

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 agriculture 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

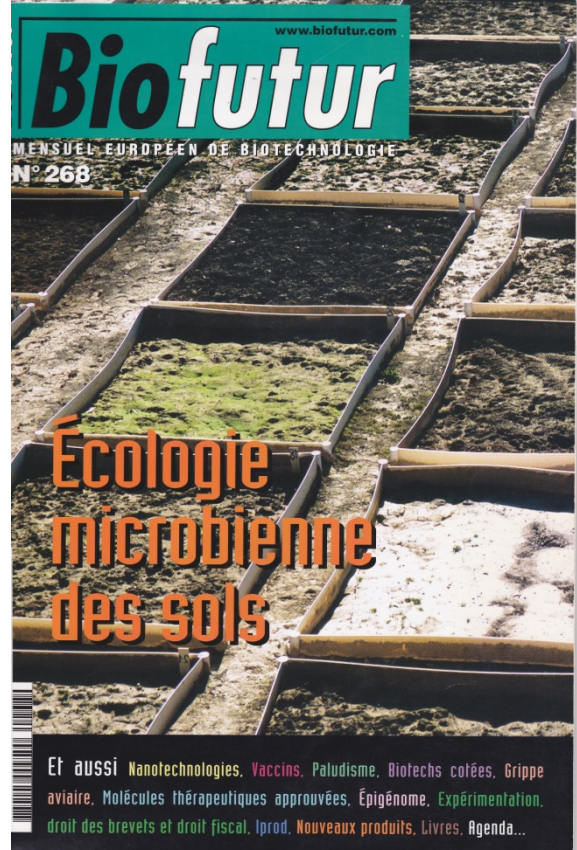


Date: 01/10/2009
QJD: (50000)
Page: 56-57
Edition: (FR)
Suppl.:
Rubrique: Vie du sol

Cultivar

Micro-organismes Des alliés pour doper la fertilité des sols

La fertilité des sols peut être défilée de multiples facettes 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...



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

Cultivar
LE MAGAZINE DES ESPRITS CULTIVÉS

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.

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



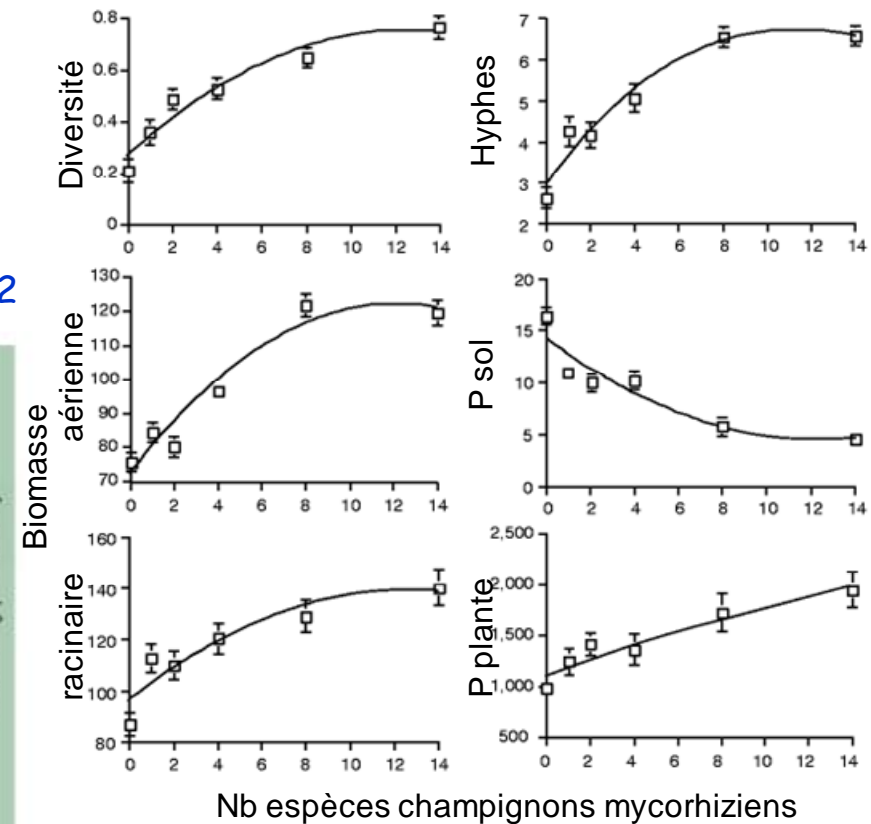
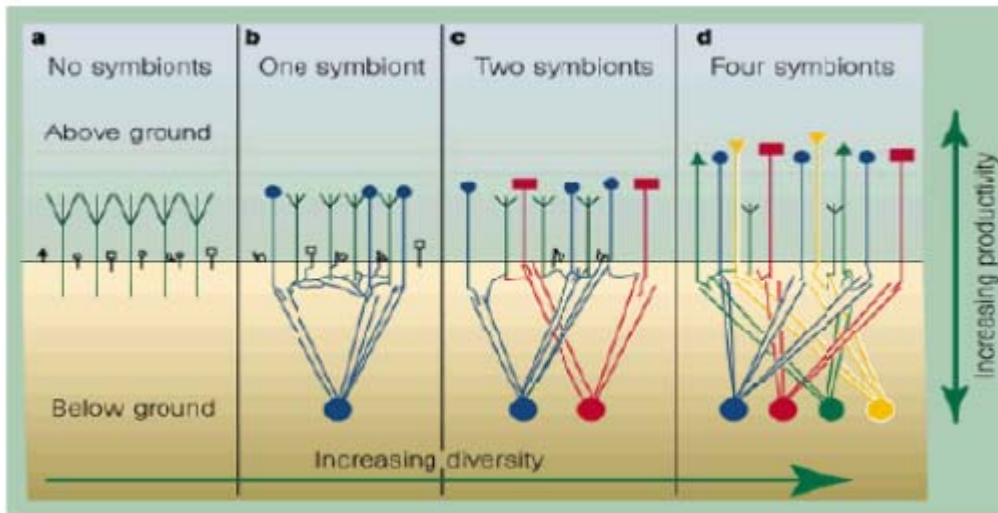
Bien illustrées au niveau des
peuplements végétaux

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

Relations biodiversité/productivité/stabilité

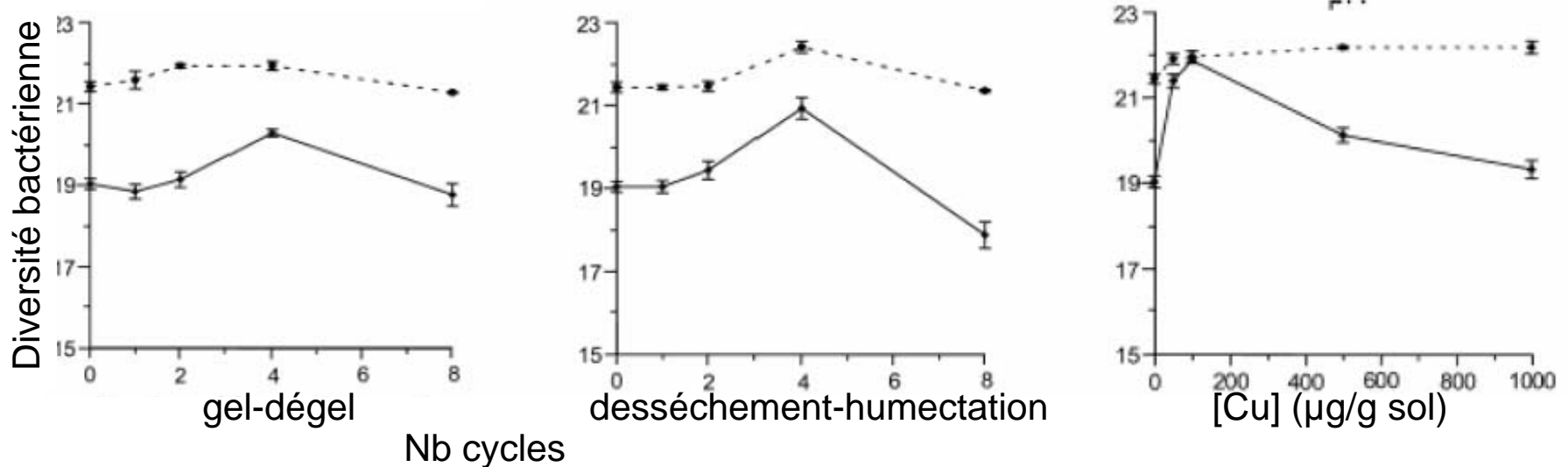
- La diversité mycorhizienne accroît la diversité et la productivité végétale

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



Relations biodiversité/productivité/stabilité

- La diversité améliore la résistance aux perturbations

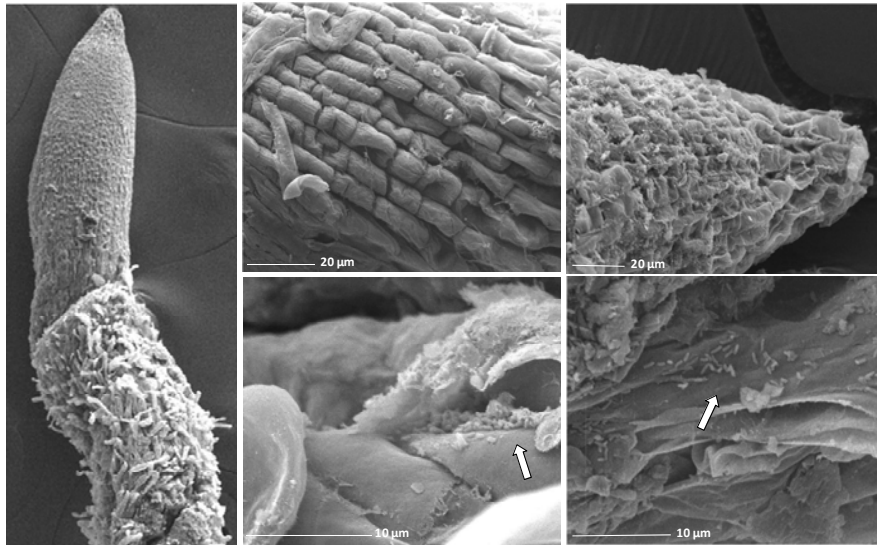


Degens et al. (1998). *Soil Biol. Biochem.* 30:1989-2000

Les sols, milieux vivants ...

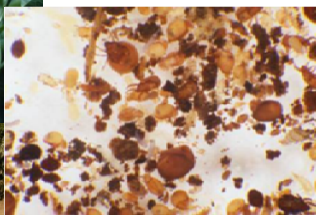
- Grande quantité d'organismes

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



Les sols, milieux vivants ...

- Fantastique diversité...



Microarthropodes et particules de sol



OLIGOCHÈTES : lambic (ver de terre)

Acarien



Collembola

Larv
d'inse



Predatory
nematodes

Higher level consumers



Collembola
(*Friesiinae* sp.)



Mites (Astigmata,
Prostigmata)

Second level consumers: bacterial- and fungal-feeding organisms



Protozoa



Nematodes



Collembola



Oribatid mites

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



First level decomposers

Bacteria



fungi

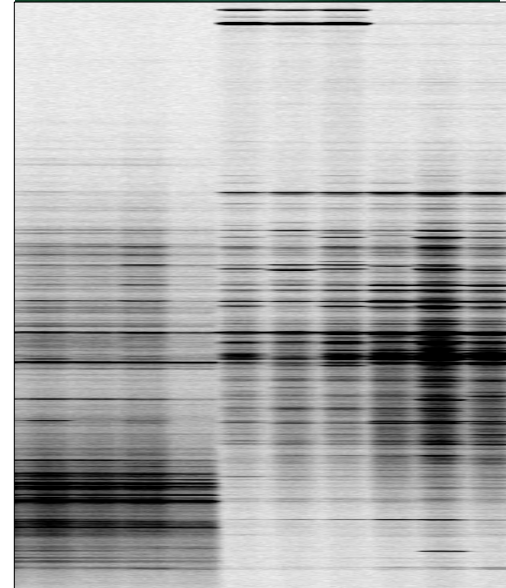
Van der Putten (2010). Green week.

Les sols, milieux vivants ...

- 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..

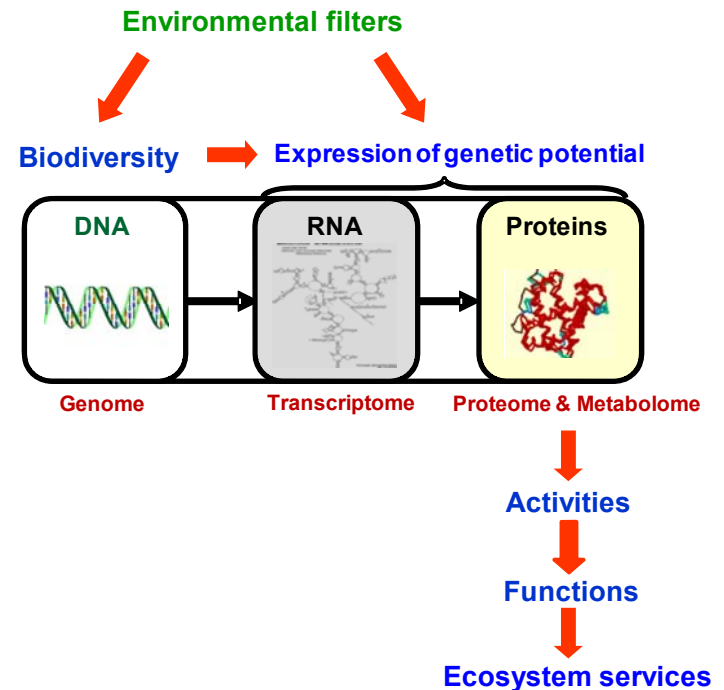
- Malgré les progrès méthodologiques : Déficit en connaissances académiques et opérationnelles
- Déficit de connaissances lié à :
 - l'immense diversité biologique ⇒ Nécessité d'identifier des biodescripteurs
 - la grande variété des techniques de caractérisation de la biodiversité ⇒ Nécessité de standardisation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

Immense diversité biologique

- Enjeux :

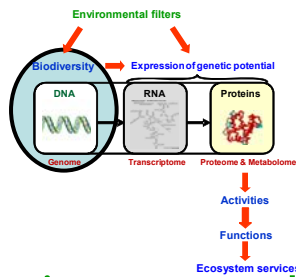
Connaissance de :

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



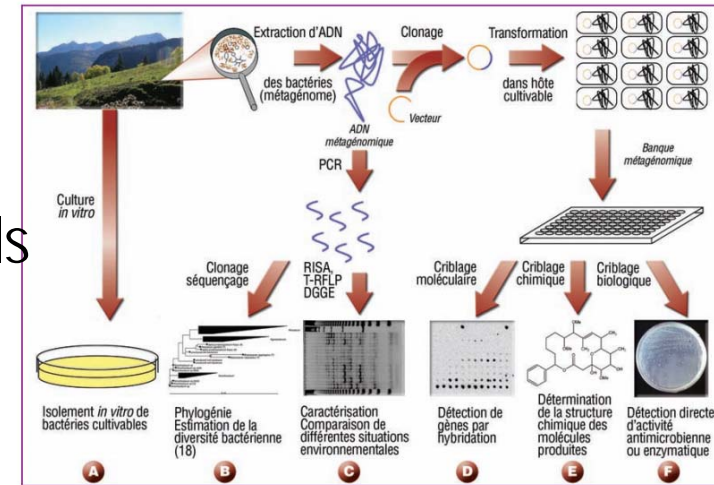
Lemanceau et al. (2010) EcoFINDERS

Immense diversité biologique



Connaissance de la biodiversité

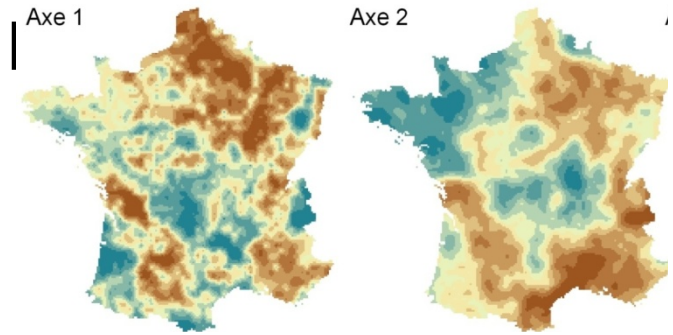
– Analyse du métagénome du/des sols



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)



Ranjard et al. Données non publiées

Immense diversité biologique

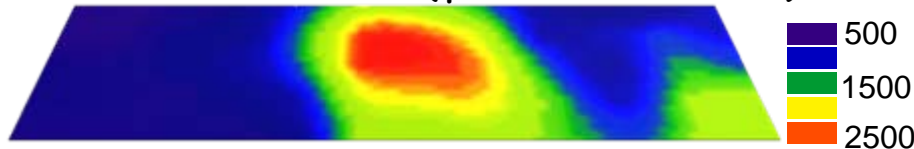
- Analyse de l'abondance de la communauté microbienne totale
 - Communauté fonctionnelle : nombre de copies du/des gènes impliqués dans la fonction ciblée (PCR quantitative)

Denitrification pathway: NO_3^-

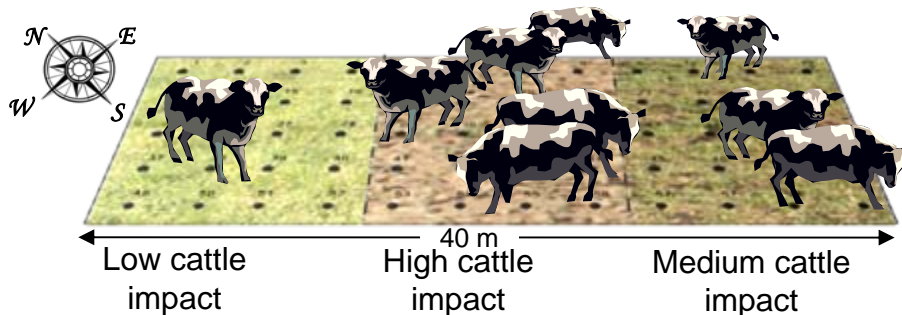
Catalytic enzymes



Potential denitrification (qPCR NosZ/ADNr 16S)



$\text{N}_2\text{O}/(\text{N}_2\text{O} + \text{N}_2)$



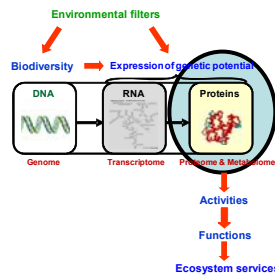
Environmental Microbiology (2009) 11(6), 1518-1526

Mapping field-scale spatial patterns of size and activity of the denitrifier community

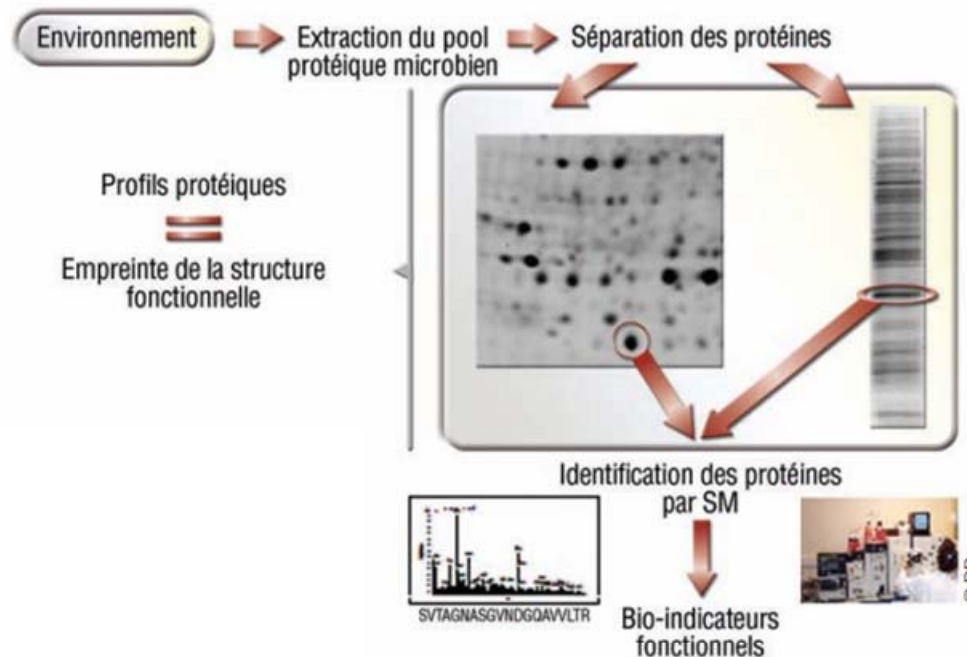
Laurent Philippot,^{1,2,*} Jiri Čuhel,³ Nicolas P A Saby,⁴
 Dominique Chèneby,^{1,2} Alicia Chroňáková,³ David Bru,^{1,2}
 Dominique Arrouays⁴, Fabrice Martin Laurent^{1,2} and Miloslav Šimek³

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

Immense diversité biologique

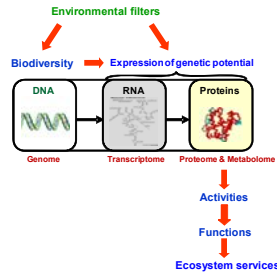


- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques



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

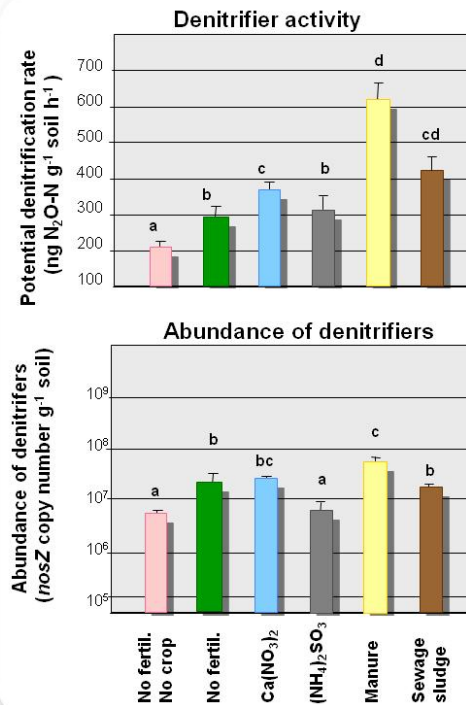
Immense diversité biologique



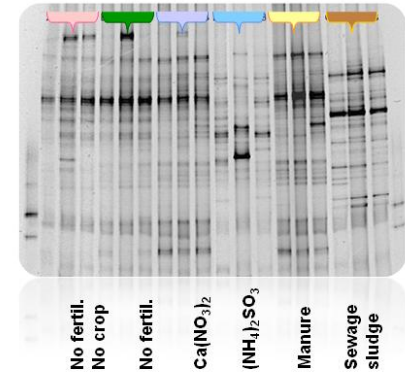
- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques
 - Exemple du cycle de l'azote

Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

A - no N (bare fallow)
 B - no N
 C - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
 D - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
 J - Manure
 O - Sewage sludge



Diversity of denitrifiers (nosZ DGGE)



Impact of the fertilization regime on the activity, the abundance and the diversity of the denitrifier community

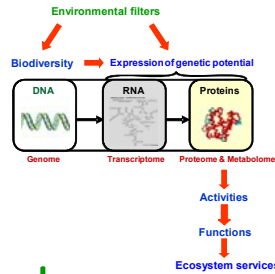
APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Dec 2005, p. 8335-8343

Vol. 71, N°12

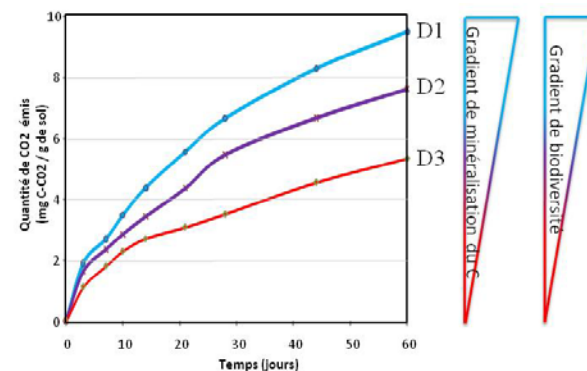
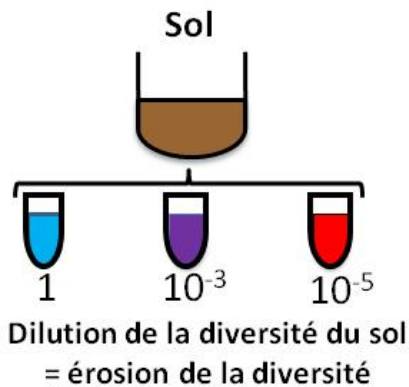
Activity and Composition of the Denitrifying Bacterial Community Respond Differently to Long-Term Fertilization
 Karin Enwall,^{1*} Laurent Philippot,² and Sara Hallin¹

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

Immense diversité biologique



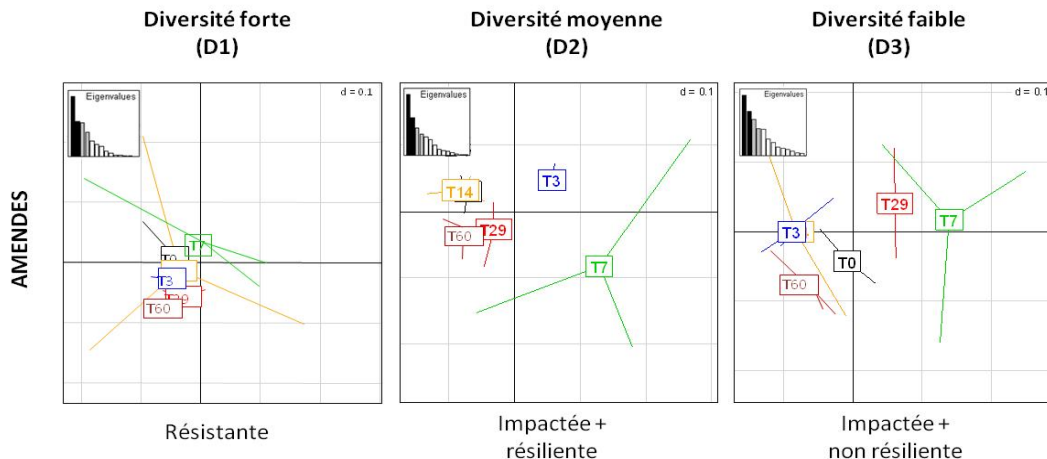
- Connaissance de la biodiversité
 - Relation biodiversité-fonctions-services écosystémiques
 - Exemple du cycle du carbone



Erosion de la de biodiversité du sol = réduction de la minéralisation de la MO

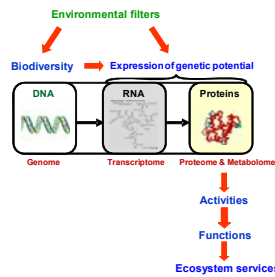


Baisse de la fertilité du sol
(eutrophisation, acidification, déstructuration du sol...)

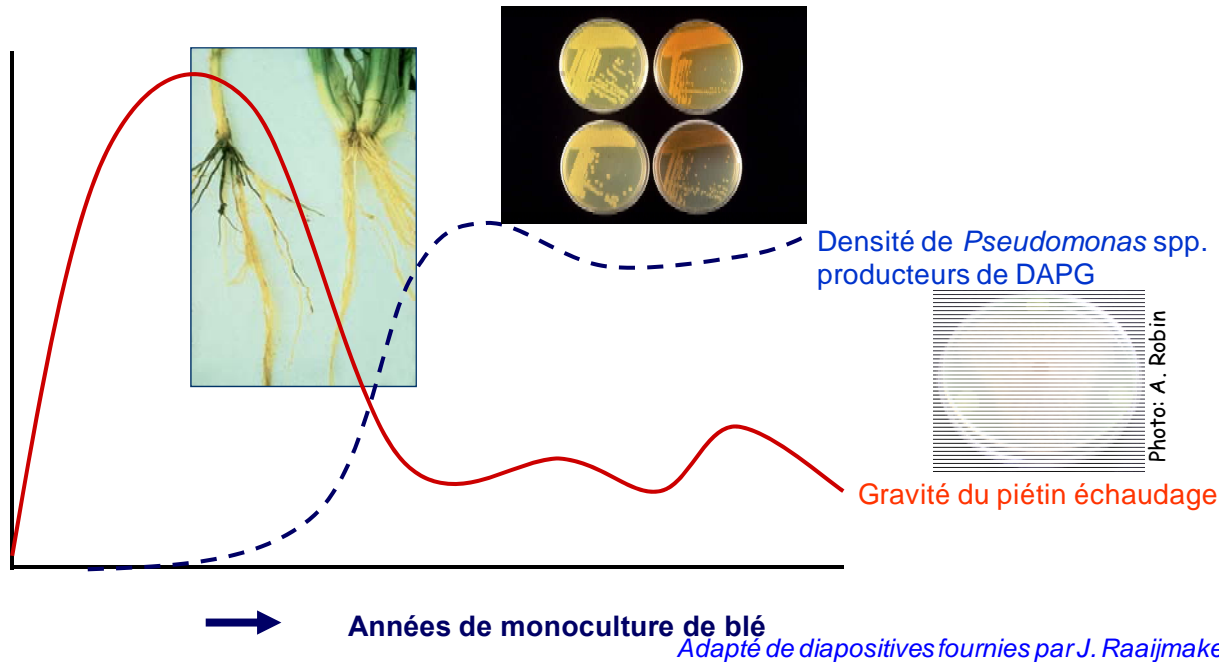


Maron et al., ANR DIMIMOS

Immense diversité biologique



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



⇒ Identification de biodescripteurs

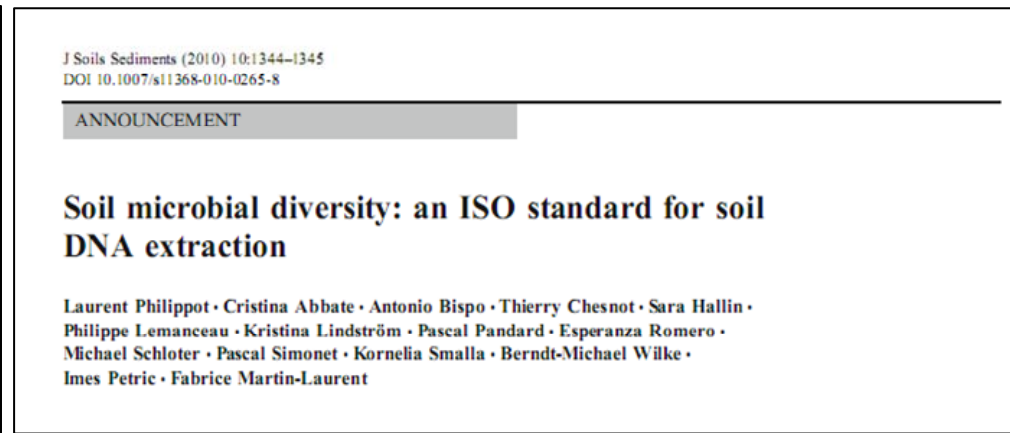
Variété des techniques de caractérisation de la biodiversité

- Nécessité de standardisation des méthodes de :

- caractérisation de la diversité

- Stratégie d'échantillonnage

- Extraction d'ADN

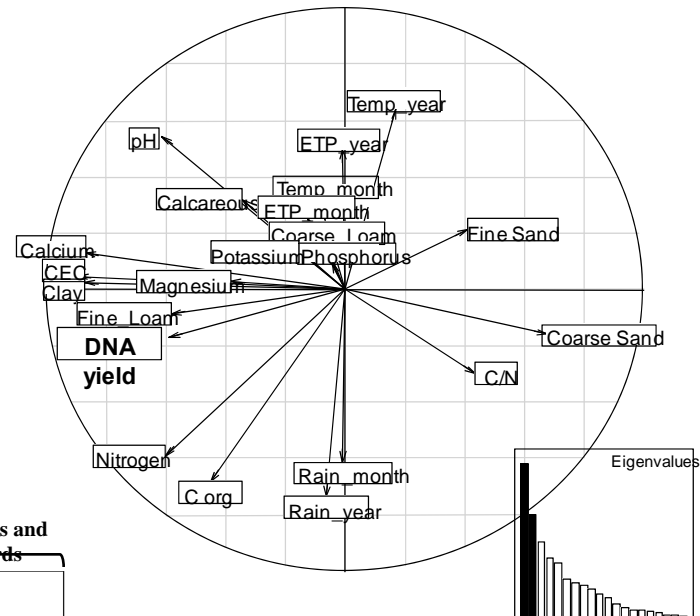
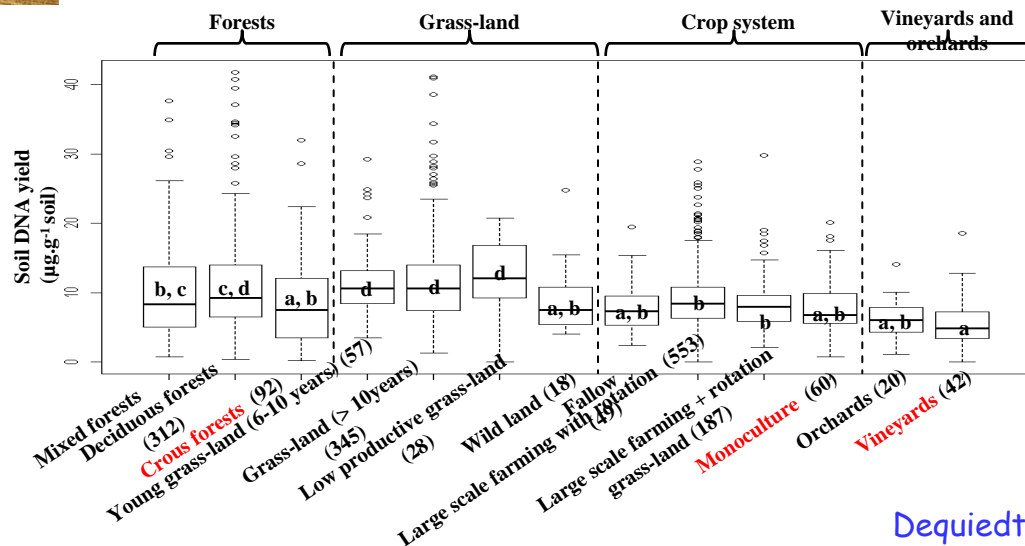
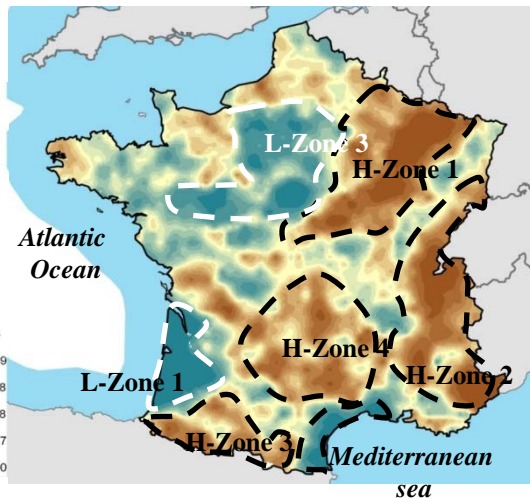
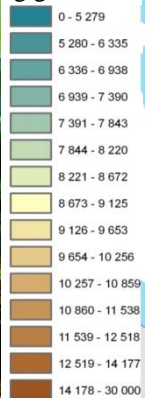


- mesure des biodescripteurs

Variété des situations environnementales



DNA yield
ng.g⁻¹ soil



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

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

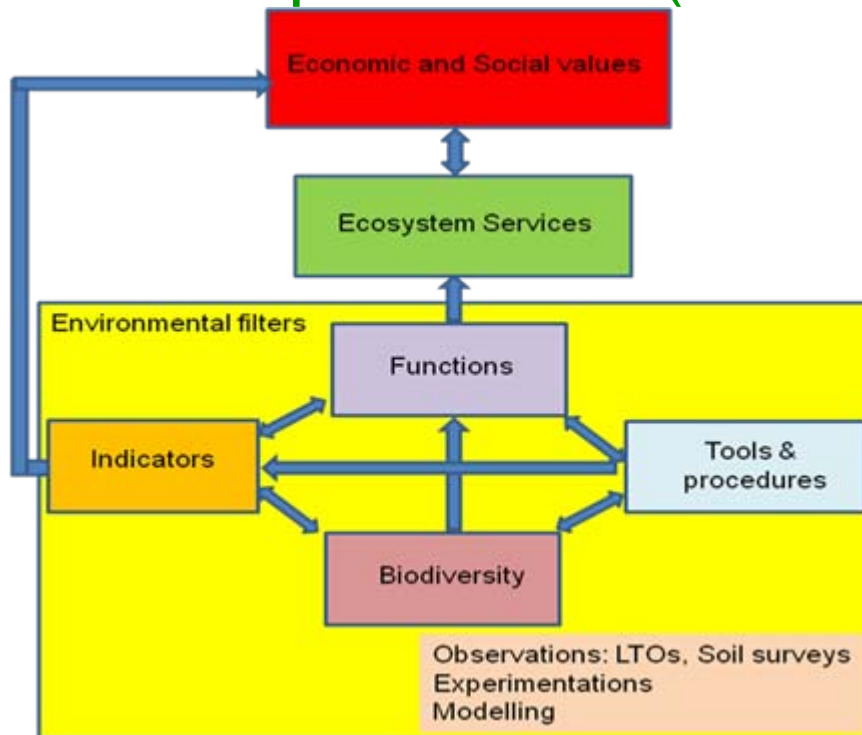
Caractérisation moléculaire (densité, diversité)
des communautés microbiennes des sols

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

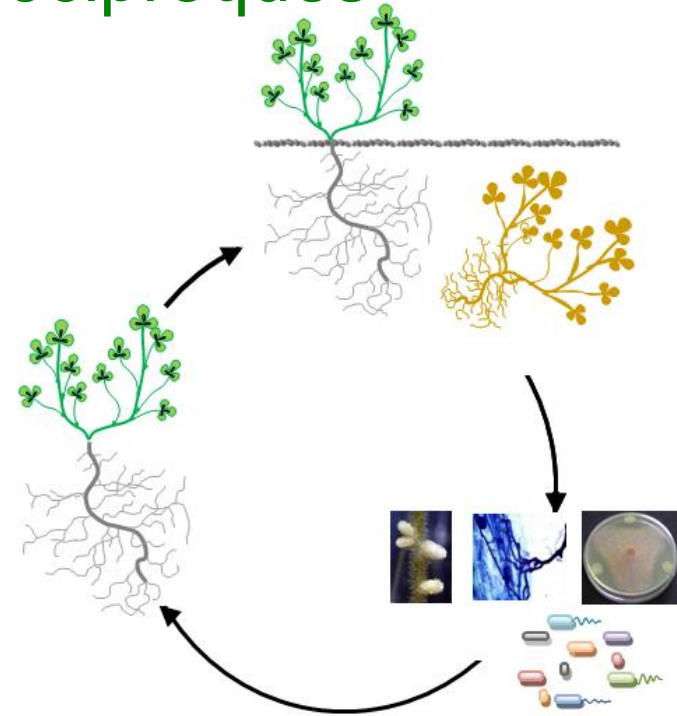


- Proposition du concept de Normal Operating Range

Ingénierie écologique

Interactions plantes - microbes : des relations à bénéfices réciproques

- Plantes : autotrophes
 - Microorganismes du sol :
hétérotrophes ou biotrophes
- ⇒ Conséquences sur croissance
& santé des plantes
- ⇒ Conséquences sur le cycle du Carbone



Ingénierie écologique

Interactions plantes - microbes : des relations à bénéfices réciproques

- Deux stratégies pour tirer profit de ces interactions :
 - Inoculer des souches microbiennes sélectionnées

Grâce à une coopération étroite entre l'INRA de Dijon et les industriels, la **qualité et la fiabilité des inoculants** ont été améliorés.



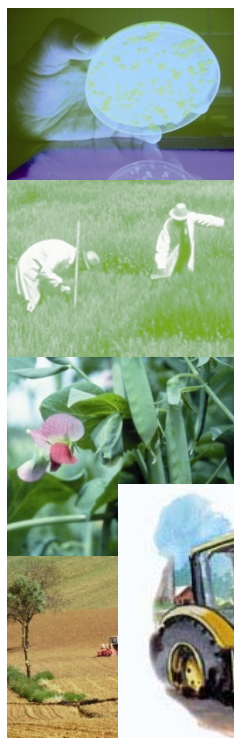
	Rendement en Q/ha		Teneur en protéines des grains	
	Non inoculé	Inoculé	Non inoculé	Inoculé
Lupin	10	30	22,1%	36,9%
Lupin + engrais azoté	29	31	27,0%	34,3%



Cécile Revellin

- Orienter les populations microbiennes via des pratiques agricoles adaptées (y compris génotypes végétaux)

Agroécologie



Conception de systèmes agricoles

auxiliaires, parasites & ravageurs

végétaux

Pratiques agricoles

Populations microbiennes

microbes

faune

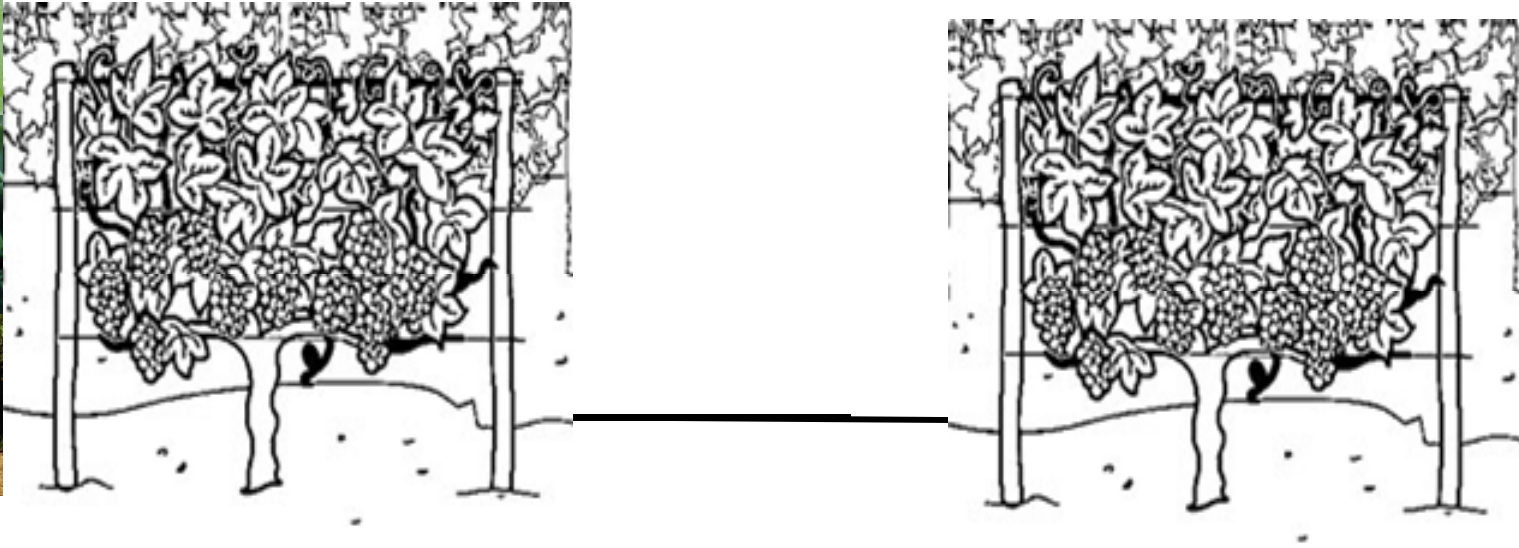
Inoculums microbiens

Evolution des systèmes de culture

Fonctionnement de l'agro-écosystème

Ingénierie écologique

Illustration = Phytoextraction du cuivre



Cu

Cu

Cu

Cu

Cu

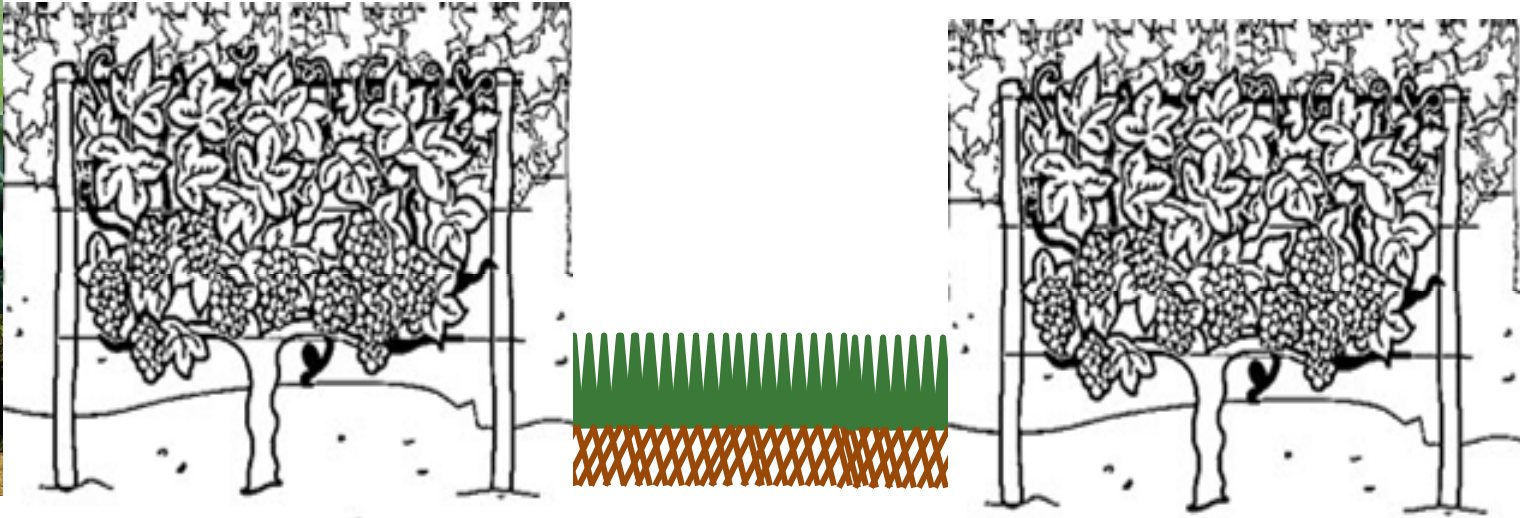
Cu

Cu

Shirley et al. Données non publiées

Ingénierie écologique

Illustration = Phytoextraction du cuivre



Cu

Cu

Cu

Cu

Cu

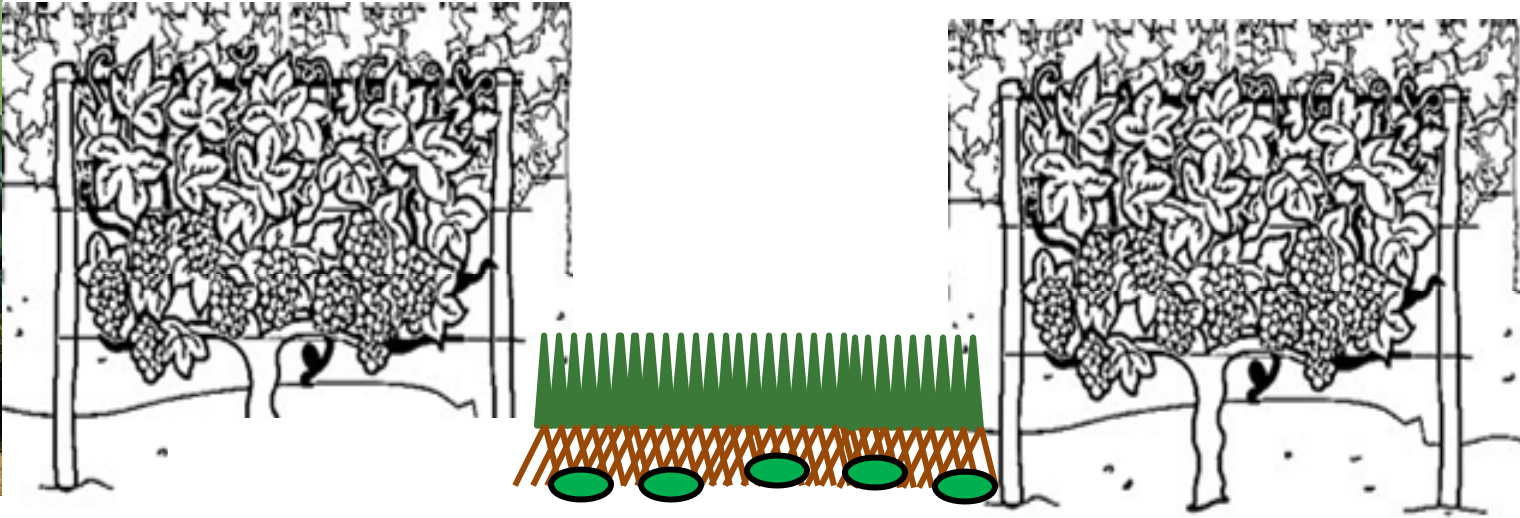
Cu

Cu

Shirley et al. Données non publiées

Ingénierie écologique

Illustration = Phytoextraction du cuivre



Cu

Cu

Cu

Cu

Cu

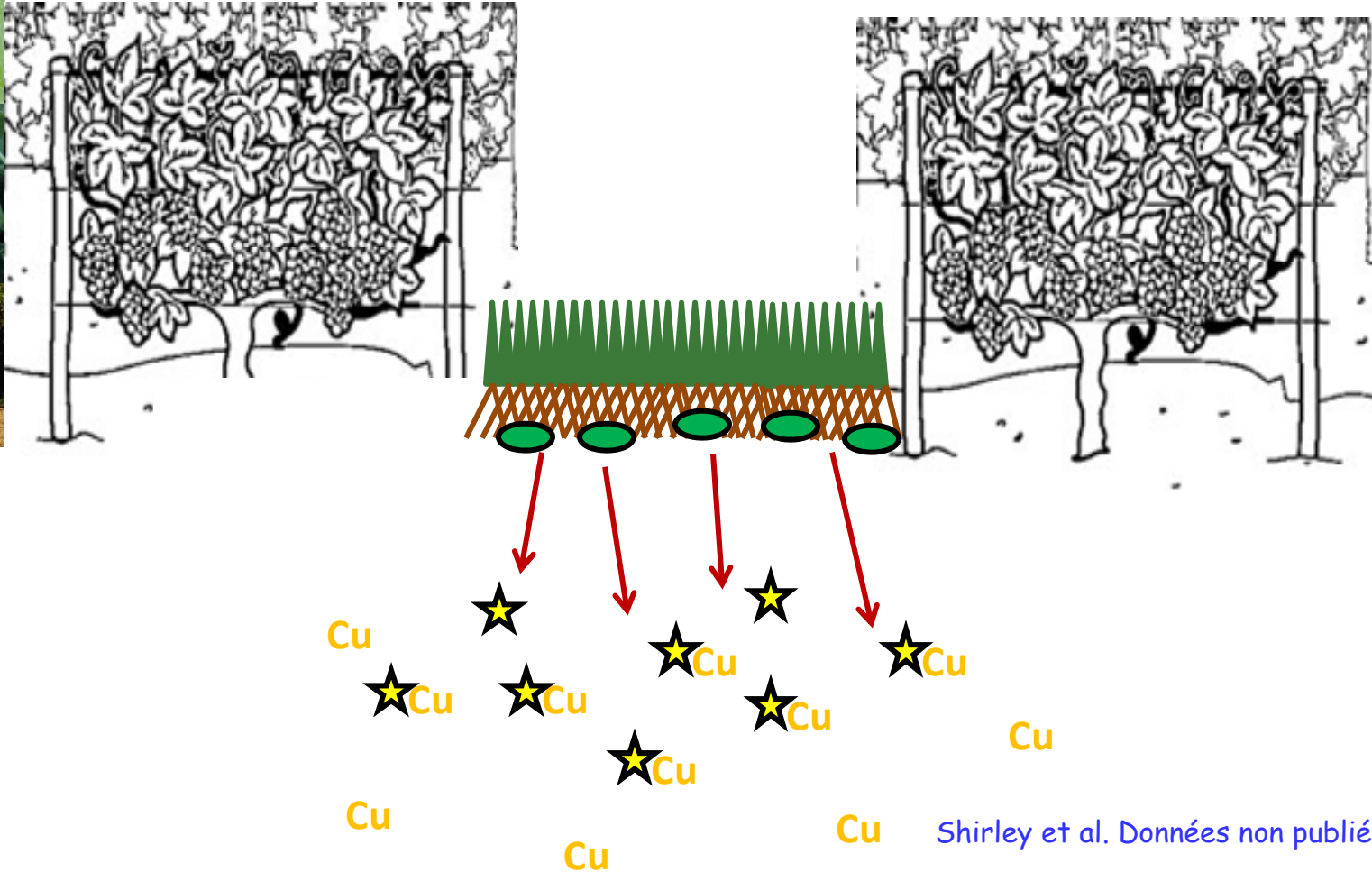
Cu

Cu

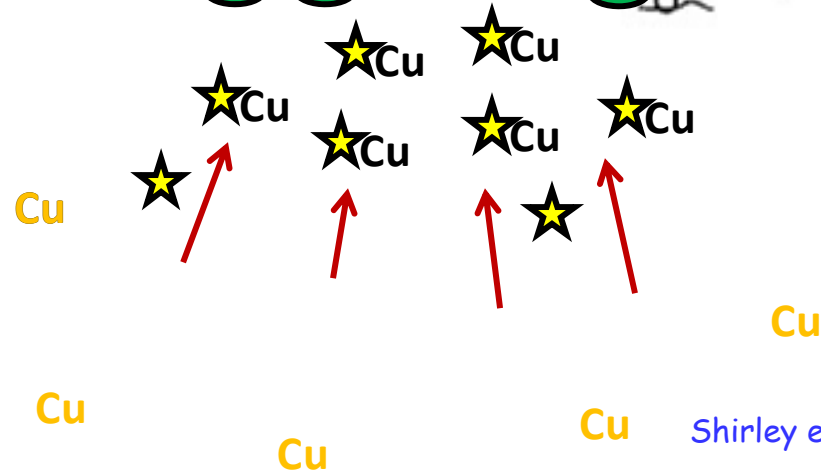
Shirley et al. Données non publiées

Ingénierie écologique

Illustration = Phytoextraction du cuivre



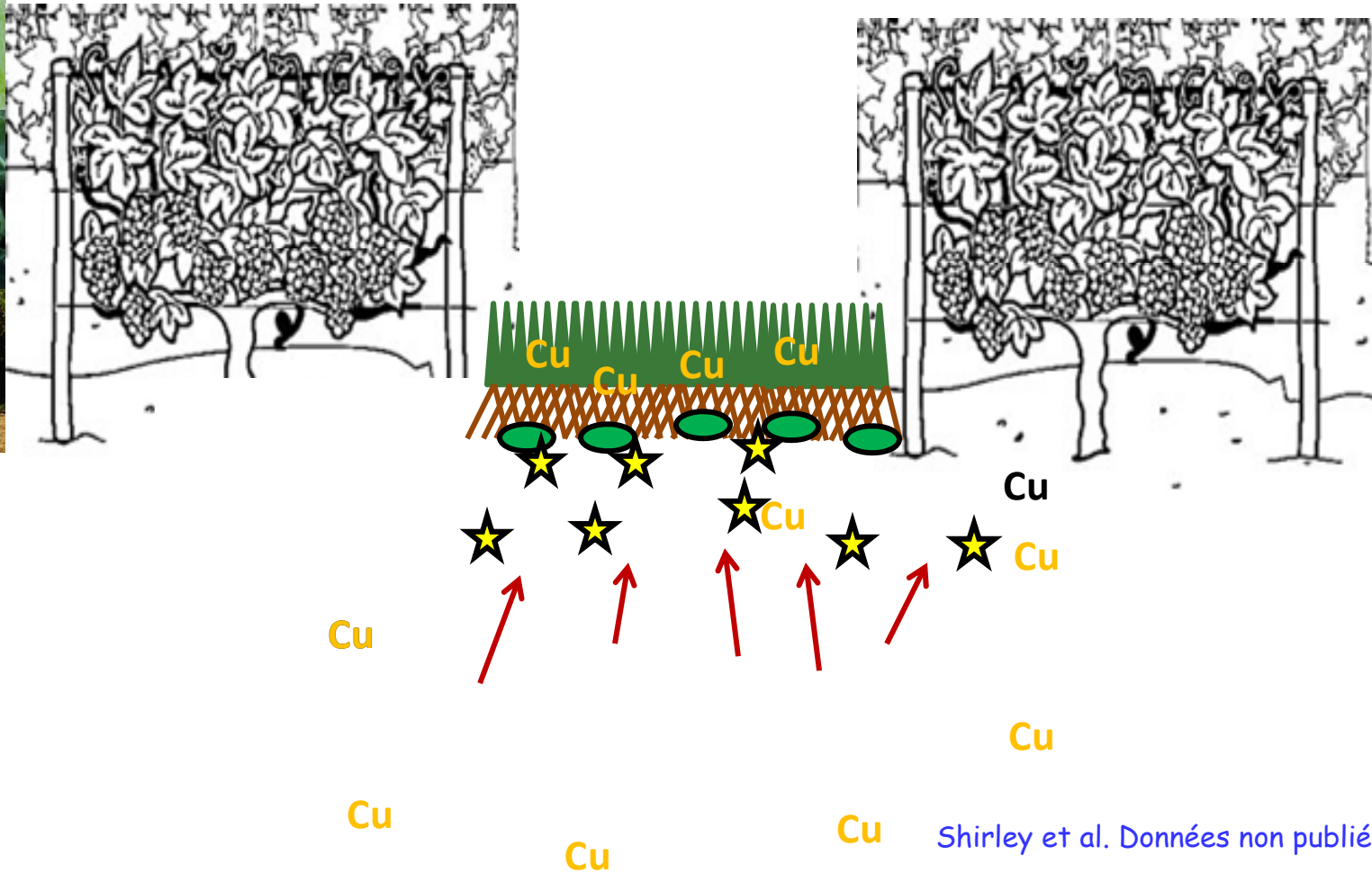
A vertical collage of four images related to agriculture. The top image shows a close-up of a hand holding a white tray filled with small, light-colored seeds. The second image shows two farmers in a green field; one is bent over working with a tool, and the other stands nearby. The third image is a close-up of a pink flower and green pea pods on a plant. The bottom image shows a herd of cattle grazing in a dry, yellowish-brown field with trees in the background.



Shirley et al. Données non publiées

Ingénierie écologique

Illustration = Phytoextraction du cuivre



Shirley et al. Données non publiées