

**MESURES DE GES SELON QUATRE ITINÉRAIRES DE TRANSITION
EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES AFIN D'ÉVALUER
LEUR POTENTIEL DE RÉDUCTION D'ÉMISSIONS**

NUMÉRO DU PROJET : 17-GES-05

DURÉE DU PROJET : 04 2018 / 04 2020

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Gilles Gagné, Julie Anne Wilkinson et François Gendreau-Martineau
Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+)

En collaboration avec :

David Pelster, Normand Bertrand et Martin Chantigny
Centre de recherche et de développement de Québec d'Agriculture et Agroalimentaire Canada
et
Caroline Halde, Département de phytologie, Université Laval

23 avril 2020

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

MESURES DE GES SELON QUATRE ITINÉRAIRES DE TRANSITION EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES AFIN D'ÉVALUER LEUR POTENTIEL DE RÉDUCTION D'ÉMISSIONS

NUMÉRO DU PROJET : 17-GES-05

RÉSUMÉ DU PROJET

Ce projet visait à documenter et comparer quatre itinéraires agronomiques de transition en grandes cultures en mode biologique en regard des émissions de GES (CH₄, CO₂ et N₂O) et de la dynamique de l'azote dans le cadre d'un dispositif expérimental en parcelles avec quatre répétitions mis en place en 2017 sur la ferme expérimentale du CETAB+ à Victoriaville. Des cadres pour le captage des GES ont été incorporés dans le sol dans un inter-rang de chacune des 16 parcelles de ce dispositif en 2018 (maïs-grain) et 2019 (soya) et les GES ont été captés périodiquement à l'aide d'une chambre-couvert, d'une seringue et de tubes sous vide. Les GES ont été quantifiés avec un chromatographe pour les gaz. Cela a permis d'établir les quantités de GES émises ou captées par les sols selon les traitements. Des différences significatives d'émissions selon les itinéraires ont été mesurées. L'implantation d'un engrais vert de trèfle rouge en 2017 dans les parcelles de trois des quatre itinéraires alors cultivées en orge a permis de démontrer que c'est celui sans apport de fumier qui s'est avéré émettre le moins de GES et d'obtenir la plus grande marge économique positive. Selon les résultats obtenus, l'implantation d'un engrais vert performant dans une céréale sans apport subséquent de fumier s'avère le meilleur itinéraire agroéconomique et environnemental dans le cadre d'une transition en grandes cultures biologiques utilisant une rotation annuelle céréale, maïs-grain et soya alors que l'incorporation de fumier avec un labour au printemps lors de l'année en maïs-grain a été l'itinéraire émettant le plus de N₂O. L'analyse économique a permis d'extrapoler les réductions d'émission de N₂O mesurées aux échelles de la ferme et du secteur des grandes cultures (mode biologique et mode conventionnel devenant biologique) ainsi que d'aborder la perspective de la mise en place d'un marché du carbone associé.

Référence proposée :

Gagné G., Wilkinson J.A., Gendreau-Martineau F., Pelster D., Bertrand N., Chantigny M. et Halde C. 2020. Mesures de GES selon quatre itinéraires de transition en grandes cultures biologiques afin d'évaluer leur potentiel de réduction d'émissions. Rapport final. Projet numéro 17-GES-05. Programme Prime-Vert volet 4 – Appui au développement et au transfert de connaissances. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 64 pages.

TABLE DES MATIERES

Résumé du projet	2
Objectifs et aperçu de la méthodologie	4
Résultats significatifs obtenus	7
Diffusion des résultats	11
Applications possibles pour l'industrie	12
Point de contact pour information	13
Remerciements aux partenaires	13
ANNEXES	14
Annexe 1. Plan et photo du dispositif expérimental	14
Annexe 2. Itinéraires agronomiques en 2017, 2018 et 2019	16
Annexe 3. Date et détail des principaux travaux en 2017, 2018 et 2019	17
Annexe 4. Photos des captages terrain des GES.....	19
Annexe 5. Graphiques des émissions de CO ₂ , le N ₂ O et le CH ₄ ; différences significatives ou non et mesures de température du sol et en eau volumétrique pour 2018 et 2019.....	20
Annexe 6. Extraction de l'azote minéral (NO ₃ /NH ₄) de sols frais KCl 1M.....	29
Annexe 7. Détermination de l'humidité du sol pour calculs sur masse sèche	30
Annexe 8. Teneurs mesurées (NO ₃ , NH ₄ et N-minéral total) dans le sol de surface (0-15 cm) par traitement pour 2018 et 2019.....	31
Annexe 9. Analyses du sol de surface pour chacune des parcelles.....	34
Annexe 10. Résultat des analyses des engrais organiques appliqués en 2017 (fumier composté de bovins laitiers) et 2018 (fumier de poulets à griller) et doses et quantités d'azote appliqué pour les traitements A, B et D.....	39
Annexe 11. Rendements, pourcentages d'azote, rapports C sur N et apports en azote total des engrais verts incorporés par traitement en 2017	42
Annexe 12. Rendement en grains en t/ha des cultures en 2018 (maïs) et 2019 (soya)	43
Annexe 13. Rendements moyens en maïs-grain 2018 et en soya 2019 selon les traitements et différences significatives ou non (ANOVA p < 0.05).....	45
Annexe 14. Données saisonnières compilées des émissions de GES jumelées aux itinéraires et aux rendements pour chacune des quatre répétitions pour l'année 2018 en maïs-grain et pour l'année 2019 en soya.....	46
Annexe 15. Analyse économique des quatre itinéraires agronomiques	47
Annexe 16. Budgets complets et notes maïs et soya et références	54
Annexe 17. Rapport Holos pour l'estimation des émissions de N ₂ O de référence	58
Annexe 18. Affiche présentée lors du 32 ^e congrès de l'AQSSS le 13 juin 2018	63

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif principal du projet était de documenter et comparer quatre itinéraires utilisés en grandes cultures biologiques durant la période de transition (3 ans) en regard des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de la dynamique de l'azote pour les 2^e et 3^e années (respectivement maïs-grain et soya) de cette transition.

Les objectifs spécifiques étaient les suivants :

- mettre en place des cadres dans le sol selon un dispositif expérimental déjà existant afin de déposer sur ceux-ci des chambres de captage des GES;
- collecter régulièrement les GES émis afin de quantifier les émissions d'avril à octobre;
- prélever régulièrement du sol de surface des parcelles afin de quantifier l'azote minéral (N-NO₃ et N-NH₄) d'avril à novembre;
- effectuer une analyse économique des itinéraires étudiés incluant les GES.

Le dispositif sur le site était constitué de parcelles de 9 mètres par 30 mètres disposées en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions des quatre itinéraires agronomiques pour un total de 16 parcelles (Annexe 1). Ce dispositif avait été mis en place en 2017 pour le projet Prime-Vert Évolution de la biodiversité en transition biologique : validation d'une méthode de suivi (16-BIO-02). Le lecteur est invité à consulter le rapport et la fiche synthèse de ce projet pour plus d'information sur celui-ci. Les mesures de GES et celles associées se sont donc ajoutées en 2018 et se sont poursuivies en 2019 dans le cadre du présent projet.

Les différents itinéraires choisis reflètent des modèles actuels de transition en mode biologique chez les producteurs agricoles de grandes cultures. Ils reposent essentiellement sur une rotation de trois cultures annuelles : orge, maïs-grain et soya, celles-ci avec engrais vert et/ou apport d'engrais de ferme (Annexe 2). La première année (2017) l'orge fut la culture principale sur toutes les parcelles alors que le maïs-grain fût la culture en 2018 et le soya en 2019. Les principales opérations culturales de 2017 à 2019 selon les itinéraires avec les dates associées sont détaillées à l'Annexe 3.

La méthodologie utilisée pour le captage des GES est celle développée par des chercheurs du Centre de recherche et de développement de Québec d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). En résumé, un cadre de plexiglas de 14 cm de hauteur est inséré à 10 cm de profondeur et, dans la mesure du possible, laissé en place pour toute la durée de la période de mesure afin d'éviter le dérangement du sol de surface, ce qui interférerait avec l'émission normale des gaz du sol vers l'atmosphère. Une chambre, soit un couvercle de la même dimension que le cadre, est installée périodiquement pour mesurer le taux d'émission des principaux gaz d'intérêt, soit le protoxyde d'azote (N₂O), le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄). La dimension du cadre, et donc de la chambre, varie selon l'espacement entre les rangs des cultures. Par exemple, des cadres et des chambres de 55 cm x 55 cm sont utilisés pour les cultures à large entre-rang, comme le maïs et le soya alors que des cadres et des chambres plus étroites sont utilisés pour les cultures avec un entre-rang étroit comme les céréales. Pour ce projet, des cadres et des chambres de 55 cm x 55 cm ont donc été utilisés puisqu'il s'agit de cultures à large entre-rang (76,2 cm), soit le maïs et le soya. Au moment du déploiement des chambres, celles-ci sont déposées et scellées sur chaque cadre et un échantillon de l'atmosphère interne de la chambre est prélevé à intervalle

régulier (0, 8, 16 et 24 minutes après le déploiement) à l'aide d'une seringue dont l'aiguille est insérée au travers d'un septum situé dans la paroi supérieure de chaque chambre. L'échantillon est immédiatement transféré dans une éprouvette (ou vial) scellée sous vide et envoyé au laboratoire d'AAC pour analyses. Le volume de l'échantillon injecté dans l'éprouvette est environ le double du volume de l'éprouvette afin de minimiser la contamination par l'air ambiant et faciliter le prélèvement automatique lors de l'analyse des GES. La composition de l'échantillon de chaque éprouvette est mesurée par chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'un chromatographe équipé d'un détecteur à capture d'électron et d'un détecteur à ionisation par flamme couplé à un méthaneur. Les taux d'émission de chaque gaz sont ensuite calculés selon l'équation proposée par Rochette et Bertrand en 2008. Notons le cas particulier du méthane puisque pour les sols exondés des bactéries méthanotrophes aérobies consomment habituellement ce gaz à la suite d'un processus d'oxydation en CO_2 , et ce particulièrement dans les sols cultivés bien que parfois l'on constate au contraire de faibles émissions.

David Pelster, chercheur à AAC spécialisé dans les échanges gazeux entre les sols et l'atmosphère, et Normand Bertrand, professionnel de recherche en agrométéorologie à AAC spécialisé dans le prélèvement et les analyses des gaz émis par les sols, se sont déplacés sur le site au début de la saison 2018 afin d'indiquer à des membres de l'équipe de recherche du CETAB+ comment bien procéder à l'installation des cadres dans le sol afin de servir d'assise à la chambre, à la mise en place et au scellé des chambres servant aux captages, à la façon d'effectuer l'échantillonnage des gaz contenus dans la chambre à l'aide d'une seringue via le septum situé sur le dessus et d'insérer ce gaz dans un vial sous vide muni d'un bouchon avec septum afin d'y introduire le contenu de la seringue. L'Annexe 4 présente quelques photos de cette procédure sur le terrain.

Les cadres pour les captages de GES sur chacune des parcelles ont été installées une première fois le 8 mai 2018 alors que les captages ont été effectués 1 à 2 fois par semaine selon les directives des collaborateurs d'AAC, et ce jusqu'au 24 octobre inclusivement. Les cadres ont été retirés à la fin d'octobre 2018 afin d'être entreposés. Les cadres ont été remis en place le 25 avril 2019 alors que les captages des GES ont de nouveau été effectués 1 à 2 fois par semaine selon les directives des chercheurs d'AAC, et ce jusqu'au 29 octobre inclusivement. Respectivement pour 2018 et 2019, 28 et 27 captages ont été effectués. Puisque du désherbage mécanique est effectué en grandes cultures biologiques, nous avons donc dû enlever et replacer les 16 cadres à plusieurs reprises et ainsi reprendre à chaque fois les mesures de hauteur entre le sol de surface et le sommet du cadre afin de bien considérer ce volume en plus du volume constant retrouvé à l'intérieur des chambres. Cependant, à la suite d'une directive des collaborateurs d'AAC, des travaux de sols superficiels effectués sur l'ensemble de la parcelle ont été reproduits avec un outil (râteau ou griffe) autour et à l'intérieur des cadres.

Pour bien suivre les émissions, la fréquence requise des captages est reliée aux applications d'engrais minéraux azotés, d'engrais de ferme (fumiers, lisiers, composts) et aux travaux de sol en lien avec les précipitations (teneurs en eau du sol) et la température du sol puisque ces facteurs influencent notamment les émissions de N_2O à la suite du processus de dénitrification, le processus dominant de ces émissions. Il est donc essentiel de faire les captages en fonction de ces facteurs afin bien mesurer les événements importants d'émissions. Au même moment que ces

prélèvements, la teneur en eau volumétrique du sol de surface sur 12 cm est mesurée à l'aide d'un appareil TDR 150 ainsi que la température du sol à 5 cm à l'aide d'un thermomètre.

Les GES insérés dans les vials ont été quantifiés gracieusement au laboratoire de David Pelster d'AAC. Les quantités associées aux quatre prélèvements d'un même moment d'échantillonnage par parcelle sont traitées via une équation afin d'obtenir une émission naturelle représentative. Ces données sont présentées par moment de captage et cumulativement à l'aide de graphiques à l'Annexe 5 pour les années 2018 et 2019 respectivement pour le CO₂, le N₂O et CH₄, les mesures de température du sol et en eau volumétrique sont présentées subséquemment et des comparatifs par traitement sont ensuite présentés.

En complément, un échantillonnage du sol de surface (0-15 cm) par parcelle a été effectué 2 fois par semaine entre le 8 mai et le 29 mai 2018 (période reliée à l'application de fumier), puis une fois toutes les 2 semaines selon les directives des collaborateurs d'AAC afin de mesurer les teneurs en azote minéral. En 2019, cet échantillonnage s'est effectué 1 fois par semaine jusqu'au 12 juin puis ensuite 1 fois par 2 semaines. Les extractions de l'azote minéral (NO₃ et NH₄) au KCl ont été effectuées au laboratoire du CETAB+ selon le protocole d'extraction présenté à l'Annexe 6 alors que leur dosage a été effectué gracieusement au laboratoire de Martin Chantigny d'AAC. À la suite des extractions, notons qu'une faible contamination en NH₄ des blancs a parfois été constatée, dans ces cas les petites quantités retrouvées ont été soustraites des quantités mesurées avec des sols pour ce moment de mesure. Afin d'obtenir les teneurs en NO₃ et NH₄ sur une base sèche, l'humidité du sol a été mesurée dans le laboratoire du CETAB+ selon le protocole présenté à l'Annexe 7. Les teneurs mesurées (N-NO₃, N-NH₄ et N-minéral total) par traitement pour 2018 et 2019 sont présentées à l'Annexe 8.

La série de sols dominante sur le site de l'expérimentation est Saint-Jude avec, selon la topographie et le drainage naturel associé, des petites zones de Sainte-Sophie et de Saint-Samuel. Le drainage naturel dominant est modérément bon à imparfait. Sous le sol de surface, il s'agit d'un sable ou d'un sable loameux. D'importants fossés pour l'évacuation de l'eau souterraine sont présents à proximité du site sur trois des quatre côtés (voir photo de l'annexe 1) et il n'y pas de système de drainage souterrain. Aucune accumulation particulière d'eau n'a été constatée sur les parcelles pendant la saison de végétation. Par ailleurs, des analyses du sol de surface (0-17 cm) échantillonné en septembre 2017 pour chaque parcelle ont également été effectuées subséquemment afin d'évaluer l'homogénéité de départ des teneurs en éléments nutritifs et en matières organiques ainsi que de la granulométrie. Les rapports d'analyse et une compilation des teneurs en matière organique et en sable et argile par traitement et par bloc sont présentés à l'Annexe 9, la teneur moyenne du site en matière organique est de 6,15 % (écart-type de 0,64 selon les traitements) alors que la classe texturale est toujours le sable loameux. Notons qu'une analyse du sol de surface prélevé à l'automne 2016 sur l'ensemble du site a engendré l'apport de sulfate de potassium en mai 2018.

Les engrais de ferme appliqués (compost de bovins laitiers en 2017 et fumier de poulets en 2018) ont également fait l'objet d'analyses en laboratoire afin d'obtenir notamment les quantités d'azote appliquées; les rapports d'analyses sont présentés à l'Annexe 10 ainsi qu'un bilan des quantités d'azote appliquées.

À la fin de la saison 2017, une évaluation de la biomasse des engrais verts avait été effectuée dans la perspective de l'ajout d'un projet de recherche sur le site alors dédié seulement aux mesures de la biodiversité (projet Prime-Vert 16-BIO-02). Les échantillons conservés ont été envoyés subséquemment à un laboratoire externe afin d'obtenir leur contenu en azote et en carbone et ainsi évaluer les apports en azote végétal et les rapports C sur N. Ces données sont présentées à l'Annexe 11. Également, une évaluation générale des rendements en orge pour les traitements A, B et D avait été effectuée en août 2017. Le rendement moyen en grains tel que récolté a été de 2,58 t/ha avec un écart-type de 0.74.

Les rendements en maïs-grain (2018) et en soya (2019) ont été mesurés conjointement par les équipes du CETAB+ et de la professeure-chercheuse Caroline Halde du Département de phytologie de la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval. Ces données sont présentées à l'Annexe 12. Des échantillonnages et des mesures complémentaires ont été effectués par l'équipe de Caroline Halde en collaboration avec l'équipe du CETAB+, notamment dans le cadre d'un projet de maîtrise d'une de ses étudiantes, Kadidia Moussa Traore, utilisant des données de ce projet.

Soulignons que les conditions climatiques très humides à compter de la mi-octobre 2018 ont retardé la récolte du maïs-grain au 12 novembre. Il n'a pas été possible de faire les travaux de sol prévus initialement à l'automne à la suite de cette récolte en raison de la présence hâtive de neige et du sol gelé, aucune fenêtre subséquente pour ces travaux ne s'étant présentée. Le labour à l'automne prévu dans les parcelles des itinéraires agronomiques B et C ainsi que le passage à l'automne de disques lourds pour l'itinéraire D n'ont malheureusement pas été possibles pour ces raisons, ces travaux ont donc été effectués au printemps 2019. Ainsi, les émissions et les rendements en soya pour l'année 2019 ne pouvaient plus être éventuellement distingués sur la base de ces différents moments de travail du sol. Les principales données du projet ont fait l'objet d'analyses statistiques (ANOVA) avec le logiciel R afin de déterminer s'il y avait ou non des différences significatives. Des données ont été normalisées. Le seuil de significativité a été fixé à 0,05.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Les rendements en maïs-grain en 2018 ont été équivalents pour les traitements A, B et C, soit une moyenne 10,5 t/ha (Annexe 13). Pour ces traitements, l'apport ou non de fumier de poulets (7 t/ha) et un labour à l'automne ou au printemps (ce dernier subséquemment à l'application du fumier) n'ont donc pas engendré de différence significative. Pour le traitement C (sans fumier), il est possible que le fauchage à l'épiaison de l'orge en 2017 ait favorisé une meilleure fertilité du sol étant donné les éléments nutritifs prélevés par l'orge et laissés au sol au lieu d'être exportés hors des parcelles avec ce traitement, mais ceci ne s'est pas traduit par un rendement plus élevé en maïs-grain ou un apport supérieur en azote par l'engrais vert de trèfle rouge du traitement C comparativement aux traitements A et B. Pour le traitement D, le rendement moyen a été de 5.6 t/ha. Ce faible rendement s'expliquerait par l'application de fumier de bovins laitiers composté (35 t/ha) en 2017 à un moment inapproprié (début septembre) engendrant alors une minéralisation trop hâtive de l'azote ainsi apporté et perdu en partie par lessivage, volatilisation et dénitrification avant la saison de croissance de 2018, et par le plus faible apport en azote de l'engrais vert d'avoine et pois (pois fourrager 40-10) implanté subséquemment à cette application, soit 54 kg/ha

comparativement à plus de 80 kg/ha pour les traitements A, B et C. Cette plus faible teneur en azote minéral du sol du traitement D est illustrée à l'Annexe 8, figure 3. Les rendements en soya en 2019 ont été équivalents pour tous les traitements (moyenne 3,43 t/ha). Notons que puisque les engrais verts implantés dans l'entre-rang en 2018 (ray-grass traitement D) et en 2019 (lotier traitement B et trèfle blanc Huïa traitement C) n'ont eu qu'une faible croissance parmi d'autres faibles repousses de mauvaises herbes, il fut décidé de ne pas faire d'échantillonnage et d'analyses de ces biomasses.

Les données saisonnières (d'avril à octobre, donc sans considérer les émissions hivernales et lors de dégels) compilées des émissions de GES ont été jumelées aux itinéraires et aux rendements de chacune des quatre répétitions. Cette compilation se retrouve à l'Annexe 14. Les valeurs des émissions sont présentées kg/ha et en kg/tonne de rendement pour chacun des trois GES mesurés et pour l'équivalent CO₂ de la sommation de ces trois GES, ceci en considérant que le potentiel de réchauffement global (PRG) d'une molécule de N₂O est 298 fois plus élevé que celui d'une molécule de CO₂ alors que celui d'une molécule de CH₄ est 25 fois plus élevé que celui d'une molécule de CO₂. Ceci est conforme à la dernière directive du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Ces données ont fait l'objet d'analyses statistiques (ANOVA, $p < 0,05$) afin de déterminer s'il y avait ou non des différences significatives entre les traitements (Annexe 15, figures 7 à 9). Aucune différence significative n'a été constatée pour les émissions de CO₂ et de CH₄. Comme mentionné dans la section précédente, dans le cas des sols exondés le méthane contenu dans l'air atmosphérique situé au-dessus du sol est habituellement consommé à la suite d'un processus d'oxydation en CO₂ effectué par des bactéries méthanotrophes aérobies retrouvées dans le sol de surface. Globalement, ce fut le cas pour cette expérimentation en 2018 alors que pour 2019 des émissions moyennes positives ont été mesurées pour trois des quatre traitements.

Pour le N₂O, le GES le plus important à considérer dans le cadre de cette étude tant en termes d'émissions selon son potentiel de réchauffement global que de la possibilité de modifier les modes de gestion des grandes cultures afin d'en diminuer les émissions, on a constaté que les émissions selon les traitements pour 2018 en kg/ha et kg/tonne de rendement ont présentée des différences significatives. La figure 1 suivante présente les émissions de N₂O pour 2018 et 2019 en kg/ha par traitement alors que la figure 2 présente les émissions en kg/tonne de rendement. Selon les traitements en 2018, les émissions en kg/ha et en kg/tonne sont régressives selon la séquence des traitements A > B > C > D. Les émissions en kg/ha du traitement A sont significativement plus élevées que les émissions des traitements C et D alors que les émissions du traitement B ne sont pas significativement plus élevées que celles du traitement C et que les émissions du traitement D sont significativement plus faibles que celles des traitements A, B et C. Bien que les moyennes des émissions des traitements A et B diffèrent sensiblement, soit respectivement 2,79 kg/ha et 1,81 kg/ha, l'absence de différence significative à $p < 0,05$ s'explique par la variabilité importante des émissions de N₂O selon les répétitions, soit respectivement pour A et B de 1,44 à 4,21 kg/ha et de 0,99 à 2,29 kg/ha. Au printemps 2018, le fumier incorporé par labour pour le traitement A par rapport à une incorporation en surface avec une herse à disques pour le traitement B expliquerait cette tendance non significative. L'incorporation par labour entraînerait davantage d'émissions puisque cette pratique serait plus favorable à la présence dans le sol de microzones anaérobiques plus concentrées en fumier et situées davantage en profondeur et donc plus propices à de la

dénitrification par rapport au traitement B. Exprimé en kg/tonne de rendement (figure 2), on retrouve en 2018 une différence significative pour les traitements A et B (les émissions les plus élevées) comparativement au traitement D alors que les traitements C et D ne le sont pas entre eux.

Globalement, le traitement C sans apport de fumier se distingue des traitements A et B non seulement par des émissions de N₂O moindres en kg/ha, mais également par un rendement en maïs-grain équivalent aux traitements A et B. Ce traitement C se démarque donc comme étant le traitement le plus performant en regard de l'efficacité environnementale, soit le niveau d'émissions le plus faible pour un niveau économiquement viable de rendement, et ce traitement est aussi celui qui est le plus rentable (voir Annexe 15). Par ailleurs, bien que les émissions de N₂O en kg/ha du traitement D soient significativement plus faibles en 2018 que celles des traitements A, B et C, comme mentionné précédemment ce traitement a nettement généré un rendement moindre en maïs-grain, soit 5,6 t/ha par rapport à une moyenne de 10,5 t/ha pour les traitements A, B et C. Ceci engendre que ce traitement n'est pas performant en regard de l'efficacité environnementale, cette approche étant applicable à la condition que les rendements obtenus soient économiquement viables.

Pour les traitements 2019 en soya, les émissions de N₂O par traitement (kg/ha et kg/tonne de rendement) n'ont pas montré de différence significative (figures 1 et 2). On note cependant une émission compilée un peu plus élevée pour le traitement A. Ceci pourrait être associé à un effet résiduel plus important du fumier enfoui par labour en 2018.

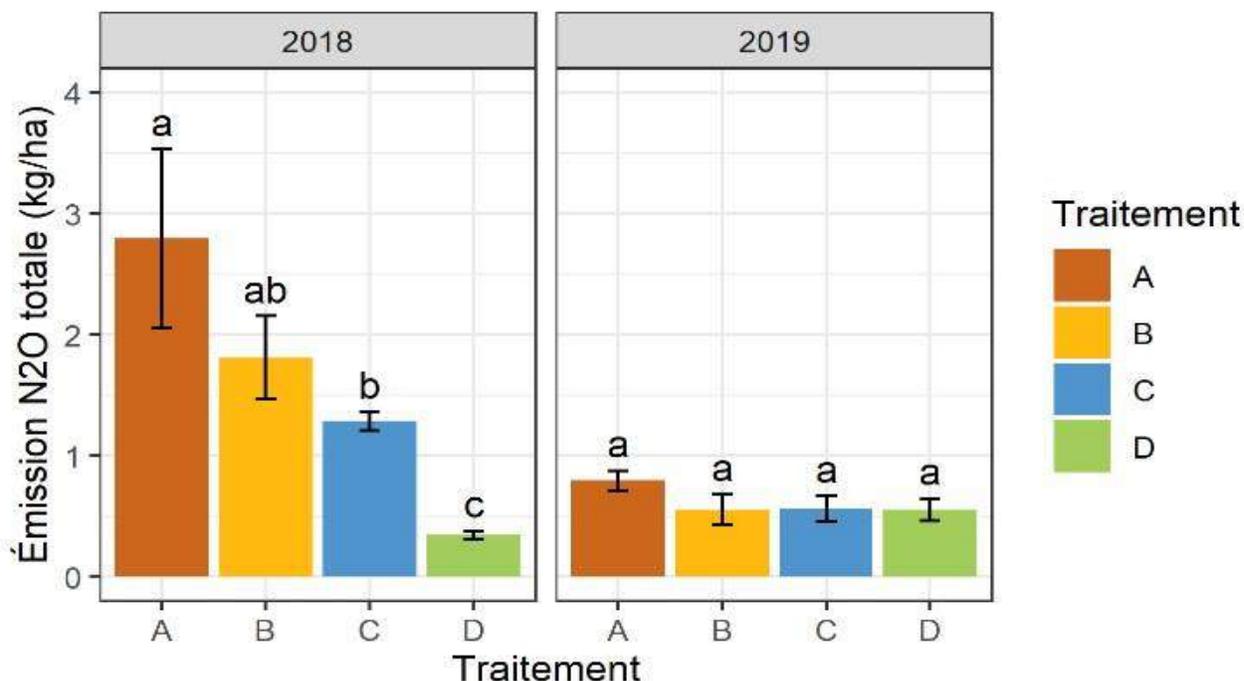


Figure 1 : Histogramme des moyennes d'émissions saisonnières de N₂O par traitement (kg/ha) pour le maïs-grain 2018 et le soya 2019 avec les différences significatives ou non à p < 0,05. Les traitements par année avec des lettres différentes sont significativement différents; la ligne verticale par colonne représente l'erreur-type.

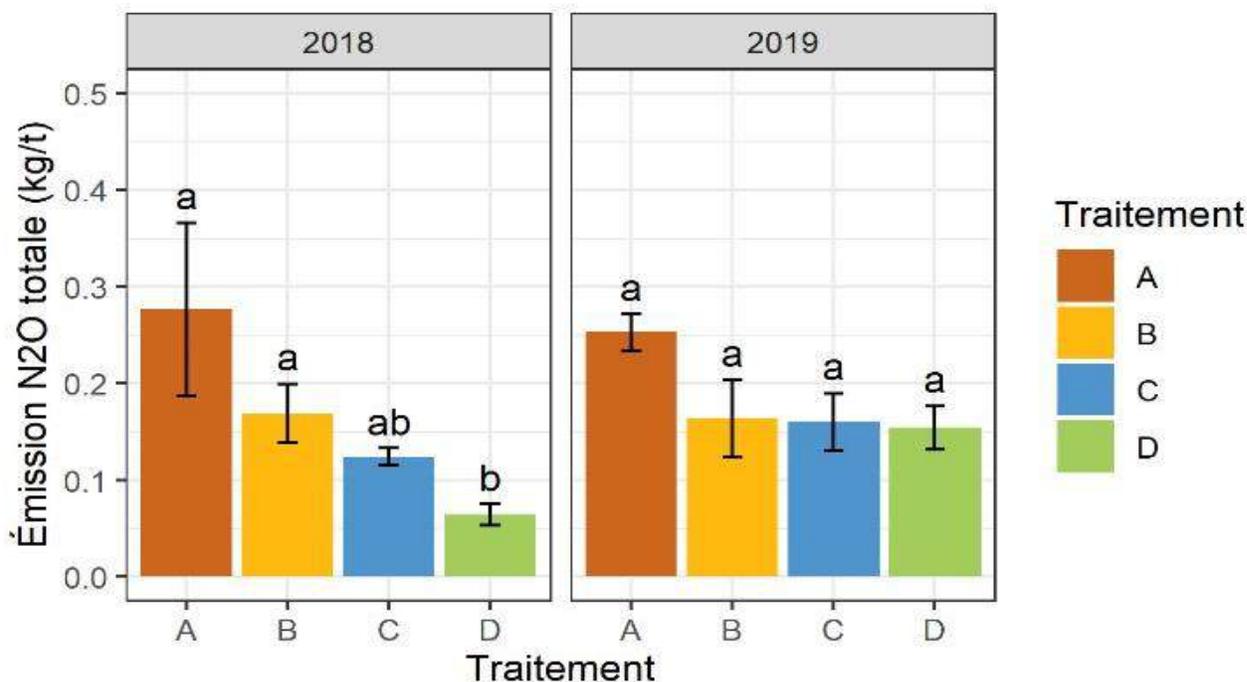


Figure 2 : Histogramme des moyennes d'émissions saisonnières de N₂O par traitement (kg/tonne de rendement) pour le maïs-grain 2018 et le soya 2019 avec les différences significatives ou non à $p < 0,05$. Les traitements par année avec des lettres différentes sont significativement différents; la ligne verticale par colonne représente l'erreur-type.

Au même moment que pour plusieurs des prélèvements de GES, un échantillonnage composite du sol de surface des parcelles sur 15 cm a été effectué pour en extraire les quantités d'azote minéral (NO₃ et NH₄) sur une base sèche. Les figures présentées à l'annexe 8 permettent de suivre les teneurs durant la saison de croissance. Ces teneurs associées principalement à la minéralisation par la faune du sol de l'azote organique, retrouvé par exemple dans les matières organiques du sol, fumiers, engrais verts, résidus de plantes et autres, sont dépendantes notamment des conditions climatiques (teneurs en eau) et des températures du sol puisque celles-ci conditionnent l'activité microbologique. Soulignons que les travaux de sol au printemps 2019 ont été identiques pour les itinéraires A, B et C et qu'il est important de considérer les différentes échelles en ordonnée de chacune de ces figures.

En 2018, on constate à la figure 1 de l'Annexe 8 que l'application de fumier le 14 mai pour les traitements A et B a engendré rapidement des teneurs plus élevées en NH₄ par rapport aux traitements C et D. Bien que les teneurs soient inférieures, le traitement C a suivi la même dynamique avec un pic à la fin de mai - début juin alors que le traitement D est celui ayant présenté les plus faibles teneurs. Pour les nitrates (NO₃), on constate à la figure 2 la même tendance sauf que le traitement C, celui sans fumier et avec un apport important d'azote provenant de l'engrais vert, a présenté à la fin de mai - début juin une teneur semblable au traitement A et plus élevée que le traitement B. Notons aussi que le pic en nitrates du traitement A (incorporation du fumier au printemps par labour) s'est retrouvé plus tard que celui du traitement B (fumier incorporé en surface au printemps). La figure 3 présente l'évolution de l'azote minéral total dans le sol (somme des teneurs en N-NH₄ et N-NO₃). À partir du début de juin les traitements A et B ont montré des teneurs semblables suivis du traitement C et enfin par le traitement D. Puisque les rendements en maïs-

grain des traitements A, B et C ont été équivalents, on peut présumer que la nutrition azotée fût suffisante pour ceux-ci, voir excessive avec les apports en fumier pour les itinéraires A et B et ainsi engendrer possiblement davantage de lessivage des nitrates vers la nappe, de dénitrification et de volatilisation ammoniacale. En 2019, on constate à la figure 4 que le traitement B a montré des teneurs un peu plus élevées en NH_4 par rapport aux autres traitements. Cette tendance est similaire pour les nitrates (figure 5) et pour l'azote minéral total du sol (figure 6). Les pics de minéralisation de l'azote organique ont été atteints fin juin - début juillet en 2018 et vers la mi-juillet en 2019 (figures 3 et 6).

L'analyse économique (Annexe 15), dont les sources sont présentées à l'Annexe 16, a permis d'évaluer le niveau de performances économiques de chacun des traitements, d'estimer leur potentiel de réduction des émissions de GES et de calculer la valeur monétaire potentielle de celles-ci en se basant sur le marché du carbone. Les budgets, élaborés à l'aide des données de l'expérimentation, de prix de marché et de références sectorielles démontrent que les traitements A, B et C dégagent des marges positives tant pour le maïs que le soya. Le traitement C dégage la marge la plus importante si on compile les deux ans du projet. Ce résultat est principalement dû à son rendement élevé pour des coûts nettement inférieurs aux autres traitements explicables par l'absence d'apport de fumier. À l'inverse, le traitement D dégage des marges négatives, il a obtenu des rendements nettement inférieurs aux autres traitements pour des coûts plus élevés. Par ailleurs, le calcul de l'écart entre les émissions directes mesurées et un niveau d'émissions de référence estimé à l'aide du modèle Holos (Annexe 17) développé par AAC a permis d'évaluer le potentiel de réduction d'émissions pour chaque traitement. Avec cet indicateur, le traitement D est celui qui est le plus performant. À partir des potentiels de réduction obtenus, il a été possible d'élaborer des extrapolations de contribution à la réduction des émissions de GES du Québec provenant du sous-secteur *Gestion des sols agricoles* selon différents niveaux d'adoption des pratiques expérimentées. Finalement, les calculs de réductions potentielles d'émissions permettent d'extrapoler une valeur monétaire théorique basée sur le marché du carbone. Pour le maïs-grain en mode biologique, ce montant varie de 23,70 \$/ha/an pour le traitement D à 6,30 \$/ha/an pour le traitement A. Pour le soya, ce montant varie de 2,50 \$/ha/an pour le traitement D à 0,81 \$/ha/an pour le traitement A. Des extrapolations ont été effectuées aux échelles du secteur des grandes cultures biologiques et de l'ensemble du secteur des grandes cultures du Québec pour les cultures de maïs-grain et de soya sous un mode biologique.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Le projet a été présenté avec une affiche en 2018 lors des sessions d'affiches du 32e congrès annuel de l'Association Québécoise de Spécialistes en Sciences du Sol (AQSSS) (70 participants). Cette présentation a permis d'informer la communauté scientifique des émissions de GES en relation avec différents itinéraires agronomiques en grandes cultures biologiques. L'affiche se retrouve à l'Annexe 18. Un résumé du projet est accessible dans le programme scientifique de ce congrès. Cette affiche a également été présentée au colloque Bio pour tous! de 2019 (302 participants externes, dont 229 producteurs agricoles).

Le projet a également été présenté lors des journées *Recherche et innovation à l'INAB* organisées par le CETAB+ aux étés 2018 (25 producteurs agricoles, 26 conseillers ou intervenants) et 2019 (29 producteurs agricoles, 43 conseillers ou intervenants). Le projet a aussi été présenté dans le

cadre d'une communication orale au colloque Bio pour tous! le 18 février 2020 (291 participants externes, dont 138 producteurs agricoles). Il est important de noter que ce furent des résultats préliminaires qui ont été présentés à ce colloque; les données, les résultats et les analyses contenus dans ce rapport ont donc préséance puisque ceux-ci ont été modifiés depuis cette communication orale.

Un mémoire de maîtrise associé à ce projet est présentement en cours de rédaction. L'étudiante est Kadidia Moussa Traoré de l'Université Laval et sa direction est assumée par Caroline Halde, professeure en agriculture écologique au Département de phytologie de la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval.

D'autres activités post-projet de diffusion des résultats sont également envisagées (colloque, congrès, journée d'information, article scientifique, article de vulgarisation, présentation à des ministères du gouvernement du Québec, etc.)

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

À notre connaissance, ce projet a permis d'obtenir les premières données probantes d'émissions de GES en grandes cultures biologiques au Québec pour le maïs-grain et le soya. Le potentiel de réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) pour ces cultures a été documenté selon différents itinéraires agronomiques. Bien que les revenus associés éventuellement disponibles soient présentement modestes, ces données pourraient être utilisées pour mettre en place un marché du carbone favorisant l'augmentation des superficies en grandes cultures en mode biologique, un mode de production associé à plusieurs services écosystémiques et bénéfiques environnementaux. De plus, ces résultats permettent de cibler de futurs projets. Par exemple, mesurer les émissions selon des pratiques agricoles semblables pour une culture de céréale sur le même site afin d'obtenir des données sur l'ensemble de la rotation étudiée puisque ces mesures n'ont pas pu être effectuées (par ex. émissions de GES de l'itinéraire D en 2017 avec application de fumier de bovins laitiers compostés), reprendre une telle expérimentation avec un sol argileux représentatif, expérimenter des itinéraires avec engrais verts, sans et avec peu de fumier, et différents travaux du sol pour valider leurs effets sur les rendements et les émissions de GES; et ce toujours en évaluant la rentabilité économique et l'efficacité environnementale des agrosystèmes expérimentés. Outre son rendement en maïs-grain avec la marge économique la plus favorable et ses émissions moindres de N_2O , le traitement sans fumier avec engrais vert de trèfle rouge s'avère d'autant plus intéressant puisque la limitation d'apport en phosphore associée au Règlement sur les exploitations agricoles (REA) ne s'applique pas à cette pratique, une limitation de plus en plus contraignante en grandes cultures en mode biologique lorsque des engrais de ferme sont utilisés. Notons enfin que ce projet Prime-Vert a sûrement facilité l'obtention par le CETAB+ d'un projet de recherche d'envergure auprès des Fonds de recherche du Québec (FRQNT et FRQSC), soit *Séquestration du carbone et réduction des GES par les systèmes de productions en grandes cultures en mode biologique*, un projet qui a notamment permis en 2019 la mise en place d'un dispositif longue durée avec plusieurs itinéraires agronomiques sur notre ferme expérimentale située à l'INAB et sur lequel notamment des captages de GES semblables à ce projet sont effectués.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Gilles Gagné, agr., M.Sc.
CETAB+
Cégep de Victoriaville
475, rue Notre-Dame Est
Victoriaville (Québec) G6P 4B3
Téléphone : 819 758-6401, poste 2789
Télécopieur : 819 758-8960
Courriel : gagne.gilles@cegepvicto.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES

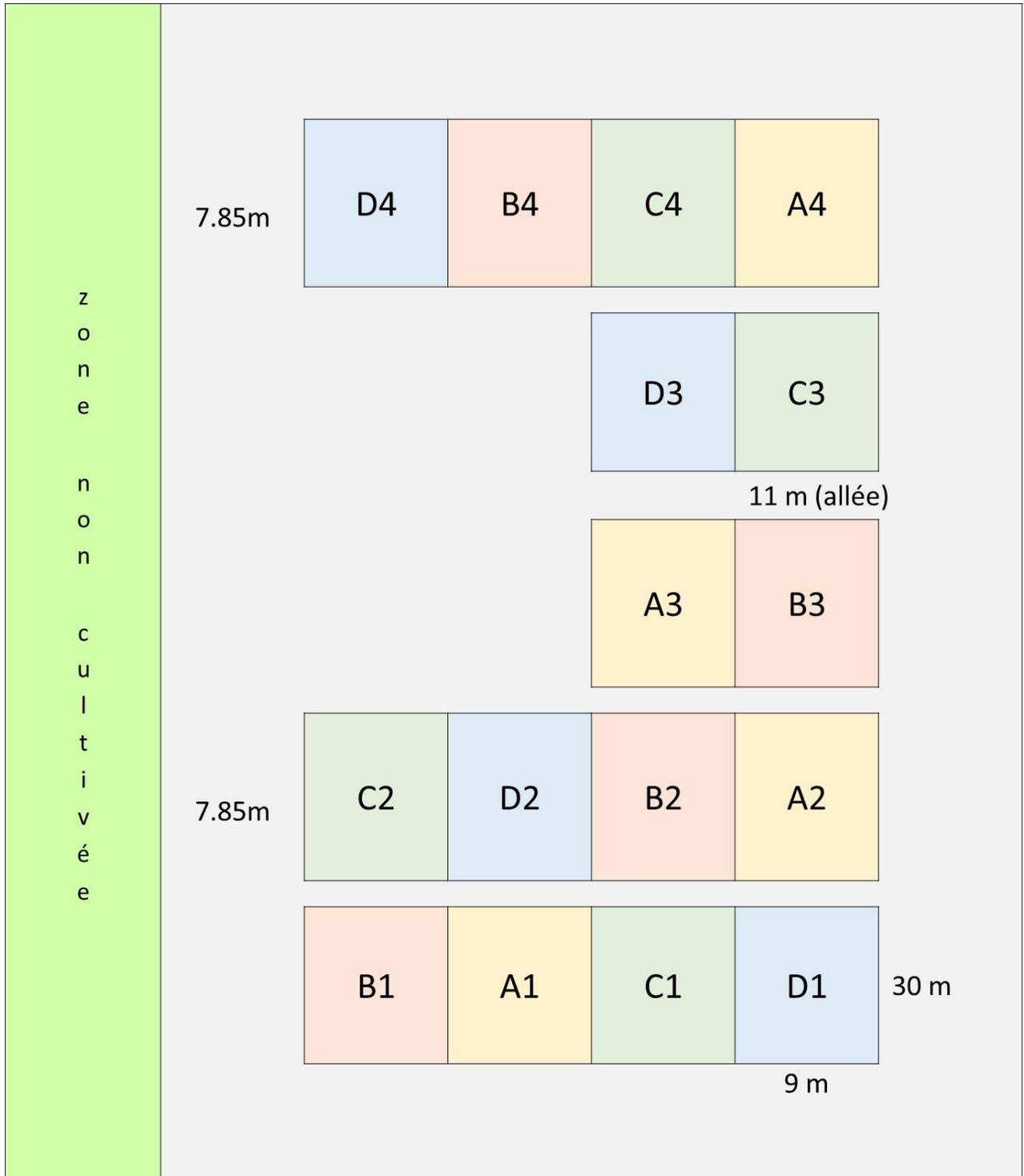
Nous remercions David Pelster, Normand Bertrand, Martin Chantigny et Annie Robichaud du Centre de recherche et de développement de Québec d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) sans qui la réalisation de ce projet n'aurait pas été possible.

Nous remercions également Caroline Halde de l'Université Laval pour la contribution de son équipe de recherche lors des récoltes et des analyses associées ainsi que Joannie D'Amours pour sa révision du rapport.

Nos remerciements s'adressent enfin à nos collègues du CETAB+; Mathieu Picard-Flibotte, technicien en recherche, pour sa contribution aux travaux requis sur les parcelles, Caroline Beaulieu et Charlotte Giard-Laliberté pour les analyses statistiques, et à toute l'équipe de notre ferme de recherche située à l'INAB qui a contribué à ce projet tant sur le terrain qu'en laboratoire.

ANNEXES

Annexe 1. Plan et photo du dispositif expérimental





Crédit photo : David Wilkinson, 22 juillet 2018

Annexe 2. Itinéraires agronomiques en 2017, 2018 et 2019

Itinéraires agronomiques	2017		2018			2019	
A. Fumier et Labour de printemps	Orge avec trèfle rouge		Fumier	Labour	Maïs	Labour	Soya
B. Fumier et Labour d'automne	Orge avec trèfle rouge	Labour	Fumier		Maïs	Labour	Soya avec lotier
C. Système sans fumier et Labour d'automne	Orge avec trèfle rouge. La céréale n'est pas récoltée, elle est fauchée à épiaison, reste au sol et le trèfle se développe tout le reste de la saison.		Maïs			Labour	Soya avec trèfle blanc
D. Fumier composté post-récolte céréale et Travail minimum du sol	Orge sans trèfle rouge, puis application de fumier suivi de l'implantation d'un engrais vert d'avoine et pois	Travail de sol avec des disques lourds à l'automne	Mais avec un engrais vert de ray-grass			Travail de sol avec des disques lourds	Soya

Annexe 3. Date et détail des principaux travaux en 2017, 2018 et 2019

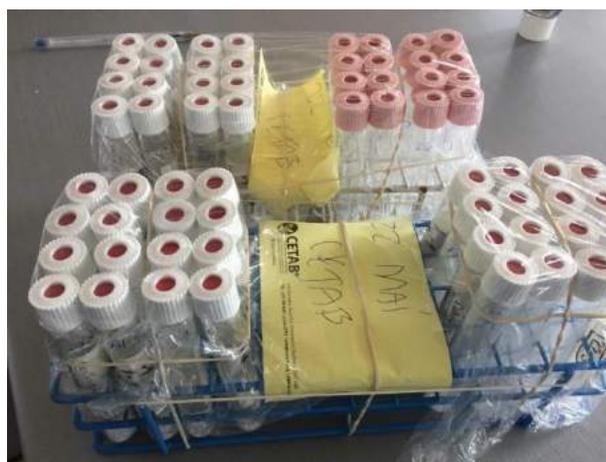
2017	Travaux	Itinéraire agronomique
17 mai	Machine à bêcher (profondeur 20 cm)	Ensemble du site
25 mai	Vibroculteur	Ensemble du site
25 mai	Semis de l'orge (200 kg/ha)	Ensemble du site
14 juin	Sarclage mécanique (peigne)	Ensemble du site
15 juin	Semis EV trèfle rouge (8 kg/ha)	A, B et C
26 juin	Semis des allées (autour des parcelles)	Allées
21 juillet	Broyage orge et végétation des allées	C et allées
29 août	Faucher orge (avec lame de coupe)	A, B et D
31 août	Passage d'un peigne pour exclure l'orge fauchée des parcelles	A, B et D
6 et 8 septembre	Épandage fumier composté (35 t/ha)	D
12 septembre	Herse à disque	D
13 septembre	Semis EV avoine-pois (80 kg/ha chacun)	D
13 septembre	Broyage du trèfle	C
24 octobre	2 passages de herse déchaumeuse	D
24 octobre	Labour (charrue 3 versoirs, profondeur de 8 po)	B et C

2018	Travaux	Itinéraire agronomique
14 mai	Épandage fumier volailles (7 t/ha)	A et B
14 mai	Fertilisation sulfate de potassium 0-0-50 (160 kg/ha)	A, B et C (sauf D = fumier composté avec une haute teneur en K)
14 mai	Labour	A
14 mai	Herse à disque	B, C et D
21 mai	Herse à disque	A
21 mai	Vibroculteur	A, B, C et D
25 mai	Semis du maïs-grain (86 000 plants/ha)	A, B, C et D
28 mai	Sarclage mécanique (peigne)	A, B, C et D
13, 15 et 26 juin	Sarclage mécanique (reigi)	A, B, C et D
4 et 5 juillet	Renchaussage-sarclage des entre-rangs de maïs-grain	A, B, C et D
9 juillet	Semis du ray-grass	D
12 novembre	Récolte du maïs-grain	A, B, C et D

Date et détail des principaux travaux en 2017, 2018 et 2019 (suite)

2019	Travaux	Itinéraire agronomique
23 mai	Herse à disque	A, B et C
23 mai	Labour 15 cm profond	A, B et C
23 mai	Déchaumeuse 10 cm profond	D
7 juin	Déchaumeuse 10 cm profond	D
7 juin	Vibroculteur 4 po profond	A, B et C
7 juin	Semis du soya 500 000 plants/ha 1.5 po profond	A, B, C et D
10 juin	Sarclage mécanique (peigne)	A, B, C et D
19 juin	Sarclage mécanique (peigne)	A, B, C et D
26 juin	Sarclage mécanique (peigne)	A, B, C et D
2 juillet	Sarclage mécanique (Schmotzer)	A, B, C et D
5 juillet	Sarclage mécanique (peigne)	A, B, C et D
8 juillet	Sarclage mécanique (Schmotzer)	A, B, C et D
15 juillet	Sarclage mécanique (peigne)	A, B, C et D
16 juillet	Semis EV intercalaire lotier (8 kg/ha)	B
16 juillet	Semis EV intercalaire trèfle blanc huia (3,6 kg/ha)	C
21 octobre	Récolte soya	A, B, C et D

Annexe 4. Photos des captages terrain des GES



Annexe 5. Graphiques des émissions de CO₂, le N₂O et le CH₄; différences significatives ou non et mesures de température du sol et en eau volumétrique pour 2018 et 2019

CO₂ Victo.-2018

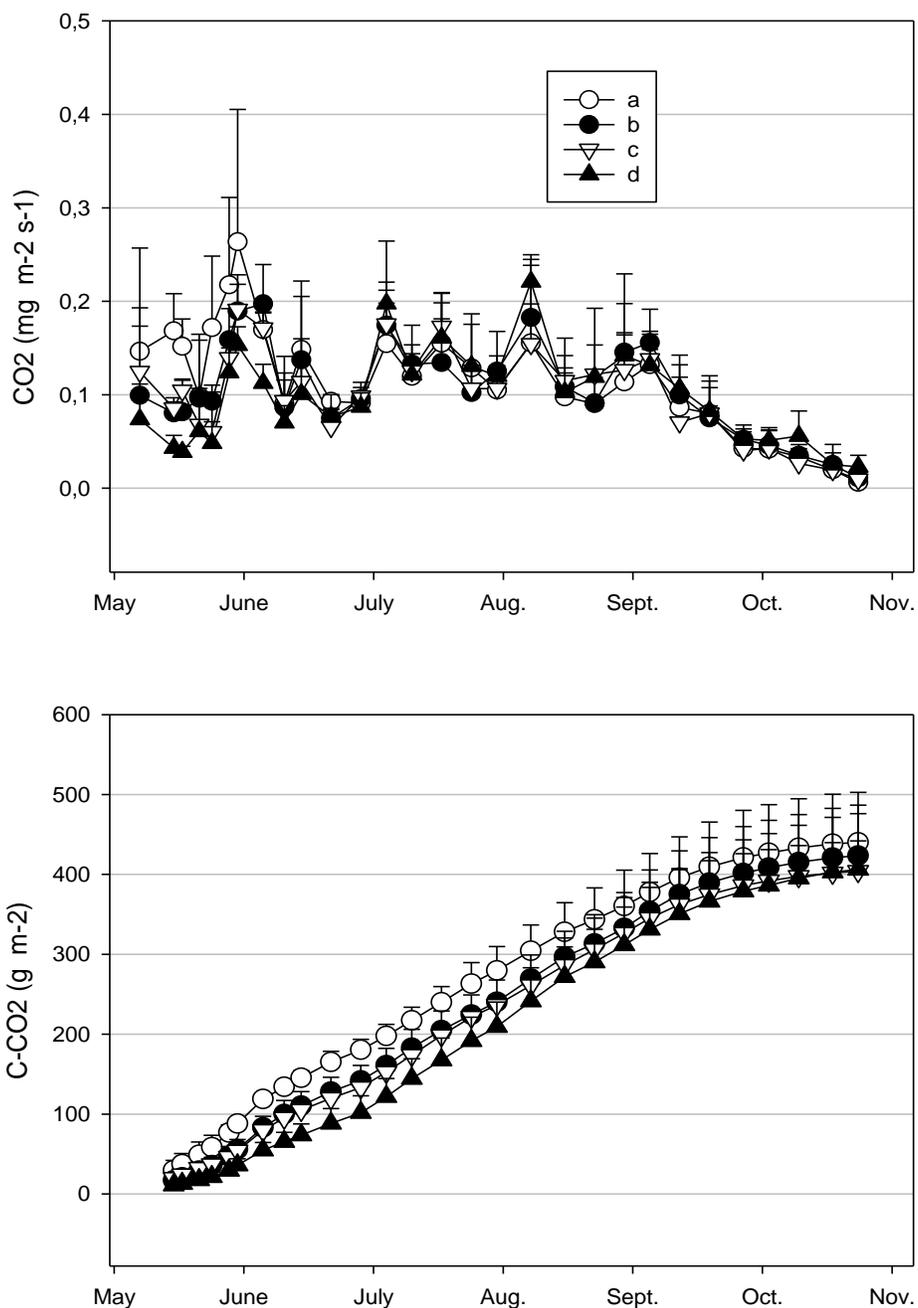


Figure 1. Émissions ponctuelles et cumulatives de CO₂ pour chacun des traitements en 2018

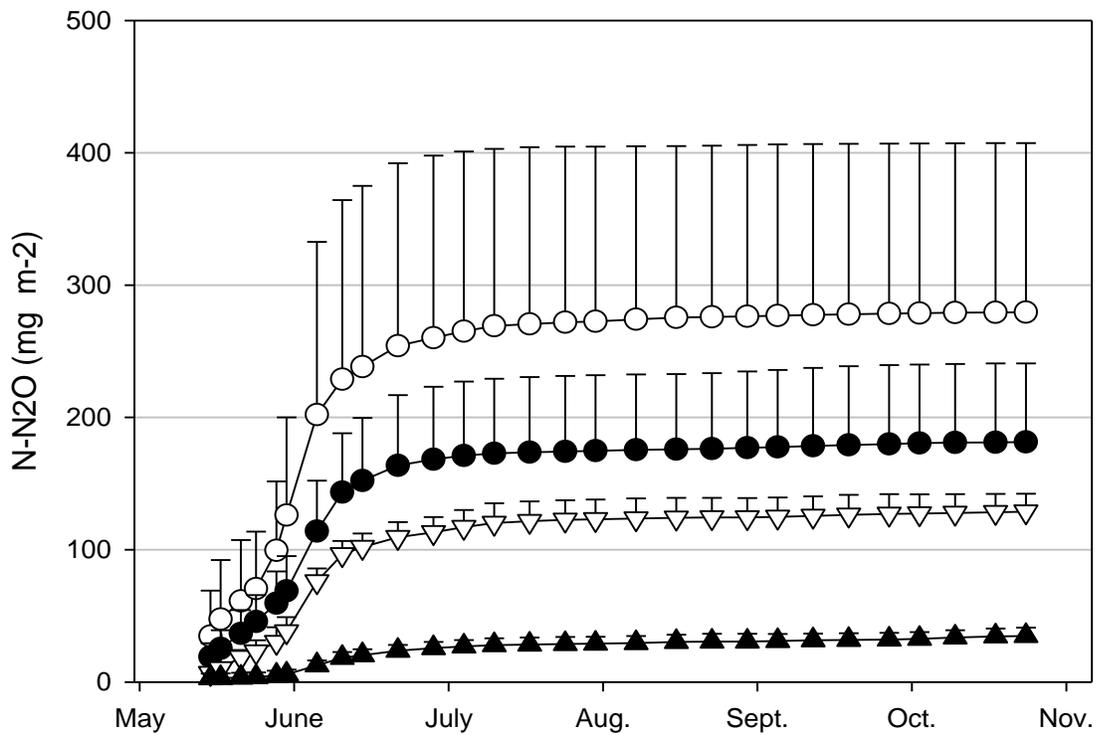
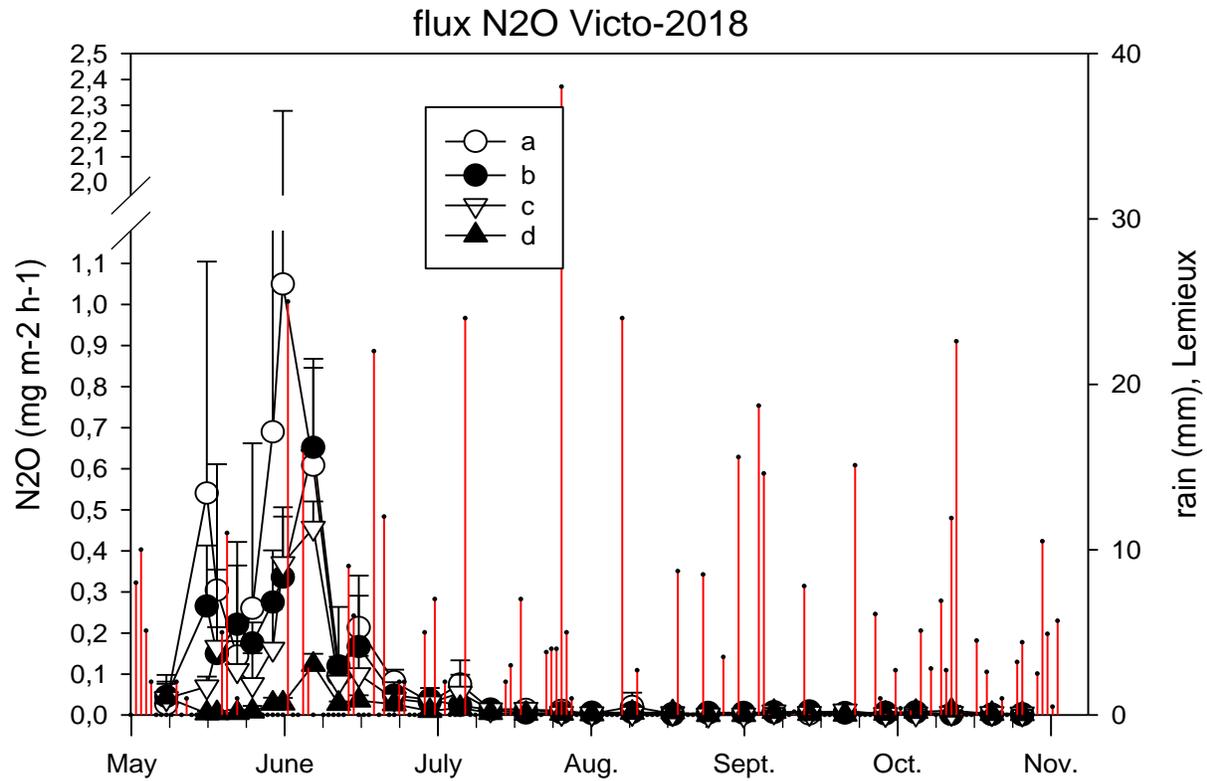


Figure 2. Émissions ponctuelles avec précipitations et cumulatives de N₂O pour chacun des traitements en 2018

CH4 Victo.-2018

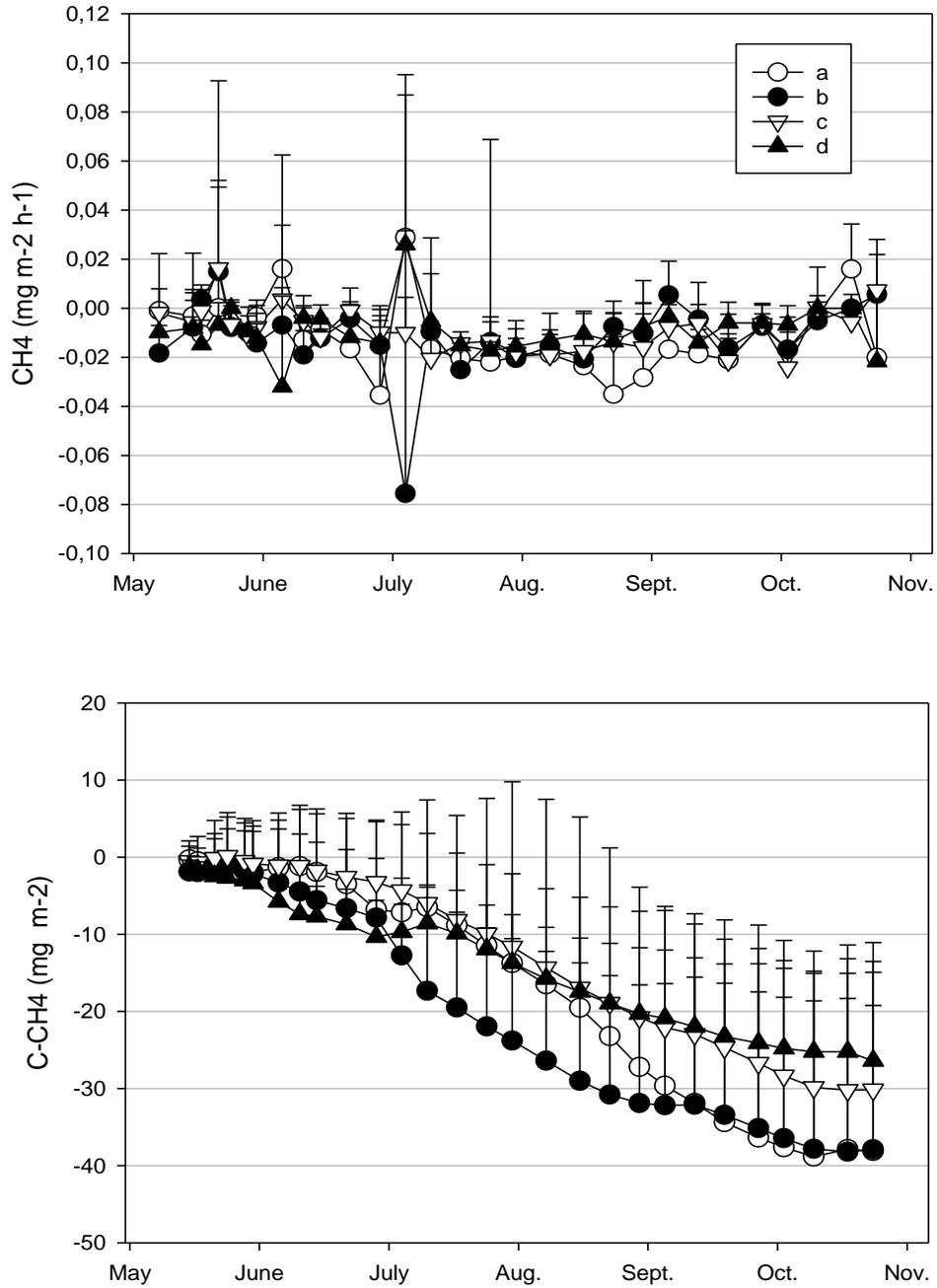


Figure 3. Émissions ponctuelles et cumulatives de CH₄ pour chacun des traitements en 2018

CO2 Victo.-2019

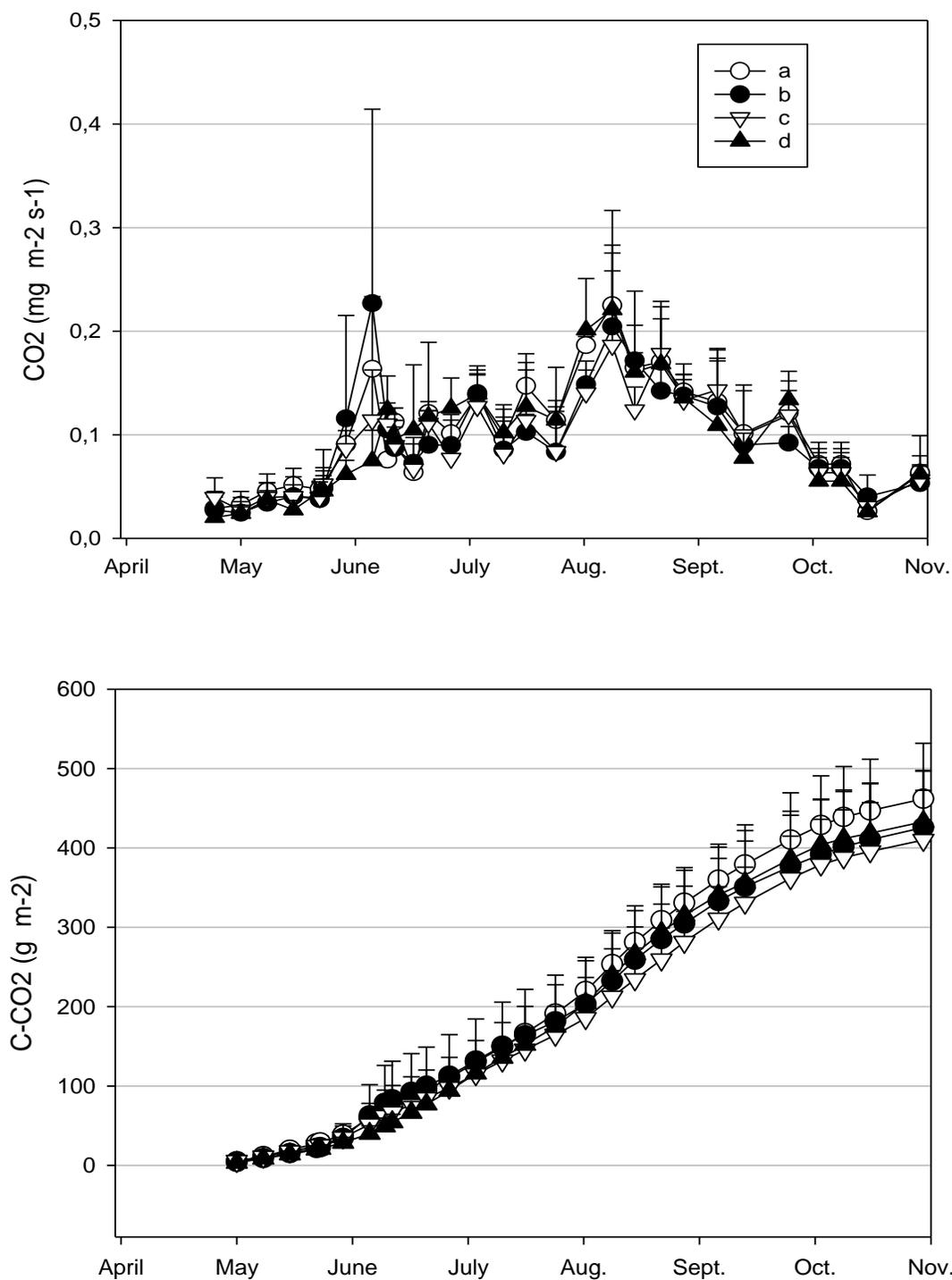


Figure 4. Émissions ponctuelles et cumulatives de CO₂ pour chacun des traitements en 2019

flux N2O Victo-2019

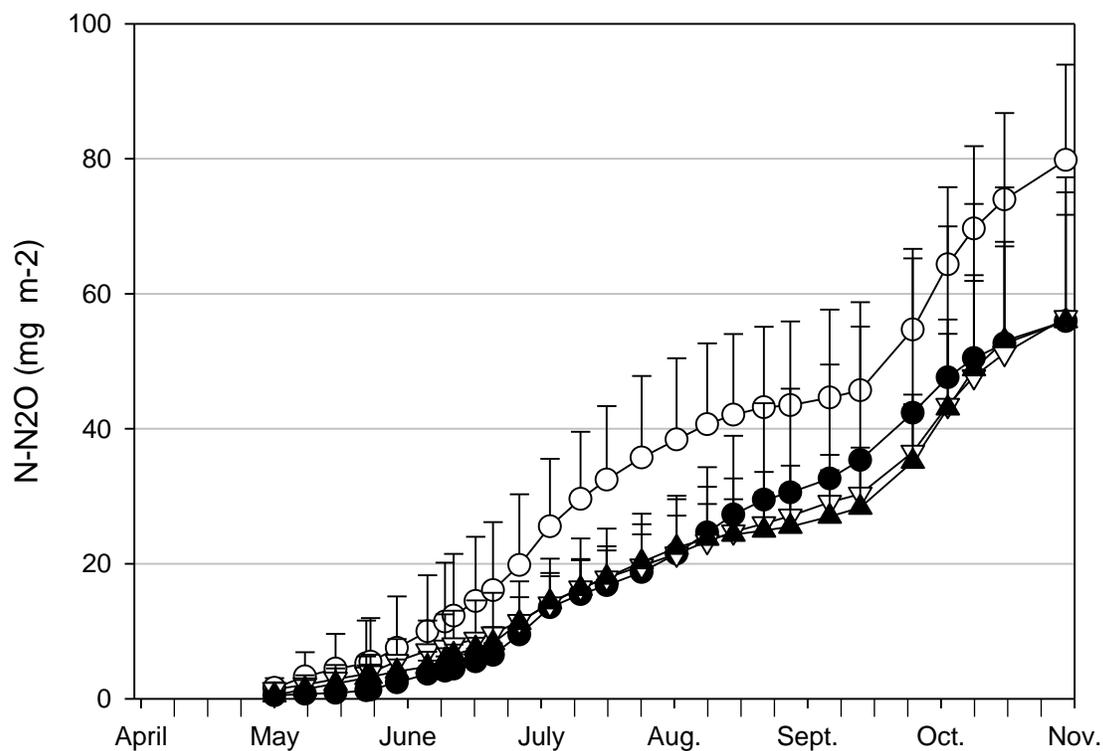
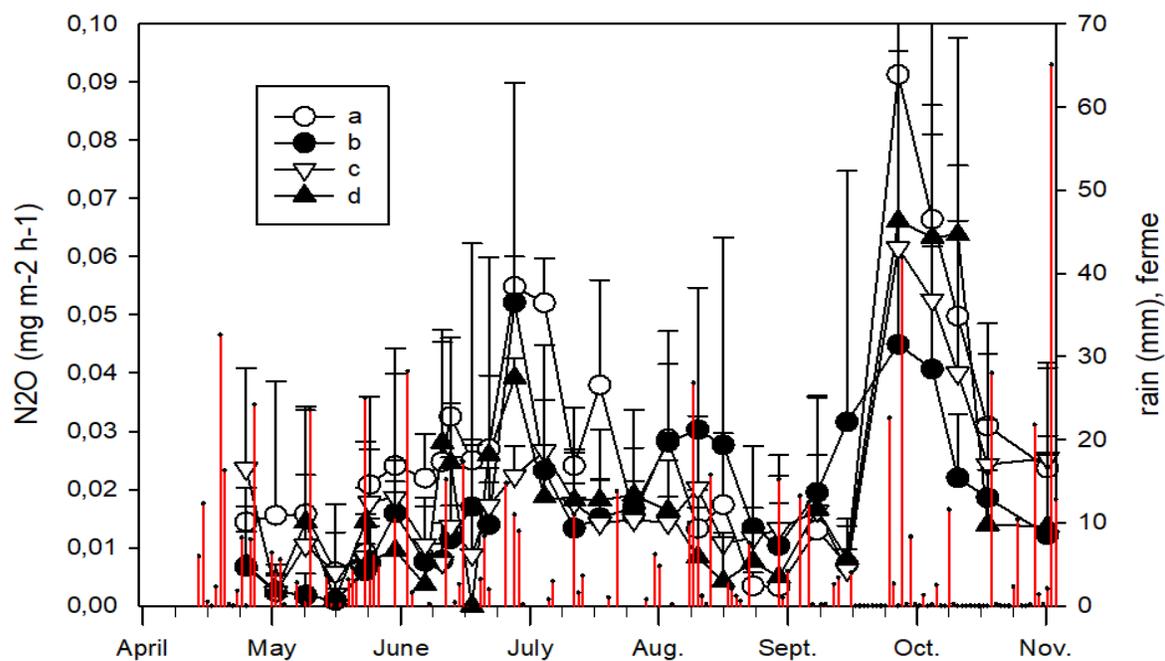


Figure 5. Émissions ponctuelles avec précipitations et cumulatives de N₂O pour chacun des traitements en 2019

CH4 Victo.-2019

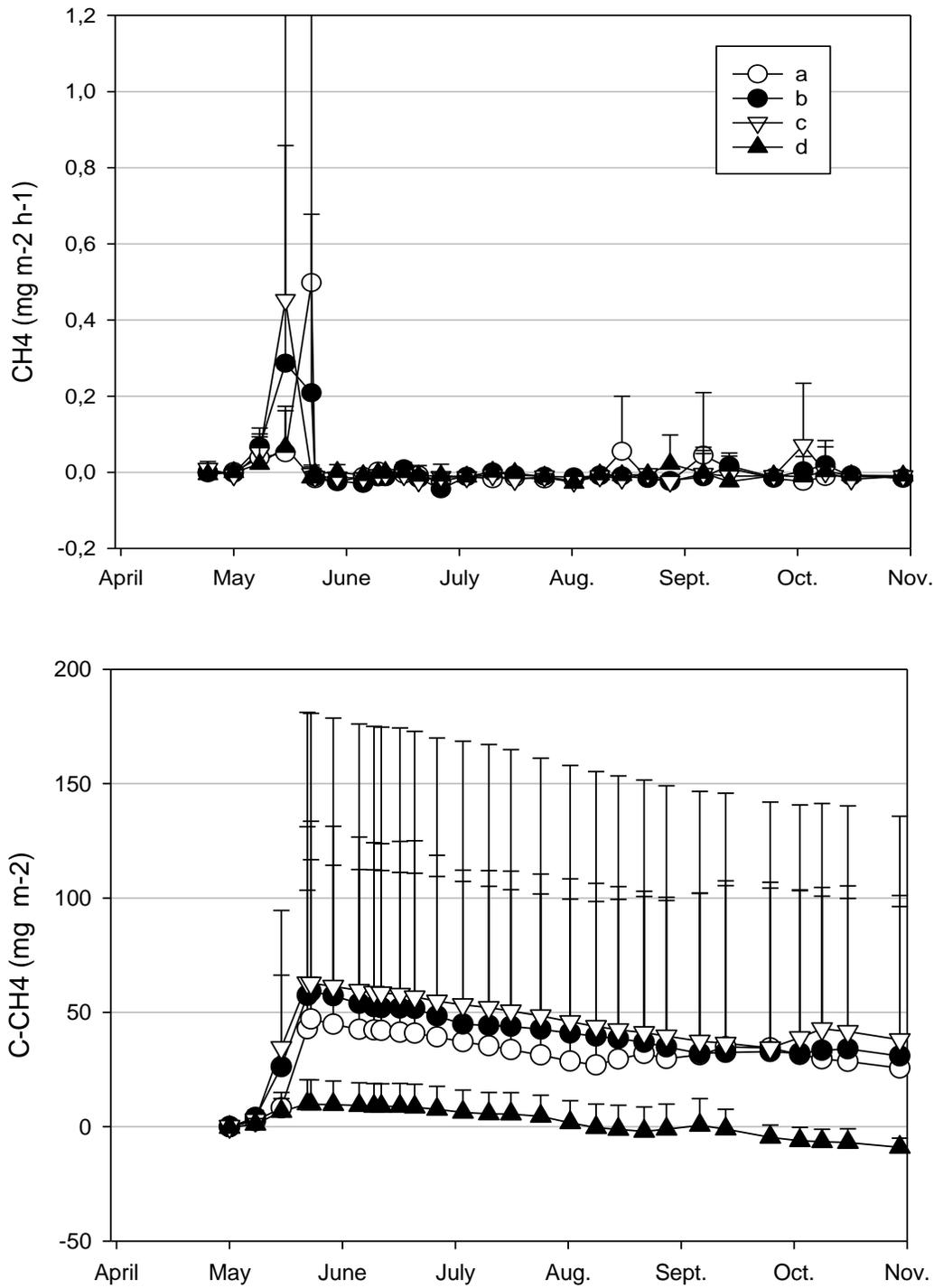


Figure 6. Émissions ponctuelles et cumulatives de CH₄ pour chacun des traitements en 2019

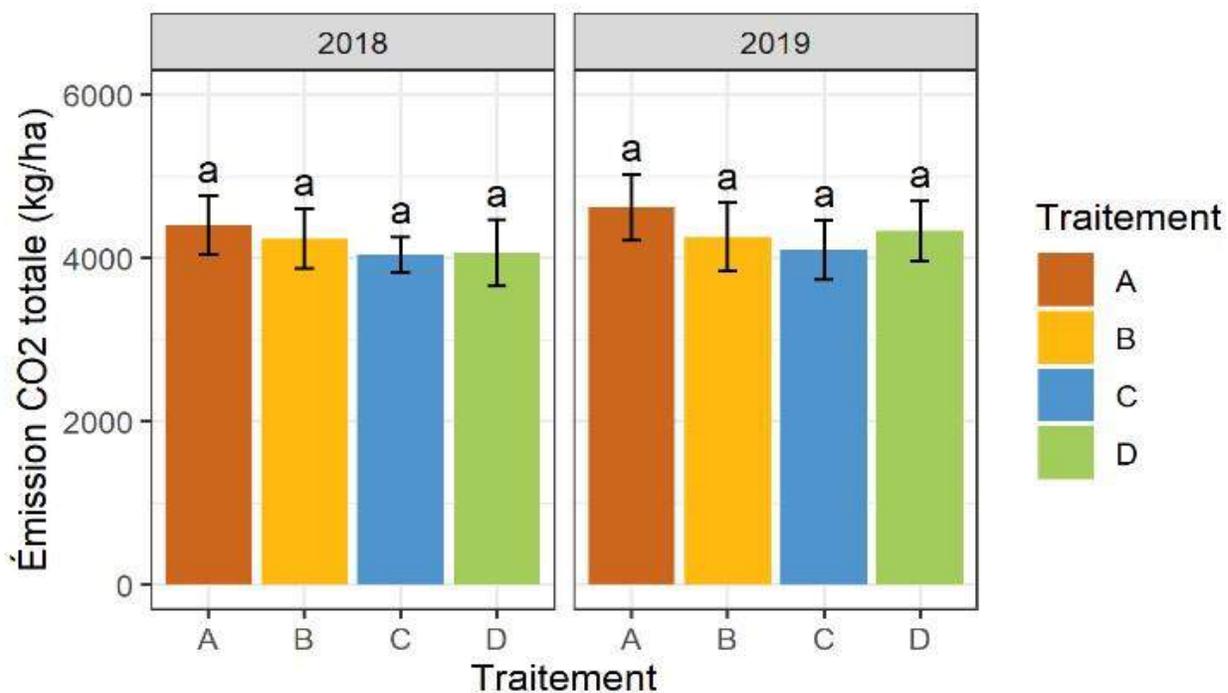


Figure 7. Émissions cumulatives de CO₂ en kg/ha mesurées avec les différences significatives ou non à $p < 0.05$ pour chacun des traitements en 2018 et 2019

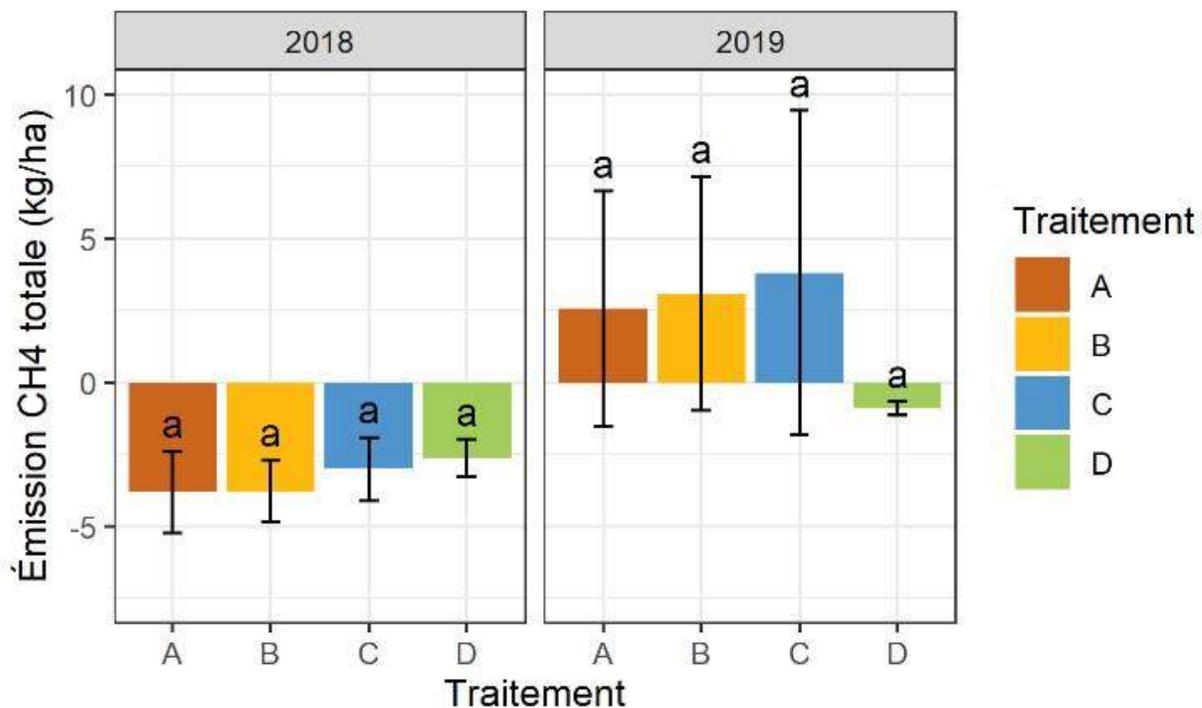


Figure 8. Émissions cumulatives de CH₄ en kg/ha avec les différences significatives ou non à $p < 0.05$ pour chacun des traitements en 2018 et 2019

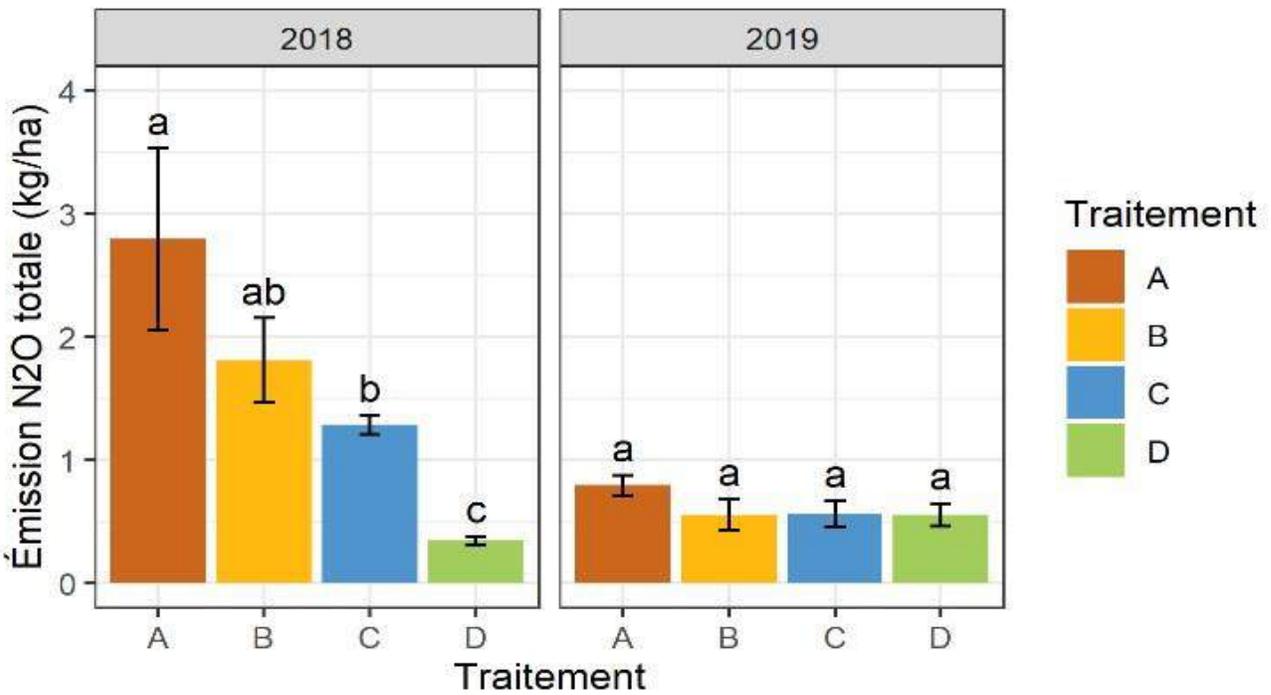


Figure 9. Émissions cumulatives de N₂O en kg/ha avec les différences significatives ou non à p < 0.05 pour chacun des traitements en 2018 et 2019

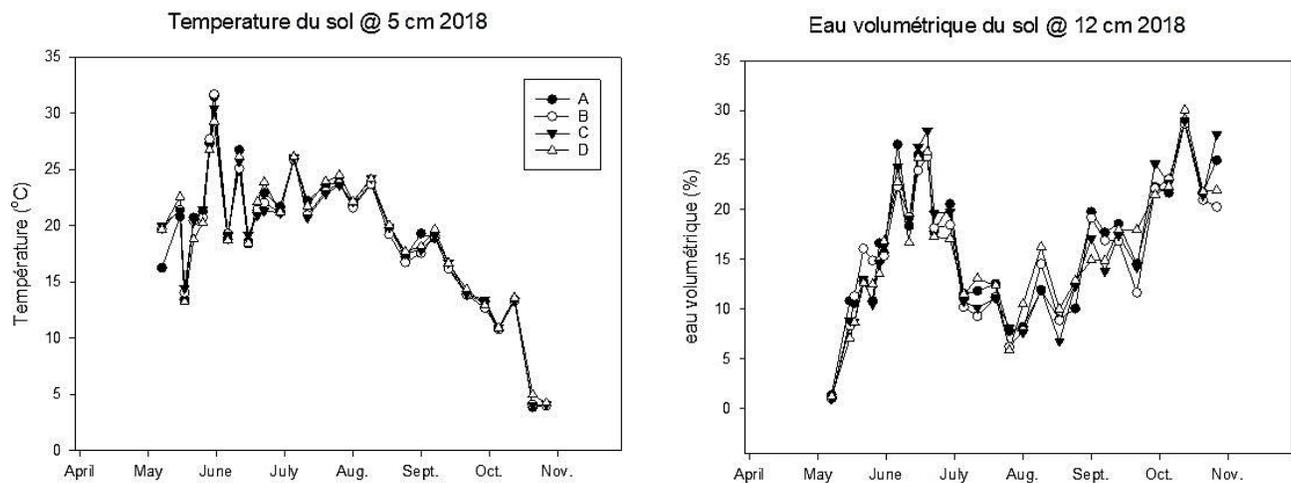


Figure 10. Données de température du sol en degré Celsius à une profondeur de 5 cm et de teneur en eau volumétrique en % sur une profondeur de 12 cm pour chacun des traitements en 2018

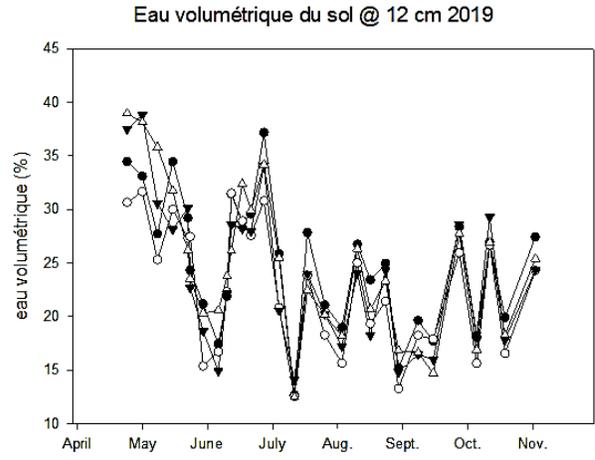
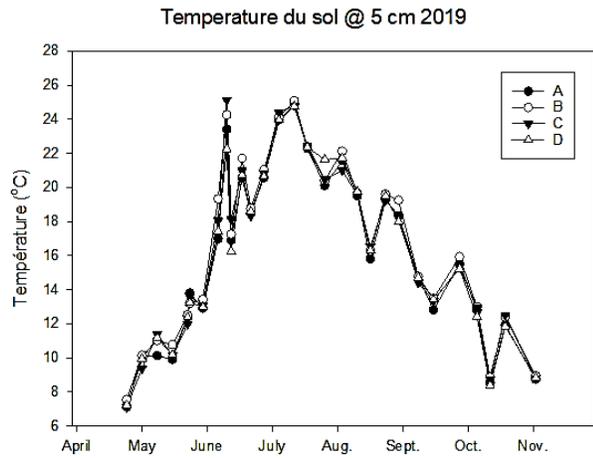


Figure 11. Données de température du sol en en degré Celsius à une profondeur de 5 cm et de teneur en eau volumétrique en % sur une profondeur de 12 cm pour chacun des traitements en 2019

Annexe 6. Extraction de l'azote minéral (NO₃/NH₄) de sols frais KCl 1M

La détermination de l'azote minéral (ammoniacal (NH₄⁺) et nitrique (NO₃⁻)) s'effectue sur un échantillon fraîchement prélevé (moins de 24h) et conservé au froid pour éviter la minéralisation de l'azote organique. Les ions nitrates (NO₃⁻), très solubles dans l'eau, ne nécessitent pas de réactif particulier pour leur extraction. En revanche, les ions ammoniums (NH₄⁺), susceptibles de se fixer sur les sites négatifs des sols, doivent être échangés avec d'autres cations pour passer en solution, d'où l'utilisation du chlorure de potassium (KCl) à 1M (ou 2M). Les ions en solution seront ensuite analysés au colorimètre automatisé (Lachat) afin de déterminer les quantités présentes.

Matériel nécessaire :

- Sarrau et gants en nitrile
- Spatule et papier (à main et/ou mouchoir)
- Balance (B-224)
- 1 série de bouteilles à centrifuger de 50 mL identifiées au feutre (trempage HCl non nécessaire)
- Dispensette calibrée à 25 mL (pour la bouteille de KCl 1M (ou 2M))
- Agitateur latéral
- Centrifugeuse
- Support à filtration & entonnoirs
- Papiers filtre **VWR 474** (ou Whatman #42)
- Vials en plastique pré-étiquetés
- Espace au réfrigérateur ou congélateur

Réactif à préparer :

Pour 4 L de KCl 1M :

- Dissoudre 298,20 g de chlorure de potassium (KCl – Sigma Aldrich P-3911) dans un b cher de 4 L rempli d'environ 3,5 L d'eau distillée.
- Agiter sur une plaque avec un gros aimant.
- Après dissolution, compléter le volume (4 L)   l'aide d'une fiole jaugée de 2 L (2 x 2 L).
- Transvider dans un bidon de plastique, bien agiter et y installer la dispensette de KCl.

Procédure :

1. **Peser 5 g** (+/- 0,05 g) de sol frais dans une bouteille à centrifuger de 50 mL. **Noter le poids** (bouteille tarée) dans le fichier concerné (bien homog niser le sol avant le prélèvement pour avoir un sous-échantillon représentatif).
2. **Ajouter 25 mL** de solution extractive **KCl 1M** (5 distributions de dispensette de 25 mL). Prévoir au moins 2 blancs par lot d'extraction (bouteilles sans sol, KCl seulement).
3. **Agiter 1h**   l'agitateur latéral.
4. **Centrifuger à 3000 rpm** pendant 10 minutes (centrifugeuses du labo B-226)
5. **Filtrer** sur un papier-filtre **VWR 474** (quantitatif) préalablement lavé avec la solution extractive **KCl 1M**. **Recueillir le filtrat** directement dans des vials à scintillation de 20 mL.
6. **Réfrigérer ou congeler** jusqu'au dosage.

Annexe 7. Détermination de l'humidité du sol pour calculs sur masse sèche

Les données sont présentées sur une base de masse sèche (ms). Par conséquent, il faut déterminer le rapport **Poids Humide / Poids Sec = Humidité**.

Matériel nécessaire :

- Sarrau et gants en nitrile
- Spatule et papier (à main et/ou mouchoir)
- Balance (B-224)
- Cups en métal (rack de 40 dans le labo C-011)
- Étuve programmée à 105°C (celles du C-011, préférablement)

Procédure :

1. **Noter** le poids du Cup Vide **sans tarer**
2. Ajouter environ **15 à 20 g de sol humide**. Noter le poids du Cup+SolHumide
3. Mettre à sécher dans l'étuve à **105°C** pendant 24-48 heures
4. Peser le Cup+SolSec

$$\text{Humidité} = ((\text{Cup+SolHumide} - \text{Cup+SolSec}) / (\text{Cup+SolSec} - \text{CupVide}))$$

**Utiliser la même balance pour les poids humide et sec.*

Annexe 8. Teneurs mesurées (NO₃, NH₄ et N-minéral total) dans le sol de surface (0-15 cm) par traitement pour 2018 et 2019

(EV = engrais vert, FP = fumier au printemps, LP = labour au printemps, LA = labour à l'automne, SF – sans fumier, TR = Travail réduit, FE = Fumier en été)

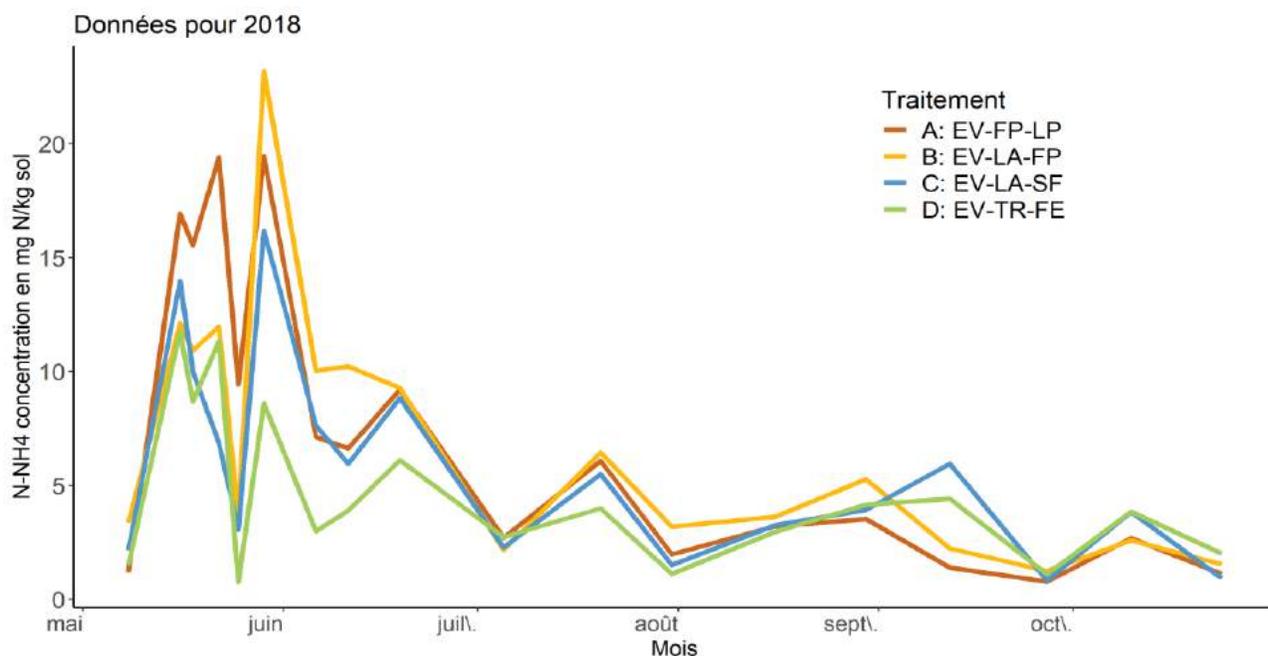


Figure 1. Teneurs mesurées en N-NH₄ par traitement en mg par kg de sol pour 2018 en fonction du temps

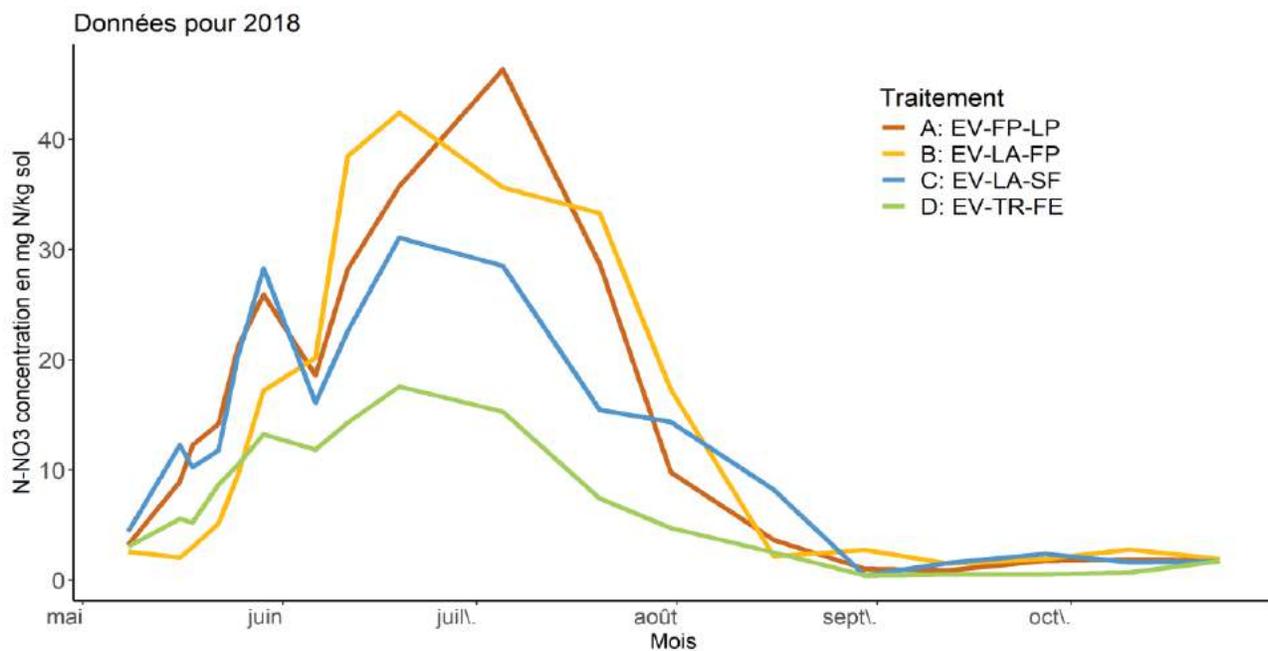


Figure 2. Teneurs mesurées en N-NO₃ par traitement en mg par kg de sol pour 2018 en fonction du temps

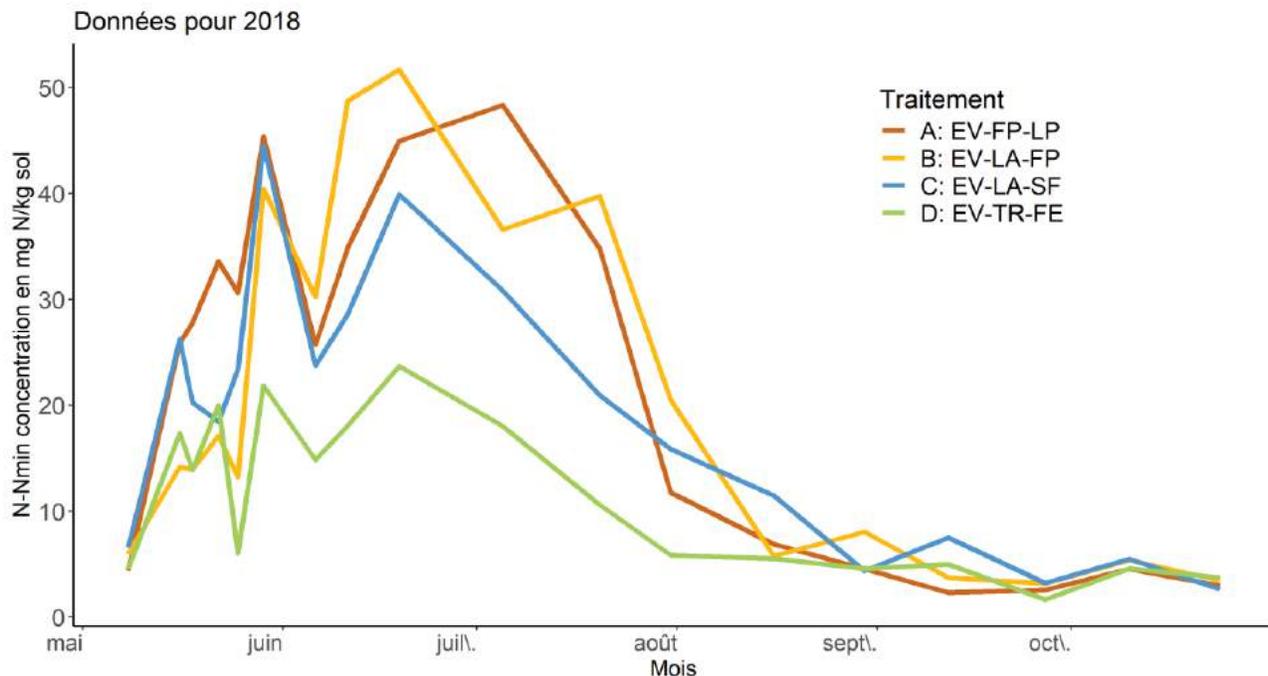


Figure 3. Teneurs mesurées en N minéral total ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) par traitement en mg par kg de sol pour 2018 en fonction du temps

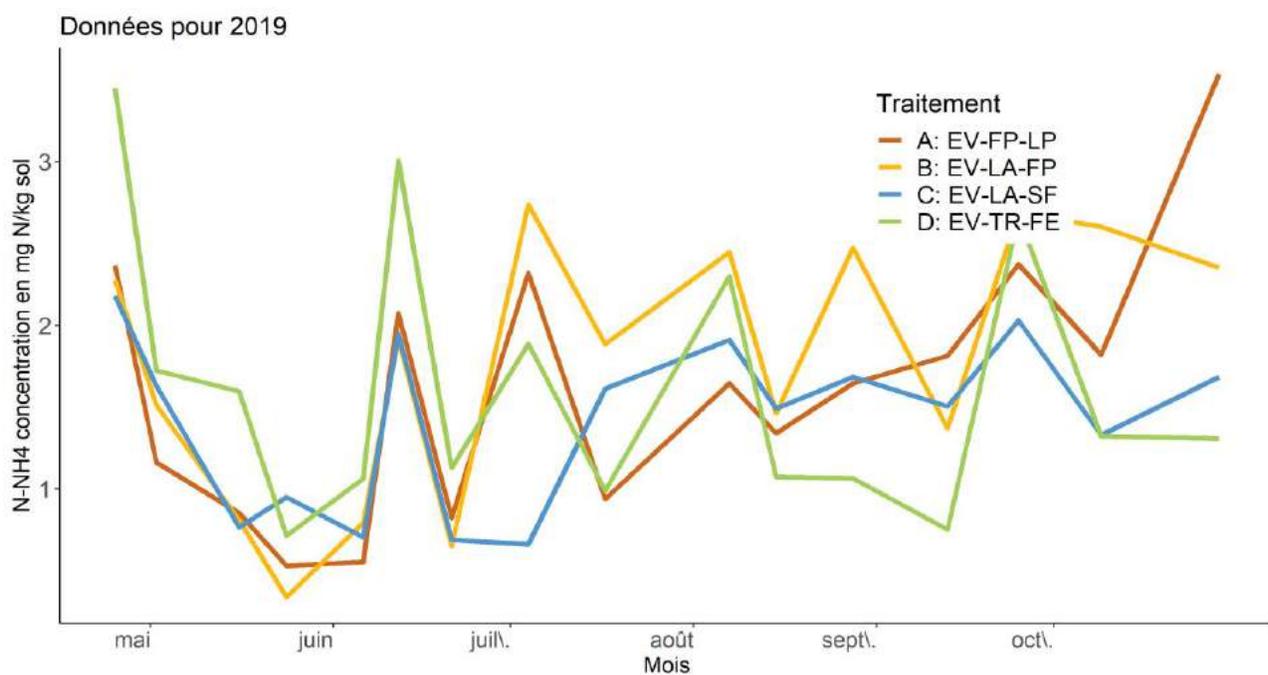


Figure 4. Teneurs mesurées en N-NH_4 par traitement en mg par kg de sol pour 2019 en fonction du temps

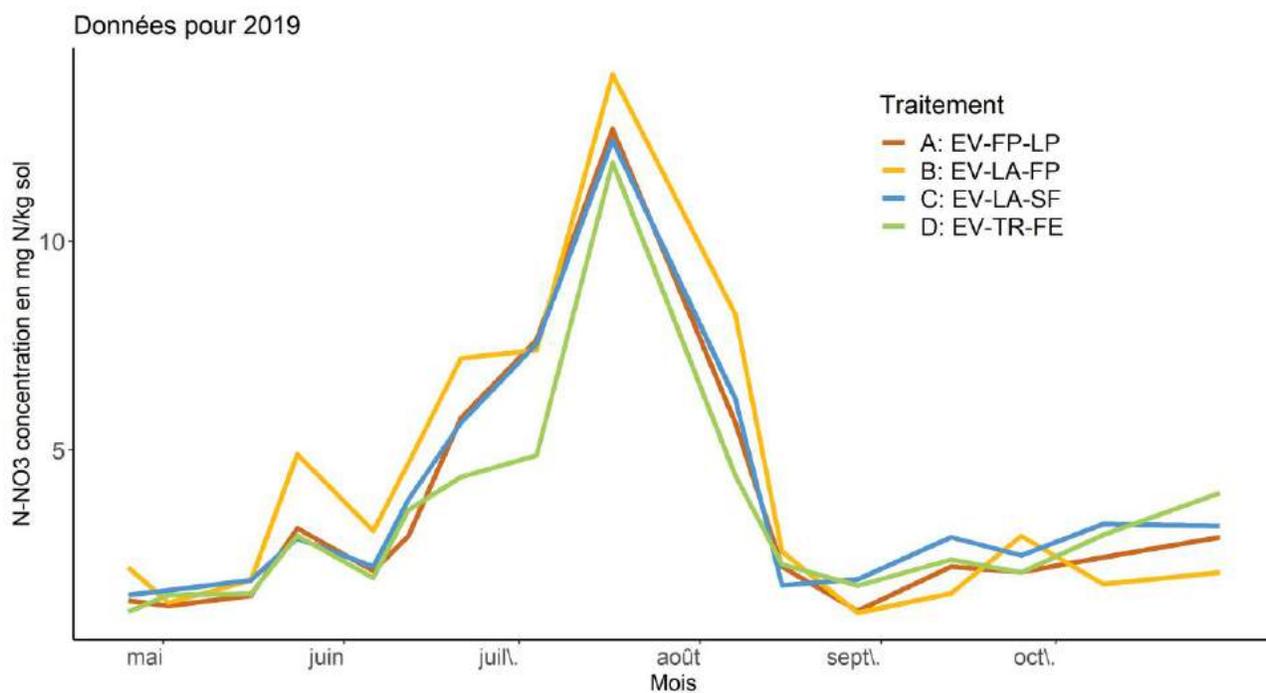


Figure 5. Teneurs mesurées en N-NO₃ par traitement en mg par kg de sol pour 2019 en fonction du temps

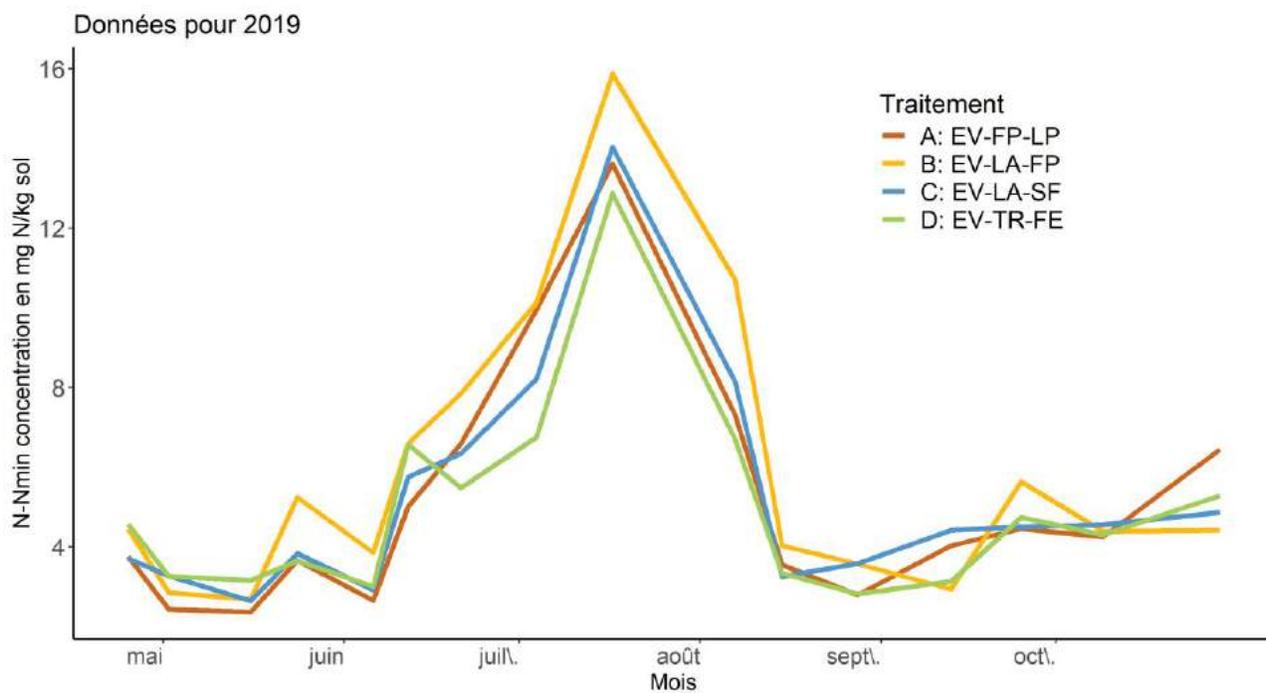


Figure 6. Teneurs mesurées en N minéral total (NO₃ + NH₄) par traitement en mg par kg de sol pour 2019 en fonction du temps

Annexe 9. Analyses du sol de surface pour chacune des parcelles
(sols échantillonnés le 1^{er} septembre 2017 et non 2018 comme indiqué dans les rapports d'analyses)



Accrédité pour pH, pH tampon, Mat. Org., P, K, Ca, Mg, Al, Mn, Cu, Zn, B (Mehlich) par CEAÉQ

Date de réception	14-sept-18	Provenance	Échantillons
Date du rapport	20-sept-18	CETAB+ (CAE du CDA)	CETAB+
Numéro du certificat	131409	475, rue Notre-Dame Est	475, Rue Notre-Dame Est
Numéro d'accréditation	459	Victoriaville	Victoriaville
Méthode	Extraction Mehlich 3	G6P4B3	G6P4B3
Résultats en base sèche			Gilles Gagné

Echantillonné le : 1-sept-2018 Par : Gilles Gagné

Résultats d'analyses						
Numéro		544960	544961	544962	544963	
Identification champ		TBA1	TBA2	TBA3	TBA4	
Culture prévue						
AEI+-SOL-006	pH	5.8 **	6.0 **	6.0 **	6.4 *	
AEI+-SOL-007	pH tampon	6.1 **	6.3 **	6.3 **	6.5 **	
AEI+-SOL-005	Mat. Org. %	5.4 **	5.9 **	7.3 **	8.6 **	
AEI+-SOL-003+AEI+-EOP-008	kg/ha	P	126 *	156 *	117 **	188 *
		K	69 *	81 *	84 *	70 *
		Ca	2 335 **	2 702 **	3 936 **	5 647 **
		Mg	78 **	113 **	123 *	178 *
		Al	1 340 **	1 431 **	1 173 *	826 **
	ppm	Al	1 340 **	1 431 **	1 173 *	826 **
		P/Al*	4.2 †	4.9 †	4.5 †	10.1 †
	ppm	Mn	12.9 *	21.0 **	116.8 **	77.7 **
		Cu	0.63 *	0.95 **	1.24 **	1.90 **
		Zn	3.05 **	3.48 **	4.61 *	6.38 **
B		0.20 **	0.27 **	0.36 **	0.63 *	
S						
%	N total					
	C / N					
ppm	N-NH ₄					
ppm	N-NO ₃					

*Très pauvre, **Pauvre, ***Moyen, ****Moyen bon, *****Bon, **†Riche, †††Très riche

Besoins en chaux IVA 100%					
No laboratoire		544960	544961	544962	544963
No champ		TBA1	TBA2	TBA3	TBA4
Culture prévue					
Quantité t/ha		7.8	6.5	6.0	4.0
Type de chaux		Calcaire	Calcaire	Calcaire	Calcaire

CEC et saturations en bases					
No champ		TBA1	TBA2	TBA3	TBA4
CEC (meq/100g)		17.9 **	17.7 **	20.0 **	22.2 *
Base	Marge moy.	Saturation en bases			
K	0.3-2.0	0.4 *	0.5 *	0.5 *	0.4 *
Ca	25-60	29.1 **	34.1 **	44.0 **	58.9 *
Mg	1-10	1.8 *	2.4 *	2.3 *	3.0 *
Total	10-90	31.1 *	37.0 *	46.8 *	60.2 *
Rapport	Marge moy.	Rapports entre les éléments			
K/Mg	0.1-0.5	0.28 *	0.22 *	0.21 *	0.12 **
K/Ca	.01-.06	0.02 **	0.02 **	0.01 **	0.01 **
Mg/Ca	.03-0.25	0.05 **	0.07 **	0.05 **	0.05 **
Autres résultats					
Na / RAS	ppm <5	2 **	2 **	2 **	2 **
Conductivité électrique	mS/cm				

* Valeur environnementale critique = limite avec bon et riche. Valeurs agronomiques critiques = limite entre pauvre et moyen, et entre riche et très riche.

Physique du sol					
Granulométrie		TBA1	TBA2	TBA3	TBA4
Sable	%	84.8	83.8	82.1	84.4
Limon	%	8.1	9.4	11.3	7.1
Argile	%	7.1	6.8	6.6	8.5
Classe texturale		s-L	s-L	s-L	s-L
Type de sol		Léger	Léger	Léger	Léger

Estimé					
		TBA1	TBA2	TBA3	TBA4
Densité estimée	g/cm ³	1.04 **	1.01 **	0.96 **	0.90 **
Porosité estimée	%	59.5 *	60.5 *	61.9 *	64.0 *
Perméabilité estimée		très perméable	très perméable	très perméable	très perméable
Conductivité hydrique	cm/h	1800 *	400 *	400 *	400 *
Coef. de réserve eau utile (CRUE)	g eau/100 g sol	11.0 *	11.0 *	13.0 *	13.0 *

†† = Très faible, * = Faible, ** = Bon, *** = Élevé, ††† = Très élevé

Remarques		Résultats applicables aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à usage exclusif du client et est confidentiel. Il vous est remis par le distributeur et, après avoir que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Ce certificat ne doit pas être reproduit, révisé ou enlever, sans l'autorisation écrite du laboratoire.			
TBA1	Le sol est très riche; il est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.				
TBA2	Le sol est très riche; il est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.				
TBA3	Le sol est très riche; il est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.				
TBA4	Le sol est très riche; il est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.				

Contrôle qualité		Valeurs attendues: 85 à 115 %										Résultats des échantillons contrôlés passés avec vos échantillons, résultats en % des valeurs attendues pour chacun des paramètres			
pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Cu	Zn	B	S	Na	Fe	N total	C.E.
101.1	103.6	99.6	98.9	98.8	99.0	99.3	100.2	93.9	97.8	91.4					

Copyright 2007

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
Tél. : 418 856-1079 Téléc. : 418 856-6718
Sans frais : 1 866-288-1079
Courriel : agro-enviro-lab@belnet.ca
www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Karin Arseneault, chimiste

Date de réception 14-sept-18
 Date du rapport 20-sept-18
 Numéro du certificat 131409
 Numéro d'accréditation 459
 Méthode Extraction Mehlich 3
 Résultats en base sèche

Provenance
 CETAB+ (CAE du CDA)
 475, rue Notre-Dame Est
 Victoriaville

Québec

Échantillons
 CETAB+
 475, Rue Notre-Dame Est
 Victoriaville
 G6P4B3
 Gilles Gagné
 Par : Gilles Gagné

Echantillonné le : 1-sept-2018

Résultats d'analyses						
Numéro		544964	544965	544966	544967	
Identification champ		TBB1	TBB2	TBB3	TBB4	
Culture prévue						
ASL-I-SOL-006	pH	6.1 ^{ns}	5.9 ^{ns}	6.3 *	6.1 ^{ns}	
ASL-I-SOL-007	pH tampon	6.2 *	6.2 *	6.4 *	6.5 ^{ns}	
ASL-I-SOL-005	Mat. Org. %	5.3 ^{ns}	5.1 *	7.0 ^{ns}	4.5 *	
AEL-I-SOL-003+AEL-I-EQP-028	kg/ha	P	175 *	146 *	114 ^{ns}	182 *
		K	105 *	76 *	105 *	58 *
		Ca	2 868 *	2 097 *	4 312 *	2 858 *
		Mg	102 ^{ns}	80 *	163 *	103 ^{ns}
	ppm	Al	1 380 *	1 324 *	1 166 *	1 018 *
	ISP	P/Al ³⁺	5.7 †	4.9 †	4.4 †	8.0 †
	ppm	Mn	18.1 ^{ns}	20.4 ^{ns}	106.3 ^{ns}	59.2 ^{ns}
		Cu	0.71 ^{ns}	0.77 ^{ns}	1.19 ^{ns}	1.08 ^{ns}
		Zn	2.77 *	3.00 *	4.83 *	4.33 *
		B	0.29 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.27 ^{ns}
S						
%	N total					
	C / N					
ppm	N-NH ₄					
ppm	N-NO ₃					

†P=Très pauvre, †P=Faible, M=Moyen, M=Mojeu bon, †=Bon, R=Riche, TP=Très riche

Besoins en chaux IVA 100%				
No laboratoire	544964	544965	544966	544967
No champ	TBB1	TBB2	TBB3	TBB4
Culture prévue				
Quantité t/ha	7.2	7.2	5.2	4.0
Type de chaux	Magnésienne	Calciq	Calciq	Calciq

CEC et saturations en bases					
No champ		TBB1	TBB2	TBB3	TBB4
CEC (meq/100g)		18.8 ^{ns}	16.9 ^{ns}	20.4 *	15.6 ^{ns}
Base	Marge moy.	Saturation en bases			
K	0.3 - 2.0	0.6 *	0.5 *	0.6 *	0.4 *
Ca	25 - 60	34.4 *	27.8 *	47.1 *	40.8 *
Mg	1 - 10	2.0 *	1.8 *	3.0 *	2.4 *
Total	10 - 90	37.1 *	30.0 *	50.7 *	43.6 *
Rapport	Marge moy.	Rapports entre les éléments			
K/Mg	0.1 - 0.5	0.31 *	0.29 *	0.20 *	0.17 *
K/Ca	.01 - .06	0.02 *	0.02 *	0.01 *	0.01 *
Mg/Ca	.03 - 0.25	0.06 *	0.06 *	0.06 *	0.06 *
Autres résultats					
Na / RAS	ppm <5	2	11	3	2
Conductivité électrique	mS/cm				

* RMA : Valeur environnementale critique = limite entre bon et riche. Valeurs agronomiques critiques = limite entre pauvre et moyen, et entre riche et très riche.

Physique du sol				
Granulométrie	TBB1	TBB2	TBB3	TBB4
Sable %	86.5	86.6	82.5	88.4
Limon %	7.0	6.8	8.5	4.7
Argile %	6.5	6.6	9.0	6.9
Classe texturale	S-L	S-L	S-L	S-L
Type de sol	Léger	Léger	Léger	Léger

Estimé	TBB1	TBB2	TBB3	TBB4
Densité estimée g/cm ³	1.05 *	1.01 *	0.98 *	1.04 *
Porosité estimée %	59.1 *	60.7 *	61.5 *	59.5 *
Perméabilité estimée	très perméable	très perméable	très perméable	très perméable
Conductivité hydraulique cm/h	1800	1800 *	400 *	> ^{ns}
Coef de réserve eau utile (CRU) g eau / 100 g sol	11.0 *	11.0 *	13.0 *	11.0 *

TP = Très faible, F = Faible, S = Bon, C = Cléve, TE = Très Meve

Remarques

Remarques applicables aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à l'usage exclusif du client et est confidentiel, si vous n'êtes pas le destinataire visé, soyez en avisé. Toute réimpression, reproduction, ou diffusion de ce document est strictement interdite. Ce certificat ne doit pas être reproduit, émis ou altéré, sans l'autorisation écrite du laboratoire.

TBB1	Le sol est très riche et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBB2	Le sol est très riche et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBB3	Le sol est très riche et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBB4	Le sol est très riche, la disponibilité du Mn et du Zn est faible, attention à la déficience en B.

Contrôle qualité		Valeurs attendues: 85 à 115 %				Résultats des échantillons contrôlés passés avec vos échantillons, résultats en % des valeurs attendues pour chacun des paramètres											
pH	MO	P	K	Ca	Mg	N	Mn	Cu	Zn	B	S	Na	Fe	N total	C.E.		
100.7	103.6	99.6	98.9	98.8	99.0	99.3	100.2	93.9	97.8	91.4							

Copyright 2007

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
 Tél. : 418 856-1079 Téléc. : 418 856-6718
 Sans frais : 1 866-288-1079
 Courriel : agro-enviro-lab@belnet.ca
 www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Karin Arseneault, chimiste



Date de réception 14-sept-18
 Date du rapport 20-sept-18
 Numéro du certificat 131409
 Numéro d'accréditation 459
 Méthode Extraction Mehlich 3
 Résultats en base sèche

Provenance
 CETAB+ (CAE du CDA)
 475, rue Notre-Dame Est
 Victoriaville
 G6P4B3

Échantillons
 CETAB+
 475, Rue Notre-Dame Est
 Victoriaville
 G6P4B3
 Gilles Gagné
 Québec
 Par : Gilles Gagné

Echantillonné le : 1-sept-2018

Résultats d'analyses						
Numéro		544968	544969	544970	544971	
Identification champ		TBC1	TBC2	TBC3	TBC4	
Culture prévue						
AEL-1-SOL-006	pH	5.9 **	6.1 **	6.2 **	6.3 *	
AEL-1-SOL-007	pH tampon	6.1 *	6.4 *	6.3 *	6.4 *	
AEL-1-SOL-005	Mat. Org. %	6.1 **	4.7 *	8.9 **	6.6 **	
AEL-1-SOL-003+AEL-1-EQP-028	kg/ha	P	131 *	158 *	180 *	174 *
		K	88 *	64 *	83 *	85 *
		Ca	2 804 *	2 647 *	5 608 *	4 950 *
		Mg	99 **	85 *	222 *	150 *
	ppm	Al	1 353 *	1 281 *	950 **	954 **
		P/Al*	4.3 †	5.6 †	8.4 †	8.1 †
	ppm	Mn	25.9 **	25.0 **	80.5 **	84.4 **
		Cu	0.75 **	0.79 **	1.62 **	1.24 **
		Zn	3.29 **	2.88 **	7.28 **	9.99 **
		B	0.27 **	0.23 **	0.55 *	0.49 *
S						
Fe		200	214	170	168	
%	N total					
	C / N					
ppm	N-NH ₄					
ppm	N-NO ₃					

†P=Très pauvre, P=faible, M=Moyen, M0=Moyen bon, B=Bon, R=Riches, T†=Très riche

Besoins en chaux IVA 100%				
No laboratoire	544968	544969	544970	544971
No champ	TBC1	TBC2	TBC3	TBC4
Culture prévus				
Quantité t/ha	8.2	5.0	6.0	5.2
Type de chaux	Calcaire	Calcaire	Calcaire	Calcaire

CEC et saturations en bases						
No champ		TBC1	TBC2	TBC3	TBC4	
CEC (meq/100g)		19.4 **	16.0 **	24.1 *	21.6 *	
Base	Marge moy.	Saturation en bases				
	K	0.3 - 2.0	0.5 *	0.5 *	0.4 *	0.5 *
	Ca	25 - 60	32.2 *	36.9 *	51.8 *	51.1 *
	Mg	1 - 10	1.9 *	2.0 *	3.4 *	2.6 *
	Total	10 - 90	34.6 *	39.3 *	55.6 *	54.2 *
Rapport	Marge moy.	Rapports entre les éléments				
	K/Mg	0.1 - 0.5	0.27 *	0.23 *	0.11 *	0.17 *
	K/Ca	.01 - .06	0.02 *	0.01 *	0.01 *	0.01 *
	Mg/Ca	.03 - 0.25	0.06 *	0.05 *	0.07 *	0.05 *
Autres résultats						
Na / RAS	ppm	<5	2	3	3	3
Conductivité électrique	ms/cm					

* RV = Valeur environnementale critique = limite entre bon et riche. Valeurs agronomiques critiques = limite entre pauvre et moyen, et entre riche et très riche.

Physique du sol					
Granulométrie		TBC1	TBC2	TBC3	TBC4
Sable	%	86.3	86.2	84.3	86.3
Limon	%	6.8	6.8	6.7	4.6
Argile	%	6.9	7.0	9.0	9.1
Classe texturale		S-L	S-L	S-L	S-L
Type de sol		Léger	Léger	Léger	Léger

Estimé		TBC1	TBC2	TBC3	TBC4
Densité estimée	g/cm ³	1.00 *	1.03 *	0.93 *	0.98 *
Porosité estimée	%	60.8 *	60.0 *	63.0 *	62.2 *
Perméabilité estimée		très perméable	très perméable	très perméable	très perméable
Conductivité hydraulique	cm/h	1800 *	1800 *	400 *	1800 *
Coef. de réserve eau utile (CUE)	g eau / 100 g sol	13.0 *	11.0 *	13.0 *	13.0 *

T† = Très faible, F = Faible, B = Bon, E = Elevé, TE = Très élevé

Remarques

Résultats appliqués aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à usage exclusif du client et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire visé, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Ce document ne doit pas être reproduit, diffusé ou utilisé sans l'autorisation écrite du laboratoire.

TBC1	Le sol est très sableux et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBC2	Le sol est très sableux, la disponibilité du Mn et du Zn est faible, attention à la déficience en B.
TBC3	Le sol est très sableux et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBC4	Le sol est très sableux et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.

Contrôle qualité		Valeurs attendues: 85 à 115 %				Résultats des échantillons contrôlés passés avec vos échantillons, résultats en % des valeurs attendues pour chacun des paramètres									
pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Cu	Zn	B	S	Na	Fe	N total	C.E.
100.7	103.6	105.9	98.6	99.4	97.7	104.1	95.2	104.2	97.6	101.2					

Copyright 2007

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
 Tél. : 418 856.1079 Téléc. : 418 856.6718
 Sans frais : 1 866-288-1079
 Courriel : agro-enviro-lab@belnet.ca
 www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Karin Arseneault, chimiste



Date de réception 14-sept-18
 Date du rapport 20-sept-18
 Numéro du certificat 131409
 Numéro d'accréditation 459
 Méthode Extraction Mehlich 3
 Résultats en base sèche

Provenance
 CETAB+ (CAE du CDA)
 475, rue Notre-Dame Est
 Victoriaville
 G6P4B3

Échantillons
 CETAB+
 475, Rue Notre-Dame Est
 Victoriaville
 G6P4B3
 Gilles Gagné
 Par : Gilles Gagné

Echantillonné le : 1-sept-2018

Résultats d'analyses						
Numéro		544972	544973	544974	544975	
Identification champ		TBD1	TBD2	TBD3	TBD4	
Culture prévue						
AEL-I-SOL-006	pH	6.3 *	6.1 **	6.0 **	5.9 **	
AEL-I-SOL-007	pH tampon	6.3 *	6.3 *	6.2 *	6.4 *	
AEL-I-SOL-005	Mat. Org. %	7.2 **	5.1 *	6.7 **	4.0 *	
AEL-I-SOL-003+AEL-I-EQP-028	kg/ha	P	107 **	151 *	163 *	238 *
		K	73 *	71 *	87 *	67 *
		Ca	4 225 *	2 569 *	4 130 *	2 288 *
		Mg	157 *	94 **	132 *	97 **
		Al	1 193 *	1 329 *	1 164 *	922 **
	ppm	Al	1 193 *	1 329 *	1 164 *	922 **
		P/Al*	4.0 †	5.1 †	6.3 †	11.5 †
	ppm	Mn	53.1 **	13.5 *	67.5 **	35.1 **
		Cu	0.90 **	0.77 **	1.26 **	1.00 **
		Zn	3.93 **	2.88 *	5.95 *	3.77 **
B		0.37 **	0.24 **	0.41 **	0.24 **	
S						
Fe		175	232	158	252	
%	N total					
	C / N					
ppm	N-NH ₄					
ppm	N-NO ₃					

†P=Très pauvre, P=Faible, M=Moyen, M2=Moyen bon, S=Bon, R=Riche, T=Très riche

Besoins en chaux IVA 100%				
No laboratoire	544972	544973	544974	544975
No champ	TBD1	TBD2	TBD3	TBD4
Culture prévue				
Quantité t/ha	5.8	6.8	7.0	4.8
Type de chaux	Calciq	Calciq	Calciq	Calciq

CEC et saturations en bases					
No champ		TBD1	TBD2	TBD3	TBD4
CEC (meq/100g)		20.6 *	17.4 **	21.3 *	15.1 **
Base		Marge moy. Saturation en bases			
K	0.3 - 2.0	0.4 *	0.5 *	0.5 *	0.5 *
Ca	25 - 60	45.7 *	32.9 *	43.2 *	33.9 *
Mg	1 - 10	2.8 *	2.0 *	2.3 *	2.4 *
Total	10 - 90	49.0 *	35.4 *	46.0 *	38.8 *
Rapport		Marge moy. Rapports entre les éléments			
K/Mg	0.1 - 0.5	0.14 *	0.23 *	0.20 *	0.21 *
K/Ca	.01 - .06	0.01 *	0.01 *	0.01 *	0.02 *
Mg/Ca	.03 - 0.25	0.06 *	0.06 *	0.05 *	0.07 *
Autres résultats					
Na / RAS	ppm <5	3 **	2 **	2 **	2 **
Conductivité électrique	mS/cm				

* RAI - Valeur environnementale critique + limite entre bon et riche. Valeurs agronomiques critiques + limite entre pauvre et moyen, et entre riche et très riche.

Physique du sol				
Granulométrie	TBD1	TBD2	TBD3	TBD4
Sable %	84.2	88.0	86.1	87.9
Limon %	6.7	5.0	6.7	4.8
Argile %	9.1	7.0	7.2	7.3
Classe texturale	S-L	S-L	S-L	S-L
Type de sol	Léger	Léger	Léger	Léger

Estimé	TBD1	TBD2	TBD3	TBD4	
Densité estimée g/m ³	0.96 *	1.01 *	1.01 *	1.05 *	
Porosité estimée %	62.1 *	60.5 *	60.3 *	59.5 *	
Perméabilité estimée					
Conductivité hydraulique	cm/h	400 *	1800 *	1800 *	1800 *
Coef. de réserve d'eau utile (CRU)	g eau / 100 g sol	13.0 *	11.0 *	13.0 *	11.0 *

T1 = Très faible, F = Faible, S = Bon, E = Élevé, T2 = Très élevé

Remarques

Résultats obtenus aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à usage exclusif du client et est confidentiel, si vous n'êtes pas le destinataire visé, s'il vous plaît ne pas le divulguer, ni le copier, ni le réutiliser, ni le diffuser de ce document sans l'autorisation écrite de AgroEnviroLab.

TBD1	Le sol est très riche et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBD2	Le sol est très riche et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBD3	Le sol est très riche et est riche en matière organique, la disponibilité du Mn, du Zn et du Cu est faible, attention à la déficience en B.
TBD4	Le sol est très riche, la disponibilité du Mn et du Zn est faible, attention à la déficience en B.

Contrôle qualité		Valeurs attendues: 85 à 115 %										Résultats des échantillons contrôlés pesés avec vos échantillons, résultats en % des valeurs attendues pour chacun des paramètres				
pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Cu	Zn	B	S	Na	Fe	N total	C.E.	
100.7	103.6	105.9	99.6	99.4	97.7	104.1	95.2	104.2	97.6	101.2						

Copyright 2007

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
 Tél. : 418 856.1079 Téléc. : 418 856.6718
 Sans frais : 1 866-286-1079
 Courriel : agro-enviro-lab@bellnet.ca
 www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Karin Arseneault, chimiste



Tableau 1 : Teneurs en matière organique des sols de surface par traitement et par bloc

Bloc	Traitement A	Traitement B	Traitement C	Traitement D	Moyennes par bloc
1	5,4	5,3	7,2	6,1	6,0
2	5,9	5,1	5,1	4,7	5,2
3	7,3	7,0	6,7	8,9	7,5
4	8,6	4,5	4,0	6,6	5,9
Moyennes par traitement	6,8	5,5	5,8	6,6	6,15

Tableau 2 : Teneurs en sable et en argile des sols de surface par traitement et par bloc

Bloc	Traitement A		Traitement B		Traitement C		Traitement D		Moy. par bloc	Moy. par bloc
	sable %	argile %	sable %	argile %						
1	84,8	7,1	86,5	6,5	86,3	6,9	84,2	9,1	85,5	7,4
2	83,8	6,8	86,6	6,6	86,2	7,0	88,0	7,0	86,2	6,9
3	82,1	6,6	82,5	9,0	84,3	9,0	86,1	7,2	83,8	8,0
4	84,4	8,5	88,4	6,9	86,3	9,1	87,9	7,3	86,8	8,0
Moy. par traitement	83,8	7,3	86,0	7,3	85,8	8,0	86,6	7,7	85,5	7,5

Annexe 10. Résultat des analyses des engrais organiques appliqués en 2017 (fumier composté de bovins laitiers) et 2018 (fumier de poulets à griller) et doses et quantités d'azote appliqué pour les traitements A, B et D



ENGRAIS ORGANIQUE

Résultats d'analyses

Copyright 2007

Accrédité par CEAEQ ISO-CEI 17025 pour Mat. Sèche / Organique, Ntot, NH₄, P, K, Ca, Mg, pH

Votre échantillon: 08-8 sept Numéro du lab: FU-0076 371 Date de réception: 27 sept. 17 Date du rapport: 11 oct. 17 Méthode: Minéralisation acide, dosage ICP Résultats en base humide Numéro d'envoi : 70193		Provenance CETAB+ (CAE du CDA) 475, rue notre-Dame Est Victoriaville Québec, G6P4B3 Échantillonné le		Échantillon CETAB+ 475, Rue Notre-Dame Est Victoriaville G6P4B3 Par : Mathieu F. Picrd		
Résultat d'analyse			08-8 sept			
Échantillon analysé:			Référence:			
Méthode	séchage	Incinération	Calcul	Min. acide	Extraction KCl	Minéralisation acide
Nom méthode	AEL-I-FUM-006			AEL-I-FUM-005	AEL-I-FUM-004	AEL-I-FUM-003 et AEL-I-EQP-028
Éléments	Matière sèche	Matière organique	C/N	Azote total	Azote ammoniacal	Azote nitrate
Unités	%	%		kg/t	kg/t	ppm
Échantillon	42.5	14.3	9.4	7.6	< 0.1	
	8.3	12.7	19.5	3.1		
l'échantillon divisée par la référence %	180					
	160					
	140					
	120					
	100					
	80					
	60					
40						
20						
Référence						
Méthode						
Minéralisation acide						
Nom méthode	AEL-I-FUM-003 et AEL-I-EQP-028					
Éléments	Densité calculée	Cu	Mn	Zn	B	Fe
		Cuivre	Manganèse	Zinc	Bore	Fer
Unités	tonne/m ³	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Échantillon	0.502	33	150	124		1 119
Référence						
Valeur fertilisante et monétaire du fumier						
C/N	9.4	Niveau de minéralisation:		Disponibilité de l'azote:		N potentiellement disponible
NH ₄ / N total (%)	0.2	Forte minéralisation:		Élevé à très élevée		4.5 kg / t
Valeur fertilisante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Valeur monétaire		1 t, 500 t, 1000 t
Valeur brute	kg/t	7.58	8.30	12.67	Valeur brute	\$ 23.07, 11 533, 23 066
Épandu été	kg/t	3.95	5.39	11.40	Épandu été	\$ 15.91, 7 956, 15 913
Épandu automne	kg/t	2.80	3.37	9.25	Épandu automne	\$ 11.56, 5 780, 11 560
N.B.	Prix des minéraux (\$/kg) :		N :		P ₂ O ₅ :	
					K ₂ O :	
Résultats applicables aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à l'usage exclusif du client et est confidentiel, si vous n'êtes pas le destinataire visé ou son mandataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire.						

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
 Tél. : 418 856.1079 Téléc. : 418 856.6718
 Sans frais : 1 866-288-1079
 Courriel : agro-enviro-lab@bellnet.ca
 www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Karin Arseneault, chimiste



Copyright 2007

Accrédité par CEAEQ ISO-CEI 17025 pour Mat. Sèche / Organique, Ntot, NH₄, P, K, Ca, Mg, pH

Votre échantillon: fumier poule
 Numéro du lab: FU-0079 405
 Date de réception: 28 mai 18
 Date du rapport: 15 juin 18
 Méthode: Minéralisation acide, dosage ICP
 Résultats en base humide
 Numéro d'envoi : 76107

Provenance
 CETAB+ (CAE du CDA)
 475, rue notre-Dame Est
 Victoriaville
 Québec, G6P4B3

Échantillon
 Cetab+
 475, Rue Notre-Dame Est
 Victoriaville
 G6P4B3

Échantillonné le

Par :

Résultat d'analyse | fumier poule

Échantillon analysé:				Référence:						
Méthode	séchage	Incinération		Min. acide	Extraction KCl		Minéralisation acide			
Nom méthode	AEL-I-FUM-006		Calcul	AEL-I-FUM-005	AEL-I-FUM-004		AEL-I-FUM-003 et AEL-I-EQP-028			
Éléments	Matière sèche	Matière organique	C/N	Azote total	Azote ammoniacal	Azote nitrate	P ₂ O ₅ Phosphore	K ₂ O Potassium	Ca Calcium	Mg Magnésium
Unités	%	%		kg/t	kg/t	ppm	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t
Échantillon	40.4	31.8	7.5	21.1	3.15		18.1	19.5	13.2	3.3
l'échantillon divisée par la référence %	180									
	160									
	140									
	120									
	100									
	80									
	60									
40										
20										
Référence										
Méthode	Minéralisation acide									
Nom méthode	AEL-I-FUM-003 et AEL-I-EQP-028									AEL-I-FUM-007
Éléments	Densité calculée	Cu	Mn	Zn	B	Fe	S	Na	Al	pH
Unités	tonne/m ³	Cuivre ppm	Manganèse ppm	Zinc ppm	Bore ppm	Fer ppm	Soufre ppm	Sodium ppm	Aluminium ppm	-
Échantillon	0.515	303	289	452		351		2 546	160	
Référence										

Valeur fertilisante et monétaire du fumier

C/N	7.5	Niveau de minéralisation:			Disponibilité de l'azote:		N potentiellement disponible		
NH ₄ / N total (%)	14.9	Forte minéralisation			Élevé à très élevée		12.6	kg / t	
Valeur fertilisante		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Valeur monétaire		1 t	500 t	1000 t
Valeur brute	kg/t	21.07	18.08	19.52	Valeur brute \$		49.96	24 979	49 959
Épandu été	kg/t	10.97	11.75	17.56	Épandu été \$		32.67	16 337	32 674
Épandu automne	kg/t	7.80	7.35	14.25	Épandu automne \$		23.33	11 664	23 328

N.B. Prix des minéraux (\$/kg) : N : P₂O₅ : K₂O :

Résultats applicables aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à l'usage exclusif du client et est confidentiel, si vous n'êtes pas le destinataire visé ou son mandataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire.

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
 Tél. : 418 856.1079 Téléc. : 418 856.6718
 Sans frais : 1 866-288-1079
 Courriel : agro-enviro-lab@bellnet.ca
 www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Karin Arseneault, chimiste



Tableau 1 : Doses et quantités d'azote appliqué pour les traitements A, B et D

Traitement	Fumier	Dose t/ha	N-total kg/t	N-NH₄ kg/t	N appliqué kg/ha
A et B (2018)	Volailles (poulets)	7	21,1	7,2	148
D (2017)	Bovins laitiers composté	35	7,6	< 0,1	266

Annexe 11. Rendements, pourcentages d'azote, rapports C sur N et apports en azote total des engrais verts incorporés par traitement en 2017

Traitement	Engrais vert	Rendement t m.s./ha	% N	Rapport C/N	N apporté kg/ha
A et B	Trèfle rouge	2,2	3,7	11,8	81
C	Trèfle rouge	2,1	3,9	11,3	82
D	Avoine/pois	1,2	4,6	9,0	54

Annexe 12. Rendement en grains en t/ha des cultures en 2018 (maïs) et 2019 (soya)

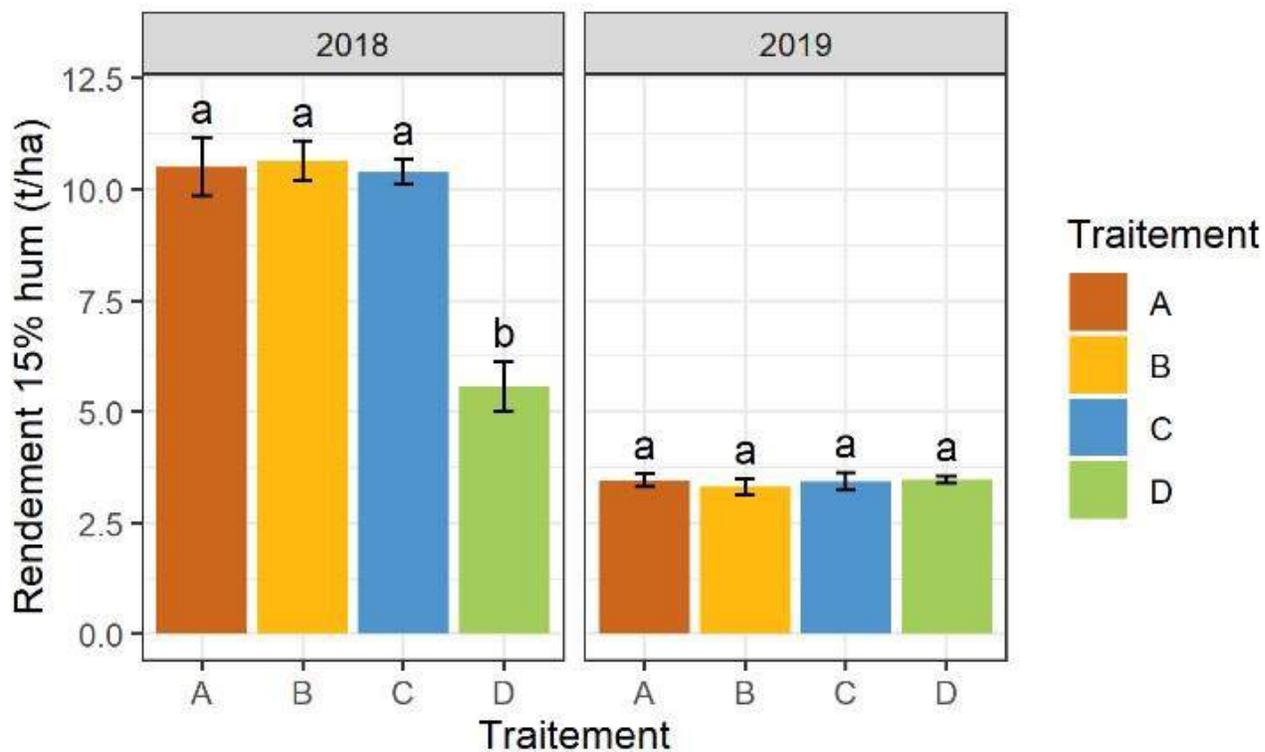
Maïs

Année	Bloc	Itinéraire agronomique	Poids total (kg)	Superficie récoltée (m ²)	Rendement humide (t/ha)	Rendement à 15,5 % d'humidité (t/ha)
2018	1	A	36,15	36,58	9,88	8,86
2018	2	A	46,00	36,58	12,58	10,97
2018	3	A	46,26	36,58	12,65	10,87
2018	4	A	47,55	36,58	13,00	11,35
2018	1	B	38,47	36,58	10,52	9,66
2018	2	B	44,35	36,58	12,12	10,67
2018	3	B	48,82	36,58	13,35	11,58
2018	4	B	44,15	36,58	12,07	10,63
2018	1	C	41,95	36,58	11,47	10,42
2018	2	C	40,54	36,58	11,08	9,93
2018	3	C	45,00	36,58	12,30	11,07
2018	4	C	41,00	36,58	11,21	10,15
2018	1	D	28,33	36,58	7,75	6,66
2018	2	D	19,07	36,58	5,21	4,45
2018	3	D	24,15	36,58	6,60	6,04
2018	4	D	22,00	36,58	6,01	5,16

Soya

Année	Bloc	Itinéraire agronomique	Poids total (kg)	Superficie récoltée (m ²)	Rendement humide (t/ha)	Rendement à 15 % d'humidité (t/ha)
2019	1	A	28,79	91,44	3,15	3,19
2019	2	A	30,21	91,44	3,30	3,35
2019	3	A	31,98	91,44	3,50	3,55
2019	4	A	34,04	91,44	3,72	3,77
2019	1	B	26,40	91,44	2,89	2,91
2019	2	B	29,59	91,44	3,24	3,27
2019	3	B	31,80	91,44	3,48	3,51
2019	4	B	32,60	91,44	3,57	3,60
2019	1	C	26,63	91,44	2,91	2,96
2019	2	C	31,52	91,44	3,45	3,49
2019	3	C	33,55	91,44	3,67	3,71
2019	4	C	32,67	91,44	3,57	3,61
2019	1	D	31,70	91,44	3,47	3,52
2019	2	D	32,97	91,44	3,61	3,63
2019	3	D	29,90	91,44	3,27	3,30
2019	4	D	31,74	91,44	3,47	3,47

Annexe 13. Rendements moyens en maïs-grain 2018 et en soya 2019 selon les traitements et différences significatives ou non (ANOVA $p < 0.05$)



Annexe 14. Données saisonnières compilées des émissions de GES jumelées aux itinéraires et aux rendements pour chacune des quatre répétitions pour l'année 2018 en maïs-grain et pour l'année 2019 en soya

Année	Traitement	Rendement 15.5% (t/ha)	CO ₂ émission total (kg/ha)	N ₂ O émission total (kg/ha)	CH ₄ émission total (kg/ha)	Émission totale équivalent CO ₂ (kg/ha)	CO ₂ émission tonne rend. (kg/t)	N ₂ O émission tonne rend. (kg/t)	CH ₄ émission tonne rend. (kg/t)	Émission totale équivalent CO ₂ tonne rend. (kg/t)
2018	A1	8,86	4094	4,21	-7,49	5162	462	0,48	-0,85	583
2018	A2	10,97	4969	3,49	-2,46	5947	453	0,32	-0,22	542
2018	A3	10,87	3668	2,04	-2,63	4209	337	0,19	-0,24	387
2018	A4	11,35	4873	1,44	-2,66	5236	429	0,13	-0,23	461
2018	B1	9,66	3395	0,99	-3,63	3599	351	0,10	-0,38	372
2018	B2	10,67	4255	2,20	-1,87	4865	399	0,21	-0,18	456
2018	B3	11,58	4360	1,77	-6,34	4729	376	0,15	-0,55	408
2018	B4	10,63	4927	2,29	-3,31	5527	463	0,22	-0,31	520
2018	C1	10,42	3508	1,25	-3,30	3796	337	0,12	-0,32	364
2018	C2	9,93	4347	1,19	-0,98	4676	438	0,12	-0,10	471
2018	C3	11,07	4023	1,23	-5,49	4251	363	0,11	-0,50	384
2018	C4	10,15	4279	1,49	-2,28	4665	422	0,15	-0,23	460
2018	D1	6,66	3209	0,25	-1,96	3236	482	0,04	-0,29	486
2018	D2	4,45	4217	0,36	-2,83	4254	947	0,08	-0,64	955
2018	D3	6,04	3925	0,40	-4,17	3940	650	0,07	-0,69	653
2018	D4	5,16	4897	0,37	-1,60	4967	949	0,07	-0,31	962
Moyennes par traitement	A	10,51	4401	2,79	-3,81	5138	420	0,28	-0,39	493
	B	10,64	4234	1,81	-3,79	4680	397	0,17	-0,35	439
	C	10,39	4039	1,29	-3,01	4347	390	0,12	-0,28	420
	D	5,58	4062	0,35	-2,64	4099	757	0,06	-0,48	764
Moyennes du site		9,28	4184	1,56	-3,3	4566	491	0,16	-0,38	529

Année	Traitement	Rendement 15% (t/ha)	CO ₂ émission total (kg/ha)	N ₂ O émission total (kg/ha)	CH ₄ émission total (kg/ha)	Émission totale équivalent CO ₂ (kg/ha)	CO ₂ émission tonne rend. (kg/t)	N ₂ O émission tonne rend. (kg/t)	CH ₄ émission tonne rend. (kg/t)	Émission totale équivalent CO ₂ tonne rend. (kg/t)
2019	A1	3,19	4139	0,92	-6,04	4262	1299	0,29	-1,90	1338
2019	A2	3,35	3904	0,75	1,32	4161	1164	0,22	0,39	1240
2019	A3	3,55	5303	0,62	3,89	5585	1493	0,17	1,10	1573
2019	A4	3,77	5124	0,90	11,07	5670	1361	0,24	2,94	1505
2019	B1	2,91	3564	0,46	-4,98	3575	1223	0,16	-1,71	1227
2019	B2	3,27	3718	0,86	-0,24	3969	1136	0,26	-0,07	1212
2019	B3	3,51	4800	0,38	10,67	5179	1366	0,11	3,03	1474
2019	B4	3,60	4950	0,54	6,90	5284	1375	0,15	1,92	1468
2019	C1	2,96	4086	0,62	-0,98	4245	1382	0,21	-0,33	1436
2019	C2	3,49	3578	0,30	-0,64	3651	1026	0,09	-0,18	1047
2019	C3	3,71	4983	0,73	18,45	5662	1344	0,20	4,98	1527
2019	C4	3,61	3756	0,61	-1,61	3898	1040	0,17	-0,45	1080
2019	D1	3,52	4047	0,76	-1,13	4246	1151	0,22	-0,32	1208
2019	D2	3,63	4181	0,39	-0,97	4274	1152	0,11	-0,27	1177
2019	D3	3,30	5262	0,59	-0,31	5429	1592	0,18	-0,10	1643
2019	D4	3,47	3833	0,49	-1,20	3950	1104	0,14	-0,34	1138
Moyennes par traitement	A	3,46	4618	0,80	2,56	4919	1329	0,23	0,63	1414
	B	3,33	4258	0,56	3,09	4502	1275	0,17	0,79	1345
	C	3,44	4100	0,56	3,81	4364	1198	0,17	1,00	1272
	D	3,48	4331	0,56	-0,90	4475	1250	0,16	-0,26	1291
Moyennes du site		3,43	4327	0,62	2,14	4565	1263	0,18	0,54	1331

Annexe 15. Analyse économique des quatre itinéraires agronomiques

Introduction

L'analyse économique avait pour objectif de comparer la rentabilité agroéconomique des itinéraires agronomiques (ou traitements) et de la mettre en parallèle avec les émissions saisonnières des gaz à effet de serre (GES) afin de déterminer les itinéraires expérimentés qui sont prometteurs en ce qui concerne la réduction des GES et la faisabilité économique. En plus de brosser un portrait du potentiel de réduction de GES des itinéraires étudiés, l'analyse de la rentabilité permet d'évaluer si ces itinéraires présentent un intérêt économique pour les entreprises agricoles, donc un potentiel d'adoption par celles-ci.

L'analyse économique associée aux émissions des GES porte uniquement sur le protoxyde d'azote (N_2O). Le choix de considérer que celui-ci s'explique puisqu'il s'agit du plus important GES associé à la gestion des sols en culture et qu'il s'agit d'une molécule au potentiel de réchauffement planétaire 298 fois plus élevé qu'une molécule de CO_2 (MELCC, 2019). De plus, dans l'Inventaire québécois des émissions de GES, le N_2O est le seul GES considéré dans la sous-section Gestion des sols agricoles. Selon ce rapport, de 1990 à 2017, les émissions associées à la gestion des sols agricoles ont augmenté de 20,9 %, passant de 2,0 à 2,4 Mt éq. CO_2 et cette augmentation serait principalement associée à la progression annuelle des applications d'engrais azotés sur les cultures ainsi qu'au changement des techniques de travail du sol (augmentation du travail minimal du sol). En incluant le sous-secteur de la Gestion des fumiers, les émissions de N_2O contribuent à 39,4% des émissions du secteur agricole et celles-ci proviennent pour 79 % de la gestion des sols agricoles et pour 21% de la gestion des engrais de ferme. Pour l'ensemble de la planète, les émissions d'origine agricole correspondent entre 62 et 84 % du N_2O introduit annuellement par l'humain dans l'atmosphère (Kanter et al, 2013).

Analyse de la rentabilité

Pour chacun des itinéraires, l'analyse a intégré les coûts de production, les rendements et les prix de vente. Les approvisionnements comprennent les semences des cultures et des engrais verts, les amendements et les fertilisants. Les opérations regroupent l'ensemble des opérations culturales réalisées incluant les coûts d'utilisation des équipements et la main d'œuvre. Les coûts de mise en marché comprennent le stockage, le séchage, le transport, le criblage, le transport et les frais de plan conjoint. Les points morts (Pt mort) indiquent les paliers de prix de vente ou de rendement nécessaires pour couvrir les coûts. Au-dessus de ces points morts, les marges sont positives alors qu'en dessous elles sont négatives (perte monétaire). Les données utilisées proviennent des résultats des expérimentations, des prix de marché et des références économiques du CRAAQ. Les résultats économiques détaillés et la provenance des données sont présentés à l'annexe 16.

Comme indiqué dans la description des itinéraires (Annexe 2), de l'orge a été cultivée lors de la première année de la transition biologique (2017). Bien qu'aucun captage de GES n'ait été réalisé pour cette année puisque le présent projet n'était pas débuté, il demeure intéressant d'analyser les résultats économiques des différents traitements pour cette année 2017 puisqu'ils permettent de comparer le potentiel économique de chacun itinéraire sur l'ensemble de la période de transition de trois ans vers le mode biologique.

Tableau 1: Synthèse des résultats économiques

	Itinéraire A				Itinéraire B			
	Orge	Maïs	Soya	3 ans	Orge	Maïs	Soya	3 ans
Produits								
Vente de grains (\$/ha)	515	2313	1504	4332	492	2340	1443	4275
Coûts variables								
Approvisionnements (\$/ha)	221	716	216	1153	221	716	319	1257
Opérations (\$/ha)	403	714	531	1647	403	714	541	1658
Mise en marché (\$/ha)	52	417	103	573	50	422	99	571
Total coûts variables (\$/ha)	676	1847	850	3373	673	1852	960	3485
Marge sur coût variable (\$/ha)	-161	466	653	959	-182	488	483	790
Point mort rendement (t/ha)	2,9	8,40	1,96		2,89	8,42	2,21	
Point mort prix (\$/t)	305	176	245		319	174	289	

	Itinéraire C				Itinéraire D			
	Orge	Maïs	Soya	3 ans	Orge	Maïs	Soya	3 ans
Produits								
Vente de grains (\$/ha)	0	2286	1493	3780	629	1227	1510	3367
Coûts variables								
Approvisionnements (\$/ha)	221	462	266	949	944	1188	957	3089
Opérations (\$/ha)	249	575	541	1365	403	888	466	1757
Mise en marché (\$/ha)	0	412	103	515	63	221	104	389
Total coûts variables (\$/ha)	470	1449	910	2828	1411	2297	1526	5234
Marge sur coût variable (\$/ha)	-470	837	584	951	-781	-1070	-16	-1867
Point mort rendement (t/ha)		6,59	2,10		6,05	10,44	3,52	
Point mort prix (\$/t)		139	264		522	412	439	

Pour les années de l'expérimentation (maïs 2018 et soya 2019), les résultats indiquent des marges positives pour les itinéraires A, B et C, et ce malgré le contexte de transition vers le mode biologique. Ceci démontre des perspectives intéressantes puisqu'il s'agit d'une période souvent difficile financièrement pour ces entreprises étant donné qu'elles vendent leurs produits aux prix du mode conventionnel tout en assumant les coûts de production du mode biologique. De plus, cette période implique des changements de pratiques, l'achat ou l'adaptation de machineries, le développement de nouveaux marchés et des apprentissages.

Malgré des rendements similaires dans plusieurs cas, l'intégration des revenus et des coûts permet de constater une variabilité de la rentabilité. Les coûts moindres de l'itinéraire C pour des rendements équivalents aux itinéraires A et B lui permettent d'obtenir une rentabilité plus élevée. Alors que le traitement D, le plus efficace pour la réduction des émissions des GES en 2018, présente des marges négatives principalement dues aux faibles rendements de maïs-grain et aux coûts importants associés à la fertilisation organique en 2017. Dans ce cas, une compensation financière serait requise, soit par des mécanismes de marché comme la bourse carbone, soit par l'intervention de l'État au moyen de subvention ou de rémunération pour la production de biens et services environnementaux.

Le tableau 2 présente la comparaison entre les points morts et les résultats obtenus pour le maïs et le soya. Les points morts rendements sont inférieurs aux rendements mesurés pour les traitements A, B, C et les points morts prix sont inférieurs aux prix de vente retenus (220 \$/t pour le maïs et 434 \$/t pour le soya), ce qui indique qu'avec des prix de vente ou des rendements plus bas il serait également possible de générer des marges positives. Pour le traitement D, les points morts indiquent que pour générer une marge positive selon cette structure de coûts, il serait requis d'obtenir un rendement supérieur à 10,44 t/ha dans le maïs et 3,52 t/ha dans le soya au prix retenu ou un prix de vente supérieur à 412 \$/t pour le maïs et 439 \$/t pour le soya aux rendements observés.

Tableau 2: Analyse des points morts

	ITINÉRAIRE A		ITINÉRAIRE B			ITINÉRAIRE C		ITINÉRAIRE D	
	Maïs	Soya	Maïs	Soya		Maïs	Soya	Maïs	Soya
Point mort rendement (t/ha)	8,40	1,96	8,42	2,21		6,59	2,10	10,44	3,52
Rendement réel (t/ha)	10,51	3,46	10,64	3,33		10,39	3,44	5,58	3,48
Écart rendement (t/ha)	2,12	1,51	2,22	1,11		3,81	1,34	-4,86	-0,04
Point mort prix (\$/t)	176	245	174	289		139	264	412	439
Prix du marché (\$/t)	220	434	220	434		220	434	220	434
Écart prix (\$/t)	44,33	188,61	45,90	145,29		80,59	169,52	-191,80	-4,53

L'année 2017 en orge (tableau 1) présente des résultats moins intéressants. Les marges sont négatives pour l'ensemble des traitements, donc dans aucun cas les revenus générés ne couvrent les coûts engagés. Cette première année vient donc diminuer la rentabilité globale de la période de transition. Les marges cumulées pour les trois ans restent toutefois positives pour les itinéraires A, B et C. Ce constat soulève un questionnement sur la pertinence du choix de cultiver de l'orge lors de la première année de transition. Une alternative pourrait être de remplacer cette culture par un engrais vert pour une saison complète. Cette option, bien que ne générant pas de revenu, pourrait permettre de limiter les coûts et la charge de travail tout en permettant de démarrer la transition efficacement grâce aux nombreux avantages des engrais verts, notamment pour le contrôle des mauvaises herbes, le recyclage des nutriments, la fixation d'azote atmosphérique et la santé des sols. Un autre point important à considérer est que l'analyse porte sur la période de transition vers le mode biologique, ce qui implique que l'entreprise assume les coûts du mode biologique, mais obtient les prix du mode conventionnel. Les perspectives semblent plus intéressantes une fois cette période terminée avec des prix de vente (FAB) en mode biologique qui se situent actuellement à environ le double du conventionnel, soit de 495\$ à 525\$ par tonne pour le maïs-grain et de 1000\$ à 1200\$ par tonne pour le soya en 2019 (PGQ, 2020). Le tableau 3 présente une estimation des marges au prix de vente biologique pour chacun des itinéraires.

Tableau 3: Estimation des marges brutes avec les prix en mode biologique

	Maïs (\$/ha)	Soya (\$/ha)
Itinéraire A	3515	2961
Itinéraire B	3573	2698
Itinéraire C	3851	2875
Itinéraire D	584	2302

Potentiel de réduction, contribution aux objectifs de réduction du Québec et quantification monétaire

En complément des analyses s’attardant aux effets directs des pratiques expérimentées sur les émissions et les résultats économiques, le projet prévoyait également une estimation du potentiel de réduction selon les résultats et une quantification monétaire des bilans GES de chaque itinéraire en référence au marché du carbone en place au Québec.

Potentiel de réduction

Afin d’estimer le potentiel de réduction associé aux pratiques du projet, la première étape a été d’établir un niveau d’émission de référence des émissions directe de N₂O des sols agricoles pour le contexte des grandes cultures au Québec. Cette donnée a été obtenue à l’aide du logiciel Holos développé par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC, 2020). Il s’agit d’un logiciel de modélisation des GES au niveau de l’exploitation agricole en fonction d’un ensemble de paramètres et pratiques; par exemple, la région, le type de sol, les cultures, les rotations, le travail de sol et la fertilisation par des engrais de synthèse.

Ainsi, il a été possible d’obtenir une estimation des émissions directes de N₂O en mode conventionnel pour chaque année de production pour une rotation maïs-grain, soya et orge dans le contexte du Québec pour un type de sol similaire à celui où a été réalisées les expérimentations et pour un rendement moyen selon les références économiques du CRAAQ (Annexe 17). Ces émissions de référence sont respectivement de 1095,6 kg eqCO₂/ha pour le maïs et 271.5 kg eqCO₂/ha pour le soya. Ces émissions permettent d’estimer le potentiel de réduction de chaque itinéraire en calculant l’écart entre les émissions mesurées lors de l’expérimentation en mode biologique (annexe 14, émissions de N₂O moyenne par traitement x 298) et l’émission de référence Holos en mode conventionnel. Le tableau 4 présente le potentiel de réduction par hectare en équivalent CO₂ des émissions de N₂O du maïs et du soya pour chacun des itinéraires.

Tableau 4: Potentiel de réduction des émissions directes de N₂O par hectare en kilogrammes d’équivalent CO₂

Itinéraires	Réduction des émissions maïs (kg eqCO ₂ /ha)	Réduction des émissions soya (kg eqCO ₂ /ha)
A	262,9	33,7
B	555,0	104,8
C	712,0	103,2
D	992,1	104,7

À partir de ces potentiels de réduction, des extrapolations à l’échelle de la ferme et du secteur des grandes cultures ont été effectuées en supposant pour l’ensemble du Québec des paramètres et pratiques semblables à ceux utilisés pour Holos. L’entreprise en grandes cultures en mode biologique dans les régions à forte proportion de grandes cultures (Montérégie, Centre-du-Québec et Lanaudière) cultive en moyenne 55,4 hectares de maïs et 72,5 hectares de soya selon une étude récente (CECPA, 2018). La ferme type en grandes cultures en mode conventionnel cultive en moyenne 172,5 hectares de maïs et 115,9 hectares de soya selon la plus récente étude sur les coûts de production du secteur (CECPA, 2011). Selon des données récentes (MAPAQ, 2020), 380 620 hectares de maïs et 364 420 hectares de soya sont cultivés au Québec dont 5657 hectares de maïs et 10 706 hectares de soya en mode biologique. Le tableau 5 indique le potentiel de réduction des émissions associées à la gestion des sols pour les surfaces combinées de maïs-grain et de soya à l’échelle de la ferme et du secteur. À l’échelle de la ferme en mode conventionnel et pour l’ensemble de ce mode, cela implique que ces entreprises adoptent les pratiques agricoles

de chacun des itinéraires du projet. Les résultats présentés combinent les potentiels de réduction des émissions du maïs-grain et du soya pour chacune des échelles de production spécifiées précédemment.

Tableau 5: Potentiels de réduction des émissions de N₂O à l'échelle de la ferme et du secteur en tonne eqCO₂

Itinéraires	Échelle ferme biologique (55,4 ha de maïs et 72,5 ha de soya) (t eqCO ₂)	Échelle ferme conventionnelle (172,5 ha de maïs et 115,9 ha de soya) (t eqCO ₂)	Échelle secteur biologique (5657 ha de maïs et 10 706 ha de soya) (t eqCO ₂)	Échelle ensemble du secteur (380 620 ha de maïs et 364 420 ha de soya) (t eqCO ₂)
A	17,01	49,26	1848	112 360
B	38,35	107,89	4265	249 455
C	46,93	134,79	5134	308 621
D	62,56	183,28	6733	415 798

En mégatonne (Mt), soit 1 million de tonnes, on obtient comme potentiels de réduction pour l'ensemble du secteur des grandes cultures en maïs et en soya du Québec selon les itinéraires A, B, C et D respectivement moins 0,112 Mt, moins 0,249 Mt, moins 0,309 Mt et moins 0,416 Mt eqCO₂.

Contribution aux objectifs de réduction du Québec

Bien que peu probable à court terme, une adoption élargie du mode biologique par le secteur des grandes cultures, incluant ainsi les céréales, permettrait donc de réduire significativement les émissions du sous-secteur de la gestion des sols agricoles et ainsi contribuer aux objectifs globaux de réduction des émissions de GES établis par le gouvernement du Québec en 2015 (MDDELCC, 2015). Dans le dernier inventaire des émissions de GES du Québec, les émissions de N₂O associées à la gestion des sols agricoles étaient estimées à 2,39 Mt d'équivalent CO₂ en 2017 par rapport à 1,98 Mt d'équivalent CO₂ en 1990 (MELCC, 2019). Pour l'année 2030, le gouvernement du Québec s'est donné pour cible de réduire ses émissions de GES de 37,5 % par rapport aux émissions de 1990 (MDDELCC 2015). Le tableau 6 présente la réduction théorique des émissions de 2017 selon les itinéraires du projet et indique la différence par rapport aux émissions de 1990 selon l'hypothèse que les pratiques agricoles des itinéraires du projet soient adoptées sur l'ensemble des superficies en maïs et en soya du Québec.

Sans permettre d'atteindre les objectifs de 2030, on constate au tableau 6 qu'une adoption généralisée des pratiques expérimentées permettrait de diminuer les émissions. On peut donc considérer qu'il s'agit de pratiques prometteuses et intéressantes, mais non suffisantes à elles seules pour permettre au Québec d'atteindre sa cible pour ce sous-secteur. Soulignons que l'itinéraire C sans fumier est le plus prometteur puisque l'itinéraire D n'est pas rentable et que les itinéraires A, B et D impliquent l'utilisation de fumiers, une source importante d'émissions de GES.

Tableau 6 : Contribution des itinéraires en maïs-grain et en soya à la réduction des émissions de 2017 et à l'objectif de réduction du Québec pour le sous-secteur de la gestion des sols agricoles

Itinéraires	Réduction des émissions de 2017 en %	Émissions par rapport à ceux de 1990 en %
A	4,7	115,0
B	10,4	108,1
C	12,9	105,1
D	17,4	99,7

Valeur théorique sur le marché du carbone

À partir des potentiels de réduction estimés, il est possible de quantifier monétairement une valeur associée sur le marché du carbone Québec-Californie. Il existe au Québec un système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de GES depuis 2013. En 2014, le Québec a associé son système à celui de la Californie dans le cadre de la *Western Climate Initiative*. Ce type d'institution utilise les mécanismes de marché pour inciter les entreprises à réduire les émissions de GES. Les émetteurs de GES doivent se procurer des droits d'émettre sur le marché du carbone et ceux-ci peuvent provenir d'organisations ou d'entreprises ayant pris des initiatives reconnues de réduction d'émissions ou de séquestration de GES (MELCC, 2020).

Les résultats du projet indiquent que certaines pratiques de gestion des sols en grandes cultures biologiques entraînent des réductions différentes des émissions de GES et que celles-ci sont importantes par rapport au mode conventionnel, ceci selon l'émission de référence obtenue avec Holos. Par ailleurs, soulignons que ces résultats tiennent compte uniquement des émissions directes de N₂O émises par le sol. Elles ne tiennent pas compte d'autres sources possibles d'émissions directes ou indirectes dans les systèmes en modes biologique et/ou conventionnel, notamment les émissions reliées à la fabrication et au transport des intrants utilisés en conventionnel (engrais azotés de synthèse, pesticides, etc.) et à la consommation de carburant. Les données obtenues pourraient éventuellement être intégrées à un système de crédits compensatoires de la bourse du carbone.

La section suivante propose une analyse de cette possibilité. Il s'agit toutefois d'un exercice théorique visant à intégrer les résultats obtenus à un niveau d'analyse supérieur. Il est bien sûr requis de considérer la nature hypothétique des résultats présentés au tableau 7 puisqu'à l'heure actuelle aucun protocole n'est reconnu pour la réduction des émissions associés aux pratiques de gestion des sols agricoles. Pour le moment, le seul protocole reconnu pour le secteur agricole est le recouvrement des réservoirs à lisier visant la captation du méthane émis (MELCC, 2020). Il reste tout de même intéressant d'examiner ceci afin d'obtenir un portrait préliminaire et de valider s'il pouvait s'agir d'un incitatif supplémentaire pertinent compte tenu des résultats obtenus lors de notre expérimentation en termes de réduction des GES. Ces estimations ont été obtenues à partir de la valeur de la tonne d'équivalents CO₂ sur le marché en mars 2020, soit 23,90\$ canadiens (World Bank, 2020).

Tableau 7: Valeur théorique des réductions d'émissions en crédits compensatoires sur la bourse du carbone

Itinéraires	Maïs (\$/ha)	Soya (\$/ha)	Échelle ferme bio (55,4ha de maïs et 72,5 ha de soya) (\$/an)	Échelle ferme conventionnelle (172,5ha de maïs et 115,9 ha de soya) (\$/an)	Échelle secteur bio (5657 ha de maïs et 10 706 ha de soya) (\$/an)	Échelle ensemble du secteur (380 620 ha de maïs et 364 420 ha de soya) (\$/an)
A	6,3	0,81	407	1177	44 311	2 685 397
B	13,3	2,51	917	2579	102 153	5 961 986
C	17,0	2,47	1122	3221	122 613	7 376 034
D	23,7	2,50	1495	4380	159 261	9 937 575

Le tableau 7 permet de constater que les revenus théoriques envisageables sur le marché du carbone, bien que plus intéressants pour le maïs que pour le soya, restent d'intérêt relativement bas. Rappelons que les marges selon les itinéraires varient entre -1070 \$/ha et 837 \$/ha pour le maïs et entre -16 \$/ha et 653 \$/ha pour le soya. Ces revenus issus de la bourse du carbone ne permettraient pas, par exemple, de compenser les marges négatives pour le traitement D, le plus performant du point de vue des émissions, pour le rendre ainsi plus attractif pour les entreprises. Les constats sont les mêmes à l'échelle de la ferme, tant pour le biologique que pour le conventionnel devenant en mode biologique. Il faut aussi considérer que l'accès au système de crédits compensatoires impliquerait un protocole de validation et de certification des pratiques utilisées et possiblement des frais de gestion supplémentaires pour les entreprises agricoles. Compte tenu des revenus peu élevés envisageables à l'échelle d'une ferme en grandes cultures biologiques, la simplicité de gestion et de faibles frais de suivi risquent d'être des conditions essentielles pour la mise en place d'un système de crédits compensatoires. Il pourrait être intéressant de considérer l'insertion de la certification biologique et du suivi des pratiques à même les obligations légales et professionnelles déjà requises pour ces entreprises agricoles, comme le plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF), à titre de critères de qualification des entreprises.

Même dans l'éventualité de la mise en place d'une approche collective simple et peu coûteuse, les revenus associés à l'échelle de la ferme restent faibles pour favoriser seuls une adoption élargie nécessaire à l'obtention de retombées significatives sur le bilan des émissions. Cependant comme indiqué au tableau 8, considéré à l'échelle de l'ensemble du secteur des grandes cultures en maïs-grain et du soya, les revenus potentiels annuels restent tout de même non négligeables, et ceux-ci devraient augmenter selon la valeur de la tonne d'équivalents CO₂ sur le marché du carbone. Une approche de gestion collective soutenue par l'État s'avère alors une option à considérer. Les revenus obtenus pourraient être gérés collectivement et être réinvestis, par exemple, afin de soutenir et développer l'agriculture en mode biologique. Il faut toutefois noter que ces résultats n'intègrent pas d'autres sources d'émissions ou de réduction d'émissions des modes biologique ou conventionnel, comme le désherbage mécanique par rapport au désherbage chimique, les stratégies de fertilisation (organique, végétale et/ou engrais de synthèse) ou les choix de rotations de cultures. Une étude selon l'approche cycle de vie serait requise pour obtenir une analyse détaillée.

Annexe 16. Budgets complets et notes maïs et soya et références

Maïs

		Itinéraire A			Itinéraire B			Itinéraire C			Itinéraire D		
		Qté/ha	Prix unitaire	Total									
Produits (pas de vente de paille ni ASRA)	Unité	Qté	Prix unitaire	Total									
Maïs grain conventionnel	t/ha	10,51	220,00	2313,25	10,64	220,00	2340,31	10,39	220,00	2286,30	5,58	220,00	1227,30
Coûts variables													
Approvisionnements	Unité	Qté	Prix unitaire	Total									
Semences maïs	80000 gr	1,10	182,04	200,24	1,10	182,04	200,24	1,10	182,04	200,24	1,10	182,04	200,24
Semence trèfle rouge	kg	8,00	13,11	52,44	8,00	13,11	52,44	8,00	13,11	52,44		13,11	0,00
Semence avoine	kg		0,90	0,00		0,90	0,00		0,90	0,00	80,00	0,90	72,35
Semence pois	kg		1,08	0,00		1,08	0,00		1,08	0,00	80,00	1,08	86,11
Semence raygrass	kg		4,71	0,00		4,71	0,00		4,71	0,00	15,00	4,71	70,60
Sulfate de potassium	kg	160,00	1,31	208,96	160,00	1,31	208,96	160,00	1,31	208,96		1,31	0,00
Fumier de volaille	m3	21,21	12,00	254,55	21,21	12,00	254,55		12,00	0,00		12,00	0,00
Fumier de bovin composté	m3		52,00	0,00		52,00	0,00		52,00	0,00	43,75	52,00	758,33
Total des approvisionnements				716,19			716,19			461,65			1187,64
Opérations culturales	unité												
Labour (15 cm)	\$/ha	1,00	107,81	107,81	1,00	107,81	107,81	1,00	107,81	107,81		107,81	0,00
Disque lourds travail primaire(10 cm)	\$/ha		50,78	0,00		50,78	0,00		50,78	0,00	2,00	50,78	101,56
Herse à disque (5 cm)	\$/ha	1,00	39,00	39,00	1,00	39,00	39,00	1,00	39,00	39,00	2,00	39,00	77,99
Cultivateur lourd (2epassage) (équivalent vibo)	\$/ha	1,00	19,99	19,99	1,00	19,99	19,99	1,00	19,99	19,99	1,00	19,99	19,99
Sarclueur lourd	\$/ha	2,00	29,26	58,52	2,00	29,26	58,52	2,00	29,26	58,52	2,00	29,26	58,52
Herse étrille	\$/ha	1,00	11,90	11,90	1,00	11,90	11,90	1,00	11,90	11,90	1,00	11,90	11,90
Semoir fourrager (Brillon)	\$/ha	1,00	45,69	45,69	1,00	45,69	45,69	1,00	45,69	45,69		45,69	0,00
Semoir à céréale	\$/ha		39,89	0,00		39,89	0,00		39,89	0,00	1,00	39,89	39,89
Semoir à maïs conventionnel	\$/ha	1,00	53,42	53,42	1,00	53,42	53,42	1,00	53,42	53,42	1,00	53,42	53,42
Épandeur engrais minéral (équivalent semis à la volée)	\$/ha	1,00	10,70	10,70	1,00	10,70	10,70	1,00	10,70	10,70	1,00	10,70	10,70
Chargement fumier au champ (\$/m³)	\$/m3	21,21	2,29	48,58	21,21	2,29	48,58		2,29	0,00	43,75	2,29	100,19
Épandage du fumier solide (\$/m³)	\$/m3	21,21	4,26	90,36	21,21	4,26	90,36		4,26	0,00	43,75	4,26	186,38
Faucheuse conditionneuse à disques	\$/ha	1,00	43,36	43,36	1,00	43,36	43,36	1,00	43,36	43,36	1,00	43,36	43,36
Battage maïs (nez à maïs)	\$/ha	1,00	184,32	184,32	1,00	184,32	184,32	1,00	184,32	184,32	1,00	184,32	184,32
			83,00	0,00		83,00	0,00		83,00	0,00		83,00	0,00
Total opérations				713,65			713,65			574,71			888,22
Mise en marché	unité												
Entreposage et aération maïs	t	10,51	3,55	37,33	10,64	3,55	37,76	10,39	3,55	36,89	5,58	3,55	19,80
séchage à la ferme maïs	t	10,51	19,34	203,36	10,64	19,34	205,73	10,39	19,34	200,99	5,58	19,34	107,89
Plan conjoint maïs	t	10,51	1,80	18,93	10,64	1,80	19,15	10,39	1,80	18,71	5,58	1,80	10,04
Transport au point de vente maïs	t	10,51	15,00	157,72	10,64	15,00	159,57	10,39	15,00	155,88	5,58	15,00	83,68
Total mise en marché				417,33			422,21			412,47			221,42
Total des coûts variables				1847,17			1852,05			1448,82			2297,27
Marge sur coût variable				466,08			488,26			837,48			-1069,97
Point mort rendement (t/ha)				8,40			8,42			6,59			10,44
Point mort prix (\$/t)				175,67			174,10			139,41			411,80

Notes maïs

Produits (pas de vente de paille ni ASRA)									
Maïs grain en plus conventionnel	Prix FADQ 2019 conventionnel sur site web producteurs de gerains du québec								
Coûts variables									
Approvisionnements									
Semences maïs	CRAAQ semences pour prix et budget bio pour taux semis								
Semence trèfle rouge	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya								
Semence avoine	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya								
Semence pois	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya								
Semence raygrass	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya								
Sulfate de potassium	registre des prix des intrants CRAAQ								
Fumier de volaille	Prix fumier poulet: budget grandes cultures bio CRAAQ 2019 - 0,33t/m3								
Fumier de bovin composté	Compost Coût des intrantsAGDEX 537/8212016, amorti sur 3 ans de la rotation 1/3, 1/3, 1/3								
Total des approvisionnements									
Opérations culturales									
Labour (15 cm)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Disque lourds travail primaire(10 cm)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Herse à disque (5 cm)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Cultivateur lourd (2epassage) (équivalent vibo)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Sarclueur lourd	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Herse étrille	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Semoir fourrager (Brillon)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Semoir à céréale	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Semoir à maïs conventionnel	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Épandeur engrais minéral (équivalent semis à la volée)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Chargement fumier au champ (\$/m³)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Épandage du fumier solide (\$/m³)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Faucheuse conditionneuse à disques	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Battage maïs (nez à maïs)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha								
Total opérations									
Mise en marché									
Entreposage et aération maïs	Maïs-grain biologique Budget à l'hectareAGDEX 111.19/821a2019								
séchage à la ferme maïs	Maïs-grain biologique Budget à l'hectareAGDEX 111.19/821a2020								
Plan conjoint maïs	Maïs-grain biologique Budget à l'hectareAGDEX 111.19/821a2021								
Transport au point de vente maïs	Maïs-grain biologique Budget à l'hectareAGDEX 111.19/821a2022								

Soya

	Unité	Itinéraire A			Itinéraire B			Itinéraire C			Itinéraire D		
		Qté/ha	Prix unitaire	Total									
Produits (pas de vente de paille ni ASRA)													
Soya conventionnel	t/ha	3,46	434,00	1503,60	3,33	434,00	1443,23	3,44	434,00	1493,25	3,48	434,00	1510,49
Coûts variables													
Approvisionnement	Unité	Qté	Prix unitaire	Total									
Semences soya	140000 grains	3,57	55,59	198,54	3,57	55,59	198,54	3,57	55,59	198,54	3,57	55,59	198,54
Semence trèfle rouge	kg	8,00	13,11	17,48	8,00	13,11	17,48	8,00	13,11	17,48	8,00	13,11	17,48
Semence trèfle blanc	kg		13,85	0,00		13,85	0,00	3,60	13,85	49,85		13,85	0,00
Semence lotier	kg		12,92	0,00	8,00	12,92	103,38		12,92	0,00		12,92	0,00
Fumier de bovin composté	m3		52,00	0,00		52,00	0,00		52,00	0,00	43,75	52,00	758,33
Total des approvisionnements				216,02			319,39			265,86			956,87
Opérations culturales	unité												
Labour (15 cm)	\$/ha	1,00	107,81	107,81	1,00	107,81	107,81	1,00	107,81	107,81		107,81	0,00
Offset (10 cm)	\$/ha		50,78	0,00		50,78	0,00		50,78	0,00	2,00	50,78	101,56
Herse à disque (5 cm)	\$/ha	1,00	39,00	39,00	1,00	39,00	39,00	1,00	39,00	39,00		39,00	0,00
Cultivateur lourd (2epassage) (équivalent vibo)	\$/ha	1,00	19,99	19,99	1,00	19,99	19,99	1,00	19,99	19,99		19,99	0,00
Sarclueur lourd	\$/ha	2,00	29,26	58,52	2,00	29,26	58,52	2,00	29,26	58,52	2,00	29,26	58,52
Herse étrille	\$/ha	5,00	11,90	59,50	5,00	11,90	59,50	5,00	11,90	59,50	5,00	11,90	59,50
Semoir à maïs conventionnel	\$/ha	1,00	53,42	53,42	1,00	53,42	53,42	1,00	53,42	53,42	1,00	53,42	53,42
Épandeur engrais minéral (équivalent semis à la volée)	\$/ha		10,70	0,00	1,00	10,70	10,70	1,00	10,70	10,70		10,70	0,00
Battage soya (barre de coupe flexible)	\$/ha	1,00	192,55	192,55	1,00	192,55	192,55	1,00	192,55	192,55	1,00	192,55	192,55
Total opérations				530,79			541,49			541,49			465,55
Mise en marché	unité												
Entreposage et aération soya	t	3,46	3,16	10,95	3,33	3,16	10,51	3,44	3,16	10,87	3,48	3,16	11,00
séchage à la ferme soya	t	3,46	2,04	7,07	3,33	2,04	6,78	3,44	2,04	7,02	3,48	2,04	7,10
Criblage soya	t	3,46	3,23	11,19	3,33	3,23	10,74	3,44	3,23	11,11	3,48	3,23	11,24
Plan conjoint soya	t	3,46	1,4	4,85	3,33	1,40	4,66	3,44	1,40	4,82	3,48	1,40	4,87
Transport au point de vente soya	t	3,46	20	69,29	3,33	20,00	66,51	3,44	20,00	68,81	3,48	20,00	69,61
Total mise en marché				103,35			99,20			102,64			103,82
Total des coûts variables				850,15			960,08			909,99			1526,24
Marge sur coût variable				653,45			483,15			583,27			-15,75
Point mort rendement (t/ha)				1,96			2,21			2,10			3,52
Point mort prix du (\$/t)				245,39			288,71			264,48			438,53

Notes soya

	Note
Produits (pas de vente de paille ni ASRA)	
Soya en plus conventionnel	Prix FADQ 2019 conventionnel sur site web producteurs de grains du québec
Coûts variables	
Approvisionnement	
Semences soya	CRAAQ semences pour prix et budget bio pour taux semis
Semence trèfle rouge	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya
Semence trèfle blanc	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya
Semence lotier	AGDEX 100.45/855 - prix semences 2019, amorti sur 3 ans de la rotation 2/6 à la céréale, 3/6 au maïs, 1/6 au soya
Fumier de bovin composté	Compost Coût des intrants AGDEX 537/8212016, amorti sur 3 ans de la rotation 1/3, 1/3, 1/3
Total des approvisionnements	
Opérations culturales	
Labour (15 cm)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Offset (10 cm)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Herse à disque (5 cm)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Cultivateur lourd (2epassage) (équivalent vibo)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Sarclueur lourd	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Herse étrille	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Semoir à maïs conventionnel	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Épandeur engrais minéral (équivalent semis à la volée)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Battage soya (barre de coupe flexible)	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Total opérations	CRAAQ AGDEX 740/825 coût total/ha
Mise en marché	
Entreposage et aération soya	Soya biologique Budget à l'hectare AGDEX 111.19/821a2019
séchage à la ferme soya	Soya biologique Budget à l'hectare AGDEX 111.19/821a2020
Criblage soya	Soya biologique Budget à l'hectare AGDEX 111.19/821a2021
Plan conjoint soya	Soya biologique Budget à l'hectare AGDEX 111.19/821a2022
Transport au point de vente soya	Soya biologique Budget à l'hectare AGDEX 111.19/821a2023

Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2020. HOLOS. [En ligne].
<http://www.agr.gc.ca/fra/collaboration-scientifique-en-agriculture/resultats-de-recherches-en-agriculture/holos/?id=1349181297838>
- Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2011. Étude sur les coûts de production des céréales, du maïs-grain et des oléagineux en 2009 au Québec. CECPA. 112 p.
- Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2018. Données économiques et techniques en production de grains biologiques au Québec – Rapport. [En ligne].
<https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/donnees-economiques-et-techniques-en-production-de-grains-biologiques-au-quebec-rapport/p/PABI0016-PDF>
- Kanter et al, 2013. A post-Kyoto partner: Considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide. PNAS mars 2013. 110 (12) 4451-4457
<https://doi.org/10.1073/pnas.1222231110>
- Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ). 2020. Portrait diagnostique de l'industrie des grains au Québec. [En ligne].
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Monographiegrain.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). 2015. Cible de réduction d'émissions de gaz à effet de serre du Québec pour 2030 – Document de consultation. 51 pages. [En ligne].
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/consultations/cible2030/consultationPost2020.pdf>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). 2019. Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2017 et leur évolution depuis 1990, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale de la réglementation carbone et des données d'émission, 44 p. [En ligne].
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2017/inventaire1990-2017.pdf>.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). 2020. Marché du carbone - Processus menant à la délivrance de crédits compensatoires. [En ligne].
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/carbone/credits-compensatoires/processus.htm>
- Producteurs de grains du Québec (PGQ). 2020. Info-prix grains biologiques. [En ligne].
<https://www.pgq.ca/articles/services-dinformation-sur-les-marches/autres/grains-biologiques/info-prix/>
- World Bank. 2020. Carbon Pricing Dashboard – Map and Data. [En ligne].
https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data

Annexe 17. Rapport Holos pour l'estimation des émissions de N₂O de référence

Renseignements sur la ferme

Détails Oui Non

Renseignements sur ferme

Nom de ferme: Émission de référence/ha maïs soya céréale

Année de ferme: 2020

Écodistrict: 540 Carte des écodistrict

Province: Québec

Écozone: Mixedwood Plains

Version Holos: 3.0.6 février 2019

Système de mesure: Metric

Description

Texture du sol: Grossière

Type de sol: Est du Canada

Variables du facteur de rapport

Facteur de rapport pour la texture: 0,8

Facteur de rapport pour le travail du sol: 1,0

Pratiques de gestion du travail du sol

Intensité actuelle: Intensif

Intensité antérieure: Intensif

Variables du sol

EF Eco (kg N₂O-N kg⁻¹ N): 0,0170

Leaching Fraction: 0,3000

EF Leaching (kg N₂O-N kg⁻¹ N): 0,0075

Fraction de volatilisation: 0,10

Facteur d'émissions de la volatilisation (kg N₂O-N kg⁻¹ N): 0,0100

LumCMax: -181

Constante de taux: 0,0307

Variables climatiques

Précipitations (mm): 652

Évapotranspiration potentielle (mm): 556

Potentiels de réchauffement planétaire

CO₂: 1

CH₄: 28

N₂O: 265

Topographie

F Topographie: 11,71

Variables mensuelles

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Répartition du N ₂ O dans les sols	0,00	0,00	5,00	30,00	20,00	15,00	5,00	5,00	15,00	5,00	0,00	0,00	100
Température moyenne (C)	-11,1	-9,7	-3,2	4,7	12,0	17,2	20,0	18,5	13,5	7,6	0,7	-7,7	

Renseignements sur les cultures

Détail Oui Non

Fourrage annuel, légumineuses, céréales, oléagineux, cultures spéciales

Type	Superficie annuelle (ha)	Rendement (kg ha ⁻¹) ^a	Irrigué	Herbicide	Taux de fertilisation azotée (kg N ha)	Taux de fertilisation au phosphore (kg P ₂ O ₅ ha)	Teneur en eau (w/w)	Teneur en azote des résidus aériens	Teneur en N des résidus souterrains (kg)	Rapport de rendement	Rapport des résidus aériens	Rapport des résidus souterrains	Énergie en carburant (GJ ha ⁻¹)	Énergie pour l'herbicide (GJ ha ⁻¹)
Maïs-grain (égrené)	1,0	9190,0	Non	Oui	123	40	0,15	0,0050	0,0070	0,47	0,38	0,15	3,29	0,08
Soja	1,0	2860,0	Non	Oui	0	40	0,14	0,0060	0,0100	0,30	0,45	0,25	3,11	0,08
Orge	1,0	3150,0	Non	Oui	49	40	0,12	0,0070	0,0100	0,38	0,47	0,15	2,83	0,16
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00
	0,0	0,0	Non	Oui	0	0	0,00	0,0000	0,0000	0,34	0,43	0,23	0,00	0,00

Renseignements sur les rendements

Rapport de synthèse annuel			
Émission de référence/ha maïs soya céréale		Date	25 mai 2020
Rapport détaillé de la production estimée		Holos	3.0
Cultures/sols		Récolte (kg)	
Maïs-grain (égrené)		9190	
Soja		2860	
Orge		3150	
Cultures/sols Sous-Totaux		15200	
Terres Ferme Information		l'aire (ha)	
Ferme Annuel l'aire		3	
Bovins		Fumier épandu sur les terres (kg N) Boeuf (kg)	
Aucun bovin de boucherie ajouté à l'exploitation agricole			
Produits laitiers		Fumier épandu sur les terres (kg N)	Lait (kg) FPCM (kg)
Aucune vache laitière ajoutée à l'exploitation			
Porc		Fumier épandu sur les terres (kg N)	
Aucun porc ajouté à l'exploitation			
Mouton		Fumier épandu sur les terres (kg N)	Agneau (kg)
Aucun mouton ajouté à l'exploitation			
Volaille		Fumier épandu sur les terres (kg N)	
Couches (fumier liquide)		0	
Couches (fumier sec)		0	
Poulets à frire		0	
Dindes		0	
Canards		0	
Oies		0	
Volaille Sous-Totaux		0	
Autres animaux		Fumier épandu sur les terres (kg N)	
Aucun autre animal ajouté à l'exploitation agricole			

Graisses et en protéines du lait corrigées (FPCM)

Algorithmes d'estimation de production sont encore en développement.

La superficie totale ne comprend que des cultures et les prairies comme entré par l'utilisateur.

Renseignement sur les émissions

Rapport de synthèse annuel							
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin		
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre		
Émission de référence/ha maïs soya céréale					Date	25 mai 2020	
Rapport détaillé des émissions de CO2e					Holos	3.0	
Sommaire Annuel					Unités:	kg	CO2e
ferme Agricole							
Modification de l'utilisation des terres	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Travail du sol	---	---	---	---	---	0	0
Jachère	---	---	---	---	---	0	0
Cultures vivaces	---	---	---	---	---	0	0
Semées / Prairie labourée	---	---	---	---	---	0	0
Modification de l'utilisation des terres	---	---	---	---	---	0	0
Cultures/sols	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Maïs-grain (égrené)	---	---	974,28	212,41	695,13	---	1881,81
Soja	---	---	241,45	39,95	240,96	---	522,35
Orge	---	---	475,4	99,06	397,73	---	972,19
Cultures annuelles 4	---	---	0	0	0	---	0
Cultures annuelles 5	---	---	0	0	0	---	0
Cultures annuelles 6	---	---	0	0	0	---	0
Cultures annuelles 7	---	---	0	0	0	---	0
Cultures annuelles 8	---	---	0	0	0	---	0
Cultures annuelles 9	---	---	0	0	0	---	0
Cultures annuelles 10	---	---	0	0	0	---	0
Cultures vivaces 1	---	---	0	0	0	---	0
Cultures vivaces 2	---	---	0	0	0	---	0
Cultures vivaces 3	---	---	0	0	0	---	0
Cultures vivaces 4	---	---	0	0	0	---	0
Cultures vivaces 5	---	---	0	0	0	---	0
Zones en jachère	---	---	0	---	0	---	0
Prairie ensemencée 1	---	---	0	0	0	---	0
Prairie ensemencée 2	---	---	0	0	0	---	0
Prairie ensemencée 3	---	---	0	0	0	---	0
Fumier épandu sur les terres N	---	---	0	0	0	---	0
Azote minéralisé	---	---	0	0	---	---	0
Cultures/sols Sous-Totaux	---	---	1691,13	351,41	1333,82	---	3376,36

Plantations d'arbres	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucun arbre ajouté à l'exploitation agricole							
Bovins	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucun bovin de boucherie ajouté à l'exploitation agricole							
Produits laitiers	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucune vache laitière ajoutée à l'exploitation							
Porc	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucun porc ajouté à l'exploitation							
Mouton	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucun mouton ajouté à l'exploitation							
Volaille	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucune volaille ajout à la ferme							
Autres animaux	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
Aucun autre animal ajouté à l'exploitation agricole							
Totaux	CH4 entérique (CO2e)	CH4 du fumier (CO2e)	Directes de N2O (CO2e)	Indirect N2O (CO2e)	Énergie CO2 (CO2e)	CO2 (CO2e)	Sous-total (CO2e)
	0	0	1691,13	351,41	1333,82	0	3376,36
					Incertitude	+/-	+/- < 40%
Les valeurs négatives indiquent la séquestration du carbone. Les valeurs positives indiquent une émission de gaz à effet de serre.							

Tableau d'incertitude							
Catégorie d'émissions	Incertitude						
Sol/Modification de l'utilisation des terres CO2	+/- 40%						
Cultures/sols N2O - directes	+/- 60%						
La Plantation d'arbres CO2	+/- 20%						
CH4 entérique	+/- 20%						
CH4 du fumier	+/- 20%						
N2O du fumier - directes	+/- 40%						
Indirect N2O - cultures/sols & fumier	+/- 60%						
Utilisation d'énergie CO2	+/- 40%						

Les émissions font l'objet de rapports mensuels. Dans certains cas, les émissions annuelles sont calculées au prorata.

Les émissions directes et indirectes d'oxyde de diazote dues aux sols/aux cultures sont calculées proportionnellement d'après la ventilation indiquée par l'utilisateur.

Le carbone des sols, le carbone des plantations d'arbres, les émissions de CO₂ liées à l'énergie nécessaire aux cultures et à l'épandage du fumier, et les émissions liées à la volaille et aux autres animaux sont répartis également au fil de l'année.

Transition en mode biologique en grandes cultures : mesures de la biodiversité et des émissions de GES

GILLES GAGNÉ¹, NOÉMIE GAGNON-LUPIEN¹, JULIE ANNE WILKINSON¹, FRANÇOIS GENDREAU-MARTINEAU¹, DAVID PELSTER², MARTIN CHANTIGNY², CAROLINE HALDE³

¹Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+), Cégep de Victoriaville

²Centre de recherche et de développement de Québec, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), Québec

³Département de phytologie, Université Laval, Québec

Introduction

Les deux objectifs principaux de ce projet sont de 1) développer et valider différents indicateurs de suivi de la biodiversité et 2) suivre l'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour différents itinéraires agronomiques d'une entreprise agricole en grandes cultures en transition en mode biologique. Des analyses technico-économiques seront également réalisées.

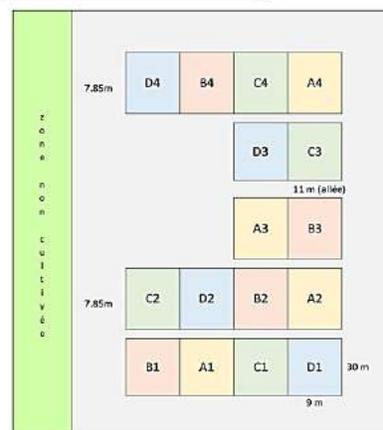
Matériel et méthodes

Mise en place en 2017 sur la ferme expérimentale du CETAB+ à Victoriaville d'un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions des traitements pour un total de 16 parcelles. Les indicateurs de la biodiversité suivis sont les plantes vasculaires, les vers de terre, les abeilles et bourdons, les araignées et les carabes, ceci sur les parcelles et/ou dans une zone témoin en friche située en périphérie. Les GES suivis (CH₄, CO₂ et N₂O) sont échantillonnés périodiquement avec des chambres de captage installées en 2018 sur les 16 parcelles du dispositif et ceux-ci sont quantifiés. Les données seront compilées et analysées une fois le projet davantage complété.

Les itinéraires agronomiques comparés

	2017	2018		2019		
A	Orge avec trèfle rouge intercalaire	Application de fumier et labour au printemps	Maïs-grain	Labour au printemps	Soya	
B	Orge avec trèfle rouge intercalaire	Labour à l'automne	Application de fumier au printemps	Maïs-grain	Labour à l'automne	Soya
C	Orge avec trèfle rouge intercalaire, céréale non récoltée mais fauchée à épiaison pour favoriser le trèfle	Labour à l'automne	Maïs-grain	Labour à l'automne	Soya avec trèfle blanc nain	Labour à l'automne
D	Orge, application et incorporation de fumier, implantation d'un engrais vert avoine et pois après la récolte de l'orge	Travail de sol : disques lourds à l'automne	Maïs-grain avec un engrais vert de ray-grass	Travail de sol : disques lourds à l'automne	Soya	Travail de sol : disques lourds à l'automne

Le dispositif expérimental



Transition en mode biologique en grandes cultures : mesures de la biodiversité et des émissions de GES

GILLES GAGNÉ¹, NOÉMIE GAGNON-LUPIEN¹, JULIE ANNE WILKINSON¹, FRANÇOIS GENDREAU-MARTINEAU¹, DAVID PELSTER², MARTIN CHANTIGNY², CAROLINE HALDE³

¹Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+), Victoriaville, QC.

²Centre de recherche et de développement de Québec, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec, QC.

³Département de phytologie, Université Laval, Québec, QC.

Courriel : gagne.gilles@cegepvicto.ca

La transition vers l'agriculture biologique requiert des changements importants de pratiques agricoles pour une entreprise en grandes cultures. Durant les trois années réglementaires requises, cette transition préfigure un accroissement et une évolution de la biodiversité à l'échelle de la ferme et un changement en regard des émissions de gaz à effet de serre (GES). Un des deux objectifs principaux de ce projet est de développer et valider différents indicateurs de suivi de la biodiversité à l'échelle d'une entreprise agricole en grandes cultures. L'autre objectif est de suivre l'évolution des émissions de GES pour différents itinéraires agronomiques. Pour ce faire, nous avons mis en place en 2017 sur la ferme expérimentale du CETAB+ à Victoriaville, un site en transition biologique depuis cette même année, un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions des traitements pour un total de 16 parcelles de 9 m par 30 m. Une rotation annuelle de trois cultures a été choisie, soit orge (2017), maïs-grain (2018) et soya (2019). Les traitements consistent à l'implantation ou non d'engrais verts en intercalaire ou en post-récolte de la céréale, à un travail du sol avec labour ou un travail réduit à l'automne ou au printemps et à l'application ou non de fumier à l'automne ou au printemps.

Comparativement à l'agriculture conventionnelle, on observe en production biologique une augmentation de nombreuses espèces de plantes, d'oiseaux, de mammifères, d'arthropodes et d'autres invertébrés (Wyss et Pfiffner, 2008). Les indicateurs de la biodiversité sélectionnés couvrent des fonctions écologiques pertinentes pour la production agricole : les plantes vasculaires pour la production primaire, la présence et l'abondance des vers de terre associés notamment à la décomposition de matières organiques, la pollinisation par les abeilles et bourdons, et la prédation par les araignées et les carabes. Ces indicateurs sont suivis périodiquement durant la saison de croissance, soit sur les parcelles et/ou dans une zone témoin en friche située en périphérie du site expérimental. Des objectifs secondaires sont également visés : déterminer comment, lors de la transition de trois ans, les différents modèles de production sélectionnés influencent chaque indicateur de biodiversité choisi; produire une analyse économique du coût du suivi de la biodiversité en fonction des indicateurs choisis et proposer une méthodologie de suivi de la biodiversité valide et réaliste sur les plans technique et économique qui pourra être appliquée sur plusieurs entreprises agricoles.

Au Québec, les émissions de GES provenant du secteur de l'agriculture représentaient 9,4% des émissions totales, soit 7,7 Mt éq. CO₂ par an (MDDELCC, 2016). Un des objectifs clés de ce volet est d'établir si les émissions directes de GES en grandes cultures sont réduites lors d'une transition d'un mode de production conventionnel vers un mode biologique. Le mode biologique n'utilise pas d'engrais azotés ni de pesticides de synthèse, repose sur une rotation d'au moins trois cultures annuelles, implique l'utilisation de cultures de couvertures incluant en tout ou en partie des légumineuses, vise à augmenter l'activité biologique des sols et sa biodiversité, et accorde une grande importance aux apports d'engrais de ferme (Sautereau et Benoit, 2016). En comparaison avec le mode conventionnel, il en découlerait une diminution des émissions de GES et une augmentation de la captation-séquestration du CO₂ atmosphérique dans le sol sous forme de carbone organique par l'entremise de la photosynthèse. Ce volet permettra de documenter et comparer les différents itinéraires de transition expérimentés en regard des émissions de GES (CH₄, CO₂ et N₂O) et de la dynamique de l'azote. Des chambres de captage des gaz ont été installées en 2018 sur les 16 parcelles du dispositif et les GES sont quantifiés. L'analyse des données obtenues des cadres de transition à l'étude permettra d'informer les intervenants et les producteurs de leur potentiel à réduire les émissions de GES, à mieux utiliser l'azote et à maintenir ou augmenter la captation-séquestration du carbone dans le sol ainsi que des aspects économiques associés.

Références

MDDELCC. 2016. Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2014 et leur évolution depuis 1990. 32 p.

Sautereau N. et Benoit M. 2016. Quantification et chiffrage des externalités de l'agriculture biologique. Rapport d'étude. Itab. 136 p.

Wyss, E. et Pfiffner, L. 2008. Biodiversity in Organic Horticulture – an Indicator for Sustainability and a Tool for Pest Management. *Acta horticultrae*. 767:75-80.