

La Nutrition Azotée

1. INTRODUCTION
2. LE CYCLE DE L'AZOTE
3. L'AZOTE DANS LA PLANTE
 - 3.1. L'assimilation du nitrate
 - 3.2. L'assimilation de l'ammoniaque
 - 3.3. La conversion de l'azote minéral en azote organique
 - 3.3.1. Voie de l'amination réductrice - GDH
 - 3.3.2. Voie de la glutamine - GS / GOGAT
 - 3.4. Bilan de l'assimilation de l'azote minéral
4. LA FIXATION DE L'AZOTE ATMOSPHERIQUE
 - 4.1. La nitrogénase
 - 4.2. Les fixateurs libres
 - 4.3. La fixation symbiotique : Rhizobiacées - Fabacées

1. Introduction

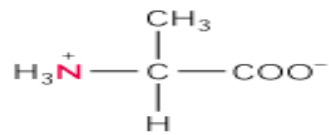
Sous quelles formes ?

- Minérale

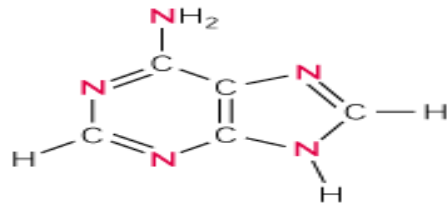
- Diazote : N_2 , Ammoniaque : NH_3 , Nitrite : NO_2^- et Nitrate : NO_3^-

- Organique

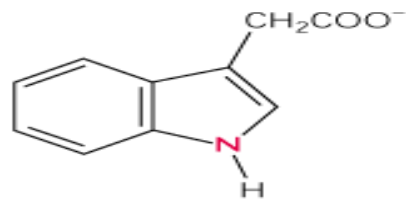
- acides nucléiques
- acides aminés
- cofacteurs
- hormones
- métabolites secondaires, alcaloïdes



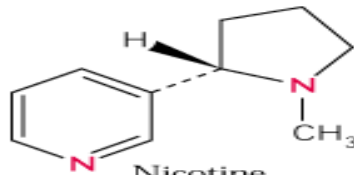
Alanine
(an amino acid)



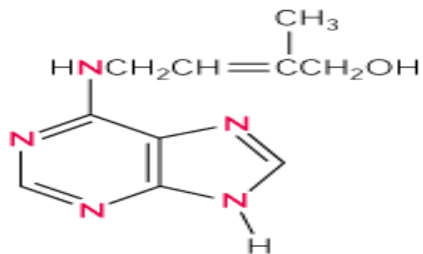
Adenine
(a nucleoside base)



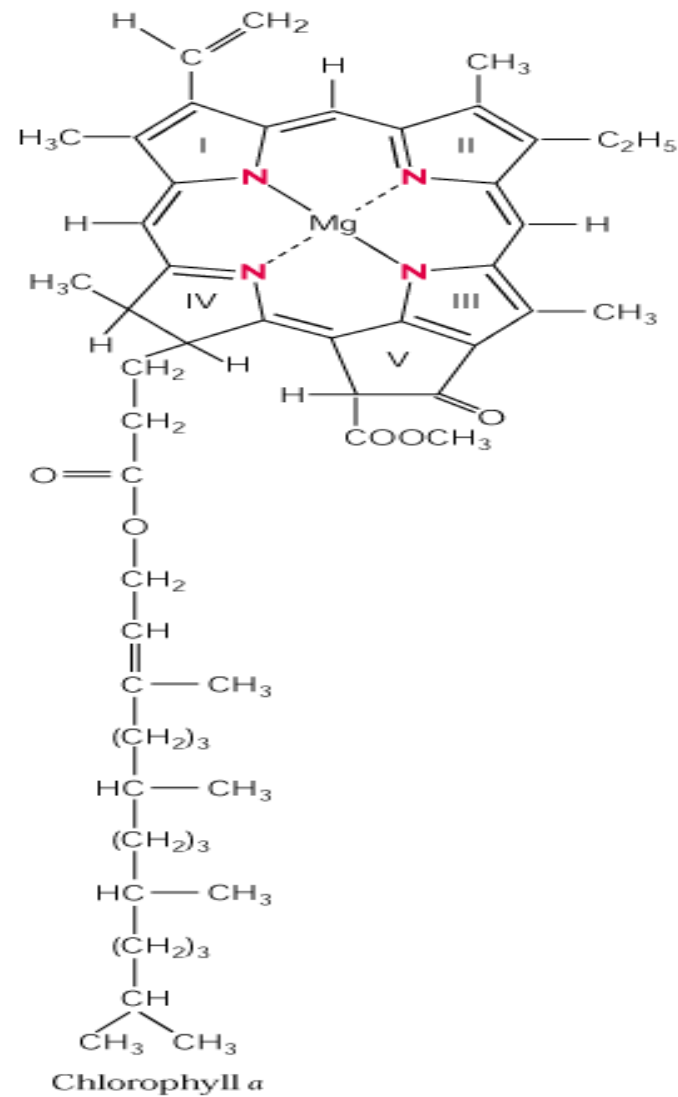
Indoleacetic acid
(IAA, an auxin)



Nicotine
(an alkaloid)

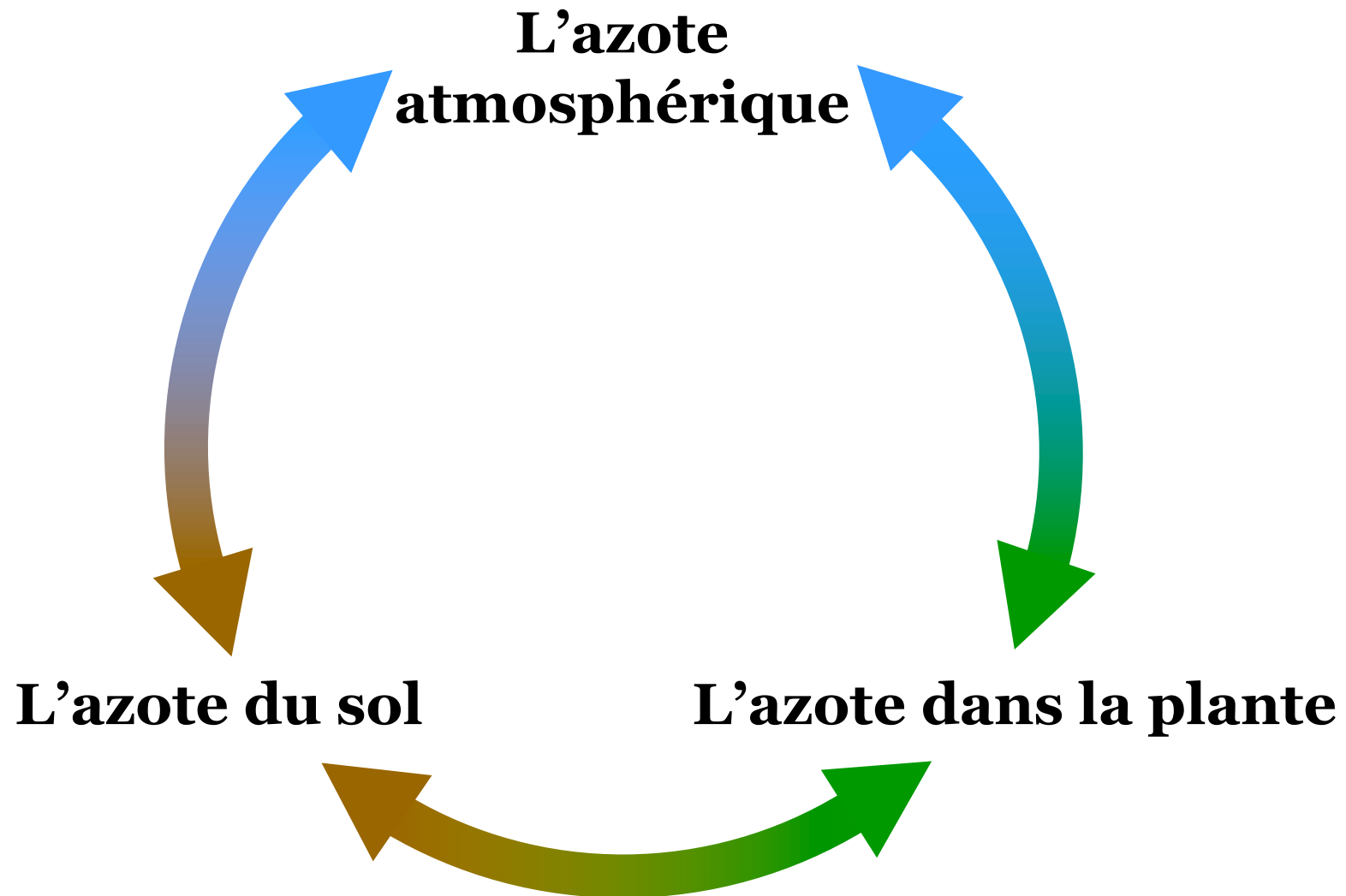


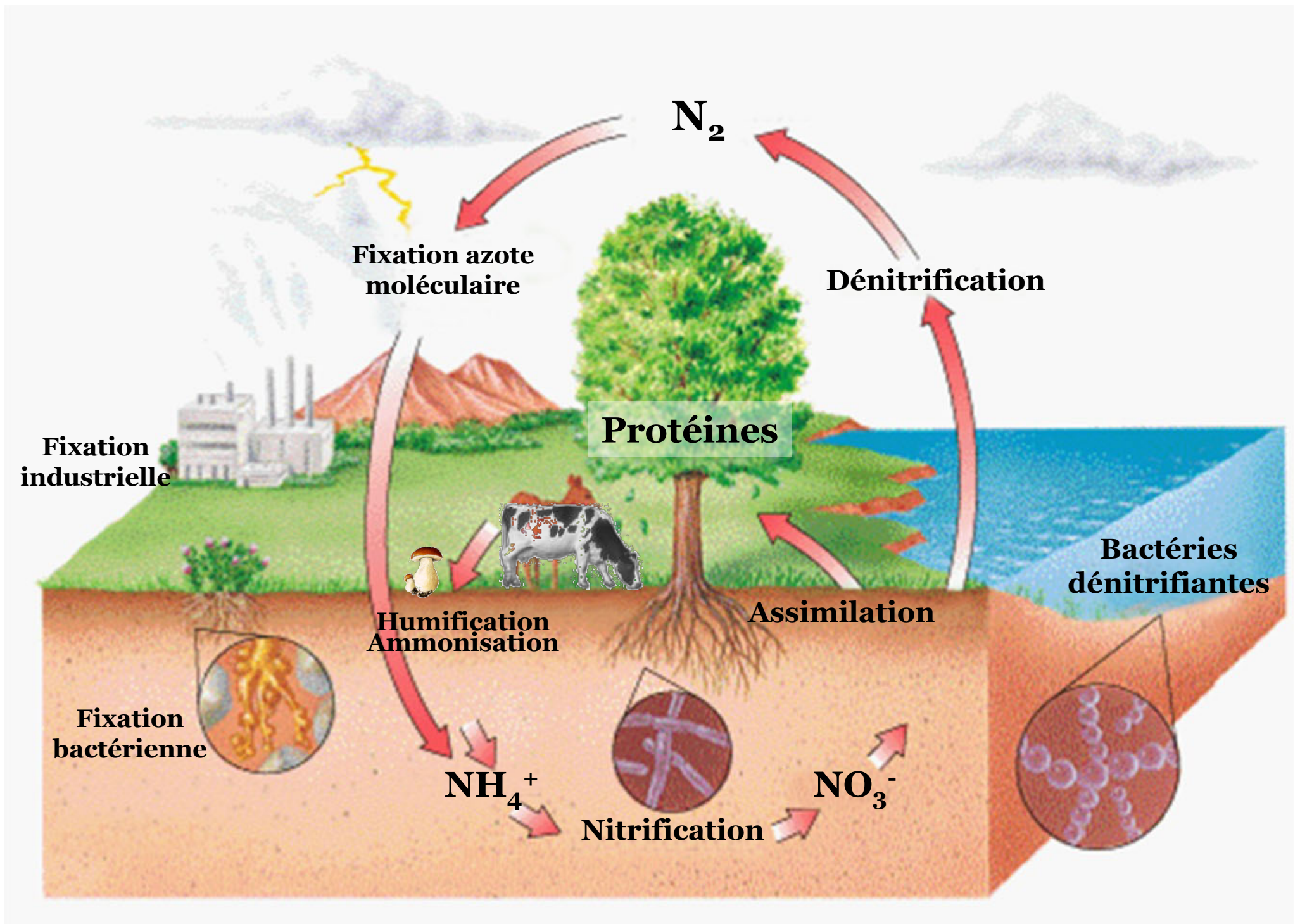
Zeatin (*Zea mays*)
(a cytokinin)



Exemples de molécules azotées

2. Le Cycle de l'Azote





L'HUMIFICATION : décomposition de matière organique par des microorganismes

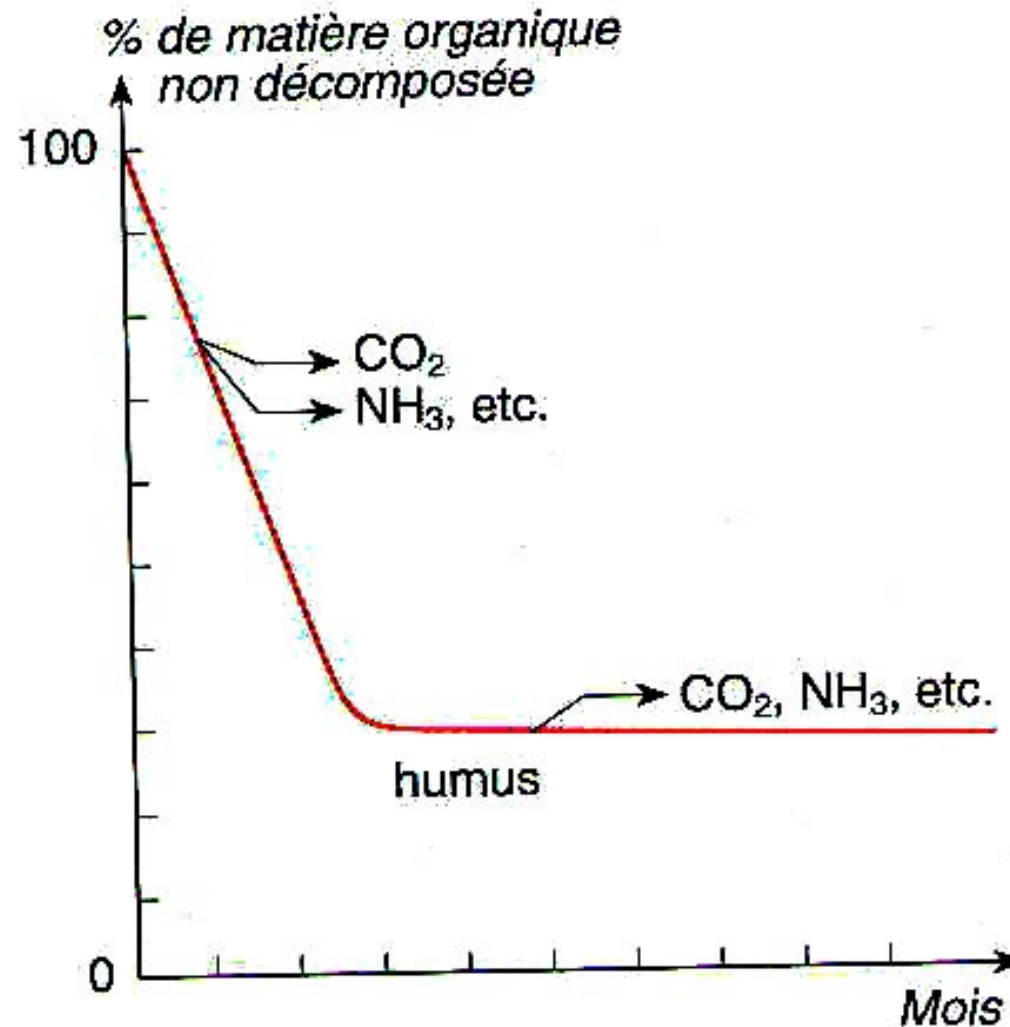


Figure 8-1. Humification.

LA MINERALISATION : l'humus subit une minéralisation en 2 étapes

1. L' Ammonisation : bactéries ammonifiantes

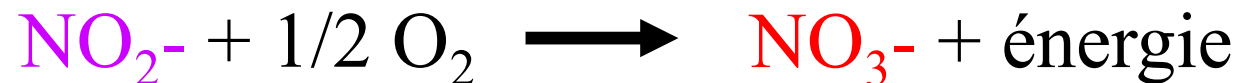


2. La Nitrification : bactéries nitrifiantes chimiotrophes

La Nitrosation : bactéries nitreuses - Nitrosomonas



La Nitratisation : bactéries nitriques - Nitrobacter

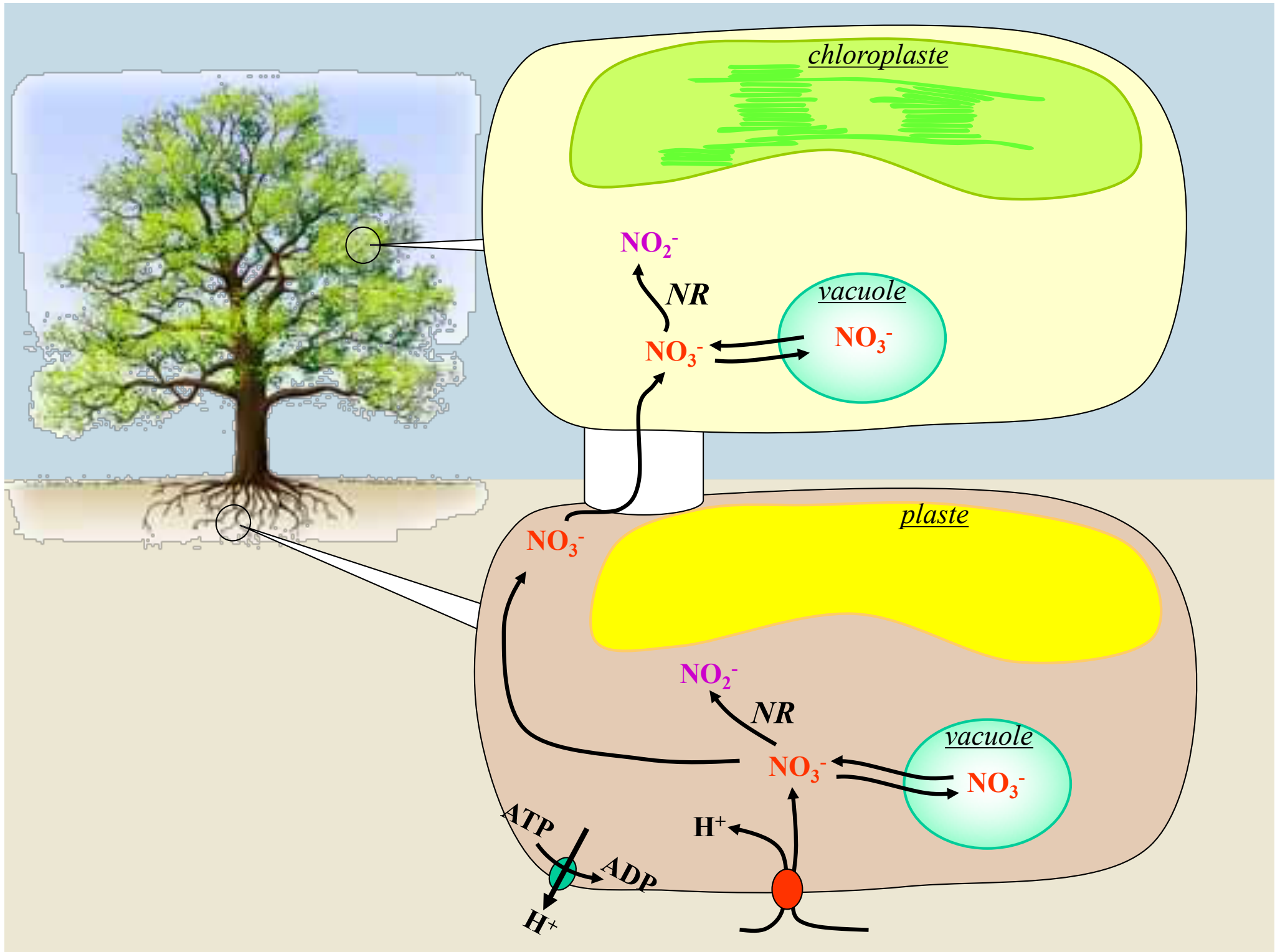


3. L'azote dans la plante

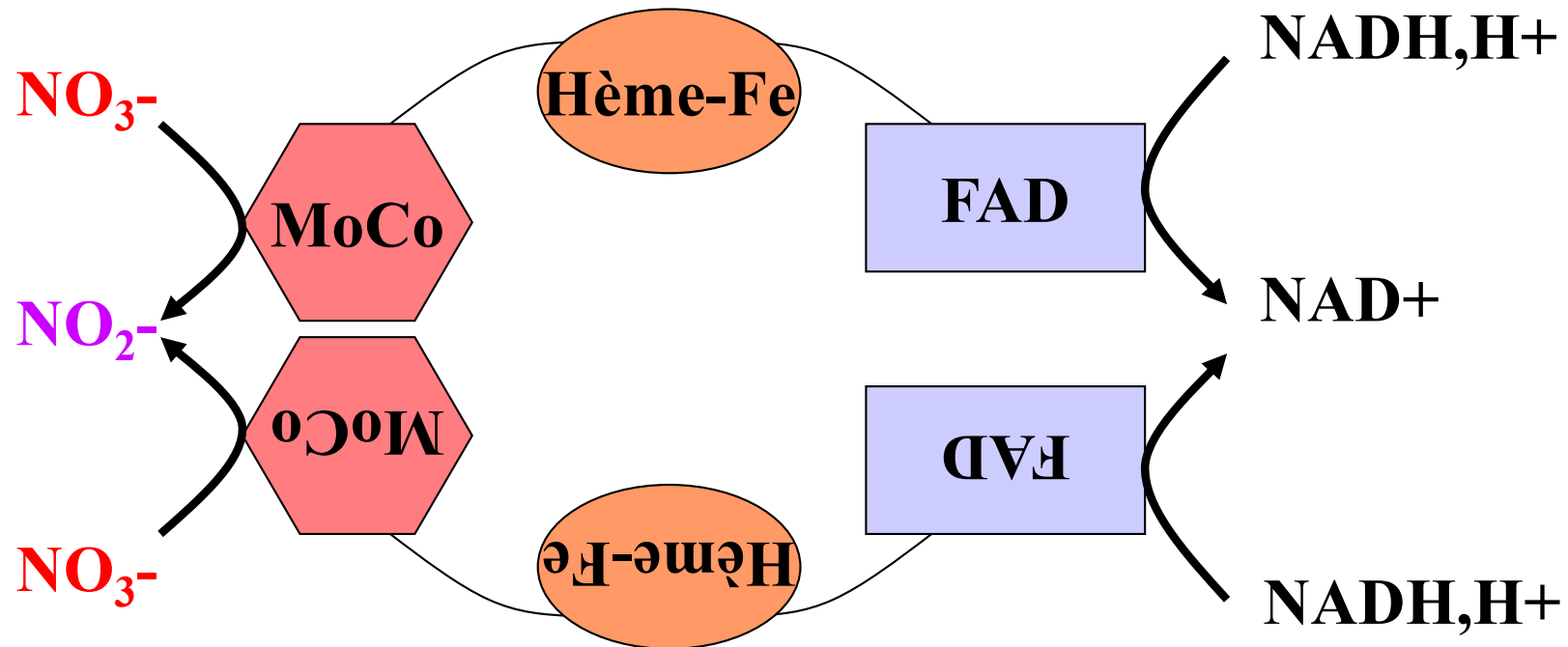
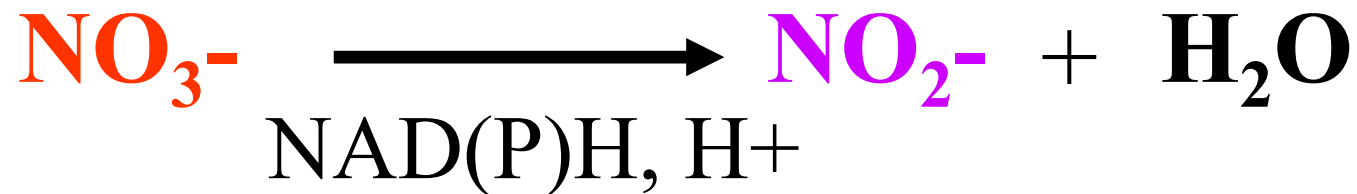
Assimilation de formes combinées de l'azote

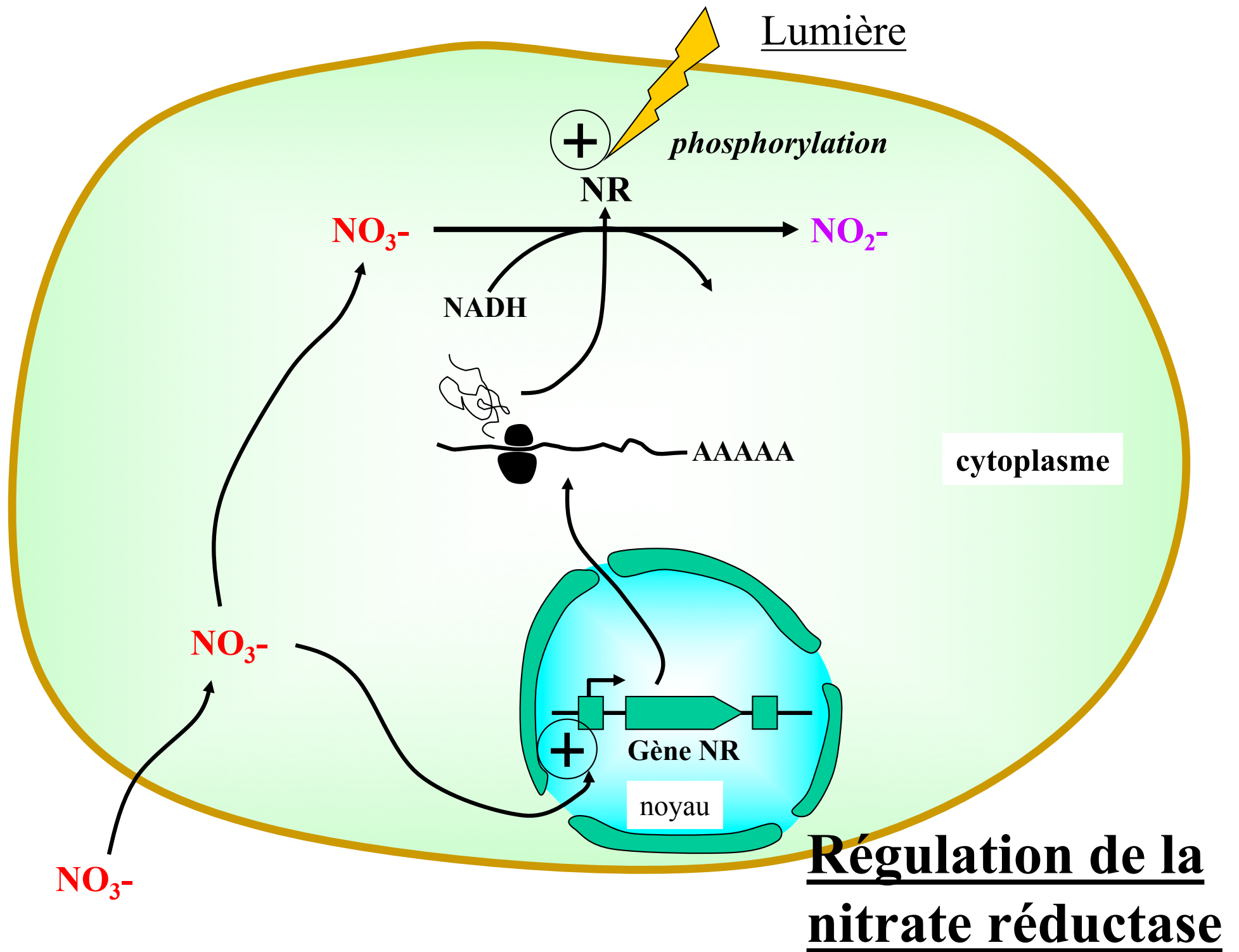
NO_3^- ou NH_4^+ , rarement N organique

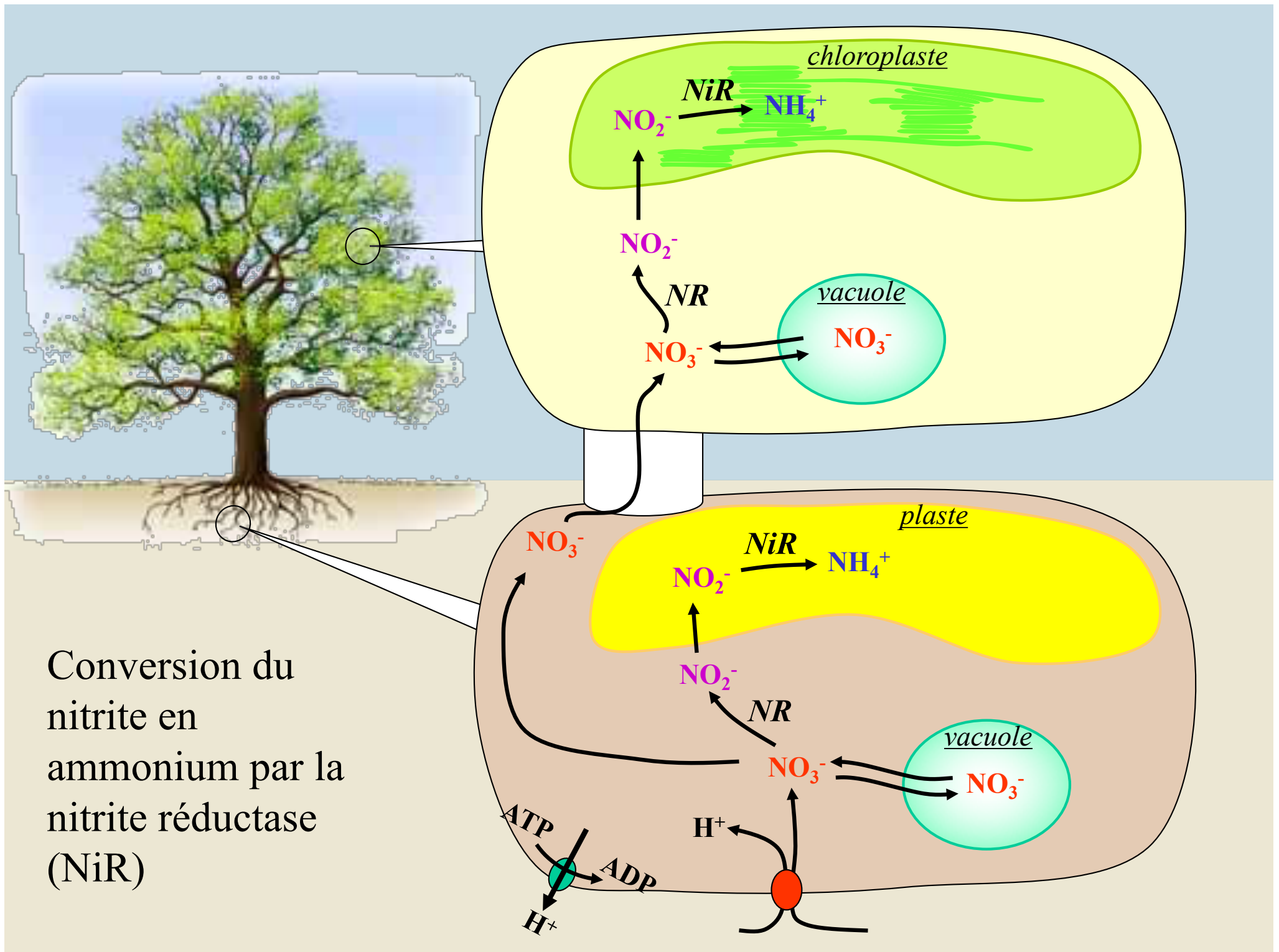
3.1. Assimilation du nitrate



LA REDUCTION DU NITRATE EN NITRITE par la nitrate réductase (NR)

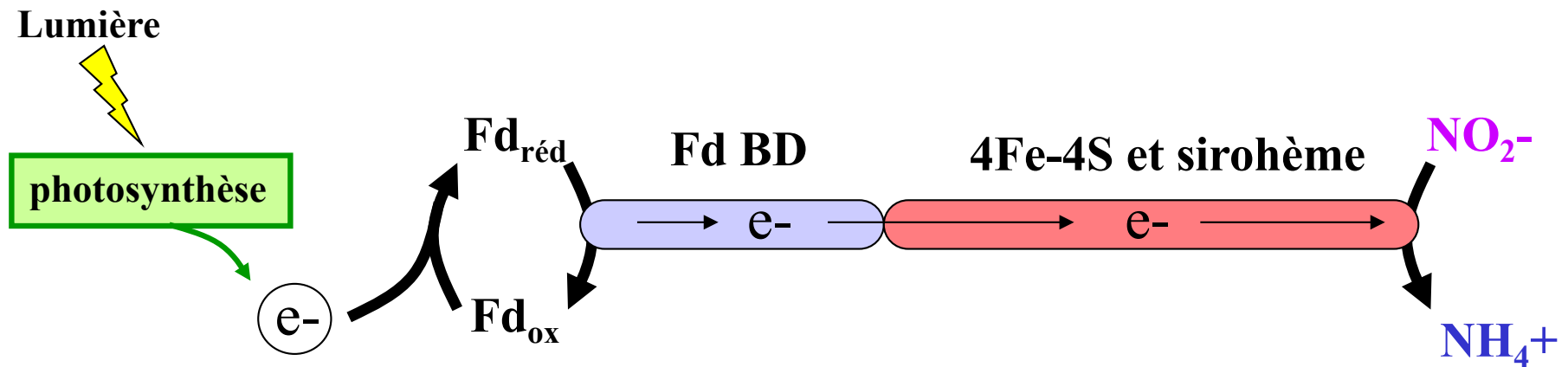
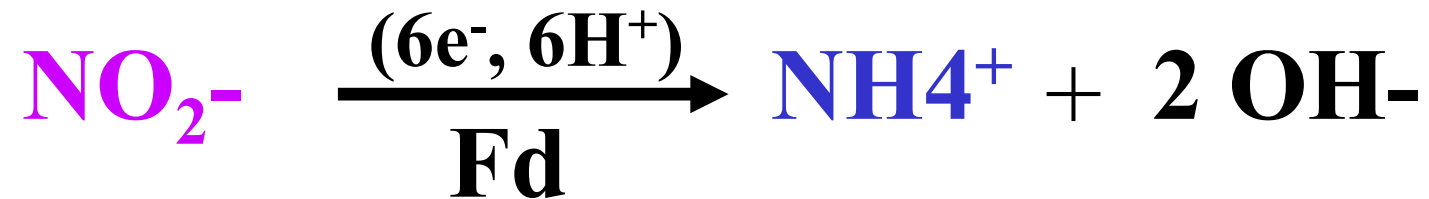


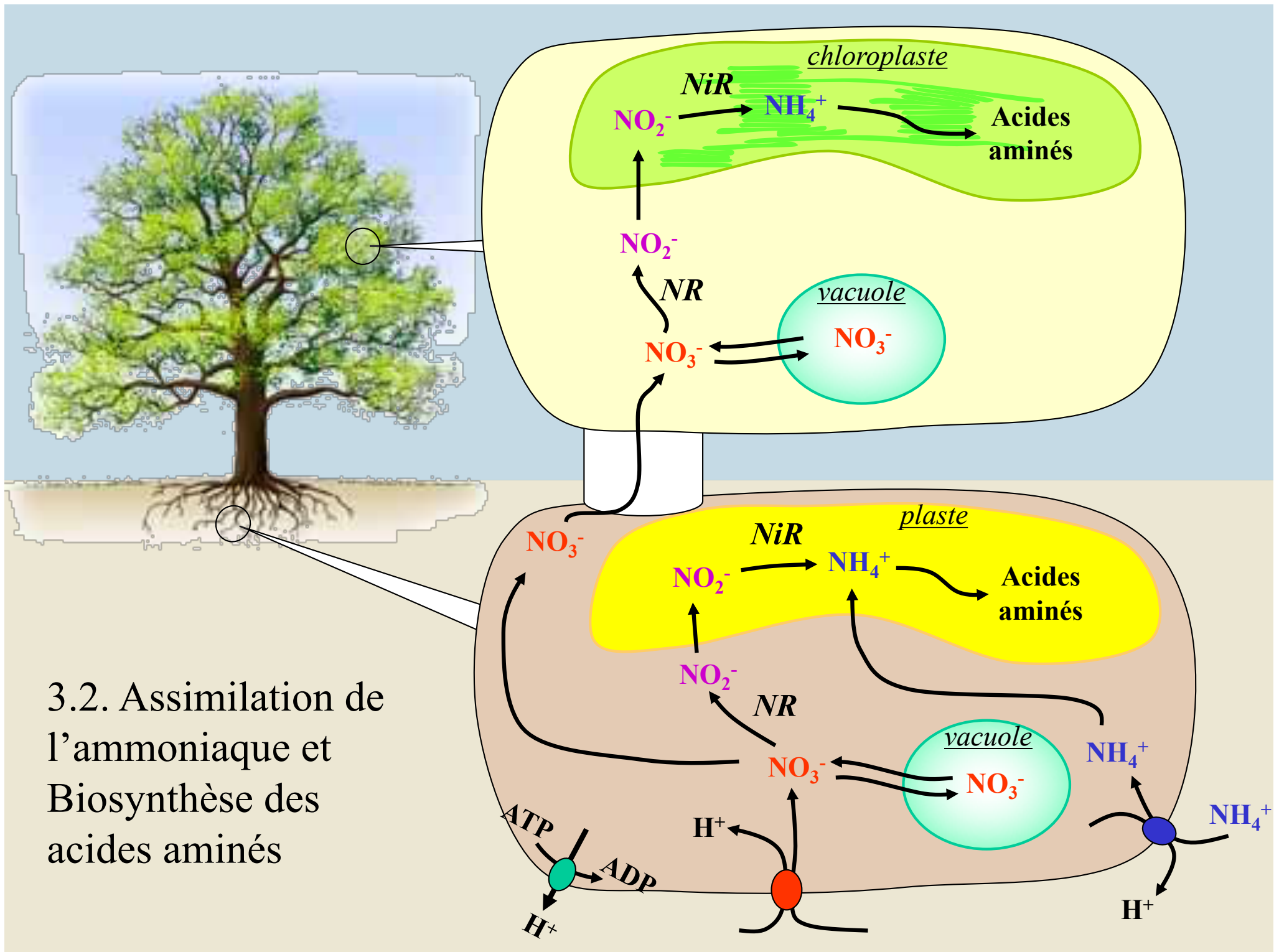




Conversion du
nitrite en
ammonium par la
nitrite réductase
(NiR)

LA REDUCTION DU NITRITE EN AMMONIUM



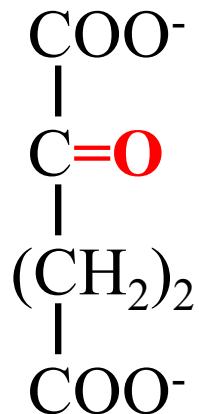


3.3 Conversion de l'azote minéral en azote organique

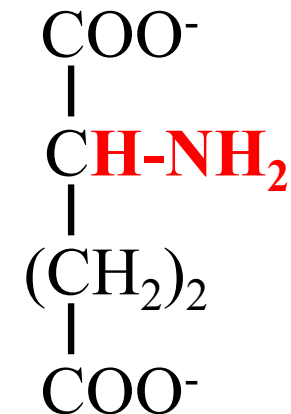
3.3.1. L'AMINATION REDUCTRICE par la GDH, Glutamate Deshydrogénase



(α cétooglutarate)



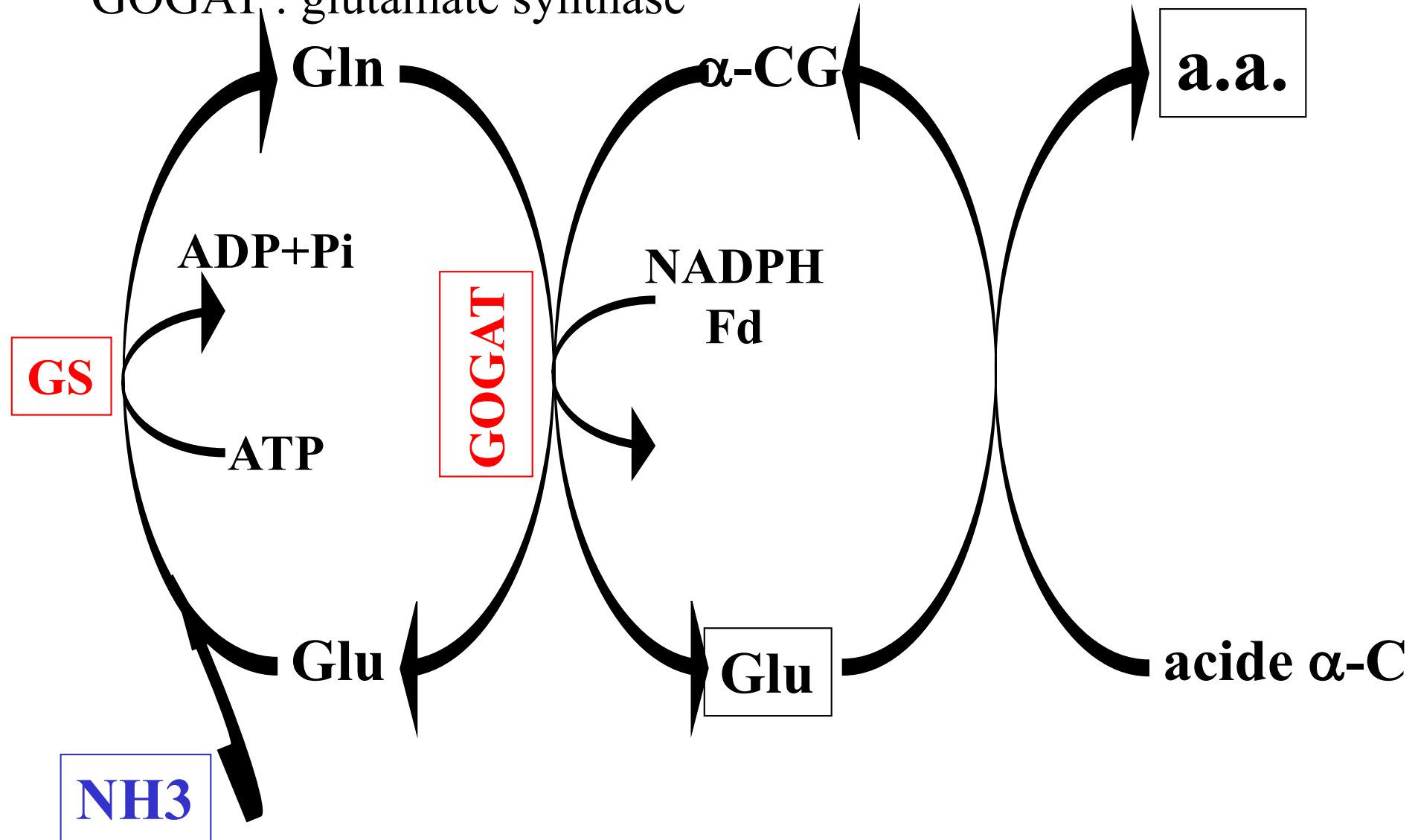
(Glutamate)



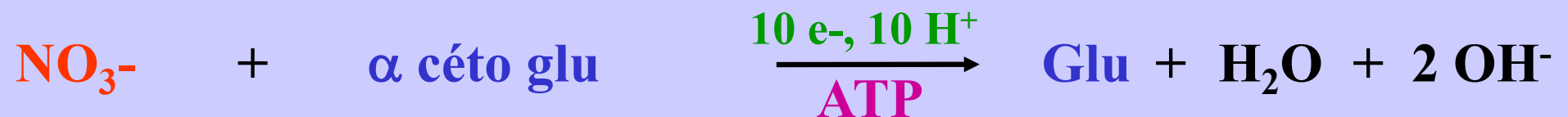
3.3.2. VOIE DE LA GLUTAMINE ou le cycle GS/GOGAT

GS : glutamine synthase

GOGAT : glutamate synthase



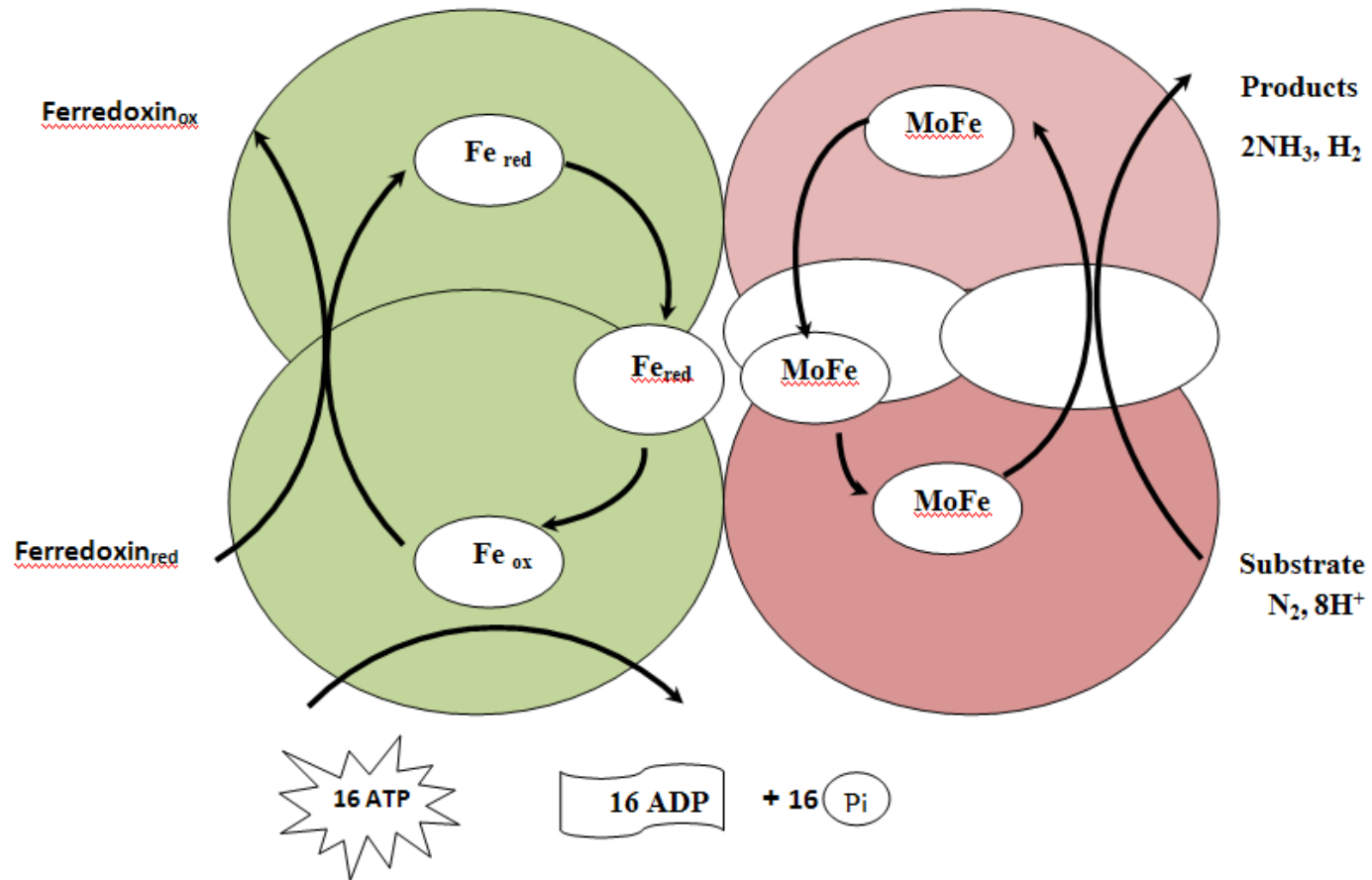
3.4. Bilan de l'assimilation de l'azote minéral



4. LES MICRO-ORGANISMES FIXATEURS

- **Les fixateurs libres : les diazotrophes**
 - **Les Azotobacters**
 - **Les Clostridiums**
 - **Les Cyanobactéries**
- **Les fixateurs symbiotiques**
 - **Les Rhizobiums et les Fabacées**
 - **Frankia et les actinorhiza**

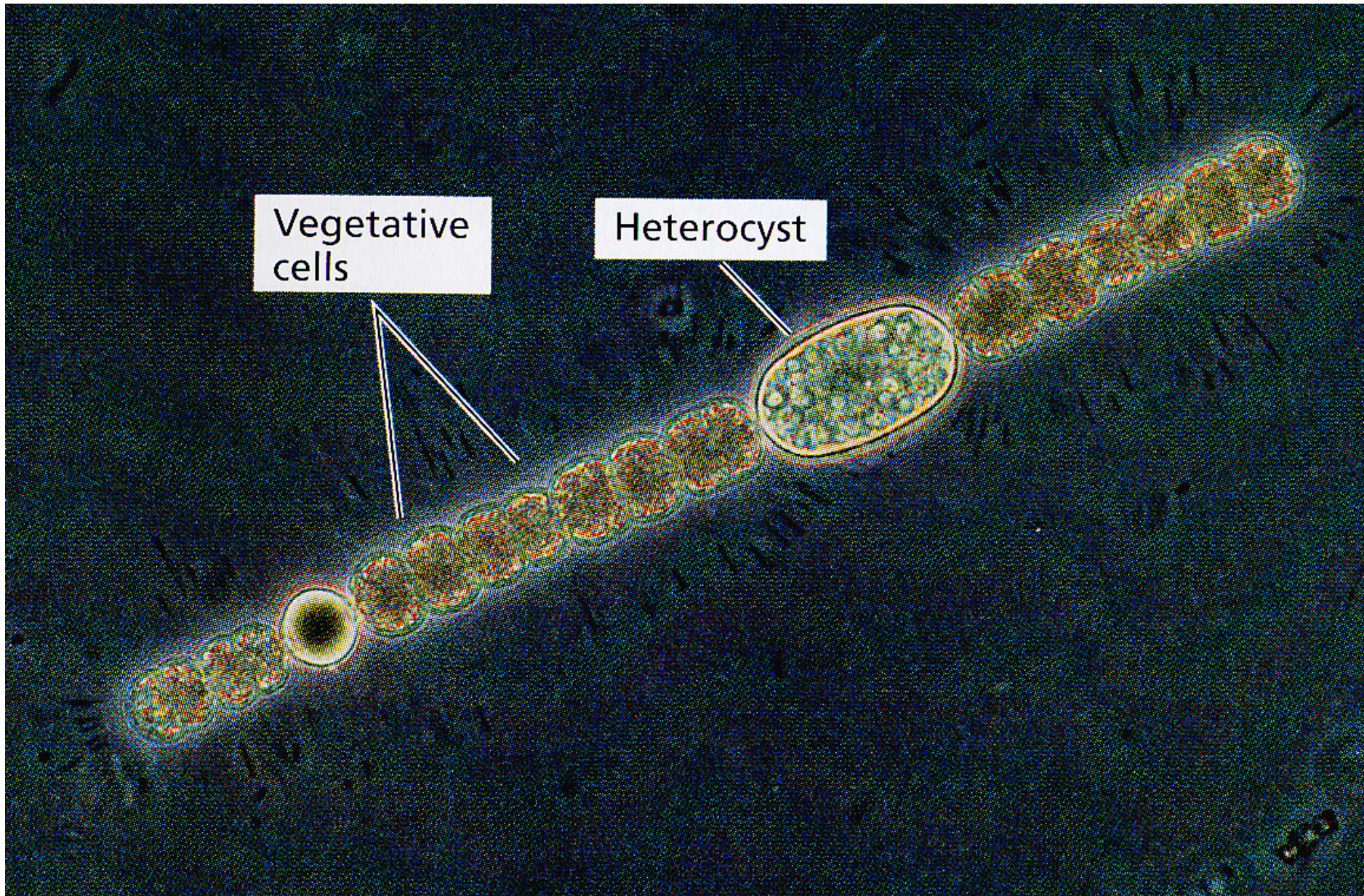
4.1. LA NITROGENASE



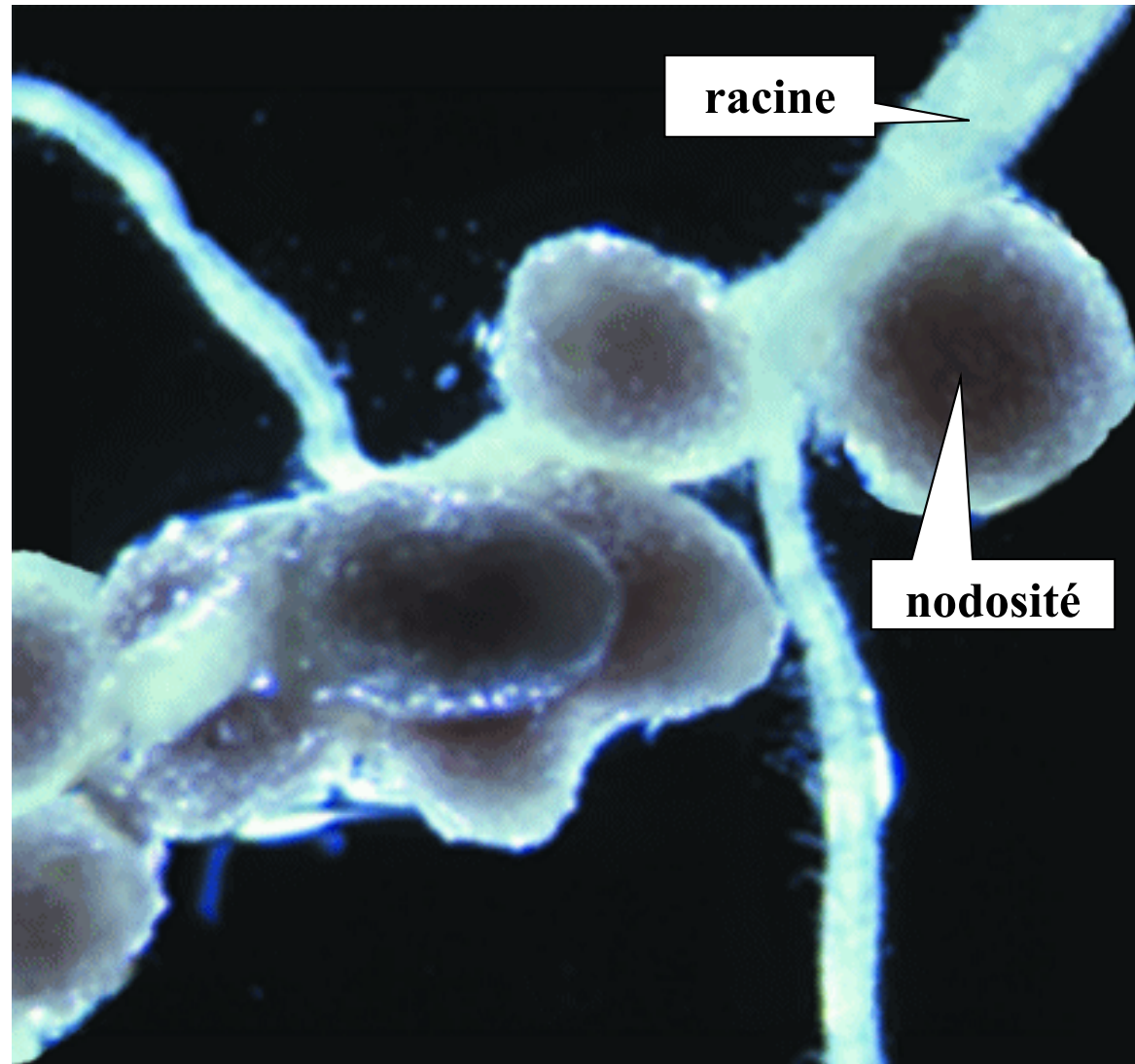
Dinitrogénase réductase

Dinitrogénase

4.2. Fixateurs libres

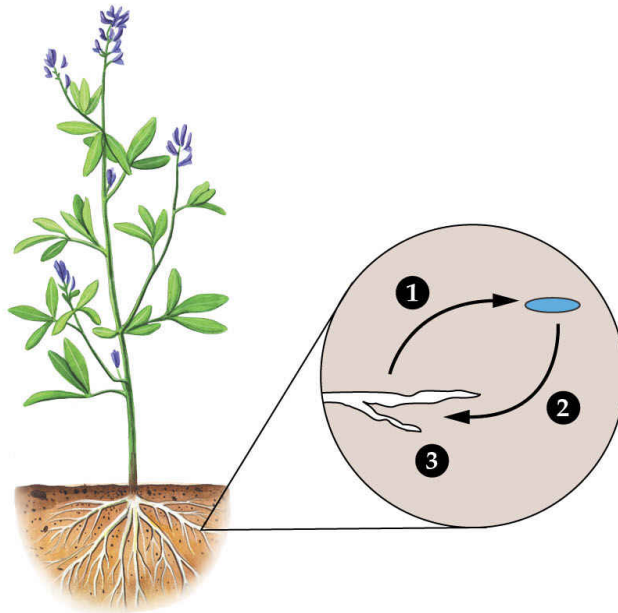


4.3. LA SYMBIOSE RHIZOBIUM-FABACEE



Quelques exemples d' associations rhizobiacées/fabacées

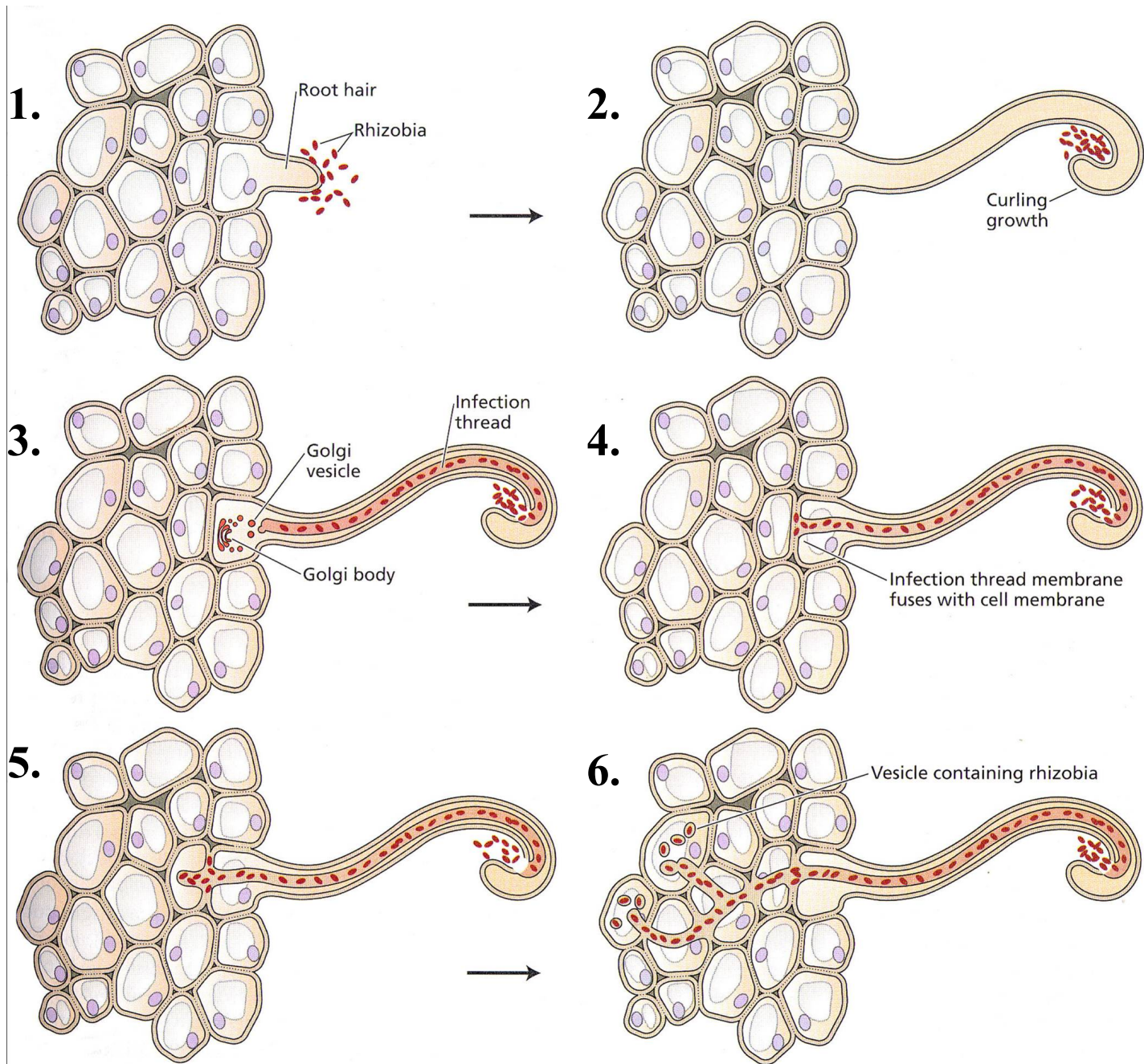
Bactéries (Rhizobiacées)	Plantes hôtes (Fabacées)
<i>Sinorhizobium meliloti</i>	<i>Medicago</i> (luzerne), <i>Trigonella</i> (fenugrec), <i>Melilotus</i> (mélilot)
<i>Sinorhizobium fredii</i>	<i>Glycine</i> (soja), <i>Vigna</i>
<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar <i>viciae</i>	<i>Vicia</i> (vesce), <i>Pisum</i> (pois), <i>Lens</i> (lentille)
<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar <i>trifolii</i>	<i>Trifolium</i> (trèfle)
<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus</i> (haricot)
<i>Rhizobium etli</i>	<i>Phaseolus</i>
<i>Mesorhizobium loti</i>	<i>Lotus</i> (lotier), <i>Lupinus</i> (lupin)
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	<i>Glycine</i> , <i>Vigna</i>
<i>Rhizobium</i> sp NGR 234	Nombreux genres



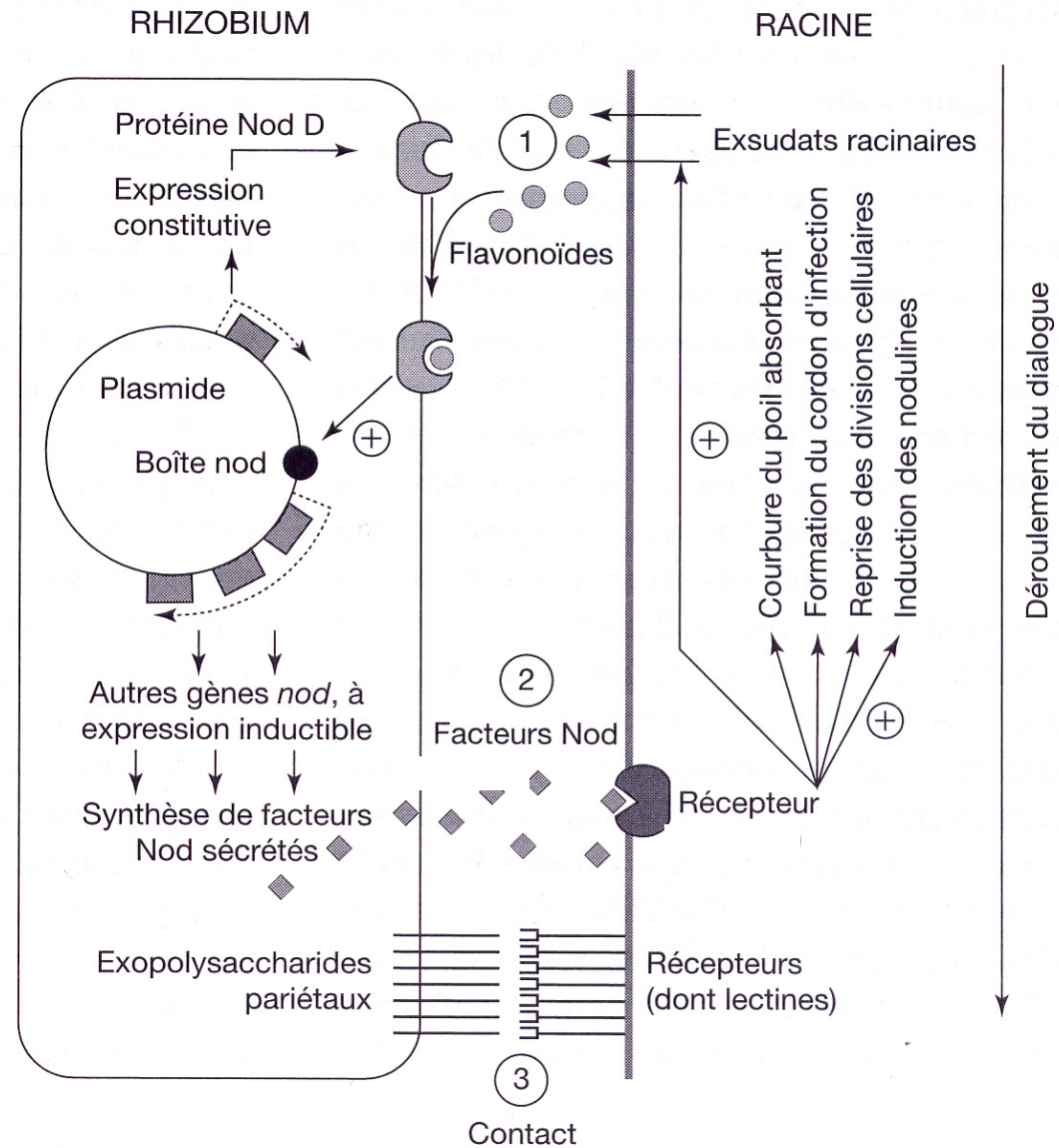
1. La racine de la plante relargue des éliciteurs de l'expression des gènes *Nod*
2. La bactérie relargue des facteurs Nod
3. Au niveau de la racine, mouvement d'ions, synthèse de nodulines ssi infection, et morphogenèse de la nodosité

Evénements conduisant à la symbiose *rhizobium*/fabacées

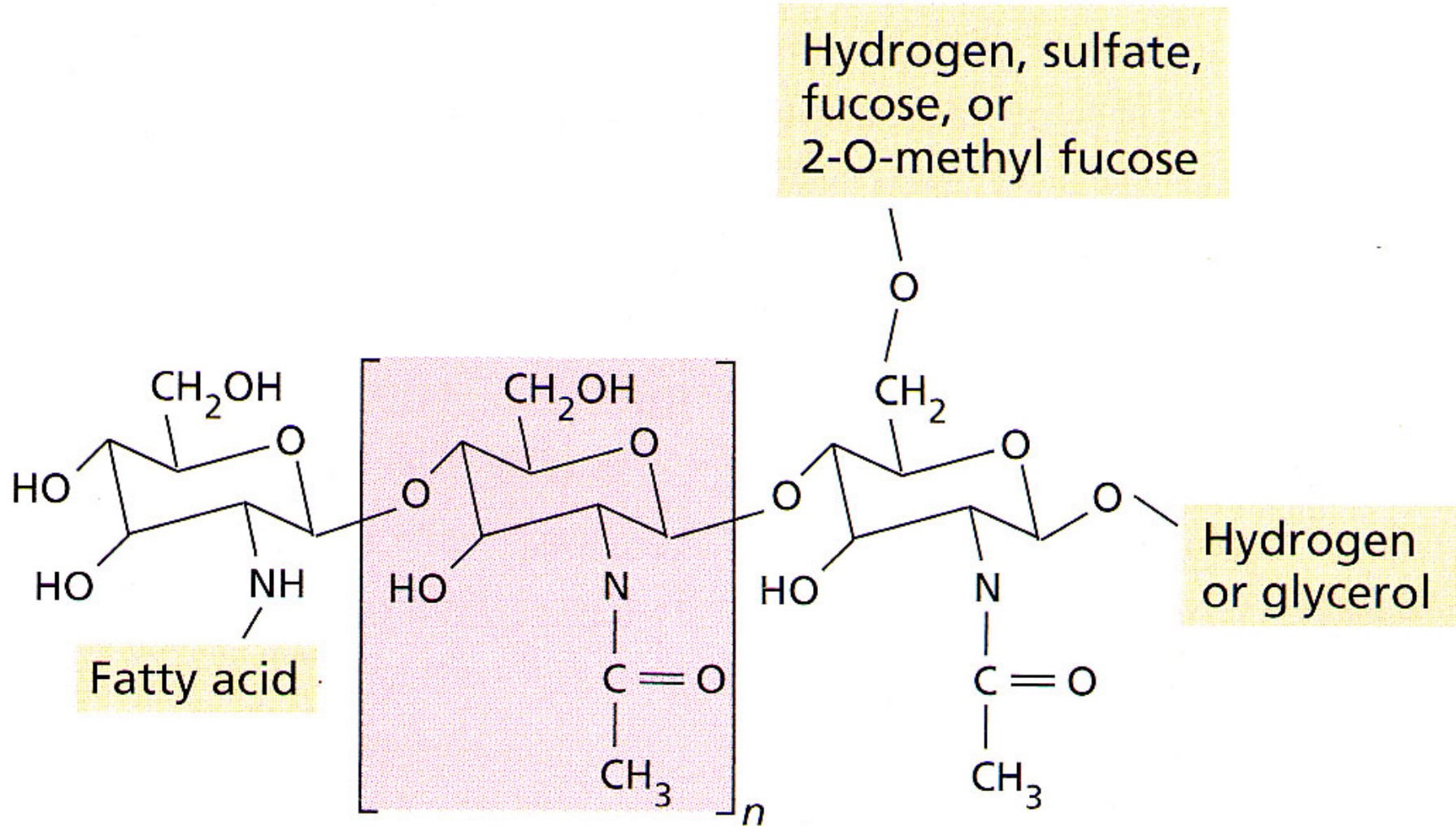
Etablissement de la symbiose

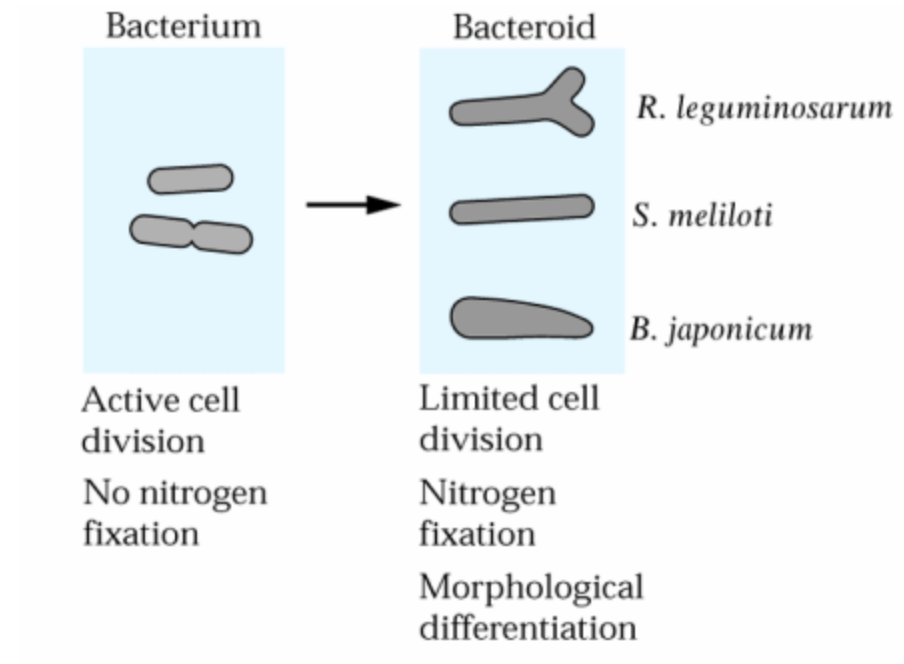


La plante développe de multiples réponses aux *Rhizobiums* et aux signaux bactériens



Structure du facteur Nod

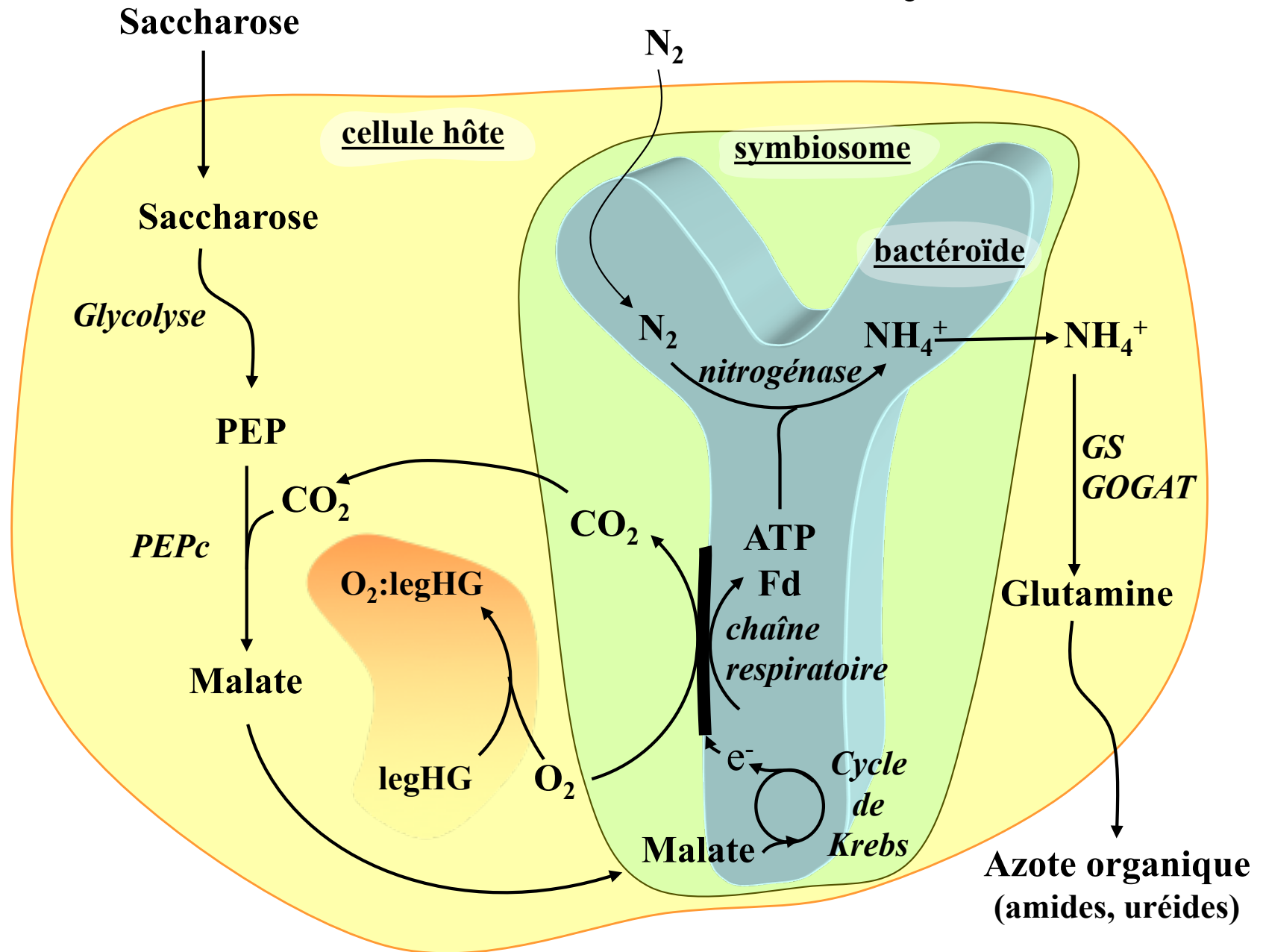


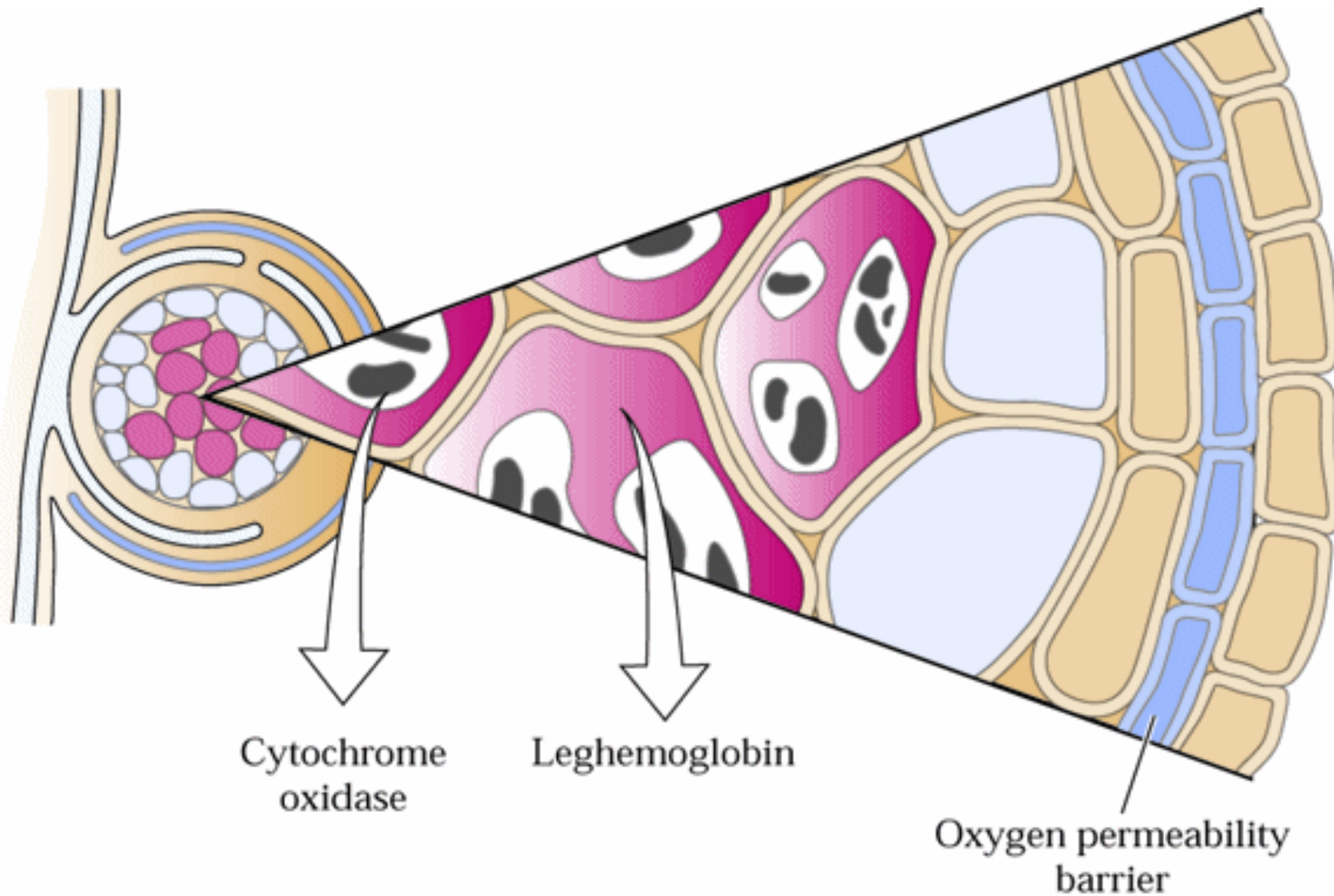


Bactéroïdes observés au microscope



Biochimie de la symbiose





Mécanismes de protection de la nitrogénase