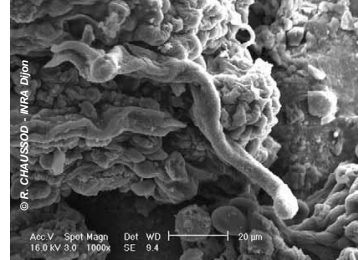


Écologie microbienne des sols



Jean François VIAN

Département AGroécologie & Environnement (AGE)
ISARA-Lyon – AGRAPOLE –
23, rue Jean Baldassini – 69364 LYON CEDEX 07
E-mail : vian@isara.fr
Tel direct : 04.27.85.86.55



Ecologie microbienne des sols - J.F. VIAN - 2014

1

Écologie microbienne des sols

Introduction: Le sol, un milieu vivant

Chapitre 1: Microorganismes et rôles dans les cycles de l'azote et du carbone

- I. Décomposition des matières organiques des sols
- II. Ammonification et nitrification
- III. Dénitrification
- IV. Fixation biologique de l'azote
- V. Les bactéries PGPR

Chapitre 2: Microorganismes et fonctionnement des écosystèmes

Chapitre 3: Appréhender le fonctionnement microbien des sols

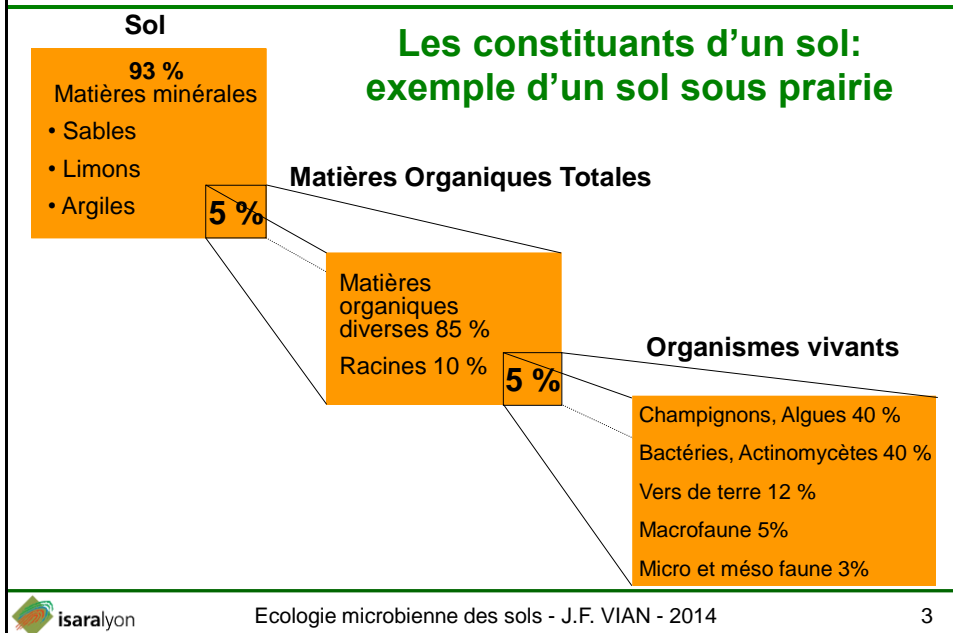


Ecologie microbienne des sols - J.F. VIAN - 2014

2

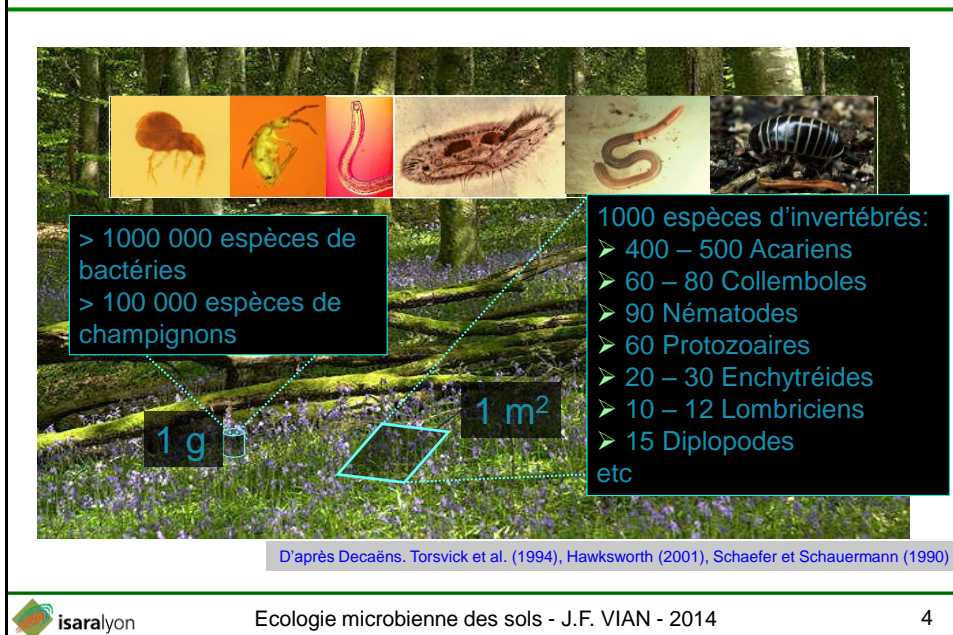
Écologie microbienne des sols

Introduction: Le sol, un milieu vivant



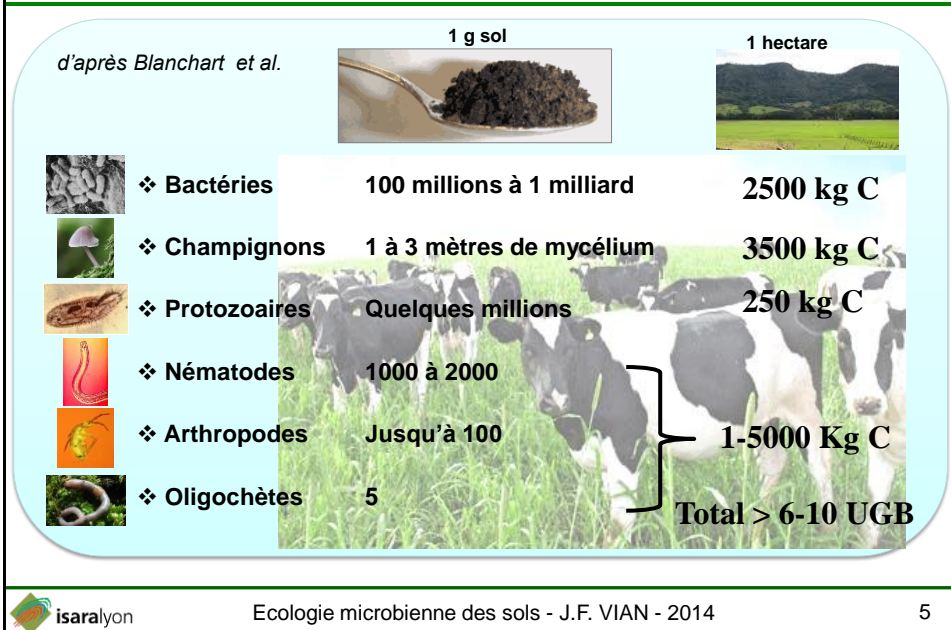
Écologie microbienne des sols

Introduction: Le sol, un milieu vivant



Écologie microbienne des sols

Introduction: Le sol, un milieu vivant

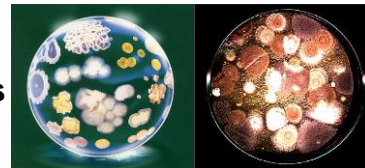


Écologie microbienne des sols

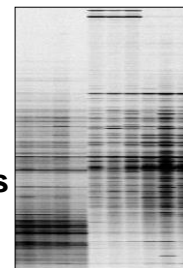
Introduction: Le sol, un milieu vivant

Le sol constitue un réservoir exceptionnel de biodiversité

- Jusqu'à un passé récent : accès uniquement aux microorganismes cultivables



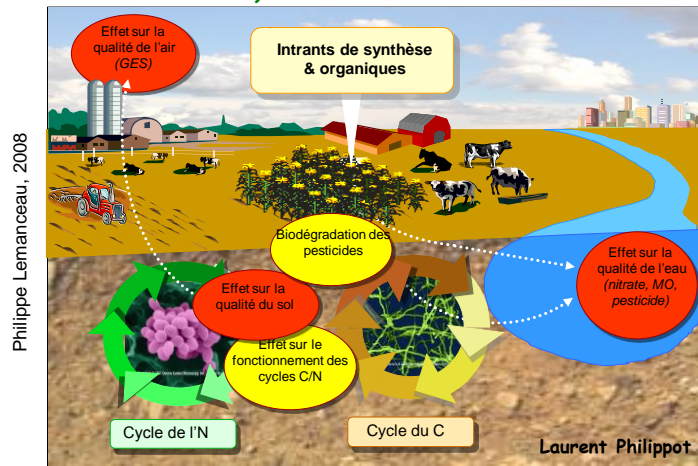
- Progrès méthodologiques
 - ⇒ maintenant accès à l'ADN microbien du sol
 - ⇒ 10⁴ génotypes bactériens / g sol
 - ⇒ abondance relative des différents génotypes



Écologie microbienne des sols

Introduction: Le sol, un milieu vivant

Les microorganismes du sol contribuent à la qualité du sol, de l'air et de l'eau



Écologie microbienne des sols

Introduction: Le sol, un milieu vivant

Des fonctions clés dans les cycles biogéochimiques: effets positifs

- Transformation des matières organiques (végétaux et animaux) et de la roche mère
- Contrôle des cycles des bioéléments (C, N, S, Fe...)
⇒ **nutrition végétale**
- Protection des plantes contre certains pathogènes ou parasites
- Symbioses
- Dépollution des eaux, du sol

Des fonctions clés dans les cycles biogéochimiques: effets négatifs

- Maladies
- Pollution des eaux par les nitrates
- Emission de gaz à effet de serre (N_2O , CH_4 ...)

➡ Forte influence sur la nutrition et la productivité végétale d'un agro/écosystème

Le sol un milieu vivant et dynamique caractéristique d'un écotone

Interface entre le monde minéral et organique le sol est un véritable écotone

➡ **Diversité** énorme, immense réservoir de gènes et donc de fonctions à l'origine de tâches aussi **importantes** que **méconnues**

Écologie microbienne des sols

Chapitre 1: Microorganismes et rôles dans les cycles de l'azote et du carbone

I. Décomposition des matières organiques des sols

1. Cycle du carbone
2. Rôle des microorganismes du sol
3. Conditions environnementales

II. Ammonification et nitrification

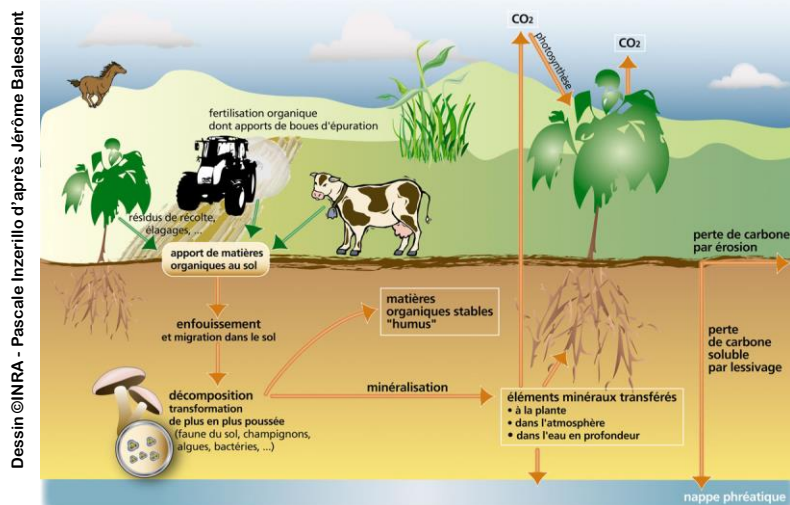
III. Dénitrification

IV. Fixation biologique de l'azote

V. Les bactéries PGPR

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

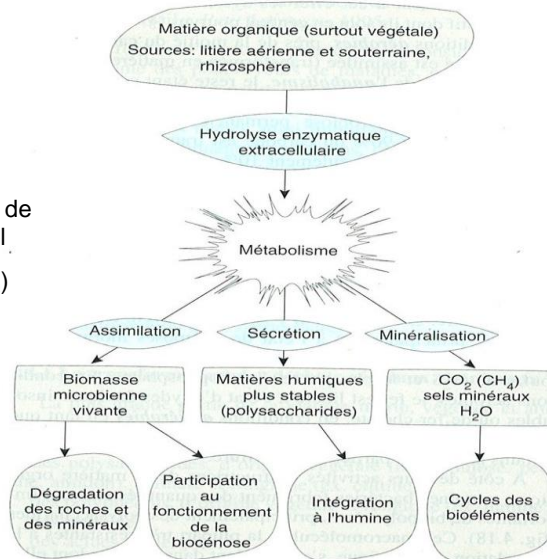
I. Décomposition des matières organiques des sols: cycle du carbone



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

I. Décomposition des matières organiques des sols: rôle des microorganismes

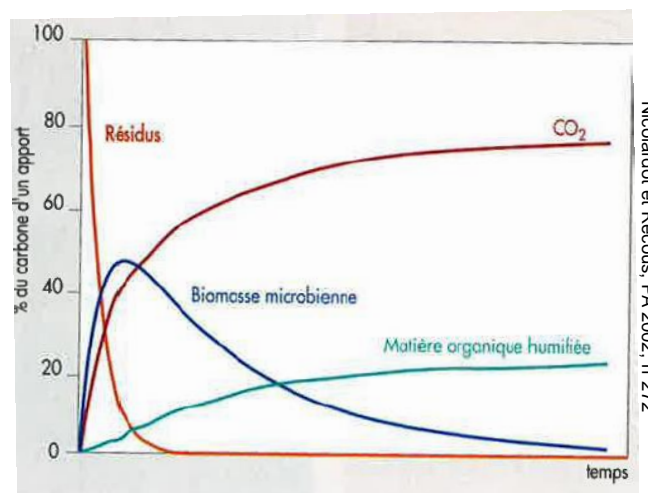
Aspects fonctionnels de
la microflore du sol
(Gobat *et al.*, 2003)



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

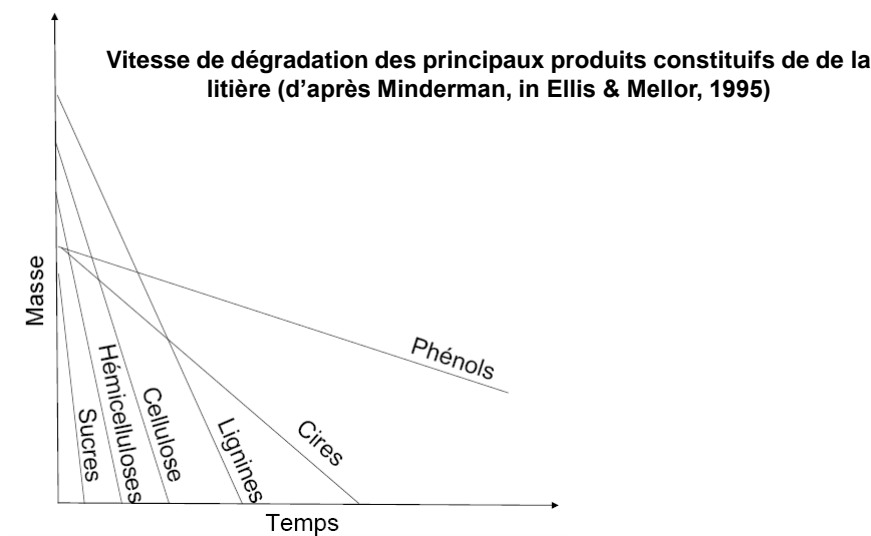
I. Décomposition des matières organiques des sols: rôle des microorganismes

Évolution respective des différents compartiments impliqués lors de la
décomposition des résidus de culture



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

I. Décomposition des matières organiques des sols: rôle des microorganismes



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

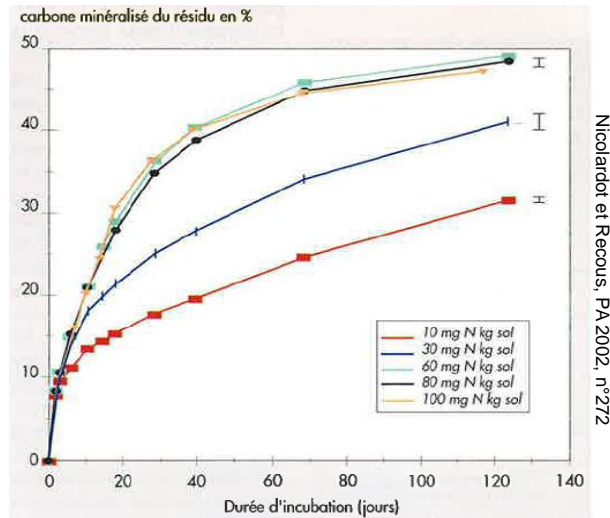
I. Décomposition des matières organiques des sols: rôle des microorganismes

Rapport C/N de différentes matières organiques	Urine	0,8
	Jus d'écoulement du fumier	1,9 - 3,1
	Déchets d'abattoir mélangés	2
	Sang	2
	Matières fécales humaines	5 - 10
	Matières végétales vertes	7
	Humus, terre noire	10
	Gazon	10
	Fientes de volailles	10
	Déjections d'animaux domestiques	15
	Fumier de ferme après 3 mois de stockage	15
	Fanes de légumineuses	15
	Luzerne	16 - 20
	Fumier frais pauvre en paille	20
	Déchets de cuisine	10-25
	Compost urbain	34
	Aiguilles de pin	30
	Fumier de ferme frais avec apport de paille abondant	30
	Tourbe noire	30
	Feuilles d'arbre (à la chute)	20-60
	Déchets verts de plantes	20-60
	Tourbe blonde	50
	Paille de céréales	50 - 150
	Paille d'avoine	50
	Paille de seigle	65
	Ecorce	100-150
	Paille de blé	150
	Papier	150
	Sciure de bois décomposée	200
	Sciure de bois feuillus (jeunes feuilles) (moyenne)	150 - 500

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

I. Décomposition des matières organiques des sols: conditions environnementales

Effet de la teneur en N minéral du sol sur la décomposition d'une paille blé mesurée en incubation



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

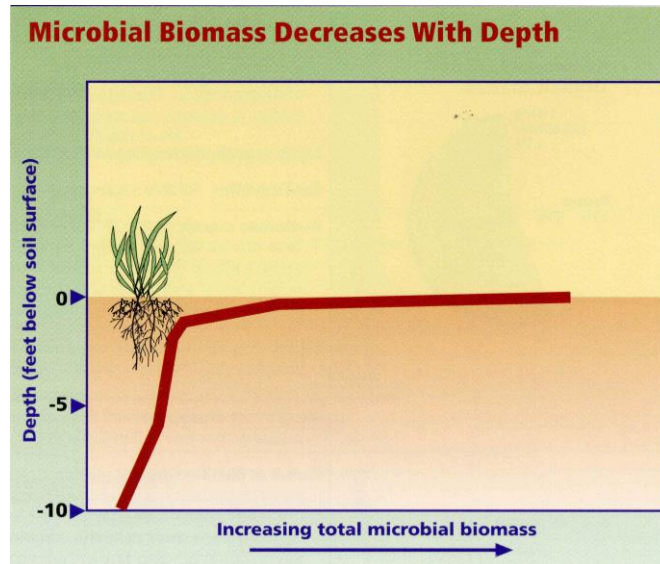
I. Décomposition des matières organiques des sols: conditions environnementales

Les conditions environnementales modifient les vitesses de minéralisation des matières organiques des sols :

- teneur en eau du sol
- aération
- température
- teneurs en N minéral dans le sol
- protection physique des MOS

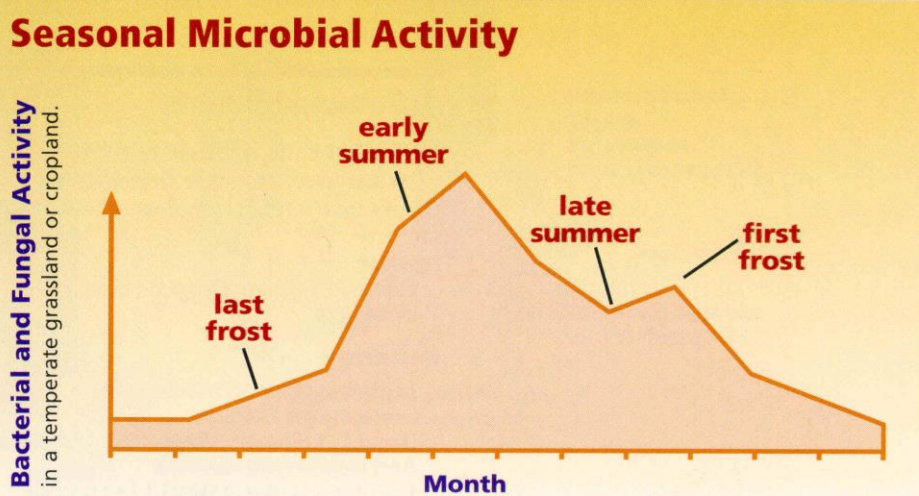
Écologie microbienne des sols: chapitre 1

I. Décomposition des matières organiques des sols: conditions environnementales



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

I. Décomposition des matières organiques des sols: conditions environnementales



Écologie microbienne des sols

Chapitre 1: Microorganismes et rôles dans les cycles de l'azote et du carbone

I. Décomposition des matières organiques des sols

II. Ammonification et nitrification

1. Cycle de l'azote
2. Ammonification
3. Nitrification
 - a. Les étapes
 - b. Les bactéries nitrifiantes
 - c. Conditions environnementales

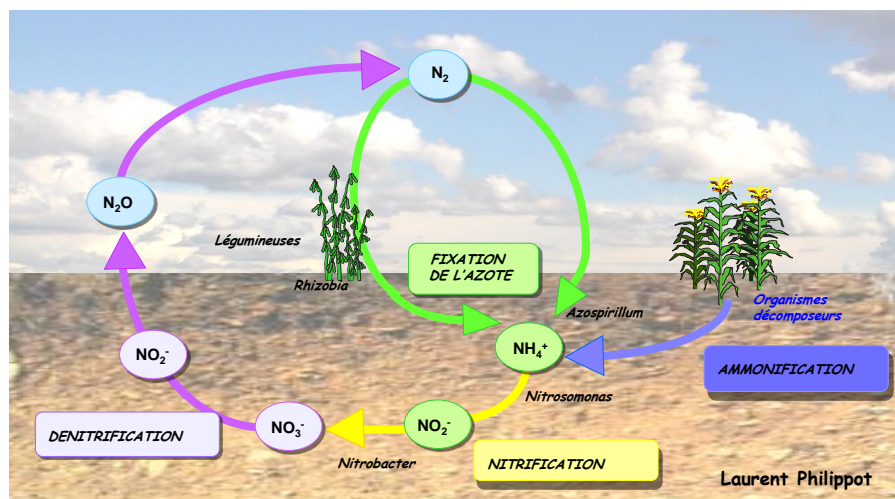
III. Dénitrification

IV. Fixation biologique de l'azote

V. Les bactéries PGPR

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: cycle de l'azote



Philippe Lemanceau, 2008

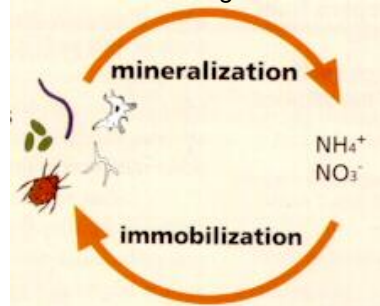
Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: cycle de l'azote

Minéralisation / Immobilisation

Organisms consume other organisms
and excrete inorganic wastes

Organic nutrients
are stored in soil
organisms and
organic matter



Inorganic nutrients
are usable by
plants, and are
mobile in soil

Organisms take up
and retain nutrients
as they grow

Image courtesy of USDA-Natural
Resources Conservation Service



Ecologie microbienne des sols - J.F. VIAN - 2014

23

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: ammonification

Ammonification: processus de transformation oxydative des formes azotées contenues dans la MO (acides aminés, protéines...) en ammoniac (NH_3) ou ammonium (NH_4^+)

⇒ NH_4^+ : source principale d'azote pour les microorganismes et les champignons

⇒ la plupart des plantes l'assimilent mal, elles ont besoin de nitrate qu'elles utilisent par le biais de la *réduction assimilative* et qui leur est fournit par les bactéries de la *nitrification*

⇒ sources organiques très diverses

⇒ Microorganismes très variés (*Bacillus*, *Clostridium*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*...)



Ecologie microbienne des sols - J.F. VIAN - 2014

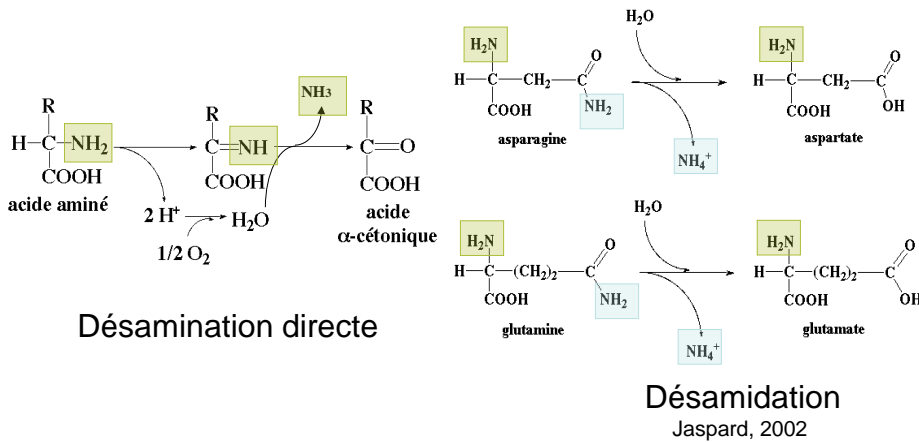
24

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: ammonification

Les réactions

- Hydrolyse des polymères (protéases) en polypeptides et amino-acides
- Désaminations aérobie ou non



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: nitrification, les étapes

Nitrification: oxydation microbienne des formes réduites de l'azote dans le sol (NH_3 et NH_4^+)

- ⇒ 2 étapes successives: nitritation / nitratation
- ⇒ 2 groupes bactériens impliqués: bactéries nitreuses et bactéries nitriques
- ⇒ bactéries autotrophes et aérobies obligatoires
- ⇒ **nitrification hétérotrophe** peut être réalisée par les champignons (*Aspergillus flavus*) et certaines espèces bactériennes (*Arthrobacter globiformis*, *Streptomyces griseus*, divers *Pseudomonas spp.*)

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: nitrification, les étapes

Nitrification: 2 étapes successives réalisées par des bactéries différentes

1- La **nitritation** (Bactéries ou Archées bactéries de type Nitroso...)

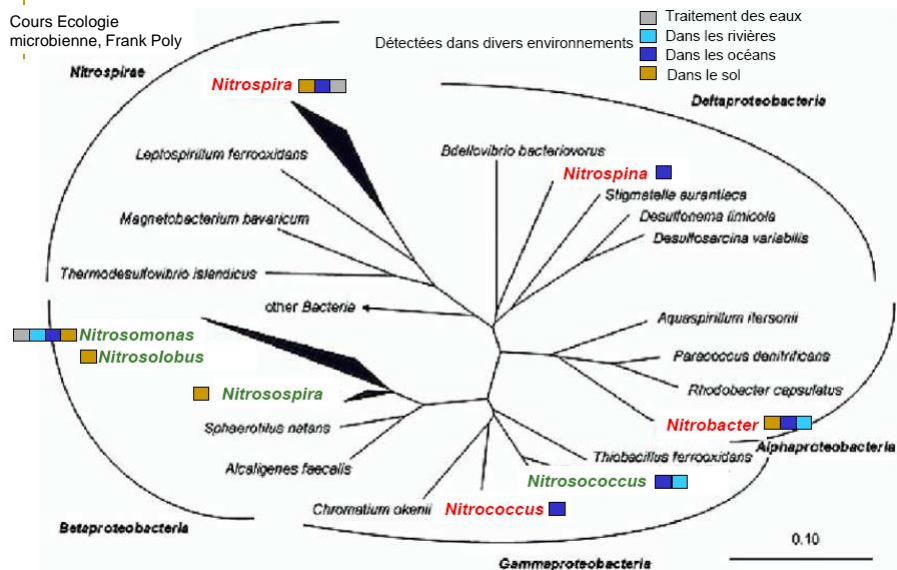


2- La **nitratation** (Bactérie de type Nitro...)



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

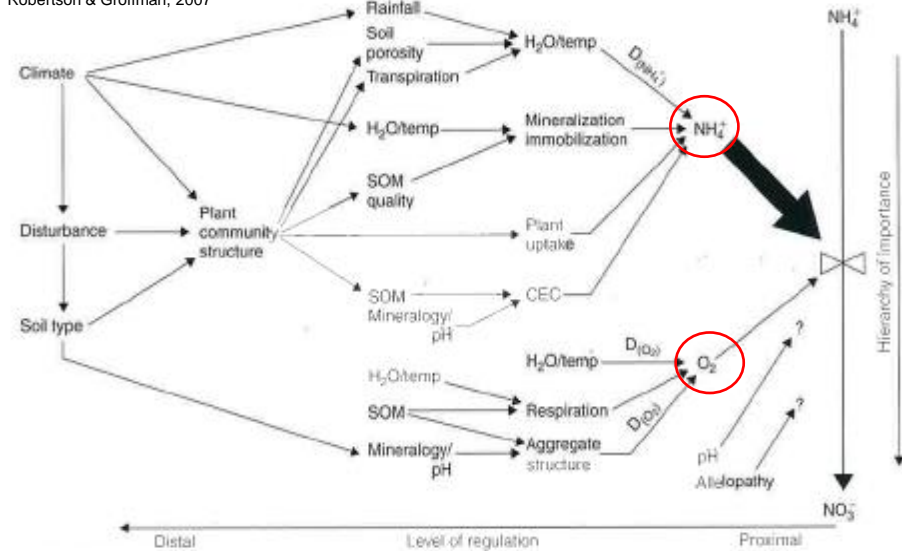
II. Ammonification et nitrification: nitrification, les bactéries nitrifiantes



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

II. Ammonification et nitrification: nitrification, conditions environnementales

Robertson & Groffman, 2007



Écologie microbienne des sols

Chapitre 1: Microorganismes et rôles dans les cycles de l'azote et du carbone

I. Décomposition des matières organiques des sols

II. Ammonification et nitrification

III. Dénitrification

1. Les pertes d'azote dans le sol
2. Mécanismes de la dénitrification
3. Conditions environnementales
4. Conséquences environnementales et pour la production

IV. Fixation biologique de l'azote

V. Les bactéries PGPR

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

III. Dénitrification: les pertes d'azote

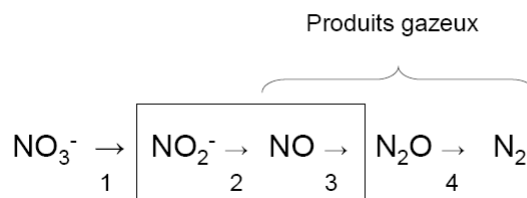
Les pertes d'azote dans le sol

- Volatilisation de l'ammoniac
- Réduction chimique du nitrate et du nitrite
- Lixiviation du nitrate
- Réduction biologique: **Dénitrification**
 - ⇒ Réduction biologique des nitrates en gaz azoté: NO, N₂O et N₂
 - ⇒ Grande variété de bactéries hétérotrophes

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

III. Dénitrification: mécanismes

Mécanismes de la dénitrification



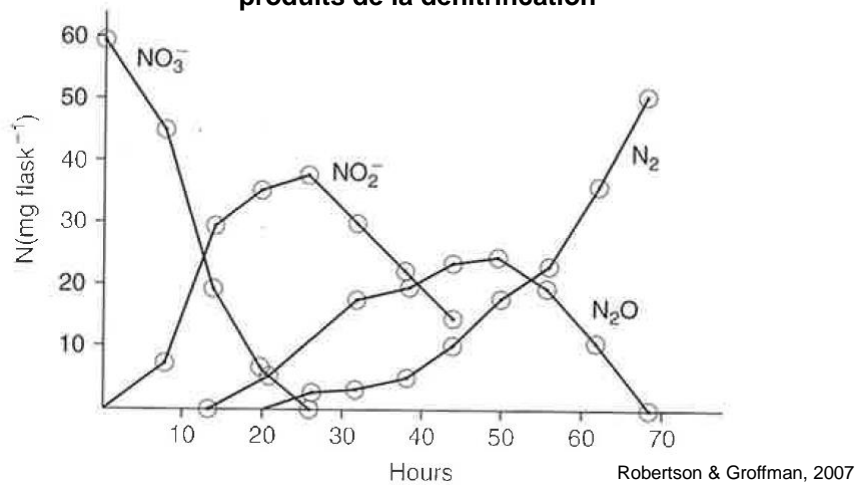
où chaque étape est catalysée par un système enzymatique:

- 1- nitrate réductase dissimilative (Nar),
- 2- nitrite réductase (Nir),
- 3- NO réductase (oxyde nitrique)(Nor)
- 4- N₂O réductase (oxyde nitreux)(Nos)

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

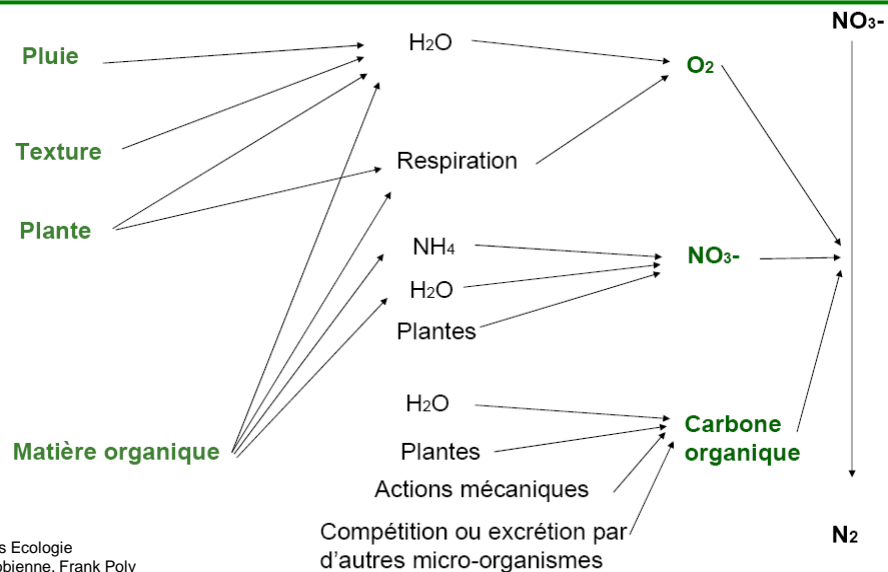
III. Dénitrification: mécanismes

Séquence de formation des différents produits de la dénitrification



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

III. Dénitrification: conditions environnementales



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

III. Dénitrification: conditions environnementales

Microsites de dénitrification dans les sols

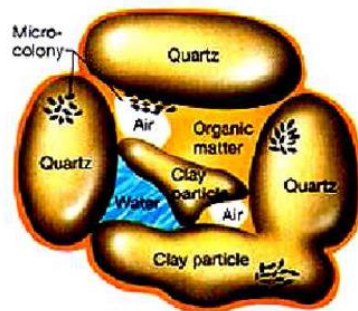
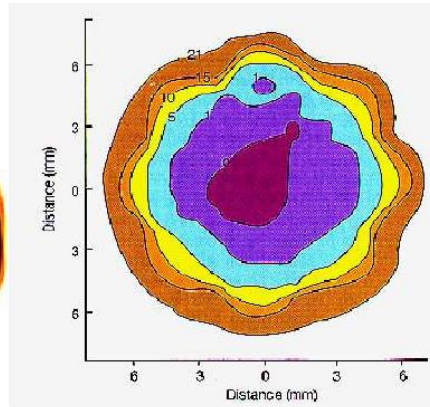


Schéma de la localisation de bactéries dans un agrégat de sol

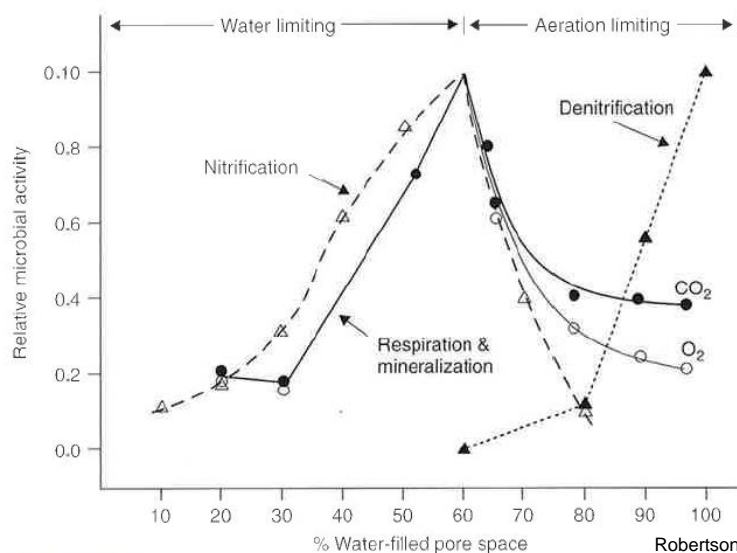


Diffusion de l'oxygène dans un agrégat de sol

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

III. Dénitrification: conséquences environnementales et pour la production



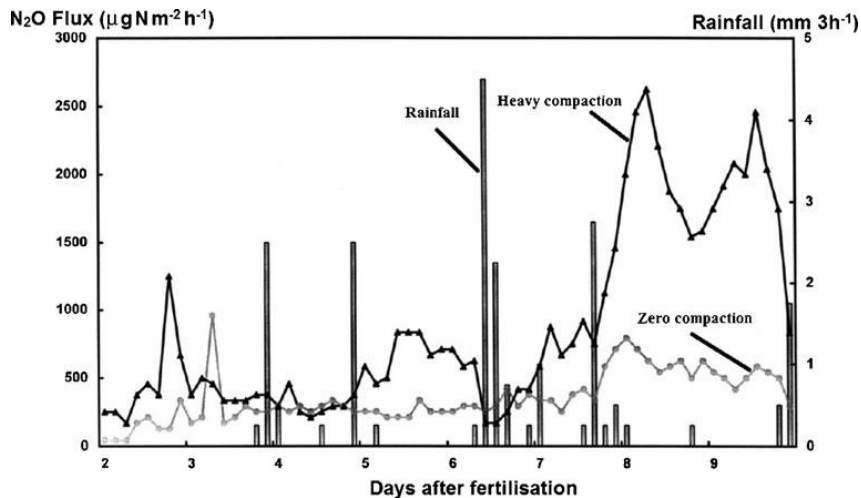
Robertson & Groffman, 2007

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

III. Dénitrification: conséquences environnementales et pour la production

Effet de la structure du sol sur les émissions de N_2O

From Ball et al. (1999) in Muhammad Farrakh Nawaz et al., 2012



Écologie microbienne des sols

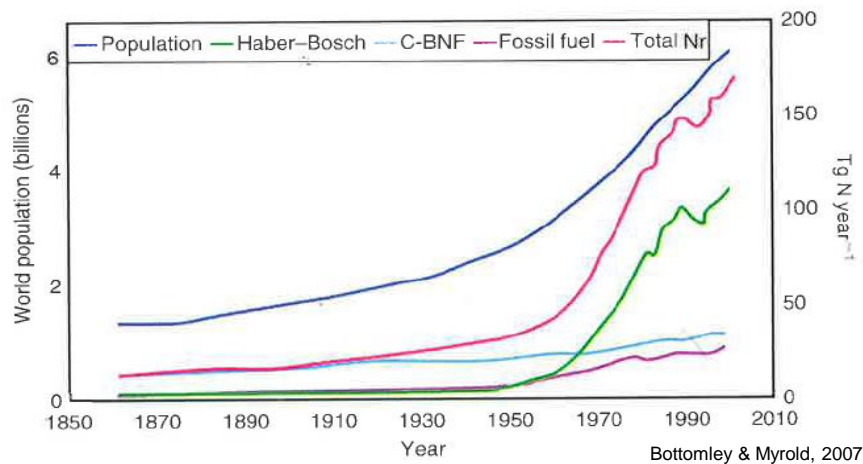
Chapitre 1: Microorganismes et rôles dans les cycles de l'azote et du carbone

- I. Décomposition des matières organiques des sols
- II. Ammonification et nitrification
- III. Dénitrification
- IV. Fixation biologique de l'azote
 - 1. Introduction
 - 2. La fixation libre et associative (non symbiotique)
 - 3. La fixation symbiotique
 - a. Les symbioses à nodules chez les légumineuses
 - b. Les symbioses actinorhiziennes
 - 4. Conséquences sur la production végétale
- V. Les bactéries PGPR

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: introduction

Évolution de la population mondiale et quantités d'azote créées



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: introduction

Caractéristiques des principales espèces fixatrices d'azote

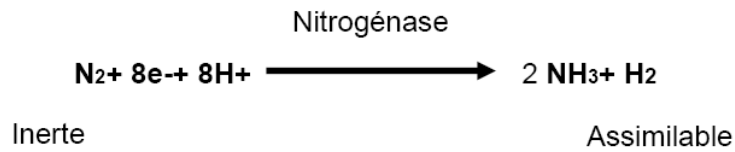
	Bactérie	Plante	# famille botanique	Efficacité (Kg/Ha/an)	% globale
Symbiotique	Cyanobact.	Azolla, Cycas Gunnera	>6	120	23
	Rhizobium Bradyrhizobium	Légumineuse Parasponia	2	350	60
	Frankia	Myricacées, Betulacées,	8	360	15
Associative	PGPR (Azospirillum, Pseudomonas,...)	Graminées, etc	nombreuses	5 à 30	3

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: introduction

La fixation de l'azote



Consommation de 16 ATP

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

- Couteux en énergie
- Lent et peu efficace
- Réduction de N_2 en NH_3 nécessite la mobilisation de 20 gènes, appelés *Nif* gènes

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: introduction

Quantités de N_2 fixées en conditions de plein champ

Diazotrophic bacteria and their associations	N_2 fixed (kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹)	Bottomley & Myrold, 2007, adapted from Evans and Barber (1977)
Free-living bacteria (associated with wood decay, straw decomposition)	< 1-10	
Examples of plant-cyanobacterial associations		
Cryolitic crusts	10-80	
<i>Azolla</i>	≤ 300	
Examples of legume-rhizobial associations		
Soybean	60-115	
Beans	50-100	
Alfalfa	130-250	
White clover	200	
Examples of non legume- <i>Frankia</i> associations		
Alder	50-300	
<i>Ceanothus</i>	50-60	
<i>Hippophae</i>	10-60	

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation non symbiotique dite libre (ou associative)

Fixation libre (ou associative) de N_2

- Bactéries libres fixatrices de N_2
 - ⇒ Diazotrophes phototrophes
 - ⇒ Diazotrophes hétérotrophes
- Facteur limitant = demande en C/énergie
 - ⇒ Diazotrophes phototrophes fixent une quantité de N_2 plus importante que les hétérotrophes
 - ⇒ Fixation libre hétérotrophique nécessite des quantités importantes de C labile (rhizosphère, décomposition de MO fraîche...)

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation non symbiotique dite libre (ou associative)

Fixation libre (ou associative)

Les bactéries libres fixatrices de N_2 dans la rhizosphère des graminées

Dans la rhizosphère	Hors de la rhizosphère
10^5 à 10^7 bactéries fixatrices/g de sol	10^2 à 10^5 bactéries fixatrices/g de sol
(riz 10^6 à 10^8 b./g de sol)	

Sur le riz : gain de 3 à 50 kg N / ha récolté
Généralement: gain de 5 à 30 kg N / ha récolté

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

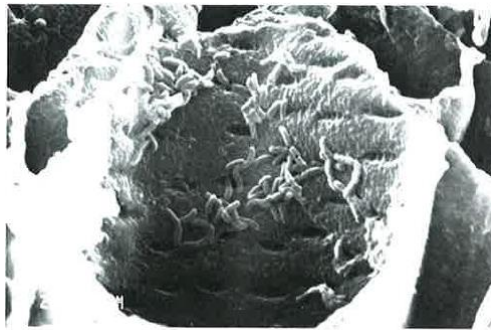
IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation non symbiotique dite libre (ou associative)

Le sol rhizosphérique



Photo : Programme ISCB/Lamun/Neuchâtel/Suisse

Herbaspirillum seropedicae within the metaxylem of a sugarcane stem

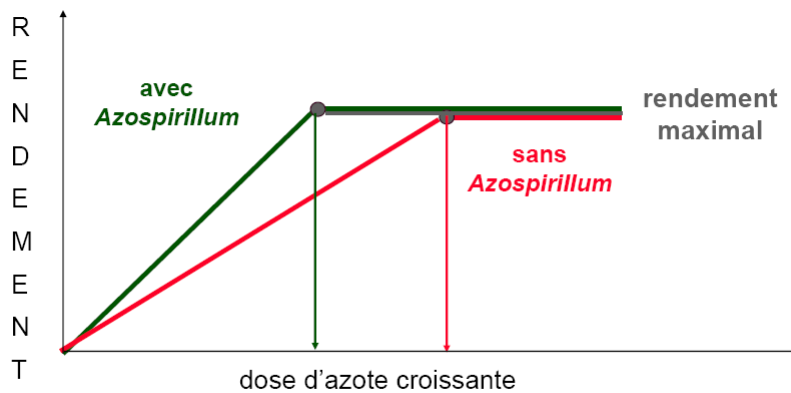


Courtesy of F. Olivares, in Bottomley & Mirrold, 2007

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation non symbiotique dite libre (ou associative)

Effet sur la production agricole



➔ *Azospirillum* = substitut partiel aux engrais azotés

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique

La symbiose mutualiste

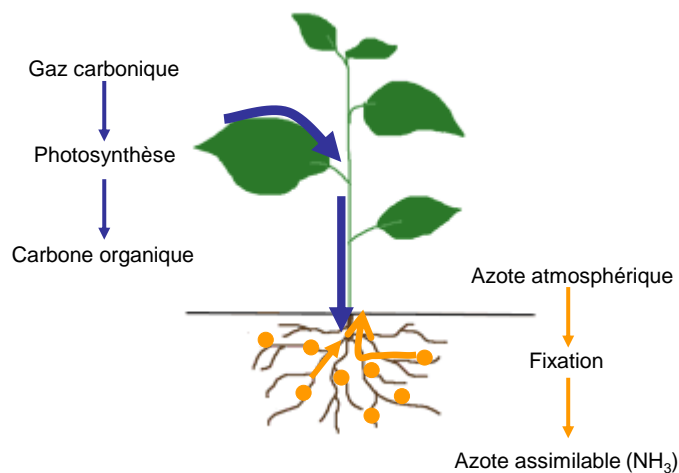
Union physique des partenaires: liaison sans partage. Les symbiotes échangent des nutriments ou des facteurs de croissance de manière exclusive sans que ceux-ci n'apparaissent dans le milieu extérieur (interfaces physiques d'échanges)

(Gobat *et al.*, 2003)

- ⇒ coût énergétique de la fixation symbiotique avantageux
- ⇒ protection par rapport aux concentrations en O_2
- ⇒ 2/3 de l'azote total fixé dans la biosphère (120 millions de t/an)
- ⇒ dans les sols, 2 grands types de symbioses
 - ⇒ entre les légumineuses et bactéries de la famille des Rhizobiacées
 - ⇒ plantes souvent ligneuses et bactéries filamenteuses du genre *Frankia*

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

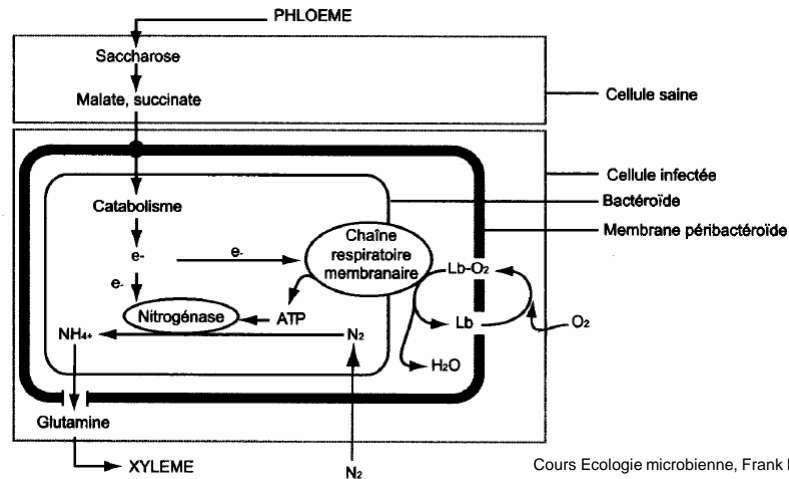
IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique

Coopération entre le végétal et le bactéroïde pour la fixation de l'azote atmosphérique



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique à nodules

Les symbioses à nodules chez les légumineuses



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique à nodules

Taxonomie et diversité des bactéries symbiotiques à nodules

4 genres de bactéries, mobiles avec flagelles (Gram -) forment des symbioses avec les légumineuses (phylum des protéobactéries)

- ⇒ *Rhizobium* (ex. *R. leguminosarum*, *R. fredii*, genre *Agrobacterium*)
- ⇒ *Bradyrhizobium* (ex. *B. japonicum*)
- ⇒ *Mesorhizobium* (ex. *M. loti*, *M. ciceri*)
- ⇒ *Azorhizobium* (ex. *A. caulinodans*) forme des nodules épigés dans les tiges de *Sesbania* (Fabacées tropicale)

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique à nodules

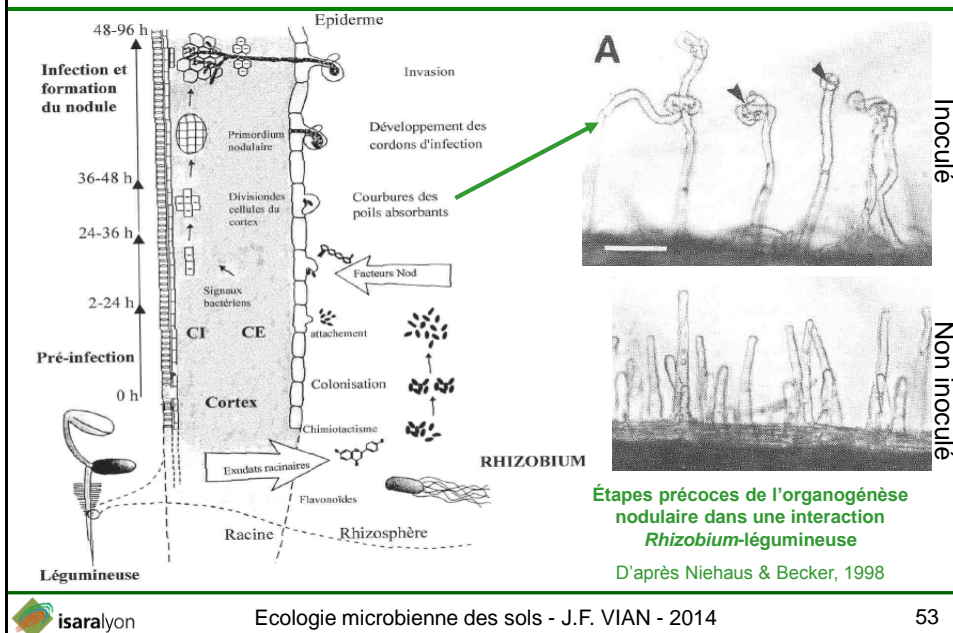


Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Cas particulier chez *Sesbania rostrata*

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique à nodules



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique à nodules

Nodules formed where *Rhizobium* bacteria infected soybean roots



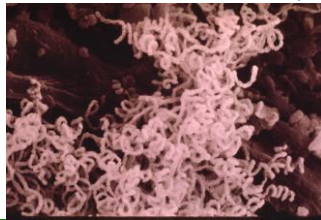
Stephen Temple, University of Minnesota, St. Paul.

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: les symbioses actinorhizienne

Symbioses que les actinomycètes du genre *Frankia* forment avec plusieurs genres de plantes non légumineuses

- ⇒ Gram +, bactéries filamenteuses. Abondants dans les sols et les litières, de nombreux *Frankia* sont producteurs d'antibiotiques
- ⇒ plantes hôtes évoluent dans des écosystèmes différents mais toujours sur des sols pauvres en azote (par ex. arctique)
- ⇒ pénétration de l'hôte soit par les poils absorbants soit entre les cellules de l'épiderme et du cortex racinaire (dépend de la plante hôte)



Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: les symbioses actinorhizienne

Nodule actinomycorhizien

Pièce de 17 mm
(Gobat *et al.*, 2003)

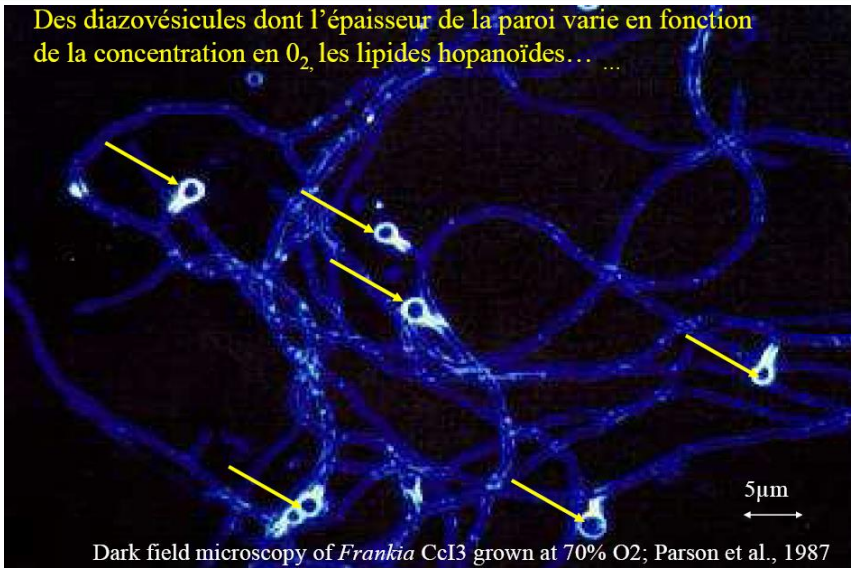


Réponse de l'hôte à l'infection, multiplication des cellules corticales pour former un prénodule que va pénétrer ensuite le symbiote

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: les symbioses actinorhizienne

Des diazovésicules dont l'épaisseur de la paroi varie en fonction de la concentration en O₂, les lipides hopanoïdes... ..



Dark field microscopy of *Frankia* CcI3 grown at 70% O₂; Parson et al., 1987

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: conséquences sur la production végétale

Quantité d'azote par hectare et par an et pourcentage d'azote transféré d'une plante fixatrice à une plante non fixatrice en cultures associées.

type d'association	N transféré % et kg ha ⁻¹ an ⁻¹	Méthodes	Auteurs
Plantes herbacées			
graminées/ luzerne	26-46 % 5-20 kg	dilution isotopique	Burley et al (1988)
maïs/ haricot	< 5 %	dilution isotopique	Giller et al (1991)
graminées/ trèfle	50 % 60-70 kg	marquage foliaire dilution isotopique	Ledgard (1991)
sorgho /soja	20-55 % 20-90kg	dilution isotopique	Ofosu et al (1995)
avoine/vesce	5 kg 0 kg	dilution isotopique matière org. marquée	Pagastymann and Dasse (1991)
café/desmodium	16 %	abondance isotopique naturelle	Snoeck (1995)
graminées/luzerne	10 %	¹⁵ N ₂ , marquage foliaire dilution isotopique N balance	Ta et al (1989)
Plantes ligneuses			
Chêne/aune cordé	32 %	abondance isotopique naturelle	Bursetti et al (1999)
peuplier/aune glut. (1990)	13 %	dilution isotopique	Kurdali et al
café/ Flemingia	6 %	abondance isotopique naturelle	Snoeck (1995)
/ Leuc. diversifolia	15-22 %	"	"
/L. leucocephala	0 %	"	"
/Callandra	0 %	"	"
/Erythrina	0 %	"	"

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

Écologie microbienne des sols

Chapitre 1: Microorganismes et rôles dans les cycles de l'azote et du carbone

- I. Décomposition des matières organiques des sols
- II. Ammonification et nitrification
- III. Dénitrification
- IV. Fixation biologique de l'azote
 - 1. Introduction
 - 2. La fixation libre et associative (non symbiotique)
 - 3. La fixation symbiotique
 - a. Les symbioses à nodules chez les légumineuses
 - b. Les symbioses actinorhiziennes
 - 4. Conséquences sur la production végétale
- V. Les bactéries PGPR

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation libre et associative (non symbiotique)

Les bactéries PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria

Bactéries de la rhizosphère qui exercent un rôle positif sur la croissance des plantes, leur vigueur et leur résistance aux parasites: Rhizobactéries Promotrices de la Croissance Végétale (Gobat *et al.*, 2003)

- ⇒ Modes d'action très variés
- ⇒ Une même population peut cumuler plusieurs propriétés
- ⇒ Les bactéries « libres » fixatrice du N₂ font partie de cette catégorie (pas les bactéries symbiotiques)

**Stimulation et
régulation de la
croissance racinaire**

**Amélioration de la
nutrition des plantes**

**Protection des
racines contre les
parasites**

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation libre et associative (non symbiotique)

Les bactéries PGPR : modes d'action

Stimulation et régulation de la croissance racinaire

- ⇒ Production de phytohormones (AIA, éthylène, NO)
- ⇒ Régulation des concentrations hormonales de la plante (e.g. déamination de l'ACC précurseur de l'éthylène)

Amélioration de la nutrition des plantes

- ⇒ Concentration en éléments minéraux
- ⇒ Solubilisation du phosphate inorganique
- ⇒ Sécrétion de sidérophores
- ⇒ Fixation de N_2
- ⇒ Mucilage favorisant les échanges d'ions et d'eau

Protection des racines contre les parasites

- ⇒ Production de composés inhibiteurs (phénazine, acide cyanhydrique...)
- ⇒ Compétition avec les parasites (e.g. le fer)
- ⇒ Stimulation (induction) des mécanismes de résistance des plantes

D'après Gobat *et al.*, 2003

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation libre et associative (non symbiotique)

L'inoculation de semences de maïs par la bactérie du sol *Azospirillum lipoferum* CRT1(B) provoque la prolifération des racines de la céréale



A

B

Cours Ecologie microbienne, Frank Poly

A - racines de maïs non inoculées par *A. lipoferum* CRT1
B - racines de maïs inoculées

photo René Bally ¹, Colette Jacoud ¹ et Patrick Wadoux ²

¹ - Ecologie Microbienne UMR-CNRS 5557, Université Claude Bernard Lyon1, 69622 Villeurbanne Cedex.
² - Merck-Lipha, Usine de Meyzieu, 10 av. De Lattre de Tassigny, 69330 Meyzieu

Écologie microbienne des sols: chapitre 1

IV. Fixation biologique de l'azote: la fixation libre et associative (non symbiotique)

Conséquences agronomiques

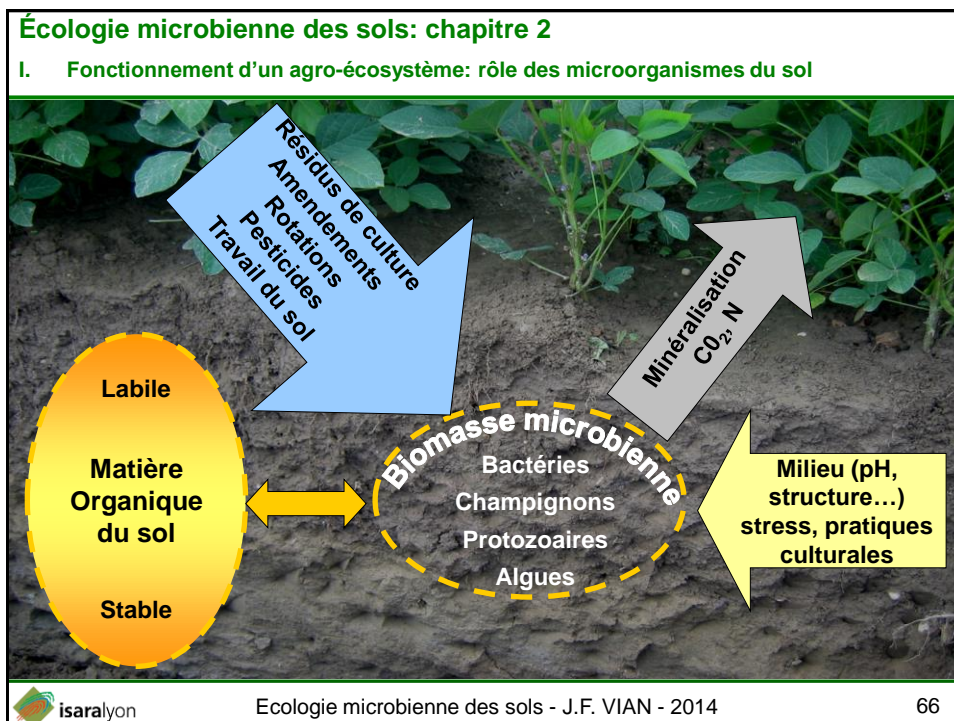
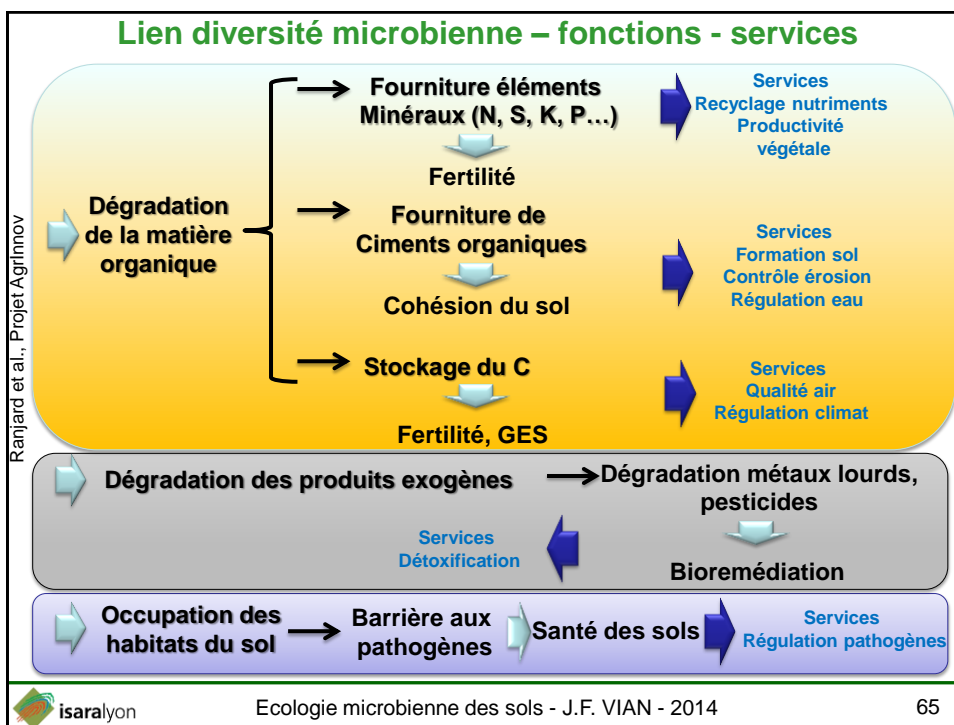
- Meilleure nutrition minérale et hydrique des plantes
 - ⇒ augmentation de la quantité de MS totale
 - ⇒ augmentation de la teneur azoté dans les tiges et les grains
 - ⇒ augmentation du nombre d'épis et de grains/épis
 - ⇒ date de floraison avancée
 - ⇒ meilleure résistance aux stress hydriques
 - ⇒ meilleure résistance aux attaques de pathogènes

Écologie microbienne des sols

Chapitre 2: Microorganismes et fonctionnement des écosystèmes

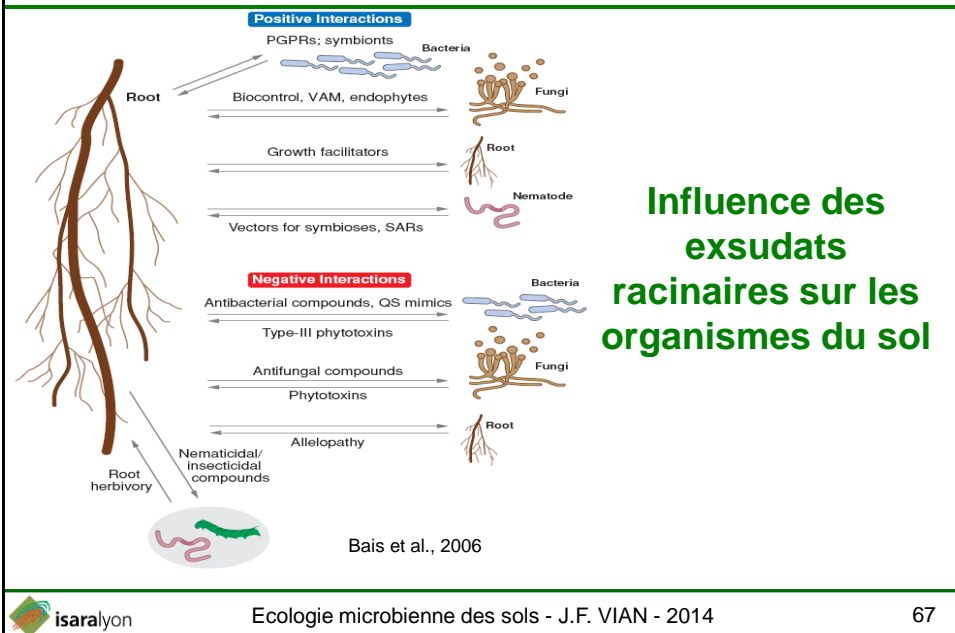
- I. Fonctionnement d'un agro-écosystème: rôle des microorganismes du sol et importance de la rhizosphère**
- II. Le rôle des champignons du sol**
 - 1. Les champignons et la qualité du sol
 - 2. Les mycorhizes
- III. Systèmes de culture et fonctionnement microbien du sol**
 - 1. Influence des pratiques culturales sur les microorganismes du sol
 - 2. Les différents bio-agresseurs microbiens du sol
 - 3. Mise en évidence du rôle microbiens dans le contrôle des maladies telluriques

Conclusion



Écologie microbienne des sols: chapitre 2

I. Fonctionnement d'un agro-écosystème: rôle des microorganismes du sol



Écologie microbienne des sols: chapitre 2

I. Fonctionnement d'un agro-écosystème: rôle des microorganismes du sol

Hinsinger, P., et al., 2009. *Plant and Soil*

Rhizodéposition et turnover des racines:

- 40% des entrées de C
- Éléments clefs des processus microbiens

Richardson, A.E., et al., 2009. *Plant and Soil*

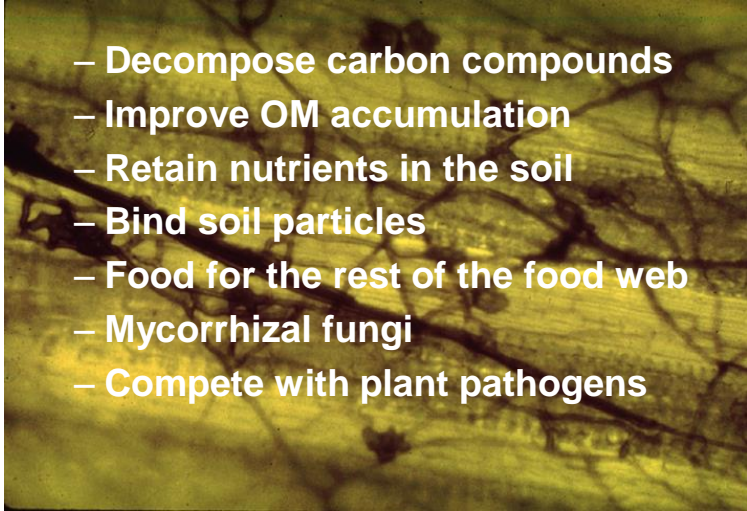
Jones et al., 2009

- 14 000 000 racines dénombrées sous un pied de seigle
- 15 à 30 km de racines sous un pied de maïs
- 20 000 et 100 000 km de racines sur un ha

Écologie microbienne des sols: chapitre 2

II. Le rôle des champignons du sol: champignons et qualité du sol

Fungi and Soil Quality

- 
- Decompose carbon compounds
 - Improve OM accumulation
 - Retain nutrients in the soil
 - Bind soil particles
 - Food for the rest of the food web
 - Mycorrhizal fungi
 - Compete with plant pathogens

Écologie microbienne des sols: chapitre 2

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

Les mycorhizes

- Association symbiotique entre un champignon et les racines d'un végétal
- La plupart des plantes cultivées sont mycotrophes (sauf : chénopodiacées et brassicacées)



Le champignon est un collecteur de sels minéraux

➡ **Translocation**

Écologie microbienne des sols: chapitre 2

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

Les mycorhizes



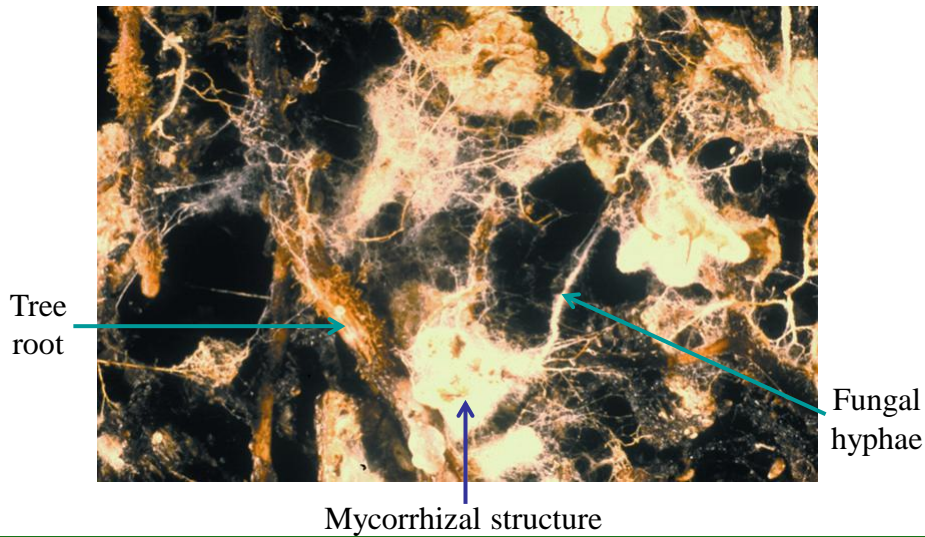
Type de mycorhizes	Champignons impliqués	Plantes hôtes	Structure fongiques	Structures de l'hôte	Impacts physiologiques
Arbusculaires	Glomérômycètes (200 sp.) microscopiques	Bryophytes et plantes vasculaires: 70% des sp.	Arbuscules et vésicules intracellulaires, mycélium et hyphes extraracinaires	Peu de changement, coloration jaune	Accès à l'eau et aux minéraux, résistance maladies...
Ectomycorhizes	Basidiomycètes, ascomycètes (milliers d'sp.)	Arbres gymnospermes et angiospermes: 5% des sp.	Manchon, mycélium intercellulaire, pas de pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale, ramifications	Accès aux minéraux, utilisation Norg, résistance aux maladies et nématodes, tolérance pH acides et métaux lourds
Ectendomycorhizes	Deutéromycètes: qques sp.	Pins, rares	Manchon mince, mycélium intercellulaire, pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale, ramifications	<i>Idem</i>
Arbutroïdes	Basidiomycètes: qques sp.	Éricacées, rares	Manchon mince, pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale	<i>Idem</i>
Éricoïdes	Ascomycètes: qques 10 ^{ans} sp.	Éricacées: 5% des sp.	Mycélium intracellulaire	Peu de modifications	<i>Idem</i>
Orchidoïdes	Basidiomycètes et mycéliums peu connus	Orchidées: 10% des sp.	Mycélium intracellulaire	Peu de modifications	Moprphogénèse, nutrition et protection de la plante
Sebacinoïdes	Piriformospora, basidiomycètes: qques sp.	Variées	Mycélium intracellulaire	Peu de modifications	Peu connus

Les différents types de mycorhizes. D'après Fortin, Plenchette et Piché, 2008 in « Les Mycorhizes, la nouvelle révolution verte ». Editions Quae.

Écologie microbienne des sols

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

Mycorrhizae



Écologie microbienne des sols

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

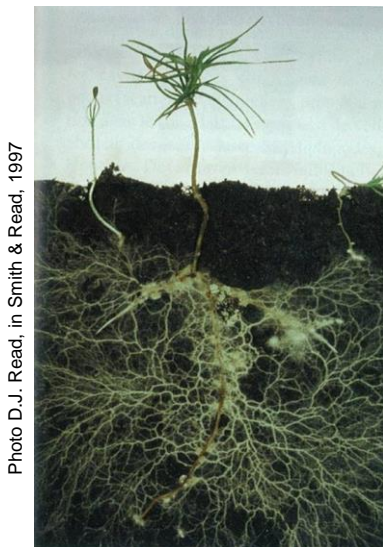


Photo D.J. Read, in Smith & Read, 1997

Les mycorhizes : étude de la mycorrhizosphère !

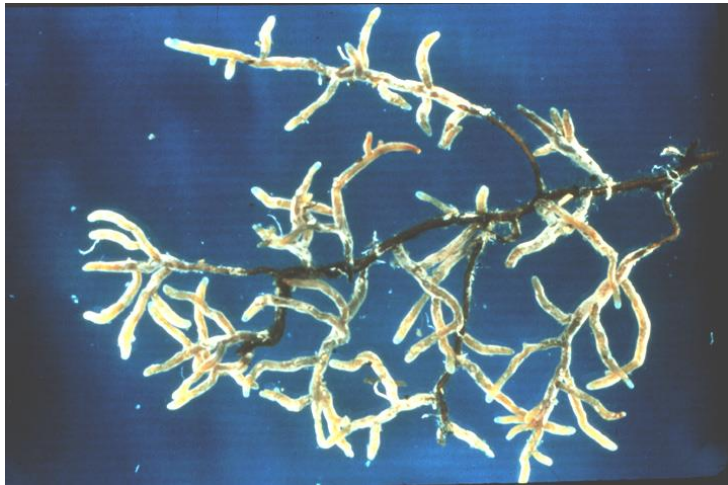
Les hyphes :

- jusqu'à 7 cm de la racine
- diamètre peut atteindre 20 μm

Écologie microbienne des sols

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

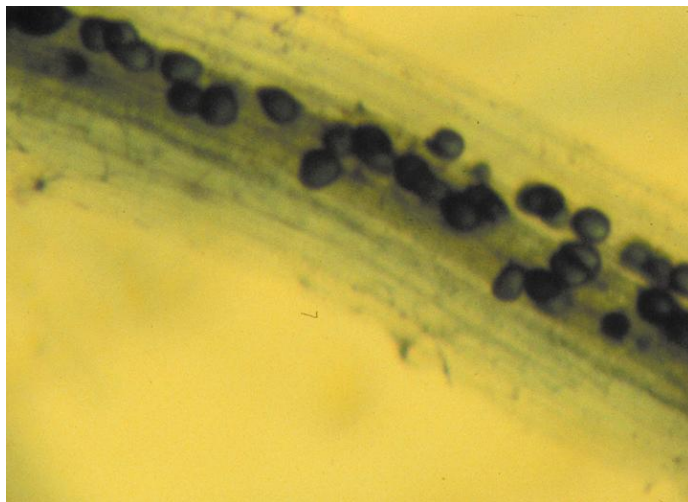
Ectomycorrhizae



Écologie microbienne des sols

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

Arbuscular Mycorrhizae (AM)



Écologie microbienne des sols: chapitre 2

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

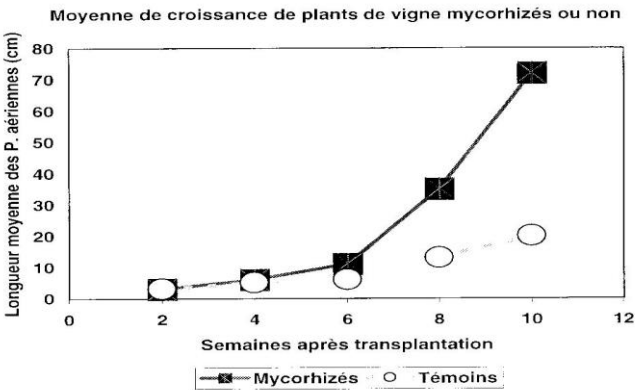
AM function	Ecosystem service provided
Root morphology modification and development of a complex, ramifying mycelial network in soil	Increase plant/soil adherence and soil stability (binding action and improvement of soil structure)
Increasing mineral nutrient and water uptake by plants	Promote plant growth while reducing fertiliser requirement
Buffering effect against abiotic stresses	Increased plant resistance to drought, salinity, heavy metals pollution and mineral nutrient depletion
Secretion of 'glomalin' into the soil	Increased soil stability and water retention
Protecting against root pathogens	Increased plant resistance against biotic stresses while reducing phytochemical input
Modification of plant metabolism and physiology	Bioregulation of plant development and increase in plant quality for human health

Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services
S. Gianinazzi, M.N. Binet, A. Golotte, D. van Tuinen, D. Redecker and D. Wipf, Mycorrhiza 2010

Écologie microbienne des sols: chapitre 2

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

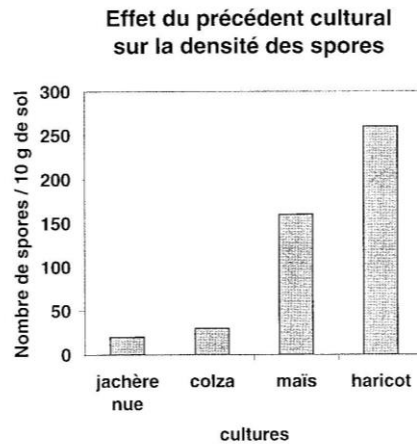
Mycorhizes et croissance végétale



Écologie microbienne des sols

II. Le rôle des champignons du sol: les mycorhizes

Mycorhizes et croissance végétale

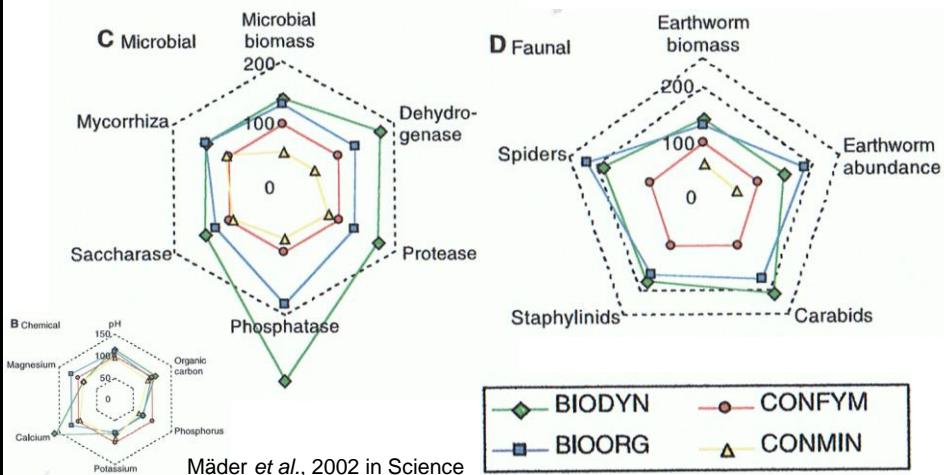


Écologie microbienne des sols

III. Systèmes de culture et fonctionnement microbien du sol: quelques exemples

Système de culture et microorganismes

Comparaison Biodynamie, AB et agriculture conventionnelle



Bio-agresseurs et système de culture : Les différents types de germes pathogènes

- **Virus :**

- parasites stricts, incapables de se reproduire (se font reproduire par l'organisme parasité)
- très petite taille (30 à 300 nm)

transmission : par le sol (débris végétaux)

vection par nématodes (court-noué...)

vection par champignons (rhizomanie betterave...)

- **Bactéries :**

- *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*...
- capables d'un développement saprophyte dans le sol
- spécificité d'hôte : pathovar

Bio-agresseurs et système de culture : Les différents types de germes pathogènes

- **Champignons :**

- Myxomycètes (plasmodes, zoospores)
- Archimycètes (cellules, zoospores) vecteurs de virus
- Oomycètes (mycelium non cloisonné, oospores)
ex : *Pythium*, *Phytophthora*, *Aphanomyces*
- Ascomycètes (mycélium cloisonné, conidies, sclérotés, ...)
ex : *Fusarium*, *Verticillium*, ...
- Basidiomycètes (mycélium cloisonné, spores, sclérotés)
ex : *Rhizoctonia*

3 types de maladies :

Fonte des semis / pourritures rainaires / trachéomycoses

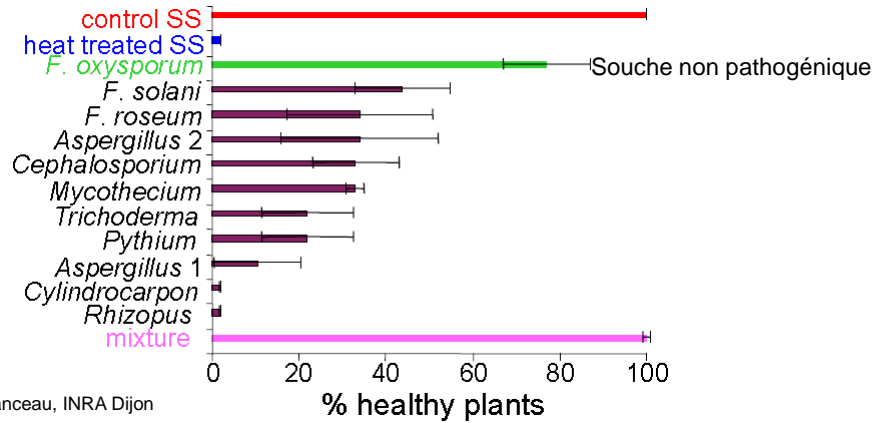
Écologie microbienne des sols

III. Systèmes de culture et fonctionnement microbien du sol

Bio-agresseurs et système de culture

Étude des sols résistants à la fusariose du lin: *Fusarium oxysporum* f. sp. lini

Mise en évidence du rôle microbien de la résistance de certains sols



Ecologie microbienne des sols - J.F. VIAN - 2014

83

Écologie microbienne des sols

III. Systèmes de culture et fonctionnement microbien du sol

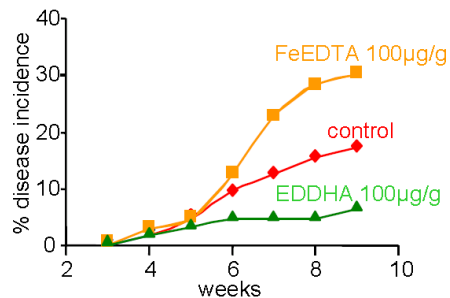
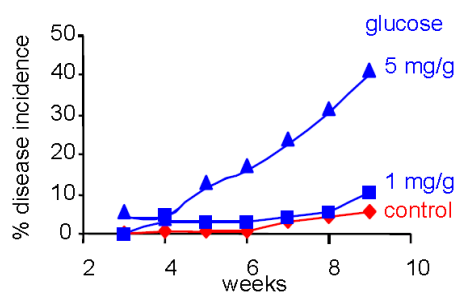
Bio-agresseurs et système de culture

Étude des sols résistants à la fusariose du lin: *Fusarium oxysporum* f. sp. lini

Mécanismes de la résistance de certains sols: compétition

Competition

Competition



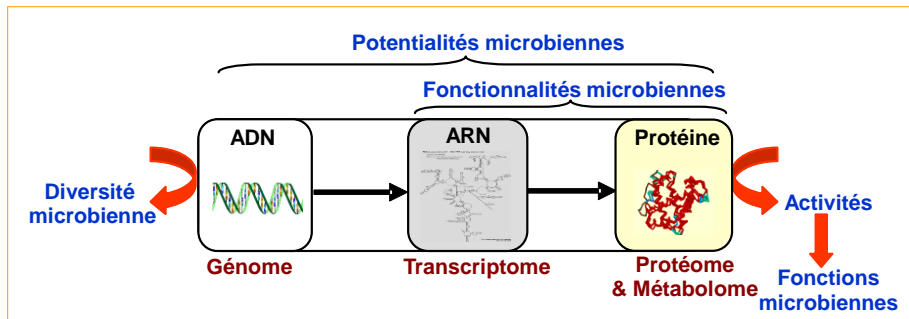
Lemanceau, INRA Dijon



Ecologie microbienne des sols - J.F. VIAN - 2014

84

Comprendre le fonctionnement biologique des sols

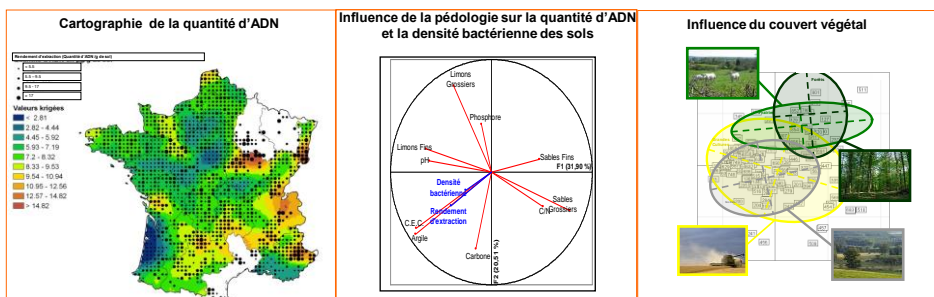


Maron et al. 2006, Microbio. Ecol. 53:486-493.

- Relier diversité génétique-activités-fonctions microbiennes
- Identifier l'influence de l'environnement sur diversité-activités-fonctions
- Comprendre les interactions au sein de la biocénose du sol
- Approcher le concept de "soil food web"

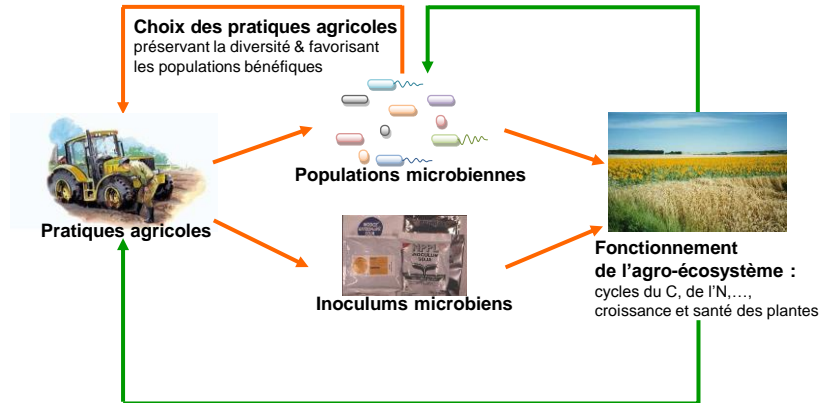
Enjeux des recherches en écologie microbienne

Décrire la diversité en relation avec les types de sols et leurs modes d'usage ⇒ biodescripteurs de la qualité des sols



Ranjard et coll. ANR ECOMIC-RMQS

Agir : Améliorer les services agro-écologiques



Philippe Lemanceau, 2008

“L’important est de mieux connaître l’écologie microbienne, en interaction avec les autres facteurs liés au sol, pour mieux gérer son fonctionnement, et en particulier prévoir et anticiper ses évolutions plutôt que de les subir” (R. Chaussod)