



# MODÉLISATION ET SCÉNARIOS DE LA BIODIVERSITÉ

## Fiche résultat

### CAMMISOLE

#### Bactéries et champignons, alliés des agriculteurs en Afrique subsaharienne

Porteur du projet : Laetitia Bernard (IRD)

Début et fin du projet : 2014-2019

À Madagascar comme en Afrique de l'Ouest, l'agriculture vivrière est un moyen de subsistance largement répandu. Or, les plantes cultivées bénéficient de la présence des microorganismes du sol qui dégradent et minéralisent la matière organique. Le projet CAMMiSolE apporte des connaissances sur le lien entre la biodiversité du sol et les services écosystémiques (recyclage des nutriments et stockage de carbone) en fonction des pratiques agricoles, et sur l'influence potentielle des changements climatiques.

#### Mission : dégrader et transformer la matière organique

En Afrique subsaharienne, les petits exploitants cultivent de quoi se nourrir. La vie de millions d'habitants repose donc sur l'agriculture vivrière. Ne bénéficiant pas de système d'irrigation, seule la pluie apporte de l'eau à leurs cultures. Les plantes réclament aussi des éléments essentiels, l'azote et le phosphore, souvent rares dans le sol. C'est pourquoi les paysans versent dans leurs champs des sources nutritives comme le fumier, les résidus de culture ou le compost. Mais l'azote et le phosphore y sont présents sous une forme que les plantes ne peuvent pas assimiler. C'est là qu'interviennent des alliés de (petite) taille : les microorganismes du sol.

Bactéries, champignons et protozoaires libèrent autour d'eux des enzymes qui transforment la matière organique et rendent l'azote et le phosphore disponibles pour les végétaux. Le recyclage des nutriments, tout comme le stockage de carbone, est un service écosystémique fourni par les sols et qui repose sur leur biodiversité : dans seulement un gramme se trouvent jusqu'à 4 000 espèces de bactéries.

Tous ces microbes ne fonctionnent pas de la même manière.

Certains consomment de la matière organique fraîche, comme des morceaux de plantes tombés au sol. Ce sont les « décomposeurs » qui transforment cette matière en humus (on parle d'humification). Comme ils ne peuvent pas ingérer des morceaux de plantes beaucoup plus gros qu'eux, ils sont obligés de libérer à l'extérieur des enzymes qui vont digérer ces morceaux et les transformer. Les petites molécules, produits de cette digestion, pourront ensuite être ingérées par les décomposeurs. D'autres microbes, appelés « mineurs », préfèrent la matière organique plus ancienne et déjà modifiée, l'humus, qui est riche en azote et en phosphore.

Lorsque de la matière organique fraîche, qui est beaucoup plus pauvre en azote et en phosphore, arrive dans le sol, cela stimule les deux types de microbes.

Les décomposeurs s'en servent directement pour croître en prenant dans le sol les nutriments azote et phosphore dont ils ont aussi besoin. Par ailleurs, les enzymes qu'ils libèrent vont également aider à digérer une matière organique un peu moins fraîche, qui était déjà dans le sol. Les mineurs par contre tirent de cette matière organique fraîche l'énergie nécessaire pour aller retirer l'azote et le phosphore de la matière organique ancienne. Dans les deux cas, l'arrivée d'une matière organique fraîche stimule la décomposition de la matière organique déjà présente. Cette stimulation est appelée « priming effect ».

De l'activité de ces différents microbes dépend la fertilité des sols et l'accessibilité des nutriments aux plantes. Cette activité est soumise aux caractéristiques physiques et chimiques du sol. Or, avec les changements climatiques, les sécheresses risquent de se multiplier et la température du sol d'augmenter par endroits. Le projet CAMMiSolE a donc cherché à répondre aux questions suivantes : quelle est l'importance des microorganismes du sol pour les services écosystémiques ? Comment les changements climatiques affecteront-ils la biodiversité du sol et donc ces mécanismes ? Quelles sont les cultures et les techniques agricoles à adopter pour un agriculteur qui voudrait y faire face ?

### **D'un bout à l'autre du continent africain, regardons les sols de plus près**

Impossible de comprendre ce qui se passe dans la terre sans se salir les mains. Les chercheurs du projet CAMMiSolE ont donc recueilli de nombreux échantillons de sols. Et ce, dans deux régions tropicales très contrastées : Madagascar, avec un sol argileux et un climat humide, et l'Afrique de l'Ouest, avec un sol sableux et un climat sec. Les sols agricoles étudiés faisaient l'objet de différentes pratiques, traditionnelles ou bien agro-écologiques : conversion de cultures vivrières en parcelles d'agroforesterie et reforestation de zones de savane. Les chercheurs ont décrit les caractéristiques physiques et chimiques de ces échantillons : texture, pH, minéralogie, humidité, contenu en carbone et en nutriments assimilables. Puis, ils ont analysé finement la composition des communautés de bactéries et de champignons à l'aide de l'ADN présent, ainsi que la capacité de celles-ci à minéraliser les résidus de culture (paille de blé ou de riz) et à générer du *priming effect*.

Pour que les données ainsi mesurées servent à anticiper le futur, il a ensuite fallu passer par des simulations informatiques : des modèles. Imaginez un cube, et divisez-le en cubes plus petits. De cette manière, chaque petit cube représente, dans le sol en trois dimensions, une particule minérale, une particule organique ou un espace vide (pore). Entiers, vos petits cubes représentent l'échelle la plus grosse : les particules minérales sous forme de sables grossiers et les particules organiques sous forme de débris végétaux. Si vous divisez vos petits cubes, vous obtenez l'échelle en dessous : celle des sables fins et des limons et de la matière organique jeune en décomposition. Enfin, si vous les divisez une dernière fois, vous obtenez l'échelle la plus fine, celle de l'argile et de l'humus. Entre vos cubes, imagi-

nez maintenant des flèches : ce sont les taux de décomposition, de croissance, de minéralisation ou encore de prédation pour les différents types de microbes. Des flèches venant de l'extérieur figurent l'apport de matière organique. Ca y est, voici votre modèle, ou plutôt celui de CAMMiSolE.

Et pour mieux comprendre les décisions prises par les agriculteurs et leur impact sur la vie des sols, les chercheurs ont aussi fait participer des petits producteurs à un jeu sérieux les mettant en situation de pénurie (manque d'eau ou de fertilisant). Autour d'un plateau de jeu représentant un flanc de colline et avec des fiches cartonnées symbolisant les parcelles, les types de cultures et les fertilisants, 17 agriculteurs ont participé aux sessions. Leurs choix de mettre en rotation ou non leurs cultures en fonction des conditions imposées par le jeu ont été intégrées dans un modèle qui simule l'occupation spatiale des parcelles. Ainsi, les scientifiques ont obtenu, pour chaque type de culture, la probabilité qu'elle soit remplacée par une autre. Cela leur a permis de décrire et de reproduire les pratiques agricoles et leur effet sur le fonctionnement des services écosystémiques des sols.

### De la pluie, mais pas trop

L'équipe de CAMMiSolE a montré que la qualité – et pas seulement la quantité – de la matière organique était déterminante dans la génération de *priming effect*. Un phénomène confirmé par leur étude sur sols agricoles à Madagascar : le *priming effect* lié aux décomposeurs est favorisé par une teneur importante en fractions grossières (débris végétaux), et donc en matière organique jeune, tandis que celui lié aux mineurs est plutôt favorisé par une forte teneur en fractions fines (complexes d'argile et d'humus).

L'équilibre entre ces deux processus est important car l'un est plutôt une accélération de l'humification, donc de l'enrichissement du sol en matière organique, tandis que l'autre mène à un déstockage de matière organique ancienne et donc à un appauvrissement du sol. Cet équilibre dépend aussi du substrat et donc du type de culture, les résidus de riz étant plus favorables au *priming effect* des décomposeurs et la part soluble du blé stimulant plutôt les mineurs. La disponibilité en azote minéral favorise le *priming effect* des décomposeurs alors qu'une carence stimule celui des mineurs, avec une amplitude limitée par la disponibilité en phosphate.

En compilant les résultats obtenus en Afrique de l'Ouest avec ceux issus de Madagascar, ils ont mis en évidence que la variable présentant la plus forte relation positive avec le *priming effect* était la teneur en argile des sols. Ainsi, le *priming effect* devient négatif quand les sols ont une teneur en argile inférieure à 16 %. C'est-à-dire que l'apport d'une matière organique fraîche ne stimule plus la minéralisation d'une matière organique déjà présente. À l'inverse, les microorganismes qui étaient en train de décomposer la matière organique du sol se mettent tout de suite à décomposer la nouvelle qui vient d'arriver.

Plus la température est forte, plus la quantité de matière organique de haute qualité est réduite, de même que la quantité de microbes et la taille des ensembles fonctionnels de décomposeurs. Si la température annuelle défavorise le *priming effect* des décomposeurs, elle favorise celui des mineurs. Le réchauffement climatique devrait donc augmenter la vitesse de décomposition de la matière organique, au risque de déstabiliser les décomposeurs et d'appauvrir les sols. Pour conserver la fertilité des champs, il faudra probablement des apports en compost plus fréquents.

D'après les résultats du projet CAMMiSolE, trois pratiques agricoles peuvent favoriser la fertilité des sols.

Le labour est négativement corrélé à l'abondance relative des décomposeurs, ce qui réduit la minéralisation de la matière organique fraîche et le *priming effect* des décomposeurs. Ainsi, l'extension du non-labour dans la région permettrait de favoriser une communauté microbienne spécialisée dans la décomposition des débris végétaux. L'apport de matière organique fraîche sous forme de com-

post augmente l'azote disponible pour les plantes et améliore l'humidité des sols. L'introduction de rotations dans les champs de patate douce limite l'effet de cette culture sur l'appauvrissement du sol. Enfin, la culture de céréales (riz et maïs) a un effet complémentaire de celle des légumineuses (haricots verts et niébés) sur les déterminants biologiques, physiques et chimiques du sol.

### **Choisir quoi planter et comment le gérer**

Une version simplifiée du modèle servira à réaliser une application sur smartphone pour les agriculteurs. Ils pourront rentrer la couleur de leur sol, la localisation de leur parcelle, le précédent cultural (ce qui était planté auparavant) et la fertilisation organique passée. L'application leur proposera alors une rotation et une qualité de matière organique à apporter en une ou plusieurs fois. Deux ONG locales, ASK au Burkina Faso et AGRISUD à Madagascar, feront en sorte de la rendre accessible aux agriculteurs qui l'utiliseront afin de tester virtuellement différentes pratiques agricoles. Ils détermineront alors celles qui, dans leur cas, seraient les plus efficaces pour favoriser la biodiversité du sol, au bénéfice des services écosystémiques associés et donc d'un meilleur rendement pour leurs cultures, dans un contexte de changements climatiques.

Les jeunes chercheurs locaux qui contribuent au projet ont été formés aux nouvelles disciplines de modélisation et d'écologie moléculaire, afin qu'ils puissent poursuivre leurs travaux et répondre à des questions inédites qui se posent dans leur pays. Au-delà du projet, les modèles pourront être adaptés à d'autres situations et être utilisés pour réduire l'empreinte carbone et restaurer la qualité des sols ailleurs dans le monde.

#### **PARTENAIRES DU PROJET**

Université d'Antananarivo, Madagascar ; IRD-ISRA, Sénégal ; Inra, France ; AgriSud International, France ; Association Song Koadba (ASK), Burkina Faso