La biodiversité des sols

Auteurs :
VINCENT Quentin, Docteur en écotoxicologie et écologie des sols, Directeur Scientifique et Technique et co-fondateur de Sol & co. Vandoeuvre-Lès-Nancy.
AUCLERC Apolline, Maître de Conférences, Université de Lorraine /ENSAIA, Laboratoire Sols et Environnement, Vandoeuvre-Lès-Nancy.
LEYVAL Corinne, Directrice de Recherche au CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC UMR 7360 CNRS UL), Vandoeuvre-Lès-Nancy.

05-02-2023

Le

sol, un compartiment majeur des écosystèmes terrestres, représente un écosystème très particulier puisqu'il constitue un des réservoirs de biodiversité les plus importants de la planète. Bactéries, champignons, collemboles, insectes, myriapodes et bien d'autres organismes, vivent et interagissent dans le sol. Cette richesse biologique très hétérogène est à l'origine même du fonctionnement du sol et de tous les services écosystémiques qu'il rend à l'Homme, comme notre alimentation, notre espace de vie ou notre climat. Mieux le caractériser, mieux le comprendre, ne pourra que nous aider à mieux le gérer pour le sauvegarder et pérenniser le trésor qu'il constitue pour les futures générations.

1. Un réservoir de biodiversité

On a déjà tous retourné ou vu retourner du sol avec une bêche : on peut facilement distinguer la vie qui y réside, tout au moins la partie visible (les organismes les plus gros), qui n'est qu'une faible partie de la vie qu'héberge le sol. En effet, la plus grande partie de cette diversité d'organismes est invisible à nos yeux car microscopiques. Le sol est ainsi un des principaux réservoirs de **biodiversité**, puisqu'il héberge environ un quart de la biodiversité (diversité taxonomique) totale de la planète [1]. De plus, le nombre « d'espèces » est plusieurs fois supérieur à celles observées à sa surface. La biodiversité, contraction de « diversité biologique », fait référence à la variété du monde vivant. C'est la diversité de toutes les formes de vie animale, végétale et microscopique sur Terre, et de toutes les relations que les espèces (dont nous faisons partie) tissent entre elles et avec leur milieu.

Plusieurs groupes et une grande diversité d'organismes vivent dans le sol : insectes, mollusques, protozoaires, algues, bactéries, champignons, *etc.* Les sols présentent un niveau d'hétérogénéité très élevé, et un nombre extrêmement grand d'habitats, qui contribuent aussi à une biodiversité élevée, si le sol est en « bonne santé ». En effet, le niveau d'abondance et de diversité

biologique peut varier très largement d'un sol à l'autre, selon divers facteurs, dont la teneur en matière organique, la composition minérale du sol (la texture notamment), le pH et les pratiques de gestion du sol. Cette biodiversité n'est pas seulement très élevée en nombre, elle peut également être fonctionnelle. En effet les organismes du sol entretiennent des relations complexes entre eux, mais influent aussi sur les écosystèmes tout entiers en contrôlant notamment la circulation des matières essentielles à la vie des plantes (carbone, azote, phosphore, potassium…) [2].

1.1. Qui fait quoi dans le sol ?

La **biodiversité** est « *la variabilité structurale et fonctionnelle des diverses formes de vie qui peuplent la biosphère, aux niveaux d'organisation et de complexité croissants : au niveau génétique, de la population, de l'espèce, de la communauté et des écosystèmes* »

[3] (lire Qu'est-ce que la biodiversité ? et La biodiversité n'est pas un luxe mais une nécessité). Cette définition met en avant la nécessité d'appréhender et de mesurer la biodiversité des sols sous deux aspects : la diversité des espèces et des familles (les taxons) et la diversité des fonctions.

La **richesse taxonomique** correspond au nombre de taxons ou taxa (un taxon est un groupe correspondant à un niveau de classification du vivant comme par exemple l'espèce ou la famille) recensées dans le système étudié. A nombre égal d'individus, plus il y a de taxa présents (d'espèces par exemple), plus la diversité d'une communauté est grande. Il est également habituel de considérer l'**abondance** (nombre d'individus) de chaque taxon.

La **biodiversité fonctionnelle** décrit « qui fait quoi dans l'écosystème ? » ou encore « qui est comment ? » et pas seulement « qui est présent ? » dans une communauté donnée. Ainsi, pour caractériser la diversité fonctionnelle, il est nécessaire d'affilier ou de mesurer des fonctions (la nitrification, la dégradation de composés organiques…) ou des rôles pour chaque individu d'une communauté donnée.

1.2. Les organismes du sol : du plus petit au plus gros

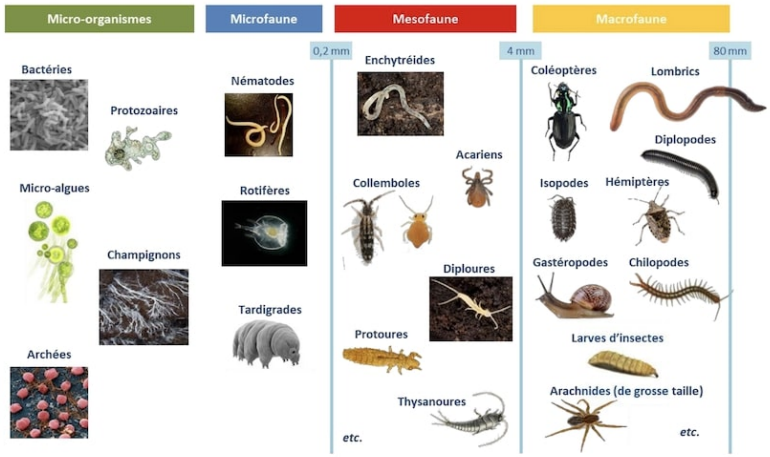

Figure 1. Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol classés par taille. [Source : © Quentin Vincent - Étude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés. Thèse de doctorat – Université de Lorraine - https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01896274/document]

Les organismes du sol sont généralement classés en quatre groupes selon la taille des individus : micro-organismes (ou microflore), microfaune, mésofaune et macrofaune). Cette classification reflète notamment la capacité des différents organismes à circuler dans les pores du sol (Figure 1) [4]. De plus, la flore supérieure (arbres, arbustes, plantes herbacées) intervient par sa partie racinaire, qui représente une biomasse importante et assure d'importantes fonctions dans le sol.

Les sections suivantes détaillent les principaux groupes de micro-organismes et de la faune du sol. Il est à noter que les virus ne sont pas considérés comme partie prenante de la biodiversité des sols car, bien que présents dans ce milieu et influençant la dynamique des populations des organismes, ce ne sont pas des êtres vivants.

2. Les micro-organismes du sol

Les **micro-organismes** du sol sont extrêmement abondants et d'une grande diversité taxonomique et fonctionnelle. Ils comprennent des bactéries, des champignons, des microalgues, des archées et des protistes [5]. Le fonctionnement biologique des sols est fortement lié à l'activité microbienne, ce qui confère à ces micro-organismes un rôle majeur dans de nombreuses fonctions du sol comme nous le verrons ci-après.

2.1. Les bactéries

Les bactéries sont de loin les microorganismes du sol les plus nombreux et les plus divers [6]. Elles présentent une grande variété de formes et de tailles (majoritairement inférieures à 2 µm). On estime qu'un gramme de sol renferme environ un milliard de bactéries et entre 2000 et 10000 espèces bactériennes selon leur état de santé [7]. Les études de métagénomique (Lire Code-barres ADN pour caractériser la biodiversité) sur différents sols (prairies, forêts, sols arides, agricoles *etc.*), ont permis d'identifier des séquences appartenaient aux *Proteobacteria (*40%), aux *Acidobacteria* (20%) et aux *Actinobacteria* (13%) [8].

Les bactéries jouent un rôle clé notamment dans le recyclage des nutriments, le développement (par la formation de symbioses), ou encore la structuration du sol. Elles contribuent également à la régulation des maladies, et à la dépollution des sols contaminés. Elles interagissent dans la rhizosphère des plantes (région du sol directement formée et fortement influencée par l'association des racines et des micro-organismes du sol) avec lesquelles elles peuvent former des **symbioses** avec des végétaux et elles peuvent être également **pathogènes**, autant pour les animaux que pour les végétaux.

C'est avant tout par leurs fonctions de **minéralisation** (minéralisation de la matière organique, oxydo-réduction de composés inorganiques, solubilisation ou précipitation de minéraux, transformation de composés organiques plus ou moins récalcitrants …), que les bactéries jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des sols [9]. Elles sont ainsi à la base de la régulation des principaux cycles biogéochimiques des sols (carbone, azote, phosphore, soufre…) et elles sont capables de :

réduire les sulfates en sulfites et sulfides (bactéries sulfato-réductrices),

oxyder le soufre (*Thiobacillus* par exemple),

fixer l'azote atmosphérique (diazotrophie seule ou en symbiose avec des plantes),

produire des nitrates (bactéries nitrifiantes),

rendre disponible le phosphore (par la phosphatase alcaline par exemple)[9] *etc.*

De plus, certaines bactéries, notamment celles dites PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria,* des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes), ont la **capacité de développer des symbioses avec les plantes**, qui leur permettent d'augmenter la mise à disposition d'éléments nutritifs pour leur croissance.

Les bactéries peuvent également favoriser la dépollution des sols contaminés par des métaux lourds (on parle d'éléments traces métalliques ou ETM) [10] en modifiant leur disponibilité mais interviennent surtout dans la dépollution des composés organiques tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en les minéralisant au moins partiellement.

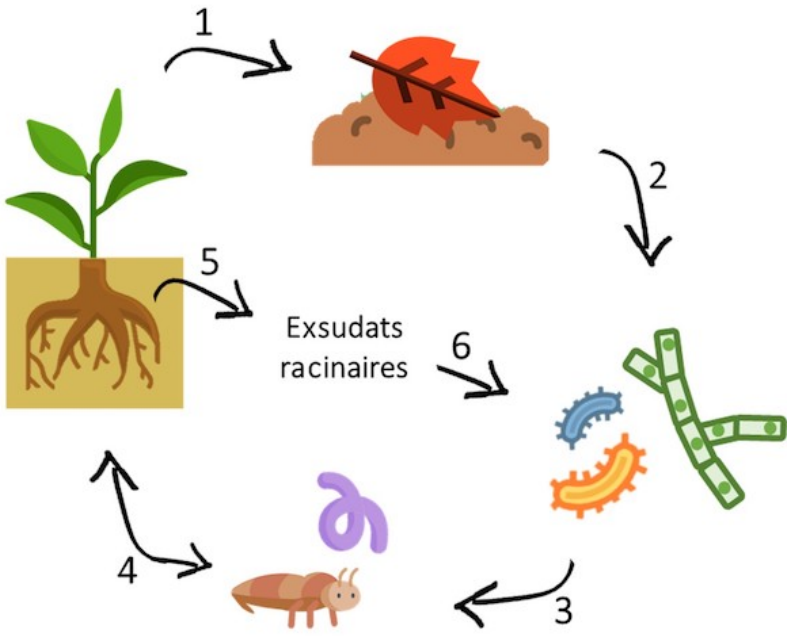

Figure 2. Schéma simplifié de la boucle microbienne au sein de la rhizosphère de plantes. [Source : © Quentin Vincent]

Les biofilms que forment les bactéries dans le sol constituent une quantité de biomasse microbienne très importante qui y

immobilise de grandes quantités de nutriments. Divers processus tels que la prédation de ces micro-organismes par les protozoaires, nématodes ou micro-arthropodes, peuvent conduire à la libération prolongée ou rapide de ces nutriments immobilisés et en excès [11]. Cette remobilisation de nutriments est ainsi nommée la « **boucle microbienne** » [12], considérée comme un point de contrôle primaire de la disponibilité des nutriments au sein de la rhizosphère (Figure 2).

2.2. Les champignons

Les **champignons** sont communément classés en deux groupes : les levures, unicellulaires, et les champignons, pluricellulaires, qui forment des ramifications appelées hyphes. Ce sont ces fins filaments blancs que l'on observe très souvent à la surface du sol ou des feuilles lors d'une promenade en forêt. Ces filaments constituent une biomasse très importante (plusieurs tonnes par hectare) et aussi un réseau impressionnant circulant à travers le sol sur de longues distances : un mètre carré de sol de prairie ou de forêt contient plusieurs kilomètres d'hyphes.

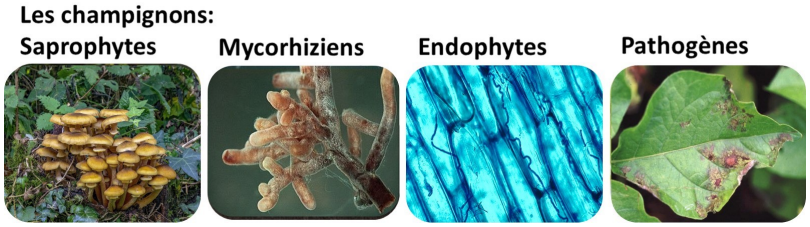

Figure 3. Les quatre modes trophiques des champignons du sol [Source : images libre de droit - en partant de la gauche vers la droite : Pixabay / Ellen Larsson, CC BY 2.5, via Wikimedia Common / Nick Hill, Public domain, via Wikimedia Common / No machine-readable author provided. Fk assumed (based on copyright claims)., CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Common]

La grande diversité des champignons a conduit à les classer en groupes taxonomiques [13] aux noms latins souvent complexes, tels que chytridiomycètes, glomeromycètes, les basidiomycètes, les ascomycètes, mucoromycètes (anciennement zygomycètes). Avec respectivement 56%, 31% et 10%, ces trois derniers groupes représentent la quasi-totalité de la communauté fongique du sol. Pour des raisons pratiques, les champignons peuvent également être classés selon leur mode d'alimentation dans le sol : **saprophyte, mycorhizien, endophyte et pathogène** [14] (Figure 3).

2.2.1. Les champignons saprophytes

Figure 4. Champignon saprophyte vivant de manière parasite indifféremment sur le sol ou les végétaux (ici le Phellinus). [Source : © Quentin Vincent]

Les champignons saprophytes (Figure 4) **se nourrissent de matières organiques** (MO) **mortes** déjà plus ou moins décomposées ou dégradées par d'autres organismes. Ces MOM leur fournissent les éléments nutritifs qui sont prédigérés grâce à l'excrétion d'enzymes extracellulaires fongiques. Les saprophytes représentent, en nombre estimé d'organismes, environ 44 % de la communauté fongique, avec une faible variation entre les différents types d'écosystème [13]. Pour les champignons aussi, une classification plus fonctionnelle a été développée : ce sont les pourritures blanches, brunes et molles [15]. Ces appellations sont directement liées à la décomposition des litières des plantes qui varient suivant les espèces. Cette classification fait référence à des caractéristiques visuelles de la dégradation de la lignine, et il faut noter qu'elles sont en réalité sous le contrôle de leur capacité de dégradation de la cellulose et l'hémicellulose, deux éléments majeurs constitutifs des plantes et donc de leur litière.

2.2.2. Les champignons mycorhiziens

Les champignons mycorhiziens **forment des associations symbiotiques avec les racines des plantes**. Ces symbioses plante-champignon sont extrêmement répandues et concernent 80 à 90% des espèces végétales [16]. Dans cette relation à bénéfice réciproque, le champignon reçoit de la plante des éléments nécessaires à sa croissance comme les sucres et les vitamines. Il absorbe de son côté divers éléments du sol, dont le phosphore, qu'il transfère en retour à la plante et accroît ainsi considérablement le volume de sol exploré par les plantes pour leur croissance.

On distingue deux grands groupes de champignons mycorhiziens : les ectomycorhiziens et les endomycorhiziens. Les **champignons ectomycorhiziens** forment un réseau d'hyphes (réseau de Hartig) à la surface des racines des plantes colonisées. Cela forme un manchon périphérique qui sert de matrice d'échange entre la plante et le champignon, et ce dernier est alors capable de s'insérer entre les cellules corticales végétales sans pouvoir toutefois y pénétrer. Les hôtes végétaux de ces champignons sont surtout de type arbustif et arboré. Plus de 95% des ectomycorhizes appartiennent au groupe des basidiomycètes [17].

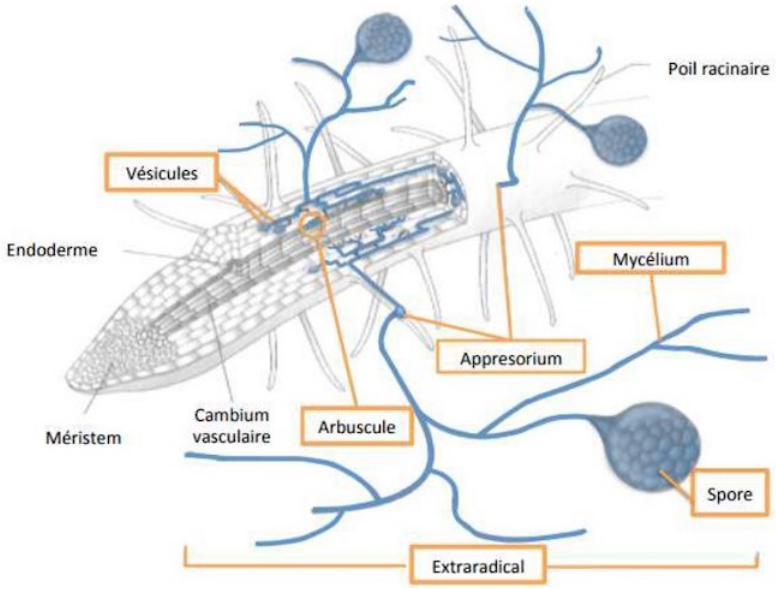

Figure 5. Coupe de racine colonisée avec les différentes structures endomycorhiziennes. [Source : © J. André Fortin, Christian Plenchette, Yves Piché - LES MYCORHIZES - L'essor de la nouvelle révolution verte.]

Les **champignons endomycorhiziens** forment des structures intracellulaires, les hyphes entrant à l'intérieur des cellules racinaires pour effectuer des échanges étroits avec la plante. On distingue 3 types d'endomycorhizes : éricoïdes, d'orchidées et à arbuscules. Les hyphes des **champignons mycorhiziens à arbuscules** (MA) forment des arbuscules dans les cellules du cortex racinaire, permettant ainsi des échanges directs entre racine et champignon. Des hyphes extraradiculaires se développent aussi sur plusieurs centimètres à l'extérieur de la racine, explorant le sol alentour, et apportant une multitude de spores (Figure 5) [18].

Les champignons MA (exclusivement des glomeromycètes) sont des symbiotrophes obligatoires puisque sans l'interaction avec la plante hôte qui leur fourni des éléments carbonés, ils ne peuvent accomplir leur cycle de développement. Pour la plante, le principal avantage est une meilleure nutrition hydrique et minérale, en particulier en phosphore apporté par le champignon, ce qui se traduit le plus souvent par une augmentation de la biomasse végétale par rapport à une plante non colonisée.

2.2.3. Les champignons endophytes

Les champignons endophytes (racinaires) ont un mode de vie qui se caractérise par la **colonisation des structures internes d'une plante de manière asymptomatique**. En effet, ces champignons prélèvent des nutriments de l'hôte sans que ce dernier ne présente de signes de maladie et demeurent intégralement dans les tissus racinaires, à l'inverse des champignons mycorhiziens qui colonisent les plantes tout en se développant dans la rhizosphère. Les champignons endophytes sont très majoritairement issus des ascomycètes et basidiomycètes, dont les trois membres les plus connus sont les DSE (*Dark Septate Endophytes*), les Sebacinales et les *Trichoderma* [19]. Comme les champignons mycorhiziens, les champignons endophytes favorisent la croissance et la résistance aux stress abiotiques de la plante hôte.

2.2.4. Les champignons pathogènes/parasites

Les champignons pathogènes peuvent être principalement des parasites d'autres champignons, des pathogènes des animaux ou des pathogènes des plantes (phytopathogènes) [20]. Ces champignons phytopathogènes du sol peuvent **infecter les racines**, ou s'introduire dans ses systèmes vasculaires et coloniser l'ensemble de l'organisme en remontant les vaisseaux de xylème, même s'ils s'attaquent surtout aux parties aériennes.

3. La faune du sol

Si on reprend l'image de l'observation du sol avec une bèche, on peut facilement distinguer des animaux de taille très variable : celle-ci sert à classer la faune du sol en quatre groupes [21] : **microfaune, mésofaune, macrofaune et mégafaune**. On définit la faune du sol comme l'ensemble des **animaux qui ont au moins une partie de leur cycle biologique dans le sol**. Cette faune représente près d'**un quart (23%) de la diversité totale des organismes vivants** décrite à ce jour [22] avec des distributions horizontale et verticale très hétérogènes. Ainsi, dans les sols bruns des régions tempérées, la faune se localise principalement dans les 10 à 20 premiers centimètres du sol et ses annexes (litière, bois mort *etc.*).

3.1. La microfaune

Invisible à l'œil nu, la microfaune est constituée d'individus généralement plus petits que 200µm qui **peuvent donc vivre dans la**

porosité capillaire du sol. Les rotifères et les tardigrades font partie de la microfaune du sol, mais ce sont surtout les protozoaires et nématodes qui constituent l'essentiel de cette microfaune. En effet, les protozoaires présentent une abondance variant de 100 à 1000 millions d'individus au mètre carré. Ce groupe est très diversifiée de même que leur nutrition, mais la plupart des protozoaires peuvent ingérer des particules et se nourrissent de bactéries. Ces organismes, comme les nématodes, vivent dans le film d'eau entourant les particules de sol [23]. Environ 30 000 espèces de nématodes sont connues à ce jour, mais cela ne représenterait qu'environ 5% du nombre d'espèces existantes. Ils sont classés en cinq groupes trophiques : les **bactérivores**, les **fongivores**, les **omnivores** (se nourrissent de bactéries et de champignons), les **phytoparasites** (parasites des plantes) et les **prédateurs** (se nourrissent d'autres animaux) [23]. Les nématodes jouent un rôle clé dans la minéralisation et la décomposition des matières organiques et dans la régulation des communautés microbiennes.

3.2. La mésofaune

La mésofaune (ou micro-arthropodes ou encore méso-invertébrés) est constituée d'animaux ayant **une taille entre 0,2 à 4 mm environ**. Les **collemboles** et les acariens sont les deux principaux représentants de ce groupe. Les protoures, diploures, thysanoures, les enchytréides, et les myriapodes symphiles, font également partie de la mésofaune mais leur abondance est bien plus faible.

Les collemboles sont probablement le groupe d'hexapode le plus abondant sur Terre (jusqu'à 200'000 individus au m^{-2} dans des sols bruns non cultivés des régions tempérées) et avec une forte diversité (environ 8000 espèces connues, dont plus de 2000 en Europe (Figure 6). Les collemboles sont essentiellement **décomposeurs**, se nourrissant d'hyphes mycéliens et de matières organiques, ils se retrouvent donc surtout dans le sol et les litières (feuilles et bois morts). Ils ont ainsi un rôle majeur dans les processus de décomposition de la litière par micro-fragmentation et brassage de la matière organique.

Figure 6. Vidéo de collemboles sur du bois en décomposition. [Source : © Apolline Auclerc avec la Direction du numérique de l'Université de Lorraine.]

https://www.youtube.com/watch?v=EfQmlKoEjjE

Figure 7. Les trois modes de vie chez les collemboles. [Source : Collemboles épi-édaphiques et hémi-édaphiques © Soizic Maillet - Collembole eu-édaphiques © Andy Murray, CC BY-SA 2.0, via Wikimedia Commons]
** furca : appendice abdominal permettant au collembole de sauter.*

Les collemboles vivent environ 1 à 2 ans dans le sol et, comme les nématodes, interviennent dans la régulation des populations microbiennes. Ces petits animaux sont capables de s'adapter à leur habitat, ce qui se traduit surtout par des adaptations morphologiques, que l'on peut regrouper en trois modes de vie : **épi-édaphiques**, **eu-édaphiques** et **hémi-édaphique** (Figure 7) (Lire : Les Collemboles : acteurs de la vie du sol).

Avec plus de 48 000 espèces déjà décrites, les acariens colonisent de nombreux habitats notamment ceux riches en matières

organiques (tourbe, bois en décomposition, litières *etc*). Comme les collemboles, la plupart des acariens contribuent à fragmenter la matière organique en produisant des boulettes fécales et, régulent ainsi, de façon indirecte, les communautés microbiennes. On distingue généralement deux ordres d'acariens : les **acariformes** et les **parasitiformes** [24]. Certains sont **prédateurs** (parasitiformes principalement) et d'autres **parasites** (de plantes ou d'animaux) ou **décomposeurs** (acariformes principalement). Certaines espèces transportent des bactéries et des champignons à leur surface, contribuant ainsi à leur dissémination.

3.3. La macrofaune

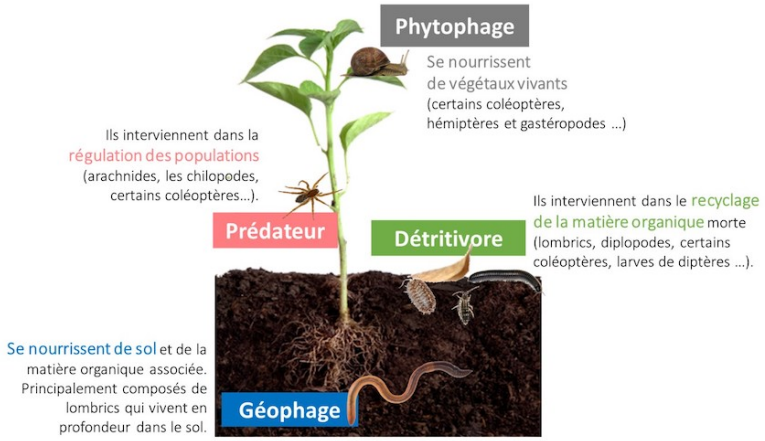

Figure 8. Les quatre groupes écologiques de la macrofaune. [Source : © Quentin Vincent]

La **macrofaune** comprend des animaux d'environ 4 à 80 mm. Il s'agit de vers de terre, d'insectes larvaires et adultes (hyménoptères, coléoptères et diptères (larves) majoritairement), de myriapodes, d'araignées, de mollusques, de crustacés. Ces animaux sont aussi groupés selon leur mode de nutrition ; les **prédateurs**, les **décomposeurs**, les **géophages** (se nourrissent de terre) et les **phytophages** [25] (Figure 8).

Un autre groupe fonctionnel, qui n'est pas lié à un groupe trophique, est également souvent employé ; il s'agit des « **ingénieurs du sol** » [26]. Les ingénieurs du sol modifient l'environnement du sol par leurs activités de construction (turricules, galeries, nids) qui affectent la diversité et l'activité microbienne. Les ingénieurs du sol sont principalement représentés par les lombrics (endogés et anéciques) et les fourmis. Les espèces de vers de terre ont été regroupées en trois catégories :

endogés (petits vers géophages vivant en permanence dans les premiers centimètres de sol dans un réseau de galeries horizontales).

anéciques (terme étrange désignant des gros vers saprophages vivant dans de grandes galeries, pouvant descendre à 3 m de profondeur, les « laboureurs » du sol).

épigés (petits vers rouges vivant dans la litière et ne creusant généralement pas de galeries) [27].

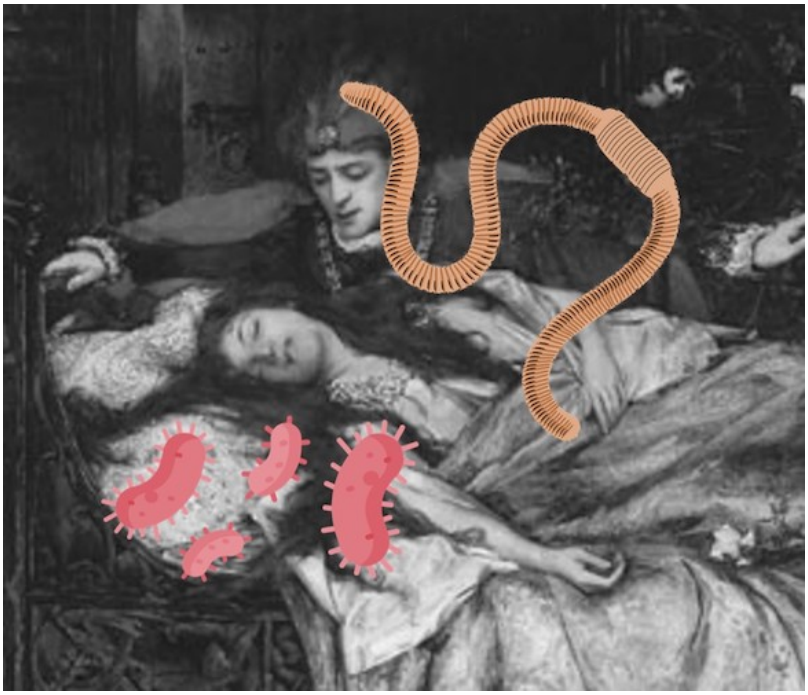

Figure 9. Le paradoxe de la Belle au Bois Dormant [Source : © Henry Meynell Rheam, Public domain, via Wikimedia Commons]

La faune du sol, dans son ensemble, joue un rôle de vecteur de dispersion et d'activation de la microflore dans le sol et également dans la rhizosphère. En effet, les micro-organismes étant peu mobiles et peu actifs dans le sol, ils attendent d'autres organismes tels que la faune et les végétaux, qui les mettront en présence de substrats organiques. Ce phénomène est connu sous le nom du « paradoxe de la Belle au Bois Dormant » [28].

4. La mesure de la biodiversité

Depuis quelques décennies, de nombreux **programmes de recherche** sur la biodiversité des sols ont cherché à identifier des indicateurs pertinents, à produire une cartographie exhaustive et/ou identifier les usages des sols influençant la biodiversité des sols.

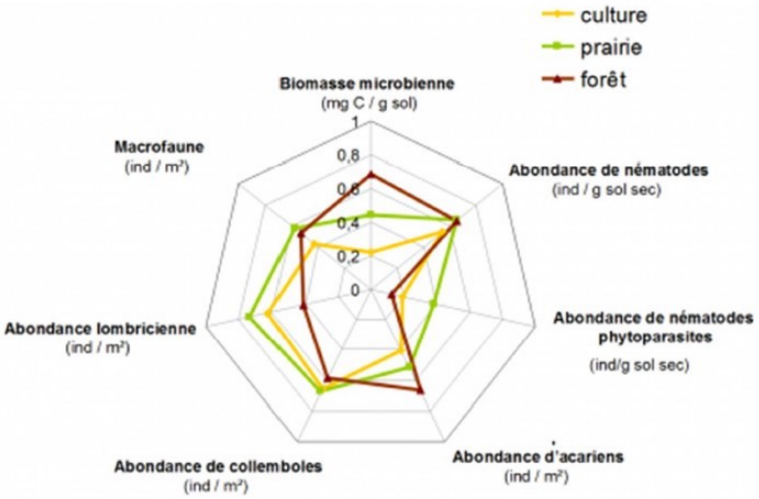

Figure 10. Mesure des indicateurs biologiques des sols soumis à 3 usages différents (Projet RMQS Bio-Div) [Source : © Daniel Cluzeau et al., 2009 – Programme RMQS BioDiv - https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/programme-rmqs-biodiv]

Parmi ceux-ci, on ne peut pas ne pas citer le programme RMQS Bio-Div (Réseau de Mesures de la Qualité des Sols) du Gis Sol, qui avait pour objectif de créer un référentiel de la qualité des sols. En effet, il existe très peu de données de référence sur la biodiversité des sols en comparaison aux données physico-chimiques. Un des intérêts de ce programme était de multiplier les indicateurs venant de plusieurs groupes biologiques différents (les micro-organismes, la micro-, la méso- et la macrofaune). Les chercheurs impliqués ont ainsi montré, entre autres effets majeurs, **l'influence de l'usage des sols** (ici, forêt, prairie et culture)

sur leurs niveaux de biodiversité (Figure 10) [29].

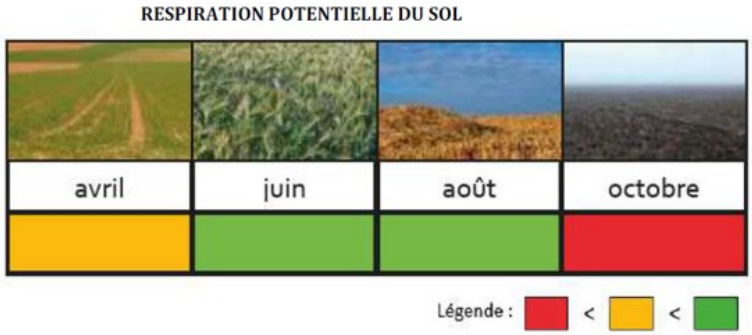

Figure 11. Variabilité saisonnière la respiration potentielle des parcelles de sol en agriculture conventionnelle en 2016. Les couleurs indiquent des différences significatives entre les saisons. [Source : © Q.Vincent et al., 2019. Développement d'indicateurs de la qualité biologique et du carbone organique du sol pour l'évaluation de l'état des sols en Wallonie : valorisation des acquis et transfert vers les utilisateurs (CARBIOSOL 5)]

Le programme Bioindicateur II de l'ADEME (Agence de la transition écologique) peut aussi être cité puisque son objectif principal était de promouvoir le développement de méthodes de mesure de la biodiversité et des fonctions des sols, et l'utilisation de bioindicateurs des sols pour surveiller leur qualité et évaluer les risques écologiques liés à leur contamination. Ainsi, le projet CARBIOSOL de ce programme de recherche a par exemple permis de montrer des **effets variables de la saison** sur des bioindicateurs pertinents des sols, comme le montre la figure 11 [30], avec la respiration potentielle du sol. La respiration potentielle est la mesure de la vitesse de la minéralisation du carbone organique en CO_2lors de la décomposition de la matière organique par les micro-organismes.

Parmi les méthodes de recherche de caractéristiques fonctionnelles des organismes, celle appelée « **traits et préférences écologiques** », est très pertinente pour décrire les fonctions des communautés. Ainsi, par exemple, une communauté fongique (de champignons) peut être caractérisée par sa capacité à minéraliser différentes molécules (*e.g.*sucres, acides aminés, polymères), ou par son appartenance à un groupe trophique (*e.g.* saprophytes, symbiotiques, endophytes, pathogènes ; voir partie 3.2). Ou encore, une communauté de vers de terre peut être caractérisée par le mode de vie des différentes espèces ou par la longueur des individus. C'est dans ce contexte là que le réseau TEBIS (Traits Écologiques et Biologiques des organismes du Sol) a été créé, afin de mieux caractériser les traits et préférences écologiques des organismes du sol, comme bioindicateurs notamment.

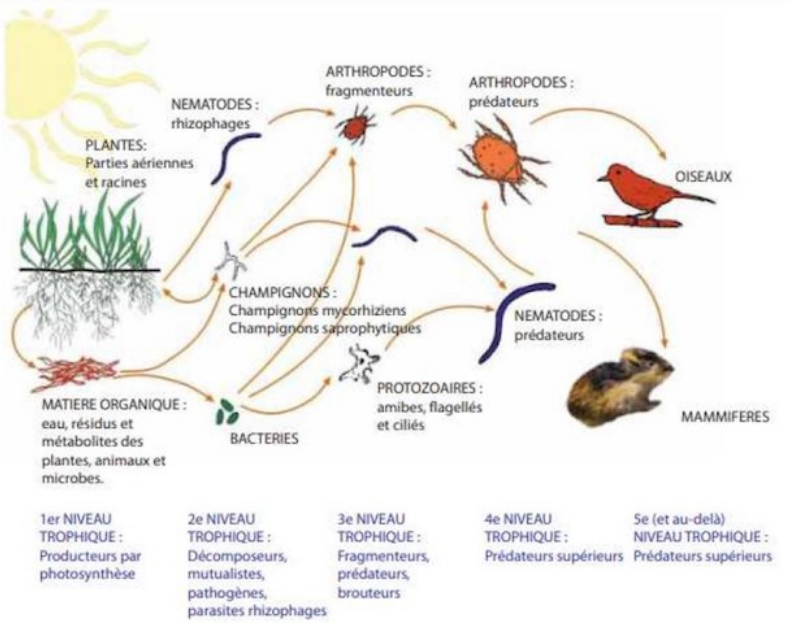

Figure 12. Représentation schématique d'une chaine trophique dans le sol [Source : © USDA-http://soils.usda.gov/sqi/concepts/soil_biology/soil_food_web.html]

Le sol est un milieu complexe où les organismes interagissent avec leur milieu mais également entre eux : on parle d'**interactions biotiques** qui contrôlent largement la biodiversité du sol [31]. Ainsi, lorsqu'on mesure la qualité d'un sol en utilisant des indicateurs de biodiversité, **les interactions biotiques doivent être prises en compte**. Certains chercheurs invitent même à considérer ces interactions biotiques comme faisant partie intégrante de la biodiversité [6], notamment les relations symbiotiques (mycorhizes…), interactions biotiques à fort bénéfice réciproque. La plupart de ces interactions biotiques sont toutefois des relations « prédateur - proie » (Figure 12) [23].

Cet article s'est attaché modestement à montrer que les différents compartiments biotiques du sol interagissent entre eux. Ainsi, en développant des **études simultanées de différents compartiments biotiques** de sols soumis à des usages différents et à des périodes différentes, on pourra avoir une vision plus réaliste de la biodiversité des sols et des interactions entre les différents organismes dans cet écosystème. Seule cette approche globale étudiant la communauté entière (et pas des composantes biotiques isolées) permet de considérer toutes les fonctions biologiques simultanément [32], [33].

5. Messages à retenir

Un quart de la biodiversité totale de la planète se trouve dans les sols.

La biodiversité des sols peut être classée en 4 grands groupes : **micro-organismes, micro-faune, méso-faune, macro-faune**. Les plantes peuvent aussi être considérées de par leur système racinaire.

Les différents organismes du sol (**diversité taxonomique**) ont des rôles (**diversité fonctionnelle**) essentiels dans le fonctionnement du sol.

Les rôles de ces organismes dans le sol sont, pour la plupart, liés à leurs **interactions biologiques** (relation proie-prédateur, symbiose etc.).

De nombreux **facteurs** modifient simultanément l'état de biodiversité des sols comme les usages, les saisons, les interactions biotiques *etc.*

La biodiversité du sol doit être **considérée de manière globale** compte tenu des relations étroites et impacts forts entre ses différentes composantes biologiques.

Notes et références

Image de couverture. [Source : © A.Auclerc]

[1] Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke, J., Putten, W.H. van der, 2010. European Atlas of Soil Biodiversity, European Commission, Publications Office of the European Union. Publication Office of the European Union.

[2] Lavelle, P., Spain, A.V. 2001. Soil ecology. Vadose Zone Journal

[3] Sandlund et al. 1993. Cité par RAMADE F., 2002, Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, Paris, Dunod, 1075 p.

[4] Vincent, Q., 2018. Etude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.

[5] Bertrand, J.-C., Caumette, P., Lebaron, P., Matheron, R., Normand, P., 2011. Ecologie microbienne: Microbiologie des milieux naturels et anthropisés. Presses universitaires de Pau et des Pays de l'Adour

[6] Karimi, B., Chemidlin Prévost-Bouré, N., Dequiedt, S., Terrat, S., Ranjard, L., 2018. Atlas Français des Bactéries du Sol.

[7] Roesch, L.F.W., Fulthorpe, R.R., Riva, A., Casella, G., Hadwin, A.K.M., Kent, A.D., Daroub, S.H., Camargo, F.A.O.,

Farmerie, W.G., Triplett, E.W., 2007. Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. ISME J. 1, 283–290.

[8] Janssen, P.H., 2006. Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries of 16S rRNA and 16S rRNA genes. Appl. Environ. Microbiol. 72, 1719–1728.

[9] Gobat, J.-M., Aragno, M., Matthey, W., 2010. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols, 3ème éditi. ed. PPUR Presses polytechniques.

[10] Ahemad, M., 2014. Remediation of metalliferous soils through the heavy metal resistant plant growth promoting bacteria: Paradigms and prospects. Arab. J. Chem. nd.

[11] Bardgett R.D. & D. Wardle. Aboveground-Belowground linkages. Biotic interactions, ecosystem processes, and global change. Austral Ecology 37: 26-27. 2010

[12] Clarholm M. Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen, Soil Biol. and Biochem. 17 : 181-187. 1985.

[13] Tedersoo, L., Bahram, M., Polme, S., et al., 2014. Global diversity and geography of soil fungi. Science.

346, 1256688–1256688.

[14] Toju, H., Kishida, O., Katayama, N., Takagi, K., 2016. Networks depicting the fine-scale co-occurrences of fungi in soil horizons. PLoS One 11, 1–18.

[15] Schwarze, F., Engels, J., C., M., 2000. Fungal strategies of wood decay in trees., Springer, Berlin, Heidelberg.

[16] Meier, S., Borie, F., Bolan, N., Cornejo, P., Meier, S.A., 2012. Phytoremediation of metal-polluted soils by arbuscular mycorrhizal fungi. Environ. Sci. Technol. 7, 741–775.

[17] Narayanasamy, P., 2011. Microbial plant pathogens-detection and disease diagnosis, in: Microbial Plant Pathogens-Detection and Disease Diagnosis. pp. 1–256.

[18] Fortin, J.A., Plenchette, C., Piché, Y. 2016. Les mycorhizes : l'essor de la nouvelle révolution verte. Eds Quae

[19] Chadha, N., Mishra, M., Prasad, R., Varma, A., 2014. Root endophytic fungi: Research update. J. Biol. Life Sci. 5, 135.

[20] Nguyen, N.H., Song, Z., Bates, S.T., Branco, S., Tedersoo, L., Menke, J., Schilling, J.S., Kennedy, P.G., 2016. FUNGuild: An open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild. Fungal Ecol. 20, 241–248.

[21] Bachelier, G., 1971. La vie animale dans les sols.
http://www.vertcarbone.fr/wp-content/uploads/2018/03/Les-Animaux-du-sol-1.pdf

[22] Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioia, C., Measey, G.J., Lavelle, P., 2006. The values of soil animals for conservation biology. Eur. J. Soil Biol. 42, S23–S38.

[23] Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., M, D.H., 2016. Global soil biodiversity atlas, Global soil biodiversity atlas. European Commission.

[24] Dabert, M., Witalinski, W., Kazmierski, A., Olszanowski, Z., Dabert, J., 2010. Molecular phylogeny of acariform mites (Acari, Arachnida): Strong conflict between phylogenetic signal and long-branch attraction artifacts. Mol. Phylogenet. Evol. 56, 222–241.

[25] Hedde, M., van Oort, F., Renouf, E., Thénard, J., Lamy, I., 2013. Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils. Appl. Soil Ecol. 66, 29–39.

[26] Ruiz-Camacho, N., 2004. Indice Biologique de la Qualité des Sols (IBQS): Bio-indicateur de la qualité des sols basés sur l'étude des peuplements de macro-invertébrés.

[27] Bouche, M.B., 1972. Lombriciens de France, Annals zool. Ecol. Anim. Annals zool. Ecol. Anim.

[28] Lavelle P., C. Lattaud, D. Trigo, I. Barois. Mutualism and biodiversity in soils. In: The significance and regulation of soil biodiversity. p23-33. Springer, Dordrecht. 1995

[29] Cluzeau D., M. Guernion, R. Chaussod, F. Martin-Laurent, C. Villenave, et al. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *European J. Soil Biol.* 2012:.63-72. hal-00704897.

[30] Vincent Q, C Chartin, I Krüger, B van Wesemael, M Carnol. Guide sur les indicateurs biologiques et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie-La qualité biologique et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie. Ed. DGARNE. SPW (B).

[31] Ponge J.F. 2012. https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-sol-biodiversite-etonnante-966/

[32] S Soliveres, S., van der Plas, F., Manning, P., et al., 2016. Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. Nature. 536, 456–459

[33] Creamer, R.E., Hannula, S.E., Leeuwen, J.P.V., et al., 2016. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. Appl. Soil Ecol. 97, 112–124.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteurs :** VINCENT Quentin - AUCLERC Apolline - LEYVAL Corinne (2023), La biodiversité des sols, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=15721

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.