

**La double symbiose  
rhizobienne (bactéries)  
et  
mycorhizienne (champignons)**

# La symbiose rhizobienne : bactéries type Rhizobium

la nodosité racinaire = réacteur biologique de production d'azote

organe végétal spécifique où prolifèrent des bactéries Rhizobium

fixatrices de l'azote de l'air



azote atmosphère  
 $N_2$  inerte



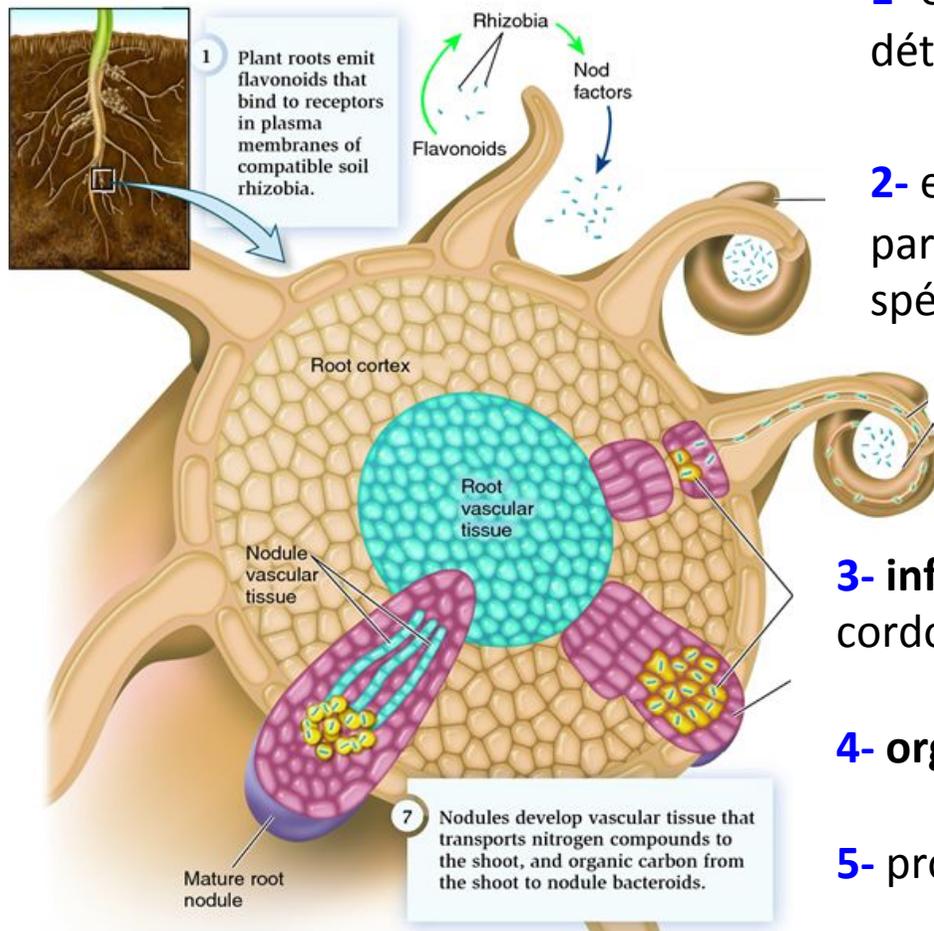
azote  $NH_4$  réactif  
Rhizobium



photosynthétats  
légumineuse

# La symbiose rhizobienne : bactéries type Rhizobium

## Nodulation des racines



1- excrétion dans le sol de **flavonoïdes** racinaires détectés par certains rhizobiums (**spécificité**)

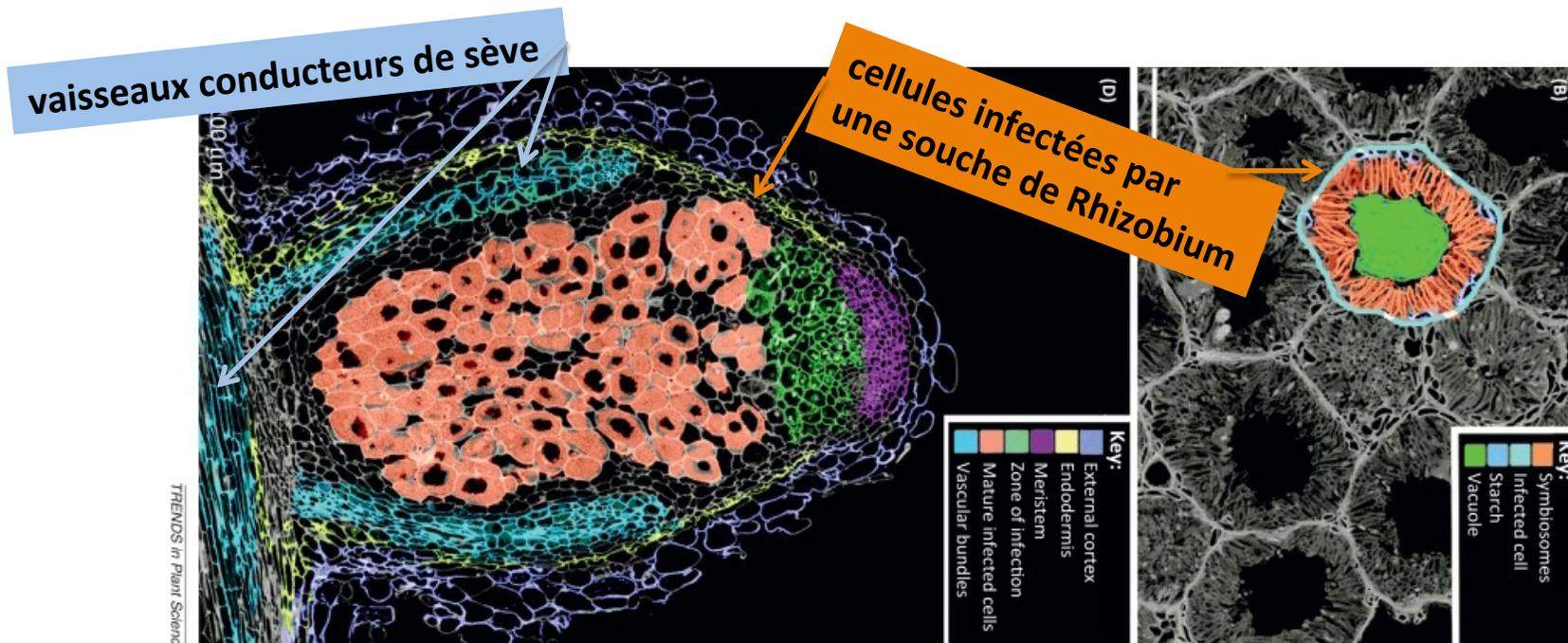
2- en réponse, excrétion de **facteurs Nod** par les **Rhizobiums réceptifs** spécifiquement détectés par la plante

3- **infection** via les poils absorbants : cordon débouchant dans le cortex

4- **organogenèse** des nodosités (prolifération cellulaire)

5- prolifération intracellulaire des Rhizobiums et production de l'enzyme **nitrogénase** qui assure la fixation d'azote

# La symbiose rhizobienne : bactéries type Rhizobium



**1 souche unique /nodosité**  
**MAIS diversité de souches=cortège /système racinaire**

**Durée de vie moyenne d'une nodosité : < 1 mois**

**Nodulation inhibée** si le sol est « riche » en **nitrate**

**Arrêt naturel** de la fixation d'azote : stade **floraison**

# La symbiose rhizobienne : bactéries type Rhizobium



Nodosités actives sur Crotalaire : couleur rose foncé

L'enzyme nitrogénase qui est « le cœur du réacteur » de la fixation d'azote est dénaturée par l'oxygène  $O_2$  !!

la légumineuse et les Rhizobiums co-produisent la **leghémoglobine** molécule très proche de notre hémoglobine !

La leghémoglobine séquestre localement l' $O_2$  et préserve ainsi l'activité de la nitrogénase.

# La symbiose rhizobienne : bactéries type Rhizobium

L'efficacité de fixation  $N_2$   
est très variable entre souches rhizobiennes...

**biodiversité** naturelle des sols en souches rhizobiennes plus ou moins efficaces

+

**compétitivité** entre souches pour l'accès aux racines

---

= **difficulté** d'assurer une fourniture d'azote optimale

d'où recours possible aux **inoculations rhizobiennes au champ**

Cas extrême du **soja** en **France** : absence de souches compatibles dans nos sols !!

# La symbiose rhizobienne : bactéries type Rhizobium

De plus, le coût énergétique de la fixation d'azote est élevé

4 à 5 g de C pour fixer 1 g N

procédé industriel « Haber-Bosch » énergivore lui aussi :  
2 kg pétrole pour 1 kg N fixé

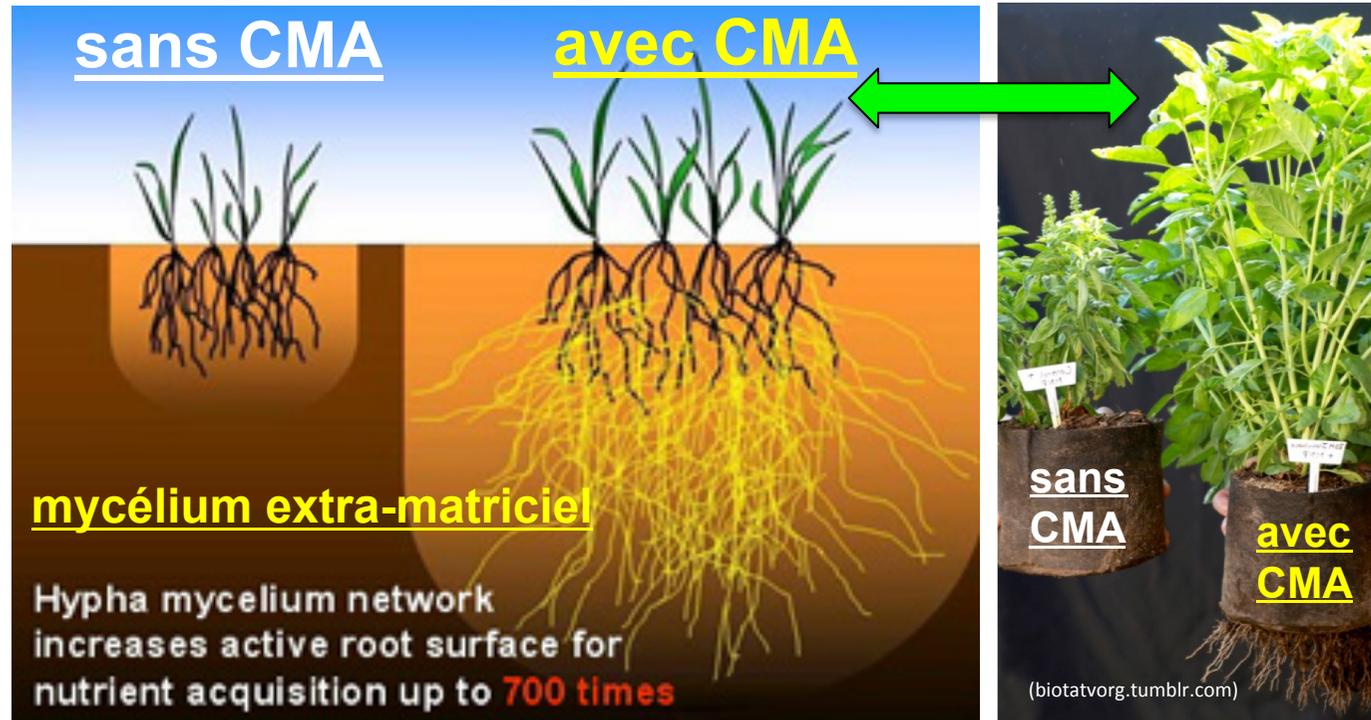
Or, la forme principale d'énergie cellulaire = molécule **ATP**  
avec **P = phosphore**

La fixation d'azote est donc très dépendante  
des ressources du sol en **phosphore**

...rôle bénéfique de la **symbiose mycorhizienne !**

# La symbiose mycorhizienne : Champignons Mycorhiziens à Arbuscules CMA

pas de fructifications pour les CMA !



Le mycélium augmente la surface de contact racines/sol donc la quantité de minéraux (phosphore !) et d'eau absorbés

de 1 à 50 m de mycélium /g de sol contre 5 cm de racines

nutriments : P-N-Zn...H<sub>2</sub>O

CMA

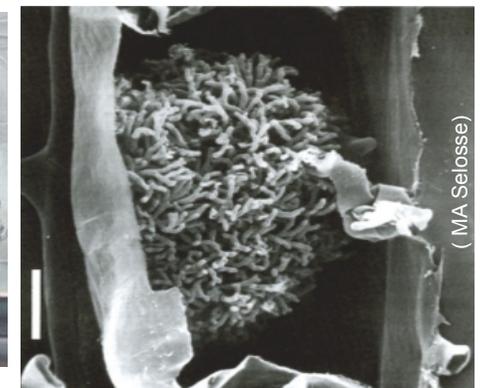
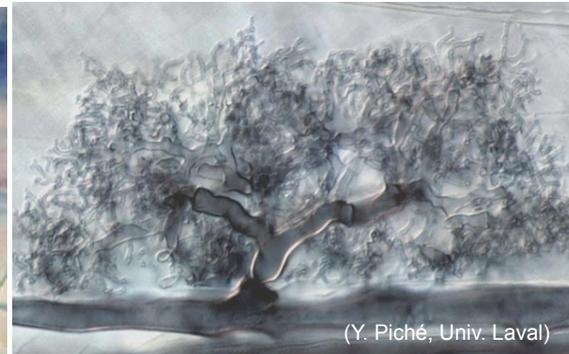
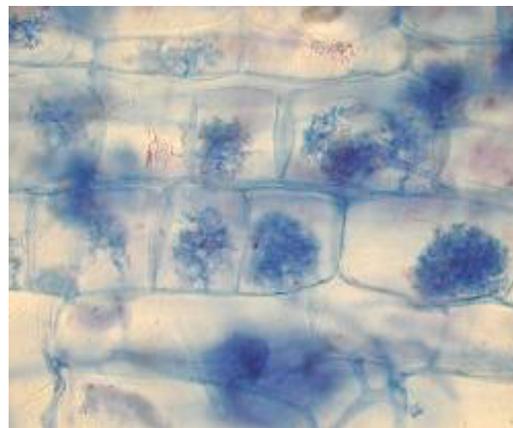
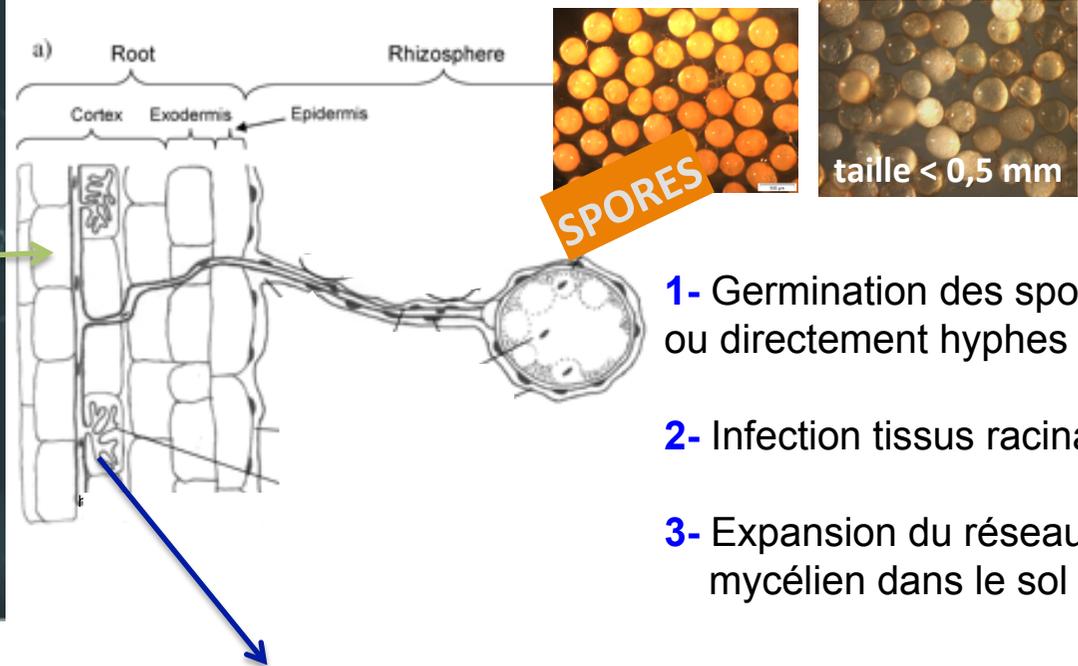
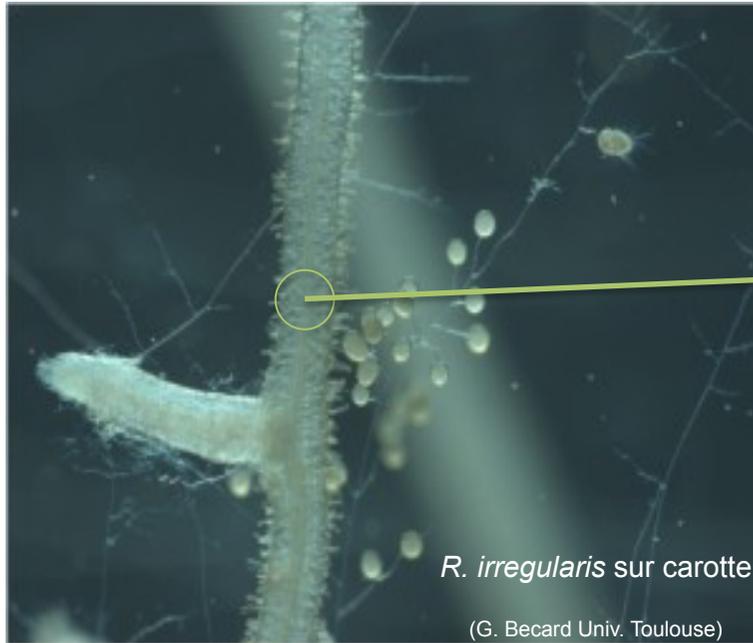
symbiose

photosynthétats

légumineuse

# La symbiose mycorhizienne

## Mycorhization des racines



# La symbiose mycorhizienne

## Contrairement à la symbiose rhizobienne

### **symbiose à CMA quasiment universelle**

sauf les familles : Brassicaceae (ex. colza, choux, radis, moutarde, navet, rutabaga),  
Chenopodiaceae (ex. betterave, épinard), Polygonaceae (sarrasin, rhubarbe,  
oseille), Caryophyllaceae, Juncaceae, Proteaceae

+

**pas de spécificité d'hôte végétal**

+

**famille** fongique unique et **exclusive** : les Gloméromycètes

+

CMA **biotrophes obligatoires** des végétaux = vie indépendante isolée dans le sol impossible

## Comme avec la symbiose rhizobienne

communication moléculaire plante/CMA, étape par étape

**différentes souches CMA /système racinaire = cortège mycorhizien diversifié**

**efficience symbiotique variable entre souches CMA**

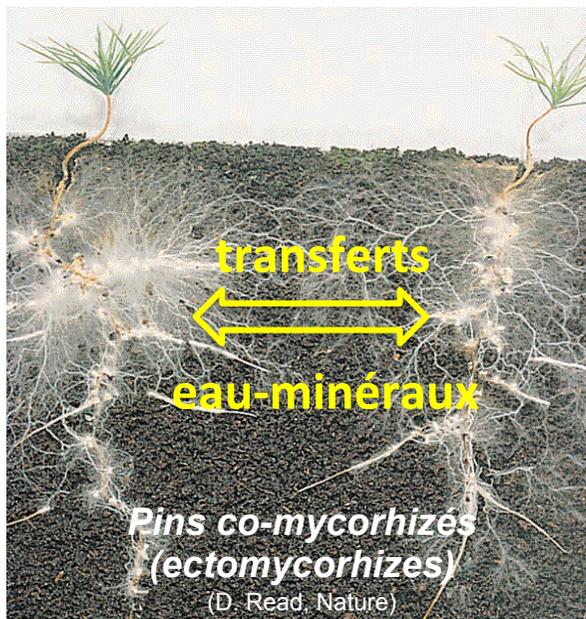
# La symbiose mycorhizienne

## Stimulation de la communauté des CMA

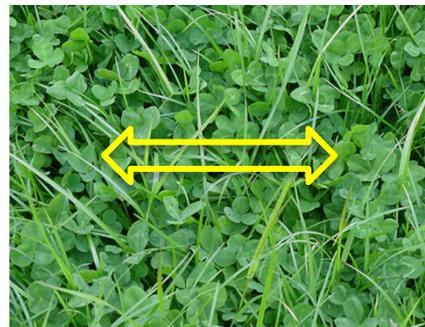
légumineuses **d'avantage mycorhizées** que les graminées  
...**amélioration de la mycorhization** d'autres cultures

## Réseaux mycorhiziens partagés entre légumineuses et espèces associées

**transferts nutritifs entre plantes** (co-cultures céréales-graminées / légumineuses)  
une même souche CMA en symbiose simultanée avec différentes plantes



ray-gras / trèfle



blé / pois

