total	152 mg	323 mg
Azote	2,87 mg (1,88 %)	5,75 mg (1,78 %)
Phosphate	0,15 mg (0,097 %)	0,6 mg (0,185 %)
Potassium	0,96 mg (0,62 %)	2,17 mg (0,66 %)

**TABLEAU 1. COMPARAISON DE PLANTULES DE *PINUS VIRGINIANA* ECTOMYCORHIZÉES OU NON (CULTIVÉES SUR SOL STÉRILISÉ). Les teneurs sont en milligrammes par plantule (entre parenthèses, pourcentage du poids sec afin de tenir compte de la différence de poids total).**

*D'après Mac Comb, 1938.*

# ECTOMYCORRHIZES

# ENDOMYCORRHIZES AM

a. aminés



R-COOH

Pi

Phosphatases

Pi

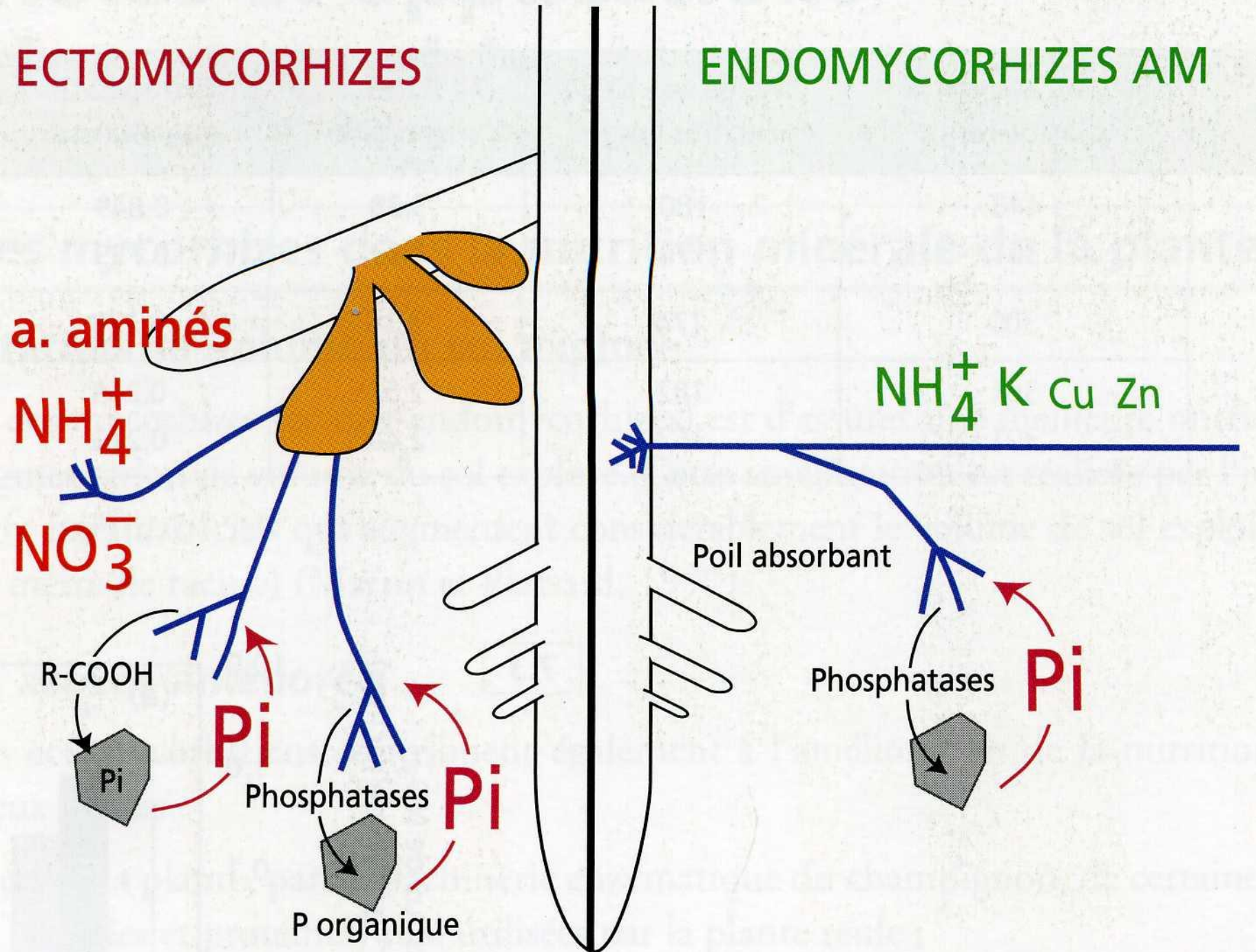
P organique



Poil absorbant

Phosphatases

Pi

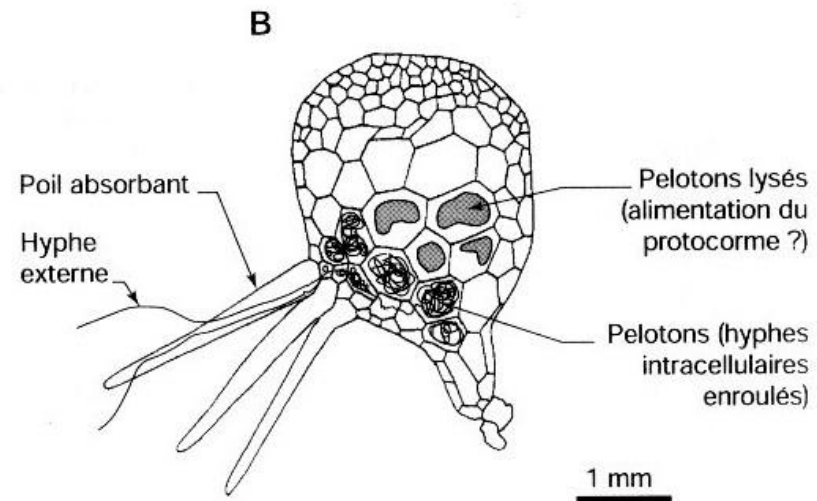
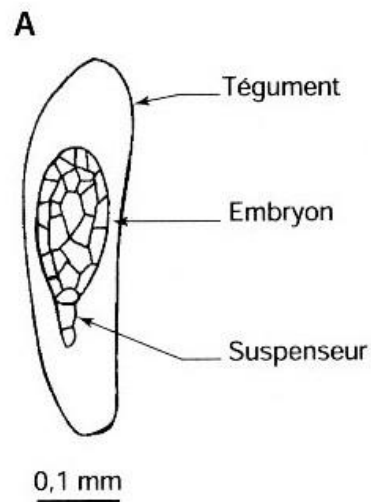
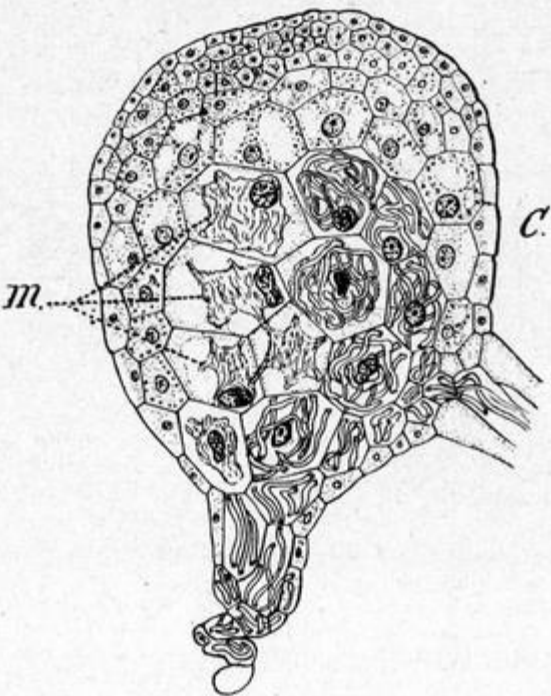




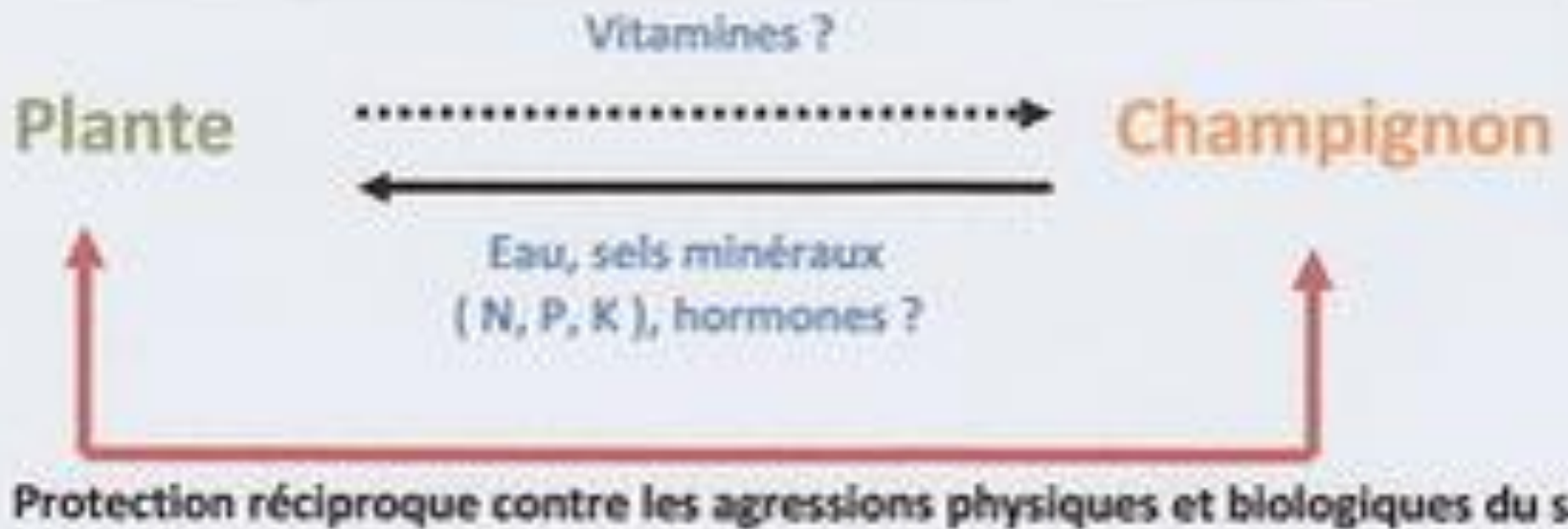
## BILAN :

TYPE	PARTENAIRE FONGIQUE	PARTENAIRE VÉGÉTAL	STRUCTURES FORMÉES	RESSOURCES DU SOL EXPLOITÉES
Endomycorhize vésiculo-arbusculaire	Zygomycètes (Glomales)	85 % des végétaux terrestres <sup>1</sup>	Vésicules et arbuscules intracellulaires	Minérales solubles (et, dans une moindre mesure, insolubles)
Ectomycorhize	Ascomycètes Basidiomycètes	Beaucoup d'arbres et d'arbustes des régions tempérées	Manteau et réseau de Hartig	Minérales solubles ou non, voire matière organique
Endomycorhize à pelotons <sup>2</sup>	Ascomycètes Basidiomycètes	Éricales (Bruyère, Myrtille...) et Orchidées	Pelotons intracellulaires <sup>2</sup>	Minérales et organiques

# EXEMPLE : LES ORCHIDÉES AVEC RHIZOCTONIA



## Orchidée verte



# LES PLANTES MYCOHÉTÉROTROPHES



*Monotropa uniflora*

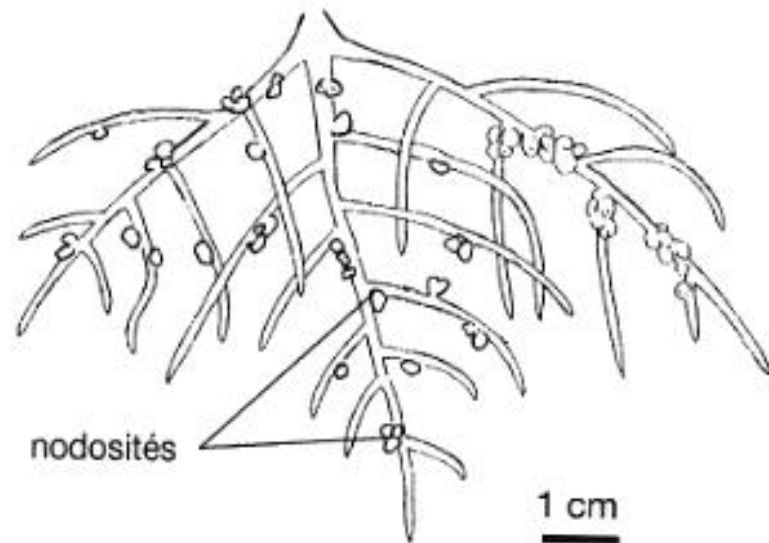
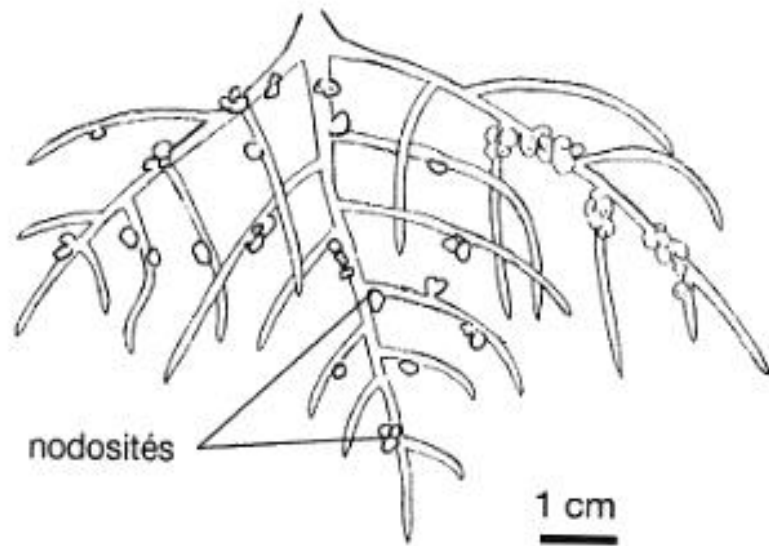


FIGURE 1.10. ALLURE GÉNÉRALE D'UN SYSTÈME RACINAIRE



**Corolle papilionacée**

**Ailes**

**Carène**

**Etendard**

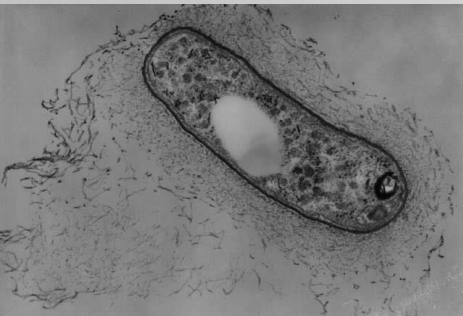
**FIGURE 1.10. ALLURE GÉNÉRALE D'UN SYSTÈME RACINAIRE NODULÉ.**



# SUPERFAMILLE DES LÉGUMINEUSES (FRUIT : GOUSSE)

- FAMILLE FABACÉE (PETIT POIS, TRÈFLE,..)
- FAMILLE MIMOSACÉE (MIMOSA)
- FAMILLE CESALPINACÉE (ARBRE DE JUDÉE)
- EN SYMBIOSE AVEC UNE BACTÉRIE DU  
GENRE

RHIZOBIUM





**Boussingault**  
**1801-1887**

## Expériences historique (1838)

Expérience	Résultats
Graines plantées dans un sol dépourvu de nitrates. Mesure de la quantité d'azote dans les plantules issues des graines.	Teneur des plantules en azote identique à celle des graines sauf pour les Fabacées où elle double en 3 mois. Formation de structures globuleuses sur les racines.
Graines plantées dans un sol stérilisé dépourvu de nitrates. Mesure de la quantité d'azote dans les plantules issues des graines.	Pour toutes les plantules, teneur en azote identique à celle des graines. Pas de structures globuleuses sur les racines.



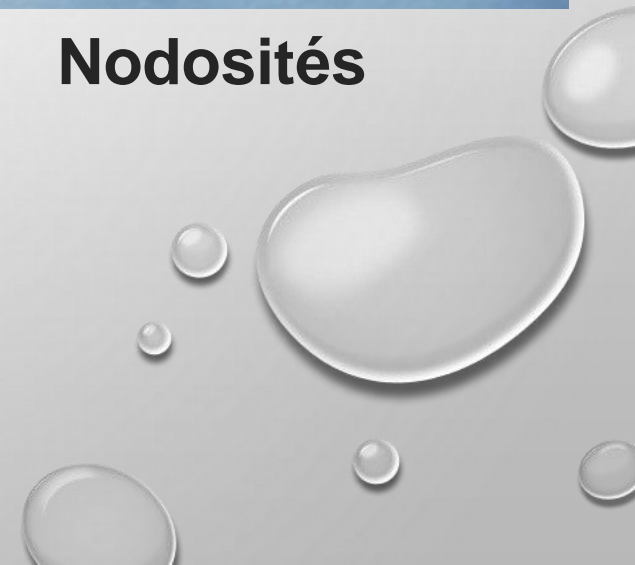
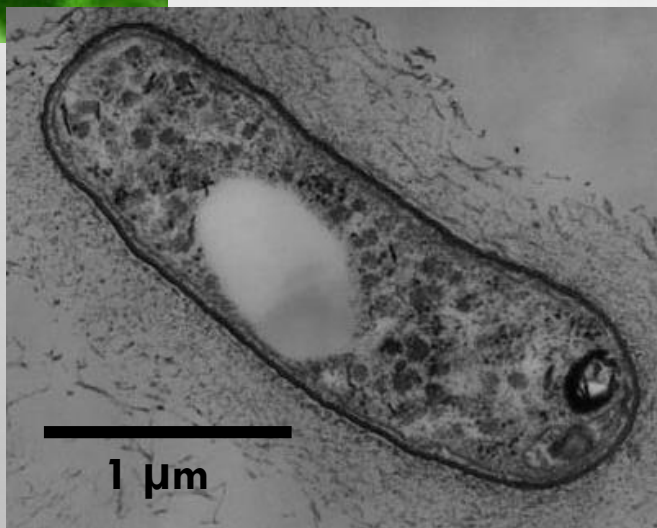


**Lucerne cultivée :**  
***Medicago sativa***

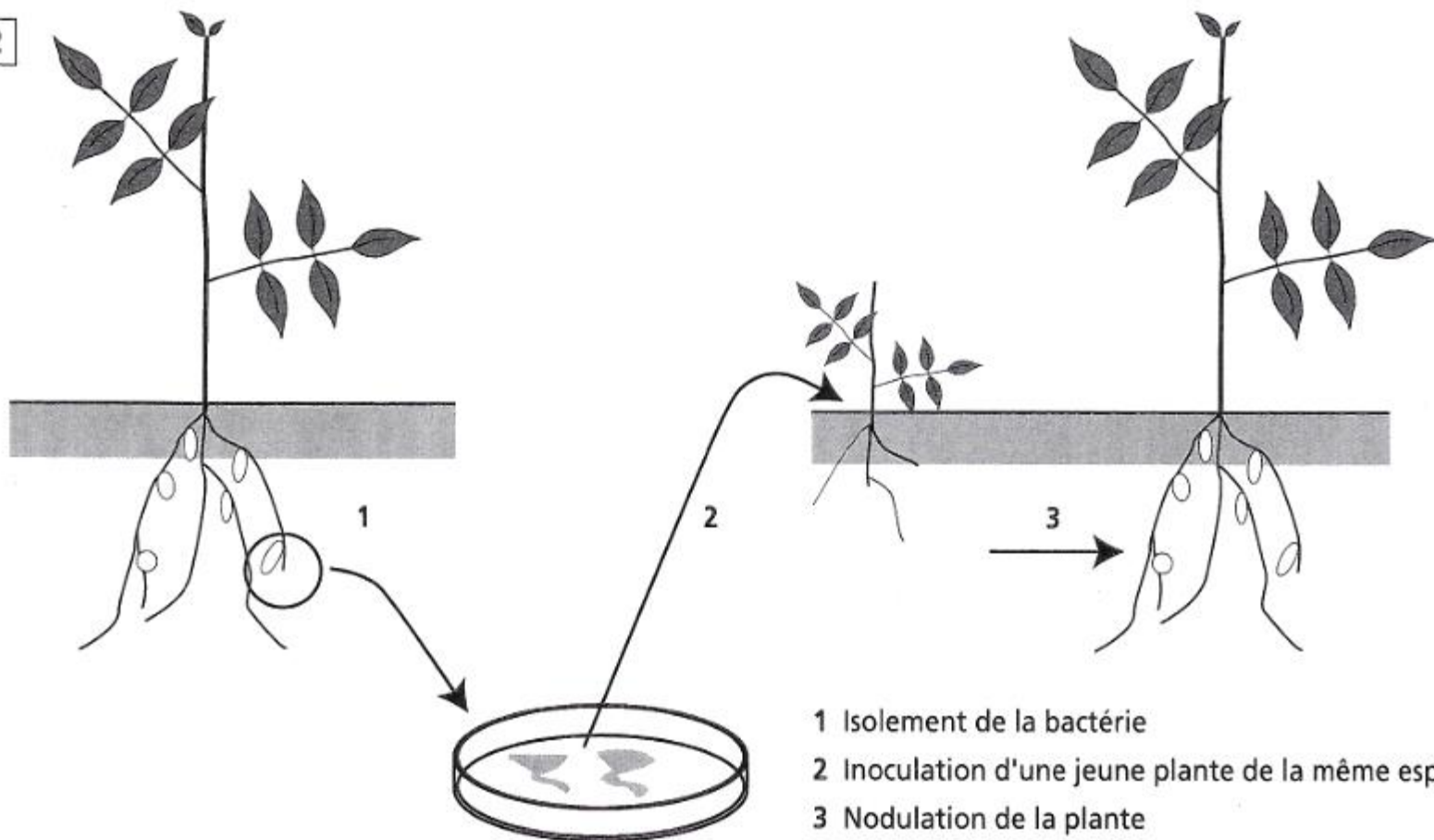


## **Nodosités**

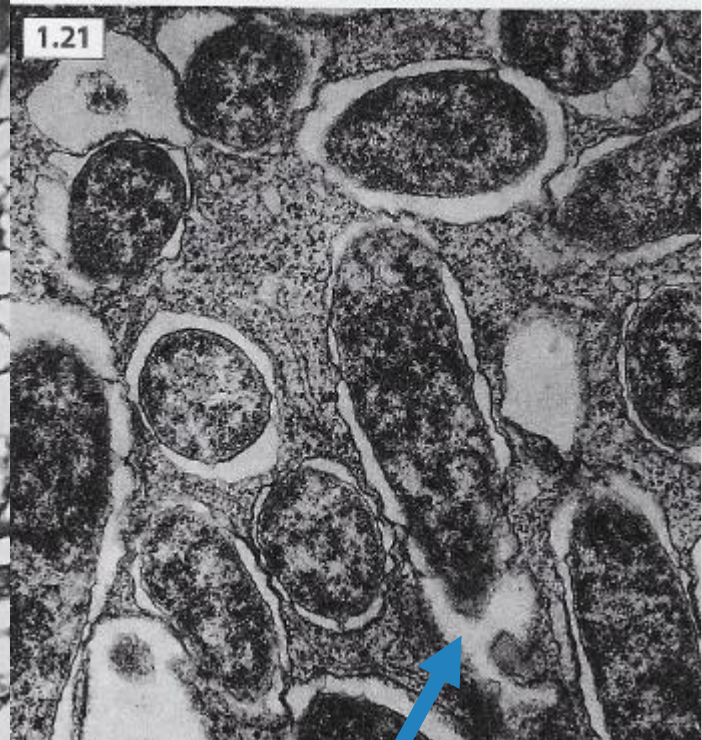
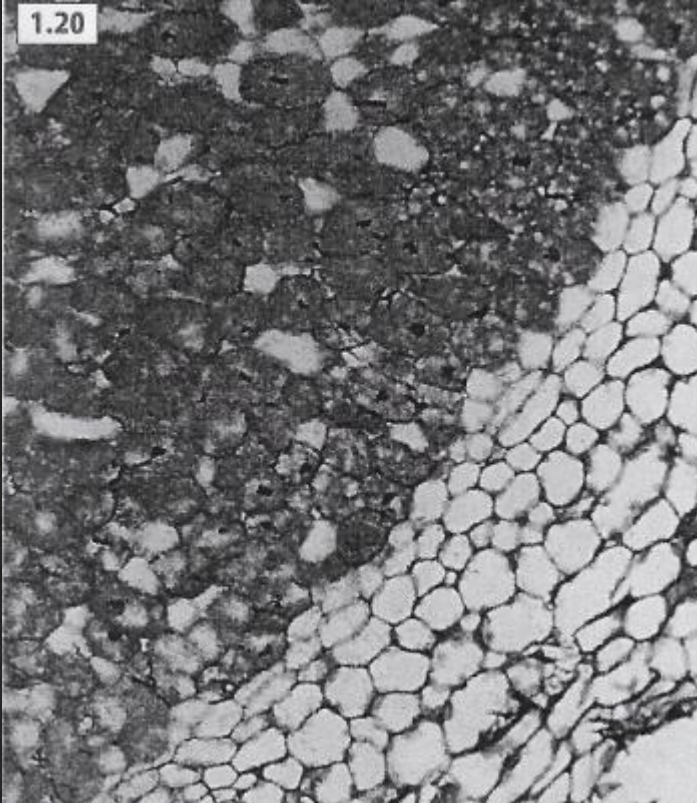
***Rhizobium trifoli***



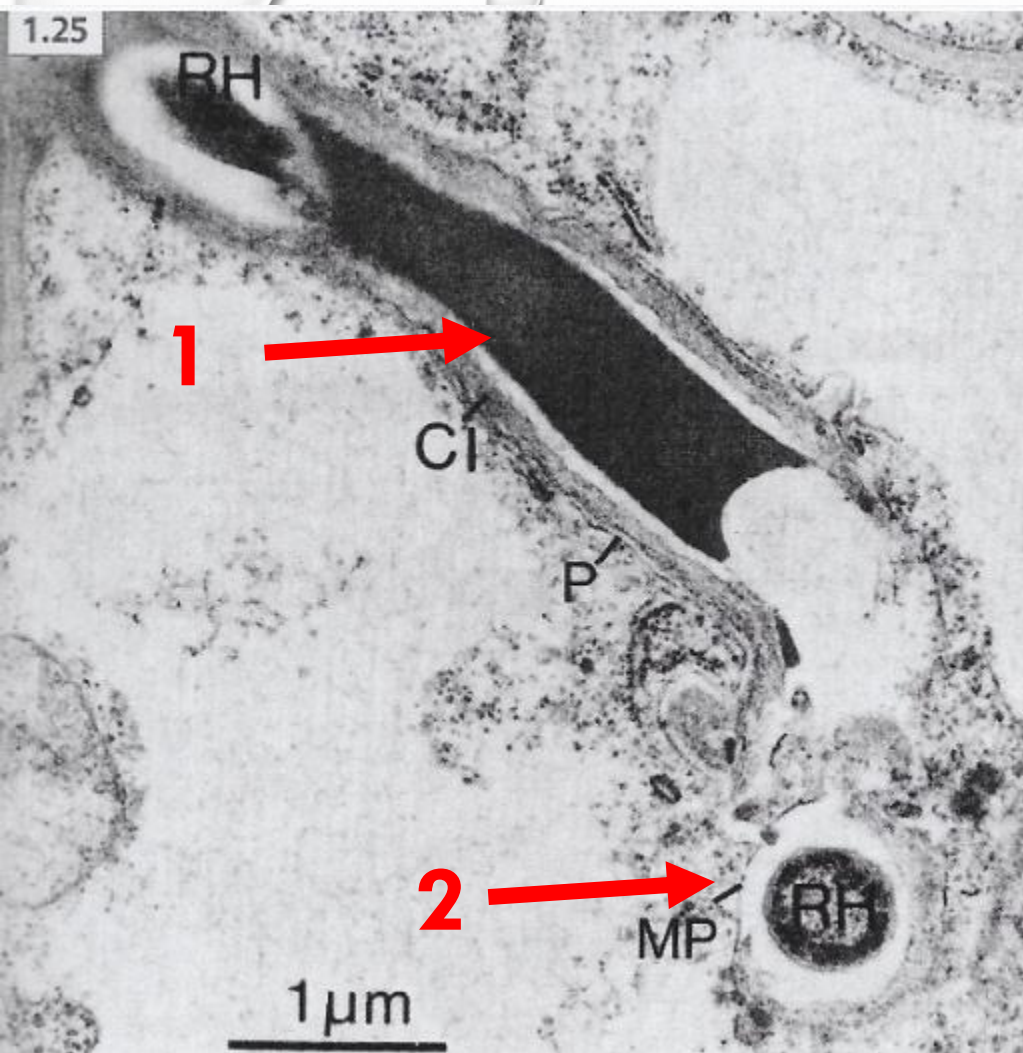
1.12



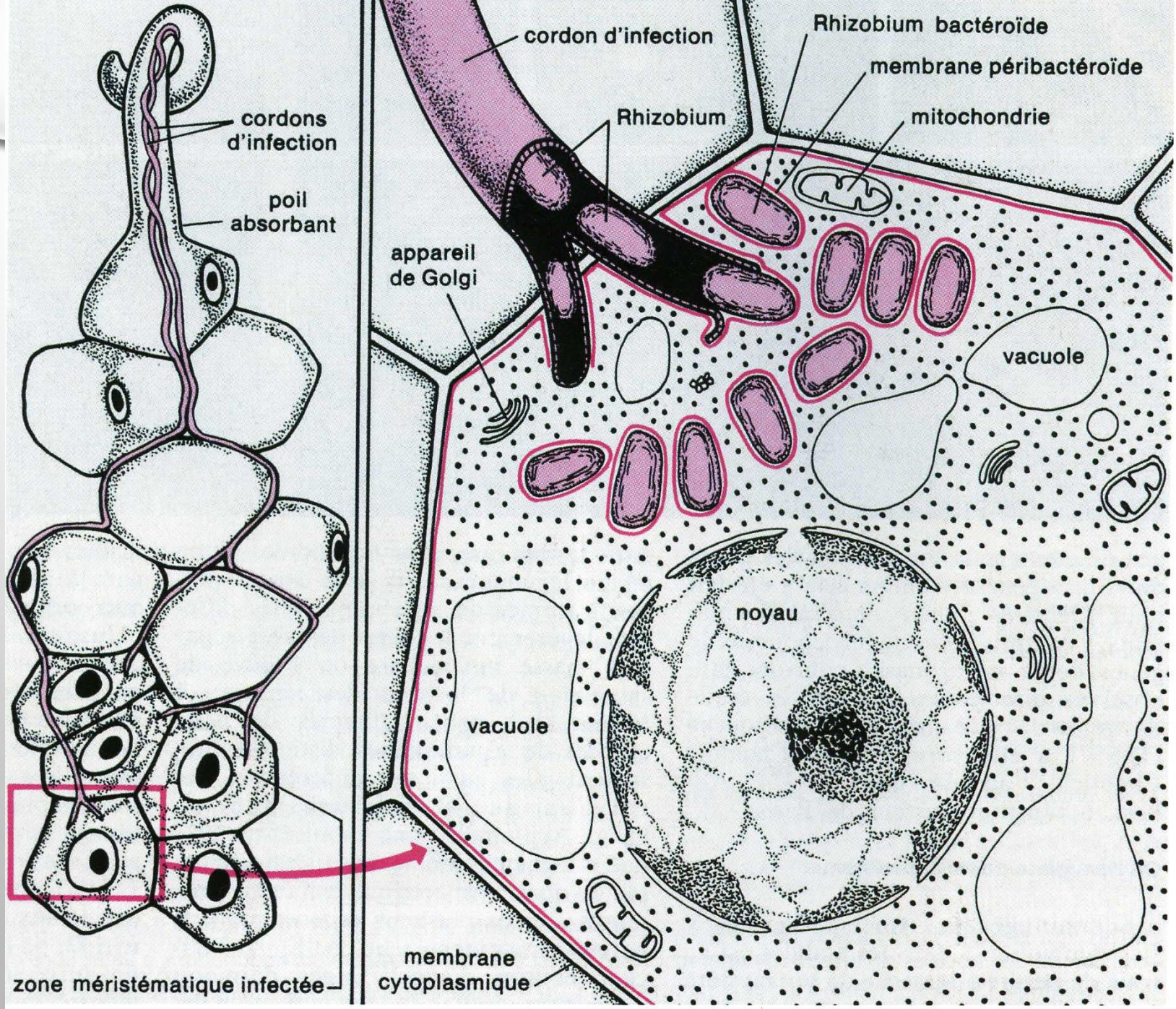
- 1 Isolement de la bactérie
- 2 Inoculation d'une jeune plante de la même espèce
- 3 Nodulation de la plante

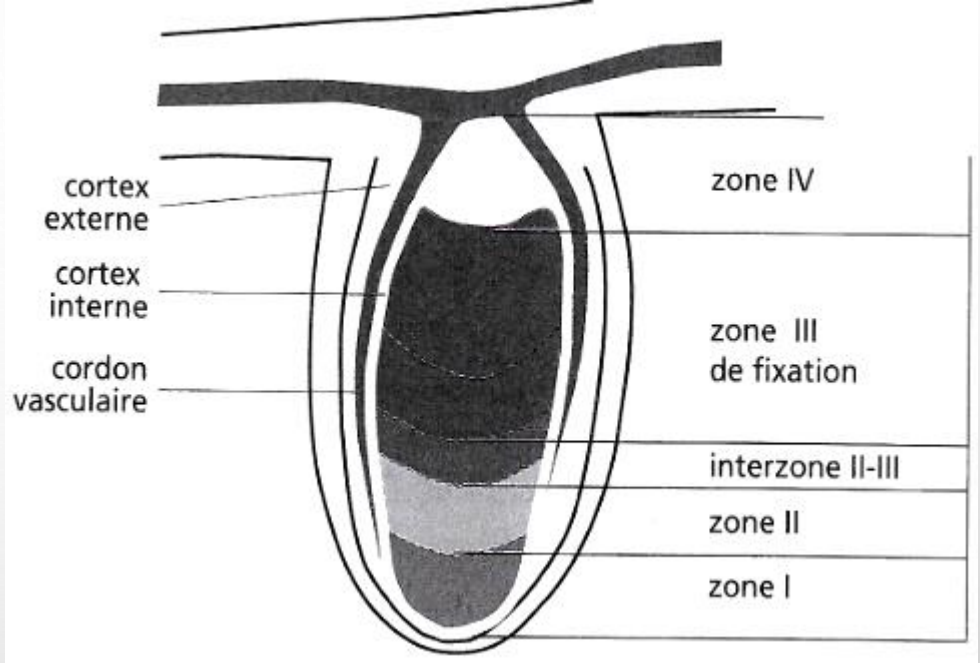
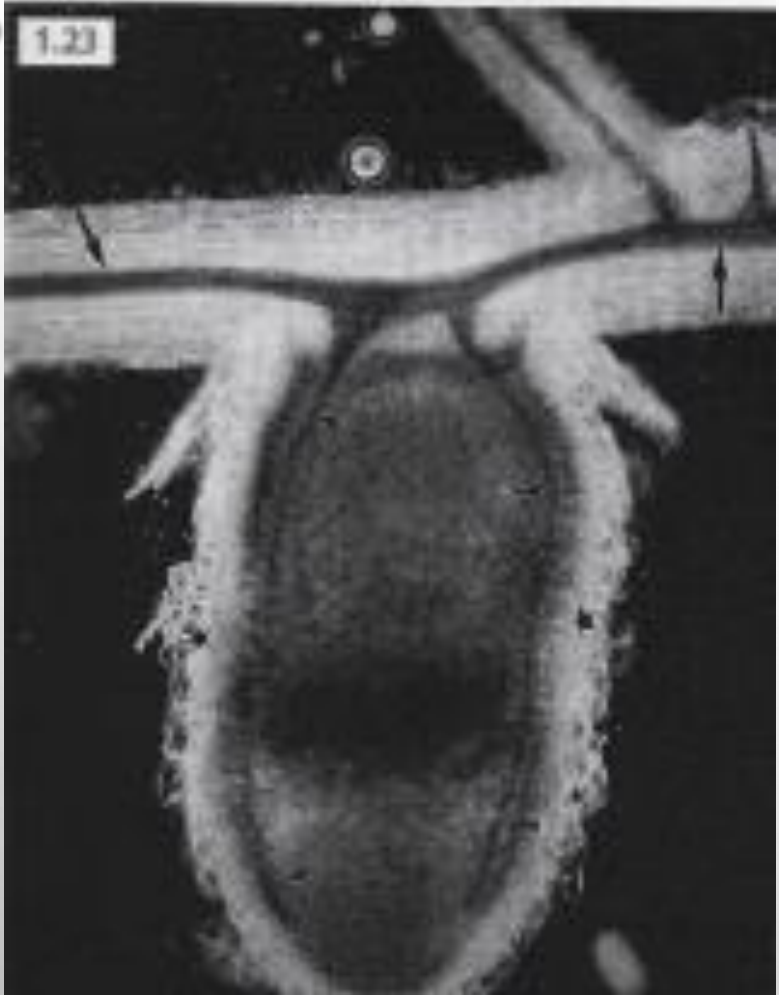


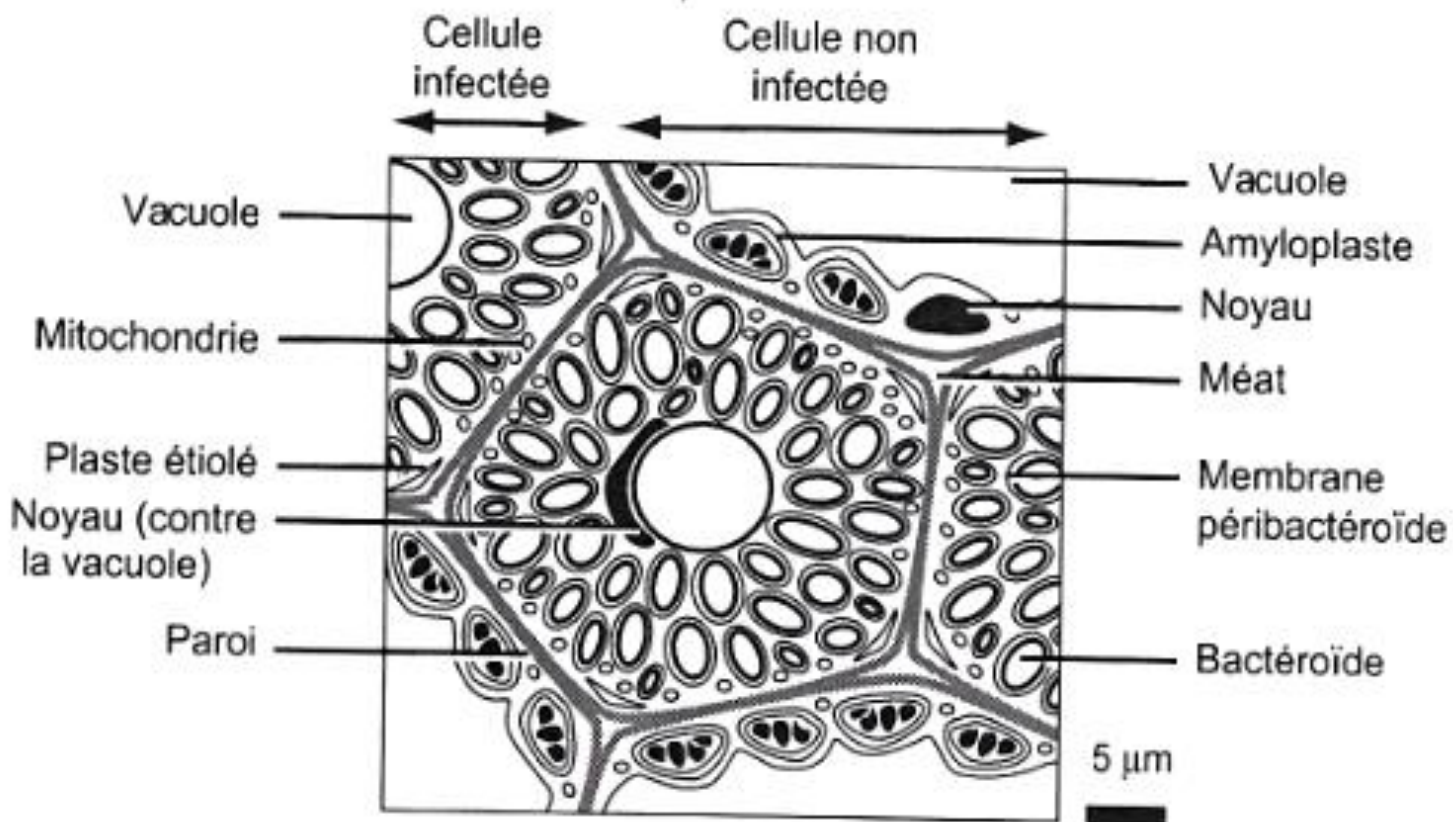
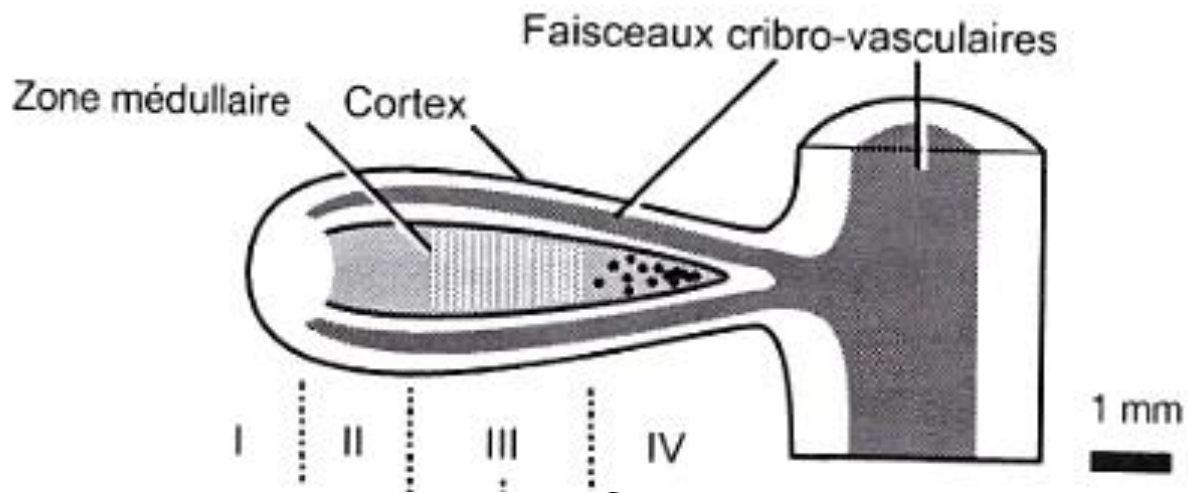
Membrane  
péribactéroïde

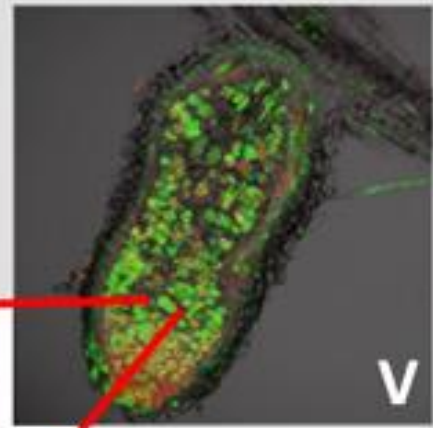
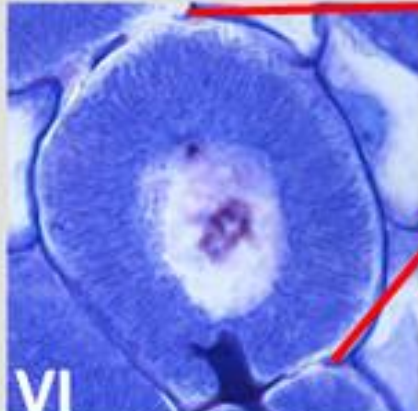
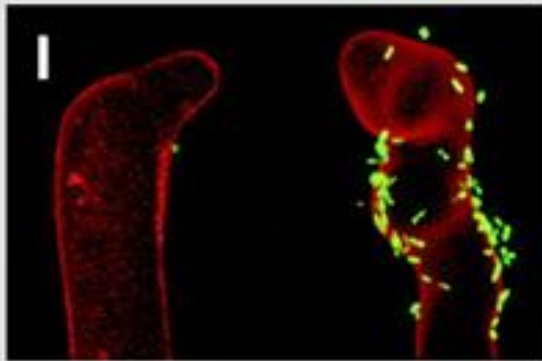
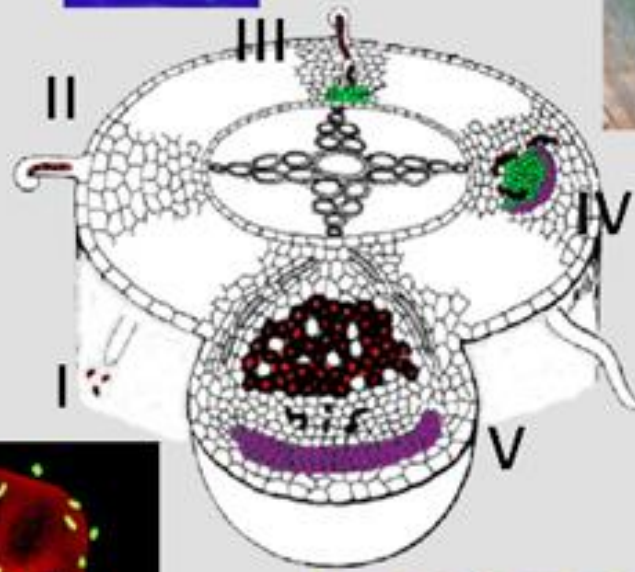
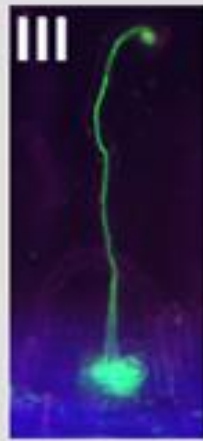
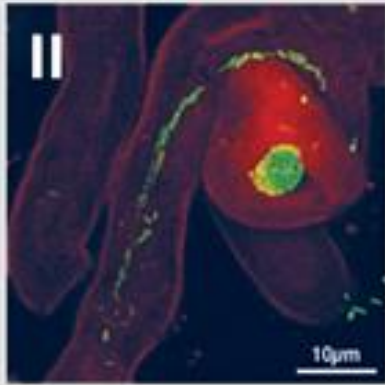


1.25 Cordon d'infection (CI) dans le nodule de *Sesbania rostrata*, déversant un *Rhizobium* (RH). Le *Rhizobium* s'entoure de la membrane plasmique (P) qui devient la membrane péri bactéroïde (MP), Duhoux, 1984. 1.26 Division (flèches) d'un bactéroïde, Duhoux, 1984.

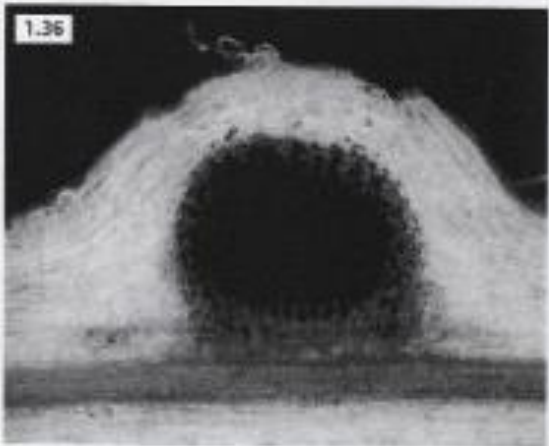
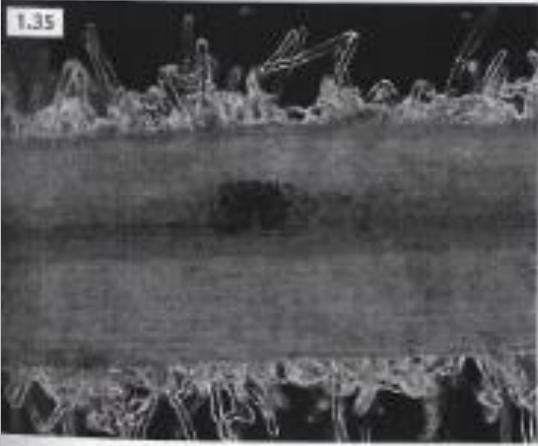
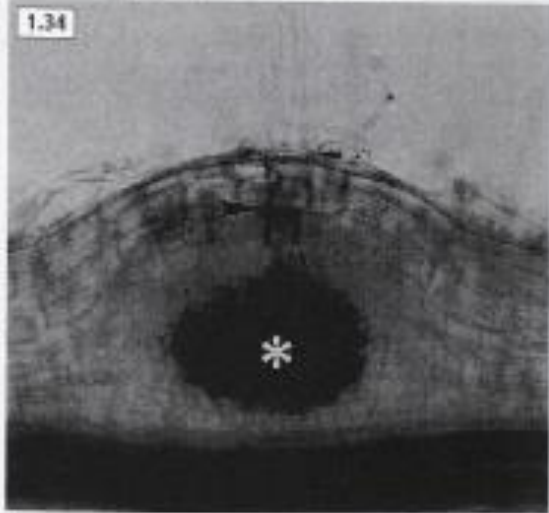
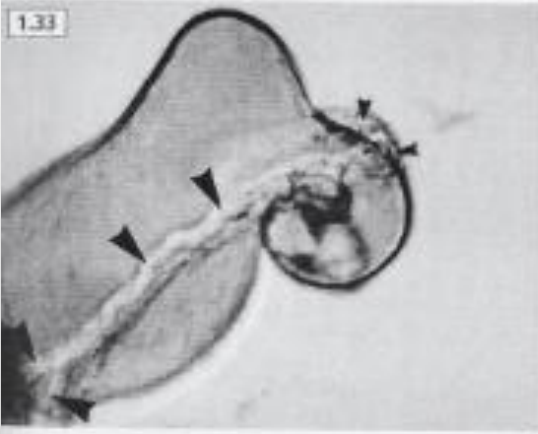
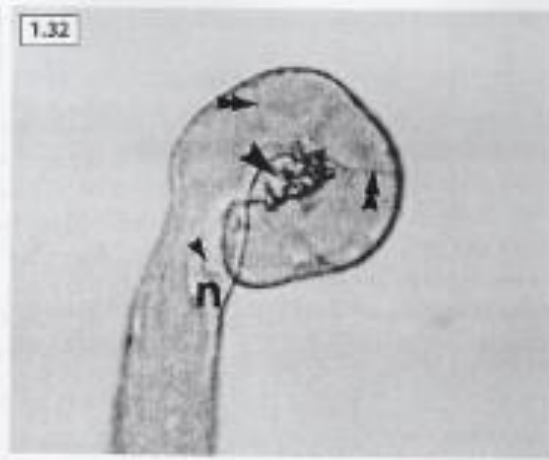
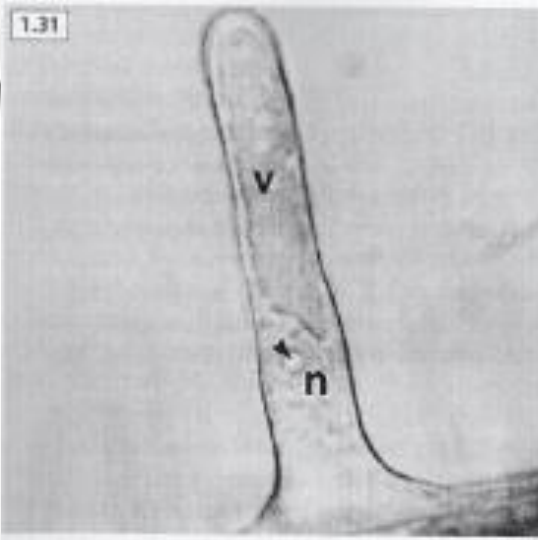


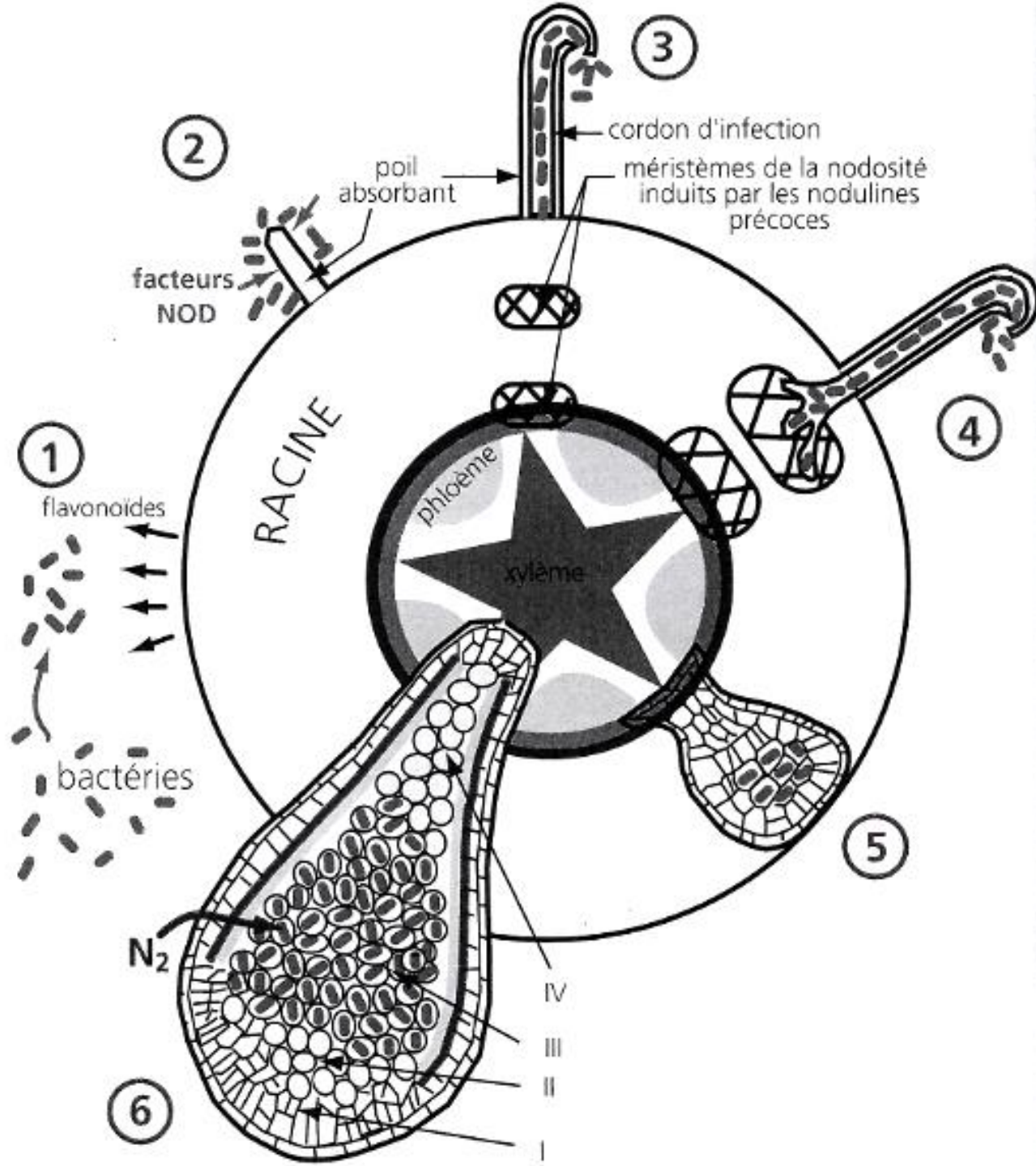


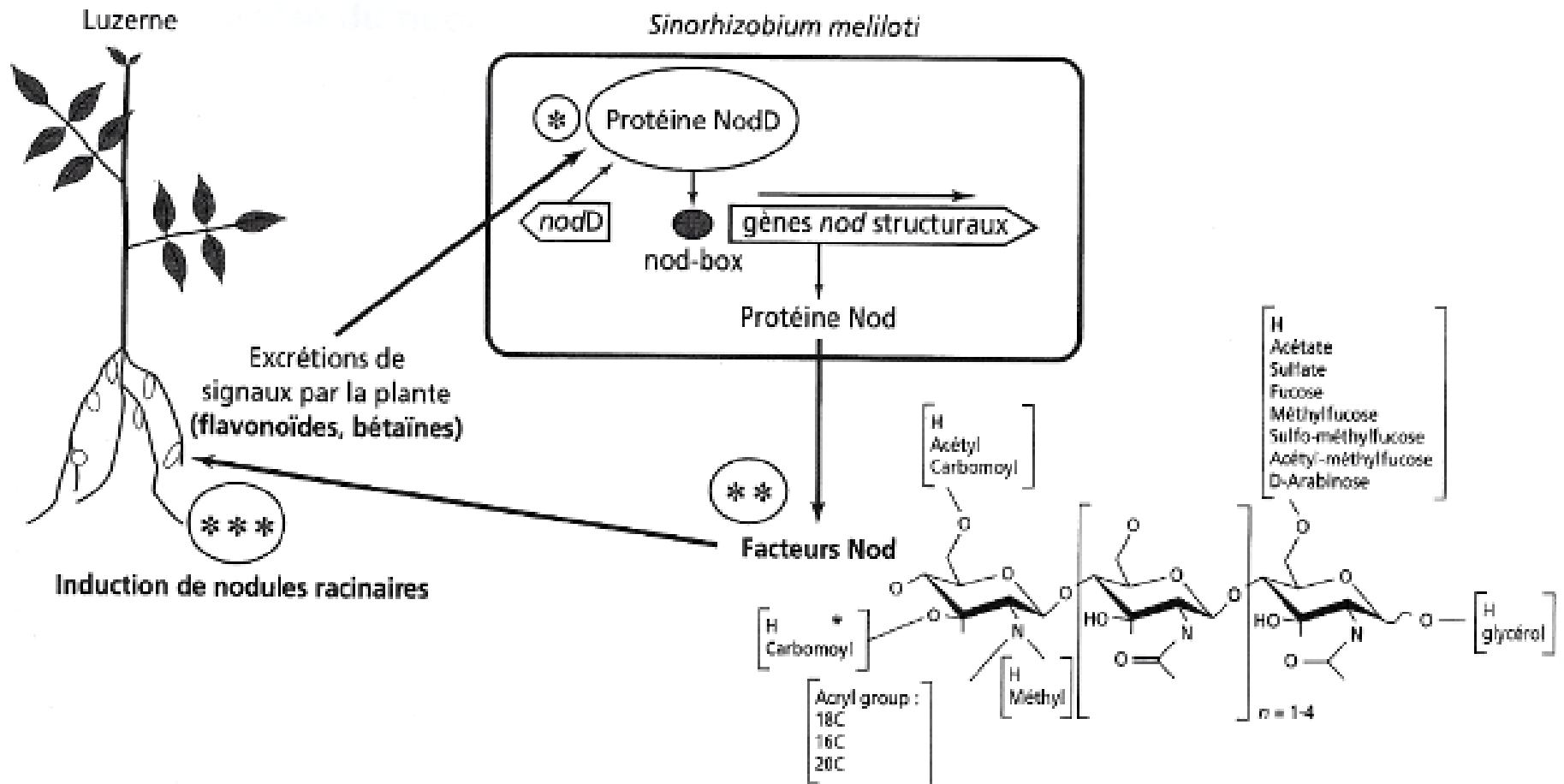








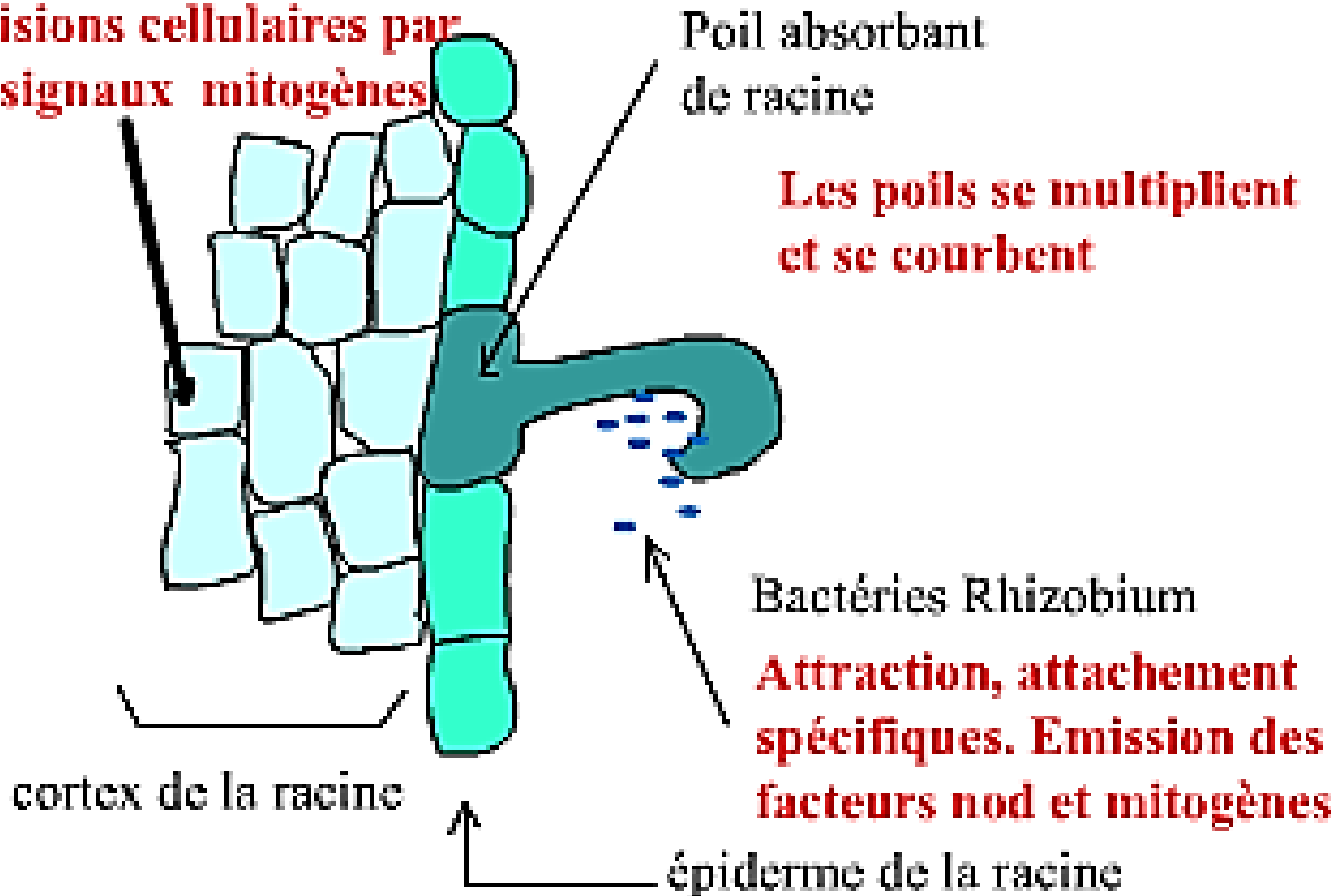




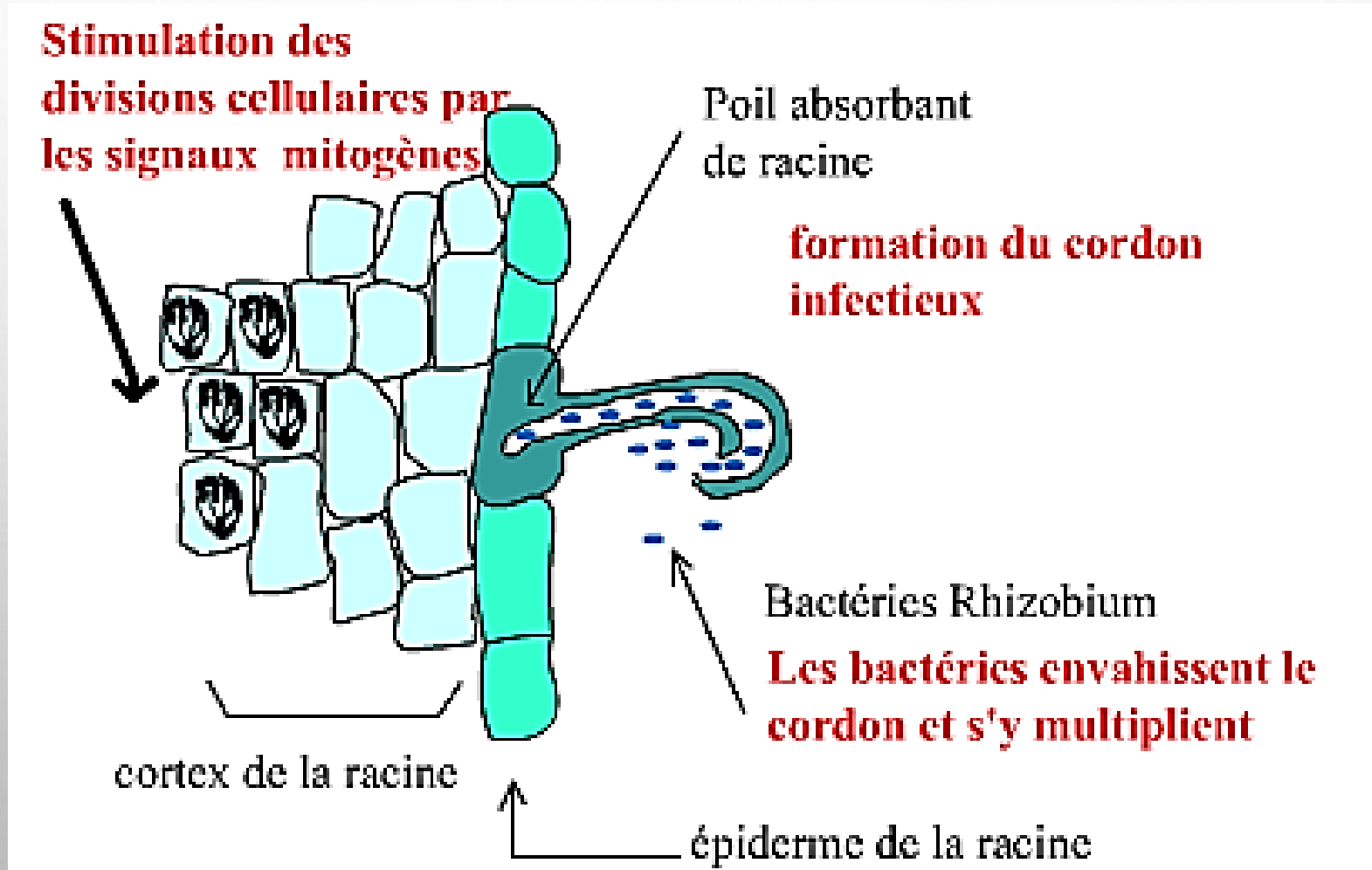
**1.28** Le dialogue moléculaire entre le *Rhizobium* et la luzerne se traduit par un échange de signaux qui permettent de distinguer trois niveaux de spécificité indiqués sur le schéma par des astérisques (Dommergues et coll., 1999).

## 1) Signaux moléculaires et modification des poils absorbants

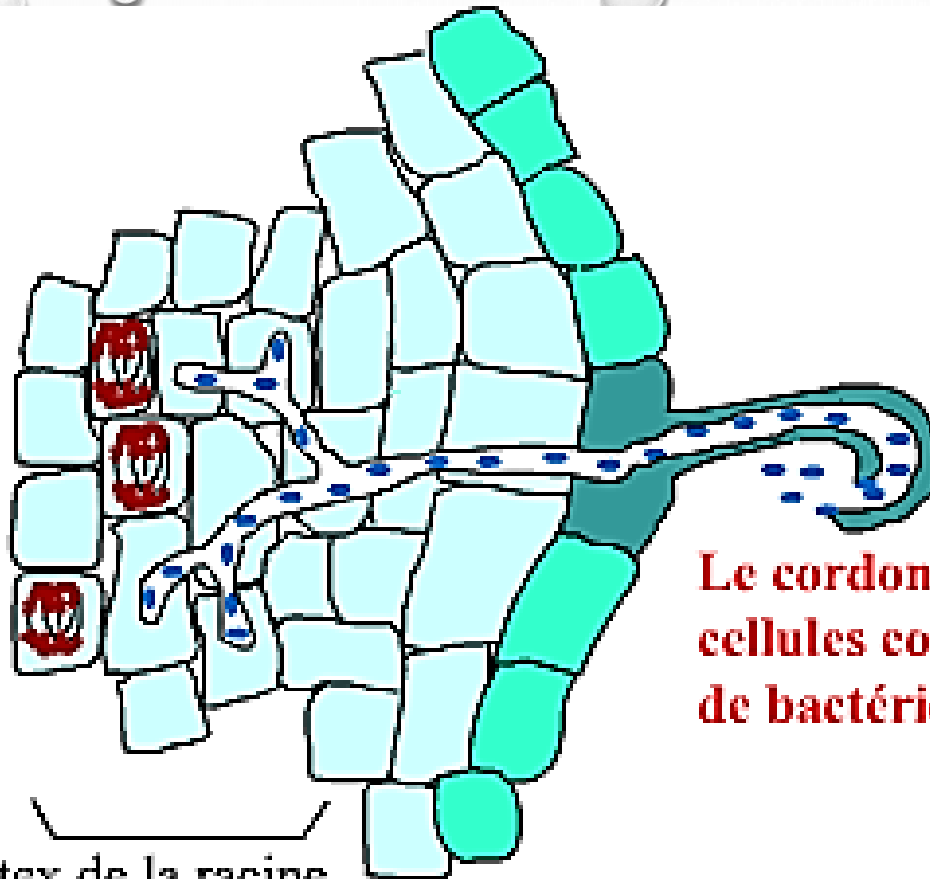
**Stimulation des divisions cellulaires par les signaux mitogènes**



## 2) Invasion du poil absorbant et formation d'un cordon d'infection



### 3) Formation du nodule



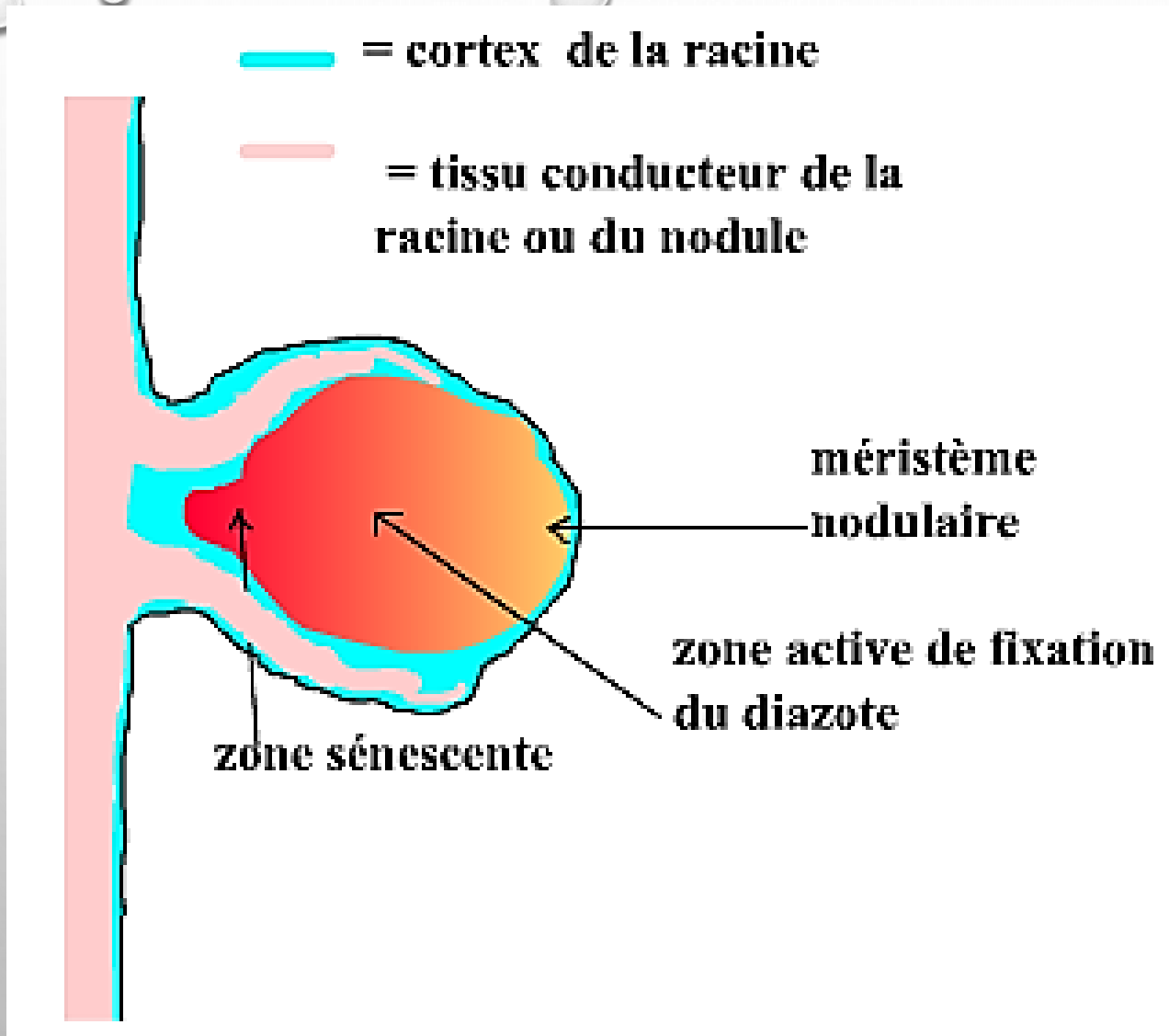
**Le cordon se ramifie dans les cellules corticales. Il est envahi de bactéries qui s'y multiplient.**

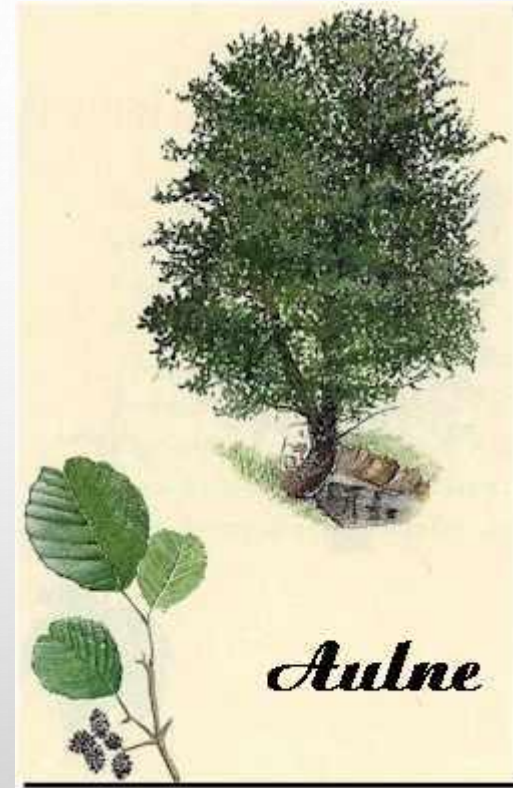
cortex de la racine

**un nodule visible se forme**

épiderme de la racine

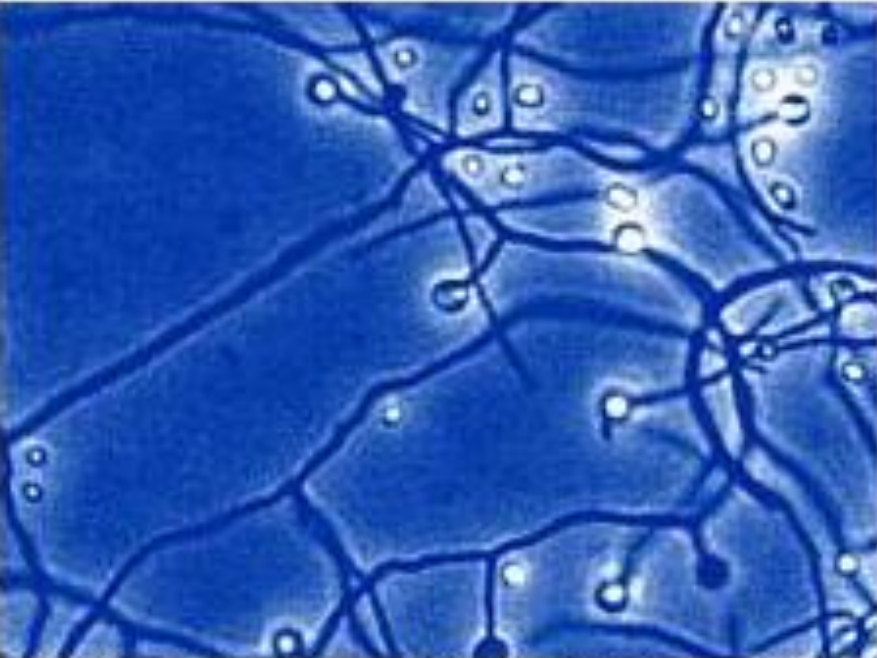
#### 4) *Stade final, nodule fonctionnel*





Ces plantes ont la capacité de s'associer avec des bactéries actinomycètes filamenteuses du sol du genre *Frankia*

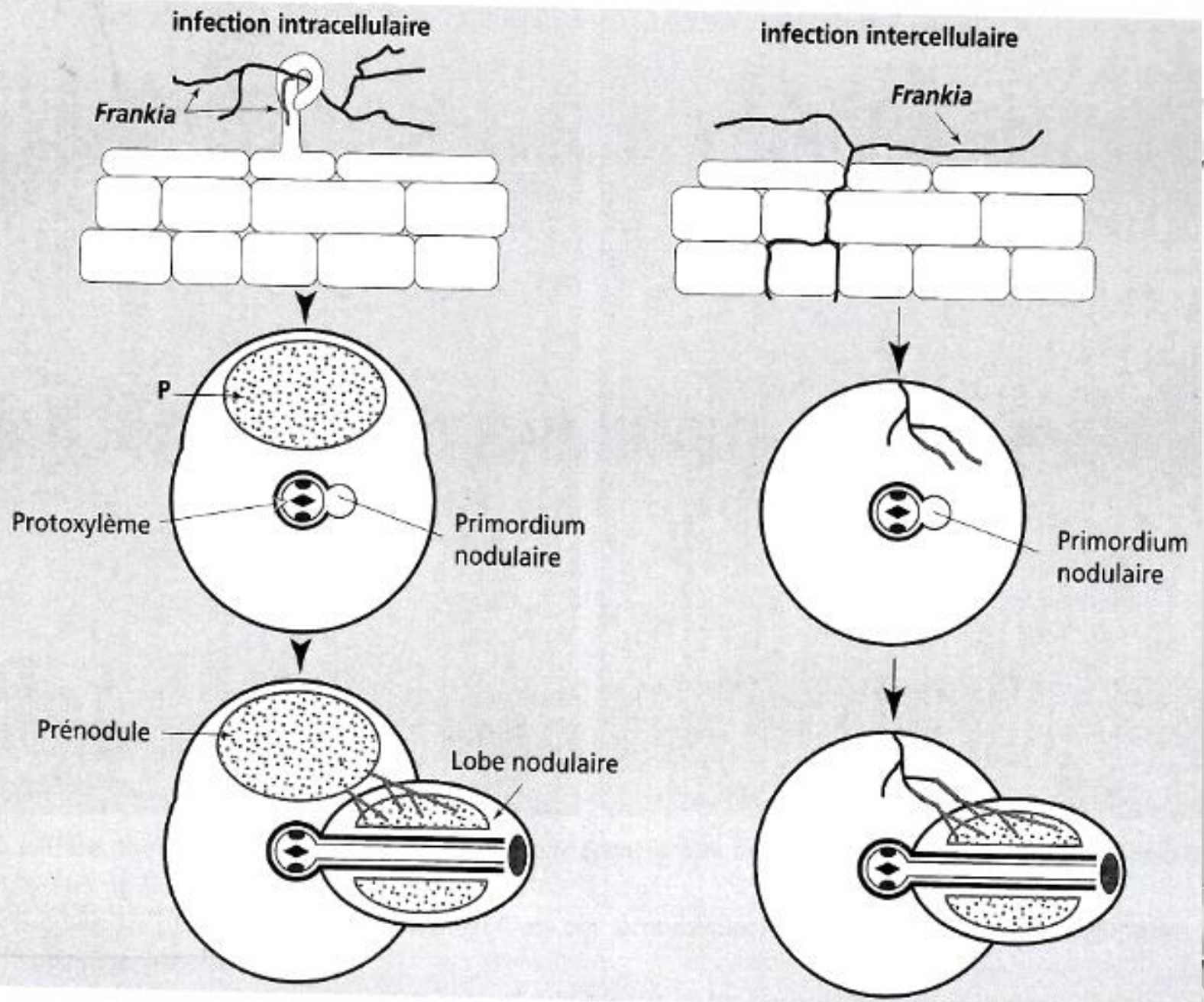




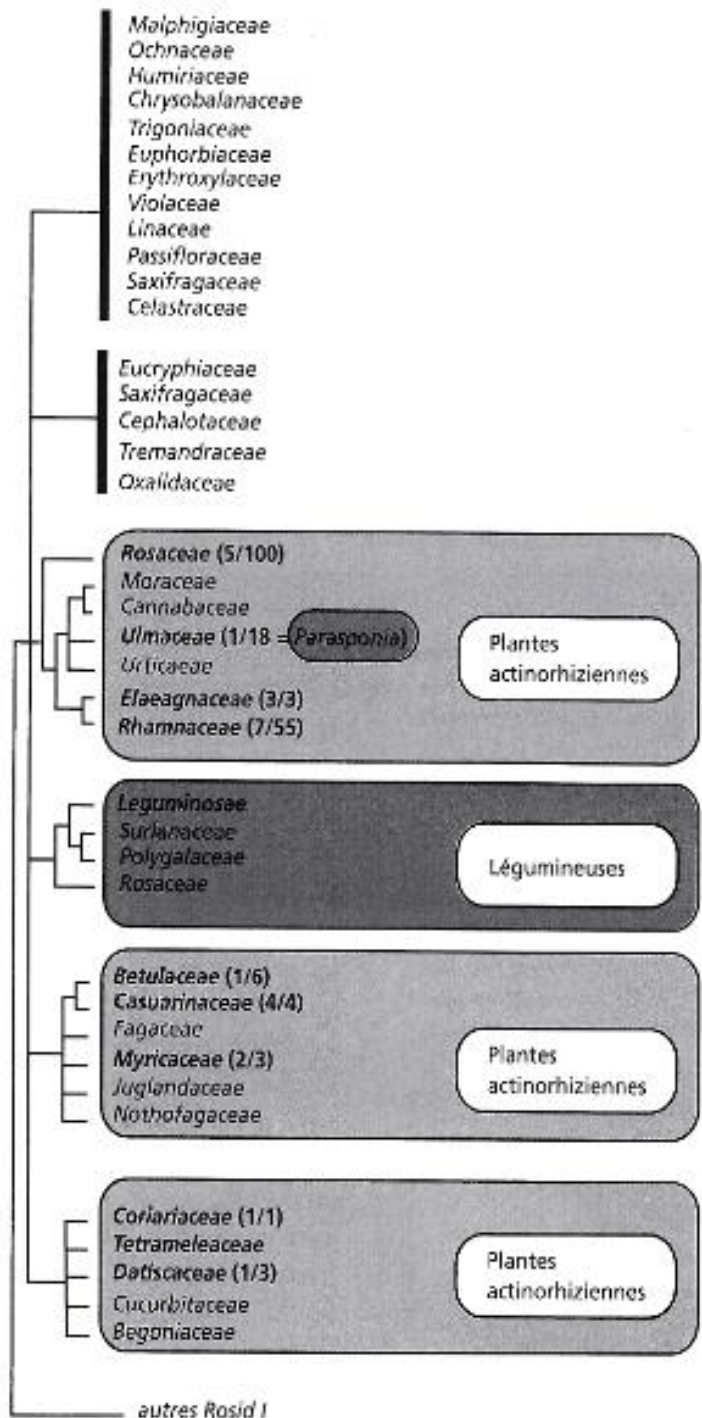
Culture de *Frankia alni* présentant des hyphes (filaments) ramifiées et septées (pourvues de cloisons transversales nommées septum) et des diazovésicules, cellules spécialisées dans la fixation de l'azote (photo Y. Hammad)



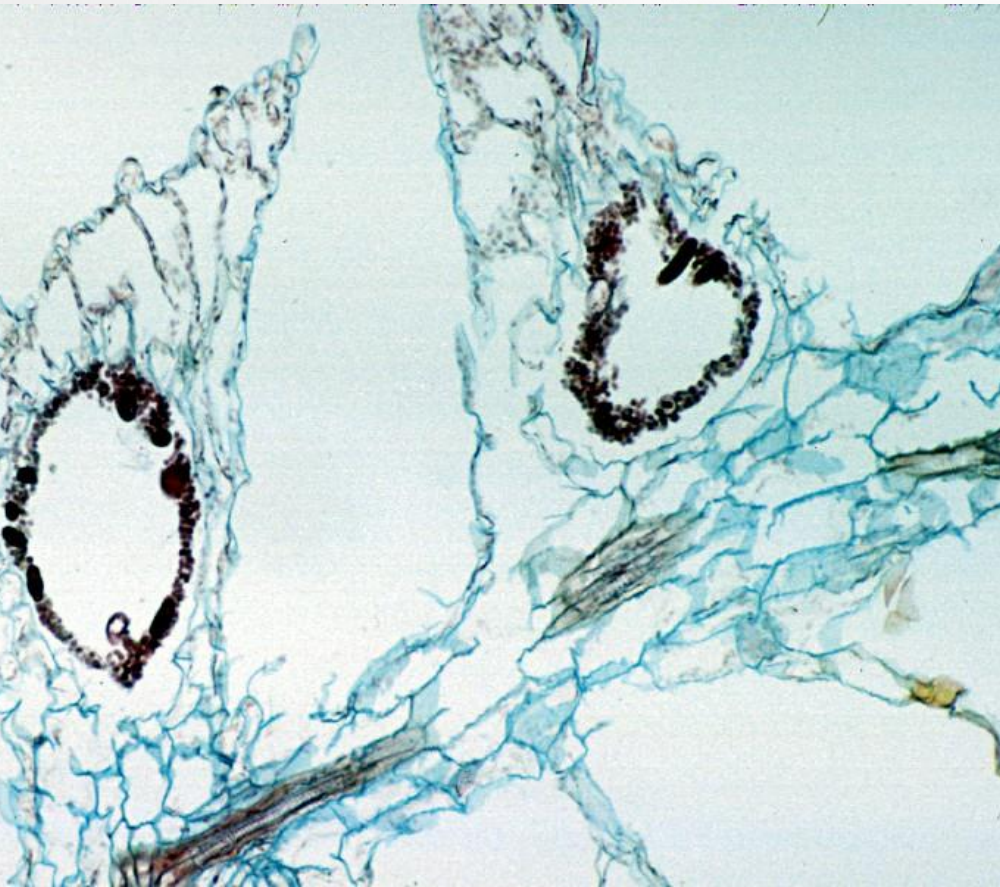
Section longitudinale d'un nodule ramifié de racine d'aulne, coloré de façon à mettre en évidence les grandes cellules corticales remplies de diazovésicules. Le diamètre basal est de l'ordre de 2 millimètres. (photo P. Normand)



**2.35** Mécanismes d'infection et organogenèse nodulaire chez les plantes actinorhiziennes.



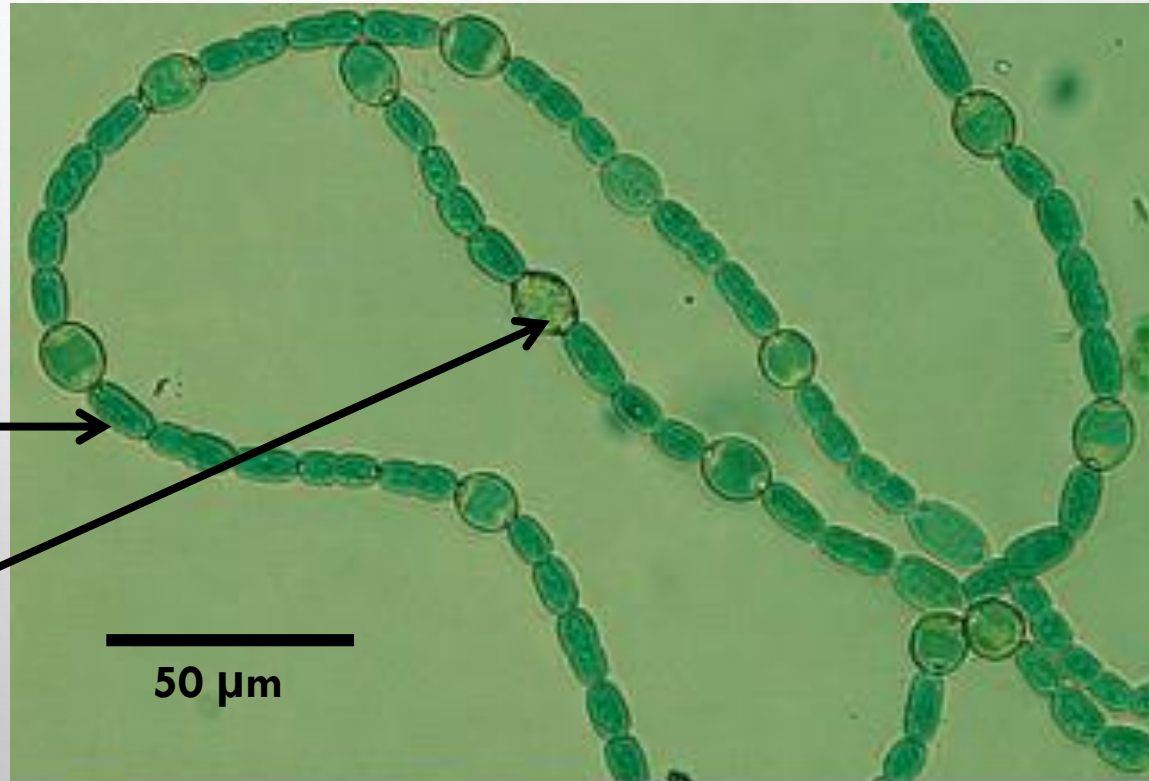
*La symbiose Azolla - Anabaena*



## Fougère aquatique : *Azolla*



## Cyanobactérie: *Anabaena azollae*



Cellule végétative



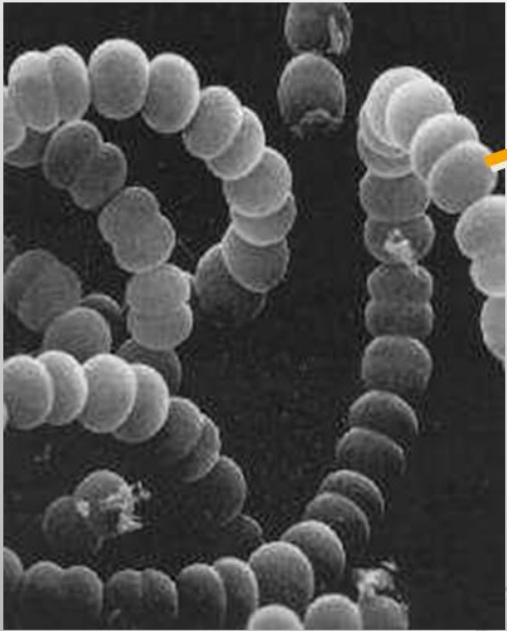
Hétérocyste



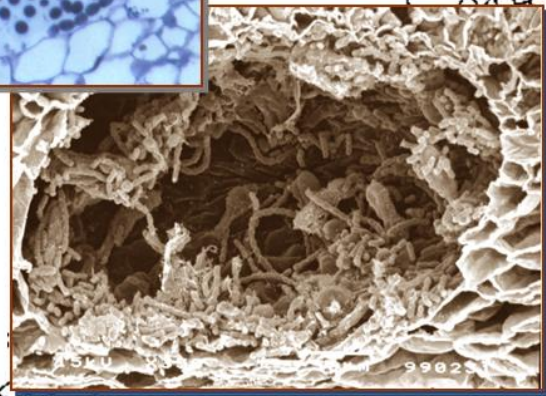
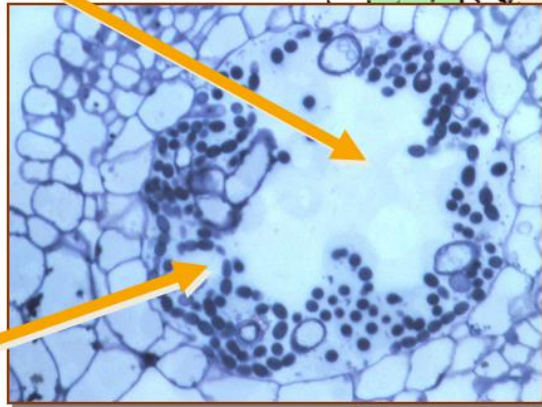
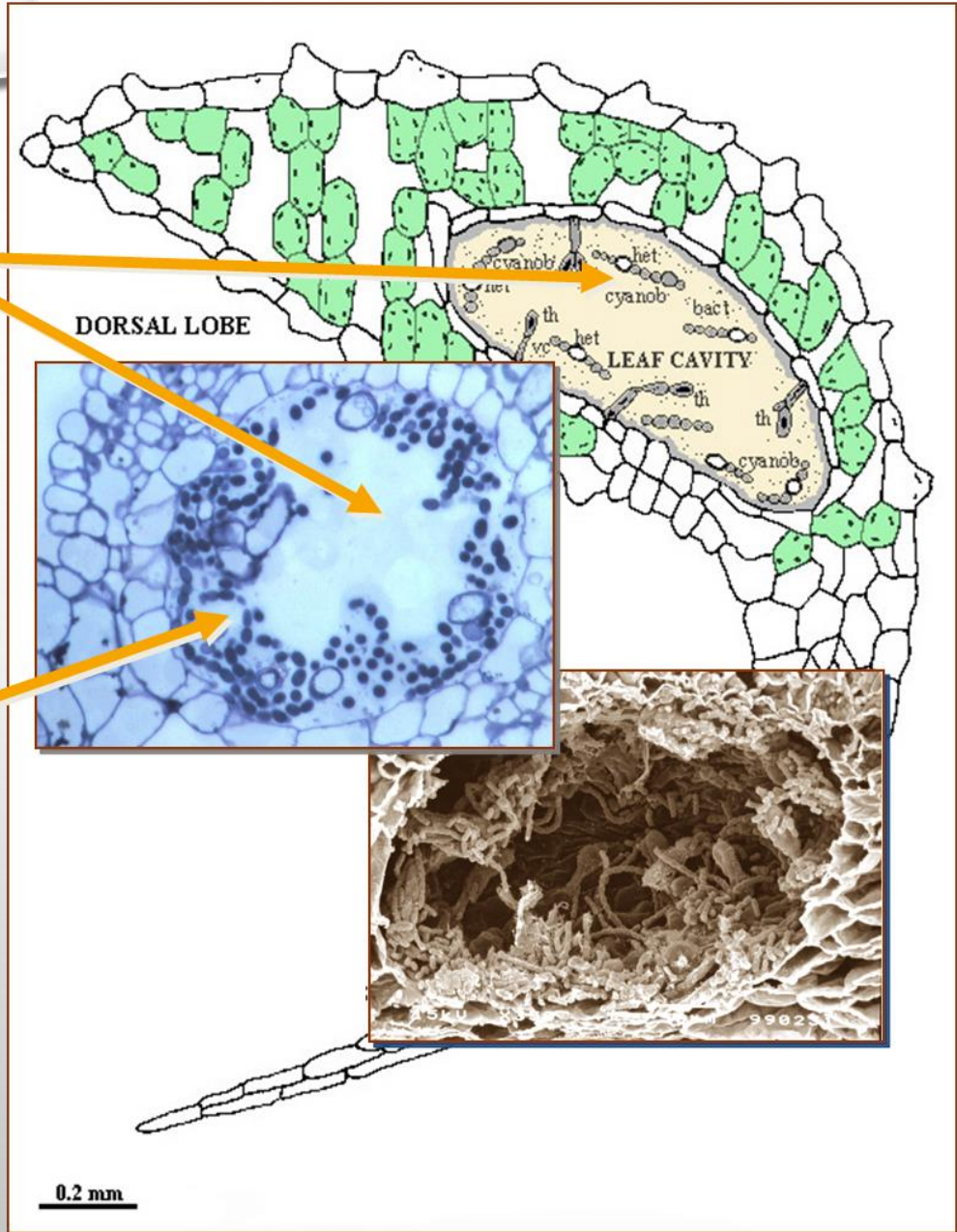
50 μm



***Azolla* leaf**



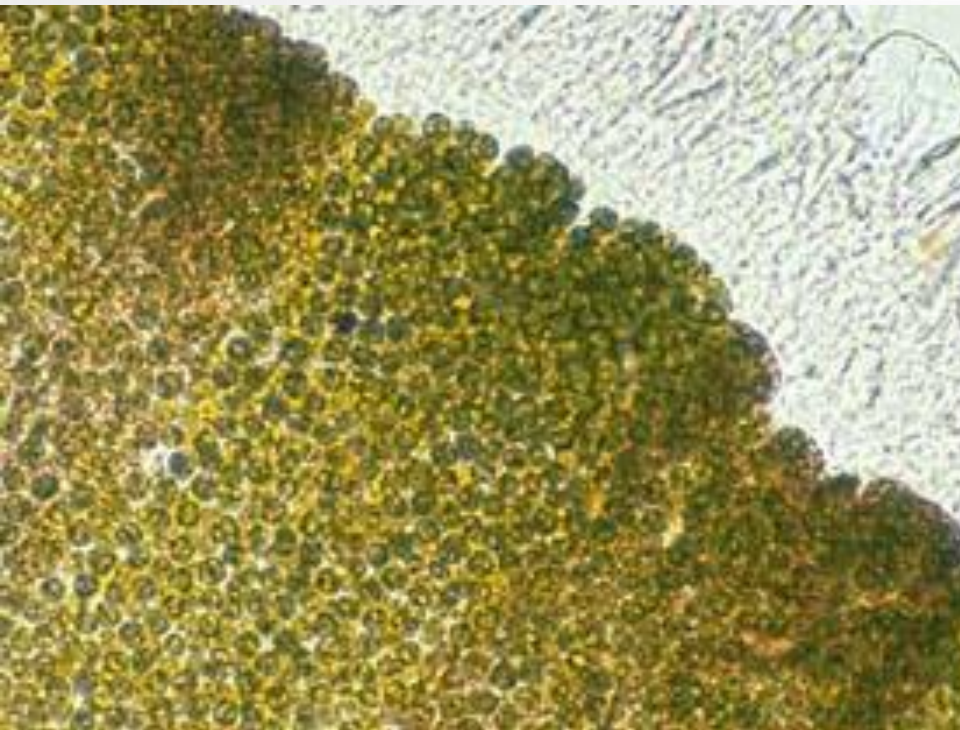
***Anabaena***



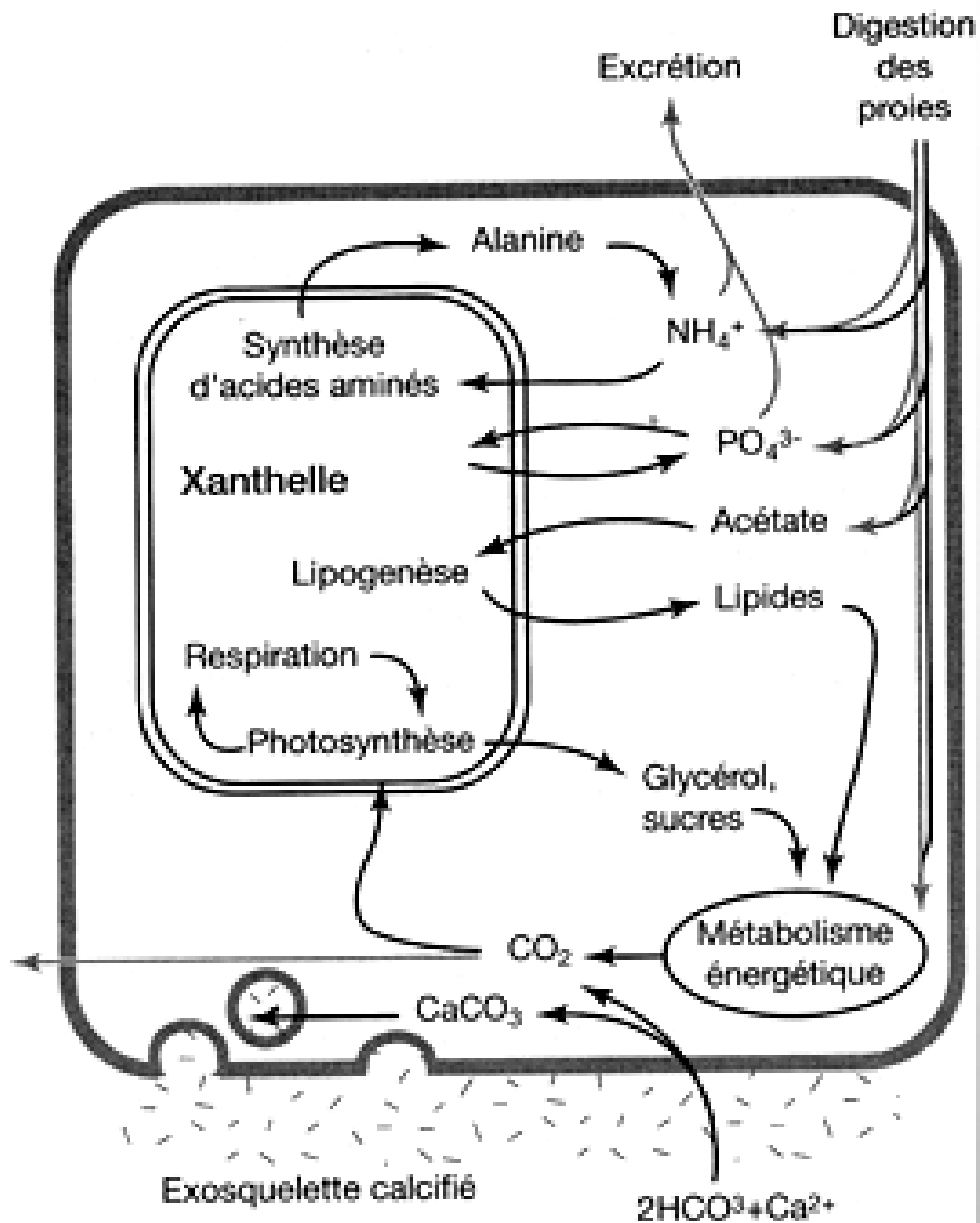


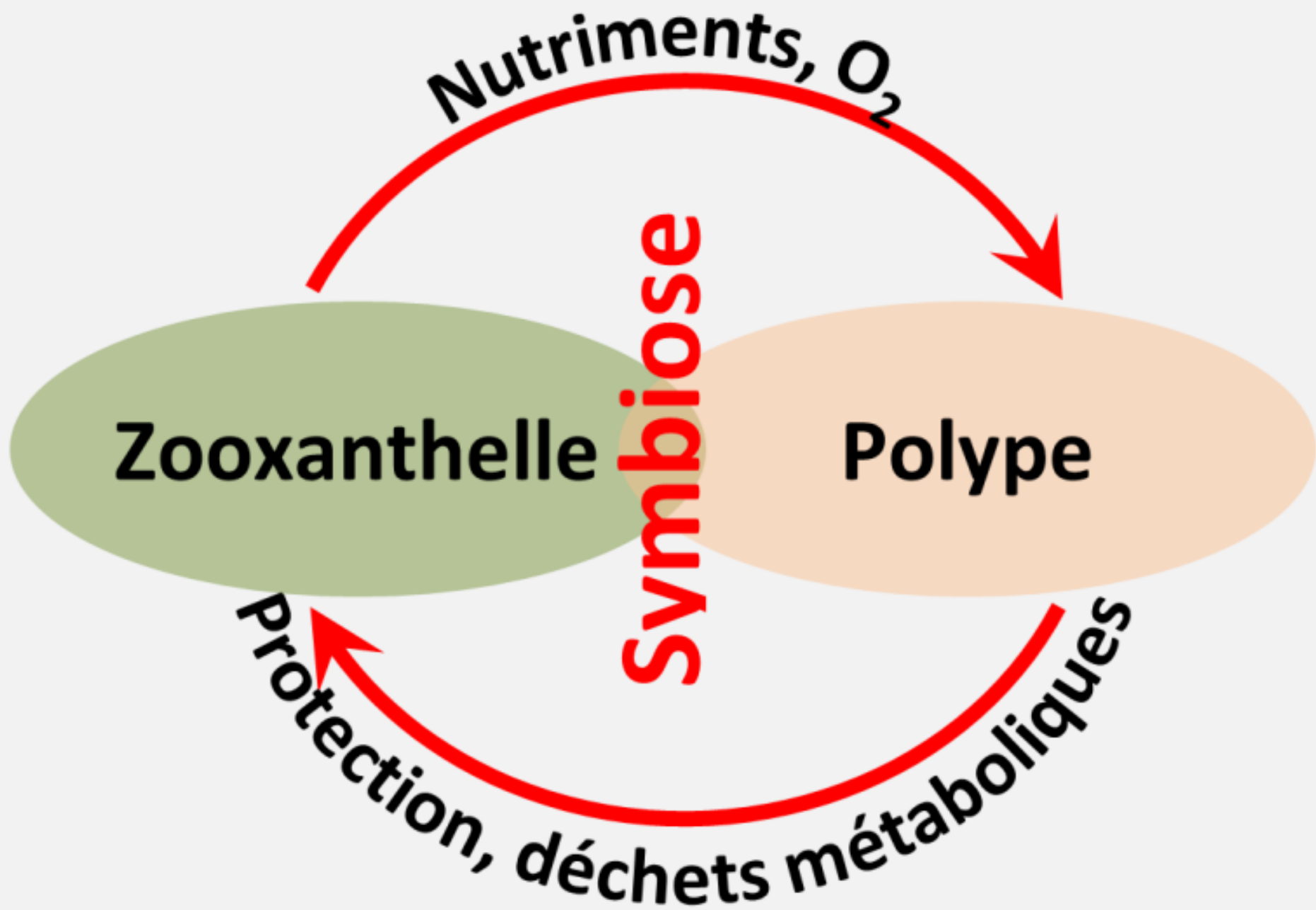
**Utilisation en  
riziculture :**

**Enfouissement à  
l'aide d'une houe  
rotative manuelle  
d'Azolla**







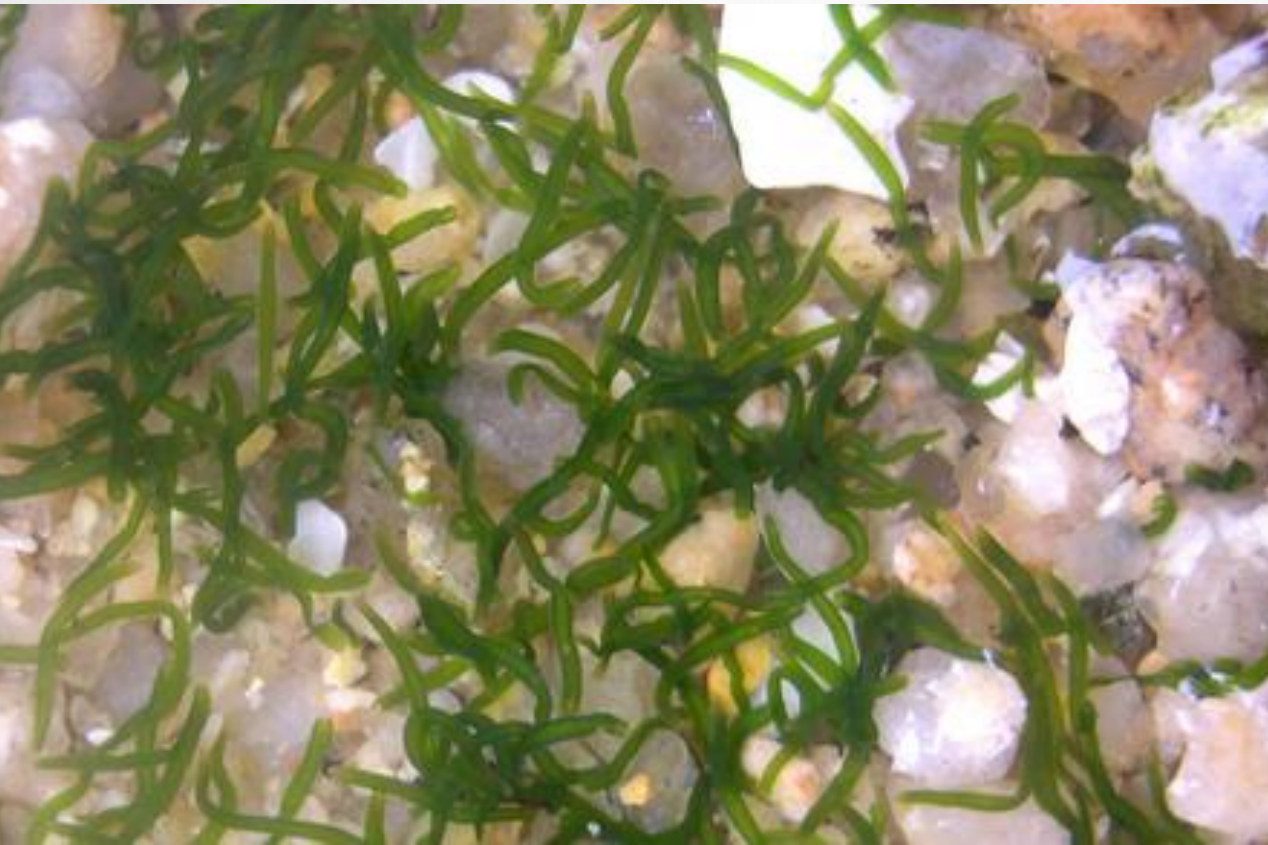


## Le blanchiment des coraux



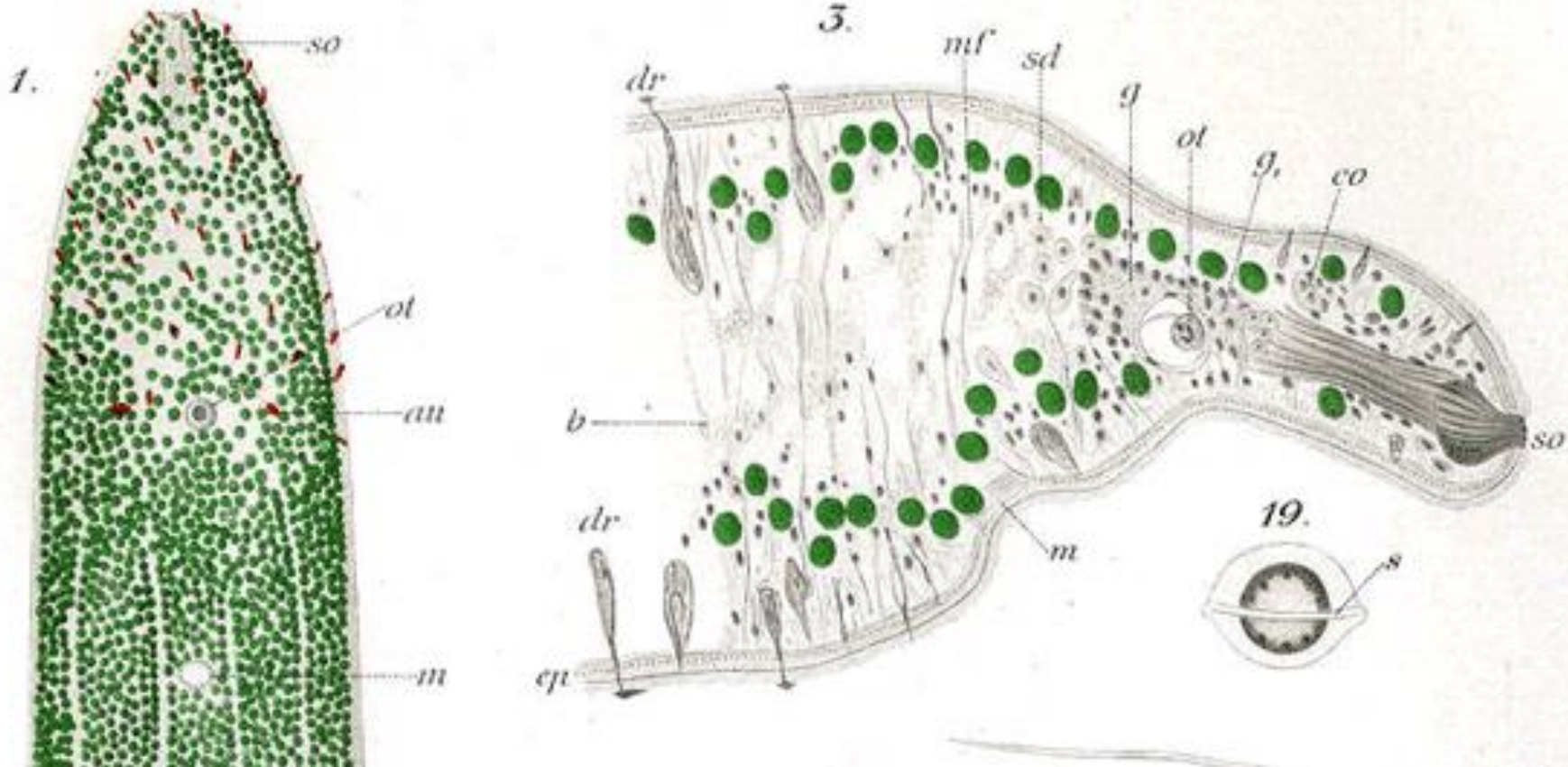
# SYMBIOSE PLATHELMINTHE ET ALGUE

- *SIMSAGITTIFERA ROSCOFFENSIS* OU *CONVOLUTA ROSCOFFENSIS*



# Vert plat de Roscoff : *Symsagittifera roscoffensis*

L.v.GRAFF, 'Acoelen



# BILAN :

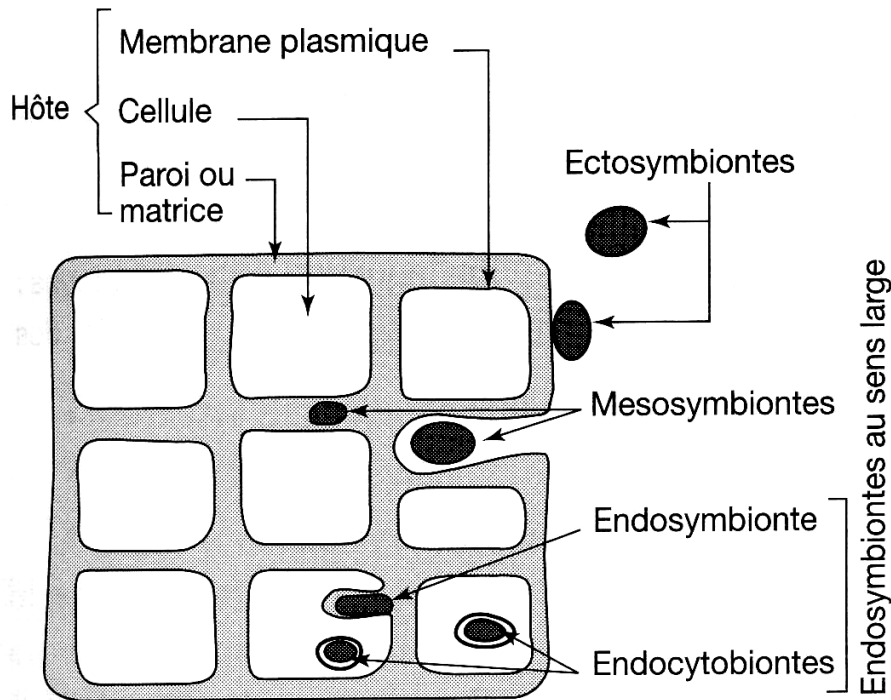


FIGURE 2.1. LES DIFFÉRENTS CONTACTS ENTRE SYMBIOTES.

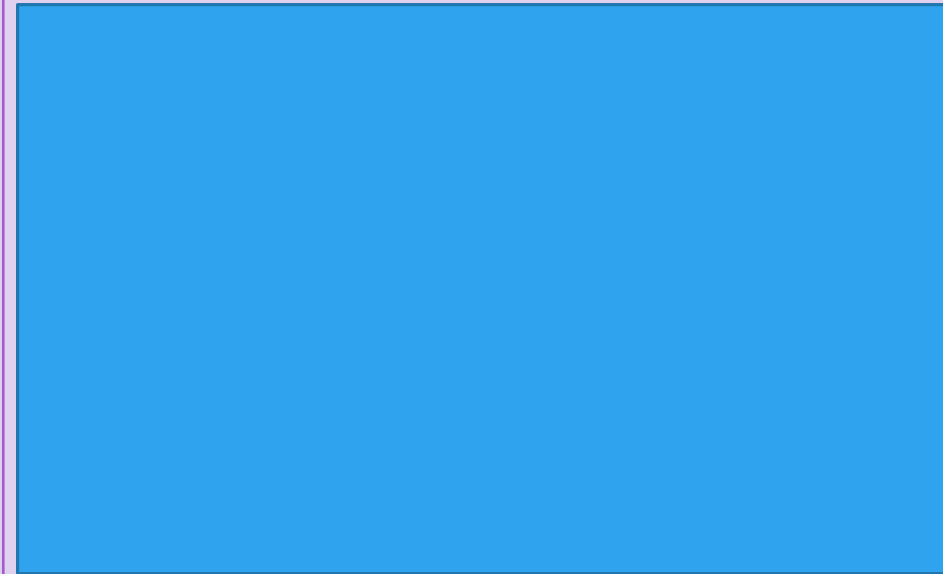
TYPE	Situation des deux symbiotes A et B	Exemple
Ectosymbiose	A et B ensemble, mais seulement juxtaposés ou en contact superficiel	Lichens
Mésosymbiose	A dans une cavité de B, voire entre les cellules de B	Rumen*
Endosymbiose	A en partie dans une invagination du plasmalemme de B	Actinorhizes*
Endocytobiose	A dans les vésicules d'endocytose des cellules de B	Nodosités

TABLEAU IV. LES PRINCIPAUX TYPES MORPHOLOGIQUES DE SYMBIOSE (voir figure 2.1).

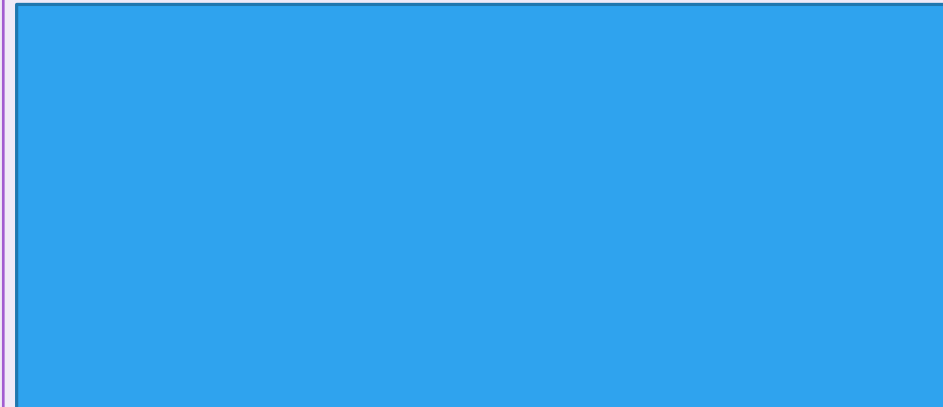
**Structure de l'association (approche morpho-anatomique)**



**Fonctionnement de l'association (approche physiologique)**



**Mise en place et maintien de l'association**



## PROTECTION et DÉFENSE

anti-pathogène

*Phytoalexines*

limitation de la déshydratation

*Cires, cutine*

anti-herbivore  
anti-pathogène

*Flavonoïdes*

*Polyphénols*

*Alcaloïdes*

*Tanins*

limitation de la déshydratation

*Lignine*

*Subérine*

*Tanins*

## ATTRACTION

*Terpénoïdes*

*Caroténoïdes*

*Flavonoïdes*

pollinisateurs  
disséminateurs

*Terpénoïdes*

Alerte à distance

*Terpénoïdes*

*Salicylate*

prédateurs  
d'herbivores

*Polyphénols*

Allélopathie

*Flavonoïdes*

microorganismes

