

Les indicateurs & analyses

Liste des analyses et
indicateurs pour connaître
& comprendre votre sol



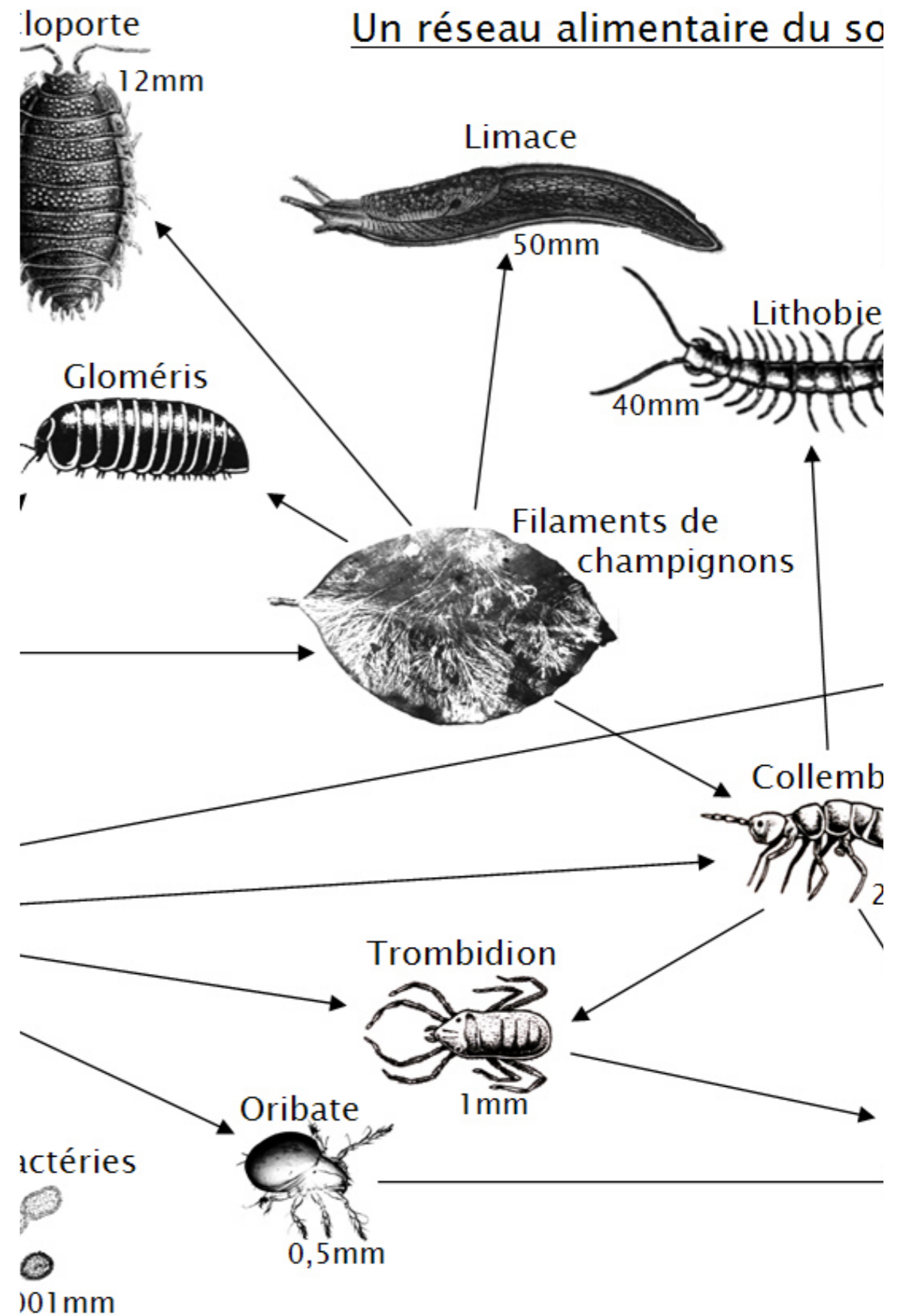
Intro

Les communautés du sol

Marlène Vissac @Phacelia

Les paramètres présentés ici permettent de caractériser les communautés microbiennes (bactéries et champignons mycorhiziens) en lien avec les différentes pratiques culturales de vos agroécosystèmes.

L'ensemble peut s'effectuer par un laboratoire et par quelques études / analyses que vous pouvez mener vous-mêmes.



Les mesures et indicateurs

Pour l'étude de vos systèmes, de vos parcelles, prélever des blocs de sols puis les (faire) analyser (analyses physico-chimiques et analyses microbiologiques). Ces indicateurs correspondant à chacune de ces analyses et leur intérêt sont décrits ci-dessous.

Analyses physico-chimiques

MESURES DE LA FERTILITÉ BIOLOGIQUE

- **Taux de matière organique** : La dynamique de la matière organique donne des informations sur le fonctionnement du sol (en regardant si celle-ci est bien minéralisée). On considère qu'un sol a un bon taux de matière organique à partir de 2.5% en sol sableux, et à partir de 3% sur les autres types de sols. Doit se regarder en lien avec les pratiques culturales, notamment les apports de MO. Unité : % de MO dans le sol sec.
- **Carbone organique** : Cet indicateur donne une information similaire au taux de MO. Classiquement, on obtient le taux de MO en multipliant le carbone organique par un coefficient (généralement 1,72). Ici, deux méthodes différentes sont utilisées pour mesurer le taux de MO et de carbone organique. En effectuant le rapport entre les deux, nous pouvons donc évaluer la fiabilité des méthodes d'analyse. Unité : % de C dans le sol sec.

- **Carbone oxydable** : Carbone directement accessible aux microorganismes (bactéries, champignons) dans la solution du sol. Rapidement assimilable par la vie du sol. Valeur en général plus faible que celle du carbone organique. Unité : ppm de TSF (Terre Fine Sèche).
- **Rapport C/N** : Rapport du carbone organique sur l'azote total. Il donne une information sur la minéralisation.
8 < C/N < 10 : sol qui fonctionne bien, bonne minéralisation de l'azote en nitrates (NO₃⁻) assimilable par les plantes.
C/N > 12 : déséquilibre entre l'azote et le carbone, peut indiquer un sol qui a du mal à dégrader la MO ou de forts apports de MO.
C/N < 6 : sol qui minéralise trop rapidement et donc épuise ses réserves.

MESURES DE LA FERTILITÉ CHIMIQUE

- **Azote total** : Somme de l'azote organique et minéral. Indicateur de fertilité chimique et nécessaire pour calculer le rapport C/N. Unité : mg/g de sol sec.
- **pH eau** : Mesure de l'acidité « actuelle » du sol c'est-à-dire l'acidité de la solution du sol (qui est en contact direct avec la plante). Si pH eau > 7 (basique) : bon pouvoir tampon du sol, c'est-à-dire pas de risque d'acidification.
- **pH KCl** : Mesure de l'acidité « potentielle » du sol, c'est-à-dire la capacité du sol à être acide. La valeur du pH KCl est plus faible et plus stable que celle du pH eau.

pH eau – pH KCl : donne le risque d'acidification du sol (se calcule seulement si le pH eau est acide). Si cette valeur est supérieure à 0,6 on a un fort risque d'acidification et/ou un impact sur la mobilité des cations échangeables.

- **Calcaire total** : Le calcaire (carbonate de calcium CaCO_3) est la principale source de calcium dans le sol. Il provient de la nature géologique du sol ou d'amendements. Influence le pH (plus il y a de calcaire, plus le sol est basique). Unité : g/kg de sol sec.
- **Capacité d'échange cationique** : Aptitude du sol à mettre en réserve et restituer les éléments du sol sous forme de cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Unité : mEq/kg de sol sec
- **Concentration en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+** : Si la somme des cations échangeables Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ (en mEq/kg) est inférieure à la CEC, le complexe argilo-humique est occupé par d'autres cations, qui peuvent être des oligoéléments ou des protons H^+ . S'il y a beaucoup de protons H^+ sur le complexe argilo-humique, le risque d'acidification est important (le complexe argilo-humique agit alors comme une réserve de H^+ qui peut être libérée dans la solution du sol et ainsi l'acidifier).
- **Concentration en fer, manganèse, aluminium** : Concentration en oligoéléments nécessaires à la bonne alimentation des plantes. Dans des sols pollués, on peut avoir des phénomènes de surconcentration qui peuvent

notamment être responsables de chloroses, mais ce n'est pas le cas dans les sols que nous étudions. Unité : mg/kg de sol sec.

- **Quantité de phosphore (méthode Olsen)** : La méthode Olsen permet d'estimer la quantité de phosphore assimilable (mais mesure aussi une petite partie de P non assimilable). Elle mesure le phosphore dissous dans la solution du sol et une partie du phosphore absorbé sur le complexe argilo-humique.

Le P assimilable est la fraction du phosphore du sol que les plantes peuvent extraire rapidement. 90% du phosphore dans le sol n'est pas assimilable par les plantes. Une quantité de phosphore grande (μM) dans les sols conduit à limiter la formation de la symbiose mycorhizienne à arbuscule car le phosphore en quantité suffisante est directement assimilable par les plantes sans symbiotes microbiens. Doit se regarder en lien avec les pratiques culturales, notamment la fertilisation. Unité : g/kg de sol sec.

MESURES PHYSIQUES DU SOL

- **Texture** (Texture GEPPA) : Déterminé avec le triangle des textures GEPPA : 17 classes texturales, d'argile lourde à limon pure, en passant par argile limono-sableuse, limon argilo-sableux et sable argilo-limoneux
- **Granulométrie** (% de sable, de limon et d'argile) : permet de déterminer la texture du sol.
 - Sable : 60 µm à 2 mm
 - Limon : 2 µm à 60 µm
 - Argile : 0,01 µm à 2 µmPermet de déterminer la texture du sol.

Analyses microbiologiques

Pour rappel, les microorganismes que compte le sol sont à majorité des bactéries et des champignons. Ces microorganismes peuvent être sous forme active ou dormante. Il est donc nécessaire de déterminer leur activité, en plus d'évaluer leur quantité.

ANALYSES DES RACINES

- **Taux de mycorhization** : Indique l'abondance de mycorhizes dans les racines d'une plante. Le taux d'arbuscules met en avant la fonctionnalité de l'interaction entre la plante et le champignon.

- **Séquençage** : permet d'identifier et d'explorer la diversité des champignons endomycorhiziens à arbuscules en symbiose avec les racines de noyer, du maïs, du couvert ou dans le sol.

Analyses du sol rhizosphérique

- **Acides gras phospholipidiques (PLFA)** : Composants de la membrane cellulaire des êtres vivants, certains PLFA sont spécifiques à un groupe d'êtres vivants. Leur quantification et leur analyse permet d'évaluer l'abondance et la diversité des microorganismes sur la base d'un profil d'acides gras phospholipidiques caractéristiques des communautés bactériennes et fongiques.
- **Ergostérol** : Composant de la membrane cellulaire des champignons. Sa quantification permet de déterminer la biomasse moléculaire fongique (champignons mycorhiziens et non-mycorhiziens).
- **Glomaline** : Glycoprotéine produite par les champignons mycorhiziens à arbuscules. En formant une sorte de colle, elle stabilise les agrégats du sol et participe ainsi à la structuration du sol. L'extraction et la quantification de la glomaline permet d'estimer la biomasse de champignons mycorhiziens à arbuscules.

- **ADN 16S et 18S** : Biomasse moléculaire fongique (ADN 18S) estimée par quantification des ADN ribosomiaux spécifiques des champignons.

Biomasse moléculaire bactérienne (ADN 16S) estimée par quantification des ADN ribosomiaux spécifiques des bactéries.

- **Carbone microbien** : Indicateur de la biomasse microbienne totale du sol, déterminée par dosage du carbone à partir d'un échantillon de sol par méthode de Fumigation-Extraction.
- **Glucosidase** : Enzyme produite dans le cadre du métabolisme du carbone, elle témoigne de l'activité des microorganismes qui hydrolysent des molécules glucidiques. Quantifie l'activité microbienne.
- **N-Acétyleglucosaminidase** : Enzyme produite dans le cadre du métabolisme du carbone, elle témoigne de l'activité des microorganismes qui hydrolysent des molécules glucidiques. Quantifie l'activité microbienne.
- **Phosphatase acide** : Enzyme produite dans le cadre du métabolisme du phosphore, elle témoigne de l'activité des microorganismes qui hydrolysent des phosphates. Quantifie l'activité microbienne.
- **Phosphatase alcaline** : Enzyme produite dans le cadre du métabolisme du phosphore, elle témoigne de l'activité

des microorganismes qui hydrolysent des phosphates. Quantifie l'activité microbienne.

La *Glucosidase*, la *N-Acétyleglucosaminidase*, la *Phosphatase acide* et la *Phosphatase alcaline* sont des enzymes associées aux grands cycles biogéochimiques comme celui de l'azote, du carbone, du phosphore, du soufre, sensibles à bon nombre de pressions anthropiques, les activités enzymatiques des sols présentent un potentiel important de bioindication.

Autres indicateurs

Enfin, les inventaires floristiques en inter-rang permettent d'évaluer la diversité végétale et la conséquence des itinéraires techniques sur la diversité et la fonctionnalité des communautés microbiennes associées. Certaines plantes qui se développent uniquement dans certaines conditions pédologiques sont des bio-indicatrices du fonctionnement des sols. Par exemple le tassement des sols crée des zones sans oxygène où se développe bien le grand plantain, *Plantago major*. Autre exemple, lorsqu'il est présent en très grand nombre sur la parcelle, le pissenlit *Taraxacum officinale* est révélateur d'un engorgement en matière organique animale qui bloque certains échanges racinaires et d'un manque d'aération du sol.