



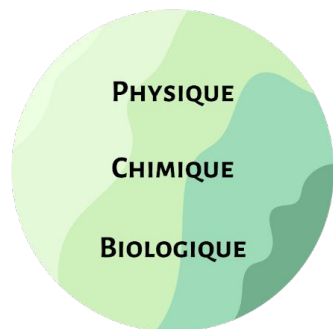
Biodiversité et santé des sols agricoles, mieux comprendre et proposer des outils d'analyses aux agriculteurs : exemples de démarches

Sarah Gaillard & Jean-Baptiste Février
Veolia Agriculture France

Santé des sols : de quoi parle t-on ?

Santé des sols agricoles

3 piliers
complémentaires



Sol sain



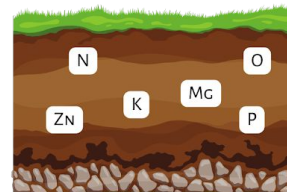
Services
écosystémiques
rendus par les sols
(non exhaustif)



PRODUCTION DE BIOMASSE



PURIFICATION DE L'EAU



RÉALISATION DES CYCLES DES
ÉLÉMENTS NUTRITIFS

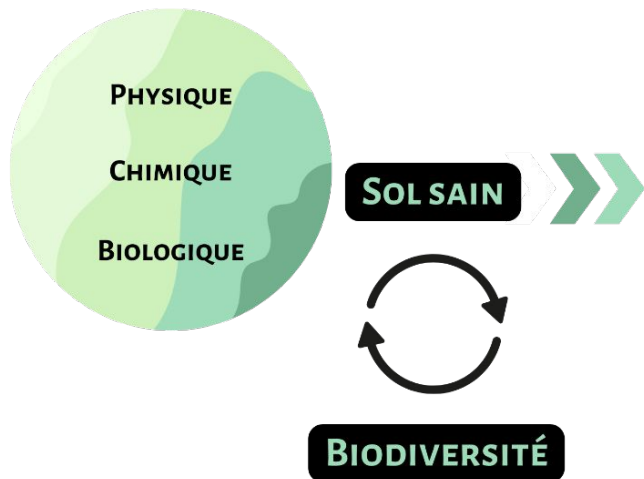


RÉGULATION DU CLIMAT

Santé des sols : de quoi parle t-on ?

Santé des sols agricoles

3 piliers
complémentaires



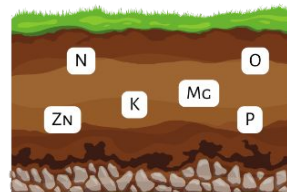
Services
écosystémiques
rendus par les sols
(non exhaustif)



PRODUCTION DE BIOMASSE



PURIFICATION DE L'EAU



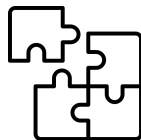
RÉALISATION DES CYCLES DES
ÉLÉMENTS NUTRITIFS



RÉGULATION DU CLIMAT

Qu'est-ce que la biodiversité des sols agricoles ?

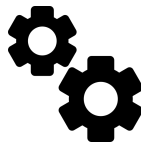
Les différents types de biodiversité



Biodiversité / Richesse taxonomique

Diversité des familles, genres et/ou espèces présentes dans un espace donné

Répond à la question : Qui est présent ?



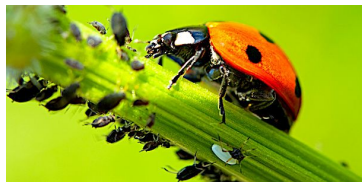
Biodiversité fonctionnelle

Ensemble des espèces qui contribuent à des services écosystémiques

Répond à la question : Qui fait quoi dans l'écosystème ?

Qu'est ce qui compose la biodiversité en agriculture ?

- Les grandes familles qui composent la biodiversité en milieu agricole



Insectes



Oiseaux



Plantes



Mammifères

- Les écosystèmes abritant la biodiversité en milieu agricole



Haies



Prairies



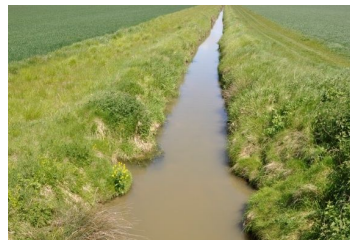
Sols



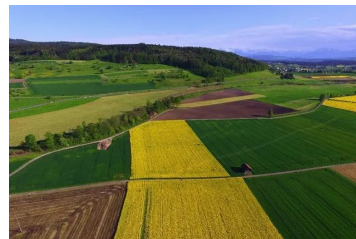
Bandes enherbées



Bois



Fossés



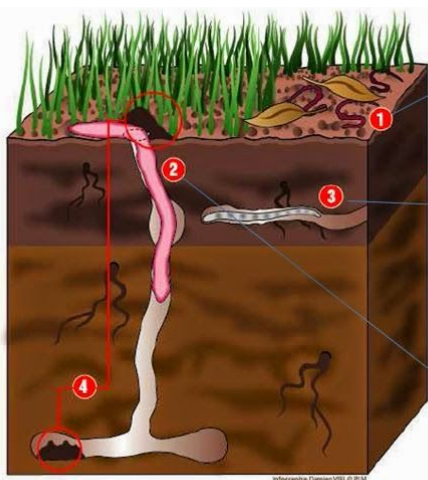
Diversité des cultures

Les principaux organismes qui composent la biodiversité du sol et leurs fonctions

→ La macrofaune



- Animaux de 4 à 80 mm
- Vers de terre, insectes larvaires et adultes (hyménoptères, coléoptères et diptères (larves) majoritairement), myriapodes, araignées, mollusques, crustacés
- 4 régimes alimentaires principaux : phytophages, prédateurs, détritivores et géophages



Focus sur les vers de terre :

1. Épigés : petits vers rouges vivant dans la litière et ne creusant généralement pas de galeries
2. Anéciques : gros vers saprophages vivant dans de grandes galeries, pouvant descendre à 3 m de profondeur, les « laboureurs » du sol
3. Endogés : petits vers géophages vivant en permanence dans les couches inférieures du sol dans un réseau de galeries horizontales.

Les principaux organismes qui composent la biodiversité du sol et leurs fonctions

→ La mésofaune et la microfaune



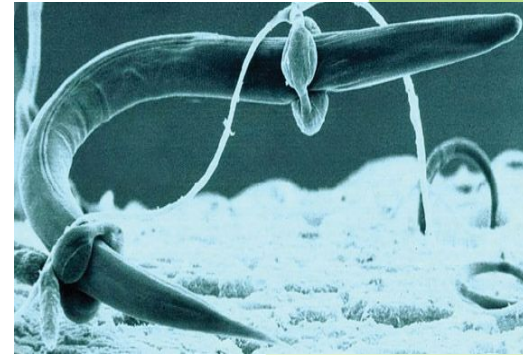
Mésofaune : 0.2 à 4mm (Acariens, collemboles, enchytréides)

Microfaune : en dessous de 0.2 mm (Nématodes, protozoaires)

Régime alimentaire : microphages, saprophages ou carnivores



Enchytréides



Nématodes

Les principaux organismes qui composent la biodiversité du sol et leurs fonctions

→ Les micro organismes



→ Les bactéries

1g de sol $\approx 10^9$ individus et 10^6 espèces.

Exemple de familles :

- Cellulolytiques (dégradation de la cellulose)
- Nitrifiantes (oxydation de l'ammoniac en nitrates)
- Ammonifiantes (décomposition des substances organiques azotées en ammoniac)
- Fixatrices d'azotes (fixation et transformation du N_2 atmosphérique)

→ Les champignons

- Présents dans le sol sous la forme d'un réseau très dense (plusieurs $km.m^{-2}$) de filaments appelés hyphes. Peuvent représenter **plusieurs tonnes de biomasse.ha⁻¹**
- 4 familles selon le mode d'alimentation : **saprophytes**, **mycorhiziens**, **endophytes** et **pathogènes**



Les champignons:

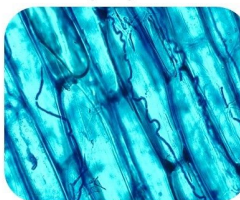
Saprophytes



Mycorhiziens



Endophytes



Pathogènes



Les principaux organismes qui composent la biodiversité du sol et leurs fonctions

→ Les fonctions assurées par la biodiversité du sol



Minéralisation de la matière organique



- Fragmentation de la litière
- Ingestion/digestion de la matière organique
- Dégradation chimique des matières carbonées complexes
- Prédation des microorganismes du sol



Structuration du sol



- Construction de galeries, de nids, de turricules ...
- Sécrétion d'un biofilm
- Mise en place d'un réseau de mycélium



Nutrition des plantes



- Prédation des microorganismes du sol
- Minéralisation des éléments nutritifs
- Symbiose racinaire



Régulation des populations



- Prédation des microorganismes du sol



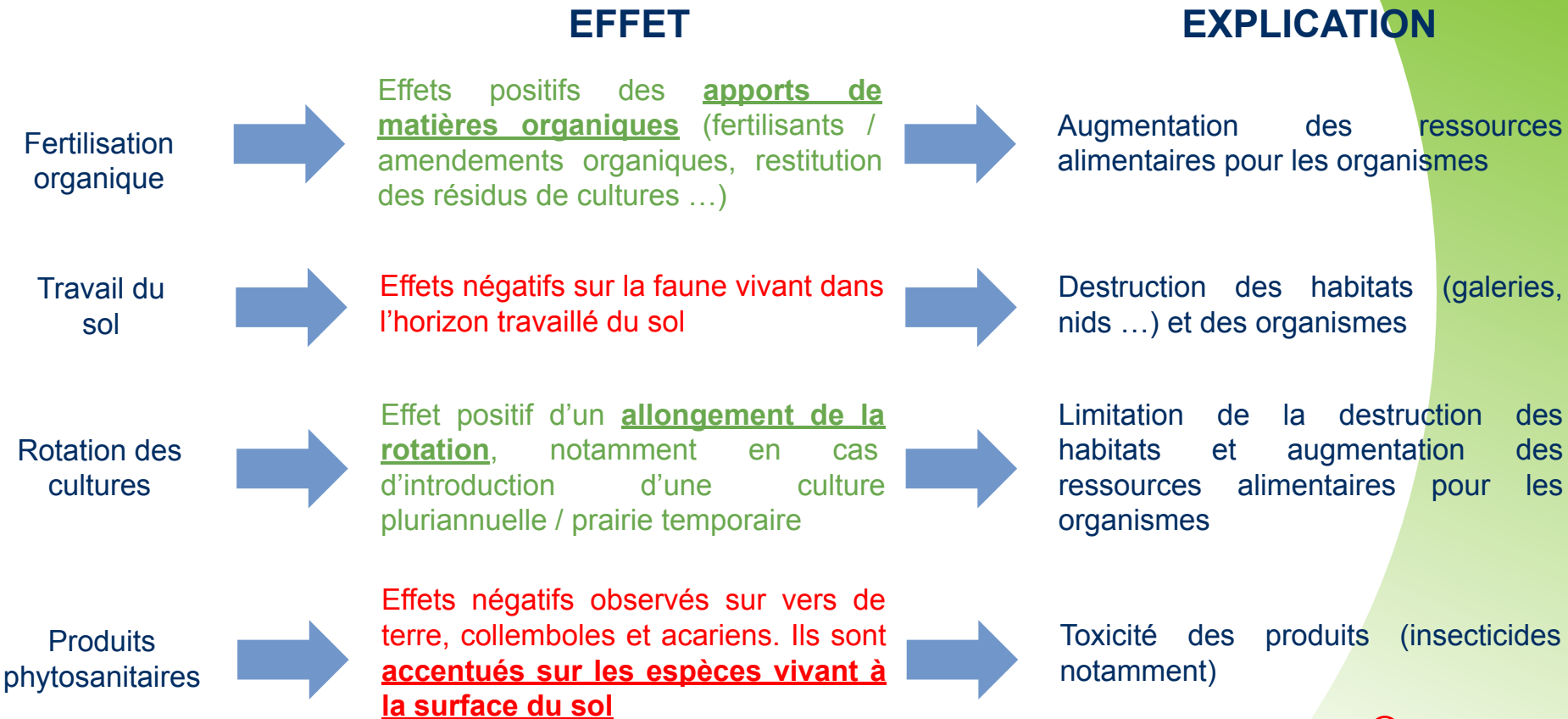
Ravageurs des cultures



- Phytophagie des plantes
- Vecteur de maladies des plantes



Les pratiques agricoles susceptibles d'influencer la biodiversité du sol



Les méthodes et analyses pour mesurer la biodiversité des sols



Méthodes directes

Mesures consistant à observer directement les individus étudiés

Exemples : Comptage de vers de terre, insectes, nématodes ...



Méthodes semi-directes

Méthodes consistant à analyser une molécule constitutive ou produite par un organisme ou un groupe d'organismes

Exemples : ADN et/ou carbone des bactéries et/ou champignons, ergostérol des champignons ...



Méthodes Indirectes

Méthodes consistant à observer un effet produit par les individus étudiés

Exemples : Turricules de vers de terre, vitesse de décomposition de la matière organique, test bêche ...

**Evaluation de l'impact d'apports
répétés de composts sur la
biodiversité des sols :
QualiAgro,
un programme de recherche
INRAE-VEOLIA**

Etude des effets des apports de composts sur le long terme



- Partenariat INRAE-Veolia

- Programme de recherche, démarré en 1998, reposant sur un dispositif au champ
- Objectif : caractériser la valeur agronomique de composts d'origine urbaine et leurs impacts sur l'environnement.
- 4 types de produits résiduels organiques :
 - Compost de boues de station d'épuration (DVB)
 - Compost de biodéchets des particuliers (BIO)
 - Compost d'ordures ménagères triées (OMR)
 - Fumier de bovin (FUM)
- + Témoin sans apport organique (TEM)
- Dose d'apport : 4 t C/ha (20 à 35 t MB/ha) tous les 2 ans (1998-2013) puis 2 t C/ha tous les 2 ans (depuis 2014)



Paramètres analysés à QualiAgro

Mesures et analyses :

Les sols

Propriétés physiques (densité, porosité...), éléments majeurs (N, P, K, C, etc...), MO, ETM, oligoéléments

Les amendements

Éléments majeurs (N, P, K, C, etc...), MO, ETM, oligoéléments

Les eaux de percolation

Éléments majeurs, ETM, nitrates, sulfates, cations*...

Les récoltes

Rendement, éléments majeurs et ETM dans les plantes

Les précipitations

Température, pluviométrie, rayonnement, vent, humidité

Les gaz à effet de serre

Analyse en continu des émissions de N_2O et CO_2^{**}

Etudes sur la vie du sol

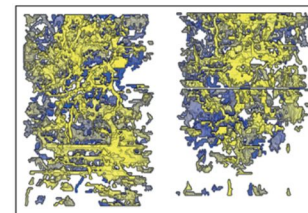
Etudes ponctuelles

* Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cd^+ , Cu^{2+} , Ni, Zn, Cr

** Traitements DVB et témoin uniquement

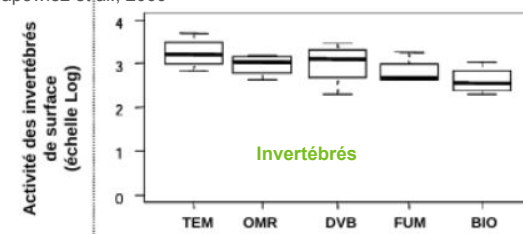
Etude des effets des apports de composts sur une diversité d'organismes

<u>Organismes</u>	<u>Nombre de publications</u>	<u>Période d'étude</u>
<i>Macrofaune</i>	Vers de terre : 4 Invertébrés : 2	2009 - 2015 2013 - 2014
<i>Méso/Microfaune</i>	Nématodes : 1	2018
<i>Microorganismes</i>	5	2009 2016 - 2019
<i>Approche globale</i>	1 thèse sur la qualité des sols Synthèse des différents résultats	2016 Autour de 2015



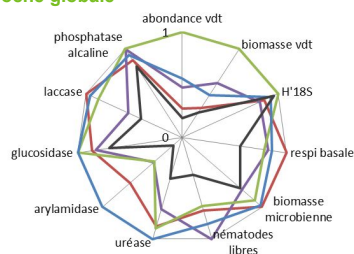
Vers de terre

Capowiez et al., 2009

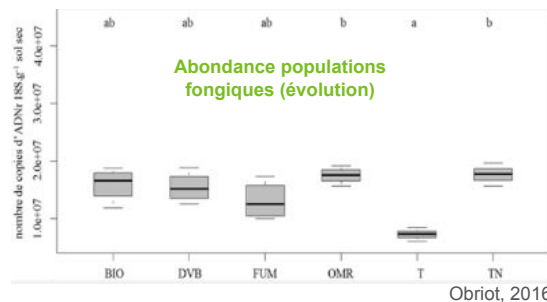


Hedde et al., 2013

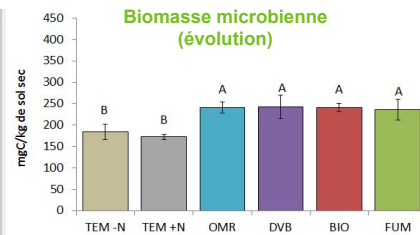
Approche globale



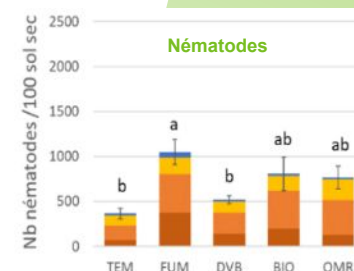
INRAE, 2024



Obriot, 2016

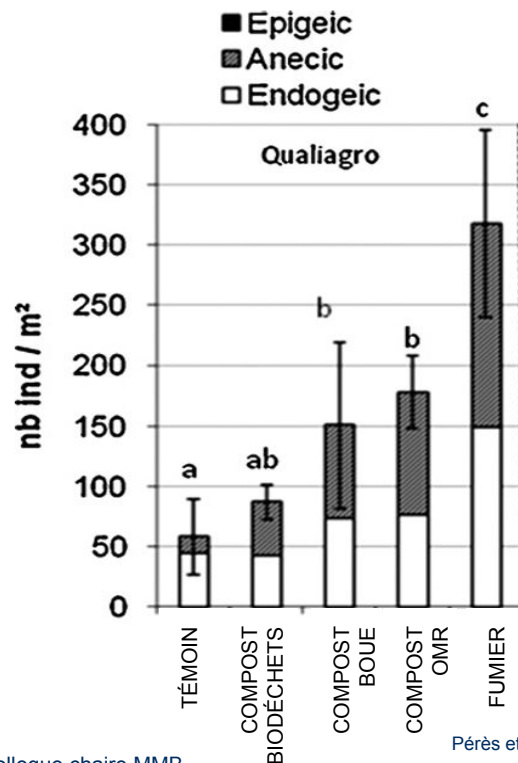


Obriot, 2016

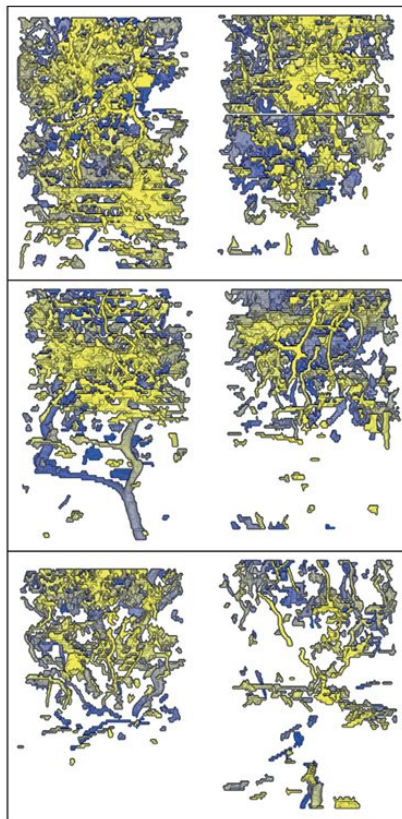


D'après Chauvin et Villenave, 2021 QualiAgro

Impact des pratiques de fertilisation sur les vers de terre



Pérès et al., 2011



Compost d'ordures ménagères triées (OMR)

Compost de boues de station d'épuration (DVB)

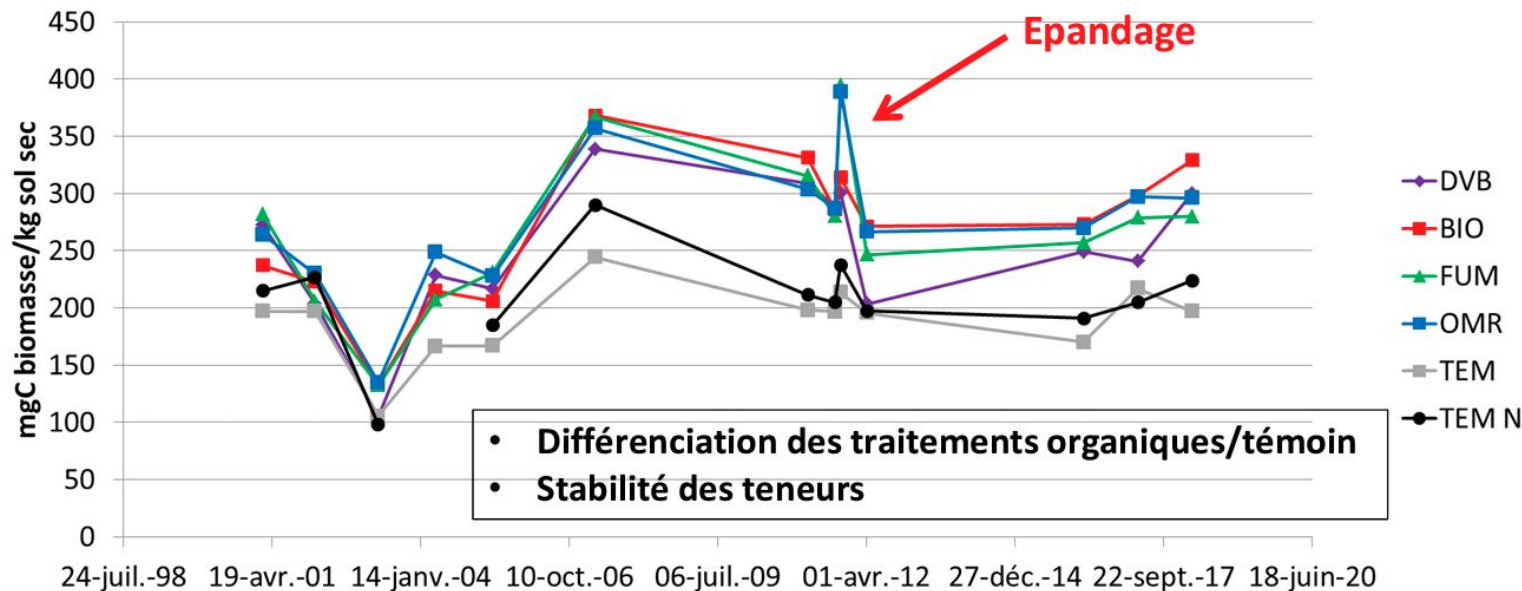
Témoin (TEM)

Reconstructions 3D de la macroporosité d'origine lombricienne, 2006

Capowiez et al., 2009

- Augmentation de l'abondance lombricienne après les apports de DVB, OMR et FUM
- Augmentation de l'activité des vers de terre après apport de DVB et OMR

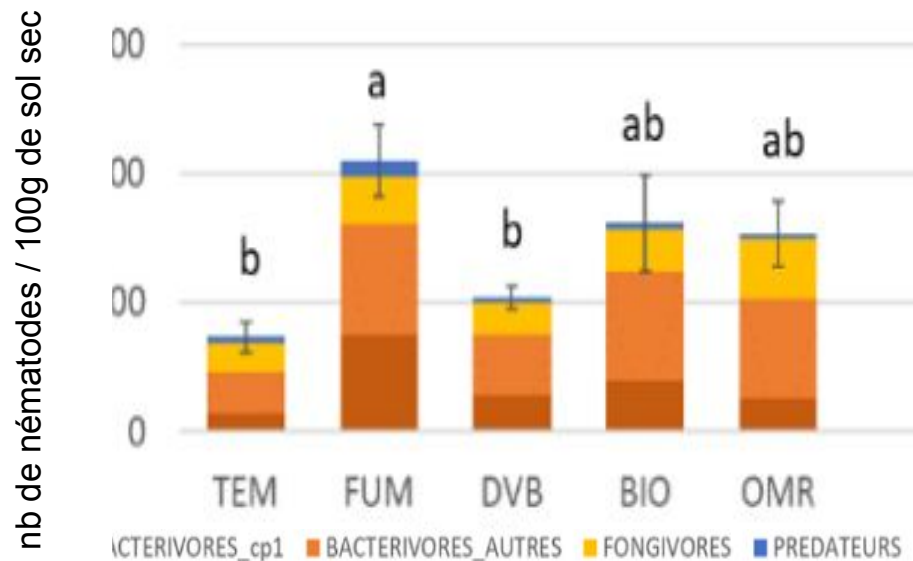
Impact des pratiques de fertilisation sur la biomasse microbienne



- **Augmentation de la biomasse microbienne avec apport de PRO**
- **Sensibilité des analyses aux conditions du milieu** : il faut étudier les microorganismes dans le temps et non lors de mesures ponctuelles

Impact des pratiques de fertilisation sur les nématodes

Abondance des nématodes libres



- Différence statistique seulement pour le fumier mais **tendance à la hausse de l'abondance des nématodes pour l'ensemble des traitements**
- **Augmentation des abondances de nématodes bactérivores et fongivores**, liés aux fonctions de transformation du carbone et de minéralisation des nutriments

D'après Chauvin et Villenave, 2021

**Proposer aux agriculteurs de
suivre la biodiversité de leurs
sols : démarche en cours chez
VEOLIA Agriculture France**

Proposer aux agriculteurs de suivre la biodiversité de leurs sols : démarche en cours chez VEOLIA Agriculture France

→ Les étapes de la construction de la démarche



Etat de l'art sur les connaissances scientifiques existantes au sujet de la biodiversité de sols agricoles

Recherche d'une méthode ou d'une combinaison de méthodes "opérationnelles" d'étude de la biodiversité des sols en agriculture



Critères :

- Simplicité de mise en oeuvre
- Sensibilité aux différentes pratiques des agriculteurs et notamment aux apports de matières organiques
- Coût acceptable
- Résultats suffisamment faciles à présenter pour être la base d'un échange avec les agriculteurs



7 solutions identifiées et analysées

- Analyses des bactéries et champignons du sol par techniques génomiques (Genoscreen, Argaly, Novasol, Biome Makers)
- Analyses des bactéries, champignons et protistes du sol par cytométrie de flux - Différenciation cellules vivantes, actives et mortes (TerraMea)
- Des solutions associant une multiplicité d'indicateurs : analyses agronomiques et environnementales de terre, caractérisation du carbone du sol, comptage de la macro et mésofaune, analyses génomiques des bactéries et champignons, relevé des pratiques agricoles (Genesis, AgroEcoSol)

GenoScreen
Innovative Genomics

novasol
Décryptons la biodiversité de vos sols

GENESIS BIOME MAKERS

AGRO-ECO SOL

TERRAMEA
VIE DES SOLS & AGRO-ÉCOLOGIE

Argaly

VEOLIA

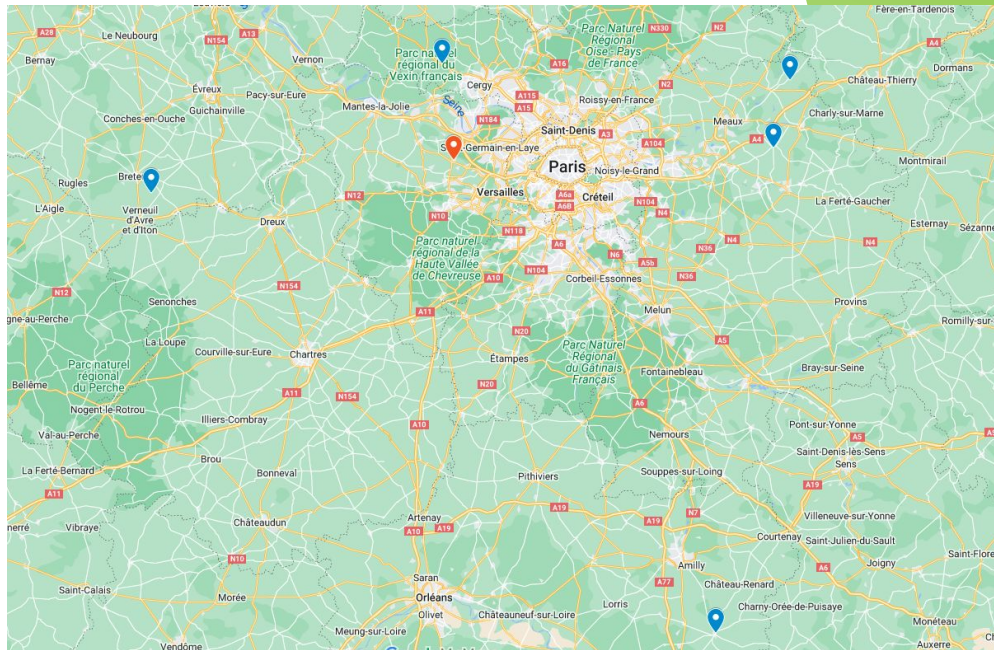
Proposer aux agriculteurs de suivre la biodiversité de leurs sols : démarche en cours chez VEOLIA Agriculture France

→ Test de la solution retenue :



Deux dispositifs mobilisés :

- Qualiagro : Mesures sur les modalités témoin, fumier, boues compostées, boues compostées sur cultures avec légumineuses, compost de biodéchets
- 5 parcelles agricoles : Mesures dans des bandes avec et sans apports de boues au sein d'une même parcelle en variant l'historique du nombre d'apports (de 2 à 6)



Proposer aux agriculteurs de suivre la biodiversité de leurs sols : démarche en cours chez VEOLIA Agriculture France

→ Zoom sur l'étude réalisée



Un vaste panel d'analyses réalisées grâce à l'outil AgroEcoSol :

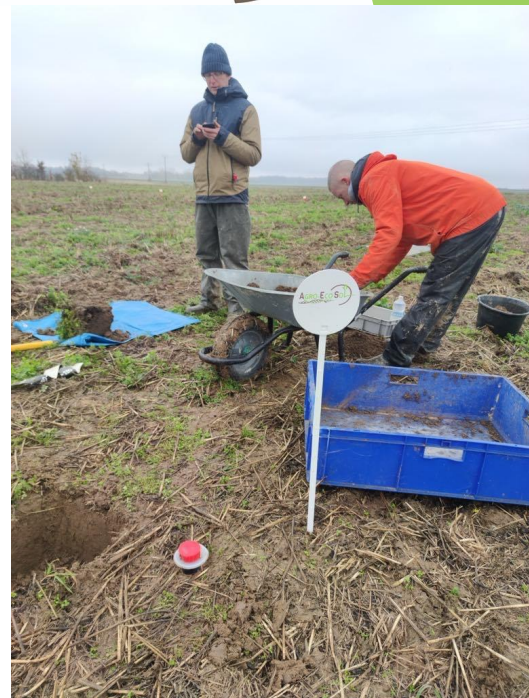
- Paramètres physico-chimiques classiques
- Structure du sol
- Carbone (matière organique, carbone oxydable ...)
- Biodisponibilité des éléments nutritifs
- **Biodiversité du sol**
 - Abondance et identification des microarthropodes, des vers de terre, des carabidés et des nématodes
 - Biomasse microbienne (quantification et caractérisation des bactéries et champignons du sol)
 - Analyses des activités enzymatiques du sol

RÉFLEXION EN COURS



Concevoir une offre d'analyses simplifiée

Sélectionner les "bons" indicateurs : compréhensibles et importants pour les agriculteurs





Merci de votre attention !

SEDE devient Veolia Agriculture France



