



**HAL**  
open science

## Les études scientifiques menées pour comprendre, améliorer le sol et augmenter son rendement malgré un contexte environnemental actuel défavorable.

Fanny Collin, Mélanie Lelievre

### ► To cite this version:

Fanny Collin, Mélanie Lelievre. Les études scientifiques menées pour comprendre, améliorer le sol et augmenter son rendement malgré un contexte environnemental actuel défavorable.. [Rapport de recherche] INRAE. 2022. hal-03810028

**HAL Id: hal-03810028**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03810028>**

Submitted on 11 Oct 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Les études scientifiques menées pour comprendre, améliorer le sol et augmenter son rendement malgré un contexte environnemental actuel défavorable.



**Fanny COLLIN**



**Etudiante en Licence Professionnelle CTCBM**  
IUT Génie Biologique de Dijon  
Université de Bourgogne Franche-Comté



**Maître d'apprentissage : Mélanie LELIEVRE**  
Plateforme GenoSol  
UMR 1347 AgroEcologie

Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement  
17 Rue Sully – 21065 Dijon Cedex

# Table des matières

Lexique .....	
Glossaire.....	
Introduction .....	1
I/ Le sol, matrice complexe et vivante impactée par les changements environnants ....	1
1) Généralités sur la biologie du sol .....	1
2) Les paramètres naturels agissant sur la diversité biologique du sol .....	2
3) L'impact de l'Homme et de ses pratiques sur le sol et sa faune.....	3
II/ Les techniques et approches utilisées pour l'étude des sols dans le monde .....	3
1) Etude structurale du sol .....	4
a. Approches pédologiques et paramètres physiques .....	4
b. Mesures chimiques et biochimiques au sein du sol .....	4
c. Analyse de la faune tellurique à l'échelle macroscopique.....	4
2) Les mesures biologiques sur la vie du sol à l'échelle microscopique .....	5
a. La microbiologie pasteurienne au service de l'étude des sols .....	5
b. Analyses de biologie moléculaire : de la génomique à la transcriptomique .....	5
c. Les mesures liées à la protéomique .....	6
Conclusion, impact de la pollution microplastique, mise en place du projet Biomaleg .....	6
Références bibliographiques.....	7

## Lexique

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

BMM : Biomasse Moléculaire Microbienne

C : Carbone

CEC : Capacité d'Echange Cationique

DTT : Dithiothréitol

Fish : Fluorescent In situ Hybridization (hybridation fluorescente in situ)

K : Potassium

MIAME : Minimum Information About a Microarray Experiment

MIAPE : Minimum Information About Proteomics Experiment

N : Azote

P : Phosphore

PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria (rhizobactéries favorisant la croissance des plantes)

pH : potentiel Hydrogène

PLEL : PhosphoLipid EtherLipid (lipides éther phospholipidiques)

PLFA : PhosphoLipid-derived Fatty Acids (acides gras phospholipidiques)

qPCR : réaction de polymérisation en chaîne quantitative (en temps réel)

Rapport C/N : Rapport Carbone / Azote

RMQS : Réseau de Mesure de la Qualité des Sols

SDS : Sodium Dodecyl Sulfate

SDS-PAGE : électrophorèse en gel de polyacrylamide avec du sodium dodecyl sulfate

Séquençage NGS : Next-Generation Sequencing (séquençage à haut-débit)

T-RFLP : Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism (polymorphisme de longueur des fragments de restriction terminaux)

Tris-HCl : Tris hydrochloride = 2-amino-2-hydroxyméthylpropane-1,3-diol hydrochloride

## Glossaire

Humus : couche supérieure du sol alimentée par la décomposition de la matière organique notamment par l'intervention des animaux et microorganismes.

Métagénomique : étude du génome des microorganismes de l'échantillon, du microbiome sans distinction d'espèces (bactéries, virus, champignons...).

Méta-protéomique : étude permettant l'identification et la quantification des protéines d'un échantillon.

Méta-transcriptome : ensemble des gènes et des fonctions exprimées par les différents microorganismes de l'échantillon.

Mycorhizien : Champignon capable de fonctionner en symbiose avec les racines des plantes pour obtenir des sucres et composés carbonés donnés par la plante tandis que celui-ci permet la minéralisation de composés organiques au profit de la plante.

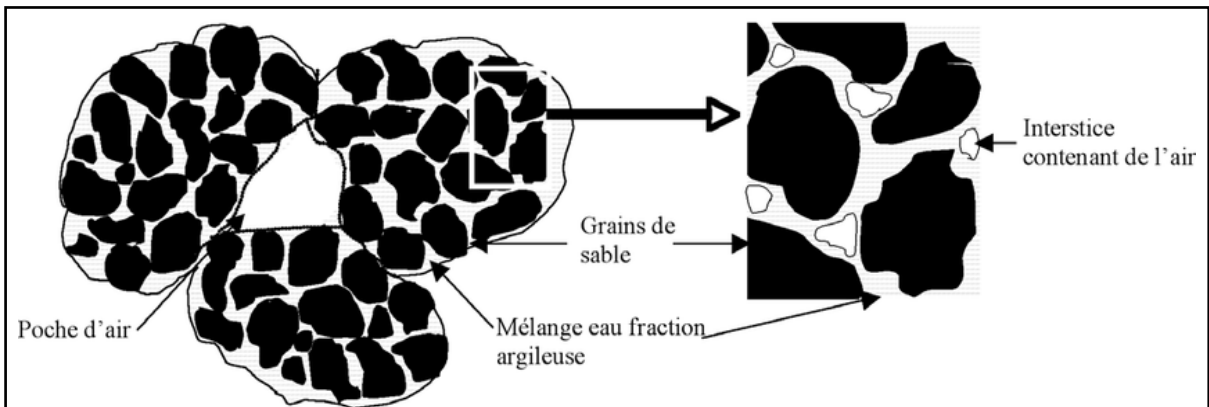
Résistivité : propriété d'un milieu (sol) à résister au passage du courant électrique.

Saprophyte : Organisme fongique qui a pour but de décomposer la matière organique issue des êtres vivants, pour se nourrir de certains produits de dégradation.

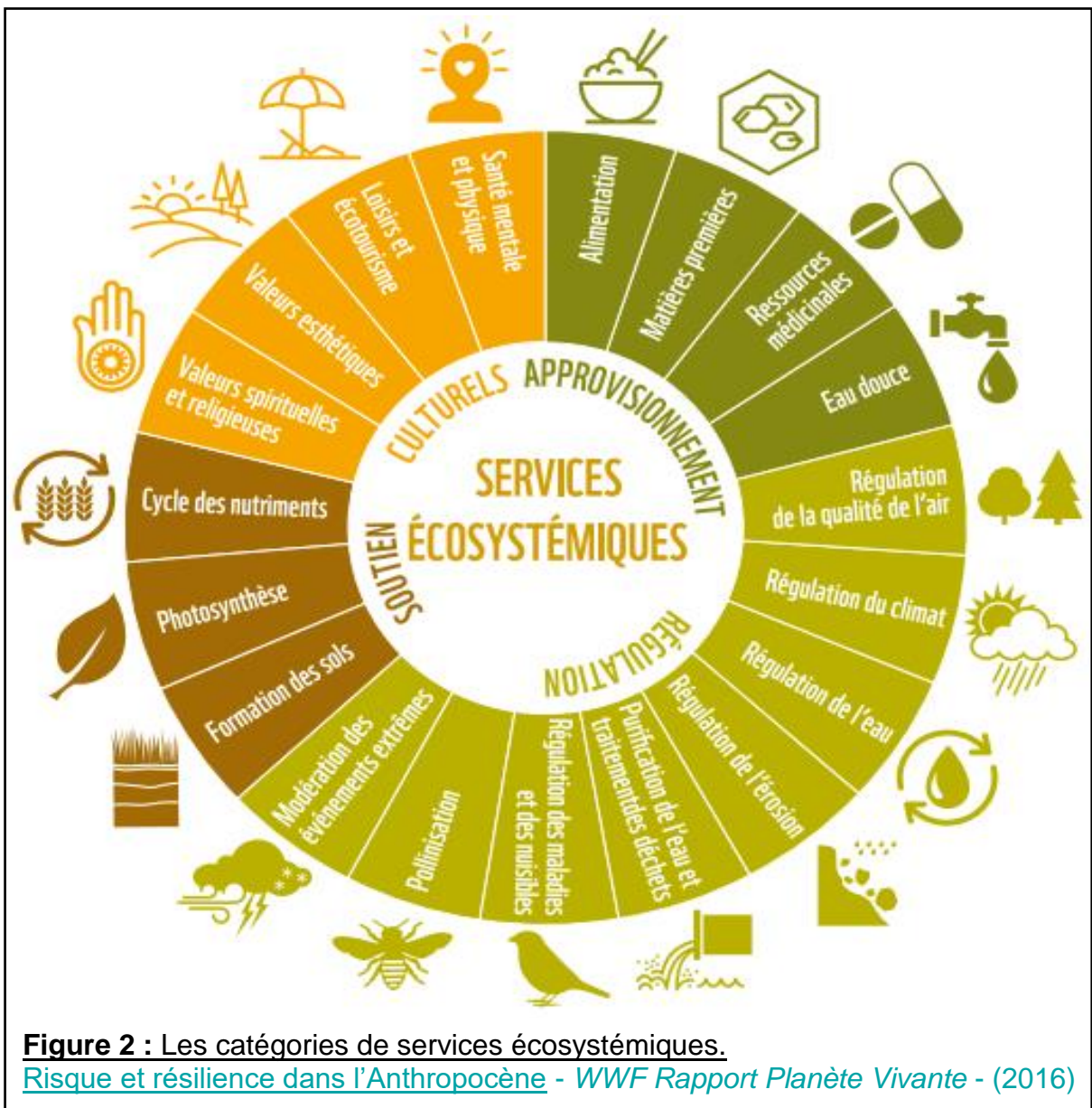
Stress abiotique : conditions non optimales ralentissant la croissance des plantes suite à des paramètres extérieurs comme la sécheresse, la salinité, les carences en minéraux ou la présence de produits phytosanitaires.

Stress biotique : atteinte à la croissance et la santé des végétaux résultant de l'action d'un ou plusieurs organismes vivants néfaste tel qu'un organisme pathogène.

Turricules : excréments rejetés par les vers.



**Figure 1 :** Schéma représentant la structure simplifiée d'un sol avec les interactions des trois phases : solide, liquide et gazeuse.  
 Morel et al. - [Performances mécanique de l'adobe](#) - Editions de l'Espérou - (2009)



**Figure 2 :** Les catégories de services écosystémiques.  
 Risque et résilience dans l'Anthropocène - [WWF Rapport Planète Vivante](#) - (2016)

## Introduction

Le sol recouvre la croûte terrestre d'une fine couche allant de quelques centimètres à plusieurs mètres suivant la géolocalisation. Situé à l'interface entre l'atmosphère et la lithosphère ; suite à l'altération de celle-ci par l'eau, l'air, la température et la vie biologique ; le sol se divise en trois phases (Karimi et al., 2018) :

- Une phase solide, 50%, composée d'une fraction minérale (95-99%) et d'une fraction organique. La partie minérale contient les produits de dégradation de la lithosphère : cailloux, sable, limon et argile. La partie organique est issue de la décomposition de végétaux/cadavres, déjections et de matière organique vivante.
- Une phase liquide composée d'eau et de substances solubles naturelles (ions, acides organiques, matière organique complexe) ou issues des activités humaines (nitrates de synthèse, dérivés du pétrole) et de particules d'argile en suspension.
- Une phase gazeuse constituée d'air atmosphérique ainsi que des gaz émis par l'activité biologique du sol et la décomposition : CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>.

Ses trois phases (Fig.1) sont en interaction continue via des pores de rétention et circulation de l'eau et des gaz. Des sols riches en argile et limon, de texture fine avec des micropores, permettent une forte rétention d'eau tandis que des sols grossiers, sableux, ont des macropores laissant circuler l'eau et les gaz plus facilement.

Le sol est une matrice essentielle qui est le point de départ des cultures humaines et de l'agriculture. Ses rôles vitaux participent aux services écosystémiques (Fig.2) dont l'approvisionnement en apportant des éléments nutritifs à l'agriculture (Maron, 2018). C'est la source principale de matières premières pour l'industrie dont le bois et le pétrole. Le sol sert de réservoir tampon contre les inondations, de filtre d'eau de pluie stockée dans ses nappes phréatiques participant aux services d'approvisionnement et de régulation. Il s'agit aussi d'une zone de stockage du carbone et de l'azote. Il intervient dans la régulation, par des échanges d'éléments entre l'air, l'eau, la terre et la régulation des flux. Il héberge des végétaux réalisant la photosynthèse, il participe au service de soutien et de régulation de l'air. En outre, il participe au service écosystémique culturel via les vestiges du passé, fossiles. Enfin, il assure la production de biomasse et le développement de la biodiversité dont la plus grande source de diversité notamment microbienne avec des milliards de microorganismes par gramme de sol (Ranjard et al., 2010). Ils permettent la régulation du cycle du carbone (C), de l'azote (N) et dégradent de petites quantités de polluants : dérivés de pétrole ou pesticides. La diversité biologique agit comme activateur, catalyseur augmentant le rendement agricole. Sont définis trois genres de faune du sol (Lavelle et al., 2001) :

- La macrofaune, organismes avec une taille supérieure à 2 mm (comprenant la mégafaune) : insectes, arachnides, myriapodes, mollusques et lombricidés.
- La mésofaune, organismes avec une taille comprise entre 0,1 et 2 mm : acariens, collemboles, protozoaires, diploures, symphiles et enchytréides.
- La microfaune, organismes avec une taille inférieure à 0,1 mm (comprenant la microflore) : nématodes, protozoaires, rotifères, bactéries et micromycètes.

## I/ Le sol, matrice complexe et vivante impactée par les changements environnementaux

### 1) Généralités sur la biologie du sol

La macrofaune, avec notamment les lombrics, ingénieurs de l'écosystème du sol qui enfouissent la matière organique et forment des galeries et turricules, peut agir sur la qualité du sol (Chaussod, 1996) par des phénomènes physiques du sol, chimiques (cycles C et N) ou biologiques (Capowiez., 2009). En effet, ces vers permettent la

dégradation des gros composés et forment un réseau de galeries permettant l'aération du sol, l'interaction des phases et la structure. La microfaune sera plus présente au niveau des galeries avec des conditions idéales, permettant la dégradation des petits composés organiques en minéraux accessible aux racines des végétaux. Enfin, certaines espèces de vertébrés peu étudiées jouent un rôle dans la diversité du sol (Hättenschwiler et al., 2018). Toutefois, la biodiversité du sol la plus importante concerne la microfaune avec les bactéries, champignons et microalgues.

Les champignons, saprophytes et mycorhiziens, participent à des fonctions biologiques du sol : minéralisation de la matière organique, structure du sol, dépollution et régulation des pathogènes ; ainsi qu'à des fonctions écosystémiques comme la production végétale, le stockage du carbone, la circulation de l'eau et forme un support de construction (Karimi et al., 2018). Les saprophytes, moins abondants, sont l'un des premiers dégradeurs de la matière organique, par décomposition en matière minérale renouvelant ainsi l'humus. Les mycorhiziens quant à eux s'associent avec les systèmes racinaires, appelés rhizosphères bénéficiant ainsi des sucres photo-synthétisés par la plante, qui elle profite du vaste réseau d'hyphes pour l'assimilation de l'eau et des minéraux. En plus de la croissance végétale, ils permettent la survie des plantes, sont bénéfiques pour la biodiversité, la microflore du sol et réduisent les stress biotiques et abiotiques (Dalpé., 2005). Les deux jouent un rôle dans le maintien de la microstructure des sols, sa stabilité, la circulation d'éléments minéraux et organiques. La proportion de chaque phylum dépend du sol et des conditions. Parmi les saprophytes, sont souvent retrouvés *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mortierella* ; pour les pathogènes, il s'agit de *Fusarium* (Karimi et al., 2018).

Les bactéries du sol dégradent principalement les petites molécules, deux sous-types sont distingués : les rhizobactéries et les pathogènes. Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sont en symbiose avec les racines (Bhattacharyya et al., 2011). Les bactéries pathogènes quant à elles sont responsables de maladie chez les organismes pouvant conduire à une infection ou détérioration de celui-ci. Elles sont donc néfastes pour les organismes sensibles malgré la minéralisation des nutriments organiques dans les sols. Les différentes familles de bactéries varient en fonction des sols et des conditions environnantes. Les principaux phyla présents sont les Bactéroidetes, Proteobacteria, Actinobacteria, Planctomycetes, Acidobacteria (Karimi et al., 2018).

Enfin, les microalgues, moins présentes dans les sols que les bactéries, semblent constituer une source de carbone organique favorisant aussi la biodiversité d'un sol. En effet, celles-ci permettraient de fixer le carbone atmosphérique (CO<sub>2</sub>) par photosynthèse (Jassey et al., 2022). Il est important de souligner que pour la plupart de ses phyla microbiens, il existe souvent une coopération intra-espèces ainsi qu'une interaction inter-espèces, bactéries-champignons, pour des familles agonistes.

## 2) Les paramètres naturels agissant sur la diversité biologique du sol

Les scientifiques ont remarqué que ce système de vie du sol est fortement perturbé par l'environnement d'autant plus avec le réchauffement climatique. Des études montrent que les caractéristiques physico-chimiques d'un sol, comme la texture, le rapport C/N et surtout le pH, influencent la biodiversité (Chaussod, 1996 ; Terrat et al., 2018). Effectivement, ses communautés essentielles sont impactées par l'évolution du sol en subissant les stress environnementaux, la sécheresse ou encore l'acidification du sol. Des sols alcalins de texture grossière et un faible rapport C/N sembleraient être les plus aptes à fournir une grande diversité bactérienne, à l'inverse, un sol à texture fine, riche en carbone organique et un pH alcalin offre un grand habitat mais très peu

diversifié (Terrat et al., 2018). En effet, le pH et le carbone organique dans le sol agissent grandement sur la diversité des vers de terre (Phillips et al., 2019) ainsi que sur les microorganismes telluriques. Un sol avec un pH acide favorisera la survie des microorganismes acidophiles au détriment des populations sensibles à cette acidité, à l'inverse, un sol alcalin permet la survie de microorganismes alcalophiles. Par exemple, un sol de forêt, alcalin, riche en phosphore permet la stimulation des Bacteroidetes ; un sol acide riche en potassium et en matières organiques récalcitrantes, pauvre en phosphore favorise les Acidobacteria (Karimi et al., 2018).

### 3) L'impact de l'Homme et de ses pratiques sur le sol et sa faune

Afin de remplir ses fonctions, un sol se doit d'être de bonne qualité, toutefois, en plus des facteurs environnementaux, d'autres paramètres peuvent faire varier cette qualité (Nortcliff, 2002). En effet, trois grandes causes majeures peuvent conduire à une perte de la qualité d'un sol (Pierzynski et al., 1994) :

- Des concentrations de contaminants inacceptables conduisant à une certaine pollution du sol (métaux lourds, plastiques, produits chimiques, radioactivité).
- Limites de fonctions du sol par l'acidification, la salinisation, le compactage, l'érosion à cause des activités humaines.
- Le sol peut aussi être une source de contaminants suite au lessivage ou aux pertes par ruissellement de solutés, de matières en suspension, de particules.

Ainsi, la mondialisation, la pollution, l'agriculture impactent fortement la vie tellurique ainsi que la qualité du sol. Labourer un sol permet une circulation des minéraux et des gaz et une oxygénation de la terre, toutefois cela détruit les réseaux formés par les microorganismes et nuit à la vie macroscopique du sol dont les lombriciens (Chaussod, 1996). Les pesticides ayant pour but la lutte contre les nuisibles grâce à une action biocide vont détruire une partie de la flore et les pollinisateurs. Les herbicides eux détruisent les microalgues affaiblissant la biodiversité du sol. Par ailleurs, l'industrie et la consommation humaine conduisent à une surproduction de déchets comme les plastiques participant activement à la pollution. C'est le cas de la pollution micro-plastique touchant l'eau, l'air et la terre suite aux nombreux déchets tels que les bouteilles, emballages, film de paillage. Ainsi, plusieurs scientifiques se penchent sur les pollutions en étudiant les impacts physico-chimiques et biologiques sur l'environnement terrestre, maritime ou atmosphérique et cherchent des solutions pour limiter les effets de la pollution. Toutefois, des apports de matière organique et de fertilisants minéraux augmentent drastiquement la biomasse microbienne du sol et par conséquent la qualité du sol (Chaussod, 1996).

Il est donc d'un grand intérêt d'étudier les sols, de comprendre leur fonctionnement et de connaître plus amplement la vie biologique afin de pallier à ses problèmes de mondialisation et de perte de la qualité du sol. Cette étude se fait par différentes analyses comparant les indicateurs de qualité d'un sol dans plusieurs instituts.

## **II/ Les techniques et approches utilisées pour l'étude des sols dans le monde**

A l'heure actuelle, il existe une immensité de techniques et approches permettant d'étudier les sols, au niveau de leurs fonctionnements mais aussi pour déterminer leur qualité. En effet, ces techniques vont de la structure jusqu'à la biologie en passant par des mesures biochimiques, physico-chimiques, ou encore des mesures de fonctions via des expériences in-vivo et in-vitro en lien avec la plante. En raison des vastes possibilités d'études des sols, nous nous restreignons volontairement à quelques domaines puisque certaines mesures et approches ne pourront pas être abordées en dépit de leur importance.



## 1) Etude structurale du sol

### a. Approches pédologiques et paramètres physiques

Plusieurs indicateurs visuels permettent d'évaluer un sol ils sont faciles à mettre en place avec par exemple la visualisation de preuves d'érosion avec des rigoles, flaques d'eau, le ruissellement ou encore l'évaluation de la croissance des végétaux. Ces attributs visuels sont souvent ceux qui sensibilisent et alarme les populations vis-à-vis des changements de vertu du sol (Nortcliff, 2002). Toutefois, ces facteurs visuels ne permettent pas de quantifier la qualité du sol, ils sont dépendants de l'observateur, il ne s'agit donc pas de méthodes reproductibles mais qui peuvent donner des a priori.

Des paramètres physiques peuvent être étudiés dont l'arrangement des particules et des pores via l'étude de la texture, la porosité, la densité apparente sèche, la résistance du sol ou encore son compactage (Nortcliff, 2002). Le type de sol a une grande influence sur sa flore, il est donc important de réaliser des analyses granulométriques de texture du sol (Piper, 2019). Une tourbe contiendra une densité microbienne des plus importantes. Ainsi, plus la diversité est forte, plus la qualité sera élevée, le sol pourra remplir au mieux ses fonctions. Des analyses pédologiques directement avec le toucher sont faites. Les grains de sables sont rugueux contrairement au limon qui est doux, pailleté et ne colle pas à la peau tandis que l'argile est très collante et conserve les traces d'empreintes digitales (Gobat et al., 2010). Un sol sableux forme un boudin friable qui s'effrite ; un sol limoneux donne un boudin facilement cassable entre les doigts en le courbant tandis qu'un sol argileux forme un boudin malléable et résistant lorsqu'il est courbé. D'autres mesures comme la porosité et l'hygrométrie indiquant respectivement la capacité de rétention d'eau et l'humidité peuvent être réalisées. Parfois, certains scientifiques évaluent la résistivité du sol, sa conductivité mais cela nécessite du matériel adapté (Nortcliff, 2002).

### b. Mesures chimiques et biochimiques au sein du sol

Des attributs chimiques sont souvent mesurés pour étudier les sols notamment la mesure du pH et le rapport C/N (Terrat et al., 2018) via l'utilisation respective d'une sonde de pH et des dosages. En complément, la Capacité d'Echange Cationique (CEC) sert d'indicateur de la capacité de rétention des éléments nutritifs, la quantité de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH fixé renseigne la fertilité de l'échantillon (Nortcliff, 2002). A cela s'ajoutent la salinité et les dosages d'éléments minéraux comme le calcaire, les dosages en azote (N), carbone (C), phosphore (P), potassium (K) et éventuellement de métaux lourds toxiques au-delà d'un certain seuil (Karimi et al., 2018).

En plus de ses tests chimiques, des mesures biochimiques et macro-biologiques peuvent être réalisées (Chaussod, 1996) permettant respectivement de quantifier l'activité enzymatique du sol reflétant les activités biologiques et les cycles du carbone et de l'azote servant d'indicateur de fertilisation du sol. Nous pouvons observer l'abondance, la diversité d'espèces vivantes par des tests qui montrent les activités hydrolases, oxydoréductases, transférases, lyases (Chaussod, 1996). Enfin, toujours dans le domaine des mesures biochimiques, il est possible d'effectuer de la respirométrie servant aussi d'indicateur sur l'activité respiratoire dans le sol et donc de la vie au sein du sol (Bispo et al., 2018).

### c. Analyse de la faune tellurique à l'échelle macroscopique

Il est très facile d'étudier la faune macroscopique des sols puisqu'elle ne nécessite pas de matériel très coûteux. En effet, il est possible de recenser la méga/macro-faune

avec les taupes, les lombrics, les insectes... (Bispo et al., 2018). Pour collecter ces macroorganismes, différentes solutions sont utilisées : un tri manuel pour les plus gros, des pièges ou encore des extractants chimiques (formol, moutarde) pour les acariens et nématodes. Certains individus peuvent être envoyés dans des observatoires spécialisés pour identifier les différents phyla sur des critères morphologiques (Bispo et al., 2018). Cette technique peut être adaptée pour la mésofaune mais elle nécessite l'utilisation d'une loupe binoculaire ou d'un microscope. Ainsi, plus la quantité, mais surtout plus la diversité mesurée est importante et plus le sol sera de bonne qualité.

## 2) Les mesures biologiques sur la vie du sol à l'échelle microscopique

### a. La microbiologie pasteurienne au service de l'étude des sols

Le dénombrement de la microflore tellurique via les méthodes pasteuriennes est réalisé depuis de nombreuses années. C'est une technique simple et peu coûteuse qui possède l'avantage de pouvoir récupérer les colonies des microorganismes qui ont cultivés sur le milieu afin de réaliser différents tests d'identification (galerie API) et d'étude de leurs fonctions. En revanche, cette technique peu coûteuse ne permet de cultiver qu'une faible partie de la flore tellurique puisque seulement 1% des microorganismes du sol sont cultivables sur des milieux synthétiques (Terrat et al., 2018 ; Thilagavathi et al., 2021). Par ailleurs, ces milieux doivent être variés pour permettre la culture des différents microorganismes, de plus les champignons sont cultivés à 30°C alors que les bactéries le sont à 37°C. Cela montre la complexité de l'étude de la flore tellurique totale et la limite de cette technique. A cela s'ajoute les observations à l'aide de loupe binoculaires, microscopes optiques (Bispo et al., 2018) ou bien de microscopes offrant des images avec un grossissement plus important, une meilleure netteté comme la microscopie électronique à transmission ou à balayage.

### b. Analyses de biologie moléculaire : de la génomique à la transcriptomique

Il a été prouvé que la diversité de la faune tellurique impacte la qualité du sol qui les héberge, mais en est dépendant pour fonctionner, c'est le principal bioindicateur de qualité du sol. En effet, l'activité microbienne au sein du sol est de plus en plus étudiée par biologie moléculaire au niveau génomique et fonctionnel (Nortcliff, 2002). Pour l'étude génomique, il faut réaliser une extraction-purification d'ADN pour lesquelles il existe des kits et des protocoles normalisés ISO 11063 (Petric et al., 2011). La mesure de la Biomasse Moléculaire Microbienne permet d'estimer la quantité totale de microorganismes, de connaître l'état biologique et évaluer différentes conditions par migration des ADN en gel (Karimi et al., 2018). En général, deux techniques de caractérisation des sols sont effectuées à partir des échantillons d'ADN purifiés quantifiés. La première étudie la densité microbienne du sol par qPCR de gènes cibles, polymorphes et reproductibles (Sommerman et al., 2018). L'autre technique consiste à étudier la diversité par métagénomique avec la présence et l'identification des phyla reliés aux fonctions assurées dans le sol. Cette étude taxonomique se fait par la création d'une banque d'ADN génomique suivie d'un séquençage (Karimi et al., 2018).

Ces techniques basées sur l'ADN, peuvent être remplacées par des puces, moins coûteuse mais limitées au génome séquencé ou encore la technique Fish (Ranjard et al., 2017). D'autres techniques plus rapides et moins coûteuses comme la PLFA ou la PLEL donnent une mesure quantitative de la biomasse viable (Philippot et al., 2012) et les profils complexes des microorganismes avec le ratio champignons/bactéries (Frostgård et al., 1996). Le T-RFLP, remplacé par la qPCR, a permis d'identifier des phyla microbiens grâce aux empreintes communautaires (Wessén et al., 2011).

Aujourd'hui, de nouvelles recherches se portent sur le génome fonctionnel à partir du méta-transcriptome : extraction, purification, dosage des ARN, analyses moléculaires telles que la RT-qPCR ou bien des PCR préparatives au séquençage (Wessén et al., 2011 ; Philippot et al., 2012) ou le MIAME (Taylor et al., 2007).

### c. Les mesures liées à la protéomique

Enfin, l'approche méta-protéomique permet d'étudier les protéines et les métabolites exprimées via des dosages de protéines évaluant la fonctionnalité réelle des organismes (Maron et al., 2007), la chromatographie ou encore le MIAPE (Taylor et al., 2007). Pour cela, il faut dans un premier temps réaliser une extraction des protéines via l'utilisation de tampon contenant par exemple du SDS, du Tris-HCl, du DTT, du citrate ou bien par une extraction phénolique et de l'acétate de potassium (Wang et al., 2011). Ensuite, des analyses sont faites telles que le Western Blot permettant de détecter et d'identifier des protéines spécifiques grâce à une révélation immunochimique, via des anticorps spécifiques marqués, sur une membrane où un gel de séparation électrophorétique dénaturant (SDS-PAGE) a été préalablement transféré (Wang et al., 2011).

## **Conclusion, impact de la pollution microplastique, mise en place du projet Biomaleg**

Au vu de l'importance du sol et de la vie biologique, les scientifiques ont mis au point des méthodes d'analyses afin d'évaluer sa qualité, d'en apprendre plus sur cette matrice complexe et sur le fonctionnement des communautés qui y vivent. Pour étudier un sol, il faut combiner plusieurs techniques pour un regard global et comparer différents traitements, méthodes culturales ou conditions géo-climatiques. Toutes les données sont traitées et mises en relations par des analyses statistiques, mathématiques et bio-informatiques. A l'heure actuelle, il existe des référentiels répertoriant l'ensemble des données tel que le RMQS, avec plus de 2000 sites échantillonnés tous les 15 ans (Terrat et al., 2018). Par ailleurs, les effets de la mondialisation impactent les vertus du sol qui devient moins productif et limité notamment à cause de la pollution. En effet, plusieurs études axées sur la pollution plastique ont montré les conséquences notamment sur l'eau et la vie marine. Toutefois, les plastiques et micro-plastiques sont souvent présents dans les sols suite à la forte utilisation de films de paillage plastiques dans l'agriculture servant notamment à remplacer les herbicides pour éliminer les herbes concurrentes aux cultures, il devient donc primordial d'étudier l'effet de la pollution plastique dans les sols. C'est ainsi que la Chambre d'Agriculture de Bretagne, la plateforme GenoSol et l'institut de Recherche Dupuy de Lôme se sont lancés dans un projet d'étude de l'impact des produits de dégradation des films plastiques sur les communautés telluriques, nommé BIOMALEG, dont les analyses par biologie moléculaire constituent mon projet d'alternance. L'objectif est d'étudier la variation des communautés microbiennes du sol par rapport à différents apports de films de paillage biodégradables et de connaître leur devenir dans les sols. Réaliser ce projet tuteuré m'a permis d'enrichir mes connaissances sur le sol, de découvrir des techniques et analyses qui n'ont pas été abordées durant toute ma scolarité ainsi que de me familiariser au mieux avec les objectifs de mon stage en me documentant et en échangeant avec les différentes personnes liées à mon projet. Cela m'a donc permis une totale appropriation du projet et une réelle insertion au sein de l'équipe.

## Références bibliographiques

- Bhattacharyya P N., Jha D K - Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) : emergence in agriculture - *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28.4 : 1327-1350 – (2011)
- Bispo A et al - Synthèse des outils, indicateurs, référentiels disponibles pour comprendre et piloter la biologie des sols - *Actes du colloque, Carrefour de l'innovation agronomique* - (2018)
- Capowiez Y - Macrofaune du sol : des « ingénieurs » de l'écosystème - *INRA Mensuel les Dossiers*, Janvier 2009 : 78-80 - (2009)
- Chaussod R - La qualité biologique des sols : évaluation et implications - *Etude de gestion des sols* - (1996)
- Dalpé Y - Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée - *Phytoprotection*, 86.1 : 53–59 - (2005)
- Frostegård A., Bååth E - The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil - *Biology and Fertility of Soils*, 22.1 : 59-65 - (1996)
- Gobat J M., Aragno M., Matthey W - Le sol vivant : les bases de pédologie, biologie des sols - *PPUR Presses polytechniques* - (2010)
- Hättenschwiler S., Barantal S., Ganault P., Gillespie L., Coq S - Quels enjeux associés à la biodiversité des sols ? - *Actes du colloque, Carrefour de l'innovation agronomique* - (2018)
- Jassey V et al - Contribution of soil algae to the global carbon cycle - *New Phytologist* - (2022)
- Karimi B et al - Atlas français des bactéries du sol - *Biotope éditions* - (2018)
- Lavelle P et al - Soil organisms (ch 3) - *Soil ecology, Kluwer Academics Publishers* - (2001)
- Maron P A - La diversité des communautés microbiennes, un levier pour piloter le fonctionnement biologique du sol (résumé) - *Actes du colloque, Carrefour de l'innovation agronomique* - (2018)
- Maron P A., Ranjard L., Mougél C., Lemanceau P - Metaproteomics : A New Approach for Studying Functional Microbial Ecology - *Microbial Ecology*, 53.3 : 486-493 - (2007)
- Nortcliff S - Standardisation of soil quality attributes - *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88.2 : 161-168 - (2002)
- Petric I et al - Interlaboratory evaluation of the ISO standard 11063 « Soil quality-Method to directly extract DNA from soil samples » - *Journal of microbiological methods*, 84.3 : 454-460 - (2011)
- Philippot L., Ritz K., Pandard P., Hallin S., Martin-Laurent F - Standardisation of methods in soil microbiology : progress and challenges - *FEMS Microbiology Ecology*, 82.1 : 1-10 - (2012)
- Phillips H R P et al - Global distribution of earthworm diversity - *Science*, 366 : 480-5 - (2019)
- Pierzynski G M et al - Soils and Environmental Quality - *Lewis Publishers* - (1994)
- Piper C S – Soil and Plant Analysis – *Scientific Publishers* – (2019)
- Ranjard L et al - Biogeography of soil microbial communities: review and description of the ongoing french national initiative - *Agronomy for Sustainable Development*, 359-365 - (2010)
- Ranjard L., Maron P A., Cuny P., d'Oiron Verame E - La microbiologie moléculaire au service du diagnostic environnemental - *ADEME* - (2017)
- Sommermann L et al - Fungal community profiles in agricultural soils of a long-term field trial under different tillage, fertilization and crop rotation conditions analyzed by high-throughput ITS-amplicon sequencing - *Plos one*, 13.4 - (2018)
- Taylor C F., Paton N W et al - The minimum information about a proteomics experiment (MIAPE) - *Nature Biotechnology*, 25.8 : 887-893 - (2007)
- Terrat S et al - La caractérisation des communautés microbiennes du sol à l'échelle de la France pour évaluer l'effet de l'usage des sols - *Actes du colloque, Carrefour de l'innovation agronomique* - (2018)
- Thilagavathi R et al - Bacterial community analysis on Sclerotium-suppressive soil - *Archives of Microbiology*, 203.7 : 4539-4548 - (2021)
- Wang HB et al - Characterization of metaproteomics in crop rhizospheric soil - *Proteome* - (2011)
- Wessén E., Hallin S - Abundance of archaeal and bacterial ammonia oxidizers - Possible bioindicator for soil monitoring - *Ecological Indicators*, 11.6 : 1696-1698 - (2011)