

FICHE SYNTHÈSE

Sous-volet 3.1 – Appui au développement expérimental, à l’adaptation technologique et au transfert technologique des connaissances en agroenvironnement

TITRE

MESURES ET INTERPRÉTATIONS D'INDICATEURS DE LA SANTÉ ET CONSERVATION DES SOLS DANS LE CADRE D'UN DISPOSITIF DE LONGUE DURÉE EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES

ORGANISME Centre d’expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+)

AUTEURS Gilles Gagné et Michaël Leblanc

INTRODUCTION

Le concept de service écosystémique est devenu courant durant les années 2000 lors de la publication du rapport du *Millenium Ecosystem Assessment*. Ces services sont classés selon quatre types ou fonctions, les services d’approvisionnement (ex. la production d’aliments), les services de régulation (ex. climat), les services de support (ex. cycle de l’eau) et les services culturels (ex. parcs récréatifs). Les écosystèmes agricoles rendent une multitude de services et ceux rendus directement ou indirectement par les sols sont nombreux. De son côté, la gestion des sols et de leur santé fait l’objet d’une grande préoccupation à travers la planète notamment en lien avec les changements climatiques, et ce particulièrement pour la sécurité alimentaire puisque des sols en santé sont plus résilients aux changements climatiques, donc plus propices à produire davantage d’aliments sur une base stable annuellement. La qualité du sol est sa capacité à remplir différentes fonctions alors que la santé des sols réfère davantage à sa capacité à fonctionner comme un système vivant. Les sols en bonne santé maintiennent en leur sein une diversité d’organismes qui contribuent à combattre les maladies des plantes, les insectes nuisibles et les adventices, s’associent de façon bénéfique et symbiotique aux racines, recyclent les nutriments végétaux essentiels, améliorent la structure du sol et ainsi la rétention des eaux et des nutriments, le tout contribuant à améliorer la production végétale. La production agricole en mode biologique est très prometteuse afin d’améliorer l’état des agroécosystèmes. La santé des sols en production biologique et les indicateurs associés sont étroitement liés aux organismes vivants dans le sol, particulièrement dans la couche de surface.

OBJECTIFS

L’objectif général était de documenter les effets de pratiques agricoles actuelles et innovantes sur des indicateurs de la santé de sols de surface durant trois ans (2020, 2021, 2022) dans le cadre d’un dispositif expérimental de longue durée en grandes cultures biologiques (DLD-GCB) mis en place en 2019 sur la ferme expérimentale du CETAB+ située à Victoriaville. Ce dispositif expérimental comprend quatre séquences agronomiques, soit différentes rotations de cultures annuelles (maïs-grain, soya, céréales) dont une inclut une prairie, ainsi que des itinéraires de référence (prairie permanente et sol à nu) et un itinéraire novateur en semis direct sous couvert végétal (SDCV). Les rotations de culture pour les séquences 1 à 4 de 2019 à 2022 étaient : 1) : Céréale - Maïs-grain - Soya - Céréale; 2) : Soya - Céréale - Soya - Soya; 3) : Maïs-grain - Soya - Prairie avec céréale en plante abri – Prairie; 4) : Céréale - Céréale - Maïs-grain -Soya. Les principales variables selon les séquences 1 à 4 sont le travail du sol de surface (labour ou travail réduit, soit chisel ou scalpeur, au printemps ou à l’automne) et l’utilisation ou non d’engrais de ferme (fumier de poulet) à des fins de fertilisation. Il y a ainsi 15 traitements avec quatre répétitions pour un total de 60 parcelles d’une dimension de 6 m par 20 m. Les objectifs spécifiques du projet consistaient à mesurer à plusieurs moments des propriétés agropédologiques modifiables pour chacune des parcelles du DLD-GCB, soit les cinq indicateurs suivants : masse volumique apparente (MVA), agrégation (proportion et stabilité des agrégats), activité biologique et teneur en carbone labile. En plus, les pourcentages de matière organique des sols de surface (0-20 cm) en 2019, 2020 et 2022 ont aussi été inclus dans l’analyse.

MÉTHODOLOGIE

Voici un résumé de la méthodologie utilisée pour chacun des indicateurs mesurés. 1) La MVA a été mesurée à l’aide d’un cylindre enfoncé à la verticale dans le sol de la parcelle entre 5 et 10 cm de profondeur. Un cylindre d’une hauteur de 5 cm et d’un diamètre intérieur de 6,3 cm a été utilisé. Les résultats sont exprimés sur une base sèche en gr/cm^3 . 2) La proportion d’agrégats d’un diamètre de plus de 2 mm a été évaluée selon la proportion massique d’agrégats entre 2 et 6 mm par rapport au poids total sec de l’ensemble des agrégats de 0 à 6 mm. Un bloc de sol de surface d’environ 10 cm x 10 cm x 10 cm a été prélevé entre 5 et 15 cm de profondeur. Le sol de ce bloc a été tamisé afin de distinguer les deux fractions sur une base massique (agrégats de plus de 2 mm et agrégats de 2 mm et moins) et ainsi d’effectuer le calcul du pourcentage d’agrégats de plus de 2 mm. 3) La stabilité des agrégats entre 1 et 2 mm et entre 2 et 4 mm a été mesurée avec un appareil *Wet sieving apparatus* de la compagnie Eijkelkamp. Pour chacune des fractions, les résultats sont exprimés en pourcentage d’agrégats stables sur une base de poids sec. 4) L’activité biologique a été mesurée avec des sols prélevés depuis moins de 24 heures selon la méthode développée par la compagnie Solvita. Une quantité de 90 grammes du sol prélevé est insérée dans un pot et une languette-sonde indicatrice par colorimétrie (gel indicateur) de la teneur en CO_2 émise par le sol est enfoncée dans le sol. Après 24 heures, une lecture de la couleur du gel de la languette avec un colorimètre est effectuée. Les résultats sont exprimés en ppm de CO_2 . 5) Pour le carbone labile, un sous-échantillon du sol prélevé lors de l’échantillonnage pour l’activité biologique a été séché et tamisé à 2 mm. Avec ce sous-échantillon, la quantité de carbone labile a été extraite au permanganate [POxC] et mesurée avec un spectrophotomètre selon la méthode développée par Weil et al. (2003). Les résultats sont exprimés en quantité (mg/kg de sol). Pour l’ensemble du projet, il y a eu 780 mesures de la MVA, 780 mesures de la proportion d’agrégats de sols de plus de 2 mm, 420 mesures de la stabilité des agrégats 1 à 2 mm, 420 mesures de la stabilité des agrégats de 2 à 4 mm, 720 mesures de l’activité biologique et 720 mesures du carbone labile; pour un total de 3840 mesures.

RÉSULTATS

Matière organique (MO). Les pourcentages de MO des sols de surface ont significativement diminué pour l'ensemble des traitements de 2019 à 2022. Le facteur traitement n'a pas montré d'effet significatif sur le contenu en MO. Aucune différence significative du pourcentage de MO n'a été détectée selon les séquences, le travail primaire du sol et les apports ou non de fumier de poulet. Le contenu en MO a diminué entre 2019 et 2022 à un taux linéaire variant de -0,061 à -0,252 % par année. Le traitement en prairie permanente présente le taux de variation le plus faible. **Carbone labile (POxC).** Le facteur traitement n'a pas montré d'effet significatif sur la teneur en carbone labile du sol, mais le facteur date d'échantillonnage a montré un effet significatif, excepté pour l'année 2022. La teneur en POxC a augmenté entre 2020 et 2022 pour l'ensemble des traitements à un taux linéaire variant de 29,24 à 60,36 mg kg⁻¹ par année. Les traitements avec labour semblent présenter une influence moins marquée sur la variation à la hausse de la teneur en POxC que les autres traitements. **Respiration du sol (test Solvita).** Les analyses de variance montrent que les facteurs date d'échantillonnage et traitement ont eu des effets significatifs sur la respiration du sol. Au mois d'août 2022, des écarts importants ont été observés entre les traitements et ce sont notamment les traitements chisel avec fumier et prairie permanente qui ont montré les moyennes les plus élevées. À cette même date, les traitements labour avec fumier ont montré les moyennes les plus faibles. **Masse volumique apparente (MVA).** Les analyses de variance montrent que la MVA a été affectée significativement par les facteurs date d'échantillonnage et traitement. La MVA a évolué à la baisse ou à la hausse à des taux annuels variant de -0,110 à 0,048 g cm⁻³. L'évolution de la MVA par traitement est relativement constante à l'intérieur de chacune des séquences. La variation importante des données selon la date d'échantillonnage indique l'importance d'effectuer relativement au même moment en relation avec les perturbations du sol par les pratiques culturales, les mesures de MVA à diverses fins comme pour mesurer l'évolution des quantités de carbone organique par couche de sol. **Proportion d'agrégats >2 mm.** Les analyses de variance montrent que la proportion massique d'agrégats de plus de 2 mm par rapport à ceux de 0 à 6 mm a été affectée significativement par le facteur traitement à toutes les années et par le facteur date d'échantillonnage en 2020 et 2021. Cet indicateur a engendré des différences ponctuelles à certaines dates d'échantillonnage pour certains traitements, mais il s'est avéré peu utile à l'étude de ce dispositif. **Stabilité des agrégats 1-2 mm.** Les analyses de variance montrent que la stabilité des agrégats 1 à 2 mm a été affectée significativement par les facteurs date d'échantillonnage et traitement en 2020 et par le facteur traitement en 2022. Les taux de variation annuelle montrent une tendance à la baisse de la stabilité des agrégats 1 à 2 mm. Notons que cette variation de la stabilité est plus faible avec les traitements avec travail du sol par le labour pour les séquences 3 et 4, possiblement que les agrégats sont moins sujets à un contact agressif, et donc désagrégateur, avec le labour par rapport au chisel et au scalpeur. **Stabilité des agrégats 2-4 mm.** Les analyses de variance montrent que la stabilité des agrégats 2 à 4 mm a été affectée significativement par les facteurs date d'échantillonnage et traitement en 2020 et par le facteur traitement en 2021 et 2022. L'effet traitement a été plus marqué à certaines dates et plus particulièrement en septembre 2021. Le traitement sol nu a montré les plus faibles valeurs moyennes dès les premiers mois de l'étude. Les taux de variation annuelle montrent une légère tendance à la baisse de la stabilité des agrégats 2 à 4 mm. Cette tendance à la baisse est moins marquée pour le labour comme ce fût le cas comme pour les agrégats de 1 à 2 mm. **Analyse globale des indicateurs.** Une analyse discriminante linéaire a été effectuée avec toutes les données des indicateurs afin d'évaluer si ces propriétés de sol permettent de différencier les séquences agronomiques 1 à 4 et leurs traitements ainsi que les traitements de référence (prairie permanente et jachère avec sol à nu). Les séquences sont bien discriminées par les indicateurs, mais dans une moindre mesure pour la séquence 4. Les traitements des séquences 1, 2 et 3 sont relativement bien regroupés selon les deux premiers axes discriminants. Il semble donc que l'effet des traitements sur les indicateurs est d'abord lié aux pratiques intra-séquences (cultures, précédents culturaux, période du travail de sol). Notons que le traitement jachère sol nu est bien discriminé des autres traitements. **Analyse des rendements en relation avec les indicateurs.** Des modèles ont été élaborés par apprentissage automatique afin d'explorer les relations entre les rendements et les indicateurs, les pratiques culturales et des variables climatiques. En raison du petit nombre d'observations (120) avec des mesures de rendement, les modèles itérés étaient relativement instables, mais ont permis de dégager des tendances intéressantes. Le rendement des cultures semble avoir été maximisé avec une stabilité des agrégats 2-4 mm en août supérieure à 75 %, un test Solvita en août supérieur à 24 mg C-CO₂ kg⁻¹ et une MVA en mai inférieure à 1,5 g cm⁻³. Le rendement a été plus particulièrement influencé par le travail du sol, les séquences et l'application de fumier dans les itinéraires.

IMPACTS ET RETOMBÉES DU PROJET

Ce projet a permis d'obtenir des données probantes pour plusieurs indicateurs associés à la santé et conservation des sols. Les résultats indiquent qu'il n'y a pas d'indicateur idéal, mais qu'une combinaison d'indicateurs est requise, incluant les rendements des cultures, pour évaluer l'effet d'itinéraires agronomiques sur la santé des sols. L'utilisation de l'apprentissage automatique, une forme d'intelligence artificielle axée sur le développement d'algorithmes statistiques capables de détecter des relations complexes, s'avère une avenue prometteuse pour diagnostiquer la productivité d'agrosystèmes végétaux à l'aide d'un ensemble d'indicateurs et pour établir les changements et les pratiques agricoles à mettre en place afin d'obtenir des performances optimales et durables au bénéfice de l'ensemble de la société. À court terme, les itinéraires étudiés causent une diminution de la teneur en MO du sol de surface et tendent à réduire la stabilité des agrégats. Ces itinéraires font augmenter le carbone labile (POxC) et tendent à augmenter la respiration du sol (Solvita). Soulignons que des tendances constatées durant les premières années de l'implantation d'un dispositif de longue durée peuvent être inversées après plusieurs années, une fois que le dispositif nouvellement implanté est entré dans une période de plus grande stabilité. Les effets des traitements sont alors souvent plus facilement distinguables par rapport aux changements causés par l'implantation de nouveaux itinéraires agronomiques en mode biologique sur un site en mode conventionnel depuis de nombreuses années. C'est notamment une des raisons pour laquelle il est important de maintenir en place de tels dispositifs pendant de longues périodes de temps.

DÉBUT ET FIN DU PROJET

Avril 2020 / Mai 2024

POUR INFORMATION

Gilles Gagné
CETAB+ - Cégep de Victoriaville
475, rue Notre-Dame Est
Victoriaville (Québec) G6P 4B3
Courriel : gagne.gilles@cegepvicto.ca