

Le sol : un système complexe de mieux en mieux connu !

Lionel RANJARD

INRAE Dijon - UMR Agroécologie

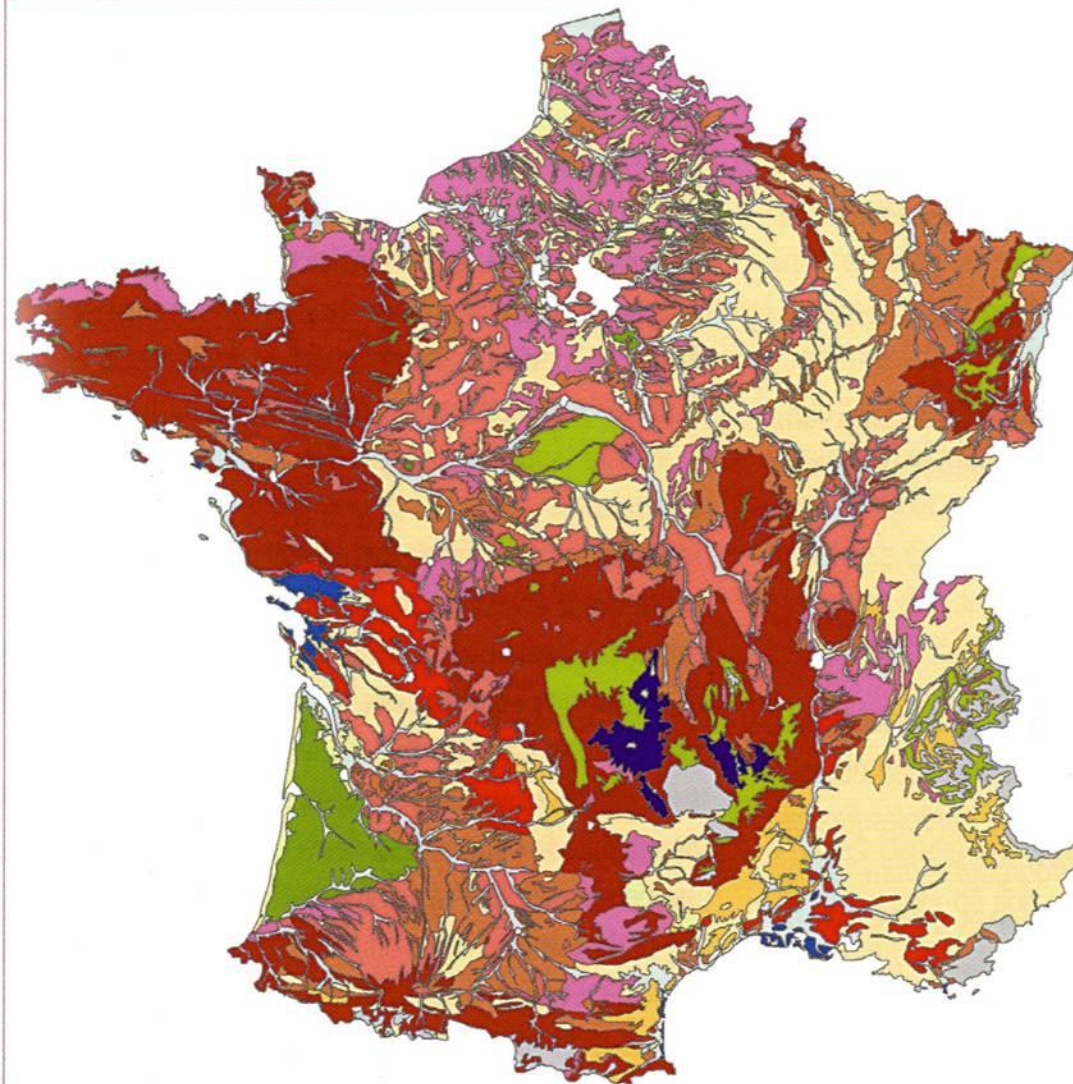
INRAE



Pas un sol mais une multitude de sols !!



Carte des sols dominants de France



Légende

Sols des roches calcaires

RENDOSOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS et BRUNISOLS saturés

LITHOSOLS calcaires, RENDOSOLS et RENDISOLS

Sols des matériaux sableux

REGOSOLS et ARENOSOLS

ALOCRISOLS et PODZOSOLS leptiques

PODZOSOLS

Sols des matériaux argileux

CALCISOLS, CALCOSOLS, BRUNISOLS saturés, PELOSOLS et VERTISOLS

Sols d'altération, peu différenciés

BRUNISOLS et ALOCRISOLS

Sols des formations limoneuses

LUVISOLS typiques et NEOLUVISOLS

LUVISOLS rédoxiques, dégradés et PLANOSOLS

Autres sols

ANDOSOLS

FERSIALSOLS et BRUNISOLS fersiallitiques

SALISOLS et SODISOLS

LITHOSOLS dystriques et RANKOSOLS

FLUVIOSOLS et THALASSOSOLS

Non sols



0 30 60 120 Kilomètres



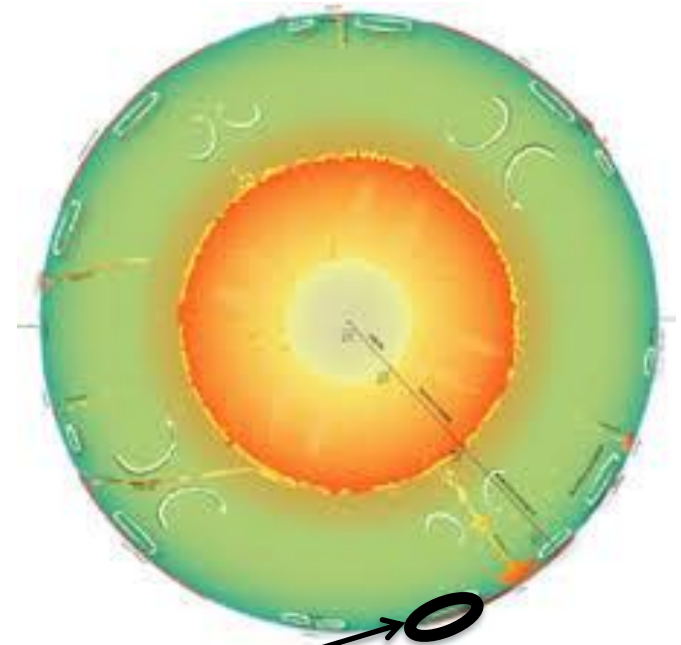
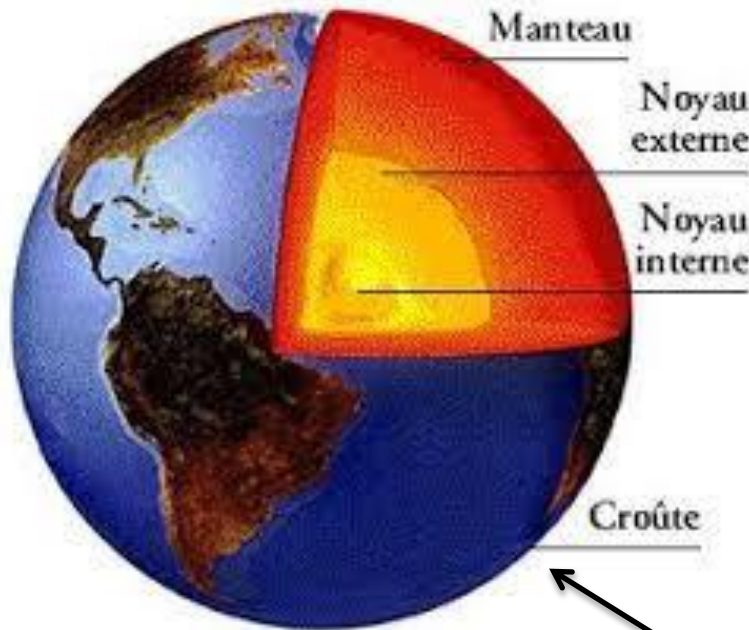
© INRA, Unité INFOSOL, Orléans, 2007
Coordination : C. Le Bas

Pas une vision mais des visions du Sol !

Vision des Géologues



Une couche insignifiante à l'échelle de notre planète !

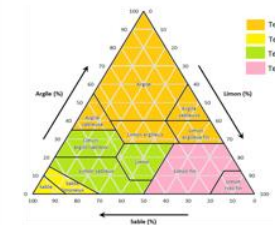
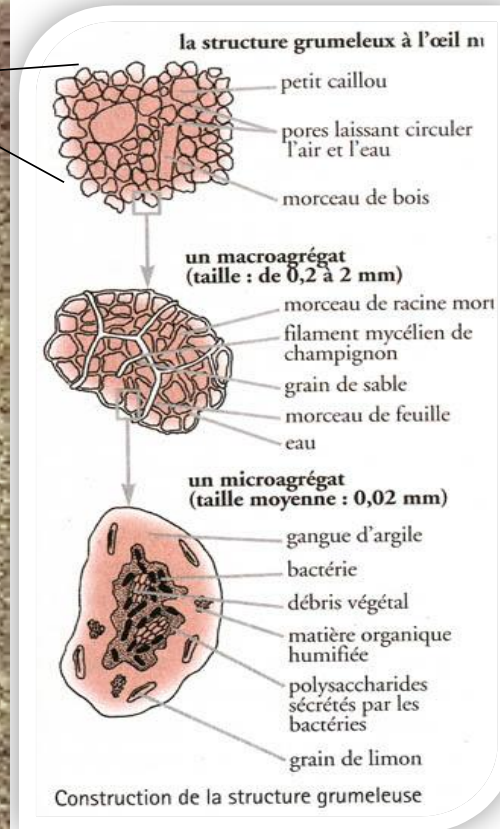


Épaisseur qqs cm à qqs m !

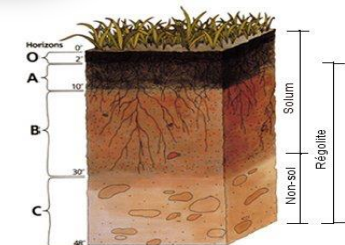
Vision des Pédologues

Sol matrice hétérogène et structurée

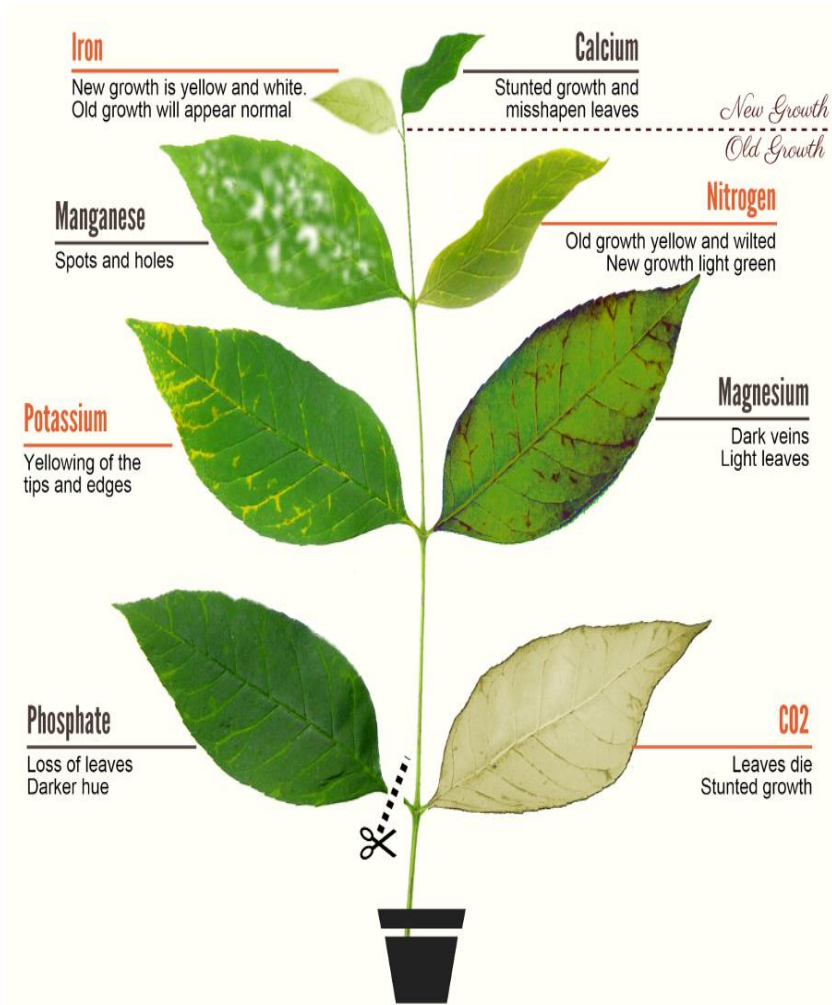
Horizons organo-minéraux Horizon organique



Renouvellement naturel du sol :
Pédogénèse
1 000 à 100 000 ans pour créer un sol
0,05 mm /an



La vision des agronomes



Un réservoir de ressources

Multitude d'éléments minéraux
nécessaires à la croissance
végétale



Loi du minimum de Liebig

Vision des Ecologues



Vision Utilitariste

Il est partout on marche dessus !

**Agronome
support de production**

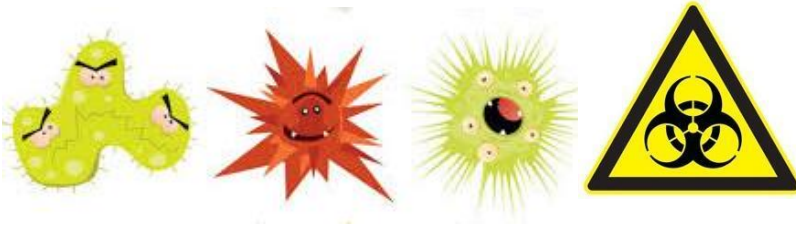


**Aménageurs urbains : support
de construction**



Vision Culturelle

Sol = environnement inconnu, sale, plein de microbes et inaccessible...



Enfouissement de déchets



Enterre nos morts !



Enfer !!

Hades gardien des richesses de la terre

Gardien des enfers

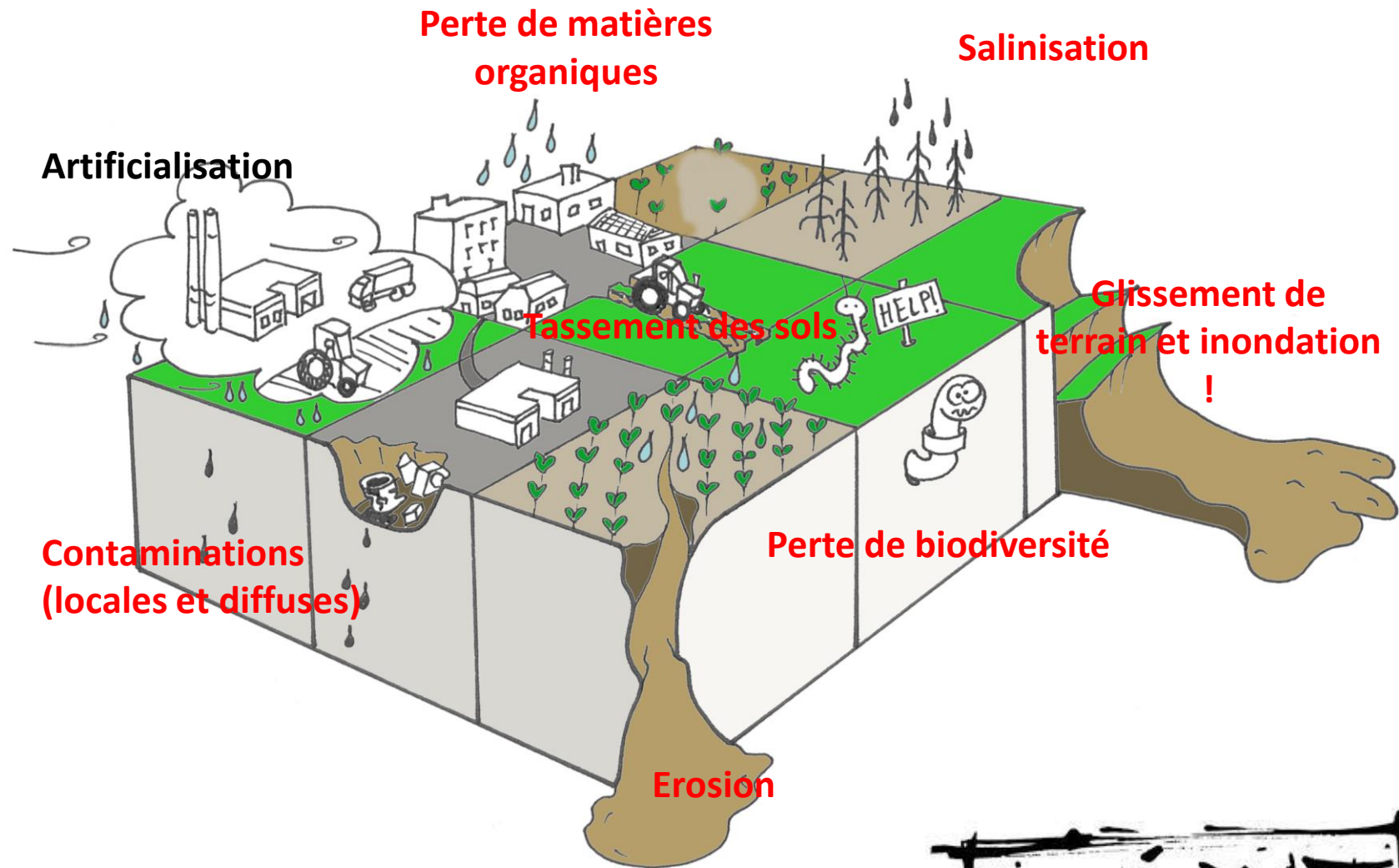


Les services fournis par le sol



95% des aliments viennent du sol !!

Des menaces complexes et différentes sur les sols !



Les 8 grandes menaces sur les sols !

THREAT!

En quoi cette baisse de qualité des sols participe à l'altération de notre société

Baisse des rendements agricoles



Baisse de la qualité de l'eau



Mauvais support de construction



Baisse de notre capacité à réguler les changements climatiques



Baisse de la qualité des produits alimentaires



Altération du bien être récréatif



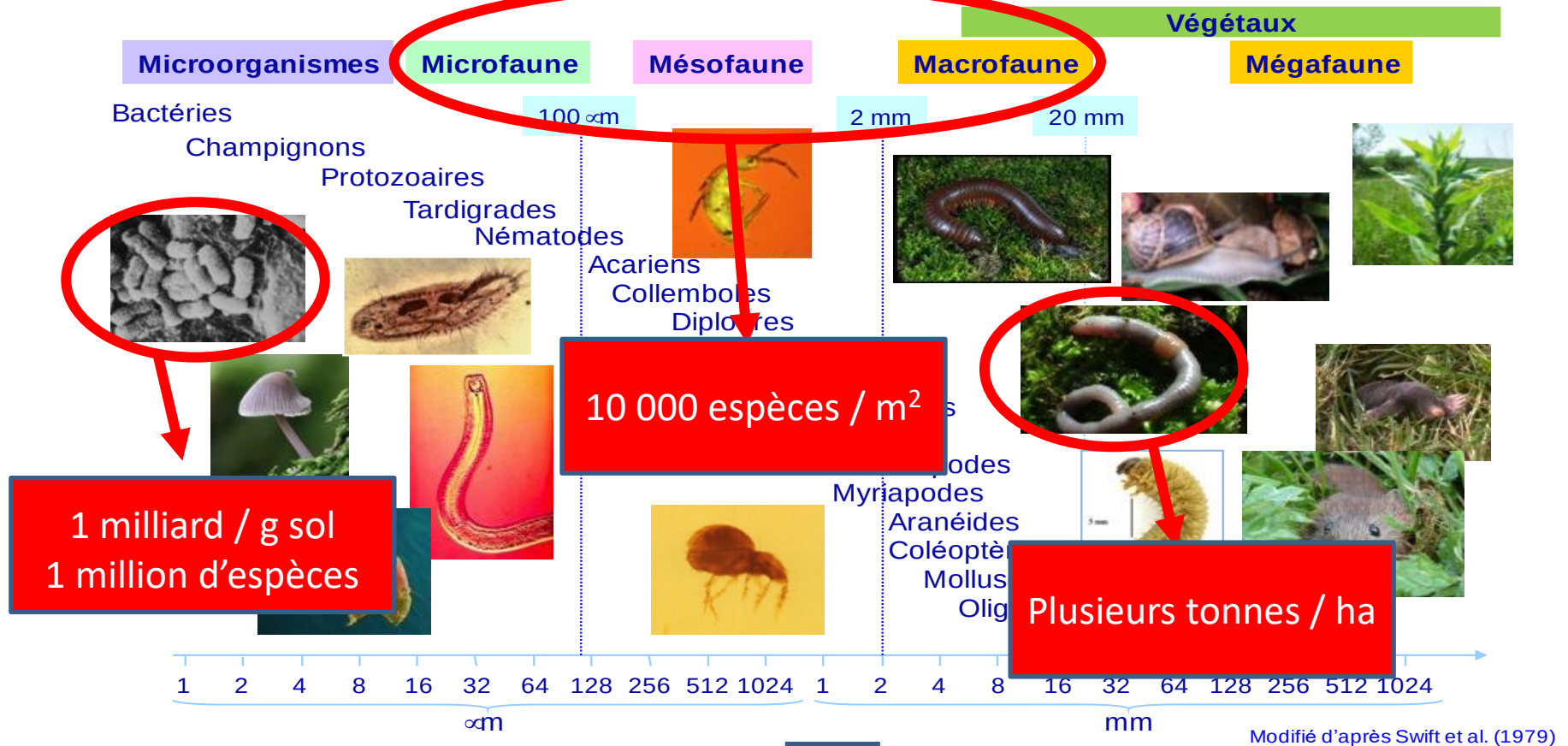
➡ **Altère notre santé**

➡ **Altère la qualité de notre environnement**

La biodiversité des sols

La plus complexe de notre planète !

de l'infiniment petit au visible



Sol 3ème frontière biotique de notre planète
30% de la biodiversité totale
10% des espèces connues !

Un patrimoine microbiologique gigantesque !

Plus de microorganismes dans 1m² de sol que d'étoiles dans le ciel ! (H Reeves)

Enorme abondance et diversité



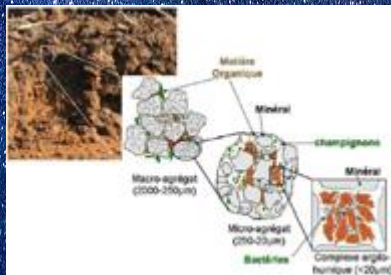
10⁹ bactéries
10⁶ espèces



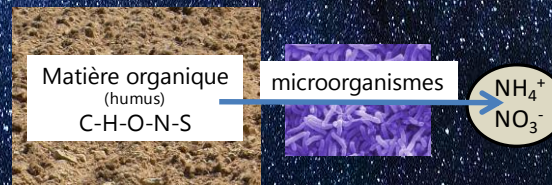
10⁶ champignons
10³ espèces



Implication dans de nombreuses fonctions



Structuration du sol



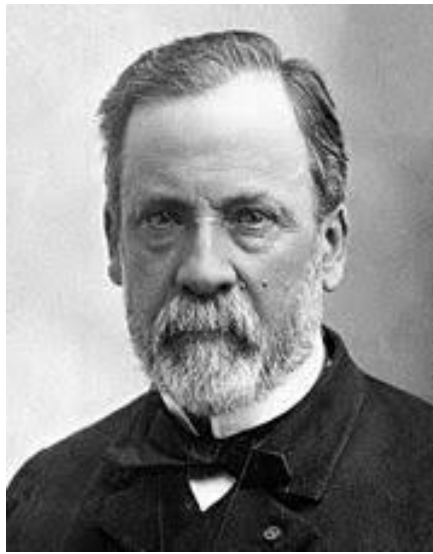
Minéralisation matière organique,
recyclage carbone, nutriments



Dépollution du sol



Lutte contre
pathogènes



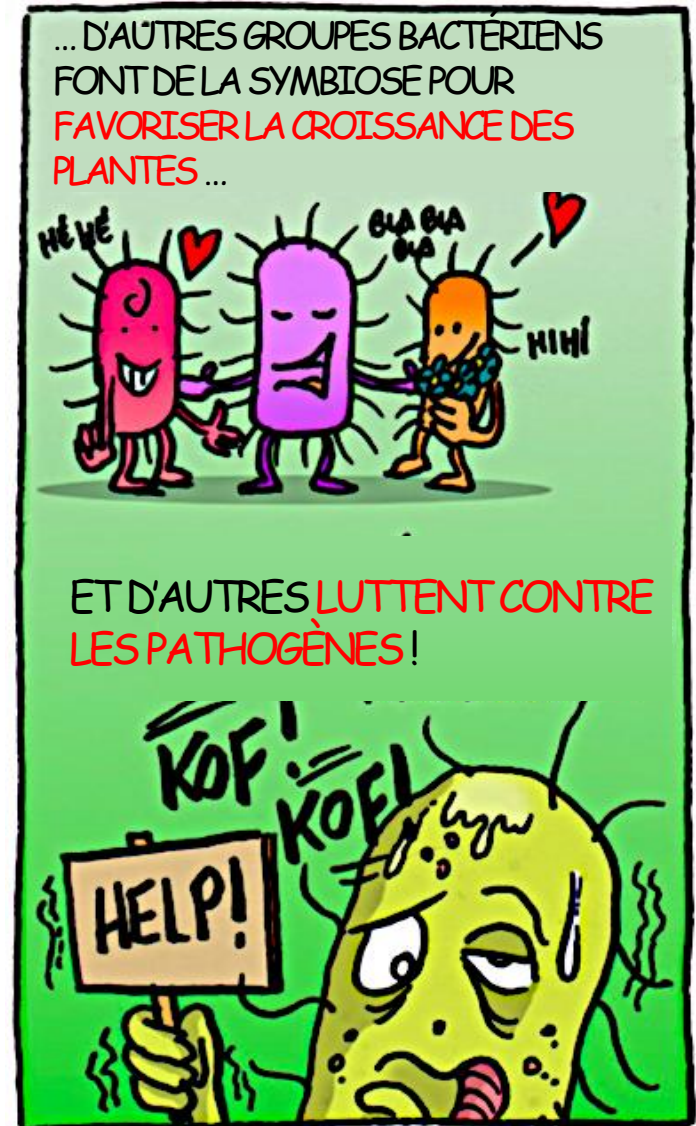
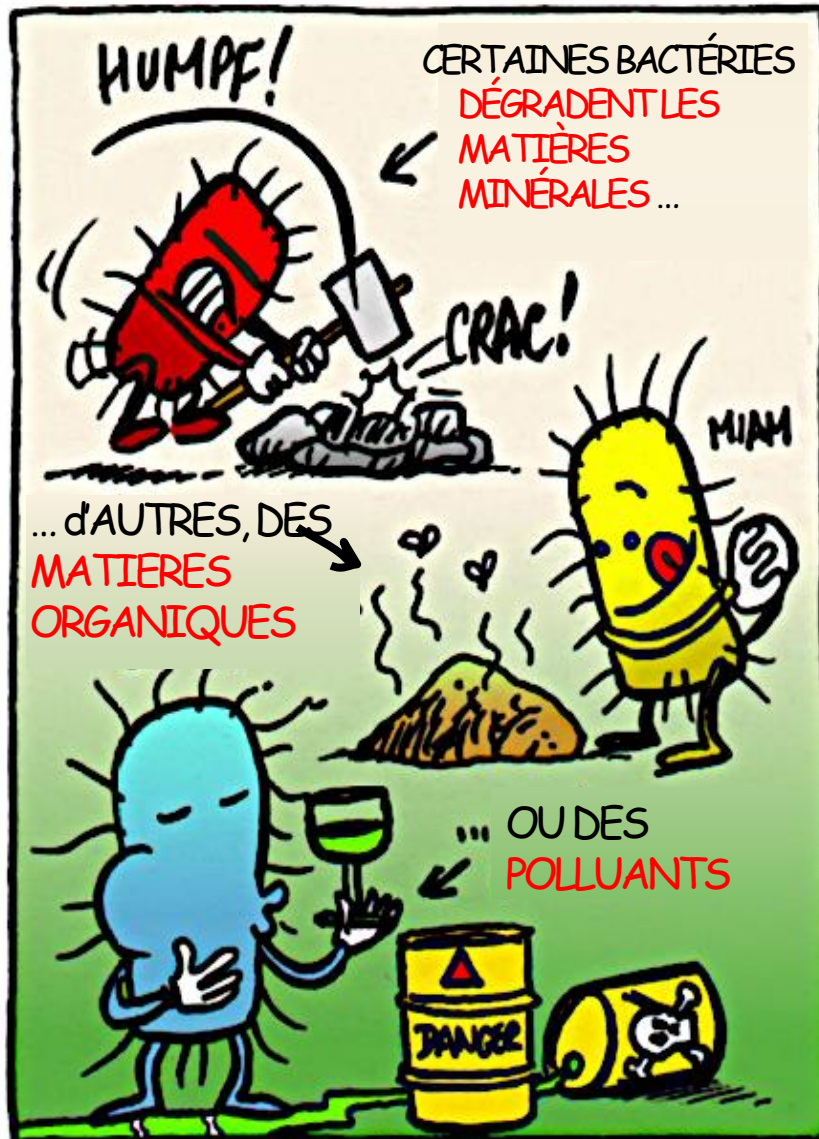
Louis Pasteur (1822-1895)

« Si les êtres microscopiques disparaissent de notre globe, la surface de la terre serait encombrée de matière morte et de cadavres de tout genre, animaux et végétaux. (...)

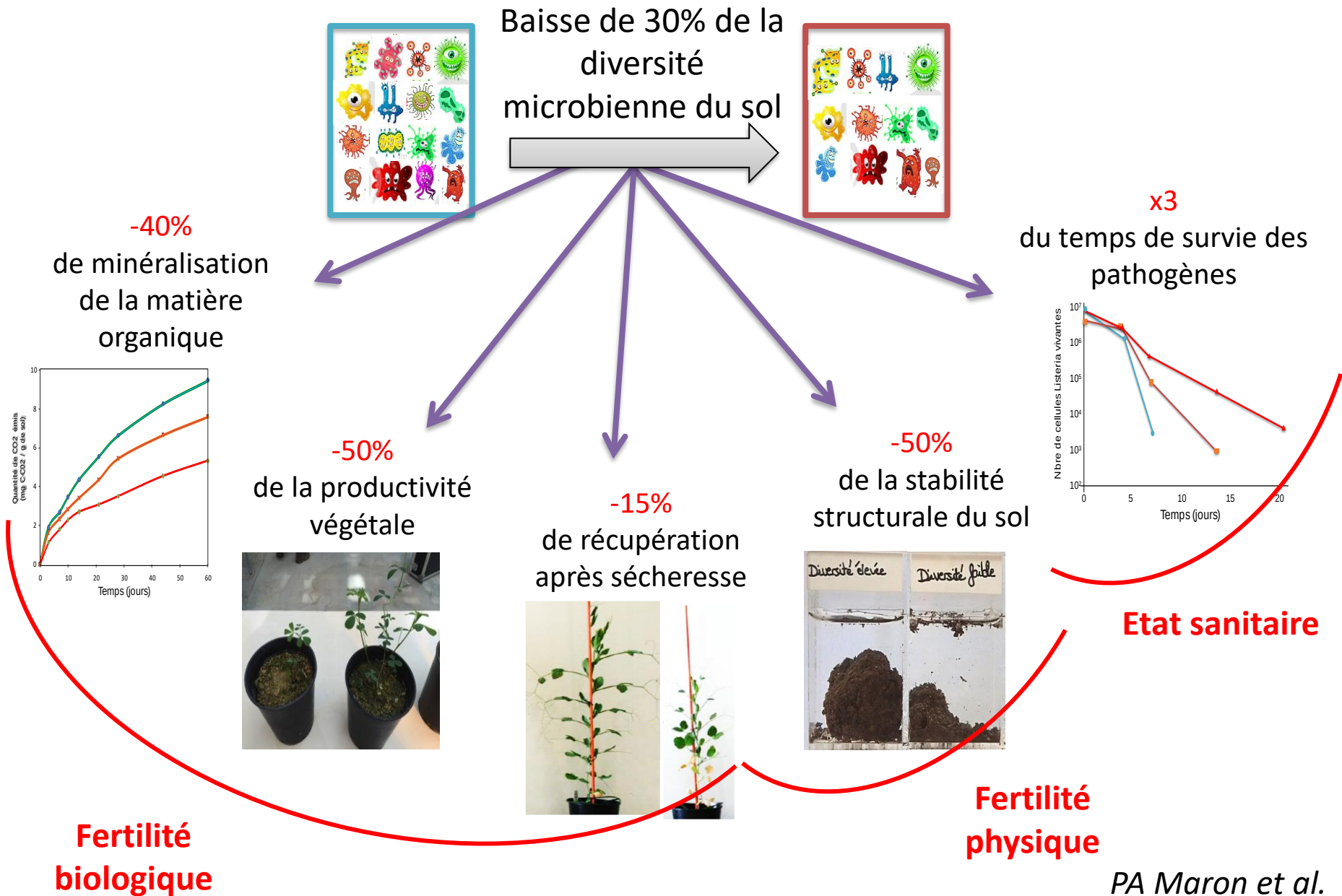
Sans eux, la vie deviendrait impossible, parce que l'œuvre de la mort serait incomplète... »

Un patrimoine microbiologique gigantesque !

Impliqué dans de nombreux processus du sol



Des preuves expérimentales de l'intérêt de la biodiversité



Rôle de la biodiversité microbienne sur la structure du sol – lutte contre l'érosion



Perte de biodiversité des sols

Les sols subissent t'il la 6^{eme} extinction ?



Les tendances pour la biodiversité du sol !

A l'échelle locale

Sols industriels pollués aux métaux lourds :

- perte de 99% de la diversité microbienne
- perte de la diversité de la faune du sol



Sols urbains imperméabilisés :

Pas de faune du sol
Biomasse microbienne très faible



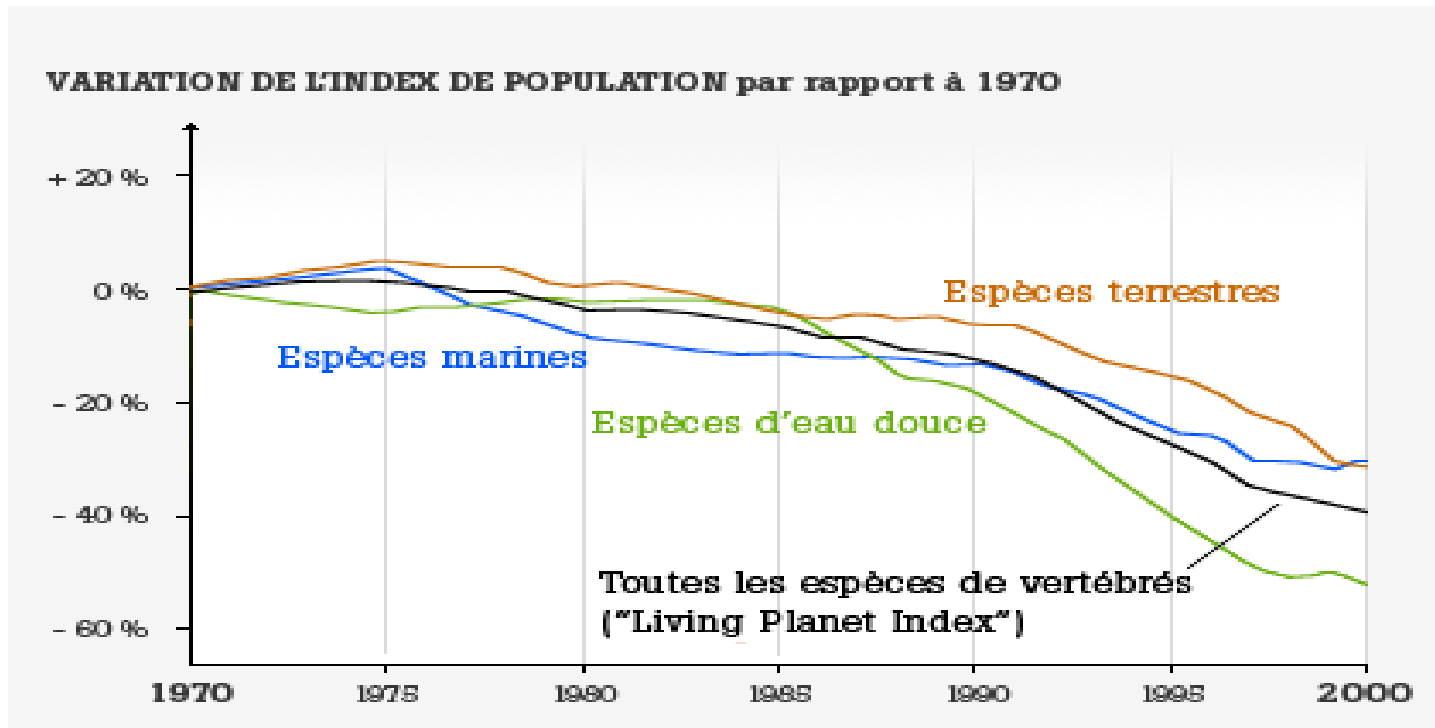
Pratiques agricoles :

- **labour** : perte de la diversité de la faune du sol (lombric)
- **pesticides** : toxiques pour la plupart des organismes
- **fertilisation** et pâturage : baisse de la diversité microbienne
- baisse de la teneur **en Corg** : baisse de la diversité microbienne
- **baisse de la diversité végétale** – baisse de la biodiversité du sol



Jusqu'à 50% de perte de diversité depuis 50 ans !

"LIVING PLANET INDEX" (WWF) | 1970 - 2005

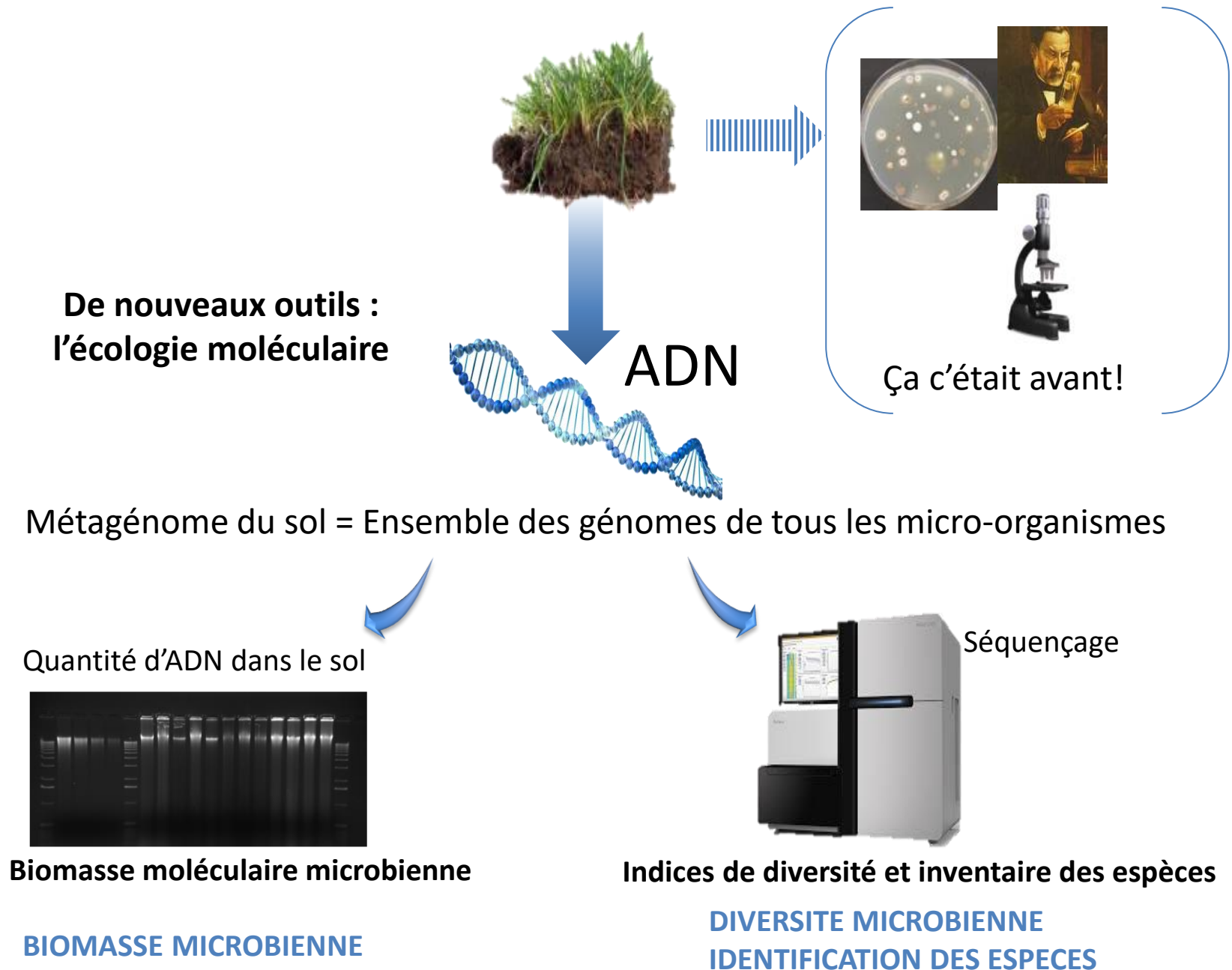


Le sols n'est pas référencé dans cette étude !



Manque d'outils de mesures
Manque de références (état initial ou témoin naturel)

Comment mesure-t-on l'abondance et la diversité microbienne des sols

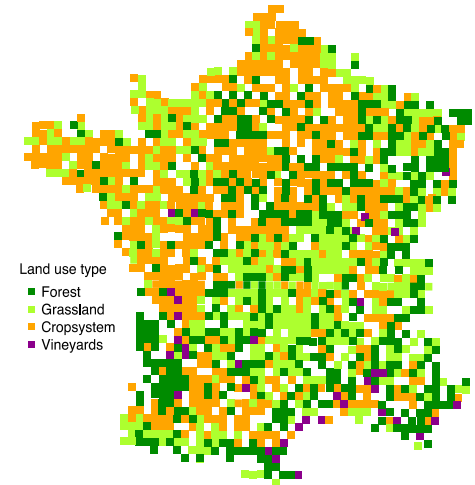
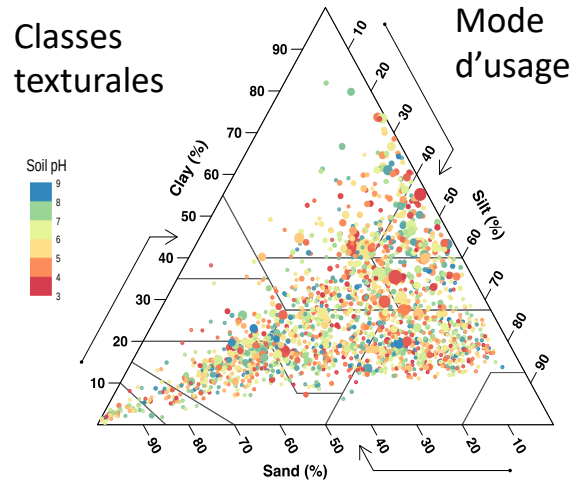
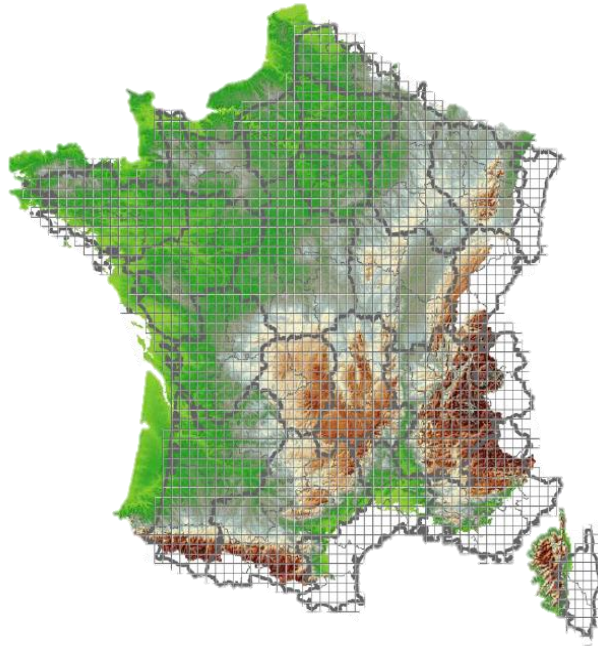


Le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols, une opportunité stratégique à la française !



RMQS

- mis en place en 2002 par l'INRA
- échantillonnage des sols français sur une grille de 16 x 16 km
→ 2200 sites

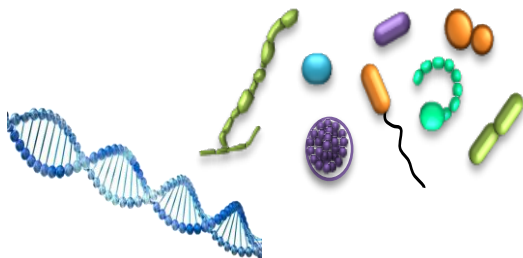


Grande variabilité de types de sols et de modes d'usage



Application d'outils de microbiologie moléculaire
Abondance, diversité des communautés microbiennes

Inventaire nationale de la qualité microbiologique des sols

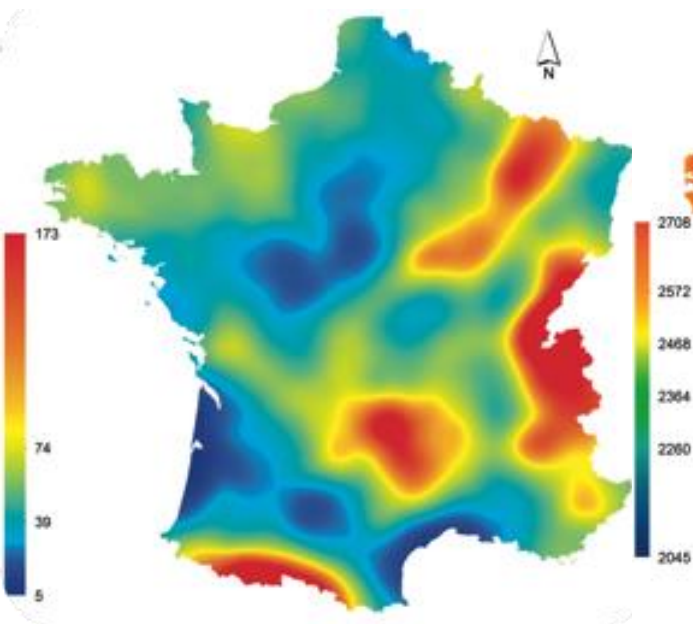


La France, 1er pays au monde à avoir des cartographies nationales de la microbiologie des sols

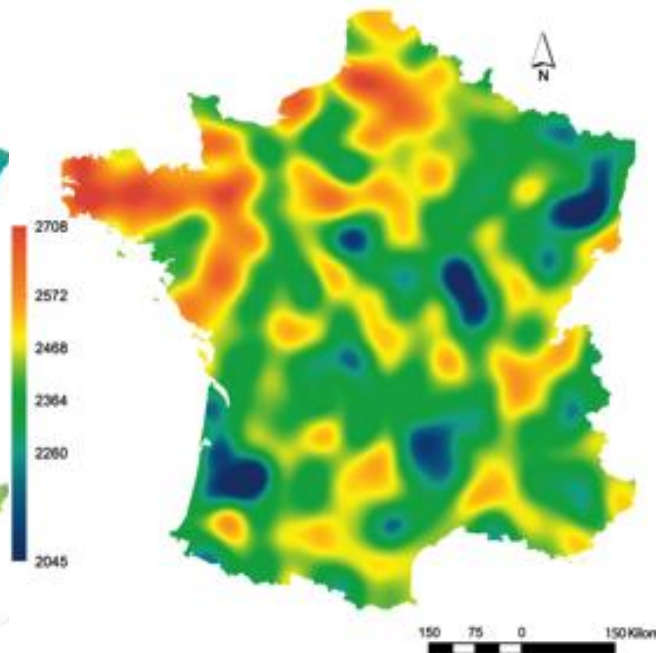


Réseau de Mesures de la Qualité des Sols - RMQS

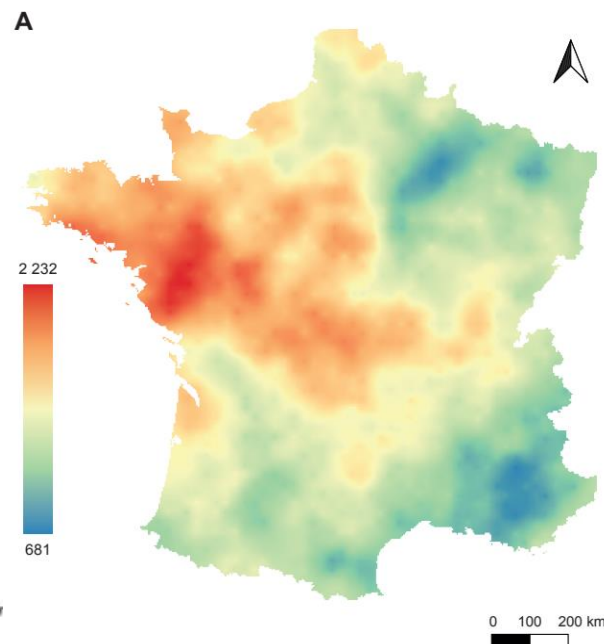
Biomasse Moléculaire
Microbienne



Diversité bactérienne



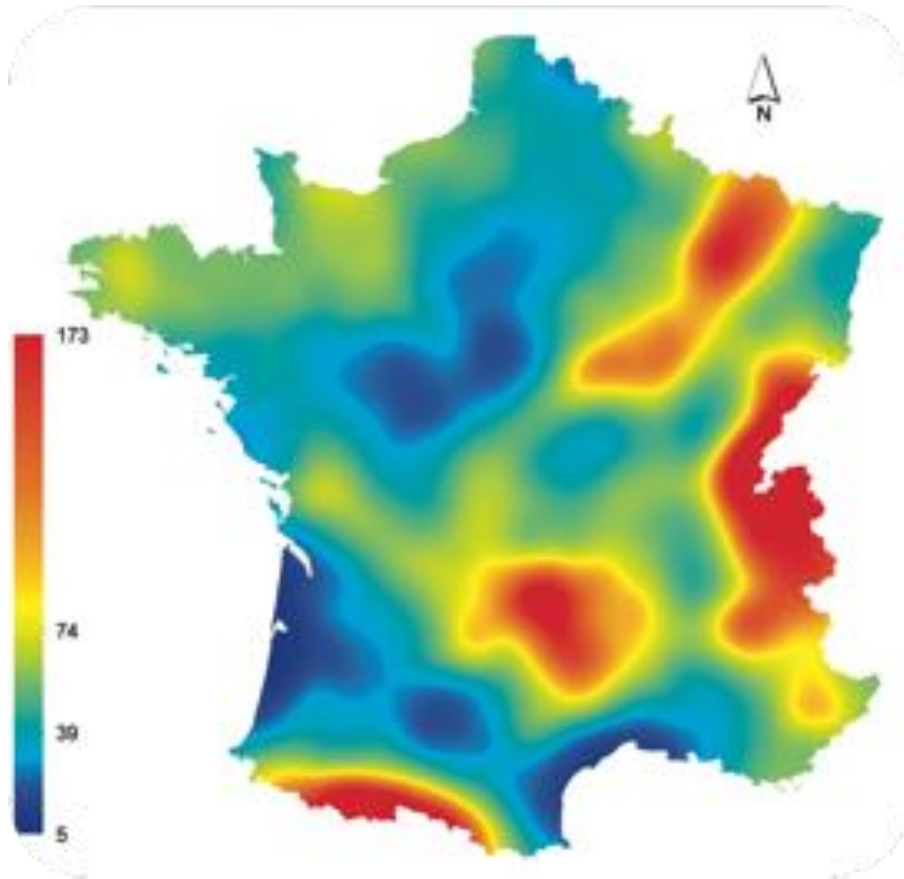
Diversité Champignons



**Pas de sols morts !
Mais des sols plus ou moins vivants !**

Cartographie de la qualité microbiologique des sols français

Biomasse Moléculaire Microbienne



Effet sol



Effets +
 $C_{org} > pH \geq \text{Texture}$
fine

Effet -
C/N

Effet mode d'usage



Vignes/vergers



Cultures



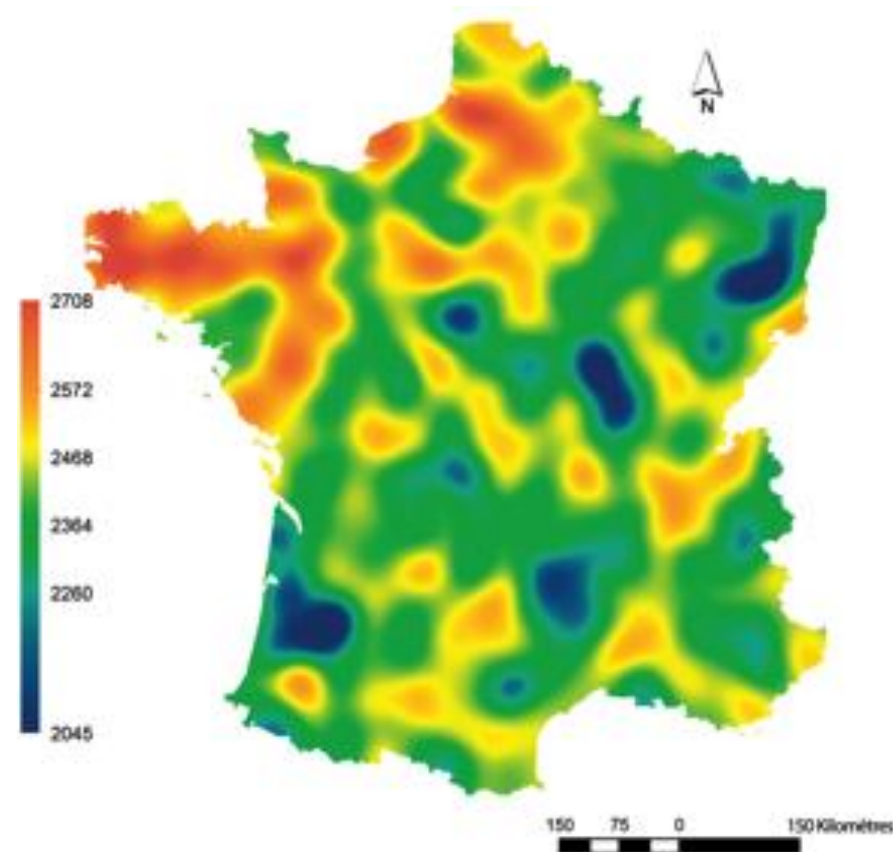
Forêts



Prairies

Cartographie de la qualité microbiologique des sols français

Diversité bactérienne



Effet sol



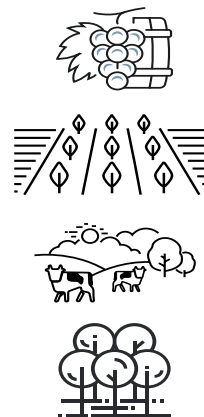
Effets +

pH > Texture grossière

Effets -

C/N $\geq$ Texture fine

Effet mode d'usage



Vignes/vergers

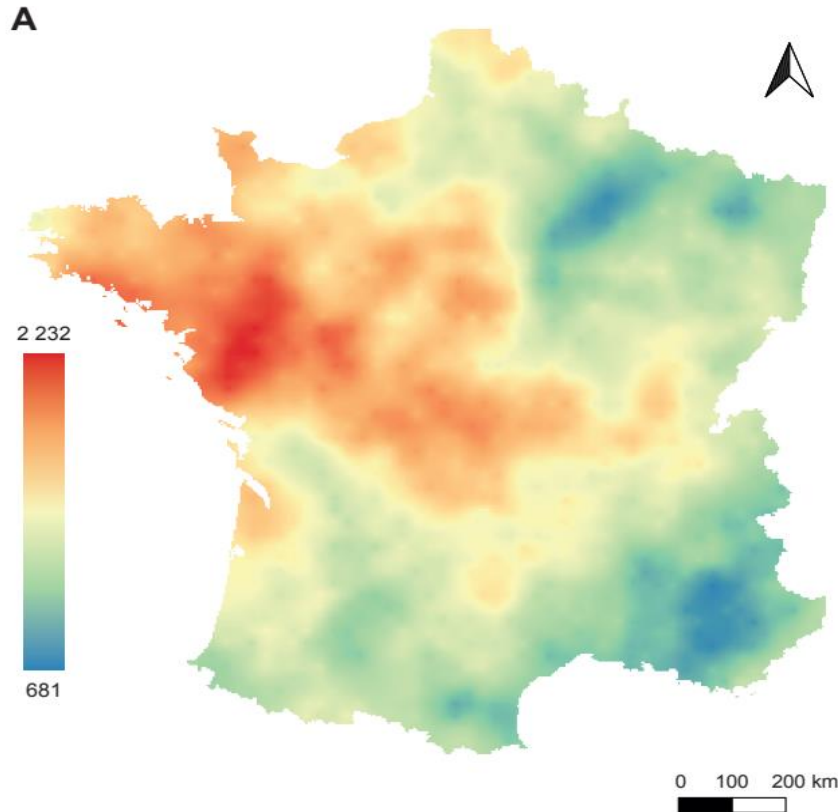
Cultures

Prairies

Forêts

Cartographie de la qualité microbiologique des sols français

Diversité champignons



Effet sol



Effet sol

Effets +

pH > Texture grossière

Effets -

C/N $\geq$ Texture fine

Effet mode d'usage



Vignes/vergers



Cultures



Prairies



Forêts

L'augmentation de diversité dans les sols agricoles est elle bénéfique ?

Réseaux d'interactions bactériens !



Forêt



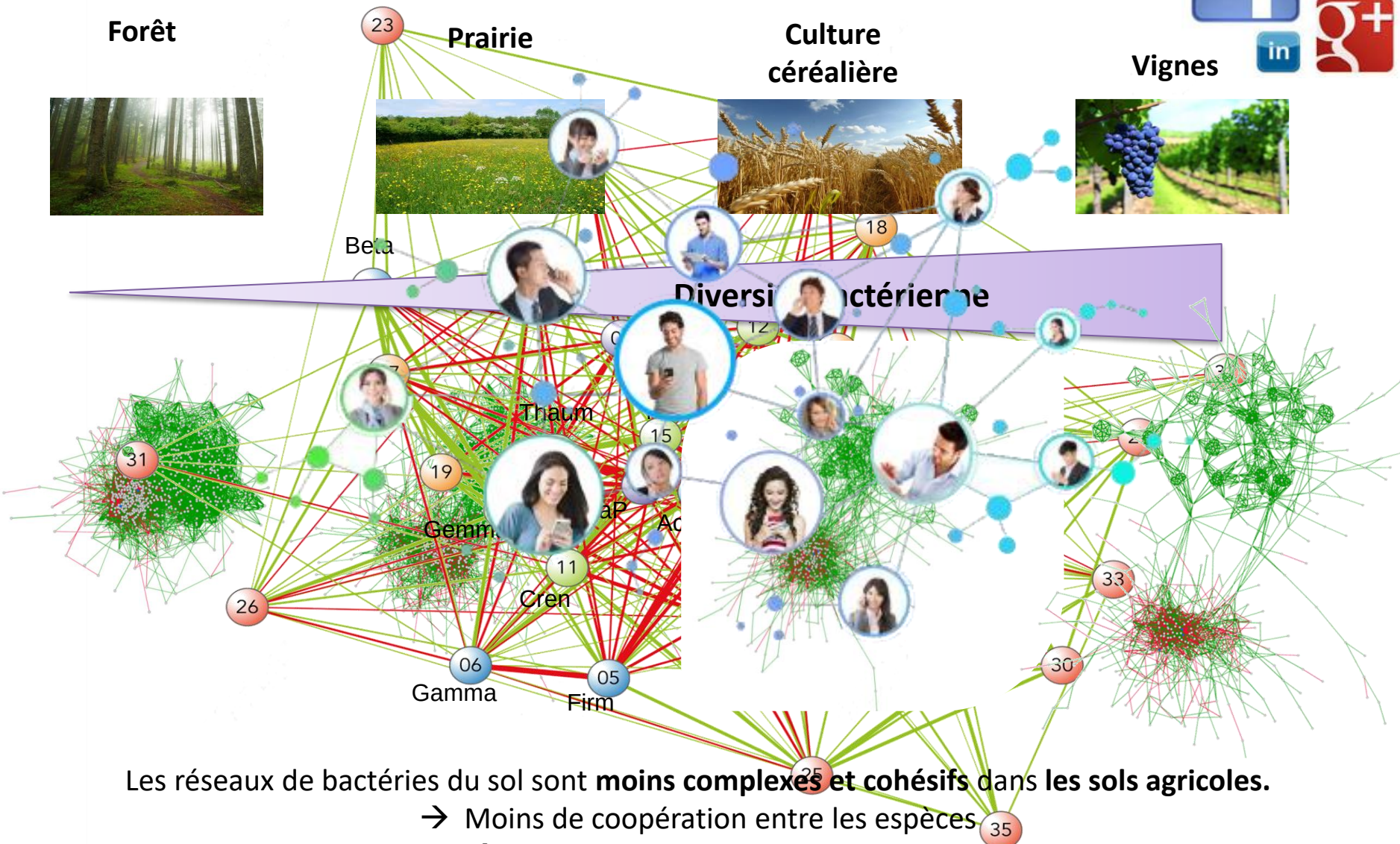
Prairie



Culture
céréalière



Vignes



Les réseaux de bactéries du sol sont **moins complexes et cohésifs** dans les sols agricoles.

→ Moins de coopération entre les espèces

→ Fonctionnement du sol affecté !

Réseaux d'interactions champignons !

Forêt



Prairie



**Culture
céréalière**

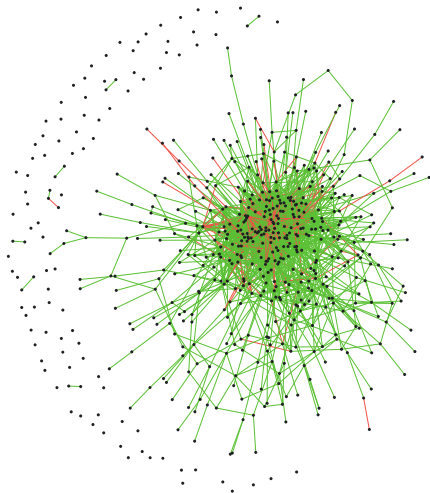


Vignes



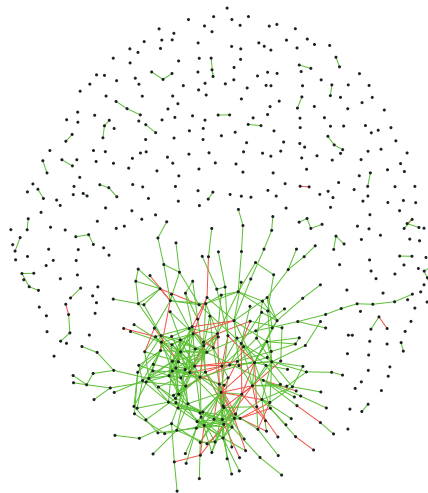
Diversité fongique

Forêts



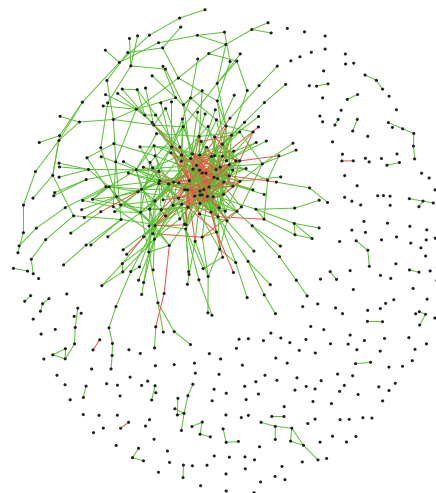
Nb noeuds = 605
Nb liens = 2521

Prairies



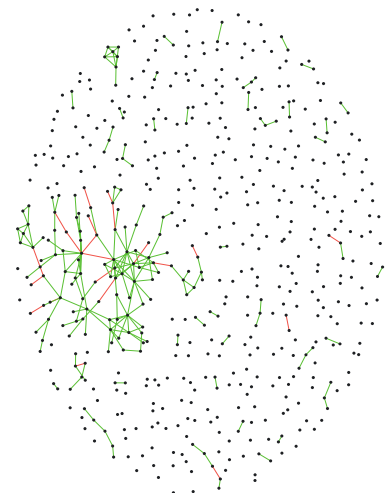
Nb noeuds = 574
Nb liens = 508

Grandes cultures



Nb noeuds = 575
Nb liens = 775

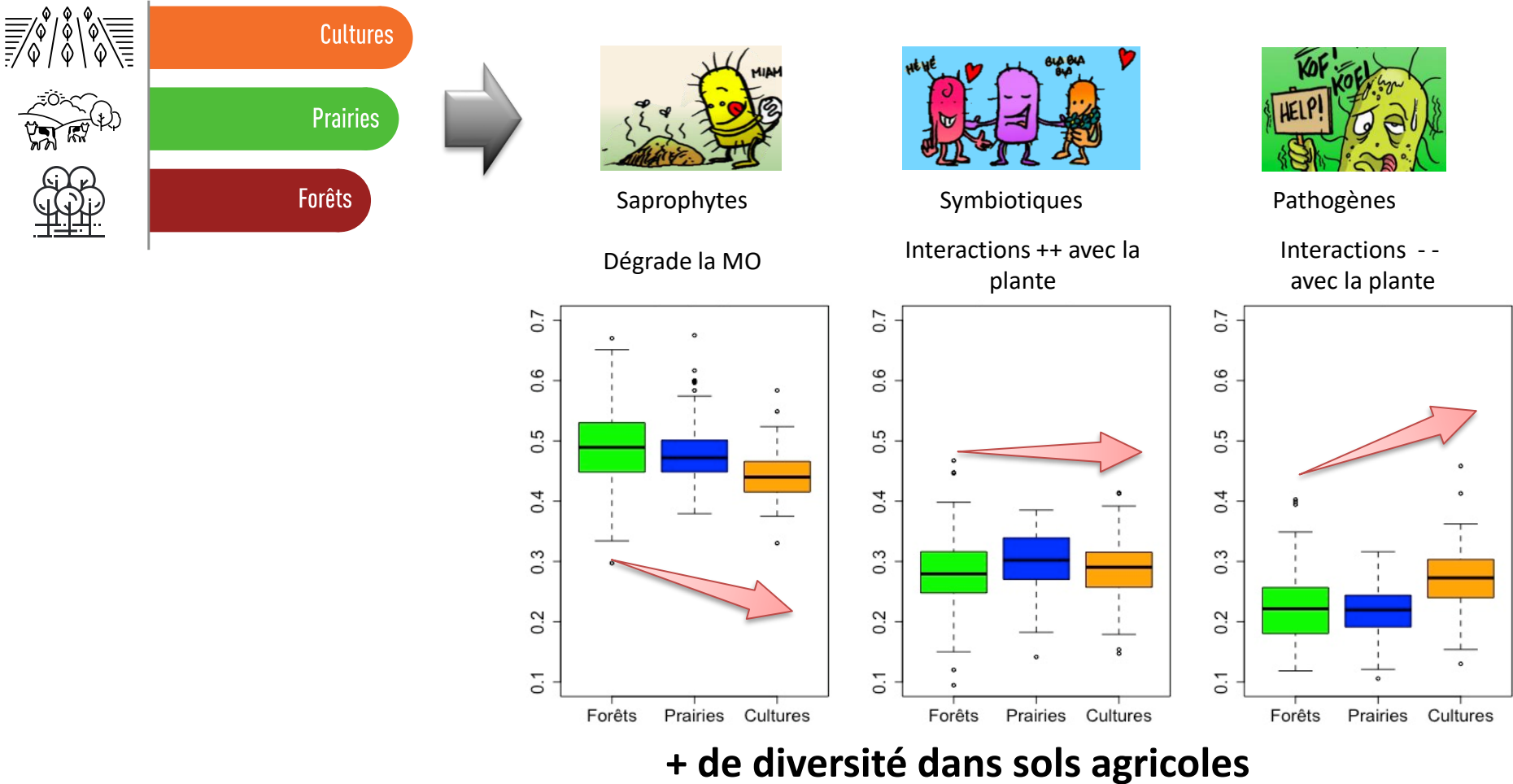
Vignes & vergers



Nb noeuds = 570
Nb liens = 227

L'augmentation de diversité dans le sols agricoles est elle bénéfique ?

+ de biodiversité = + d'espèces bénéfiques ?



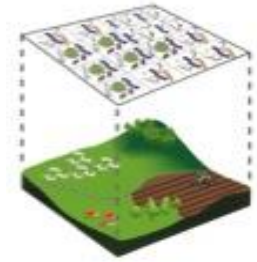
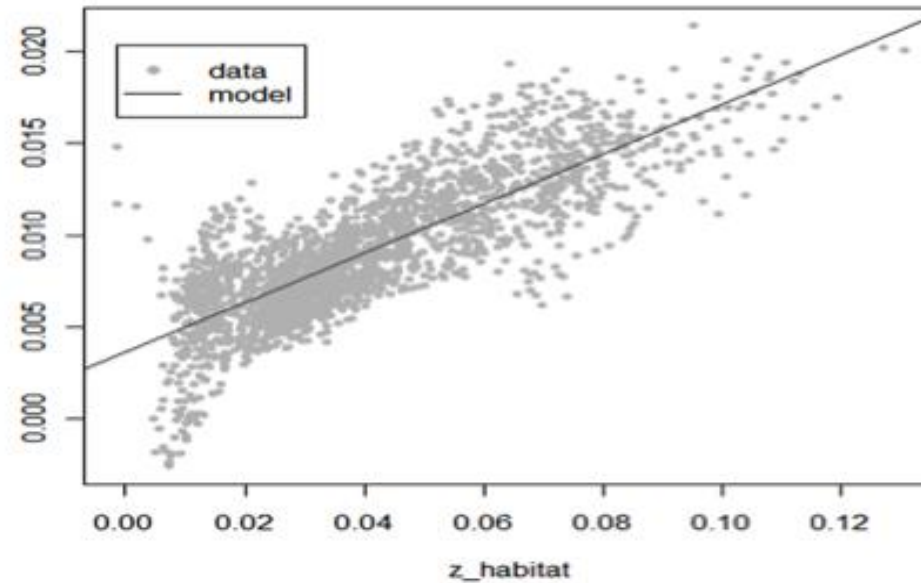
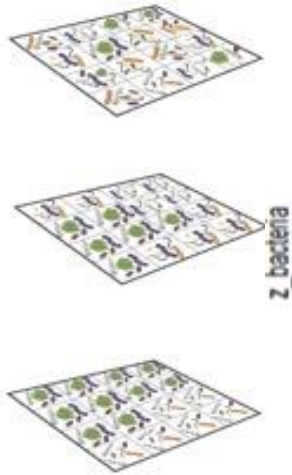
+ de diversité dans sols agricoles

=

+ d'espèces de pathogènes

Biodiversité des sols vs hétérogénéité du paysage

Diversité microbienne



Diversité de l'habitat

- Importance de la diversité et structuration spatiale de l'habitat à grande échelle sur la diversification des communautés bactériennes du sol

L'INRA ET L'ADEME PRÉSENTENT

ATLAS FRANCAIS DES BACTERIES DU SOL



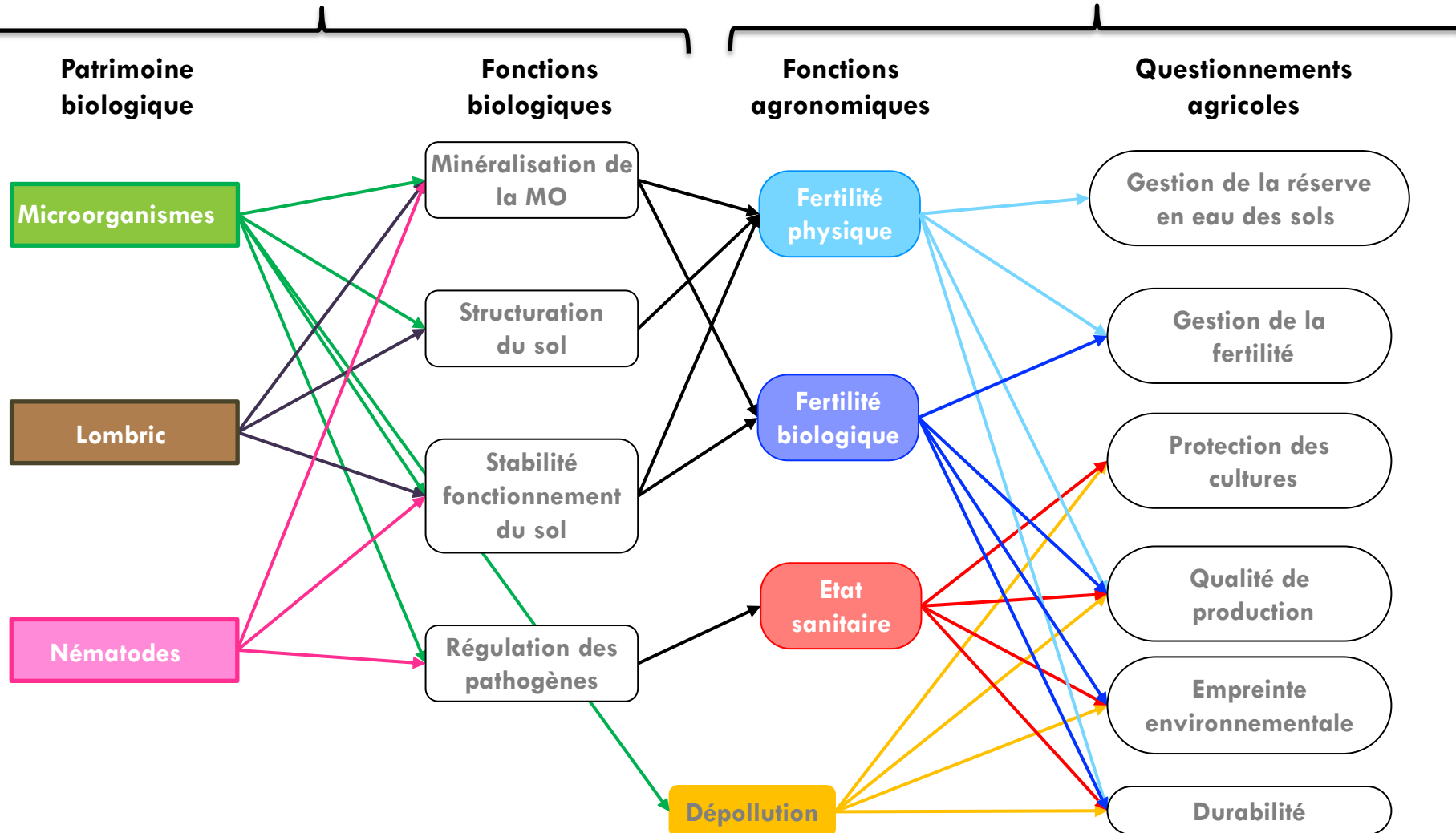
Battile KARIMI,
Nicolas CHEMIDLIN PREVOST BOURE,
Samuel DEQUIEDT, Sébastien TERRAT
Lionel RANJARD

**Des outils, des connaissances et des
données au service du diagnostic
opérationnel**

De la biologie du sol aux questionnements agronomiques

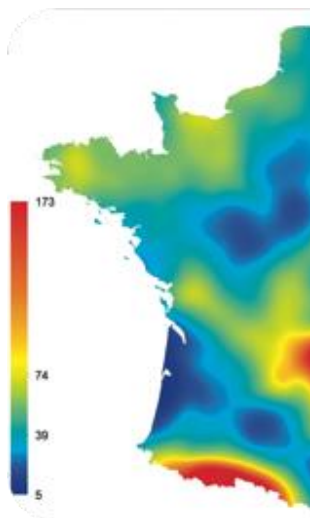
Chercheurs

Agriculteurs



Des outils

Abondance micro



« Indicateur nati

LA MICROBIOLOGIE MOLÉCULAIRE AU SERVICE DU DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL

OCTOBRE
2017

Ouvrage coordonné par
L. Ranjard, P-A. Maron,
P. Cuny et E. d'Oiron Verame



ADEME

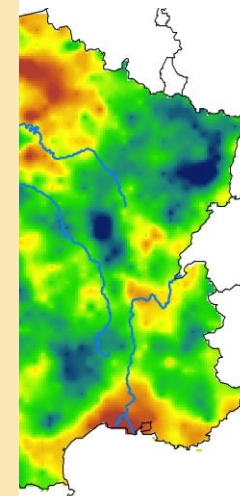


Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

EXPERTISES

teurs

rienne des sols



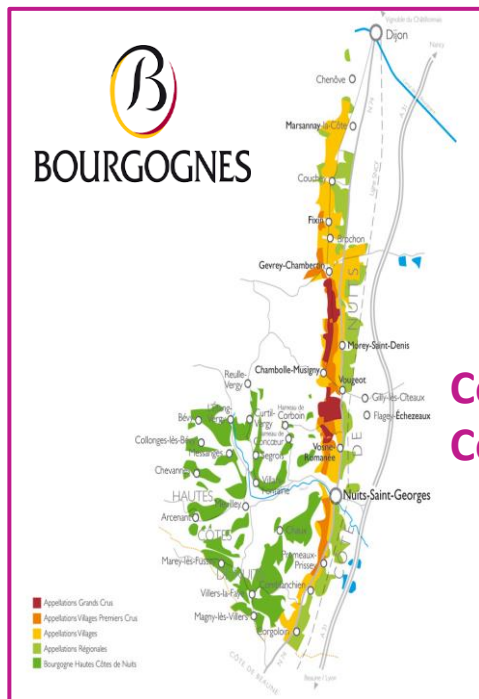
teur national sol »



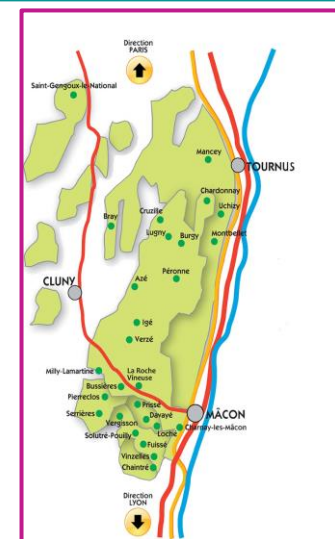
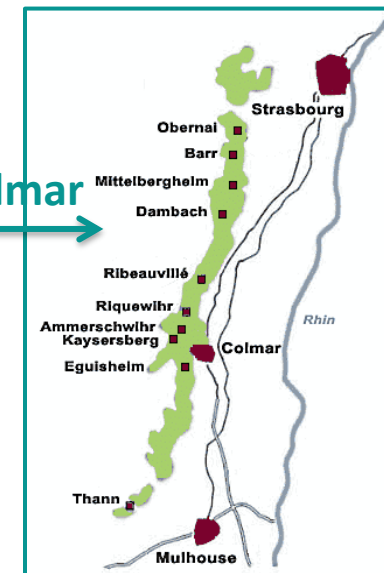
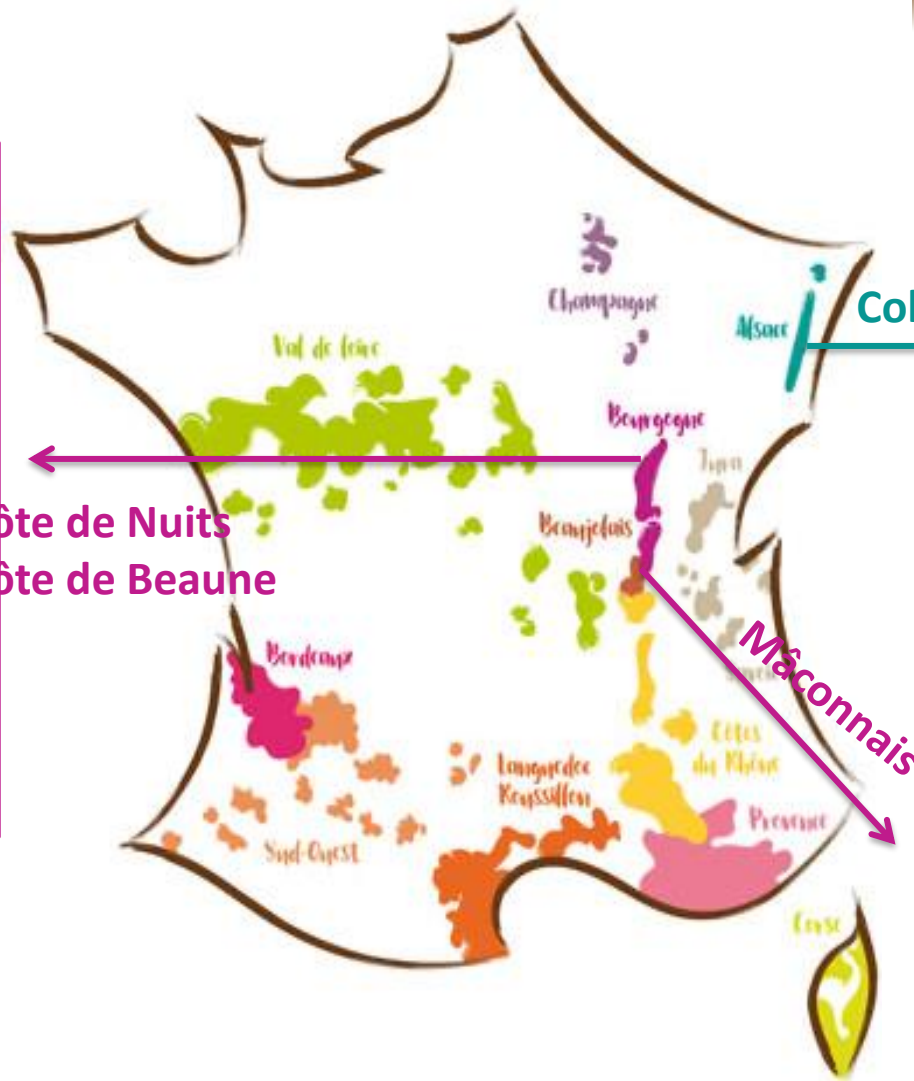
Evaluer la qualité microbiologique des sols viticoles et l'impact des modes de production : Biodynamie vs AB vs Conventionnel



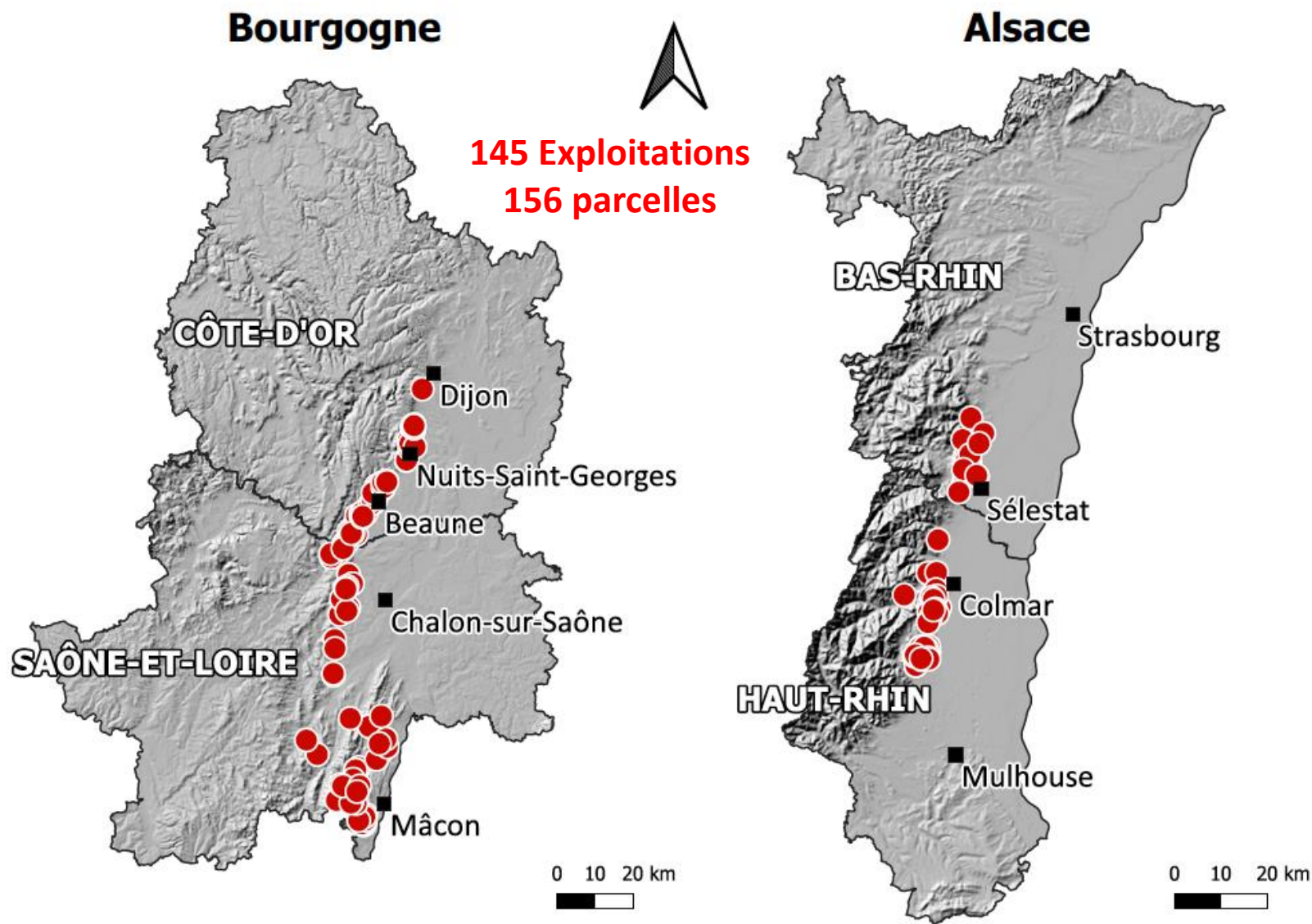
3 territoires viticoles



Côte de Nuits
Côte de Beaune



Le réseau EcoVitiSol



Une Stratégie participative

150 parcelles

Implication des vignerons dans :

Les questionnements en amont

Les observations terrain

La collecte des données

L'interprétation des résultats

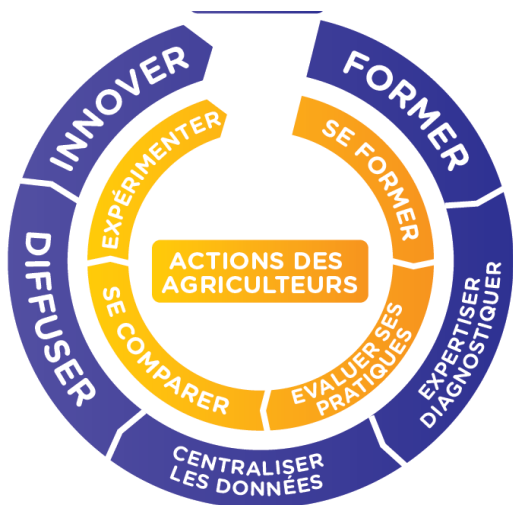


Dvpt Formations



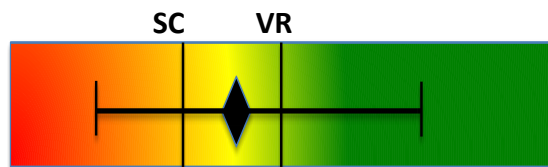
**Rendu analytique :
diagnostic**

Interprétation collective



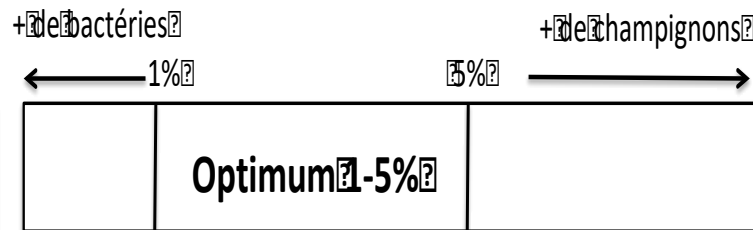
Différents types d'indicateurs

Biomasse microbienne



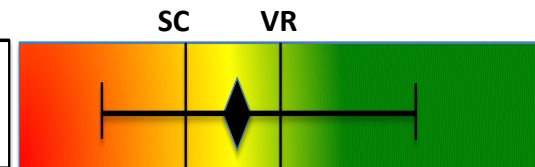
Le plus le mieux !

Equilibre microbien



Optimum

Diversité microbienne Bactéries et champignons



Le plus le mieux !

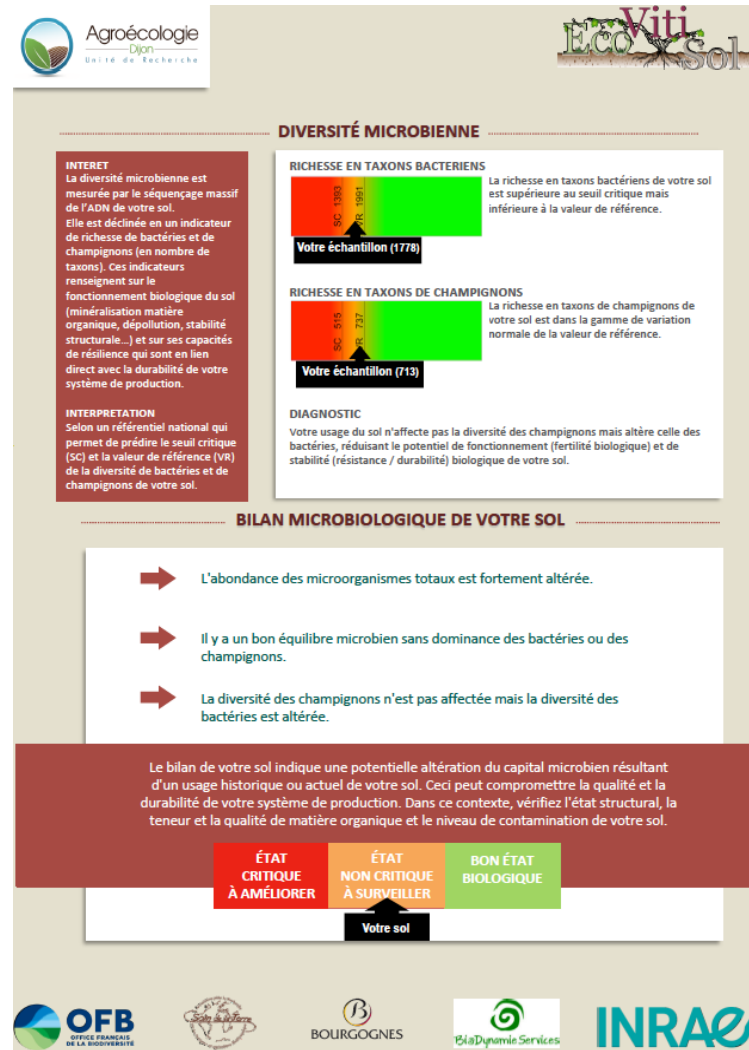
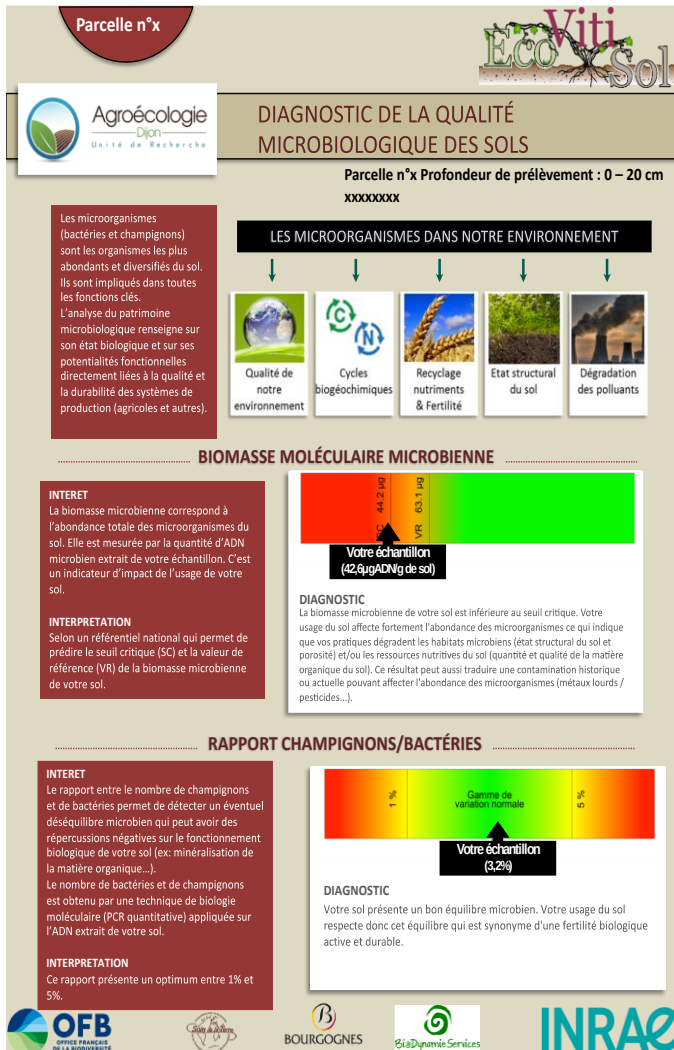
Bilan de la qualité microbiologique

ÉTAT
CRITIQUE
À AMÉLIORER

ÉTAT
NON CRITIQUE
À SURVEILLER

BON ÉTAT
BIOLOGIQUE

Fiche rendu individuel



BON ÉTAT BIOLOGIQUE

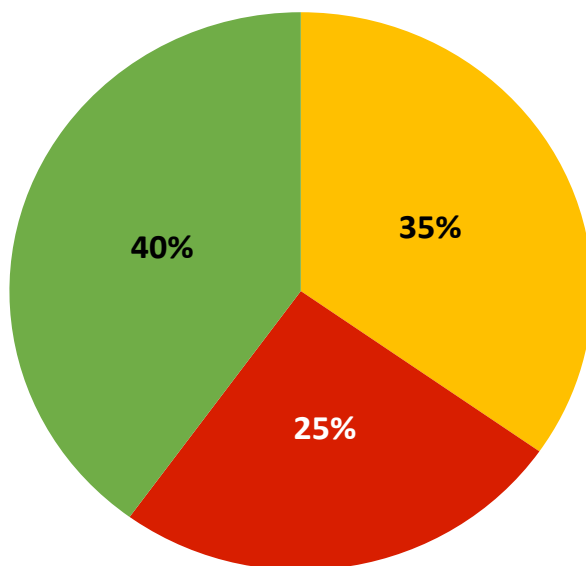
ÉTAT NON CRITIQUE À SURVEILLER

ÉTAT CRITIQUE À AMÉLIORER

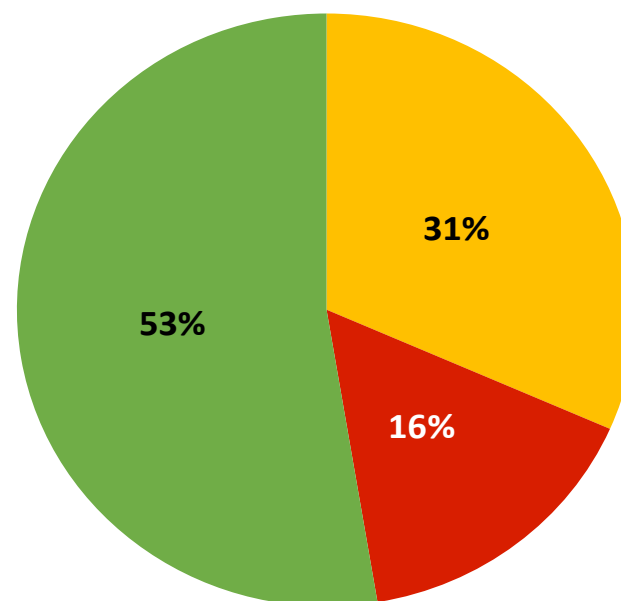
Travail du sol



Travail du sol



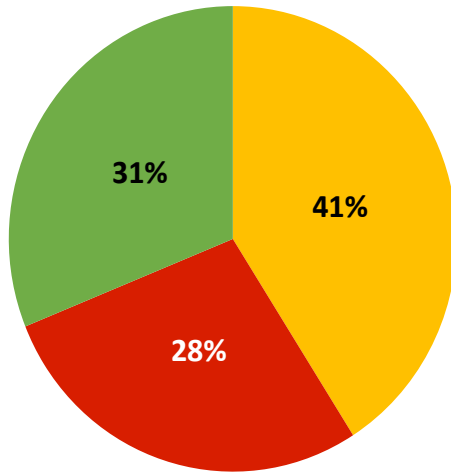
Sans Travail



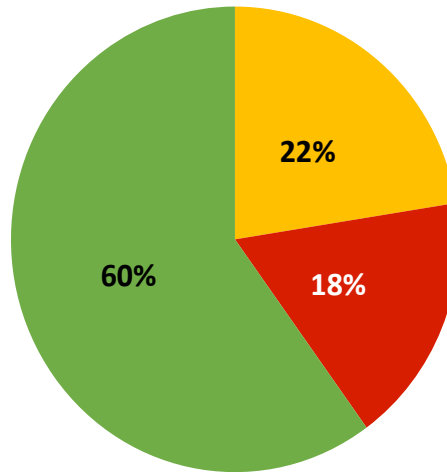
**Bilan microbiologique
(% parcelles)**



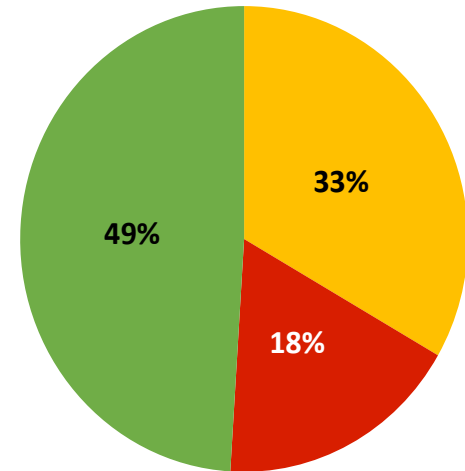
Hivernal



Temporaire



Permanent

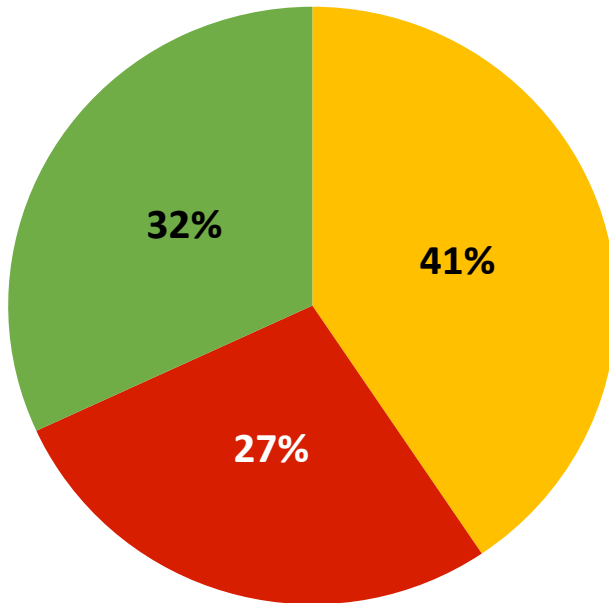


**Bilan microbiologique
(% parcelles)**

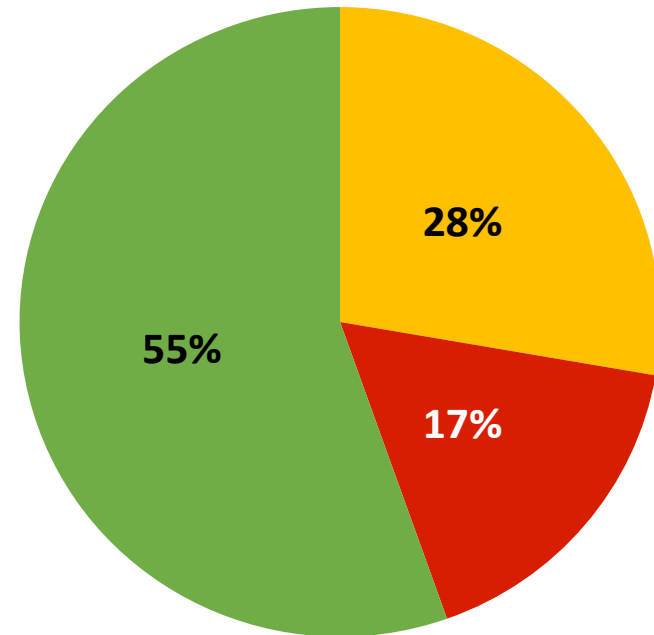
Sarments



Export



Restitution



**Bilan microbiologique
(% parcelles)**

Impact des pratiques viticoles sur le bilan de la qualité microbiologique



**Travail
du sol**



Enherbement



**Fertilisation
organiques**

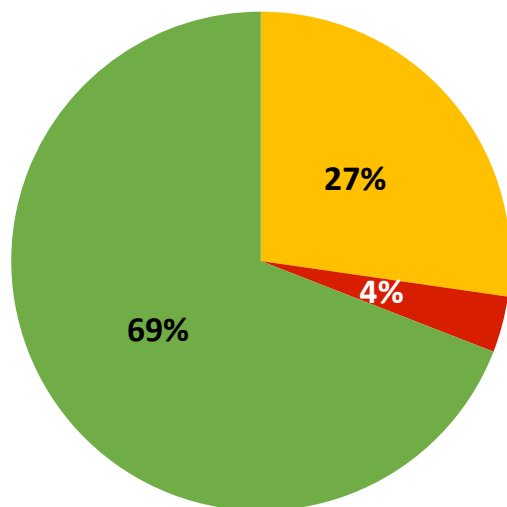


Sarments

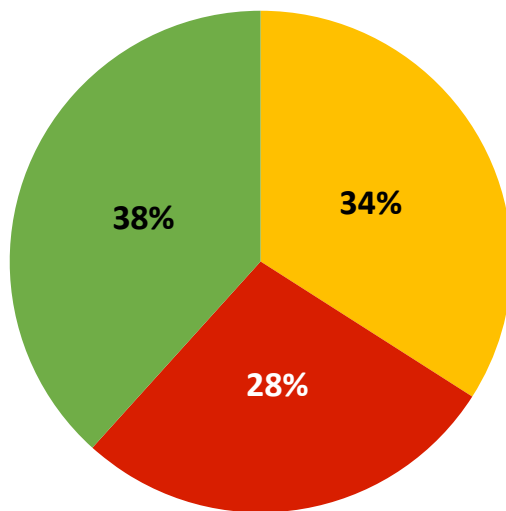


Territoires

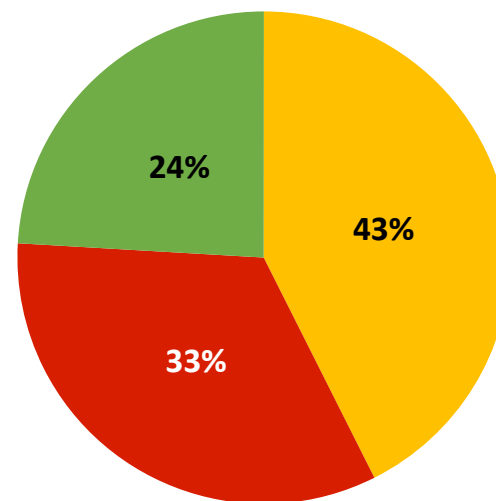
Alsace



Chalon-Macôn

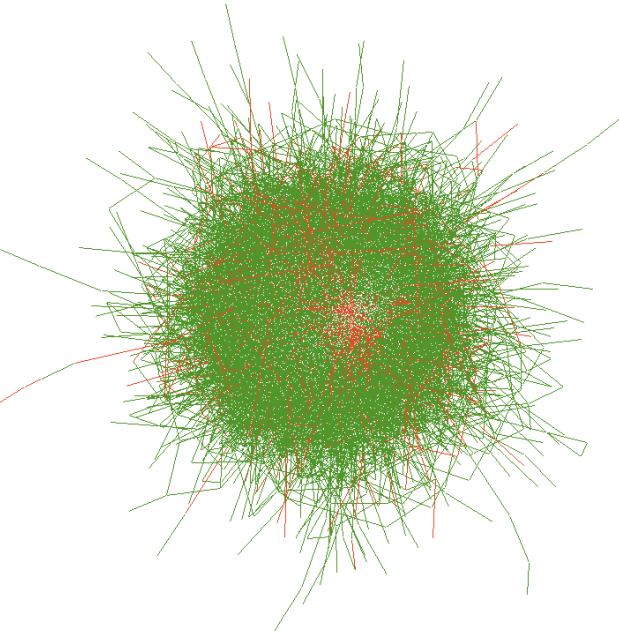


Nuits-Beaune

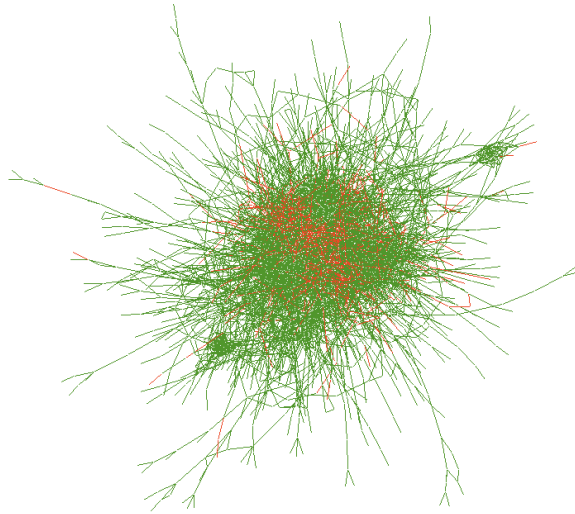


**Bilan microbiologique
(% parcelles)**

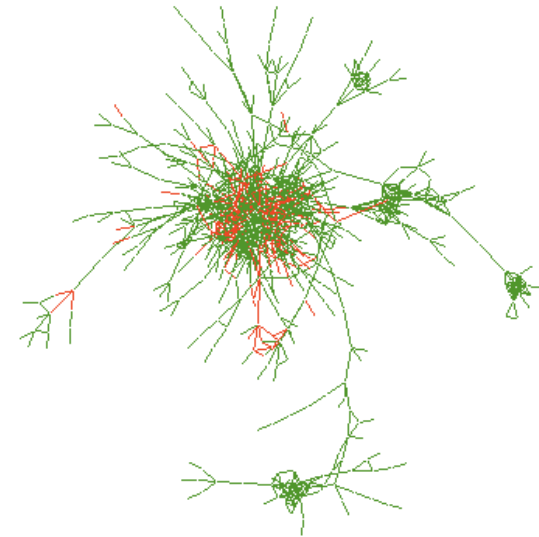
Réseaux d'interactions Territoire



Alsace
143 500 liens



Chalon-Macôn
20 360 liens



Nuits-Beaune
4 548 liens

Côte de Nuits

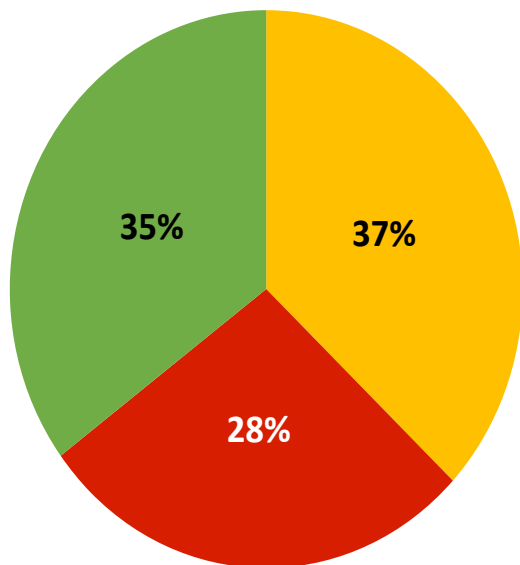


et...en Alsace !

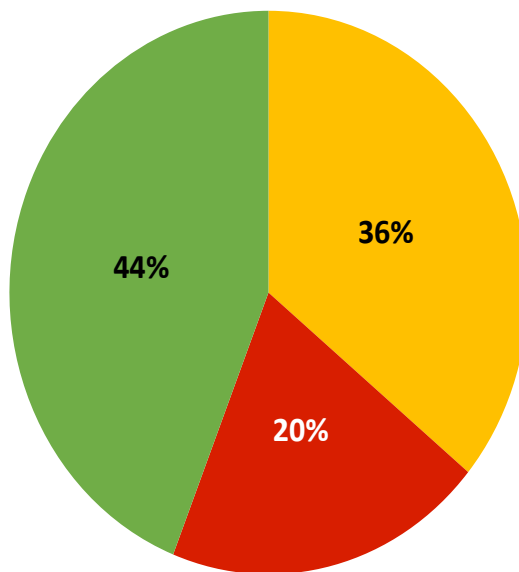


Mode de production

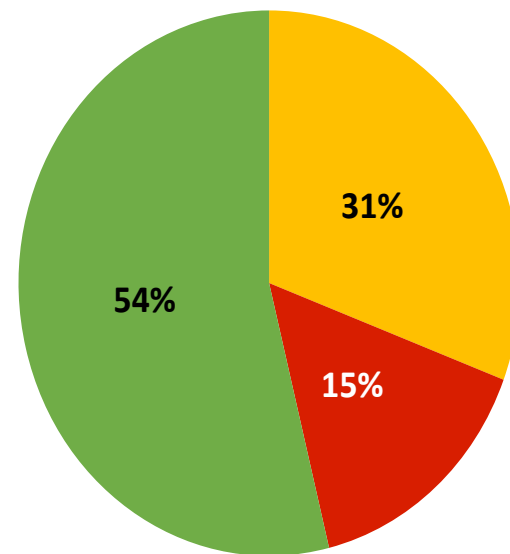
Conventionnel



AB

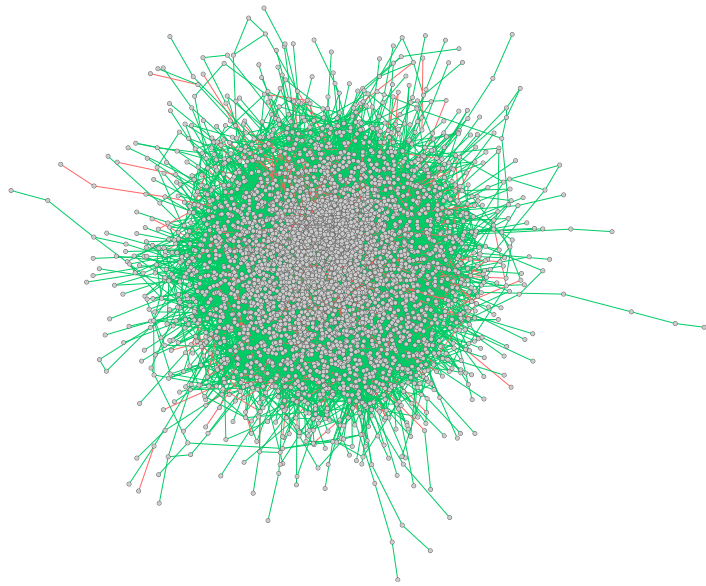


Biodynamie

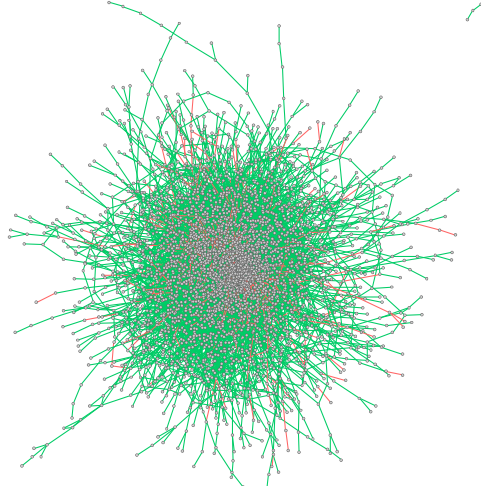


**Bilan microbiologique
(% parcelles)**

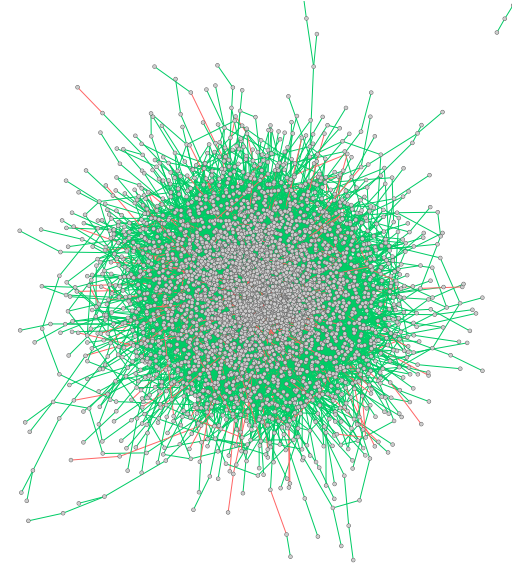
Mode de production



Biodynamie
152 471 liens



AB
61 471 liens



Conv-Rais
91 569 liens

Meta analyse scientifique internationale

Environmental Chemistry Letters (2021) 19:4603–4625

<https://doi.org/10.1007/s10311-021-01302-y>

REVIEW



Impact of farming systems on soil ecological quality: a meta-analysis

Amélie Christel^{1,2} · Pierre-Alain Maron² · Lionel Ranjard² 

Received: 7 June 2021 / Accepted: 9 July 2021 / Published online: 31 August 2021

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Switzerland AG 2021

Numéro spécial
Biodiversité des sols

Méta-analyse sur l'impact des modes de production agricole sur la qualité écologique du sol

A. Christel_(1,2), P.-A. Maron₍₂₎ et L. Ranjard_(2*)

1) AgroParisTech, 75732 Paris, France

2) Agroécologie, AgroSup Dijon, INRAE, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France

* Auteur correspondant : lionel.ranjard@inrae.fr

Et dans les villes quelle biodiversité pour les sols ?



Particularités de l'écosystème urbain

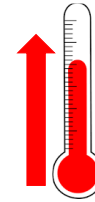
Des modes d'usage très contrastés (sols très anthropisés)



Changements **hydrologiques**
(Erhenfeld, 2000)

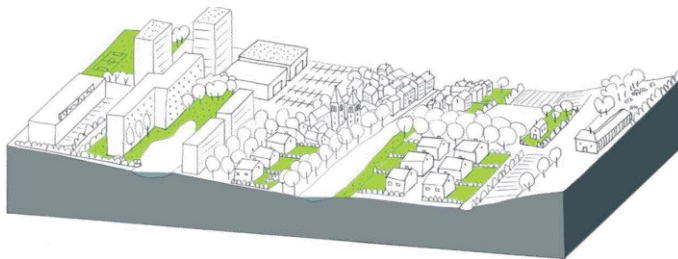


Augmentation de la température
en ville !

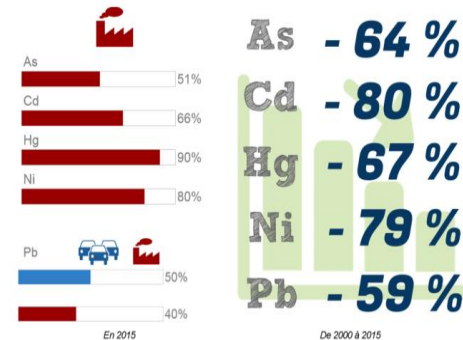


Importants niveaux de
contamination en **métaux
lourds** (Erhenfeld, 2000)

Une mosaïque urbaine très complexe et
discontinue



Les émissions françaises de certains métaux lourds



3% de la littérature scientifique sur la biodiversité des sols en ville

Les vers de terre dans les sols urbains



Bord de route



Zone résidentielle



Parc urbain



Forêt urbaine



Jardin urbain



20 et 120 ind/m²

Abondance

100 et 700 ind/m²

Pb



Métaux lourds

Compaction

Construction



Diversité végétale



Fertilisation organique



Trafic

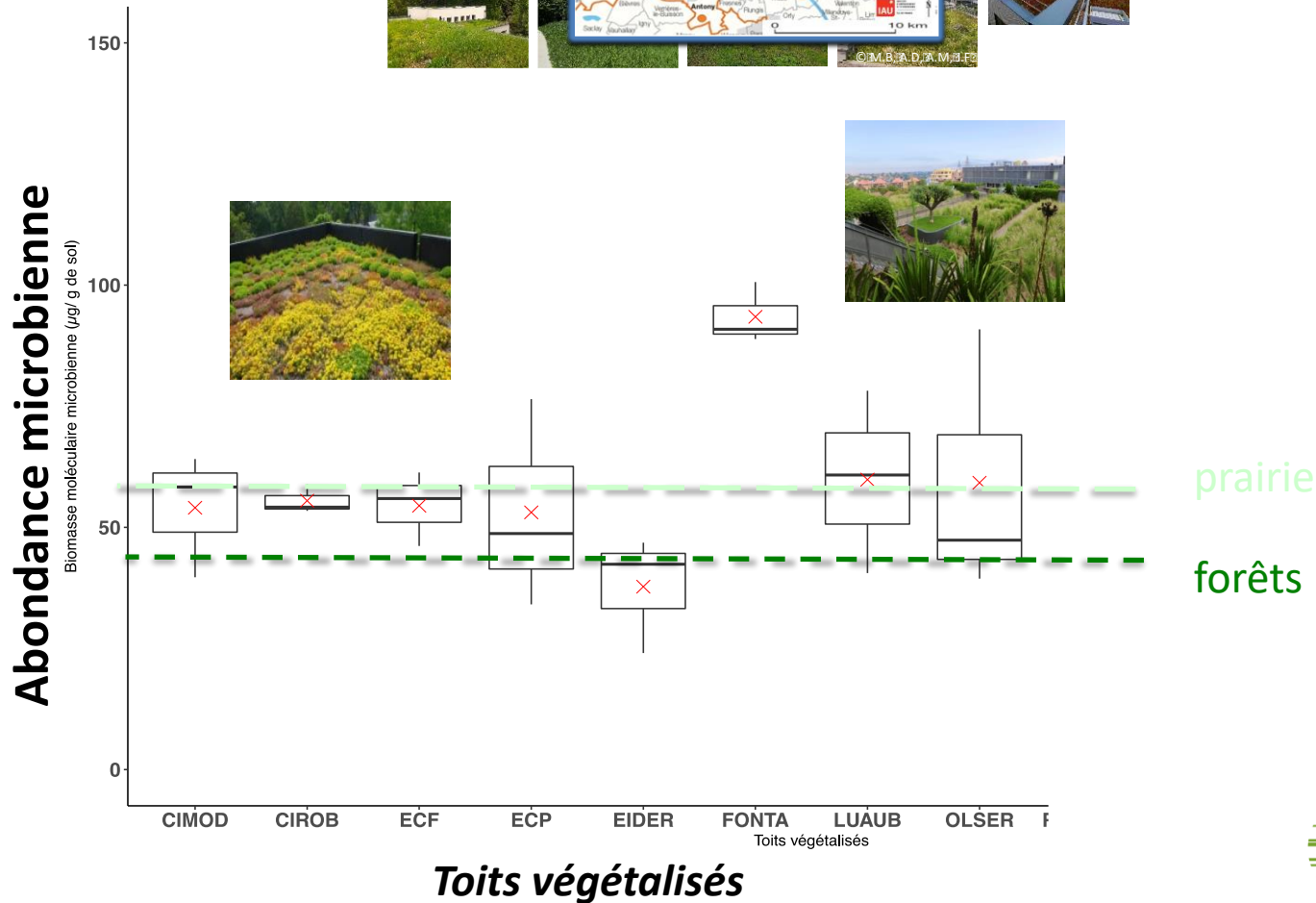


Activités humaines



Irrigation

De la vie sur les toits parisiens !



2 grands types de solution pour réduire l'empreinte environnementale !

Sols ruraux (agricoles)



La transition agroécologique



Sols urbains



Le retour de la nature en ville

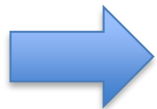


**Au delà d'identifier les solutions
comment faire changer les pratiques ?!**

1ère piste : impliquer les usagers et les citoyens dans les projets de recherche



Sciences participatives



Bien développé pour oiseaux (LPO), papillons, chauves souris, abeille....

VIGIENATURE
Un réseau de citoyens qui fait avancer la science



2ème piste : Education et Sensibilisation



Mettre la biodiversité des sols dans les programmes scolaires



Intégrer la biodiversité des sols dans les formations agricoles (Lycée et SupAgro)



**Rôle des chercheurs pour sensibiliser les citoyens
(conférence, presse, média...)**



3ème piste

Stratégie juridico-foncière

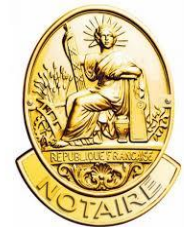
Légitimer une valeur « qualité du sol » pour
orienter les politiques publiques



- ➔ Développer des **outils juridiques** pour intégrer la qualité des sols dans les SCOT, PLU...documents d'urbanismes.



- ➔ Mettre en place une **plus value foncière** qui reconnaitrait la qualité des sols dans les échanges, les ventes et les successions de terre.



Rendu possible car on a les indicateurs, les référentiels et les expertises



Ce qu'il faut retenir !

Le sol système complexe de plus en plus connu

Sol, principal réservoir de diversité de notre planète

Fournit des fonctions importantes pour nos sociétés (alimentation, climat, dépollution...)

**Le sol système complexe simplifié par l'agriculture pour mieux maîtriser la production
(baisse de diversité, moins d'interactions)**

=> système peu durable car la complexité du système fait sa stabilité (résistance et résilience)

Le sol, mémoire de notre passé (culturel et agricole) encore plus de complexité !



Merci pour votre attention

