



Biodiversité microbienne : une enjeu majeur en agroécologie

Philippe Lemanceau
INRA, Dijon

Les sols : un patrimoine à protéger



- ↗ population mondiale
- ↘ Réduction des terres arables
- Sols non renouvelables à notre échelle de temps
- Augmentation de la consommation d'intrants
 - engrais avec des réserves finies (P) ou une production coûteuse en énergie (NO_3^- , NH_4^+)
 - pesticides avec risques associés
 - eau
- Changements globaux auxquels est soumise et contribue l'agriculture

Un nécessaire changement de paradigme



- **Enjeux agronomiques et environnementaux :**
 - Assurer une production agricole de qualité en quantité suffisante
 - Réduire l'utilisation d'intrants
 - Préserver l'environnement (sols/eau/air)
- **Réconcilier agronomie et écologie**
 - Proposer des systèmes agricoles qui respectent et valorisent la biodiversité, les régulations et interactions au sein de communautés
 - Adapter la culture à l'environnement plutôt que l'environnement à la culture

Adapter la culture à l'environnement plutôt que l'environnement à la culture



- Fertilité

- Agronomes: Productivité et nutrition minérale
- Ecologues : Equilibres et régulations biologiques

- Enjeux de l'agroécologie

- Réduire/optimiser les apports d'engrais minéraux et pesticides
- Améliorer les performances et la stabilité des agroécosystèmes



Date: 01/10/2009
 QJD: (50000)
 Page: 56-57
 Edition: (FR)
 Suppl.:
 Rubrique: Vie du sol

Cultivar
 REVUE DES AGRICULTEURS

Generated by Foxit PDF
<http://www.foxitsoftware.com>

Vie du sol Quand fertilité rime avec diversité

Un nouveau mode de réflexion sur la fertilité des sols est en marche, initié par des chercheurs de l'Inra. À partir d'un vaste travail de cartographie de la diversité microbienne des sols réalisé sur l'ensemble du territoire, les chercheurs ont relié la fertilité des sols à la biodiversité qui s'exprime depuis la parcelle jusqu'au paysage. La meilleure compréhension de ces interactions pourra déboucher sur le maintien d'une productivité durable des sols.

Cultivar

Micro-organismes Des alliés pour doper la fertilité des sols

La fertilité des sols peut être définie de multiples façons selon l'interlocuteur auquel on s'adresse. C'est ce que souligne Lionel Ranjard, chercheur spécialisé dans l'étude de la biodiversité des sols à l'Inra de Dijon, qui relie ainsi les notions de productivité et de nutrition minérale évoquées habituellement par les agronomes, et les notions d'équilibres et de régulations biologiques plus familières aux écologues. Autant de visions pourtant complémentaires et qui participent toutes à la fertilité des sols, dont la composante vivante est de plus en plus étudiée en raison de son rôle majeur dans le bon fonctionnement des sols. Les enjeux de ces recherches ne sont pas anodins : réduire les apports d'engrais minéraux, améliorer les performances et la stabilité des agroécosystèmes, voire enrayer les chutes de productivité. Les alternatives demandées par le Grenelle de l'environnement sont en marche, toutefois, elles nécessiteront encore quelques années de recherche et d'investissement...

Biofutur
 www.biofutur.com
 MENSUEL EUROPÉEN DE BIOTECHNOLOGIE
 N° 268

**Écologie
 microbienne
 des sols**

Et aussi Nanotechnologies, Vaccins, Paludisme, Biotechs cotées, Grippe aviaire, Molécules thérapeutiques approuvées, Épigénome, Expérimentation, droit des brevets et droit fiscal, Iprod, Nouveaux produits, Livres, Agenda...

La biodiversité est essentielle pour la productivité et la stabilité des écosystèmes.



La biodiversité est essentielle pour la productivité et la stabilité des écosystèmes

- **Darwin (1859)** : Les communautés les plus diverses seraient plus productives (fixation du C) et plus stables (résistantes aux perturbations).
- **Elton (1958)** : Une réduction de la complexité résulterait en une diminution de stabilité.
- **Assurance écologique** :
 - **Diversité** :
 - ↪ utilisation optimale des ressources, réduction des pertes et donc augmentation de la productivité
 - ↪ stabilité (durabilité) des écosystèmes (résistance / résilience)

Relations biodiversité/productivité/stabilité



Bien illustrées au niveau des
peuplements végétaux

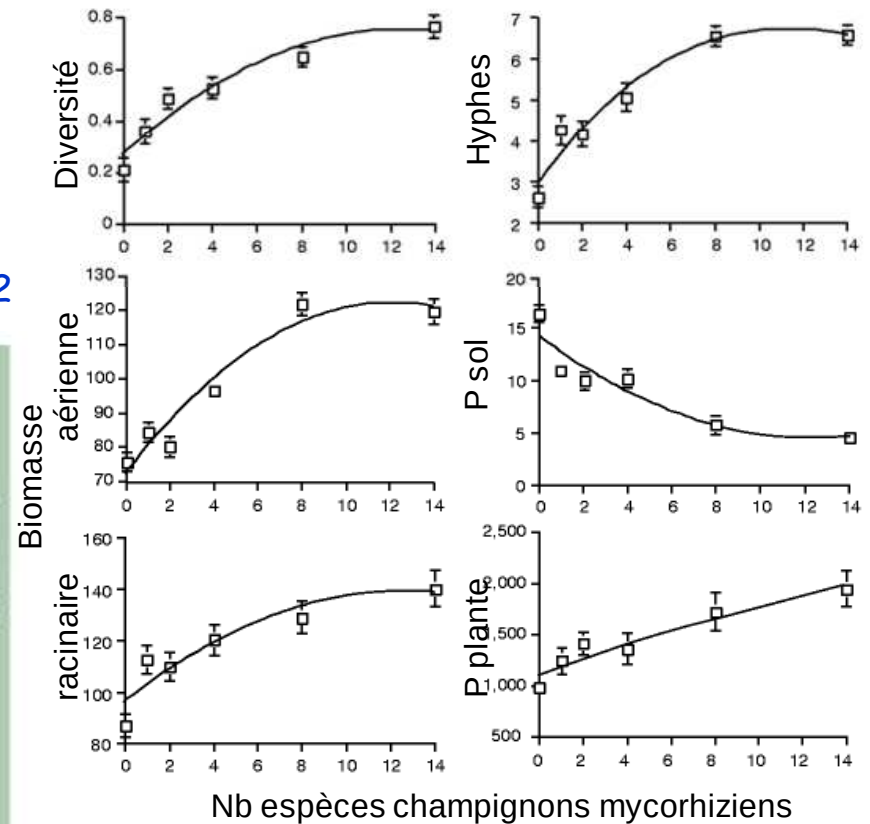
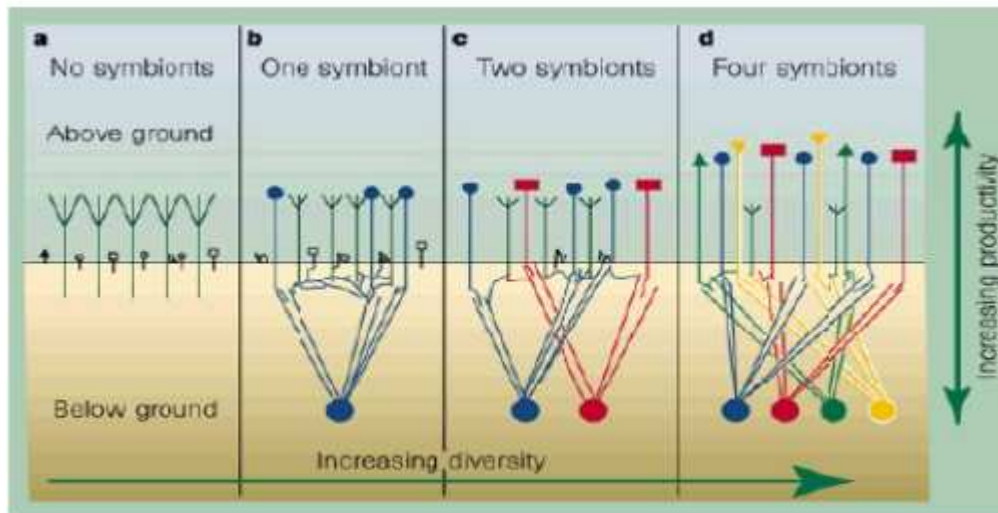
Tillman (1996). *Ecology* 77:350-363

Relations biodiversité/productivité/stabilité

- La diversité mycorhizienne accroît la diversité et la productivité végétale



Van der Heijden et al. (1998). Nature 396:69-72

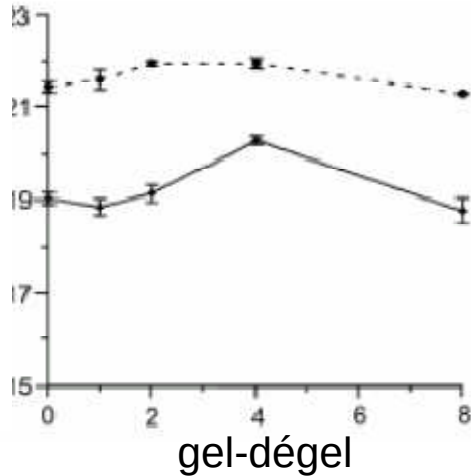


Relations biodiversité/productivité/stabilité

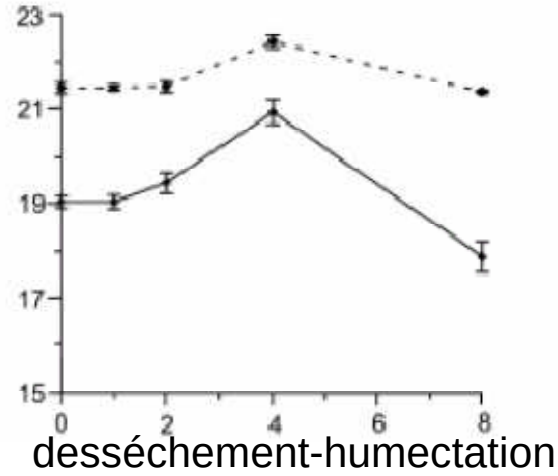
- La diversité améliore la résistance aux perturbations



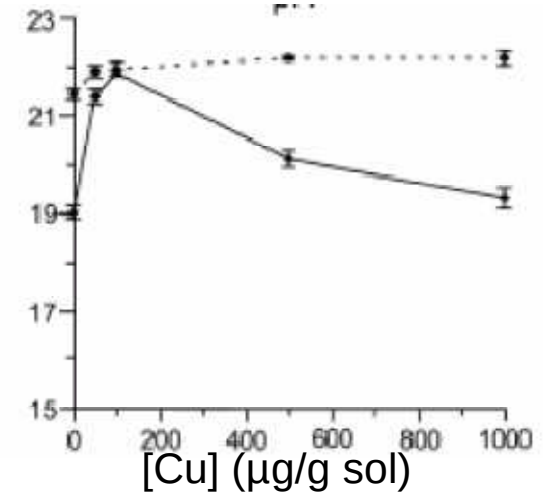
Diversité bactérienne



Nb cycles



dessèchement-humectation



[Cu] (µg/g sol)

Degens et al. (1998). Soil Biol. Biochem. 30:1989-2000

Les sols, milieux vivants ...



- Grande quantité d'organismes

- Faune : 1-5 T/ha
- Champignons : 3,5 T/ha
- Bactéries : 1,5 T/ha



F. Ippolito

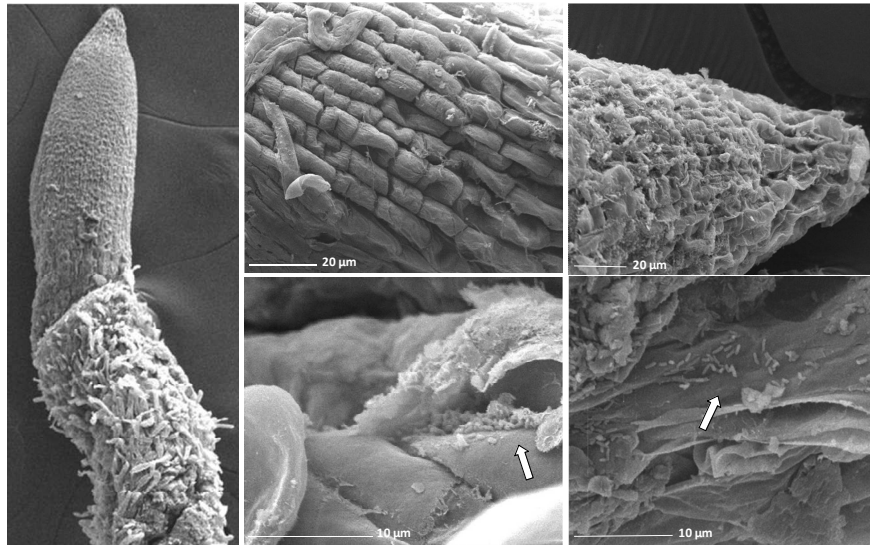
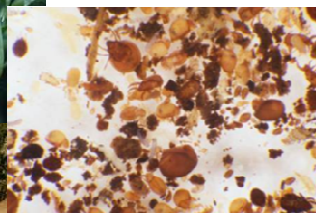


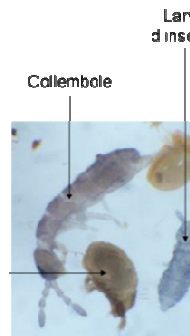
Photo : L. Avoscan & A. Viollet

Les sols, milieux vivants ...

• Fantastique diversité...



Acarien



Predatory nematodes

Higher level consumers



Collembola
(*Friesiinae* sp.)



Mites (Astigmata,
Prostigmata)

Second level consumers: bacterial- and fungal-feeding organisms



Protozoa



Nematodes



Collembola



Oribatid mites



First level decomposers

Bacteria



fungi

<http://www.microbiosol.fr.gd/Faune-du-sol.ht>

Van der Putten (2010). Green week.



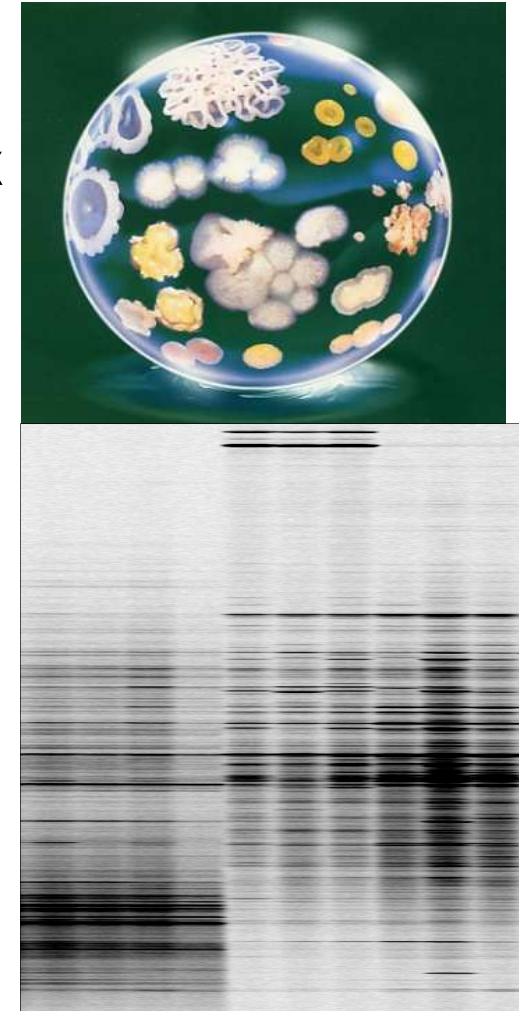
- Fantastique diversité ...mais si peu connue...

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

- Progrès méthodologiques

- ⇒ maintenant accès à l'ADN microbien du sol

- ⇒ $10^4 - 10^6$ génotypes bactériens / g sol



Fantastique diversité ...mais si peu connue...



- **Malgré les progrès méthodologiques** : Déficit en connaissances académiques et opérationnelles
- **Déficit de connaissances lié à :**
 - l'immense diversité biologique ⇒ Nécessité d'identifier des biodescripteurs
 - la grande variété des techniques de caractérisation de la biodiversité ⇒ Nécessité de standardisation
 - la grande variété de situations environnementales
⇒ Nécessité de référentiels

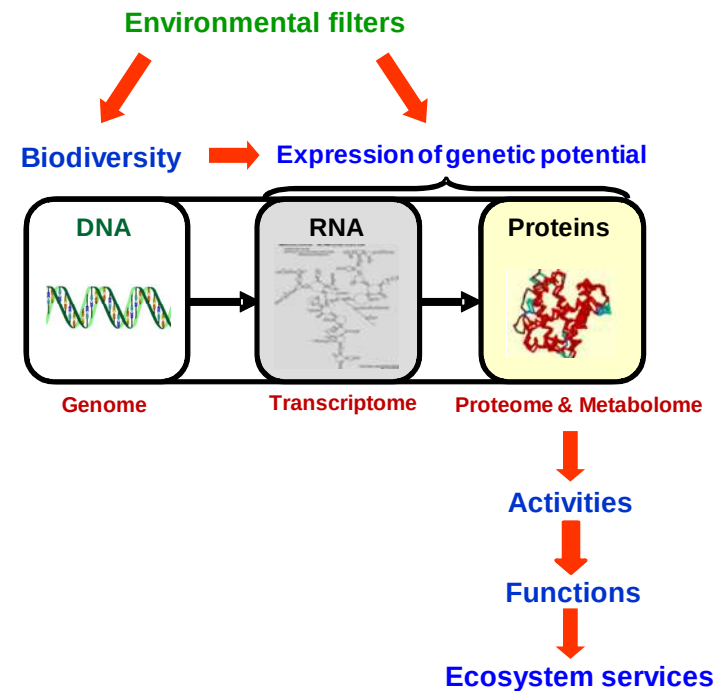
Immense diversité biologique



- **Enjeux :**

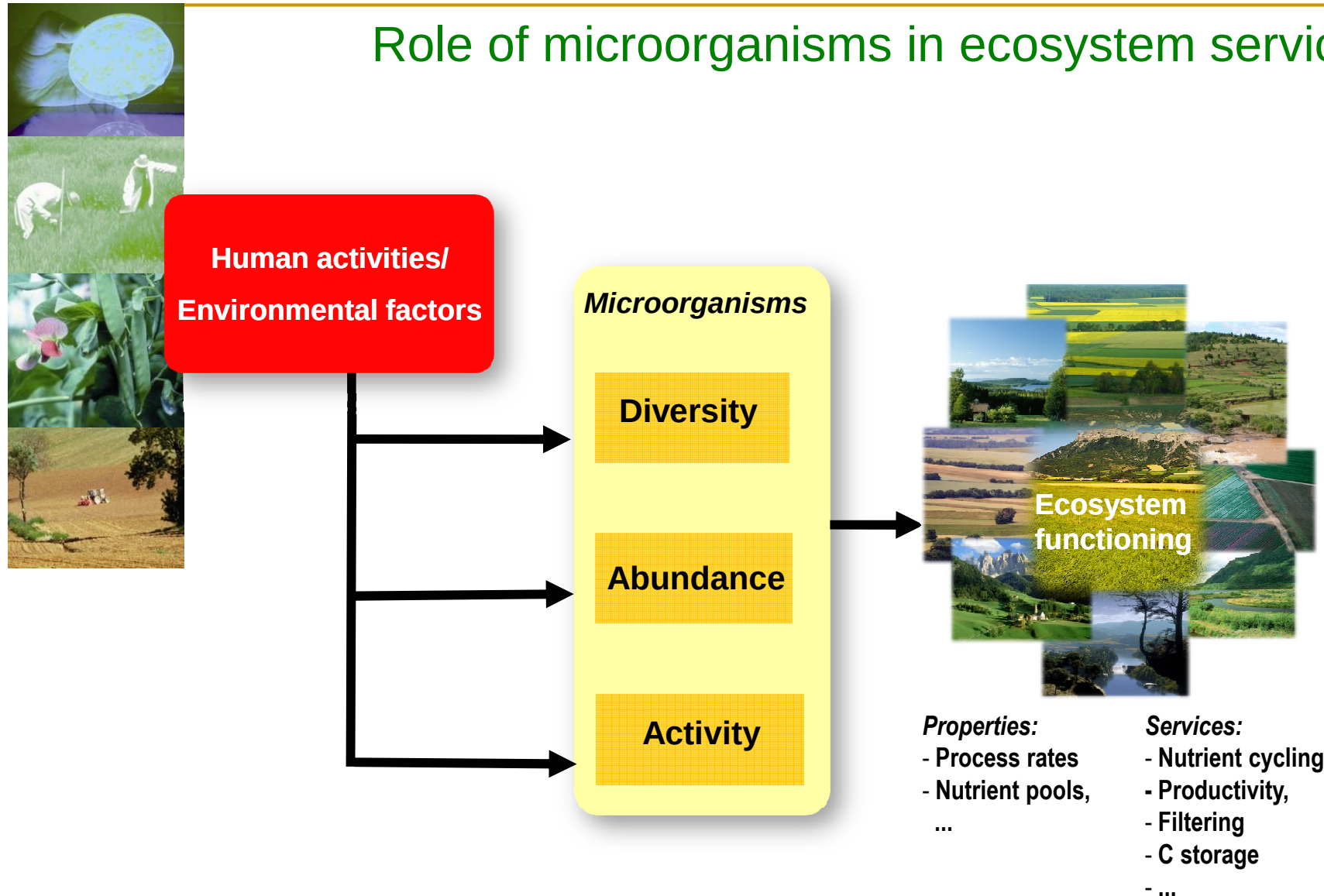
Connaissance de :

- la biodiversité
- la relation biodiversité–fonctions–services écosystémiques
- l'influence de la variété des situations environnementales

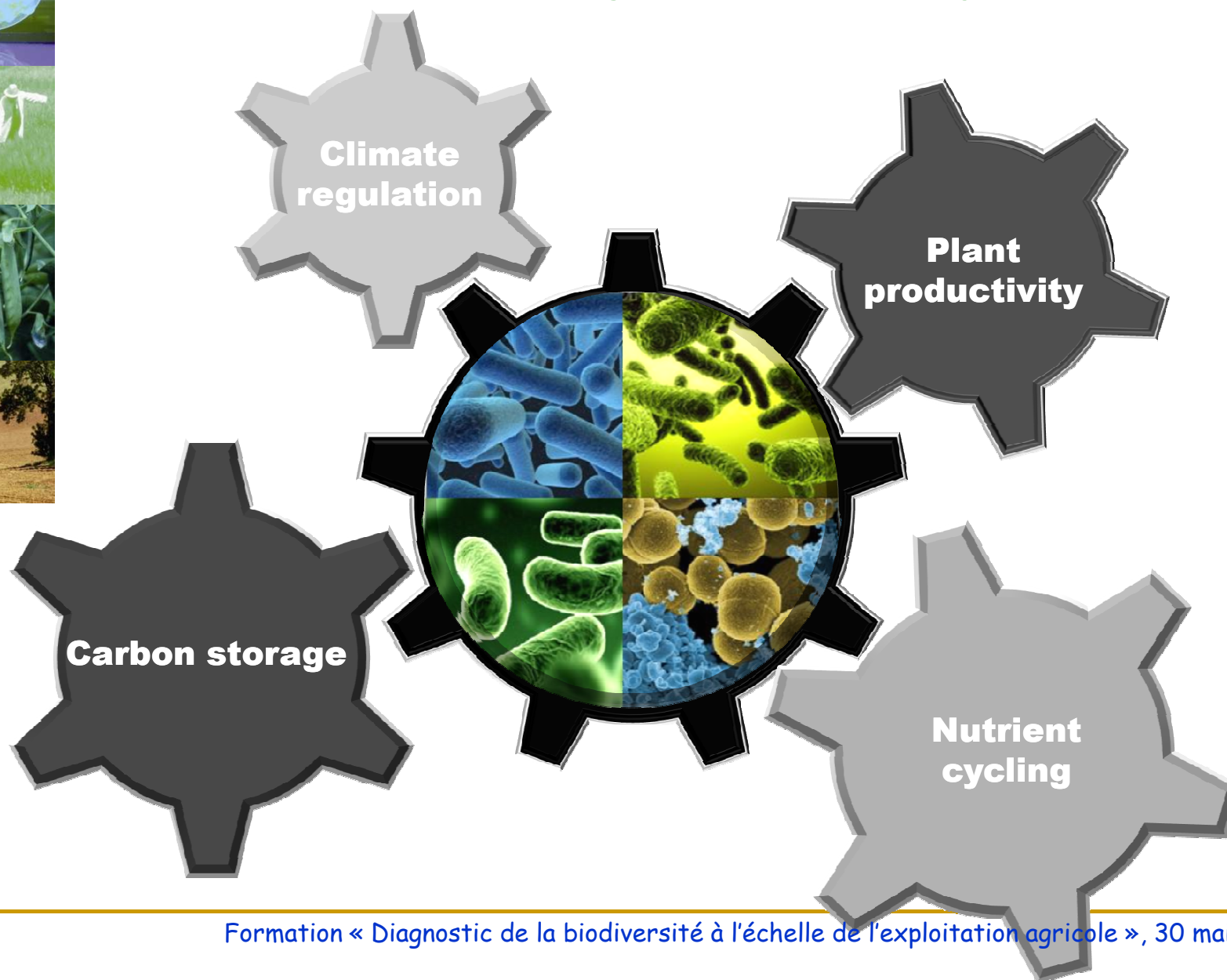


Lemanceau et al. (2010) EcoFINDERS

Role of microorganisms in ecosystem services

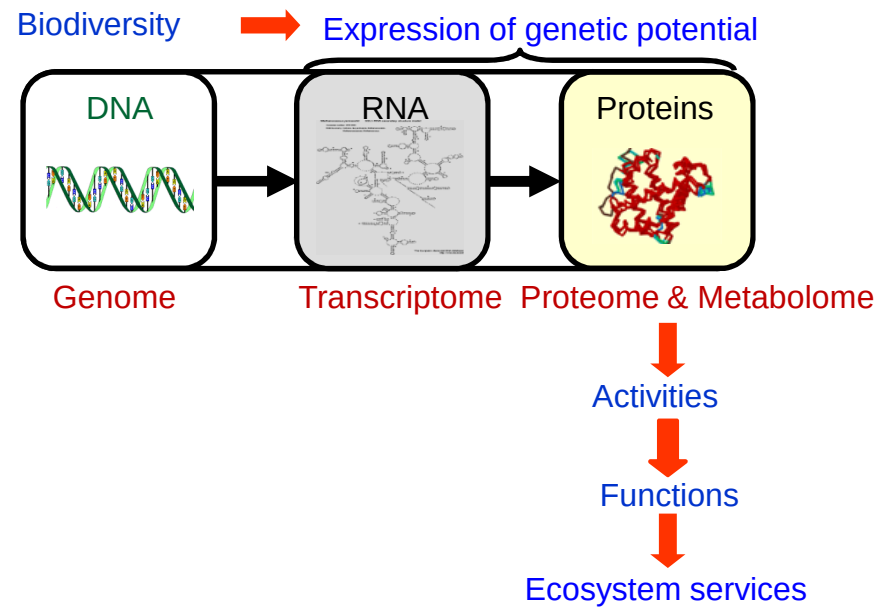


Role of microorganisms in ecosystem services

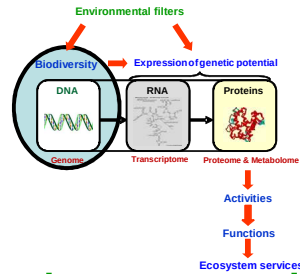




Relations biodiversité, fonctions et services écosystémiques



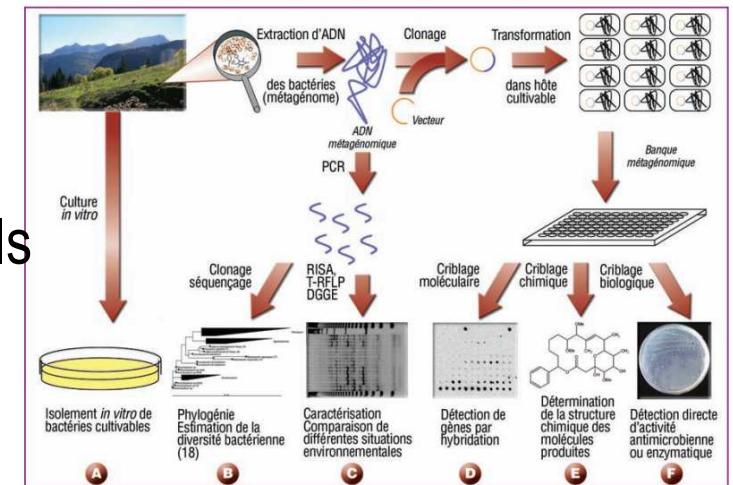
Lemanceau et al. EcoFINDERS



Immense diversité biologique

Connaissance de la biodiversité

— Analyse du métagénome du/des sols



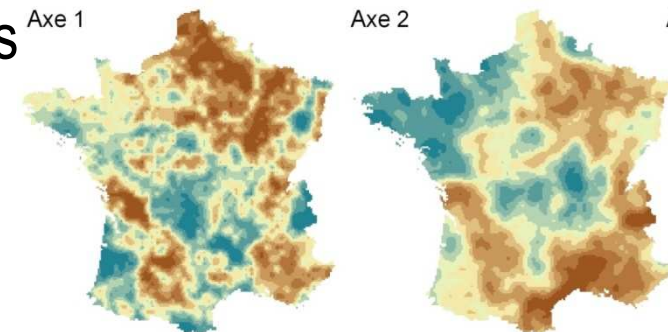
Lombard et al. (2006). Biofutur 268:24-27

— Analyse de l'abondance de la communauté microbienne totale ou de communautés fonctionnelles

- Biomasse moléculaire (quantité d'ADN/g de sol)



L. Ranjard



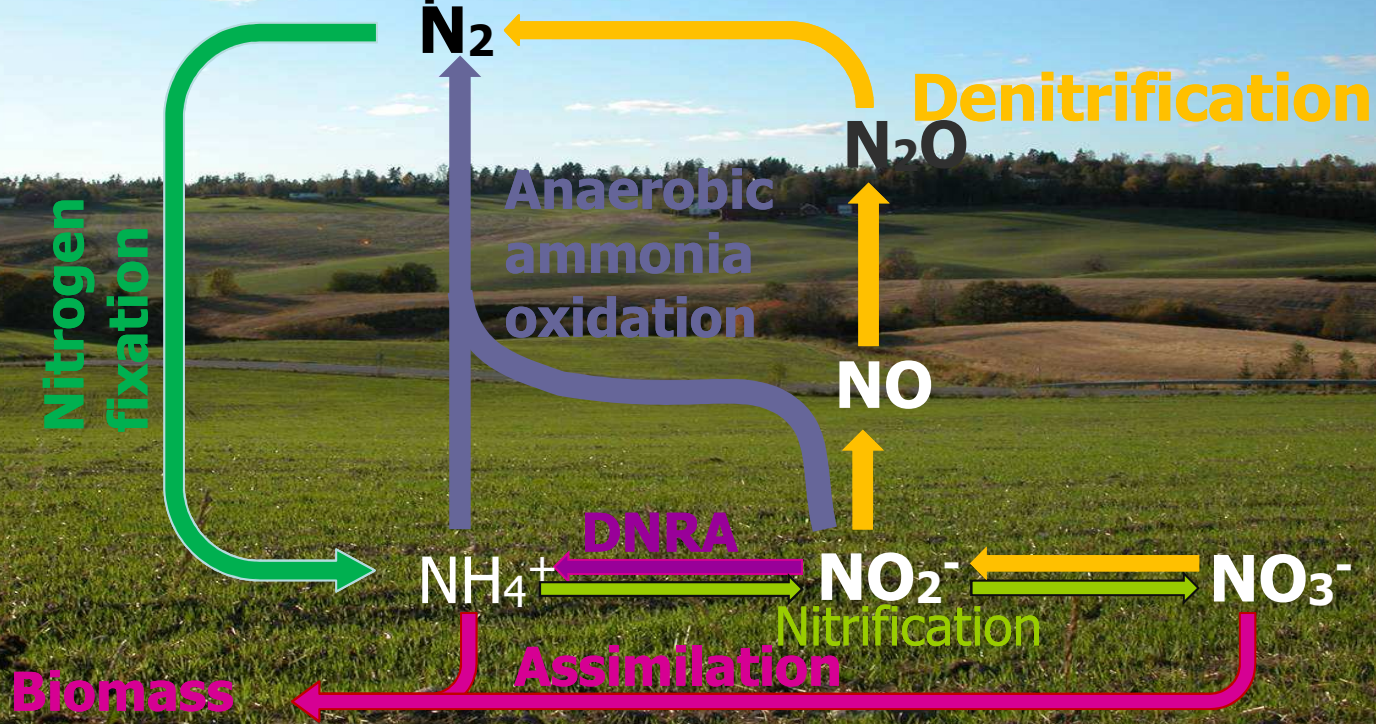
Dequiedt et al., Global Ecology and Biogeography, in press

Immense diversité biologique

- Analyse de l'abondance de communautés fonctionnelles
 - Communauté fonctionnelle : nombre de copies du/des gènes impliqués dans la fonction ciblée (PCR quantitative)

Importance of denitrification

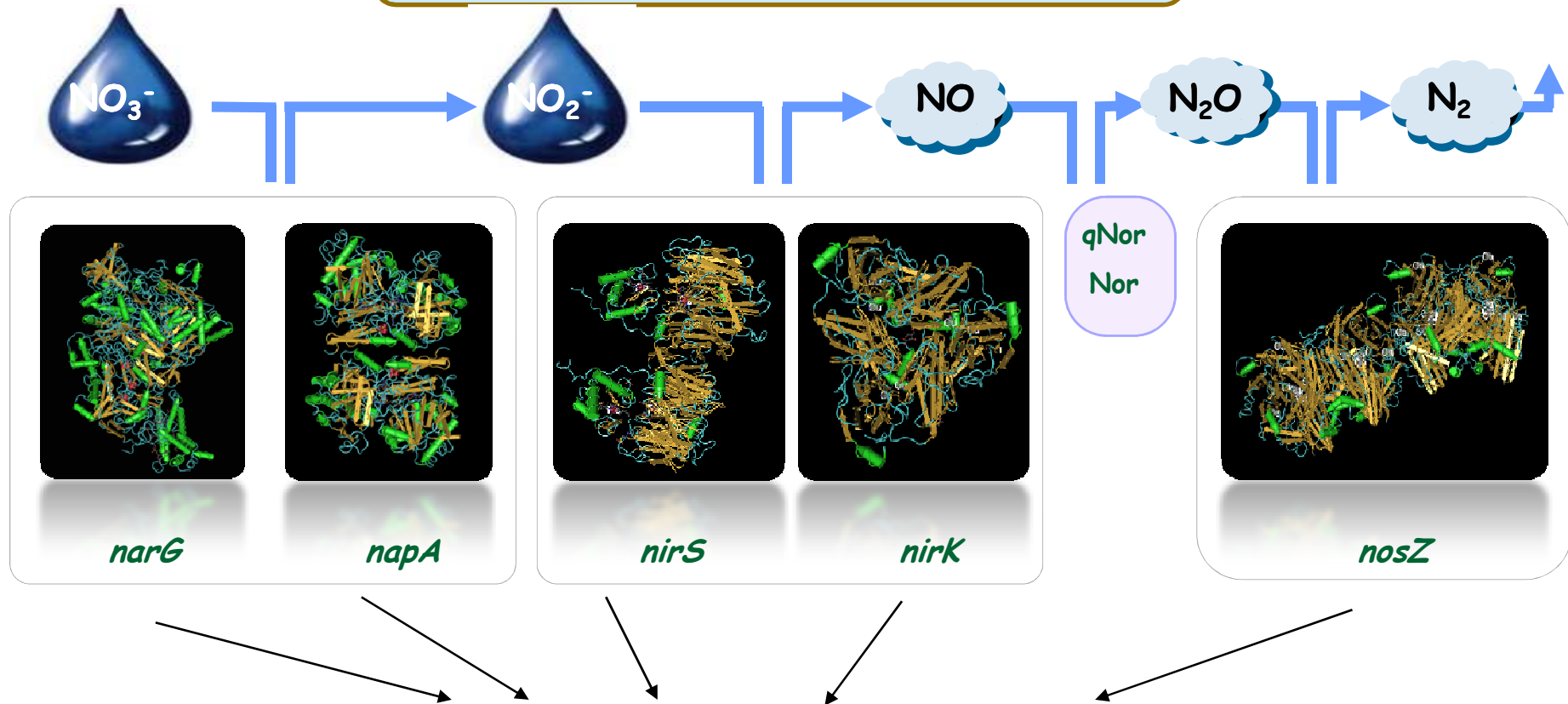
- completes the N-cycle by allowing the return of fixed N to the atmosphere



Philippot et al. (2009). Environ. Microbiol. 11:1518-1526.

Denitrification

Denitrification genes and enzymes



Molecular markers to target denitrifying bacteria

Denitrification

Bridging microbial community ecology and processes

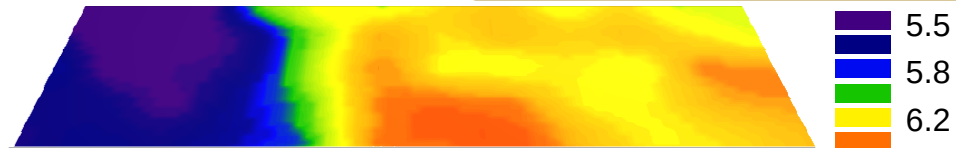
Collaboration University of Cseke Budovice, Czech republic

Infosol, INRA Orleans

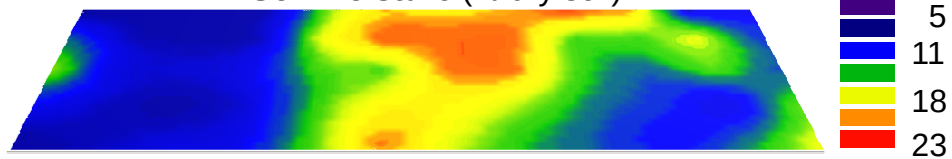


Denitrification

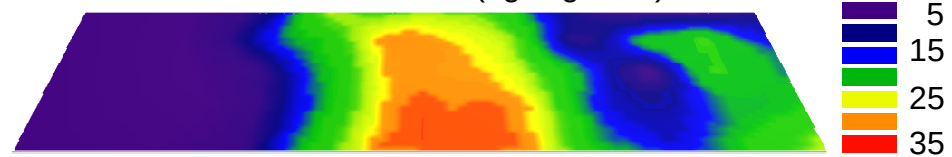
Cattle impact on the soil properties



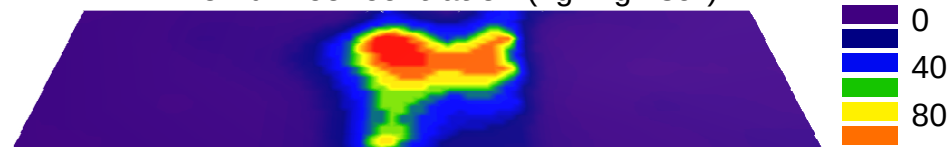
Soil moisture (% dry soil)



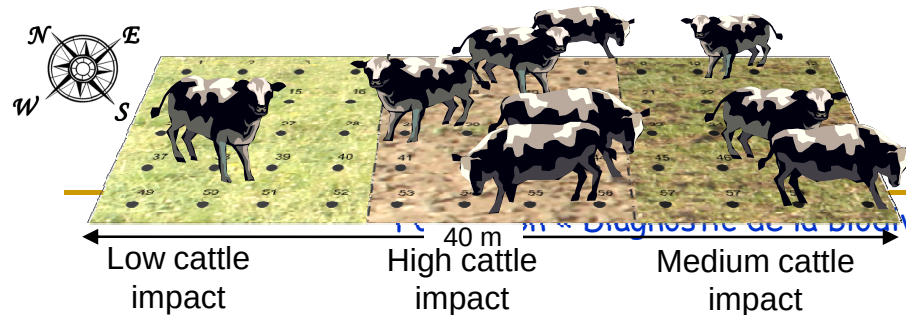
Nitrate concentration (ng N g⁻¹ soil)



Ammonium concentration (ng N g⁻¹ soil)

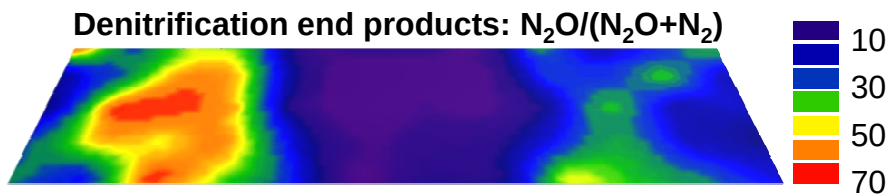
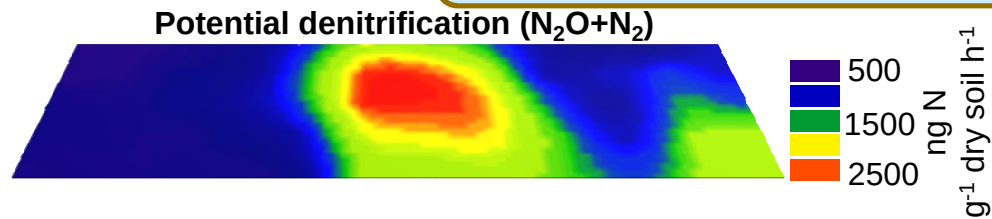


Cattle activity significantly affected most soil properties



Denitrification

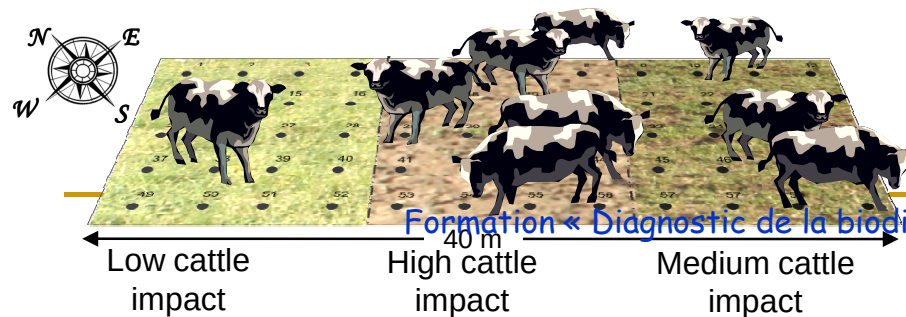
Cattle impact on the denitrifier activity



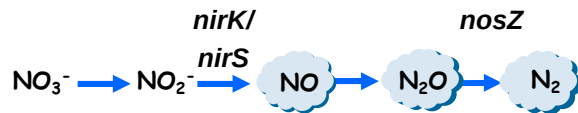
Spatial patterns of soil properties due to cattle activity imposed significant control on the denitrification process

Potential denitrification correlated to :

- nitrate ($r=0.818$; $P \leq 0.01$)
- ammonia ($r=0.697$; $P \leq 0.01$)
- pH ($r=0.756$; $P \leq 0.01$)
- soil moisture ($r=0.546$; $P \leq 0.01$)
- carbon ($r=0.579$; $P \leq 0.01$)

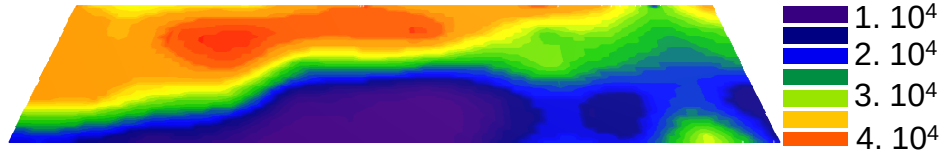


Denitrification

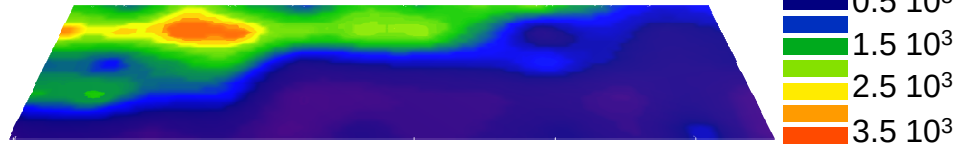


Spatial distribution of the denitrifiers

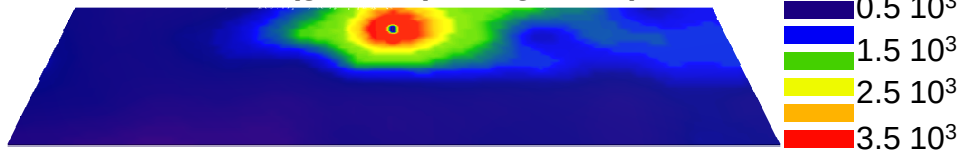
Total bacteria (16S rRNA gene copies ng⁻¹ DNA)



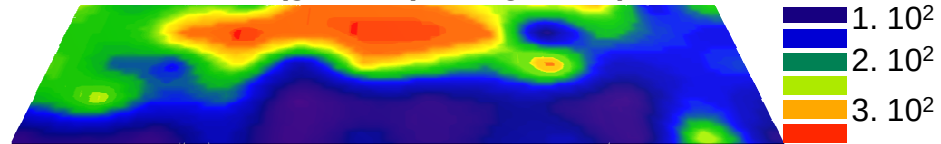
nirK (gene copies ng⁻¹ DNA)



nirS (gene copies ng⁻¹ DNA)

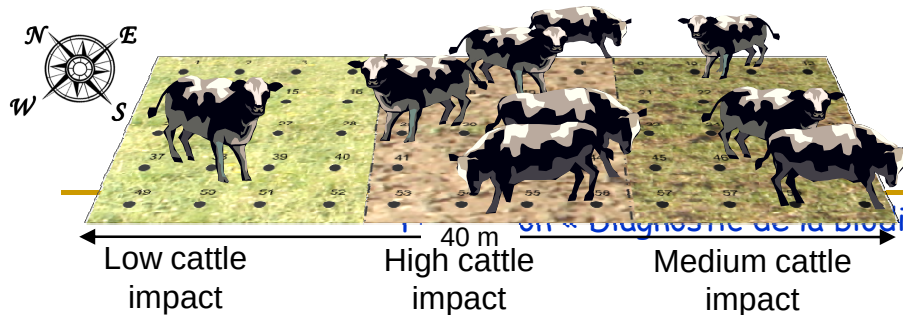


nosZ (gene copies ng⁻¹ DNA)



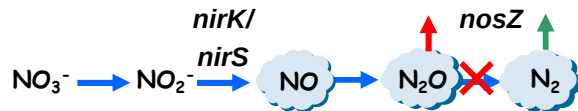
Spatial dependence of the distribution of the denitrifying bacteria

No effect of cattle impact !

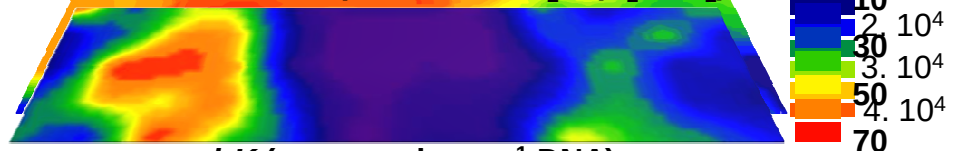


Denitrification

Spatial distribution of the denitrifiers



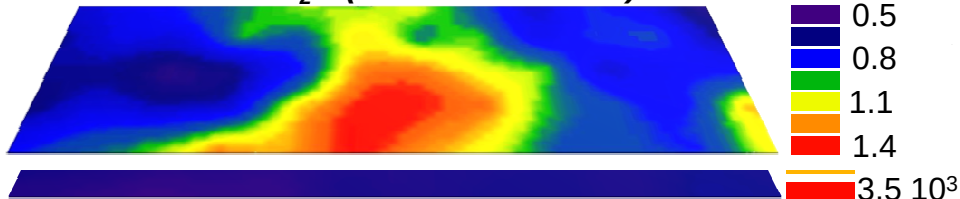
Total bacteria (16S rRNA gene copies ng⁻¹ DNA)
Denitrification end products % $\text{N}_2\text{O}/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$



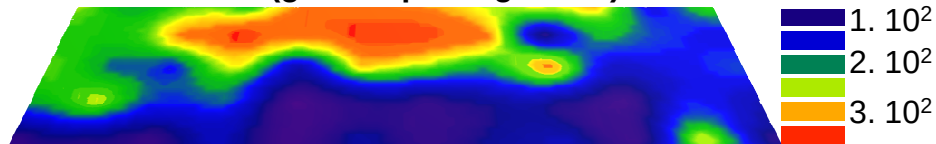
nirK (gene copies ng⁻¹ DNA)



Proportion of bacteria genetically capable to reduce N_2O (% *nosZ*/16S rDNA)



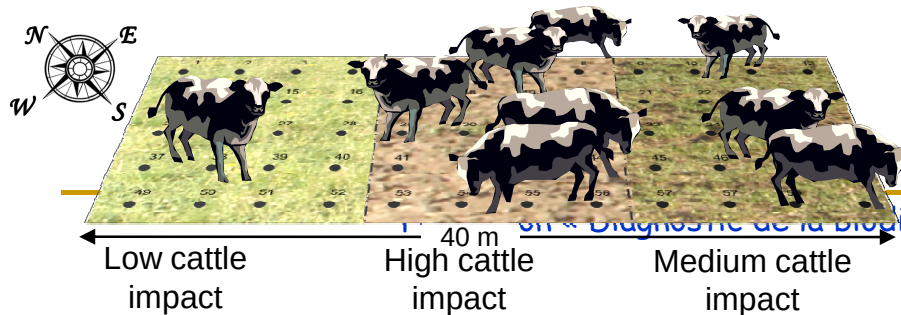
nosZ (gene copies ng⁻¹ DNA)



Spatial dependence of the distribution of the denitrifying bacteria

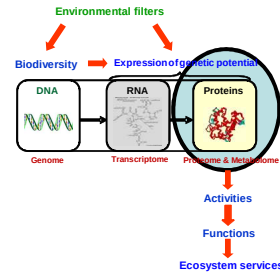
No effect of cattle impact !

Negative correlation between the % of bacteria capable to reduce N_2O and the % $\text{N}_2\text{O}/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$



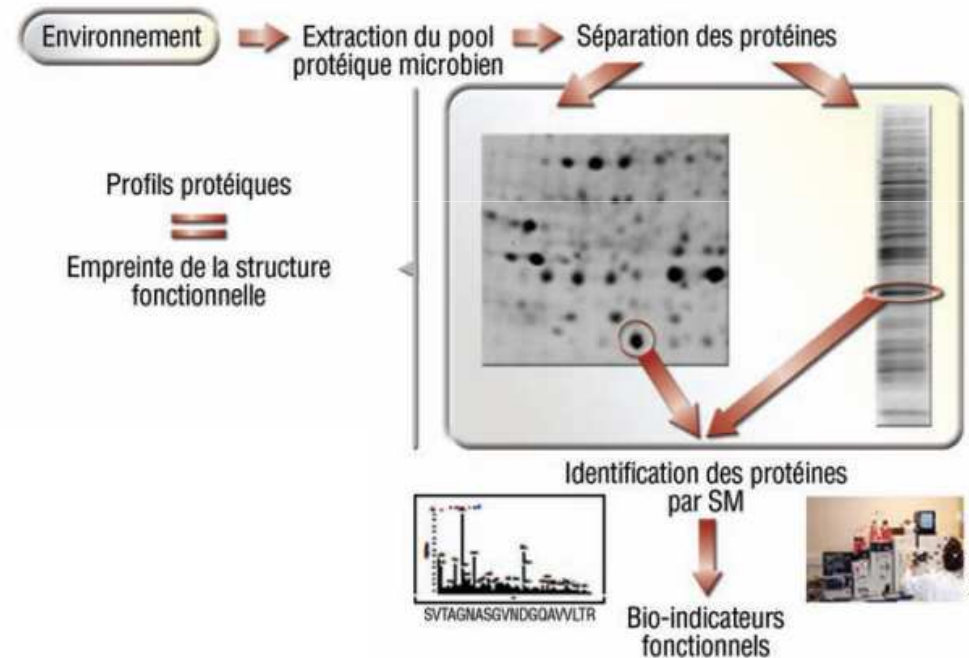
Philippot *et al.* 2009. Environ. Microbiol. 11:3096-3104

Diagnose de la biodiversité à l'échelle de l'exploitation agricole, 30 mai 2011



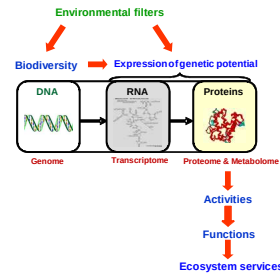
Immense diversité biologique

- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques

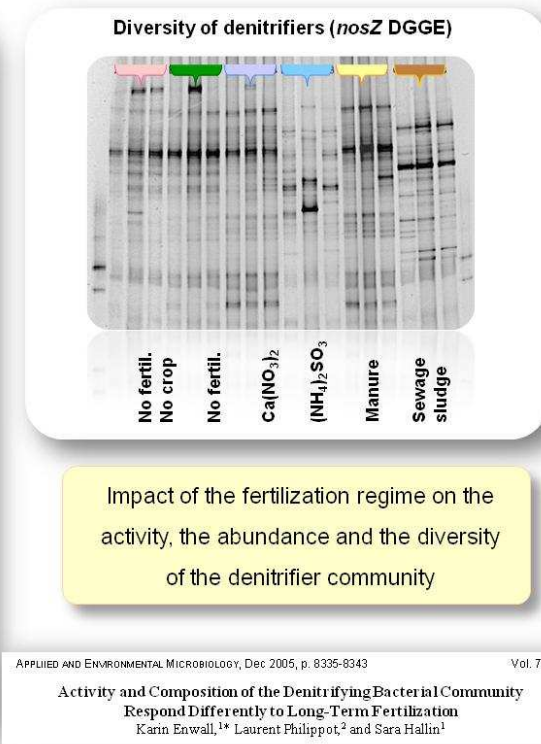
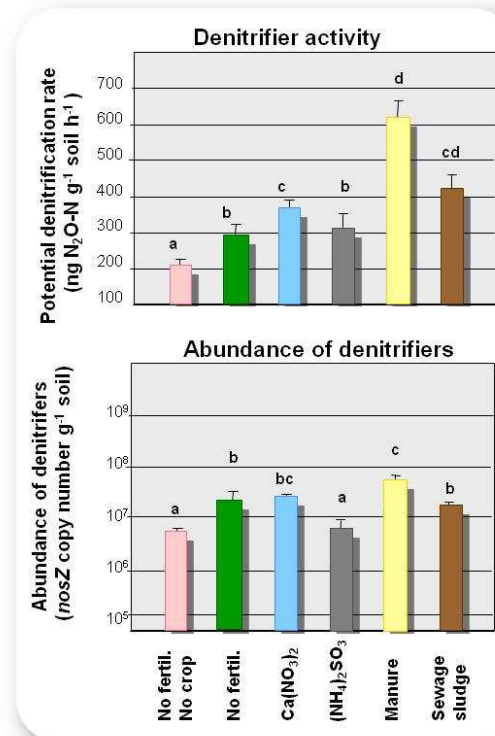
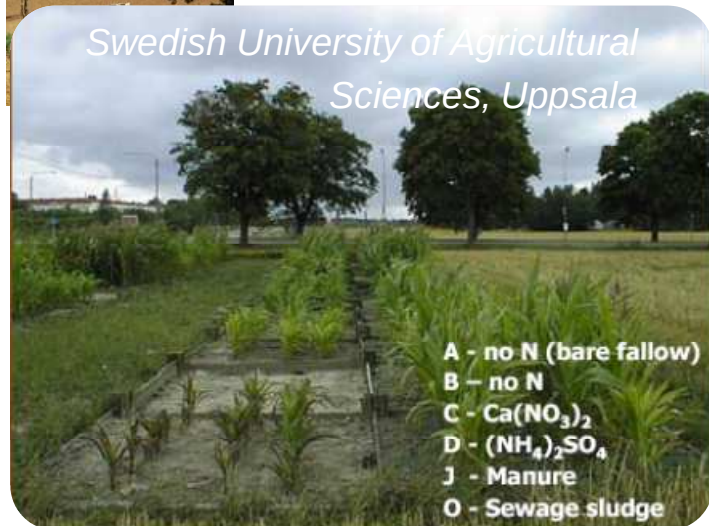


Maron et al. (2006). Biofutur 268:28-32

Immense diversité biologique

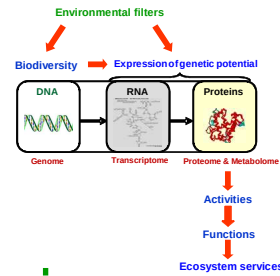


- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques
 - Exemple du cycle de l'azote



Enwall et al. (2005). Appl. Environ. Microbiol. 268:28-32

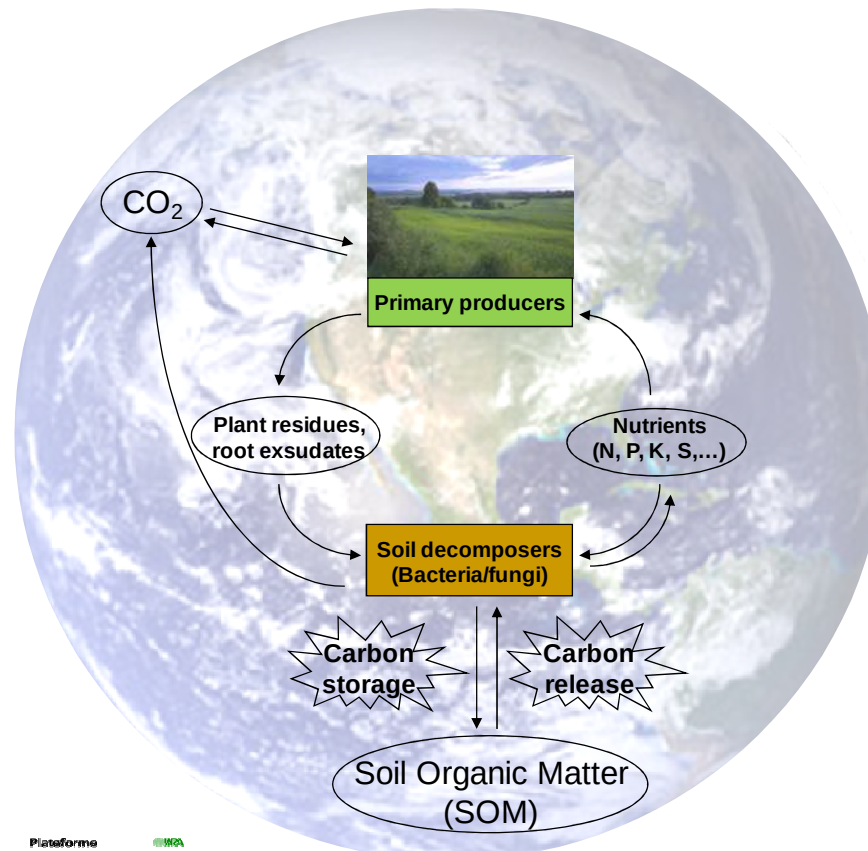
Immense diversité biologique



- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques
 - Exemple du cycle du carbone

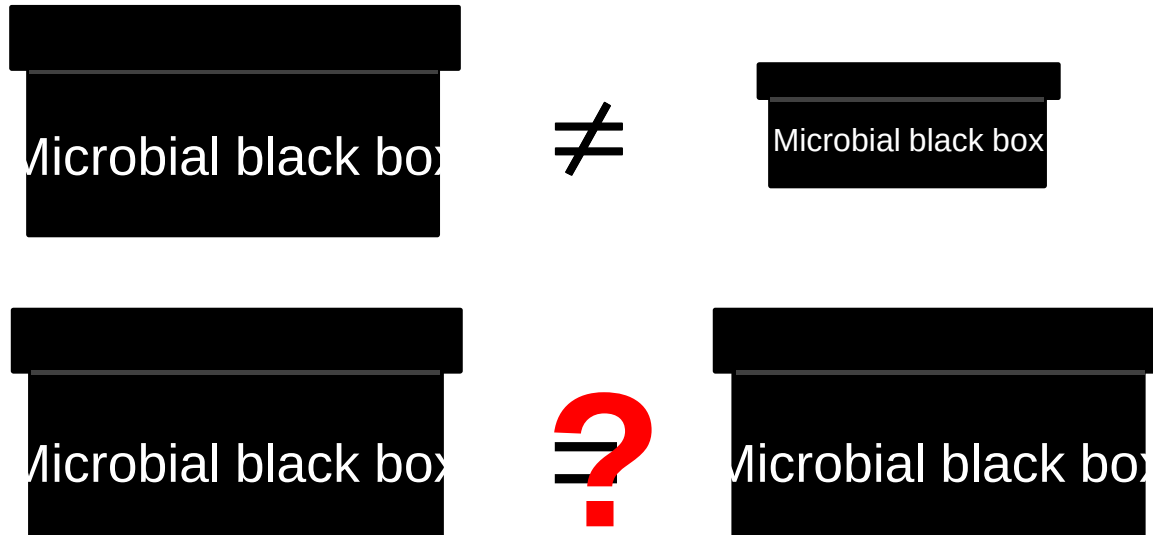


P.-A. Maron



Stockage du Carbone

Microbial black box

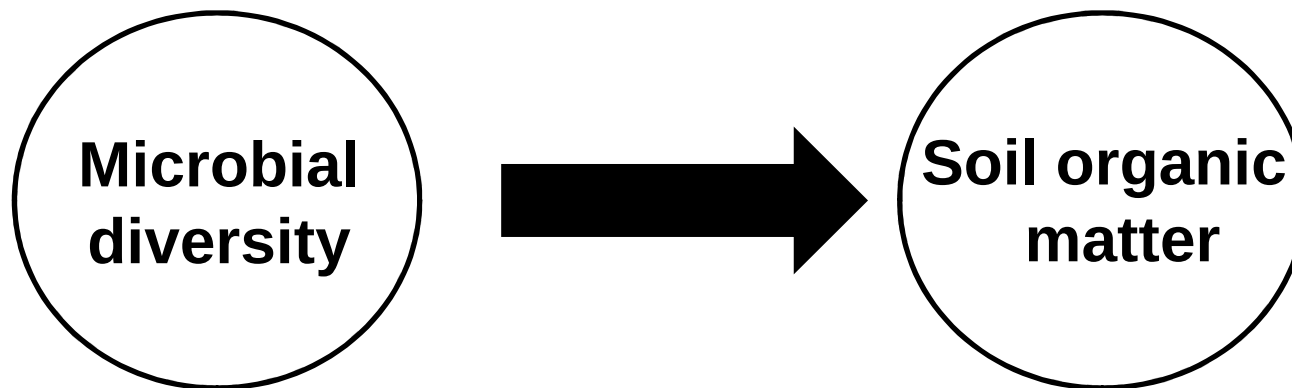


Hypothesis: Soil microorganisms are mainly heterotrophs $\Rightarrow$ high functional redundancy

Question: does the microbial diversity really not matter?

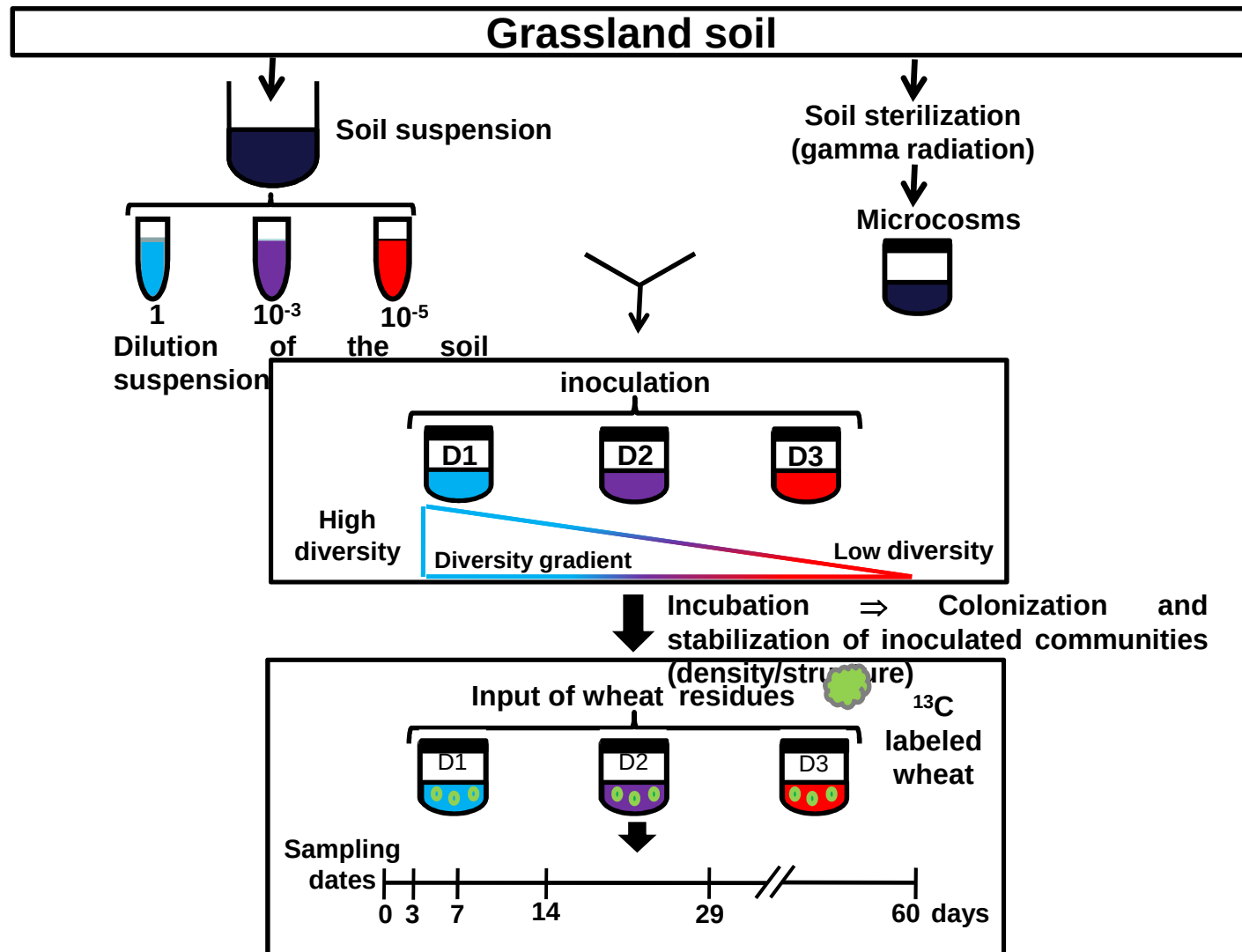
Experimental strategy

⇒ *Manipulation of the soil microbial diversity*



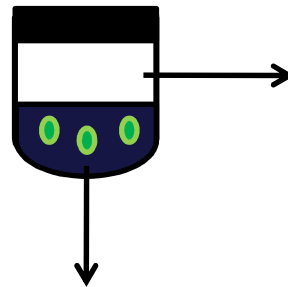
Stockage du Carbone

Experimental strategy



Stockage du Carbone

Methodology



Gas analyses

Gas samples

Total CO₂

=

Total
mineralization

¹³C-CO₂

=

Mineralization of
wheat residues

Microbial communities Molecular analyses

SOL



DNA extraction



qPCR

=

Microbial density
(bacteria/fungi)

Pyrosequencing

=

Diversity quantification

Results - bacterial diversity at T0

- Pyrosequencing of the 16S rDNA



	D1	D2	D3
Shanno	4,60	4,29	3,47
Richne	1890	810	841
Evenness	0,68	0,70	0,57

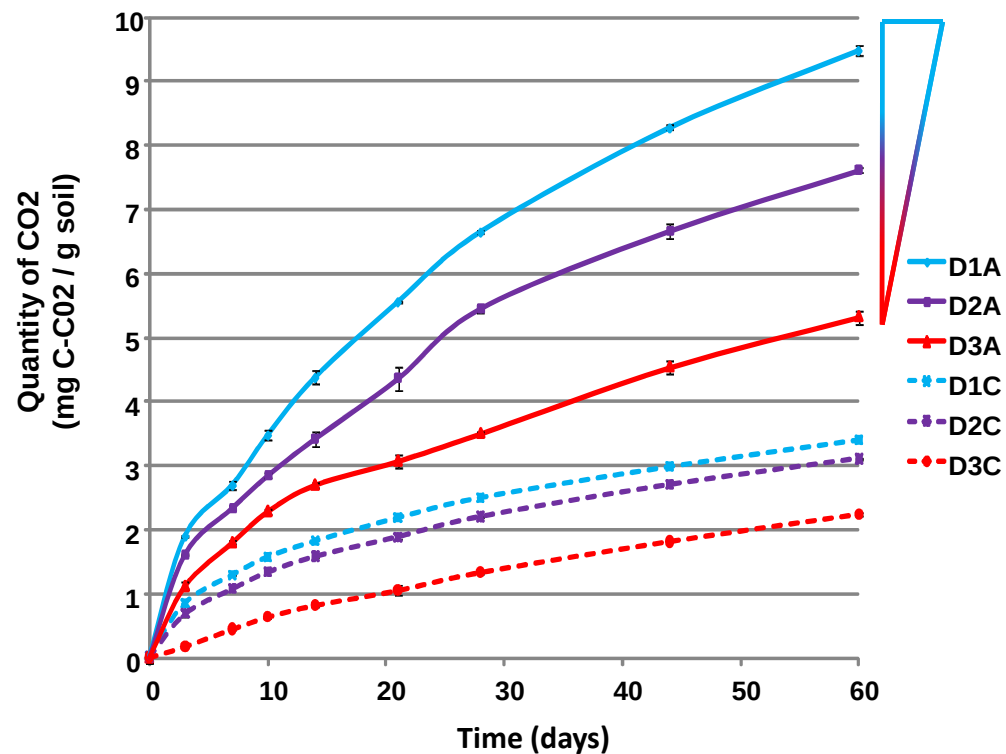
→ Diversity gradient

- Same density (bacteria and fungi) in D1, D2, and D3 (qPCR, data not shown)



Stockage du Carbone

Results – Total mineralization



➤ Control microcosms(C)

Basal respiration:

$$D1 = D2 \rightarrow D3$$

Function not
affected

Function
affected

For low
diversity

➤ wheat residue input

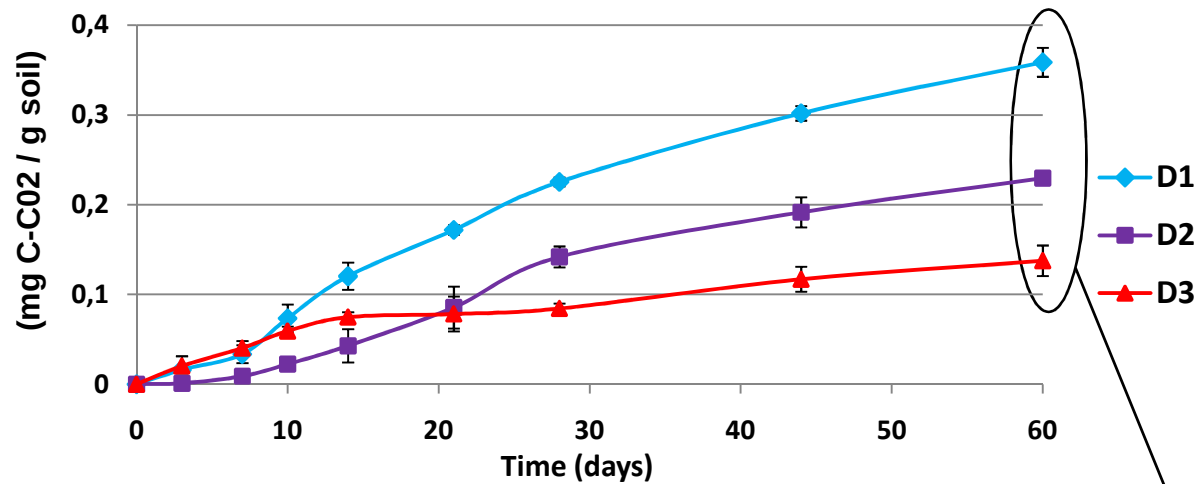
= stimulation of microbial activity

Mineralization D1 > D2 > D3



**Mineralization C= f (microbial
diversity)**

Results – Priming Effect



- PE is induced by wheat addition
- PE D1 > PE D2 > PE D3

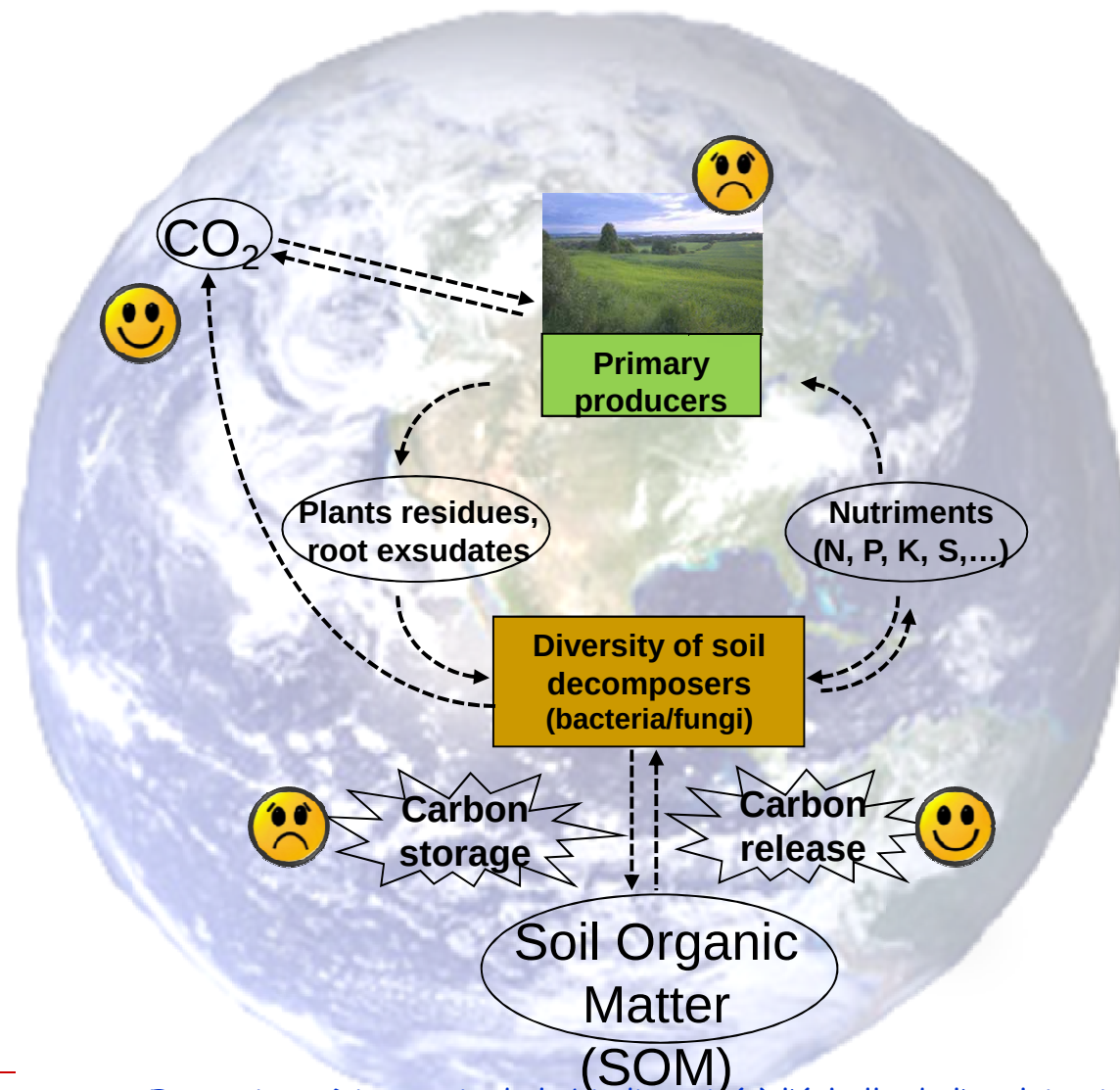


PE = f (Microbial diversity)

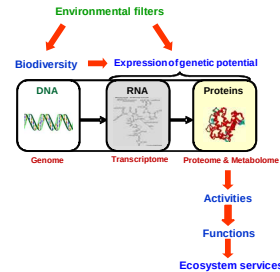
D1: + 69 %
D2: + 47 %
D3: + 39 %

Stockage du Carbone

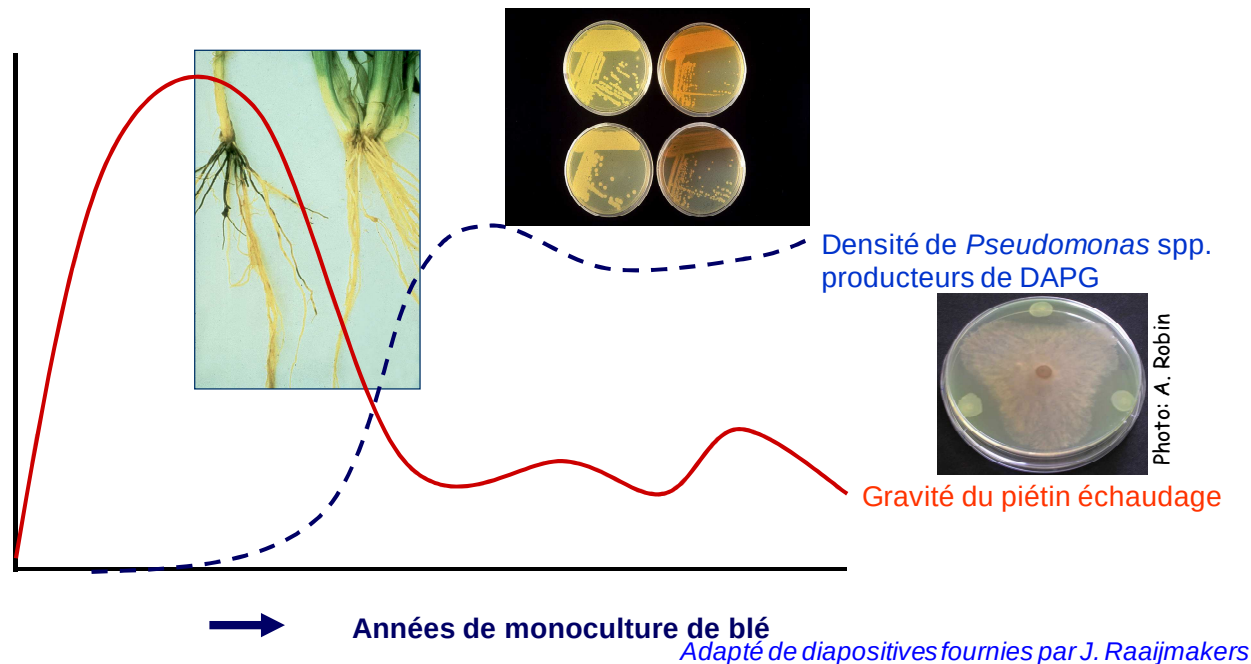
Conclusions



Immense diversité biologique



- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques
 - Exemple du piétin échaudage



⇒ Identification de biodescripteurs

Variété des techniques de caractérisation de la biodiversité

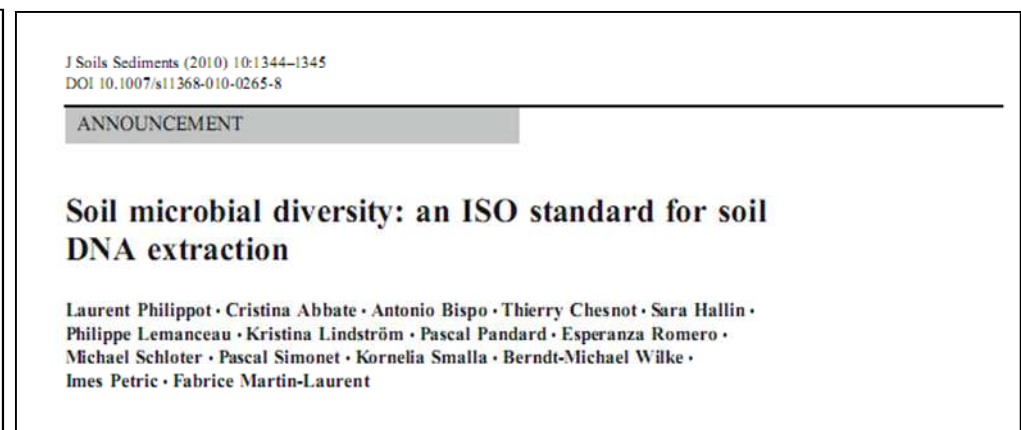
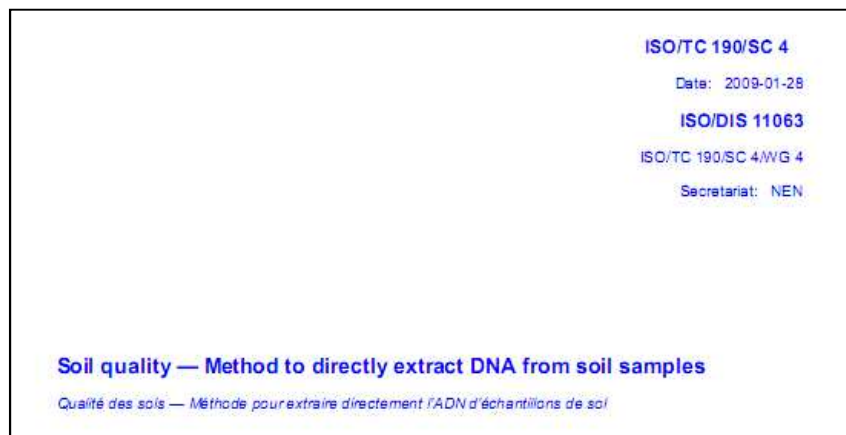


- **Nécessité de standardisation des méthodes de :**

- caractérisation de la diversité
 - Stratégie d'échantillonnage



- Extraction d'ADN

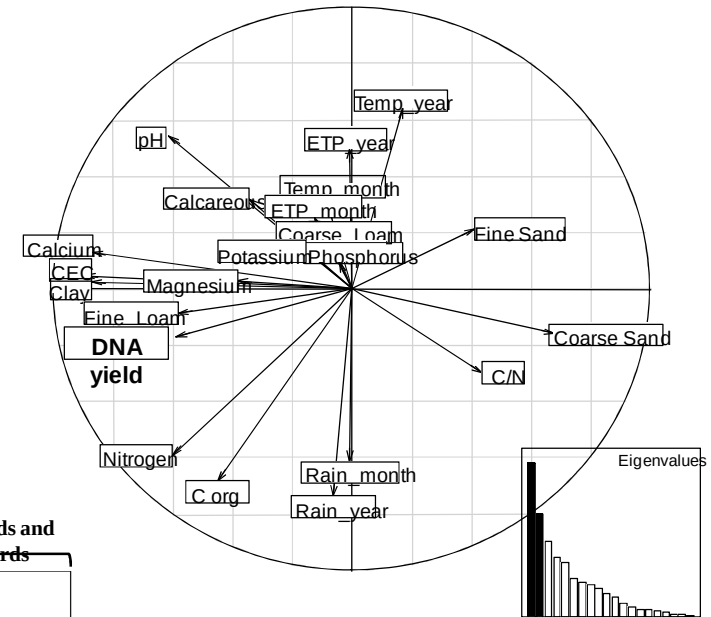
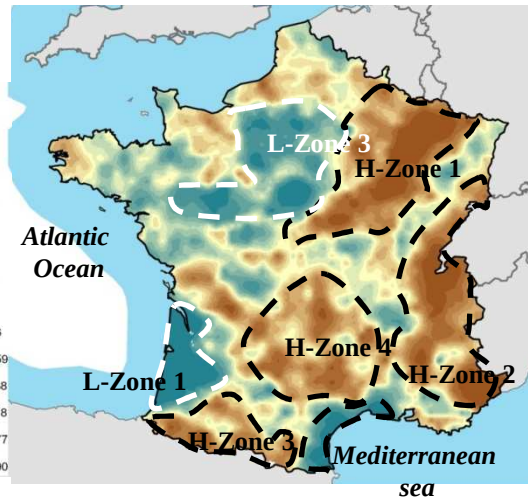
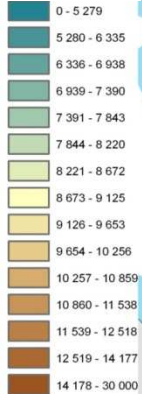


- mesure des biodescripteurs

Variété des situations environnementales

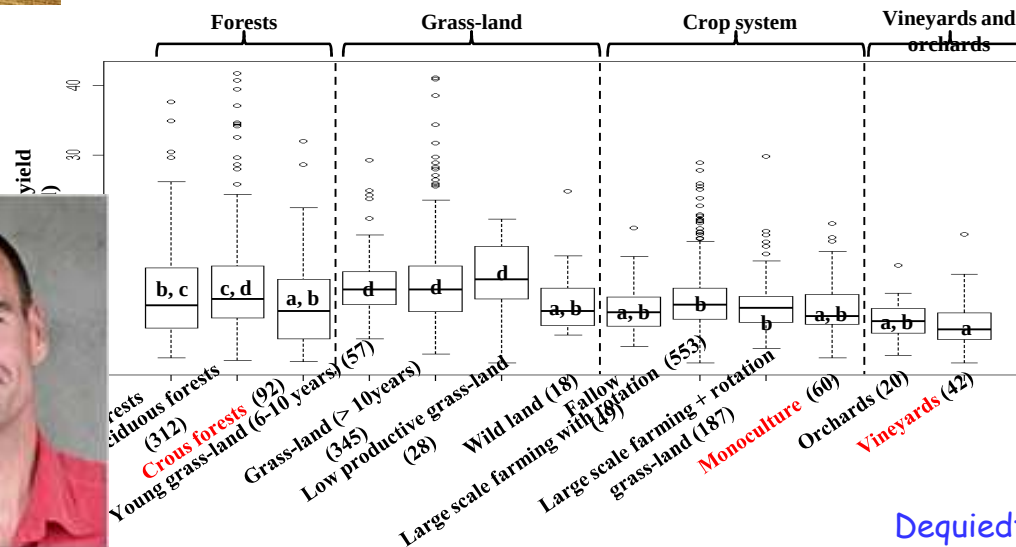


DNA yield
mg.g⁻¹ soil



Ranking environmental parameters

Texture, CEC > Corg, N, pH, C/N
>>> climatic factors



Dequiedt et al. (2011) Global Ecol. Biogeo. Sous presse.

L. Ranjard

Variété de situations environnementales

- Nécessité d'établir un référentiel



TRIPTYC GenoSol

Conservatoire des ressources génétiques Sol

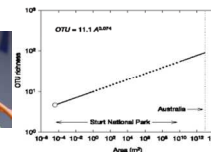
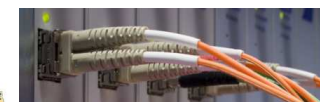
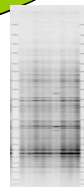
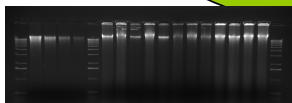
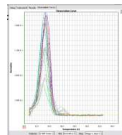
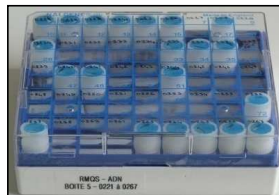
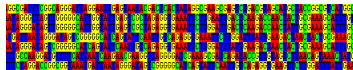
Stocker et gérer les ADN de sols

Plateforme Technique

Caractérisation moléculaire (densité, diversité) des communautés microbiennes des sols

Système d'Information Environnementale

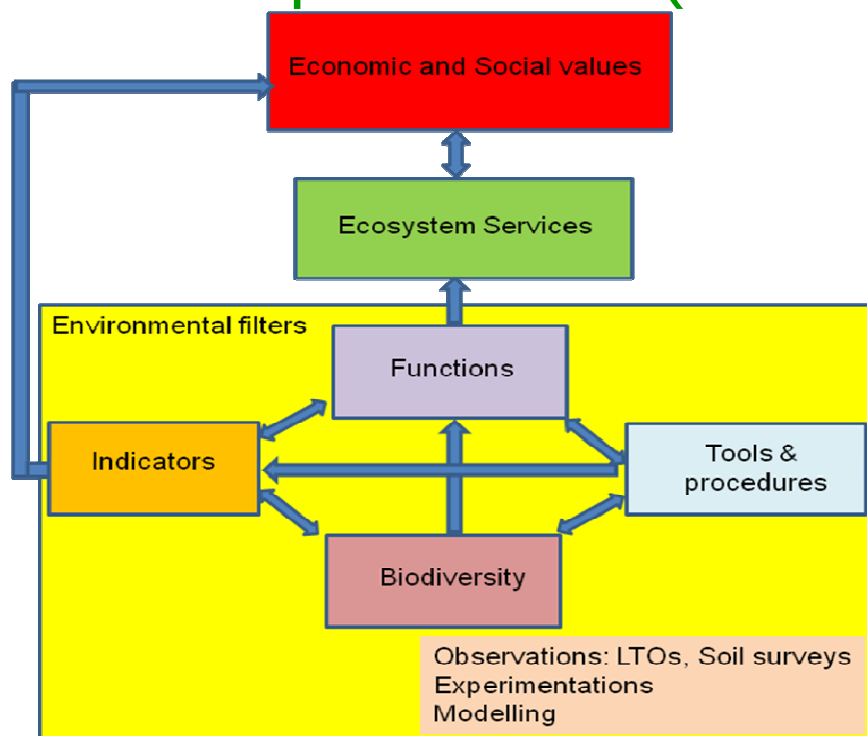
(référentiel sur l'abondance et la diversité des communautés microbiennes des sols)



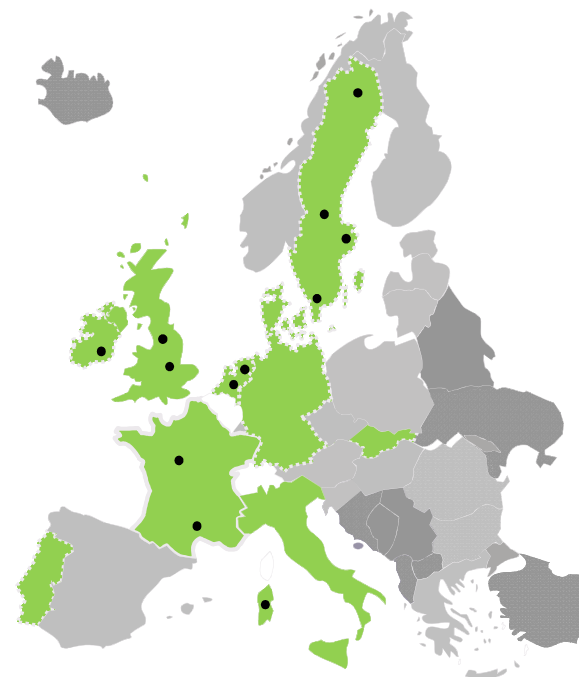
Vers un diagnostic de la qualité des sols



- **Ecological Function and Biodiversity Indicators in European Soils (EcoFINDERS)**



Lemanceau et al. 2010. EcoFINDERS



- **Proposition du concept de Normal Operating Range**

Agroécologie

