

## Rapport final

No projet : IA121697

Évaluation de pratiques agricoles visant à réduire le travail de sol  
et à améliorer la santé des sols en maraîchage biologique

Caroline Halde

Université Laval

1er mai 2024

**Section 1 - Chercheurs et collaborateurs impliqués et responsable autorisé de l'établissement** (ces personnes doivent également faire parvenir un courriel pour attester qu'ils ont lu et approuvent le rapport.)

### **Chercheurs et collaborateurs impliqués**

- Marie-Élise Samson, Université Laval : Elle est professeure adjointe au Département des sols et de génie agroalimentaire de l'Université Laval. Elle a fait partie du comité scientifique du projet, dont la mission était de faire des recommandations pour le bon déroulement du projet. Ses recommandations ont porté sur la collecte de données d'indicateurs de santé des sols.
- Valérie Gravel, Université McGill : Elle est professeure agrégée à l'Université McGill. Elle a fait partie du comité scientifique du projet, dont la mission est de faire des recommandations pour le bon déroulement du projet. Ses recommandations porteront surtout sur les aspects scientifiques de la culture biologique des légumes en champ.
- Richard Hogue, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) : Il est chercheur et dirige le Laboratoire d'écologie microbienne (LEM) de l'IRDA. Il a fait partie du Comité scientifique du projet pour les aspects qui portent sur la santé des sols et l'écologie microbienne.
- Joël D'Astous-Pagé (M.Sc.), IRDA : Il est biologiste et professionnel de recherche au LEM. Il a réalisé les analyses qPCR et a coordonné les analyses de santé des sols réalisées à l'IRDA.
- Émilie Maillard, Agriculture et Agroalimentaire Canada : Elle est chercheuse à Agriculture et Agroalimentaire Canada. Elle a fait partie du comité scientifique du projet, dont la mission était de faire des recommandations pour le bon déroulement du projet. Ses recommandations ont surtout porté sur les aspects du projet qui traitent du carbone et de la santé des sols.
- Denis Angers, Agriculture et Agroalimentaire Canada : Il est chercheur honoraire à Agriculture et Agroalimentaire Canada et professeur associé à l'Université Laval. Il a fait partie du comité scientifique du projet, dont la mission était de faire des recommandations pour le bon déroulement du projet. Ses recommandations ont surtout porté sur les aspects du projet qui traitent du carbone et de la santé des sols.
- Denis La France, Cégep de Victoriaville-CETAB+ : Il est expert en agriculture biologique, enseignant au Cégep de Victoriaville et chargé de projet au CETAB+. Il a fait partie du comité scientifique du projet, dont la mission était de faire des recommandations pour le bon déroulement du projet. Ses recommandations ont porté surtout sur les aspects techniques de la culture biologique des légumes et de la gestion des CC.
- Jonathan Roy, MAPAQ : Il est agronome et conseiller régional en agriculture biologique au MAPAQ. Il a fait partie du comité scientifique du projet, dont la mission était de faire des recommandations pour le bon déroulement du projet. Ses recommandations ont porté surtout sur les priorités de recherche dans le secteur maraîcher biologique et sur les aspects techniques de la culture biologique des légumes.
- Michaël Brière, Université Laval : Il est étudiant à la maîtrise sous la direction de Dre Halde, et possède 7 années d'expérience en maraîchage biologique.
- Samuel Gagné et Émile Trifiro-Riendeau, Université Laval : Samuel Gagné (M.Sc.) est biologiste et professionnel de recherche au Laboratoire d'agroécologie de l'Université Laval (Dre Halde). Émile Trifiro-Riendeau était aussi professionnel de recherche au Laboratoire d'agroécologie de l'Université Laval.
- Francis Gagnon et Pascal Tessier, Université Laval : Ils sont techniciens agricoles.
- Auxiliaires de recherche de 1er cycle, Université Laval : Tristan McDermott, Flore Beausoleil, Léontine Ndour
- Auxiliaire de recherche de 2e cycle, Université Laval : Mathilde Juneau
- Stagiaires internationaux, Université Laval : Séléna Deviller, Elise Coopsman, Pierre Rysman

### **Responsable autorisée de l'établissement**

- Caroline Halde, Université Laval : Elle est professeure agrégée à l'Université Laval et directrice du Laboratoire d'agroécologie de l'Université Laval. Elle a été la responsable du projet et elle a effectué la gestion et le suivi auprès de l'équipe de réalisation du projet. Elle est la directrice de l'étudiant à la maîtrise (Michaël Brière) et a supervisé toutes les activités réalisées à la Station agronomique de recherche de l'Université Laval.

## Section 2 - Partenaires

Deux partenaires privés ont contribué à la réalisation du projet de recherche.

- AgroEnviroLab a effectué les analyses des échantillons de sol pour évaluer la santé des sols en 2022 et 2023. La contribution de ce laboratoire d'analyses est de 30% du coût des analyses effectuées durant les deux années du projet.
- Dubois Agrinovation est également partenaire du projet de recherche. Leur contribution est de 20 % du coût du matériel acheté dans le cadre du projet, soit des filets anti-insectes, des arceaux et des toiles d'occultation.

Le laboratoire d'écologie microbienne (LEM) de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) a aussi contribué à la réalisation du projet en finançant 100% du salaire d'un professionnel de recherche pour la réalisation de certaines de nos analyses de sol.

Au moment de la soumission de la demande de financement au programme Innov'Action, l'équipe de recherche avait inclus l'entreprise Western Ag Innovations à titre de partenaire. Leur participation au projet devait se traduire par une contribution de 10 % du coût total des résines échangeuses d'ions. Suite à des discussions avec le comité de suivi, la décision de suivre l'azote minéral ( $\text{NO}_3$  et  $\text{NH}_4$ ) du sol par l'échantillonnage du sol à 2 profondeurs (0-10 cm et 10-30 cm) et à 5 périodes au cours de la saison a été prise au lieu d'insérer 4 paires de résines échangeuses d'ions pour capter le  $\text{NO}_3$  et le  $\text{NH}_4$  du sol à 4 périodes et à une seule profondeur (0-15 cm). Western Ag n'est donc plus un partenaire du projet.

Malgré que Western Ag Innovations ne soit plus partenaire de notre projet, la contribution estimée des deux autres partenaires de l'industrie (AgroEnviroLab et Dubois Agrinovation) ainsi que des autres partenaires (IRDA et Université Laval) totalise tout de même un minimum de 20 % du budget total du projet, comme nos besoins en produits de Dubois Agrinovation ont été plus élevés qu'initialement estimés.

### Section 3 – Fiche de transfert (max 2 à 3 pages)

## ÉVALUATION DE PRATIQUES AGRICOLES VISANT À RÉDUIRE LE TRAVAIL DE SOL ET À AMÉLIORER LA SANTÉ DES SOLS EN MARAÎCHAGE BIOLOGIQUE

Michaël Brière, Samuel Gagné et Caroline Halde

No de projet : IA121697

Durée : 05/2022 – 04/2024

### FAITS SAILLANTS

Dans les systèmes de production biologique, les cultures de couverture (CC) sont généralement incorporées au sol par un travail de sol. Au cours des dernières années, en production maraîchère sur petite et moyenne surface, l'occultation et le rouleau-crêpage ont toutefois été adoptés comme des outils de gestion des CC. Il existe peu d'études portant sur ces méthodes de destruction sans travail de sol. L'objectif général du projet était d'évaluer les effets à court terme de trois méthodes de destruction des CC semées au printemps (CC roulées, CC broyées et occultées, CC broyées et incorporées), d'un témoin sans CC et de trois doses de fertilisation organique (100%, 50% et 0% de la dose recommandée) sur la dynamique de l'azote, les indicateurs de santé des sols et les rendements de deux cultures maraîchères subséquentes, soit des brocolis en 2022 et des betteraves en 2023.

En 2023, une biomasse plus importante des mauvaises herbes (MH) a été observée dans le traitement de destruction des CC roulées, ce qui suggère un moins bon contrôle des MH par ce traitement l'année précédente. En 2022 et 2023, au moment de la destruction des CC, la concentration en azote minéral dans le sol était supérieure dans le traitement témoin sans CC par rapport aux autres traitements comportant des CC. À la deuxième année du projet, dans les traitements comportant des CC, la stabilité des agrégats du sol était supérieure que dans le traitement témoin sans CC, suggérant une amélioration de la santé physique du sol par les CC. En 2023, la respiration microbienne et l'azote labile du sol étaient inférieurs qu'en 2022, suggérant une diminution de la santé biologique du sol au cours des deux années du projet. Cependant, l'indice de santé globale du sol s'est vu amélioré après la deuxième année du projet. Le rendement des brocolis et des betteraves était le plus faible dans le traitement de destruction des CC roulées, et était le plus élevé avec la dose de fertilisation la plus élevée.

### OBJECTIF(S) ET MÉTHODOLOGIE

L'objectif général du projet était d'évaluer l'effet des méthodes de destruction d'un mélange de cultures de couverture (CC) de printemps et des doses de fertilisation organique sur le rendement des cultures maraîchères biologiques subséquentes et sur les indicateurs de santé du sol. Pour y répondre :

- La biomasse aérienne des CC et des MH a été évaluée ainsi que son contenu en N et en C.
- La concentration en  $\text{NO}_3$  et  $\text{NH}_4$  aux profondeurs de sol 0-10 et 10-30 cm a été quantifiée à 5 dates en 2022 et 2023.
- Des échantillons de sol ont été prélevés afin d'évaluer différents indicateurs de santé des sols.
- Le poids frais, le diamètre et le contenu en N et C des légumes ont été déterminés.
- L'estimation visuelle du recouvrement des MH a été réalisée avant le désherbage manuel à 2 périodes au cours de la saison de croissance des brocolis et des betteraves.

## RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

### Gestion des cultures de couverture

Les CC ont été détruites efficacement après seulement 8-9 jours sous bâche d'occultation (Image 1 ; gauche). Les CC détruites avec le rouleau-crêpeur à un stade non optimal (stade végétatif) ont eu une forte reprise de croissance (Image 1 ; droite et 2 ; gauche et droite).



Image 1. Bâche utilisée pour le traitement de destruction des CC par occultation (9 jours en 2022 et 8 jours en 2023 ; gauche) et destruction des CC roulées après seulement 1 passage du rouleau-crêpeur (droite). Photos : M. Brière.



Image 2. Reprise de l'avoine le 26 juillet 2022 (gauche) et le 2 août 2022 (droite) après 4 passages du rouleau-crêpeur. Photos : M. Brière.

### Rendement des brocolis et des betteraves

Le diamètre moyen des brocolis et des betteraves (2022 et 2023 respectivement) a été influencé par la dose de fertilisants organiques, dépendamment du moyen de destruction des CC. Pour toutes les doses de fertilisants et pour les 2 légumes, le traitement de CC roulées a généré les rendements les plus faibles alors que peu de différences ont été observées entre les autres traitements de destruction.

### **Indicateurs physiques et biologiques de santé du sol**

Le % d'agrégats stables de sol supérieurs à 2 mm est une variable qui caractérise la santé d'un sol. Plus il est élevé, plus le sol est en santé. Ainsi, après les 2 années du projet, le traitement témoin sans CC a montré un % d'agrégats stables (> 2 mm) inférieur à tous les autres traitements comportant des CC. Ainsi, utiliser des CC a plus d'effet sur la santé des sols que leur méthode de destruction.

### **APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER**

Dans un prochain projet, il serait intéressant d'étudier un traitement de destruction des CC par roulage suivi d'occultation. Ce traitement permettrait possiblement d'éliminer tout risque de reprise des CC suite au roulage (grâce aux bâches d'occultation), tout en ralentissant la dynamique de libération de l'azote provenant des CC (grâce au roulage au lieu d'utiliser le broyage).

### **POINT DE CONTACT POUR INFORMATION**

Professeure Caroline Halde, Ph.D., agr.  
418 656-2131 poste 403528  
[caroline.halde@fsaa.ulaval.ca](mailto:caroline.halde@fsaa.ulaval.ca)

### **REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS**

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. L'équipe de réalisation du projet remercie aussi la contribution d'AgroEnviroLab, de Dubois Agrinovation et de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA).

## Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique

Activités de transfert et de diffusion scientifique réalisées en 2023 et 2024:

- Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., et Halde, C. 2023. *Effets des méthodes de destruction des cultures de couverture sur la santé des sols et le rendement des cultures maraîchères subséquentes*. Affiche présentée au 37<sup>e</sup> congrès annuel de l'Association québécoise de spécialistes en sciences du sol (AQSSS), Québec, QC, Canada. 23-25 mai 2023. **Prix Régis-Simard pour la meilleure affiche étudiante.** (Annexe 4.1)
- Brière, M.\*, Gravel, V., Samson, M-É., Maillard, É., Angers, D., Hogue, R., Roy, J., La France, D., et Halde, C. 2023. *Impact of Cover Crop Termination Methods on Soil Health and Yield in Organic Vegetable Production Systems*. Affiche présentée au congrès annuel « CSSS 2023-Soils Go Digital? », Truro, N-É, Canada. 26-29 juin 2023. (Annexe 4.2)
- Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. 2023. *Soil Health Response to Cover Crop Termination Methods in Small-Scale Organic Vegetable Production Systems*. Affiche présentée au « 2023 BSSS Annual Conference », Belfast, UK. 4-5 décembre 2023. (Annexe 4.3)
- Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. 2024. *Destruction des cultures de couverture en maraîchage biologique : réponse à court terme d'indicateurs de santé des sols*. Présentation orale au « 3e Congrès annuel du RQRAD », Québec, QC, 13-15 février, 2024. (Annexe 4.4)

Autres activités de transfert et de diffusion scientifique qui auront lieu en 2024-2025 :

- **Brière, M.**, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. *Management impact of cover crops on soil health indicators in a small-scale organic vegetable production system*. Poster presentation at "Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences", Florence, IT. 19-21 mai 2024.

Titres provisoires des deux publications scientifiques dans des revues révisées par les pairs prévues pour 2025 :

- *Cover crop termination methods and fertilization impact vegetable crop nitrogen uptake and yields in a small-scale organic production system*
- *Short-term influence of cover crop termination method on soil health in a small-scale organic vegetable production system*

## Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs

Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs entre 2022 et 2024:

- Brière, M. 2022. *Évaluation de pratiques agricoles visant à réduire le travail de sol et à améliorer la santé des sols en maraîchage biologique*. Conférence invitée à la «Journée cohorte Paillis de seigle roulé», organisée par Club Durasol Drummond Inc. Sainte-Brigitte-des-Saults, QC, 15 décembre 2022. (Annexe 5.1)
- Brière, M. 2023. *Les cultures de couverture en production maraîchère biologique – Perspectives de la recherche*. Conférence invitée à «Atelier de la Cohorte en santé des sols», organisé par l'Organisme de bassin versant de la Baie Missisquoi. Bedford, QC, 7 mars 2023. (Annexe 5.2)
- Brière, M.\* et Gagné, S.\* 2023. *Destruction des cultures de couverture sans travail de sol en maraîchage biologique*. Conférence invitée à «Journée Phytoprotection 2023», organisée par le CRAAQ. Saint-Augustin-de-Desmaures, QC, 13 juillet 2023. (Annexe 5.3)
- Brière, M. 2023. *Managing cover crops for enhancing soil health in organic vegetable production systems*. Article publié dans le magazine Organic Alberta, Automne, 2023. (Annexe 5.4)
- Brière, M. 2024. *Stratégies de destruction des cultures de couverture de printemps*. Conférence invitée à la «Cohorte régionale», organisée par la Coopérative pour l'agriculture de proximité écologique (CAPÉ). Sherbrooke, QC, 19 janvier 2024. (Annexe 5.5)
- Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. 2024. *Destruction des engrais verts : effet à court terme sur la santé du sol et sur les rendements*. Présentation orale au «10e Colloque Bio pour tous!», Victoriaville, QC, 28-29 février, 2024. (Annexe 5.6)

## Section 6 – Grille de transfert des connaissances

<b>1. Résultats</b> Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.	<b>2. Utilisateurs</b> Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.	<b>3. Message</b> Concrètement, quel est le message qui devrait être retenu pour chacune des catégories d'utilisateurs identifiées? Présentez un message concret et vulgarisé. Quels sont les gains possibles en productivité, en rendement, en argent, etc.?	<b>4. Cheminement des connaissances</b> a) Une fois le projet terminé, outre les publications scientifiques, quelles sont les activités de transfert les mieux adaptées aux utilisateurs ciblés? (conférences, publications écrites, journées thématiques, formation, etc.) b) Selon vous, quelles pourraient être les étapes à privilégier en vue de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.
Résultats en lien avec la gestion des CC : 1) Une forte reprise de l'avoine a été observée après son roulage par le rouleau-crêpeur. 2) Les bâches ont bien détruit les CC après seulement 8-9 jours d'occultation. 3) L'incorporation des CC avec la herse à disques a bien détruit les CC.	Ces connaissances pourront servir aux producteurs maraîchers biologiques et conventionnels qui désirent réduire l'impact de leur pratique de destruction des CC sur la santé de leur sol. Les agronomes et conseillers seraient aussi bénéficiaires de ces connaissances et pourraient apporter de meilleures recommandations aux producteurs. De plus, les producteurs pourront adapter nos résultats selon leurs techniques culturales.	1) Pour le traitement de destruction des CC avec le rouleau-crêpeur, le choix du type de CC est crucial. Nous avons constaté que pour assurer une bonne destruction des plantes avec le rouleau-crêpeur, les espèces doivent être plutôt cassantes, comme le pois et la féverole, que rigides et ligneuses comme une graminée. De plus, les CC doivent être au bon stade de croissance, soit à la floraison, pour une destruction optimale par le rouleau-crêpeur. 2) Après seulement 8-9 jours d'occultation avec la bâche, les CC ont été bien détruites par occultation. La bâche peut donc être placée pour une courte période de	a) Un rapport final sera publié sur Agri-Réseau, disponible pour tous et toutes. Les résultats seront aussi transmis via les médias agricoles et autres plateformes de réseaux sociaux. b) Il serait important de s'assurer que le temps de croissance des CC leur permettra d'atteindre le stade optimal (floraison) pour leur destruction par le rouleau-crêpeur. De plus, il serait préférable pour un producteur d'opter pour des espèces de CC qui sont facilement cassantes afin d'assurer une bonne destruction des cultures par le rouleau-crêpeur.

		<p>temps sur les CC et avoir une bonne efficacité de destruction.</p> <p>3) Le traitement de destruction des CC par l'incorporation avec une herse à disques fonctionne bien. Aucune reprise de l'avoine, de la féverole ou du pois n'a été observée.</p>	
<p>Résultats en lien avec l'effet des méthodes de destruction des CC sur les indicateurs physiques et biologiques de santé des sols :</p> <p>1) À la deuxième année du projet, dans les traitements comportant des CC, la stabilité des agrégats du sol était supérieure que dans le traitement témoin sans CC, suggérant une amélioration de la santé physique du sol par les CC.</p> <p>2) En 2023, la respiration microbienne du sol et l'azote labile étaient inférieurs qu'en 2022.</p> <p>3) L'indice de santé globale du sol s'est vu toutefois amélioré après</p>	<p>Ces connaissances pourront servir aux producteurs maraîchers biologiques et conventionnels qui désirent réduire l'impact de leur méthode de destruction des CC sur la santé de leur sol. Les agronomes et conseillers seraient aussi bénéficiaires de ces connaissances et pourraient apporter de meilleures recommandations aux producteurs. De plus, les producteurs pourront adapter nos résultats selon leurs techniques culturales.</p>	<p>L'utilisation de CC de printemps s'avère utile pour atténuer les effets négatifs de l'agriculture sur la santé des sols. Même pour une période aussi courte que 2 mois de croissance, les bénéfices des CC sur le sol se font percevoir par rapport à un sol nu sans CC.</p>	<p>a) Un rapport final sera publié sur Agri-Réseau, disponible pour tous et toutes. Les résultats seront aussi transmis via les médias agricoles et autres plateformes de réseaux sociaux.</p> <p>b) Puisqu'il existe une abondante littérature qui démontre les bienfaits de l'utilisation des CC, une des premières étapes pour maximiser leur adoption auprès des producteurs serait de bien se documenter. De plus, il serait essentiel d'offrir aux producteurs des subventions ou des rétributions pour l'utilisation de CC.</p>

<p>la deuxième année du projet.</p>			
<p>Résultats en lien avec les rendements des cultures maraîchères (brocolis et betteraves):</p> <p>1) Le traitement de destruction des CC par le rouleau-crêpeur a généré les rendements les plus faibles pour les brocolis et les betteraves. Les rendements dans les autres traitements de destruction de CC étaient similaires.</p> <p>2) Les rendements dans les brocolis et les betteraves étaient les plus élevés avec la pleine dose de fertilisation.</p>	<p>Ces connaissances pourront servir aux producteurs maraîchers biologiques et conventionnels qui désirent réduire l'impact de leur pratique de destruction des CC sur la santé de leur sol. Les agronomes et conseillers seraient aussi bénéficiaires de ces connaissances et pourraient apporter de meilleures recommandations aux producteurs. De plus, les producteurs pourront adapter nos résultats selon leurs techniques culturales.</p>	<p>1) Pour éviter une baisse des rendements dans les cultures maraîchères, il est important d'assurer une bonne destruction des CC afin d'éviter les repousses, et ainsi la compétition pour les éléments nutritifs.</p> <p>2) Suivre les recommandations de fertilisation des cultures maraîchères est nécessaire afin d'obtenir des rendements optimaux.</p>	<p>a) Un rapport final sera publié sur Agri-Réseau, disponible pour tous et toutes. Les résultats seront aussi transmis via les médias agricoles et autres plateformes de réseaux sociaux.</p> <p>b) Il serait important pour les producteurs de bien se documenter sur le choix des espèces de CC à implanter afin d'éviter des pertes de rendements.</p>

## Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

Deux partenaires de l'industrie et un établissement de recherche contribuent à la réalisation du projet de recherche.

**AgroEnviroLab** a effectué les analyses des échantillons de sol pour évaluer la santé des sols en 2022 et 2023. La contribution de ce laboratoire d'analyses est de 30% du coût des analyses effectuées durant les deux années du projet.

**Dubois Agrinovation** est également partenaire du projet de recherche. Leur contribution est de 20 % du coût du matériel acheté dans le cadre du projet. À ce propos, les filets anti-insectes, les arceaux et les toiles d'occultation ont été achetés chez Dubois Agrinovation en 2022.

Le laboratoire d'écologie microbienne (LEM) de l'**Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)** a aussi contribué à la réalisation du projet en finançant 100% du salaire d'un professionnel de recherche pour la réalisation de certaines de nos analyses de sol.

Au moment de la demande de financement, l'équipe de recherche avait inclus **Western Ag Innovations** à titre de partenaire. Leur participation au projet se traduisait par une contribution de 10 % du coût total des résines échangeuses d'ions. Suite à des discussions avec le comité de suivi, la décision de suivre l'azote minéral ( $\text{NO}_3$  et  $\text{NH}_4$ ) du sol par l'échantillonnage du sol à 2 profondeurs (0-10 cm et 10-30 cm) et à 5 périodes au cours de la saison a été prise au lieu d'insérer 4 paires de résines échangeuses d'ions pour capter le  $\text{NO}_3$  et le  $\text{NH}_4$  du sol à 4 périodes et à une seule profondeur (0-15 cm). Western Ag Innovations n'a donc pas été un partenaire impliqué dans la réalisation du projet.

Bien que Western Ag Innovations ne soit plus partenaire de notre projet, la contribution estimée des deux autres partenaires de l'industrie (AgroEnviroLab et Dubois Agrinovation) ainsi que des autres partenaires (IRDA et Université Laval) a tout de même totalisé plus de 20 % du budget total du projet, comme nos besoins en produits de Dubois Agrinovation ont été plus élevés qu'initialement estimés.

## **Section 8 - Rapport scientifique et/ou technique**

### **Résumé du projet**

Dans les systèmes de production biologique, les cultures de couverture sont généralement incorporées au sol par un travail de sol. Au cours des dernières années, en production maraîchère sur petite et moyenne surface, l'occultation et le rouleau-crêpage ont toutefois été adoptés comme des outils de gestion des cultures de couverture. Il existe peu d'études portant sur ces méthodes de destruction sans travail de sol. L'objectif général du projet était d'évaluer les effets à court terme des méthodes de destruction des cultures de couverture semées au printemps et des doses de fertilisation organique sur la dynamique de l'azote, les indicateurs de santé des sols et les rendements des cultures maraîchères subséquentes.

### **Avancement du projet**

Lors de l'élaboration de ce projet, 5 étapes de réalisation avaient été planifiées afin d'assurer le bon déroulement des activités. Pour chacune de ces étapes, leur état d'avancement est présenté.

**Étape 1. Planification :** *choix des traitements avec le comité de suivi scientifique du projet, rédaction des protocoles d'échantillonnage et achat de matériel.*

Tel que planifié, le choix des traitements, la rédaction des protocoles d'échantillonnage et l'achat de tout le matériel nécessaire à la réalisation du projet ont été effectués au début des saisons 2022 et 2023.

**Étape 2. Implantation des parcelles et collecte de données au champ** *(échantillonnage de sols, plantes, etc.).*

Le dispositif expérimental du projet a été mis en place à la Station agronomique de recherche de l'Université Laval à Saint-Augustin-de-Desmaures selon les traitements établis. La collecte des données a aussi été réalisée aux moments opportuns afin de répondre aux questions de recherche élaborées au début du projet.

**Étape 3. Préparation et analyse des échantillons au laboratoire.**

Tous les échantillons de sols et de végétaux prélevés afin de répondre aux questions de recherche ont été traités et analysés en laboratoire.

**Étape 4. Analyse statistique des données, rédaction scientifique des rapports et des articles scientifiques.**

Les analyses statistiques des données ont été effectuées au cours de l'automne 2023 et de l'hiver 2024. Le mémoire de maîtrise de Michaël Brière est en cours de rédaction, tout comme les deux articles scientifiques qui seront finalisés d'ici avril 2025.

**Étape 5. Diffusion des résultats auprès des producteurs.trice.s agricoles et des intervenant.e.s agricoles** *(journées terrain, conférences).*

Les résultats du projet de recherche ont été diffusés auprès de producteurs.trices agricoles et d'intervenants du milieu lors de diverses journées terrain et conférences telles que mentionnées dans les sections 4 et 5 de ce rapport.

### **Objectifs du projet**

L'objectif général était d'évaluer l'effet des méthodes de destruction d'un mélange de CC de printemps et des doses de fertilisation organique sur le rendement des cultures maraîchères biologiques subséquentes et sur les indicateurs de santé du sols.

Les objectifs spécifiques attribués aux cinq volets du projet de recherche sont :

- **VOLET CULTURES DE COUVERTURE** : Évaluer la biomasse aérienne et la composition en azote (N) et en carbone (C) du mélange de CC de printemps implanté avant la culture de légume ;
- **VOLET SYNCHRONISATION DE L'AZOTE** : Déterminer l'effet des méthodes de destruction des CC et des doses de fertilisation organique sur la synchronisation et l'approvisionnement en N des cultures maraîchères ;
- **VOLET SANTÉ DES SOLS** : Déterminer l'effet des méthodes de destruction des CC sur les indicateurs physiques, biologiques et chimiques de santé des sols ;
- **VOLET PRODUCTIVITÉ ET RENTABILITÉ DES CULTURES MARAÎCHÈRES** : Déterminer l'effet des méthodes de destruction des CC et des doses de fertilisation organique sur le rendement et la rentabilité des cultures maraîchères ;
- **VOLET PHYTOPROTECTION DES CULTURES MARAÎCHÈRES** : Évaluer l'effet des méthodes de destruction des CC et des doses de fertilisation organique sur la présence de mauvaises herbes (MH), ravageurs, et maladies dans les cultures maraîchères.

### Site de l'étude et dispositif expérimental

Le projet de recherche de deux années-site a été mis en place en 2022 à la Station agronomique de recherche de l'Université Laval à Saint-Augustin-de-Desmaures, QC, Canada (46°43'N;71°30'W) sur un loam argileux à argile de la série Joly. Le dispositif expérimental était un plan en tiroirs composé de quatre blocs. Le facteur en parcelles principales était la méthode de destruction des CC avec 4 niveaux (CC roulées, CC broyées et occultées, CC broyées et incorporées et témoin sans CC). Le facteur en sous-parcelles était la dose de fertilisation organique basée sur les recommandations provinciales en N avec 3 niveaux (0, 50 et 100 %) (CRAAQ, 2010). Les unités expérimentales (UE) mesuraient 4,5 m x 5,0 m.

### Opérations culturales

Les différentes opérations culturales ainsi que leur date de réalisation sont compilées dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Opérations culturales effectuées en 2022 et 2023 et dates de leur réalisation.

Opérations culturales	Date	
	2022	2023
Semis CC	10 mai	8 mai
CC roulées		
Passage du rouleau-crêpeur	1, 8 et 10 juill.	5 et 9 juill.
CC broyées et occultées		
Passage de la tondeuse à fléaux	1 juill.	5 juill.
Installation des toiles d'occultation	1 juill.	5 juill.
CC broyées et incorporées		
Passage de la tondeuse à fléaux	1 juill.	5 juill.
Herse à disque (0-12 cm)	1 et 8 juill.	5 juill.
Vibroculteur (0-15 cm)	10 juill.	9 juill.
Témoin sans CC		
Herse à disque (0-12 cm)	1 et 2 juill.	5 juill.
Vibroculteur (0-15 cm)	10 juill.	9 juill.
Application du fumier de volaille	10 juill.	14 juill.
Transplantation	11 juill.	15 juill.
Application de la farine de sang	6 août	10 août
Récolte	2 sept.-5 oct.	9 sept.

### *Semis des cultures de couverture*

Au printemps 2022 et 2023, avant le semis des CC, un passage de vibroculteur a été effectué sur le site d'expérimentation à une profondeur approximative de 15 cm. Le 10 mai 2022, un mélange d'avoine (*Avena sativa* L.) et de pois fourrager (*Pisum sativum* L.) a été semé dans un ratio 50:50 à des taux de semis de 80 kg ha<sup>-1</sup>. En 2023, le mélange de cultures de couverture, composé de pois fourrager et de féveroles (*Vicia faba* L.), a été semé le 8 mai à des taux de semis de 80 kg ha<sup>-1</sup>. Les semences de pois et de féverole ont été inoculées avant le semis à l'aide de l'inoculant Cell-Tech rhizobium (*Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae*, Novozymes BioAg, Canada).

### *Destruction des cultures de couverture*

Dans le traitement CC roulées, les CC ont été détruites le 1 juillet 2022 et le 5 juillet 2023, avec deux passages du rouleau-crêpeur d'une largeur de 2,43 m (I & J Manufacturing, USA) Le rouleau-crêpeur avait un diamètre de 0,41 m et les lames du tambour étaient espacées de 0,20 m. Deux autres passages du rouleau-crêpeur ont été effectués après une semaine, en 2022 et une fois en 2023, pour assurer une destruction adéquate des CC. Des tentatives de destruction supplémentaires ont été effectuées les 26 juillet et 3 août 2022, au cours de la croissance des brocolis. Dans le traitement CC broyées et occultées, des toiles (film de polyéthylène de 5 mil, Dubois Agrinovation, Canada) ont été appliquées et maintenues en place avec des sacs de sable immédiatement après le passage d'une tondeuse à fléaux de 2,30 m de large (Alamo, USA) le 1 juillet 2022, et le 5 juillet 2023. Les toiles ont été retirées 9 et 8 jours après leur application en 2022 et 2023, respectivement. Dans le traitement CC broyées et incorporées, les CC ont été broyées avec une tondeuse à fléaux puis incorporées au sol à une profondeur de 12 cm par deux passages d'une herse à disques de 2,31 m de large (Case International, USA) le 1 juillet 2022 et par deux passages d'une herse à disques le 5 juillet 2023. Un troisième passage de la herse à disque a été effectué le 8 juillet 2022. Dans les parcelles témoin sans CC, un passage de la herse à disque a eu lieu le 1 juillet et le 8 juillet 2022. En 2023, la herse à disque a été passée le 22 juin pour contrôler les MH et le 5 juillet avant la transplantation des betteraves.

### *Transplantation des brocolis et des betteraves*

En 2022, à la mi-juillet, les plants de brocolis (cv. Imperial) ont été transplantés manuellement à des espacements de 42 cm sur le rang et de 75 cm entre les rangs pour un total de 36 plants de brocolis par UE répartis sur quatre rangs. En 2023, les betteraves (cv. Red Ace) ont été transplantées manuellement, à la mi-juillet, à des espacements de 8 cm sur le rang et de 35 cm entre les rangs pour un total de 120 plants par UE répartis sur quatre rangs. À la transplantation des brocolis et des betteraves, le fumier de volaille granulé composté (4-3-2, Giroux's Poultry Farm, Chazy, NY, USA) a été appliqué manuellement en pleine surface dans les parcelles fertilisées avec une dose de 100 % de l'N recommandé (120 kg N ha<sup>-1</sup> et 50 kg N ha<sup>-1</sup> respectivement) et dans les parcelles fertilisées avec une dose de 50 % de l'N recommandé (60 kg N ha<sup>-1</sup> et 25 kg N ha<sup>-1</sup> respectivement). La fertilisation d'appoint a été effectuée quatre semaines après la transplantation des brocolis et des betteraves. La farine de sang (12-0-0, Eco+, Ste-Julie, QC, Canada) a été appliquée manuellement sur les rangs de brocolis et de betteraves des parcelles fertilisées avec une dose de 100 % de l'N recommandé (70 kg N ha<sup>-1</sup> et 30 kg N ha<sup>-1</sup> respectivement) et des parcelles fertilisées avec une dose de 50 % de l'N recommandé (35 kg N ha<sup>-1</sup> et 15 kg N ha<sup>-1</sup> respectivement).

## Collecte des données et analyses

### VOLET CULTURES DE COUVERTURE

À la destruction des CC, dans chacune des UE, les biomasses aériennes des CC et des MH ont été coupées au niveau du sol à l'intérieur de deux quadrats (0,54 m x 0,50 m). Les échantillons récoltés ont été triés par espèce de CC et de MH totales et séchés à 55 °C jusqu'à l'atteinte d'un poids constant. La biomasse aérienne en matière sèche a été enregistrée pour chaque espèce de CC et pour les MH totales. Les échantillons ont été regroupés par quadrat (CC + MH) et broyés à 1 mm en utilisant un broyeur Wiley® (Model 4, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA). Les concentrations d'N et de C ont été mesurées par analyse élémentaire de combustion sèche (LECO CNS-1000, Leco Corp., St. Joseph, MI, USA). Les contenus (kg ha<sup>-1</sup>) en N et en C des biomasses aériennes ont été calculés en multipliant les concentrations d'N et de C (%) de l'échantillon composite par la biomasse végétale aérienne.

### VOLET SYNCHRONISATION DE L'AZOTE

Pour déterminer la teneur en N minéral du sol, des échantillons de sol ont été prélevés dans chaque unité expérimentale à cinq périodes au cours des deux années (semis CC, destruction CC, transplantation, 4 semaines après la transplantation et récolte). Des échantillons composites de deux sous-échantillons ont été prélevés à des profondeurs de 0-10 cm et 10-30 cm avec une tarière hollandaise. Les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm. L'N minéral du sol a été déterminé selon des méthodes standard (Maynard et al., 2008). Le nitrate (NO<sub>3</sub>-N) et l'ammonium (NH<sub>4</sub>-N) ont été extraits des sols avec une solution de KCl 2 M dans un rapport sol : solution de 1:5 (5 g/25 ml). Les extraits de sol ont été centrifugés et analysés par colorimétrie à l'aide d'un autoanalyseur AA3 HR (Seal Analytical, Southampton, Royaume-Uni). Les concentrations d'azote (%) ont été converties en kg ha<sup>-1</sup> en utilisant la masse volumique apparente moyenne par traitement de destruction pour chaque profondeur et année.

### VOLET SANTÉ DES SOLS

#### Indicateurs physiques

#### *Stabilité des agrégats par tamisage humide*

La stabilité des agrégats du sol à l'eau a été mesurée lors de la récolte en septembre 2022 et 2023. Quatre échantillons ont été prélevés entre les rangs de chaque unité expérimentale à l'aide d'une pelle carrée à une profondeur de sol de 0-10 cm. Les échantillons ont été regroupés, passés à travers un tamis de 8 mm et conservés à 4 °C jusqu'à analyse. La distribution granulométrique des agrégats stables à l'eau a été mesurée en épandant environ 50 g de sol humide au champ (< 8 mm) au sommet d'une d'une colonne de quatre tamis avec des diamètres de maille de 2,00, 1,00, 0,50 et 0,25 mm. Le sol a été mouillé par immersion directe pendant 10 minutes avant de lancer le tamisage. Le tamisage humide a été réalisé à l'aide d'un appareil similaire au modèle décrit par Angers et al. (2007) à un rythme de 29 oscillations par minute pendant 10 min. Après tamisage, le matériau retenu sur chaque tamis a été récupéré, séché à 105 °C pendant 48 h et pesé. Une correction a été apportée pour tenir compte de la teneur en sable et en fragments grossiers dans les granulats stables. Chaque fraction de taille d'agrégat a été dispersée à l'aide d'une solution d'hexaméthaphosphate de sodium à 5 % en poids v<sup>-1</sup> (g L<sup>-1</sup>), placée sur un agitateur de laboratoire pendant 45 minutes à 120 tr/min et tamisée. Le sable et les fragments grossiers retenus sur le tamis ont été séchés et pesés. Les agrégats stables à l'eau exprimés en pourcentage du sol total et en diamètre moyen (DMP) ont été calculés selon Angers et al. (2007).

### *Stabilité des agrégats par simulation de pluie*

Un test de simulation de pluie est réalisé en utilisant approximativement 30 g d'agrégats de taille 0,25 à 2,0 mm répartis sur un tamis de 0,25 mm sous un infiltromètre Cornell (Cornell University Soil Health Lab, Ithaca, NY, États-Unis) qui fournit 0,74 J d'énergie sur une période de 5 minutes. La fraction de sol qui reste sur le tamis est considérée comme les agrégats stables à l'eau.

### *Masse volumique apparente*

Un échantillon de sol par unité expérimentale a été prélevé le 16 septembre 2022 et le 7 septembre 2023 à 0-10 cm et 10-30 cm pour déterminer la masse volumique apparente (Blake et Hartge, 1986). Les échantillons de sol ont été séchés à 105 °C.

### Indicateurs biologiques

#### *Teneurs en carbone*

Au semis des CC, en 2022, et à la récolte des légumes, en 2022 et 2023, trois sous-échantillons à 0-10 cm et 10-30 cm ont été prélevés avec une tarière tube pour former un échantillon composite dans les 16 UE fertilisées avec une dose de 100 % de l'N recommandé. Le fractionnement de la matière organique a été réalisé pour séparer la matière organique particulaire (POM) (supérieur à 53 µm) et la matière organique fine (MAOM) (inférieure à 53 µm). Les échantillons de sol séchés à l'air d'environ 50 g ont été tamisés à 2 mm et dispersés dans de l'eau distillée à l'aide de billes de verre. La fraction POM (>53 µm) récupérée sur tamis et la fraction MAOM (<53 µm) ont été séchées à 50 °C et pesées. Les teneurs en C du sol entier et de la MAOM ont été déterminées avec un analyseur CN (modèle CN828, LECO Corp., Saint-Joseph, MI, USA). Les teneurs en C de la POM ont ensuite été calculées par différence entre les teneurs du sol entier et la MAOM.

#### *Biomasse microbienne*

Des carottes de sol à une profondeur de 0 à 10 cm ont été prélevées à six endroits aléatoires au sein de chaque unité expérimentale pendant la période de récolte des deux années. Les échantillons de sol ont été analysés pour déterminer le carbone de la biomasse microbienne (MBC) et l'azote (MBN) en utilisant la technique de fumigation-extraction au chloroforme adaptée de Voroney et al. (2008). Un sous-échantillon de 20 g de sol humide sur le terrain a été fumigé pendant 24 h avec du chloroforme avant extraction. L'autre sous-échantillon (non fumigé) a été immédiatement extrait. Les sols fumigés et non fumigés ont été extraits avec 40 ml de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,25 M). Les extraits ont été passés sur des papiers filtres en fibre de verre Whatman (GLS934AH), et le C et l'N organiques solubles ont été mesurés avec un analyseur TOC-N (Simadzu Scientific Instruments, Inc., Columbia, MD, USA). Le MBC et le MBN ont été calculés à partir de la différence entre le C et le N organiques solubles dans les échantillons fumigés et non fumigés, et en divisant le résultat par 0,45 et 0,54 pour le MBC et le MBN, respectivement.

#### *Matière organique, respiration, carbone actif et azote labile*

Quatre échantillons ont été prélevés aléatoirement entre les rangs dans chaque unité expérimentale à l'aide d'une pelle carrée à une profondeur de 0-10 cm. La teneur en matière organique a été mesurée par la perte au feu. Le sol est pesé après avoir été incinéré pour calculer le pourcentage de masse perdue. La respiration du sol a été mesurée par capture et quantification du CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est relâché par l'échantillon de sol et absorbé dans un gel coloré sur une sonde de la technologie SOLVITA®. L'absorption du CO<sub>2</sub> change la couleur du gel et le niveau d'absorbance est associé à une concentration de CO<sub>2</sub>. Le carbone actif a été quantifié en utilisant 20 ml de permanganate de potassium 0,02 M (KMnO<sub>4</sub>) réagissant avec 2,5 g de sol séché. Le permanganate oxyde le carbone actif et perd une partie de sa couleur. La couleur est mesurée

avec un spectrophotomètre portatif (colorimètre Pocket II, HACH, Loveland, CO, USA) à 550 nm. L'azote labile a été mesuré par l'extraction de l'azote ammoniacal N-NH<sub>3</sub> à l'aide d'une solution basique et sa fixation dans un gel coloré sur une sonde de la technologie SOLVITA®. La sonde est alors insérée dans un colorimètre et le niveau d'absorbance est associé à une concentration de NNH<sub>3</sub>.

### *Gènes du cycle de l'azote*

Le projet vise à quantifier les procaryotes et trois gènes impliqués dans le cycle de l'azote pour estimer des effets des traitements de terminaison des cultures de couvertures utilisées pour améliorer la qualité des sols avant la culture du brocoli suivi l'année ultérieure par la culture de la betterave. Le gène NifH est impliqué dans la fixation de l'azote vers l'ammoniac. Le gène AmoA est impliqué dans la conversion de l'ammoniac vers l'hydroxylamine lors de la nitrification des nitrites en nitrates. La voie de dénitrification convertit les nitrates en nitrites et le gène NirK est impliqué dans la conversion des nitrites vers l'oxyde nitrique qui sera converti en oxyde nitreux puis en azote.

Le projet a consisté à planter des cultures de couverture (CC) dans les parcelles des trois traitements visant la terminaison des CC et de laisser une parcelle sans CC et sol à nu avant la plantation en mi-saison de la culture maraîchère brocoli en 2022 et betterave en 2023. Les parcelles ont été répétées dans quatre blocs. Les échantillons de sols ont été prélevés au moment précédant la destruction des CC et à la récolte de la culture de brocoli en 2022 et à la suite de la destruction des CC et à la récolte de la culture de betterave en 2023.

En bref, les échantillons de sol ont été préparés et extraits en utilisant la trousse d'extraction FastDNA Spin kit for Soil (MP Biomedicals, Solon, OH, É-U). La qualité et la quantité des ADN génomiques extraits ont été déterminées par spectrophotométrie avec les mesures de l'absorbance à 260 nm et 280 nm et du ratio A260/A280.

La méthode qPCR a été utilisée pour quantifier les bactéries totales (prokaryotes) avec les amorces eub338/eub518 [Fierer et al., 2005] de même que les trois gènes du cycle de l'azote (gène NifH ; PolF / PolR [Poly et al., 2001], gène AmoA ; amoA-1F / amoA-2R [Batista et al., 2014], gène NirK ; nirKC1F / nirKC1R [Wei et al., 2015] visant les processus de fixation, de minéralisation, et de dénitrification de l'azote).

Les détections ont été faites en deux répétitions sur un appareil CFX96 (Biorad, Hercules, CA, USA) avec un mélange réactionnel SYBR green qPCR mix (Qiagen, Toronto, ON, Canada). Les systèmes de détection ont été mis au point sur une gamme de détection de 4 LOG. (Efficacité des systèmes : amoA, 93,5%  $r^2 = 0,99$  ; nifH, 87,3%  $r^2 = 0,99$  ; nifK, 75,5%  $r^2 = 1,00$  et prokaryotes, 89,1%  $r^2 = 0,99$ ).

Les résultats sont exprimés en unité d'amplification (UA) par g de sol sec. Il est important de noter que plusieurs copies des gènes ciblés peuvent être détectées au sein d'un même organisme et en nombre variable entre les organismes lors du processus de quantification. L'impact des traitements, des années et des périodes de l'année sur la quantification (log10) ont été analysés avec R [R Core Team project, 2014] par ANOVA et test post-hoc HSD de Tukey.

### Indicateurs chimiques

Le pH du sol a été analysé en utilisant un rapport 1:1 (10 cm<sup>3</sup> de sol/10 ml d'eau). La méthode Mehlich-3 (solution extractive) a été utilisée pour extraire les nutriments du sol. Le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le manganèse, le zinc, le bore, le cuivre, le fer et l'aluminium ont ensuite été dosés à l'aide de la spectrométrie à plasma à couplage inductif (Agilent 725-ES ICP OES, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA).

## VOLET PRODUCTIVITÉ ET RENTABILITÉ DES CULTURES MARAÎCHÈRES

### *Productivité des cultures maraîchères*

#### Brocolis (2022)

Les brocolis ont été récoltés à la main (12 plants par UE), du 2 septembre au 5 octobre 2022, pour un total de 12 dates de récolte. Les têtes matures ont été récoltées en coupant la tige à 17 cm à partir de l'extrémité de l'inflorescence. Le poids frais et le diamètre des têtes commercialisables et non commercialisables ont été enregistrés. Quatre plants entiers ont été récoltés dans chaque UE pour évaluer la biomasse aérienne. La tête des plants de brocolis échantillonnés a été séparée du reste de la biomasse aérienne (tige et feuilles). Les échantillons divisés ont été séchés à 55 °C jusqu'à l'atteinte d'un poids constant. La biomasse aérienne en matière sèche a été enregistrée pour chaque partie (tête et tige+feuilles). Les échantillons ont été regroupés et broyés à 1 mm. Les contenus (kg ha<sup>-1</sup>) en N et en C des biomasses aériennes ont été calculés en multipliant les concentrations d'N et de C (%) de l'échantillon par la biomasse végétale aérienne.

#### Betteraves (2023)

En 2023, le rendement des betteraves a été évalué en récoltant à la main 20 betteraves dans chacune des UE. Le poids frais et le diamètre des betteraves ont été enregistrés et quatre plants entiers ont été récoltés dans chaque UE pour évaluer leur biomasse aérienne, leurs concentrations et leurs contenus en N et en C.

### *Rentabilité des cultures maraîchères*

Tel que mentionné lors de l'élaboration de ce projet, une analyse technico-économique a été effectuée en 2024. L'objectif de l'analyse était de quantifier les niveaux de rentabilité économique des différentes méthodes de destruction des CC (témoin sans CC, CC roulées, CC broyées et incorporées, CC broyées et occultées) et des différentes doses de fertilisation (0%, 50% et 100% de la dose recommandée optimale) dans une production biologique de brocolis et de betteraves.

Les données utilisées pour cette analyse proviennent de diverses sources telles que les factures d'acquisition d'intrants utilisés dans le cadre du projet, les budgets réalisés par le centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), des sites de fournisseurs ainsi que le rapport du CETAB+ (Ménard G., 2022) intitulé "Références technico-économiques en maraîchage diversifié, Budgets d'opération et investissements".

Dans un premier temps, des estimations de coûts de production et de revenus ont été réalisées par m<sup>2</sup> de surface cultivable, ce qui a permis de faire une extrapolation à l'échelle de la production à l'hectare. Pour cela, un budget a été dressé pour chacune des combinaisons de traitements. La marge sur coûts variables est considérée comme l'indicateur de la rentabilité étant donné que les coûts fixes ne permettent pas d'analyser les différences de coûts contrairement aux coûts variables.

Ensuite, la méthode du budget partiel a été utilisée pour comparer la rentabilité des différentes méthodes de destruction de CC combinées aux trois doses de fertilisation testées dans le projet par rapport au traitement de référence fréquemment rencontré chez les producteurs maraîchers (CC fauchées et incorporées avec 100% de la dose de fertilisation recommandée).

## VOLET PHYTOPROTECTION DES CULTURES MARAÎCHÈRES

Le recouvrement visuel des MH a été évalué à l'aide de quatre quadrats (0,25 x 0,25 m) dans chaque unité expérimentale trois et sept semaines après la transplantation des brocolis, en 2022, et deux et sept semaines après la transplantation des betteraves, en 2023. Les dommages sur les cultures réalisés par des insectes nuisibles, maladies ou autres ravageurs ont aussi été observés lors de la croissance des légumes au cours des deux années de culture.

## Analyses statistiques des données

Les données ont été analysées en utilisant le logiciel SAS® (SAS®/STAT, version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). La procédure UNIVARIATE de SAS a été utilisée pour tester la distribution normale des résidus et l'homogénéité de la variance. Une analyse de variance (ANOVA) à l'aide de la procédure MIXED a été effectuée avec un seuil de signification à 5 % (0,05) pour évaluer l'effet des méthodes de destruction et des doses de fertilisation sur les différentes variables mesurées. Le test LSD protégé de Fisher a été utilisé pour les comparaisons de moyennes.

## Résultats et discussion

### VOLET CULTURES DE COUVERTURE

#### *Biomasses des mauvaises herbes, de l'avoine, du pois et du total des parties aériennes*

##### 2022

En 2022, la biomasse des MH et les biomasses totales, soit des MH, de l'avoine et du pois, ont été influencées par la méthode de destruction des CC. La biomasse des MH était plus élevée dans le traitement témoin sans CC (209,4 kg MS ha<sup>-1</sup>) que dans les autres traitements de destruction (moyenne de 11,7 kg MS ha<sup>-1</sup>) tandis que la biomasse totale était plus faible dans le traitement témoin (209,4 kg MS ha<sup>-1</sup>) que dans les autres traitements (moyenne de 2883,8 kg MS ha<sup>-1</sup>). Les biomasses de l'avoine et du pois n'ont été influencées par aucun traitement (Tableau 2).

En 2022, dans le traitement de CC roulées, une reprise importante de l'avoine a été observée 14 jours après la transplantation des brocolis. Le 26 juillet 2022, la biomasse aérienne de l'avoine était de 1,1 t MS ha<sup>-1</sup> dans ce traitement.

##### 2023

En 2023, la biomasse des MH a été influencée par la méthode de destruction des CC. Elle était plus élevée dans le traitement de CC roulées (299,3 kg MS ha<sup>-1</sup>) que dans les autres traitements (moyenne de 140,5 kg MS ha<sup>-1</sup>). Les biomasses du pois et de la féverole n'ont, quant à elles, été influencées par aucun traitement. On observe toutefois une tendance de l'effet de la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation, sur la biomasse de la féverole ( $p = 0,059$ ). La biomasse aérienne totale (CC + MH) a été influencée par la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation (Tableau 3).

#### *Concentration et contenu en azote et en carbone ainsi que le rapport C:N des parties aériennes totales*

##### 2022

En 2022, la concentration et le contenu en N de la biomasse totale ont été influencés par la méthode de destruction des CC. Dans le témoin sans CC, la concentration en N (4,3 %) était supérieure à celle dans les autres traitements de destruction (moyenne de 2,6 %). À l'opposé, le contenu en N était inférieur dans le témoin (8,5 kg N ha<sup>-1</sup>) que dans les autres traitements de destruction (moyenne de 76,3 kg N ha<sup>-1</sup>). La concentration en C de la biomasse totale a quant à elle été influencée par la méthode de destruction des CC, mais dépendamment de la fertilisation. Le contenu en C a été influencé par la méthode de destruction des CC, avec une valeur inférieure pour le témoin (75,8 kg C ha<sup>-1</sup>) que pour les autres traitements de destruction (moyenne de 1167,2 kg C ha<sup>-1</sup>). Le rapport C:N a aussi été influencé par la méthode de destruction des CC, avec un rapport plus faible pour le témoin (8,6), des rapports similaires pour les traitements de CC roulées et broyées + occultées (moyenne de 16,1) et un rapport plus élevé pour le traitement de CC roulées (16,4) que pour le traitement broyées + incorporées (14,8 ; Tableau 2).

##### 2023

En 2023, la concentration en N de la biomasse totale n'a été influencée par aucun traitement. Le contenu en N a cependant varié en fonction de la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation. La

concentration en C de la biomasse totale a varié selon la méthode de destruction des CC, avec une valeur plus faible pour le témoin (31,5 %), des valeurs semblables pour les traitements broyées + occultées et broyées + incorporées (moyenne de 39,5 %) et des valeurs semblables pour les traitements de CC roulées et broyées + incorporées (moyenne de 39,3 %). Le contenu en C a été influencé par la fertilisation ainsi que par la méthode de destruction des CC. Il était supérieur pour la pleine dose de fertilisation (100% ; 817,7 kg C ha<sup>-1</sup>) que pour les deux autres doses de fertilisation (moyenne de 730,35 kg C ha<sup>-1</sup>). Le contenu en C était aussi inférieur dans le témoin sans CC (45,7 kg C ha<sup>-1</sup>) que dans les trois autres traitements de destruction des CC (moyenne de 997,4 kg C ha<sup>-1</sup>). Finalement, le ratio C:N a varié selon la méthode de destruction des CC, avec une valeur inférieure pour le témoin (9,0) que pour les autres traitements (moyenne de 11,2 ; Tableau 3).

**Tableau 2.** Biomasse aérienne des mauvaises herbes (MH), de l'avoine, du pois et biomasse totale (avoine + pois + MH), teneur et contenu en azote (N) et carbone (C) de la biomasse totale pour 2022.

	Biomasse MH	Biomasse avoine	Biomasse Pois	Biomasse totale	Teneur en N de la biomasse totale	Contenu en N de la biomasse totale	Teneur en C de la biomasse totale	Contenu en C total de la biomasse totale	Rapport C/N de la biomasse totale
Traitement	(kg MS ha <sup>-1</sup> )	(kg MS ha <sup>-1</sup> )	(kg MS ha <sup>-1</sup> )	(kg MS ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	
<b>Méthode</b>									
CC roulées	8,0b <sup>z</sup>	1386,8a	1283,8a	2678,6a	2,5b	67,5a	40,6	1086,2a	16,4a
CC broyées et occultées	6,5b	1527,9a	1465,2a	2999,6a	2,6b	79,1a	40,5	1213,5a	15,7ab
CC broyées et incorporées	20,7b	1579,6a	1372,9a	2973,1a	2,8b	82,3a	40,4	1202,0a	14,8b
Témoin sans CC	209,4a	-	-	209,4b	4,3a	8,5b	35,9	75,8b	8,6c
<b>Fertilisation</b>									
0%	39,6a	1557,5a	1428,5a	2279,1a	3,1a	62,2a	39,1	919,9a	13,6a
50%	66,8a	1489,0a	1317,8a	2171,9a	3,0a	56,5a	39,4	877,5a	14,2a
100%	77,0a	1447,8a	1375,6a	2194,6a	3,1a	59,3a	39,6	885,8a	13,8a
<b>Valeurs-P</b>									
Méthode	<0,001	0,451	0,257	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001
Fertilisation	0,138	0,532	0,570	0,426	0,254	0,118	0,688	0,441	0,174
Méthode x Fertilisation	0,385	0,354	0,454	0,511	0,623	0,166	0,047	0,520	0,769

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

**Tableau 3.** Biomasse aérienne des mauvaises herbes (MH), du pois, de la féverole et biomasse totale (pois + féverole + MH), teneur et contenu en azote (N) et carbone (C) de la biomasse totale pour 2023.

Traitement	Biomasse MH (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Biomasse pois (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Biomasse féverole (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Biomasse totale (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Teneur en N de la biomasse totale (%)	Contenu en N total de la biomasse totale (kg ha <sup>-1</sup> )	Teneur en C de la biomasse totale (%)	Contenu en C total de la biomasse totale (kg ha <sup>-1</sup> )	Rapport C/N de la biomasse totale
<b>Méthode</b>									
CC roulées	299,3a <sup>2</sup>	1769,9a	321,2b	2390,4	3,5a	84,1b	39,2b	937,3a	11,2a
CC broyées et occultées	174,3b	1953,8a	383,8ab	2511,9	3,5a	88,3ab	39,7a	996,1a	11,4a
CC broyées et incorporées	100,4b	2129,0a	466,0a	2695,3	3,6a	95,7a	39,3ab	1058,7a	11,1a
Témoin sans CC	146,9b	-	-	146,9	3,6a	5,3c	31,5c	45,7b	9,0b
<b>Fertilisation</b>									
0%	156,2a	1876,6a	329,5b	1810,7	3,6a	64,0b	37,9a	715,5b	10,6a
50%	184,5a	1874,0a	412,2ab	1899,1	3,6a	67,0b	37,4a	745,2b	10,7a
100%	199,9a	2102,1a	429,2a	2098,4	3,5a	74,0a	37,0a	817,7a	10,6a
<b>Valeurs-P</b>									
Méthode	0,003	0,203	0,057	<0,001	0,858	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fertilisation	0,400	0,126	0,102	0,008	0,586	0,003	0,302	0,015	0,916
Méthode x Fertilisation	0,150	0,717	0,059	0,049	0,496	0,050	0,950	0,051	0,701

<sup>2</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

## VOLET SYNCHRONISATION DE L'AZOTE

### *Concentration en N minéral (NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>) du sol en 2022 pour la profondeur 0-10 cm*

En 2022, pour la profondeur de sol 0-10 cm, la concentration en N minéral du sol a varié selon la date d'échantillonnage, dépendamment de la méthode de destruction des CC et de la fertilisation (Tableau 4). Au semis des CC, pour les trois doses de fertilisation, la concentration en N minéral était semblable d'un traitement de destruction des CC à l'autre. À la destruction des CC, toujours pour les trois doses de fertilisation, le traitement témoin sans CC comportait une concentration en N minéral supérieure à celle des autres traitements de destruction. À la transplantation des brocolis, pour le traitement 0% de fertilisation, le traitement de CC fauchées et occultées comportait une concentration en N minéral supérieure à celles du traitement de CC roulées et du traitement témoin sans CC. À cette même période, pour le traitement 50% de fertilisation, le traitement de CC fauchées et incorporées comportait une concentration en N similaire aux traitements de CC fauchées et occultées et au témoin sans CC, mais supérieure au traitement de CC roulées. Pour le traitement 100% de fertilisation, il n'y avait aucune différence de concentration en N minéral du sol à la transplantation des brocolis entre tous les traitements de destruction des CC. 4 semaines après la transplantation des brocolis, il n'y avait aucune différence de concentration en N minéral entre les 4

traitements de destruction des CC pour le traitement 0% de fertilisation. Cependant, pour le traitement 50% de fertilisation, la teneur en N minéral était plus élevée dans le traitement de CC fauchées et incorporées que dans les traitements de CC fauchées et occultées et que dans le témoin sans CC. Dans le traitement 100% de fertilisation, toujours pour cette date, le traitement de CC fauchées et incorporées comportait une concentration en N minéral la plus élevée que les 3 autres traitements. Finalement, lors de la récolte des brocolis, il n'y avait pas de différence de concentration en N minéral entre les traitements de destruction des CC pour les doses 0% et 50% de fertilisation. Pour le traitement 100% de fertilisation, le traitement témoin sans CC comportait une concentration en N minéral supérieur à celle des traitements de CC roulées et fauchées et occultées (Figure 1).

*Concentration en N minéral (NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>) du sol en 2023 pour la profondeur 0-10 cm*

En 2023, pour la profondeur de sol 0-10 cm, la concentration en N minéral du sol a varié selon la date d'échantillonnage, dépendamment de la méthode de destruction des CC. Elle a aussi varié selon la dose de fertilisation (Tableau 4).

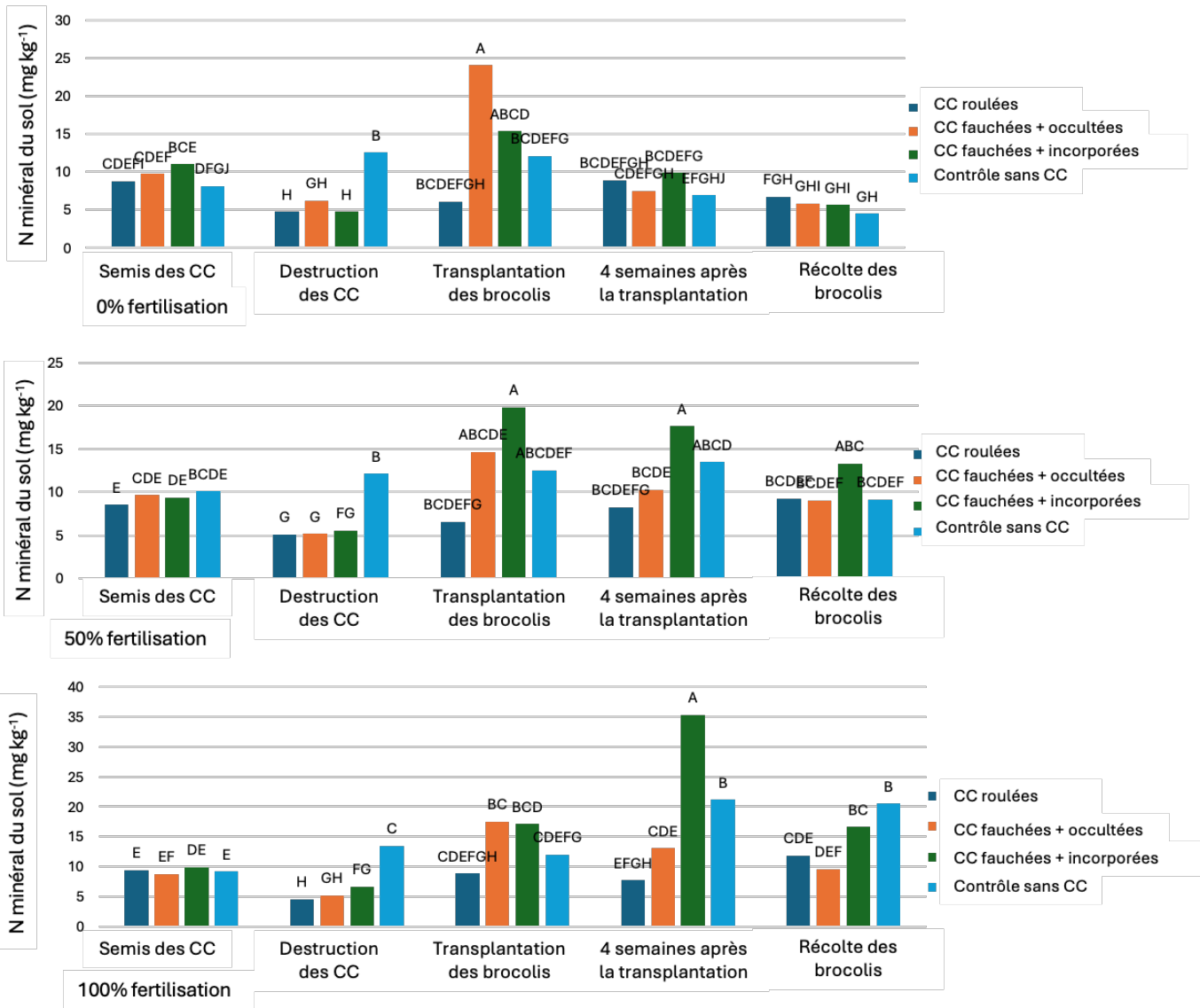
Au semis des CC, la concentration en N minéral du sol était semblable entre les méthodes de destruction des CC, sauf pour le traitement broyées et incorporées qui avait une valeur supérieure au traitement de CC broyées et occultées. À la destruction des CC, le témoin sans CC comportait une concentration en N minéral supérieur à celle des autres traitements. Au transplant des betteraves, le traitement de CC broyées et occultées avait la valeur la plus élevée, alors que le témoin sans CC avait la valeur la plus faible. 4 semaines après la transplantation des betteraves, la concentration en N minéral était supérieure dans le traitement de CC roulées, suivi du traitement de CC broyées et occultées, du traitement de CC broyées et incorporées et finalement du traitement témoin sans CC. À la récolte, le traitement de CC roulées comportait une concentration en N minéral supérieure aux traitements de CC broyées et occultées ainsi que du témoin sans CC (Figure 2).

**Tableau 4.** Concentration en azote (N) minéral du sol (NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>) selon les dates d'échantillonnages, les méthodes de destruction des CC et la fertilisation des cultures pour les profondeurs 0-10 et 10-30 cm et pour les deux années du projet (2022 et 2023).

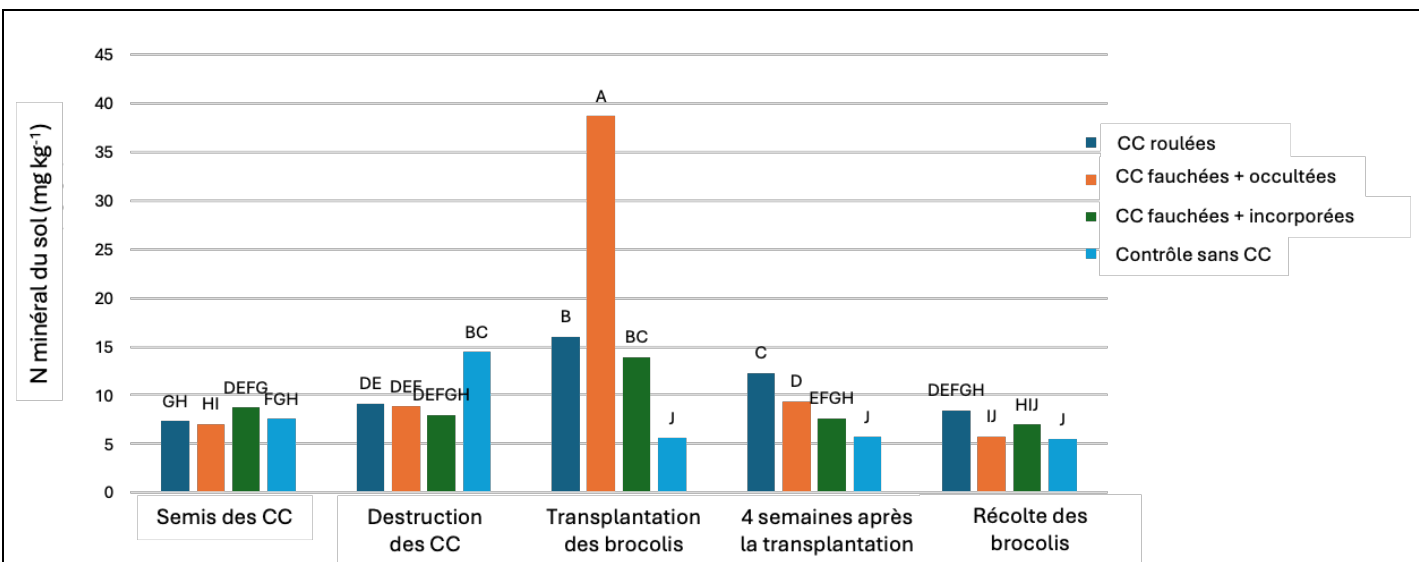
Traitement	0-10 cm		10-30 cm	
	2022	2023	2022	2023
	N minéral du sol (mg kg <sup>-1</sup> )	N minéral du sol (mg kg <sup>-1</sup> )	N minéral du sol (mg kg <sup>-1</sup> )	N minéral du sol (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Date</b>				
Semis des CC	9,38	7,68	9,67	9,21
Destruction des CC	7,17	10,09	9,72	11,67
Transplantation	13,89	18,56	13,03	11,41

des légumes				
4 semaines après la transplantation des légumes	13,35	8,76	12,04	9,63
Récolte des légumes	10,16	6,69	8,68	7,55
<b>Méthode</b>				
CC roulées	7,69	10,65	8,19	9,07
CC broyées et occultées	10,42	13,96	10,07	10,38
CC broyées et incorporées	13,20	9,06	11,49	10,24
Témoin sans CC	11,86	7,75	12,75	9,90
<b>Fertilisation</b>				
0%	8,99	8,50 c <sup>z</sup>	10,05	9,00
50%	10,48	9,85 b	10,56	9,85
100%	12,92	12,72 a	11,27	10,84
<b>Valeurs-P</b>				
Date	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Méthode	0,0003	<0,001	<0,001	0,133
Fertilisation	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
Date x Méthode	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Date x Fertilisation	<0,001	0,110	0,003	0,085
Méthode x Fertilisation	<0,001	0,383	<0,001	0,035
Date x Méthode x Fertilisation	<0,001	0,545	0,497	0,150

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).



**Figure 1.** Teneur en azote (N) minéral ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) du sol pour la profondeur 0-10 cm en 2022.



**Figure 2.** Teneur en azote (N) minéral ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) du sol pour la profondeur 0-10 cm en 2023.

## VOLET SANTÉ DES SOLS

### Indicateurs physiques

#### *Stabilité des agrégats par tamisage à l'eau*

La fraction d'agrégats stables > 2,0 mm a varié d'une année à l'autre, dépendamment de la méthode de destruction des CC (Tableau 5). En 2023, la proportion d'agrégats stables était significativement plus faible dans le traitement témoin sans CC (20,1 %) que dans les autres traitements avec CC (moyenne de 28,4 % ; Figure 3). La fraction d'agrégats stables comprise entre 2,0 et 1,0 mm a été influencée par la méthode de destruction des CC ainsi que par l'année. Elle était supérieure dans le traitement broyées + incorporées (24,6 %) que dans les autres traitements (moyenne de 22,3 %) et était supérieure en 2022 (23,8 %) qu'en 2023 (21,9 %). La fraction d'agrégats stables comprise entre 1,0 et 0,5 mm n'a été influencée par aucun des traitements alors que celle des agrégats stables comprise entre 0,5 et 0,25 mm a été influencée par l'année, avec une valeur supérieure en 2023 (9,9 %) qu'en 2022 (8,0 % ; Tableau 5).

#### *Diamètre moyen pondéré*

Le diamètre moyen pondéré (DMP) des agrégats stables à l'eau a varié selon l'année, dépendamment de la méthode de destruction des CC.

#### *Stabilité des agrégats par simulation de pluie*

La stabilité des agrégats par simulation de pluie a été influencée par l'année, avec un pourcentage d'agrégats stables supérieur en 2023 (38,9 %) qu'en 2022 (29,4 % ; Tableau 5).

### Masse volumique apparente

#### 0-10 cm

La masse volumique apparente pour la profondeur de sol 0-10 cm a varié selon la méthode de destruction des CC. Elle était plus élevée dans le traitement de CC roulées ( $1,38 \text{ g cm}^{-3}$ ) que dans les traitements broyées + incorporées et témoin (moyenne de  $1,22 \text{ g cm}^{-3}$  ; Tableau 5).

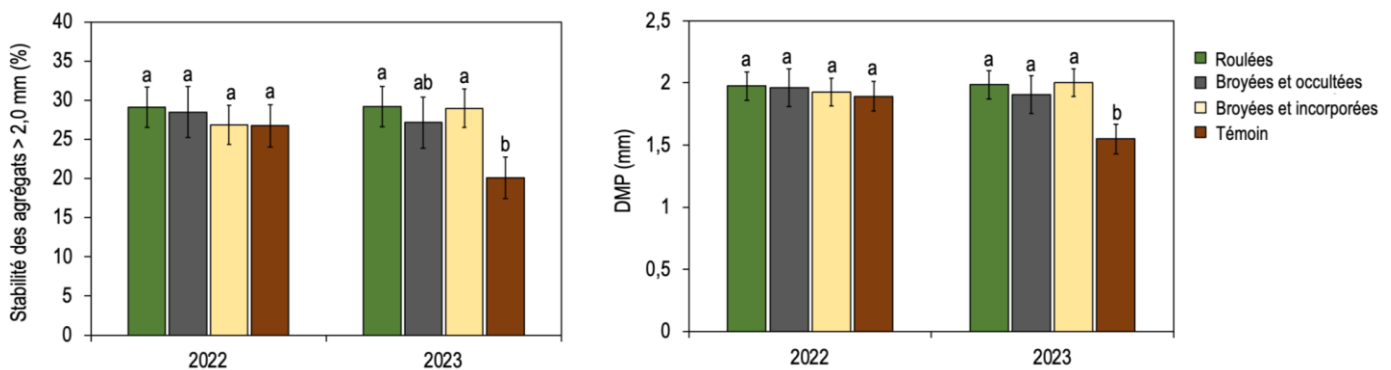
#### 10-30 cm

La masse volumique apparente pour la profondeur de sol 10-30 cm n'a quant à elle été influencée par aucun des traitements (Tableau 5).

**Tableau 5.** Indicateurs physiques de santé des sols à 0-10 cm. Stabilité des agrégats par tamisage à l'eau, diamètre moyen pondéré, stabilité des agrégats avec la méthode de simulation de pluie, masse volumique apparente à 0-10 cm et à 10-30 cm.

Traitement	Stabilité des agrégats par tamisage à l'eau selon les différentes fractions d'agrégats				Diamètre moyen pondéré des agrégats stables par tamisage à l'eau	Stabilité des agrégats par simulation de pluie	Masse volumique apparente 0-10 cm	Masse volumique apparente 10-30 cm
	Fractions d'agrégats				(mm)	(%)	(g cm <sup>-3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )
	>2,0 mm (%)	2,0-1,0 mm (%)	1,0-0,5 mm (%)	0,5-0,25 mm (%)				
<b>Année</b>								
2022	27,8	23,8a <sup>z</sup>	21,6a	8,0b	1,94	29,4b	1,29a	1,42a
2023	26,4	21,9b	23,8a	9,9a	1,86	38,9a	1,27a	1,45a
<b>Méthode</b>								
CC roulées	29,2	22,5b	20,2a	8,6a	1,98	35,2a	1,38a	1,44a
CC broyées et occultées	27,8	22,4b	23,8a	7,8a	1,93	36,6a	1,30ab	1,47a
CC broyées et incorporées	27,9	24,6a	22,1a	9,5a	1,97	33,5a	1,21b	1,41a
Témoin sans CC	23,4	21,9b	24,6a	9,9a	1,72	31,4a	1,23b	1,43a
<b>Valeurs-P</b>								
Année	0,247	0,002	0,123	0,037	0,173	<0,001	0,367	0,289
Méthode	0,127	0,019	0,290	0,663	0,101	0,123	0,024	0,553
Année x Méthode	0,041	0,289	0,853	0,183	0,029	0,212	0,852	0,958

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).



**Figure 3.** Effet combiné des années et des méthodes de destruction des cultures de couverture sur (gauche) la proportion d'agrégats stables > 2,0 mm et (droite) le diamètre moyen pondéré des agrégats stable à l'eau à 0-10 cm. Des lettres différentes dans une même année indiquent une différence significative entre les moyennes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD). Les barres d'erreur représentent l'erreur-type des moyennes.

### Indicateurs biologiques

#### *Teneurs en carbone*

Au début de l'étude, en mai 2022, les teneurs en C du sol entier étaient plus élevées dans les parcelles de CC broyées et incorporées, alors que les traitements n'avaient pas encore été initiés. Pour observer l'effet des méthodes de destruction sur les teneurs en C, les variations entre la date 2 (septembre 2022) et la date initiale (mai 2022) ainsi qu'entre la date 3 (septembre 2023) et la date initiale (mai 2022) ont été calculés de manière à tenir compte de la variabilité des teneurs en C du sol présente au démarrage de l'expérience au champ. Aucun effet des méthodes de destruction des CC n'a été observé sur les teneurs en C du sol entier et de la POM (Tableau 6). Une diminution ( $P=0,068$ ) de la teneur en MAOM-C, bien qu'il s'agit d'une tendance, a tout de même été observée dans le traitement témoin sans CC comparativement aux trois autres traitements avec CC.

#### *Matière organique par perte au feu*

La MO du sol a varié selon la méthode de destruction des CC et selon l'année. Le traitement de destruction de CC roulées (3,3 %) comportait une teneur en matière organique inférieure au traitement de destruction broyées + incorporées (3,6 %). Les traitements broyées + occultées et témoins étaient similaires entre eux (moyenne de 3,4 %), étaient similaires au traitement de CC roulées (moyenne de 3,3 %) et étaient similaires au traitement broyées + incorporées (moyenne de 3,4 % ; Tableau 7)

#### *Carbone et azote dans la biomasse microbienne*

Le C et l'N contenu dans la biomasse microbienne n'ont été influencés par aucun des traitements (Tableau 7).

#### *Respiration microbienne*

La respiration microbienne varie selon la méthode de destruction des CC ainsi que selon l'année. Les traitements de CC roulées et broyées + occultées (moyenne de  $63,6 \text{ mg CO}_2\text{-C kg}^{-1}$ ) comportaient une

respiration supérieure au traitement témoin (49,6 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>), mais similaire au traitement broyées + incorporées (57,8 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>). Aussi, en 2023, la respiration microbienne (54,7 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>) était inférieure qu'en 2022 (62,5 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> ; Tableau 7).

#### *Carbone actif*

Le C actif du sol a varié selon l'année, avec une valeur supérieure en 2022 (528,1 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>) qu'en 2023 (457,1 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> ; Tableau 7).

#### *Azote labile*

L'N labile du sol a été influencé par la méthode de destruction des CC ainsi que par l'année d'échantillonnage. Le traitement broyées + incorporées (99,1 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>) comportait une valeur supérieure au traitement de CC roulées (74,1 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>), alors qu'il comportait une valeur similaire aux traitements broyées + occultés et témoin (moyenne de 92,6 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>). En 2022 (93,4 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>), l'N labile du sol était supérieure à 2023 (82,5 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> ; Tableau 7).

**Tableau 6.** Variation des teneurs en carbone (C) total du sol entier, de la matière organique fine (MAOM) de la matière organique particulaire (POM) à 0-10 cm.

Traitement	Variation C sol entier (%)	Variation MAOM-C (%)	Variation POM-C (%)
<b>Date</b>			
1 (Mai-22)	-	-	-
2 (Sept-22)	0,92a	2,45a	-12,4 b <sup>z</sup>
3 (Sept-23)	4,43a	0,71a	45,3 a
<b>Méthode</b>			
CC roulées	4,73a	3,06a	21,4a
CC broyées et occultées	4,37a	3,67a	20,7a
CC broyées et incorporées	1,98a	0,43a	18,3a
Témoin sans CC	-0,38a	-0,83a	5,45a
<b>Valeurs-P</b>			
Date	0,051	0,177	0,008
Méthode	0,144	0,068	0,918
Date x Méthode	0,503	0,337	0,917

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

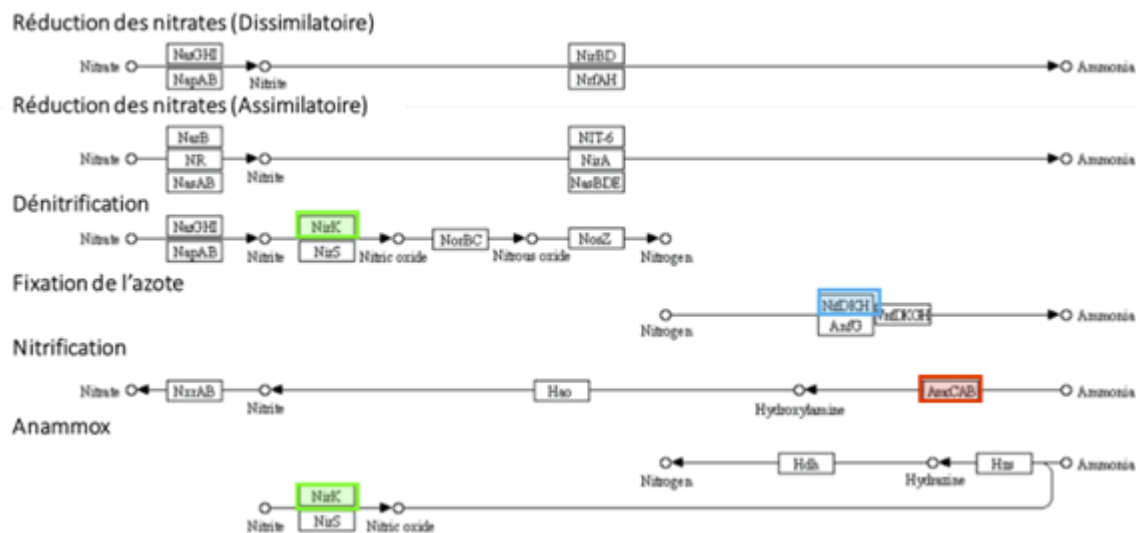
**Tableau 7.** Indicateurs biologiques de santé des sols à 0-10 cm ; Matière organique (MO), carbone dans la biomasse microbienne (MBC), azote dans la biomasse microbienne (MBN), respiration microbienne par Solvita CO<sup>2</sup> burst, C actif, N labile.

Traitement	MO (%)	MBC (mg C kg <sup>-1</sup> )	MBN (mg N kg <sup>-1</sup> )	Respiration (mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> )	C actif (mg C kg <sup>-1</sup> )	N labile (mg NH <sub>3</sub> -N kg <sup>-1</sup> )
<b>Année</b>						
2022	3,5a <sup>z</sup>	159,5a	22,8a	62,5a	528,1a	93,4a
2023	3,2b	173,6a	24,4a	54,7b	457,1b	82,5b
<b>Méthode</b>						
CC roulées	3,3b	169,6a	25,8a	65,0a	482,6a	74,1b
CC broyées et occultées	3,4ab	173,3a	26,5a	62,1a	499,7a	90,3ab
CC broyées et incorporées	3,6a	177,6a	23,4a	57,8ab	505,8a	99,1a
Témoin sans CC	3,3ab	145,9a	18,8a	49,6b	482,2a	88,4ab
<b>Valeurs-P</b>						
Année	<0,001	0,120	0,568	0,014	<0,001	0,009
Méthode	0,049	0,233	0,092	0,014	0,118	0,050
Année x Méthode	0,253	0,929	0,870	0,590	0,093	0,496

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

#### Gènes du cycle de l'azote

La base de données KEGG [Kanehisa et al., 2023] qui recense les fonctions de haut niveau des systèmes biologiques, identifie six modules pour le métabolisme de l'azote (Figure 4). Pour ce projet, les principaux modules métaboliques d'intérêts sont la fixation, la minéralisation, et la dénitrification. Nous avons quantifié par qPCR la présence des gènes NifH, AmoA et NirK pour évaluer le potentiel de ces trois modules métabolismes dans les sols. De plus, nous avons évalué la quantité totale de bactéries dans les sols. Une même bactérie peut posséder plusieurs copies des gènes d'intérêt. Il est à noter que même si un gène est détecté, donc présent chez un organisme, il n'est pas nécessairement exprimé.



**Figure 4.** Métabolisme de l'azote avec en vert le gène NirK, en bleu NifH et en rouge AmoA.

Pour rappel, les résultats de qPCR présentent pour le premier temps d'une année (Pré-destruction CC et Destruction CC) l'influence des CC et lors du second temps d'une année (Récolte brocolis et Récolte betterave) l'influence de la culture principale sur la structure et les propriétés de sol et sur le microbiome des sols.

La figure 5 présente les résultats de quantification des bactéries totales (Procaryotes) et des trois gènes du cycle de l'N sélectionnés dans les sols à chacune des deux périodes en 2022 et en 2023 pour les quatre traitements. Des petites lettres différentes indiquent une différence significative à  $p \leq 0.05$ . Pour les quatre quantifications, lorsque l'on compare les valeurs obtenues pour le traitement témoin (C) à l'intérieur d'une même période pour une année, il n'y a pas de valeurs des traitements (CC roulées, CC broyées et occultées ou CC broyées et incorporées) qui soient significativement différentes. Comme le choix des traitements a surtout été fait dans un objectif de mesure de variables agronomiques ou chimiques à des périodes fixes du calendrier de production, il est possible que les différents traitements aient des effets quantifiables au niveau biologique à des périodes différentes de celles sélectionnées par l'expérimentation. Une analyse d'échantillons prélevés à différentes périodes de la saison pourrait fournir une réponse.

Globalement, on remarque un certain cycle dans les valeurs de quantification, elles sont plus basses aux périodes Pré-destruction/Destruction et plus hautes à la période Récolte. Cela peut s'expliquer par des conditions de sol et d'environnement favorables au développement des communautés bactériennes dans le sol au courant de la saison. Les niveaux de Procaryotes sont significativement plus faibles entre la fin de 2022 (Récolte brocolis) et la première moitié de la saison 2023 (Destruction CC). Les niveaux montrent une tendance à légèrement augmenter par la suite (Récolte betterave) mais n'atteignent pas le même niveau que celui de l'année 2022 (Récolte brocolis). La différence de niveau de quantification dans les parcelles CC entre 2022 et 2023 pourrait s'expliquer par des conditions environnementales défavorables.

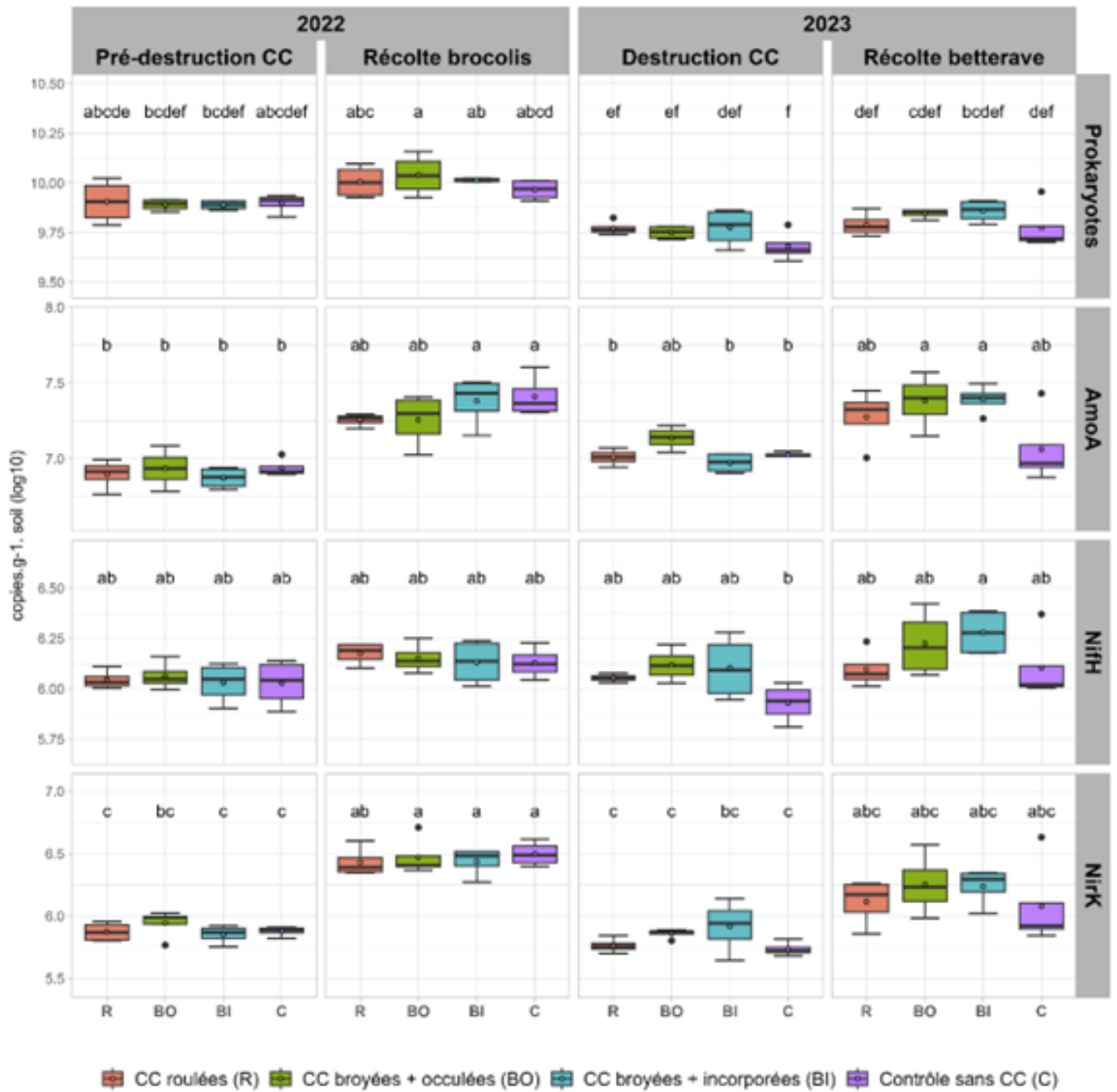
La différence des niveaux de quantification est significative pour les traitements CC roulées et CC broyées et occultées (Récoltes 2022 vs Récoltes 2023). De plus, bien que non significatives, on remarque la tendance

que les quantifications sont plus basses pour le témoin (C) que pour les autres traitements (CC roulées, CC broyées et occultées et CC broyées et incorporées) à la Récolte 2023. Un effet cumulatif de l'absence de CC dans les parcelles témoins (C) pourrait avoir modifié des populations au sein de la communauté bactérienne ce qui expliquerait la baisse des populations porteuses du gène AmoA dans les sols des parcelles témoins. Cette hypothèse est aussi basée sur le fait que lorsqu'on combine les trois traitements avec CC, on observe une baisse significative du gène AmoA (Nitrification) dans les parcelles témoins à la Récolte 2023 (Annexe 5.7).

Les gènes AmoA et NirK proviennent de métabolisme aux fonctions inverses (nitrification et dénitrification) qui selon les modifications des conditions de sol peuvent agir dans un cadre de balance. Il est possible qu'au fil de la saison la balance des conditions favorables/défavorables aux populations porteuses de l'un et l'autre des gènes s'équilibre. Cette situation de balance dans le temps expliquerait que leurs niveaux de détection soient semblables dans le temps.

Le niveau de quantification du gène NifH est plus stable dans le temps et entre les traitements. Comme ce gène est impliqué dans le métabolisme de la fixation de l'azote, il est possible que les organismes soient moins présents dans les zones de plein sol échantillonnées. Le développement des organismes symbiotiques ou non-symbiotiques fixateurs d'azote (Ex.: Rhizobium, Bradyrhizobiums, Rhodospirillum, Azotobacter, Nostoc) est souvent lié à des interactions plante-microorganisme qui se développent davantage dans la rhizosphère des plantes.

Finalement, il serait intéressant d'évaluer la composition microbienne des traitements à chaque période pour identifier s'il y a des communautés qui ont été favorisées ou inhibées. De plus, il serait possible de mettre en parallèle les résultats de qPCR avec l'évaluation du potentiel fonctionnel basé sur la composition microbienne.



**Figure 5.** Quantifications par qPCR des bactéries totales (Prokaryotes) et des gènes du cycle de l'azote (NifH, AmoA et NirK) pour la profondeur 0-10 cm de sol prélevé à deux périodes en 2022 (Brocolis) et en 2023 (Betterave).

### Indicateurs chimiques

*pH, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, B, Cu, Fe, Al*

Le Mn a varié selon la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation. Pour tous les autres indicateurs chimiques sauf le Ca, le Mg et le Fe, l'année seule a eu un effet sur leur teneur. Ces 3 derniers indicateurs n'ont été influencés par aucun des traitements (Tableau 8).

**Tableau 8.** Indicateurs chimiques de santé des sols à 0-10 cm ; pH, phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Manganèse (Mn), Magnésium (Mg), Zinc (Zn), Bore (B), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Aluminium (Al)

Traitement	pH	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Al (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Année</b>											
2022	5,8b <sup>z</sup>	48,1a	119,9a	1995,9a	118,8a	13,0	1,42a	0,66a	1,23a	162,8a	1048,2b
2023	6,4a	41,1b	41,1b	2041,7a	115,6a	13,4	1,14b	0,56b	1,14b	161,8a	1084,9a
<b>Méthode</b>											
CC roulées	6,2a	45,5a	83,6a	2006,1a	120,4a	14,0	1,45a	0,58a	1,07a	157,2a	1073,7a
CC broyées et occultées	6,2a	44,0a	84,9a	2063,0a	118,4a	14,3	1,25a	0,63a	1,21a	158,3a	1048,6a
CC broyées et incorporées	6,0a	44,4a	78,4a	1975,4a	117,4a	12,0	1,26a	0,59a	1,23a	169,5a	1071,3a
Témoin sans CC	6,1a	44,3a	75,1a	2030,9a	112,7a	12,5	1,17a	0,64a	1,21a	164,1a	1072,7a
<b>Valeurs-P</b>											
Année	<0,001	0,002	<0,001	0,125	0,081	0,402	0,003	<0,001	0,025	0,705	0,016
Méthode	0,166	0,991	0,464	0,692	0,672	0,521	0,711	0,831	0,503	0,488	0,923
Année x Méthode	0,774	0,319	0,566	0,222	0,506	0,023	0,313	0,315	0,583	0,335	0,332

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

### Indice de santé globale du sol

L'indice de santé globale du sol fourni par le laboratoire d'analyse AgroEnviroLab a varié en fonction de l'année, avec un indice de santé plus élevé en 2023 (41,1 %) qu'en 2022 (34,3 %). Une tendance a aussi été observée avec les méthodes de destruction des CC ( $p = 0,056$ ), avec une valeur inférieure dans le témoin sans CC (35,3 %) que dans les traitements de CC roulées et broyées + occultées (moyenne de 39,1 % ; Tableau 9).

Tableau 9. Indice de santé globale du sol fourni par le laboratoire d'analyse AgroEnvirolab.

Traitement	Indice de santé globale du sol (%)
<b>Année</b>	
2022	34,3b <sup>z</sup>
2023	41,1a
<b>Méthode</b>	
CC roulées	38,6a
CC broyées et occultées	39,6a
CC broyées et incorporées	37,1a
Témoin sans CC	35,3a
<b>Valeurs-P</b>	
Année	<0,001
Méthode	0,056
Année x Méthode	0,312

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

#### Discussion générale résumée des résultats de santé des sols

En résumé, les indicateurs physiques ayant mesuré une différence de santé du sol entre les traitements de destruction des CC sont la stabilité des agrégats par tamisage à l'eau, le diamètre moyen pondéré des agrégats de sol et la masse volumique apparente des 10 premiers cm. Pour les indicateurs biologiques, ce sont la concentration en matière organique mesurée par perte au feu, la respiration microbienne du sol ainsi que l'azote labile qui ont varié. De manière générale, ces résultats concordent avec ceux de Eivazi et al. (2024), qui ont aussi vu une amélioration de différents paramètres de santé des sols avec l'utilisation de CC par rapport à un témoin sans CC. De plus, ces auteurs ont aussi observé différents impacts sur les indicateurs de santé des sols selon le traitement de destruction des CC choisi. Puisque notre projet de recherche n'était que d'une durée de 2 ans, cela pourrait expliquer le fait que certains indicateurs n'ont pas été influencés par l'utilisation des CC par rapport au témoin. Il serait donc intéressant de mener ce type de projet sur une plus longue durée.

#### VOLET PRODUCTIVITÉ ET RENTABILITÉ DES CULTURES MARAÎCHÈRES

##### *Poids frais des têtes de brocolis et des racines de betteraves*

##### 2022 (brocolis)

Le poids frais des têtes de brocolis a varié selon la méthode de destruction des CC ainsi que selon la dose de fertilisation. Le traitement de CC broyées + incorporées a produit un poids plus élevé (311,2 g MF plant<sup>-1</sup>) que les traitements de CC broyées + occultées (255,6 g MF plant<sup>-1</sup>) et de CC roulées (157,9 g MF plant<sup>-1</sup>). Quant au traitement témoin sans CC, le poids des têtes était similaire à celui du traitement broyées +

incorporées (moyenne de 305,1 g MF plant<sup>-1</sup>) et à celui du traitement broyées + occultées (moyenne de 277,3 g MF plant<sup>-1</sup>). La pleine dose de fertilisation (100%) a produit le poids frais des têtes le plus élevé (314,5 g MF plant<sup>-1</sup>), suivi de la demi-dose de fertilisation (50% ; 270,8 g MF plant<sup>-1</sup>). Le traitement sans fertilisation (0%) a produit le plus faible poids des têtes (182,4 g MF plant<sup>-1</sup> ; Tableau 10)

#### 2023 (betteraves)

Le poids frais des racines de betteraves a aussi varié selon la méthode de destruction des CC ainsi que selon la dose de fertilisation. Le traitement de CC roulées a produit les poids frais des racines les plus faibles (44,5 g MF plant<sup>-1</sup>), alors que les 3 autres traitements de destruction ont conduit à des poids similaires (moyenne de 90,1 g MF plant<sup>-1</sup>). Comme pour le poids des têtes de brocolis, le poids des racines de betteraves a augmenté avec l'augmentation de la dose de fertilisation, avec des valeurs de 54,8 g MF plant<sup>-1</sup> pour la dose 0%, de 81,5 g MF plant<sup>-1</sup> pour la dose 50% et de 99,8 g MF plant<sup>-1</sup> pour la dose 100% (Tableau 11).

#### *Diamètre des têtes de brocolis et des racines de betteraves*

2022 (brocolis) En 2022, le diamètre des têtes de brocolis a varié selon la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation.

2023 (betteraves) En 2023, le diamètre des têtes de betteraves a aussi varié selon la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation.

#### *Biomasse totale des brocolis et des betteraves*

2022 (brocolis) La biomasse aérienne totale produite par les brocolis en 2022 a varié selon la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation.

2023 (betteraves) La biomasse totale produite par les betteraves en 2023 a varié selon la méthode de destruction des CC, ainsi que selon la fertilisation. Dans les traitements témoins, broyées + occultées et broyées + incorporées, les valeurs de biomasse étaient similaires (moyenne de 19,0 g MF plant<sup>-1</sup>) tandis qu'elles étaient inférieures dans le traitement de CC roulées (9,7 g MF plant<sup>-1</sup>). La biomasse totale a aussi augmenté avec la dose de fertilisation, avec une valeur de 12,6 g MF plant<sup>-1</sup> pour la dose 0%, de 17,4 g MF plant<sup>-1</sup> pour la dose 50% et de 20,0 g MF plant<sup>-1</sup> pour la dose 100% (Tableau 11)

#### *Concentration et contenu en N des brocolis et des betteraves*

##### 2022 (brocolis)

La concentration en N des brocolis en 2022 a été influencée par la méthode de destruction des CC ainsi que par la dose de fertilisation. Elle était plus élevée dans le traitement de CC broyées + incorporées (3,1 %) que dans les traitements de CC broyées + occultées et roulées (2,7 % et 2,2 % respectivement), alors qu'elle était similaire entre les traitements de CC broyées + incorporées et témoins (moyenne de 3,1 %). L'augmentation de la dose de fertilisation a fait augmenter la concentration en N des brocolis, avec une valeur de 2,3 % pour la dose 0%, de 2,8 % pour la dose 50% et de 3,2 % pour la dose 100% (Tableau 10).

Le contenu total en N des brocolis en 2022 a été influencé par la méthode de destruction des CC ainsi que par la fertilisation. Les traitements témoins et de CC broyées + incorporées ont produit les contenus en N les plus élevés (moyenne de 4,80 g N plant<sup>-1</sup>), suivi du traitement de CC broyées + occultées (4,00 g N plant<sup>-1</sup>) et du traitement de CC roulées (2,54 g N plant<sup>-1</sup>). La dose de fertilisation de 100% a produit un contenu en N de 5,33 g N plant<sup>-1</sup>, la dose de 50% de 4,21 g N plant<sup>-1</sup> et la dose de 0% de 2,64 g N plant<sup>-1</sup> (Tableau 10).

##### 2023 (betteraves)

La concentration et le contenu total en N des betteraves ont été influencés par la méthode de destruction des CC, dépendamment de la dose de fertilisation (Tableau 11).

### Concentration et contenu en C des brocolis et des betteraves

#### 2022 (brocolis)

La concentration en C des brocolis en 2022 n'a été influencée par aucun des traitements.

Le contenu total en C des brocolis en 2022 a été influencé par la méthode de destruction des CC, dépendamment de la fertilisation (Tableau 10).

#### 2023 (betteraves)

La concentration en C des betteraves en 2023 a été influencée par la méthode de destruction des CC. Elle était plus élevée dans les traitements de CC roulées et broyées + occultées (moyenne de 38,5 %) que dans les traitements de CC broyées + incorporées et témoin (moyenne de 37,5 %)

Le contenu total en C des betteraves en 2023 a varié selon la méthode de destruction des CC, ainsi que selon la fertilisation. Le traitement de CC roulées a généré un contenu en C plus faible (3,71 g C plant<sup>-1</sup>) que les autres traitements (moyenne de 7,16 g C plant<sup>-1</sup>). L'augmentation de la dose de fertilisation a généré une augmentation du contenu total en C des betteraves, avec une valeur de 4,74 g C plant<sup>-1</sup> pour la dose de 0%, de 6,58 g C plant<sup>-1</sup> pour la dose de 50% et de 7,56 g C plant<sup>-1</sup> pour la dose de 100% (Tableau 11).

**Tableau 10.** Poids frais (MF) et diamètre des têtes de brocoli, biomasse aérienne totale sur une base sèche (MS), et contenu en azote (N) et carbone (C) de la biomasse aérienne totale du brocoli, 2022.

Traitement	Poids frais tête (g MF plant <sup>-1</sup> )	Diamètre tête (cm)	Biomasse aérienne totale (g MS plant <sup>-1</sup> )	N (%)	C (%)	Total N (g plant <sup>-1</sup> )	Total C (g plant <sup>-1</sup> )
<b>Méthode</b>							
CC roulées	157,9c <sup>z</sup>	6,5	105,1	2,2c	39,6a	2,54c	41,6
CC broyées et occultées	255,6b	9,9	142,7	2,7b	38,2a	4,00b	54,4
CC broyées et incorporées	311,2a	11,2	157,9	3,1a	37,9a	4,90a	59,9
Témoin sans CC	298,9ab	11,0	158,3	3,0ab	37,9a	4,79a	59,8
<b>Fertilisation</b>							
0%	182,4c	7,1	109,4	2,3c	38,5a	2,64c	41,9
50%	270,8b	10,4	148,3	2,8b	38,3a	4,21b	56,5
100%	314,5a	11,5	165,4	3,2a	38,6a	5,33a	63,4
<b>Valeurs-P</b>							
Méthode	<0,001	<0,001	0,0004	0,0003	0,238	0,0002	0,0004
Fertilisation	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,795	<0,001	<0,001
Méthode x Fertilisation	0,174	<0,001	0,019	0,054	0,538	0,057	0,003

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

**Tableau 11.** Poids frais (MF) et diamètre des racines de betterave, biomasse totale sur une base sèche (MS), et contenu en azote (N) et carbone (C) de la biomasse totale de la betterave, 2023.

Traitement	Poids frais racine (g MF plant <sup>-1</sup> )	Diamètre racine (cm)	Biomasse totale (g MS plant <sup>-1</sup> )	N (%)	C (%)	Total N (g plant <sup>-1</sup> )	Total C (g plant <sup>-1</sup> )
<b>Méthode</b>							
CC roulées	44,5b <sup>z</sup>	4,0	9,7b	1,9	38,6a	0,20	3,71b
CC broyées et occultées	82,4a	5,1	17,8a	2,0	38,3a	0,37	6,78a
CC broyées et incorporées	100,6a	5,5	20,7a	2,3	37,6b	0,47	7,76a
Témoin sans CC	87,3a	5,3	18,6a	2,2	37,3b	0,42	6,93a
<b>Fertilisation</b>							
0%	54,8c	4,3	12,6c	2,0	38,0a	0,26	4,74c
50%	81,5b	5,1	17,4b	2,1	37,9a	0,38	6,58b
100%	99,8a	5,5	20,0a	2,2	37,9a	0,45	7,56a
<b>Valeurs-P</b>							
Méthode	<0,001	0,001	0,0003	0,009	0,002	0,001	<0,001
Fertilisation	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,979	<0,001	<0,001
Méthode x Fertilisation	0,590	0,006	0,083	0,042	0,224	0,383	0,398

<sup>z</sup>Les moyennes suivies de lettres différentes dans une colonne et traitement sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (Fisher's protected LSD).

### Rentabilité des cultures maraîchères

#### Coûts variables des différents traitements

##### Achat des semences de CC

En 2022, les semences de CC utilisées étaient un mélange d'avoine et de pois alors qu'en 2023 elles étaient un mélange de pois et de féverole. Les informations en lien avec chacune des espèces, soit leur taux de semis et leur coût de revient, ainsi qu'avec les deux mélanges de CC sont présentées dans le tableau 12.

**Tableau 12.** Coûts reliés à l'achat des semences des trois espèces de cultures de couverture (CC) et coûts associés aux deux types de mélanges de CC (avoine + pois en 2022 et pois + féverole en 2023).

Espèce de CC	Coût d'achat (\$)	Coût au m <sup>2</sup> (\$ m <sup>-2</sup> )	Coût à l'hectare (\$ ha <sup>-1</sup> )	Référence
Avoine (25 kg) Taux de semis: 80 kg ha <sup>-1</sup>	32,25	0,01	103,20	RDR Grains et Semences

Pois (25 kg) Taux de semis: 80 kg ha <sup>-1</sup>	51,45	0,02	164,64	RDR Grains et Semences
Féverole (25 kg) Taux de semis: 80 kg ha <sup>-1</sup>	41,75	0,01	133,60	Synagri
<b>Mélange de CC</b>		<b>Coût au m<sup>2</sup> (\$ m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Coût à l'hectare (\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	
Avoine (80 kg ha <sup>-1</sup> ) + pois (80 kg ha <sup>-1</sup> )		0,03	267,84	
Pois (80 kg ha <sup>-1</sup> ) + féverole (80 kg ha <sup>-1</sup> )		0,03	298,24	

#### Achat d'équipement pour la destruction des CC

Les coûts d'achat des outils compris dans cette analyse incluent uniquement ceux des outils qui ne sont pas utilisés dans le traitement de référence (CC broyées et incorporées + 100% de fertilisation ; Tableau 13). Ainsi, les coûts d'achat du vibroculteur et de la herse à disque n'ont pas été pris en compte. De plus, le coût d'achat de la tondeuse à fléau n'a pas été calculé puisque nous avons établi qu'un producteur aurait déjà cet équipement sur sa ferme.

**Tableau 13.** Coûts reliés à l'achat du matériel nécessaire aux différentes méthodes de destruction des CC.

Méthode de destruction des CC	Matériel	Coût d'achat (\$)	Coût au m <sup>2</sup> (\$ m <sup>-2</sup> )	Coût à l'hectare (\$ ha <sup>-1</sup> )	Amortissement	Coût à l'hectare par an (\$ ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )	Référence
CC roulées	Rouleau-crêpeur	1000	-	-	20 ans	50	Rapport du CETAB+ "L'occultation en production maraîchère comme outil de gestion de plantes nuisibles et de destruction d'engrais vert"
CC broyées + occultées	Toile d'occultation (7 X 15 m)	136	1,3	12 952	7 ans	1 850	Dubois Agrinovation
	Sac de sable pour tenir les bâches (1 sac)	1,14	0,2	2000	10	200	Dubois Agrinovation

Coûts reliés aux opérations mécaniques de destruction des CC ou de travail de sol dans le témoin en 2022 (brocoli).

Le tableau 14 présente les coûts reliés aux opérations mécaniques de destruction des CC pour les trois traitements comportant des CC, ainsi que les coûts reliés au travail de sol pour le sarclage du traitement témoin sans CC avant le transplant des brocolis, pour l'année 2022.

**Tableau 14.** Coûts reliés aux opérations mécaniques de destruction des CC ou de travail de sol dans le témoin en 2022 (brocoli)

Méthode de destruction	Opérations	Nombre de passages	Coût par passage (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût total (\$ ha <sup>-1</sup> )	Référence
Témoin (0CC)	Herse à disques à 10-15 cm de profondeur	2	22,41	44,82	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Herse à disques - argile, coût variable total moyen
	Vibroculteur à 5-7 cm de profondeur	1	18,64	18,64	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Cultivateur (1er passage), coût variable total moyen
CC broyées + incorporées	Broyeuse (Mott)	1	33,87	33,87	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Faucheuse conditionneuse à disques, coût variable total moyen
	Herse à disques à 10-15 cm de profondeur	3	22,41	89,64	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022

	Vibroculteur à 5-7 cm de profondeur	1	18,64	18,64	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Cultivateur (1er passage), coût variable total moyen
CC broyées + occultées	Broyeuse (Mott)	1	33,87	33,87	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Faucheuse conditionneuse à disques, coût variable total moyen
CC roulées	Rouleau-crêpeur	4	8,9	35,6	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Rouleau, coût variable total moyen

Coûts reliés aux opérations mécaniques de destruction des CC ou de travail de sol dans le témoin en 2023 (betterave).

Le tableau 15 présente les coûts reliés aux opérations mécaniques de destruction des CC pour les trois traitements comportant des CC, ainsi que les coûts reliés au travail de sol pour le sarclage du traitement témoin sans CC avant le transplant des betteraves, pour l'année 2023.

**Tableau 15.** Coûts reliés aux opérations mécaniques de destruction des CC ou de travail de sol dans le témoin en 2023 (betterave)

Méthode de destruction	Opérations	Nombre de passages	Coût par passage (\$/ha)	Coût total (\$/ha)	Référence
Témoin (0CC)	Herse à disques à 10-15 cm de profondeur	1	22,41	22,41	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Herse à disques - argile, coût variable total moyen
	Vibroculteur à 5-7 cm de profondeur	1	18,64	18,64	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Cultivateur (1er passage), coût variable total moyen
CC broyées + incorporées	Broyeuse (Mott)	1	33,87	33,87	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Faucheuse conditionneuse à disques, coût variable total moyen
	Herse à disques à 10-15 cm de profondeur	2	22,41	44,82	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Herse à disques -

					argile, coût variable total moyen
	Vibroculteur à 5-7 cm de profondeur	1	18,64	18,64	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Cultivateur (1er passage), coût variable total moyen
CC broyées + occultées	Broyeuse (Mott)	1	33,87	33,87	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Faucheuse conditionneuse à disques, coût variable total moyen
CC roulées	Rouleau-crêpeur	3	8,90	26,70	Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés AGDEX 740/825 2022; Rouleau, coût variable total moyen

#### Coûts reliés à l'achat des fertilisants

Pour le calcul des coûts reliés à la fertilisation, la fertilisation de démarrage avec du fumier de poules pondeuses a été prise en compte ainsi que la fertilisation d'appoint avec de la farine de sang. L'apport de bore n'a pas été considéré puisqu'il a été appliqué à la même dose pour tous les traitements. Le tableau 16 présente les coûts reliés à la fertilisation pour chacune des cultures et pour chacune des doses de fertilisation.

**Tableau 16.** Coûts reliés à l'achat des fertilisants en 2022 et 2023.

Type de fertilisation et dose recommandée		Coût d'achat (\$)		Référence
Fumier de poule pondeuse composté, 4-3-2 7% Ca 0.6Mg (25 lbs)		6,37		Synagri
Farine de sang, 12-0-0 (20 kg)		53,75		Synagri
Culture	Fertilisation recommandée	Dose fertilisation	Coût au m <sup>2</sup> (\$ m <sup>-2</sup> )	Coût à l'hectare (\$ ha <sup>-1</sup> )
Brocolis (2022)	Fumier de poule pondeuse composté (120 kg ha <sup>-1</sup> )	0%	0	0
		50%	0,1	1011,11
		100%	0,2	2022,22
	Farine de sang (70 kg ha <sup>-1</sup> )	0%	0	0
		50%	0,08	783,85
		100%	0,16	1567,70
Betteraves (2023)	Fumier de poule pondeuse composté (50 kg ha <sup>-1</sup> )	0%	0	0
		50%	0,042	421,30
		100%	0,084	842,59
	Farine de sang (30 kg ha <sup>-1</sup> )	0%	0	0
		50%	0,034	335,94
		100%	0,067	671,88

## Total des coûts variables pour la culture des légumes selon les traitements

### Brocolis (2022)

Le tableau 17 présente le total des coûts variables pour la culture des brocolis selon les traitements de destruction des CC et selon les traitements de fertilisation.

**Tableau 17.** Total des coûts variables annuels pour la culture des brocolis selon les traitements de destruction des CC et de fertilisation en 2022.

Traitement		Coût des semences de CC (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût de l'équipement pour la destruction des CC (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût des opérations mécaniques (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût de la fertilisation (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût total (\$ ha <sup>-1</sup> )
Méthode de destruction des CC	Dose de fertilisation					
Témoin sans CC	0%	0	0	63,46	0	63,46
	50%	0	0	63,46	1794,96	1858,42
	100%	0	0	63,46	3589,92	3653,38
CC broyées + incorporées	0%	267,84	0	142,15	0	409,99
	50%	267,84	0	142,15	1794,96	2204,95
	100%	267,84	0	142,15	3589,92	3999,91
CC broyées + occultées	0%	267,84	2050	33,87	0	2351,71
	50%	267,84	2050	33,87	1794,96	4146,67
	100%	267,84	2050	33,87	3589,92	5941,63
CC roulées	0%	267,84	50	35,60	0	353,44
	50%	267,84	50	35,60	1794,96	2148,4
	100%	267,84	50	35,60	3589,92	3943,36

### Betteraves (2023)

Le tableau 18 présente le total des coûts variables pour la culture des betteraves selon les traitements de destruction des CC et selon les traitements de fertilisation.

**Tableau 18.** Total des coûts variables pour la culture des betteraves selon les traitements de destruction de CC et de fertilisation en 2023

Traitement		Coût des semences de CC (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût de l'équipement pour la destruction des CC (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût des opérations mécaniques (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût de la fertilisation (\$ ha <sup>-1</sup> )	Coût total (\$ ha <sup>-1</sup> )
Méthode de destruction des CC	Dose de fertilisation					
Témoin sans CC	0%	0	0	41,05	0	41,05
	50%	0	0	41,05	757,24	798,29
	100%	0	0	41,05	1514,47	1555,52
CC broyées + incorporées	0%	267,84	0	97,33	0	365,17
	50%	267,84	0	97,33	757,24	1122,41
	100%	267,84	0	97,33	1514,47	1879,64
CC broyées + occultées	0%	267,84	2050	33,87	0	2351,71
	50%	267,84	2050	33,87	757,24	3108,95
	100%	267,84	2050	33,87	1514,47	3866,18
CC roulées	0%	267,84	50	26,70	0	344,54
	50%	267,84	50	26,70	757,24	1101,78
	100%	267,84	50	26,70	1514,47	1859,01

### **Revenus bruts des légumes en fonction des traitements**

#### Brocolis (2022)

Le revenu brut des brocolis en fonction des différents traitements de destruction des CC et des traitements de fertilisation ne sera pas présenté dans ce rapport puisque les références économiques des prix de vente des brocolis biologiques sont données par nombre de têtes, et non par poids des têtes. Ainsi, il est difficile de quantifier le revenu potentiel des brocolis dans nos traitements puisque ce n'est pas le nombre de tête qui varie, mais plutôt leur poids et leur diamètre.

#### Betteraves (2023)

Le tableau 19 présente les revenus bruts à l'hectare de la vente des betteraves selon les traitements de destruction des CC et selon les traitements de fertilisation. Il est à noter que le prix de vente utilisé est celui des betteraves conventionnelles, et non biologiques, puisque le prix des betteraves biologiques n'était pas disponible.

Le rendement obtenu des betteraves pour chacun des traitements a été calculé en additionnant le poids des 20 betteraves récoltées pour les prises de données sur une surface équivalente à 1,76 m<sup>2</sup>, et en transformant ce rendement en kg ha<sup>-1</sup>.

**Tableau 19.** Revenus bruts à l'hectare de la vente des betteraves selon les traitements de destruction des CC et selon les traitements de fertilisation.

Traitement		Rendement obtenus (lbs ha <sup>-1</sup> )	Prix de vente (\$ 25 lbs)	Revenu brut (\$ ha <sup>-1</sup> )	Référence
Méthode de destruction des CC	Dose de fertilisation				
Témoin sans CC	0%	61352,49	7,50	18 405,75	AGDEX 258/821b
	50%	87562,20	7,50	26 268,66	AGDEX 258/821b
	100%	113867,74	7,50	34 160,32	AGDEX 258/821b
CC broyées + incorporées	0%	83377,99	7,50	25 013,40	AGDEX 258/821b
	50%	99463,42	7,50	29 839,03	AGDEX 258/821b
	100%	119906,89	7,50	35 972,07	AGDEX 258/821b
CC broyées + occultées	0%	54134,78	7,50	16 240,43	AGDEX 258/821b
	50%	97657,64	7,50	29 297,29	AGDEX 258/821b
	100%	96367,21	7,50	28 910,16	AGDEX 258/821b
CC roulées	0%	21080,10	7,50	6 324,03	AGDEX 258/821b
	50%	42478,00	7,50	12 743,40	AGDEX 258/821b
	100%	70349,51	7,50	21 104,85	AGDEX 258/821b

## Marge sur coûts variables

### Brocolis (2022)

Puisque le revenu brut des brocolis n'a pas été calculé dans ce rapport, la marge sur les coûts variables du brocolis ne sera pas présentée.

### Betterave (2023)

Le tableau 20 présente la marge sur coûts variables, c'est-à-dire la différence entre le revenu brut et le total des coûts variables, ainsi que la différence de marge sur coûts variables comparé au traitement de référence (CC broyées et incorporées + 100% de fertilisation) pour les différents traitements de destruction des CC et des traitements de fertilisation dans la betterave.

On constate ainsi que c'est le traitement de référence qui est le plus rentable de toutes les combinaisons de traitements de destruction des CC et de fertilisation, suivi du traitement témoin sans CC avec 100% de fertilisation (-1 487,63\$ ha<sup>-1</sup>). À l'opposé, c'est le traitement de destruction des CC roulées avec 0% de fertilisation qui est le moins rentable (-28 112,94\$ ha<sup>-1</sup>).

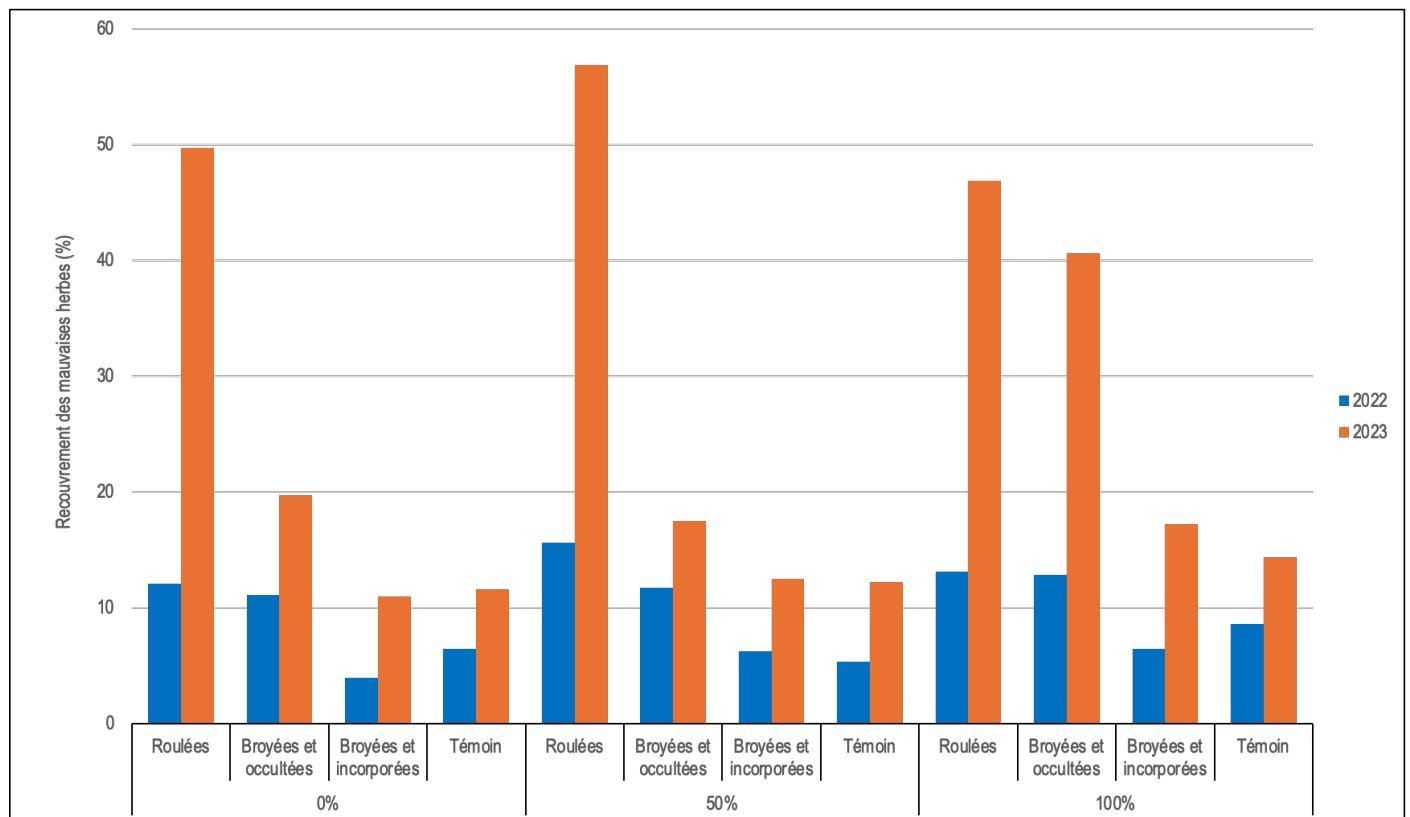
**Tableau 20.** Marge sur coûts variables et différence de marge sur coûts variables comparés au traitement de référence (CC broyées et incorporées + 100% de fertilisation) pour les différents traitements de destruction des CC et des traitements de fertilisation dans la betterave.

Traitement		Marge sur coûts variables (\$ ha <sup>-1</sup> )	Différence de marge sur coûts variables comparé au traitement de référence (CC broyées et incorporées + 100% de fertilisation) (\$ ha <sup>-1</sup> )
Méthode de destruction des CC	Dose de fertilisation		
Témoin sans CC	0%	18 364,70	-15 727,73
	50%	25 470,37	-8 622,06
	100%	32 604,80	-1 487,63
CC broyées + incorporées	0%	24 648,23	-9 444,20
	50%	28 716,62	-5 375,81
	100%	34 092,43	0 (traitement de référence)
CC broyées + occultées	0%	13 888,72	-20 203,71
	50%	26 188,34	-7 904,09
	100%	25 043,98	-9 048,45
CC roulées	0%	5 979,49	-28 112,94
	50%	11 641,62	-22 450,81
	100%	19 245,84	-14 846,59

## VOLET PHYTOPROTECTION DES CULTURES MARAÎCHÈRES

La figure 6 présente le recouvrement moyen des MH pour chacune des années et des traitements. Au cours de la saison de croissance des brocolis en 2022, peu de MH ont été observées. En 2023, dans la betterave, une augmentation du recouvrement des MH a été observée dans les traitements de CC roulées et broyées + occultées par rapport à l'année précédente. On peut constater la forte présence des MH dans ces deux traitements en 2023 sur la figure 7.

Aucune incidence de maladies fongiques, bactériennes ou virales n'a été observée en 2022 et 2023 dans les brocolis et les betteraves. L'altise a causé quelques dommages foliaires au début de la croissance des brocolis sans toutefois affecter le développement de la culture.



**Figure 6.** Recouvrement moyen des mauvaises herbes lors des cinq périodes d'observation, pour chacune des deux années et des quatre traitements de destruction des cultures de couverture.



**Figure 7.** Observation visuelle des mauvaises herbes le 20 août 2023. En haut à gauche, le traitement roulé ; en haut à droite, le traitement occulté ; en bas à gauche, traitement incorporé ; en bas à droite, témoin.

## Conclusion

Ce projet de recherche aura permis de répondre à l'objectif initialement fixé, soit d'évaluer l'effet des méthodes de destruction d'un mélange de CC de printemps et des doses de fertilisation organique sur le rendement des cultures maraîchères biologiques subséquentes et sur les indicateurs de santé du sols. Une biomasse plus importante des MH a été observée, en 2023, dans le traitement de destruction des CC roulées, ce qui suggère un moins bon contrôle des MH par ce traitement l'année précédente, leur permettant ainsi de mieux s'implanter. La concentration en azote minéral dans le sol en 2022 et 2023 était supérieure dans le traitement témoin sans CC au moment de la destruction des CC par rapport aux autres traitements comportant des CC. À la deuxième année du projet, dans les traitements comportant des CC, la stabilité des agrégats du sol était supérieure que dans le traitement témoin sans CC suggérant une amélioration de la santé physique du sol par les CC. De plus, l'indice de santé globale du sol s'est vu amélioré après la deuxième année du projet. Le rendement des brocolis et des betteraves était le plus faible dans le traitement de destruction des CC roulées, et était le plus élevé avec la dose de fertilisation la plus élevée.

# Annexes

## Annexe 4.1 - Activité de transfert et de diffusion scientifique du 23-24 mai 2023.

Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., et Halde, C. 2023. *Effets des méthodes de destruction des cultures de couverture sur la santé des sols et le rendement des cultures maraîchères subséquentes*. Affiche présentée au 37<sup>e</sup> congrès annuel de l'Association québécoise de spécialistes en sciences du sol (AQSSS), Québec, QC, Canada. 23-25 mai 2023.

L'étudiant à la maîtrise Michaël Brière s'est mérité le **Prix Régis-Simard pour la meilleure affiche étudiante.**

### Effets des méthodes de destruction des cultures de couverture sur la santé des sols et le rendement des cultures maraîchères subséquentes

Michaël Brière<sup>1</sup>, Valérie Gravel<sup>2</sup>, Émilie Maillard<sup>3</sup>, Richard Hogue<sup>4</sup>, Denis Angers<sup>3</sup>, Marie-Élise Samson<sup>5</sup> et Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département de phytologie, Université Laval, Québec, QC, Canada.

<sup>2</sup> Department of Plant Science, McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, QC, Canada.

<sup>3</sup> Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec, QC, Canada.

<sup>4</sup> Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Québec, QC, Canada.

<sup>5</sup> Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, Québec, QC, Canada.



#### Introduction

- En maraîchage biologique, les cultures de couverture (CC) sont généralement incorporées au sol avant la culture subséquente.
- Il y a toutefois un intérêt pour l'adoption de méthodes de destruction sans travail de sol soit l'occultation ou le roulage des CC.
- Cependant, peu d'études ont évalué l'impact de ces pratiques sur la santé des sols et le rendement des cultures dans les systèmes de production maraîchère intensive.

#### Objectif

- Évaluer l'effet des méthodes de destruction d'un mélange de CC et de différentes doses de fertilisation organique sur la santé des sols et le rendement des cultures maraîchères biologiques subséquentes.

#### Résultats et discussion

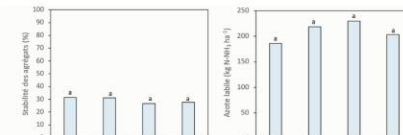


Fig. 2. Effet des méthodes de destruction des cultures de couverture sur la stabilité des agrégats en 2022. MF - Matière fraîche.

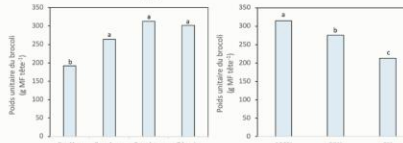


Fig. 4. Effet des méthodes de destruction des cultures de couverture sur le poids unitaire du brocoli en 2022. MF - Matière fraîche.

- La biomasse aérienne des CC était de 2,87 Mg MS ha<sup>-1</sup> (Fig. 6).
- Les méthodes de destruction des CC n'ont eu aucun impact sur les indicateurs physiques, biologiques et chimiques de santé des sols (Fig. 2 et 3).
- Le poids unitaire du brocoli le plus faible a été observé dans le traitement de CC roulées, quelle que soit la dose de fertilisation (Fig. 4).
- Un poids unitaire du brocoli plus faible a été observé en diminuant la dose de fertilisation de moitié, quelle que soit la méthode de destruction des CC (Fig. 5).



Fig. 6. Mélange de cultures de couverture avoine et pois (gauche) et culture du brocoli (droite).

#### Matériel et méthodes

- Loam argileux à argile de la série Joly à Saint-Augustin-de-Desmaures, QC.
- Plan en tiroirs avec 4 blocs évalué sur deux années (Fig. 1).



Fig. 1. Séquence temporelle : cultures de couverture (CC) de printemps, quatre méthodes de destruction des CC et culture du brocoli biologique avec trois doses de fertilisation organique.

- Échantillonnage à l'An 1 (2022) :
  - Biomasse aérienne des CC au début juillet.
  - Santé des sols en septembre à 0-10 cm de profondeur.
  - Indicateurs physiques : stabilité des agrégats et réserve en eau utile.
  - Indicateurs biologiques : respiration du sol, azote labile, matière organique, carbone actif et biomasse microbienne.
  - Indicateurs chimiques : pH, phosphore, potassium, magnésium et calcium.
  - Rendement du brocoli en septembre.

#### Conclusion

- Après une année d'essai, les méthodes de destruction des CC sans travail de sol n'ont pas eu d'effet sur la santé des sols. Le roulage des CC et les doses de fertilisation ont toutefois eu un impact sur le poids unitaire du brocoli.
- À la deuxième année, des différences seront peut-être observées en raison de l'effet cumulé des traitements de destruction des CC et des doses de fertilisation.

#### Remerciements



Annexe 4.2 - Activité de transfert et de diffusion scientifique du 26-29 juin 2023.

Brière, M.\*, Gravel, V., Samson, M-É., Maillard, É., Angers, D., Hogue, R., Roy, J., La France, D., et Halde, C. 2023. *Impact of Cover Crop Termination Methods on Soil Health and Yield in Organic Vegetable Production Systems*. Affiche présentée au congrès annuel « CSSS 2023-Soils Go Digital? », Truro, N-É, Canada. 26-29 juin 2023.

**Impact of Cover Crop Termination Methods on Soil Health and Yield in Organic Vegetable Production Systems**

Michaël Brière<sup>1</sup>, Valérie Gravel<sup>2</sup>, Marie-Èlise Samson<sup>3</sup>, Émilie Maillard<sup>4</sup>, Denis Angers<sup>5</sup>, Richard Hogue<sup>6</sup>, Jonathan Roy<sup>6</sup>, Denis La France<sup>7</sup>, Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chaire en phytologie, Université Laval, Québec, QC, Canada  
<sup>2</sup>Department of Plant Science, McGill University, Sainte-Foy, Québec, QC, Canada  
<sup>3</sup>Department of Plant Science, Université Laval, Québec, QC, Canada  
<sup>4</sup>Agrochimie et agro-aliments, Université Laval, Québec, QC, Canada  
<sup>5</sup>Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Québec, QC, Canada  
<sup>6</sup>Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Marie, QC, Canada  
<sup>7</sup>Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité, Victoriaville, QC, Canada

**UNIVERSITÉ LAVAL**

**Introduction**

- In intensive small-scale organic vegetable production systems, cover crops are usually incorporated into the soil by plowing prior to the subsequent vegetable crop (Brière et al., 2023).
- In Québec, small-scale organic farmers have shown interest in adopting no-till cover crop termination methods such as tamping and roller-crimping.
- However, very few studies have evaluated the impact of these practices on soil health and crop yields in intensive vegetable production systems (Muller et al., 2020; Heffner et al., 2020; Samson et al., 2022).

**Objective**

- To assess the short-term impact of spring seeded cover crop termination methods and organic fertilization rates on selected soil health indicators and yield of a subsequent crop in small-scale organic vegetable production systems.

**Methodology**

- A one-year field trial on a clay loam (Gley) silt loam (Luvisol) in Saint-Augustin-de-Desmaures, QC, Canada.
- Setup: 10 × 10 m plots with 4 blocks, for a total of 40 experimental units (Fig. 1).

**Results and Discussion**

**Fig. 2. Main effect of cover crop termination methods on soil aggregate stability in 2022.**

Termination Method	Soil Aggregate Stability (g)
Roller-crimped	~30
Flat-towed	~30
Flat-towed and tilled	~30
Control	~30

**Fig. 3. Main effect of cover crop termination methods on soil labile nitrogen (N) in 2022.**

Termination Method	Soil Labile Nitrogen (N) (%)
Roller-crimped	~10
Flat-towed	~10
Flat-towed and tilled	~10
Control	~10

**Fig. 4. Main effect of cover crop termination methods on broccolli fresh head weight in 2022.**

Termination Method	Broccoli Fresh Head Weight (kg)
Roller-crimped	~150
Flat-towed	~150
Flat-towed and tilled	~150
Control	~150

**Fig. 5. Main effect of organic fertilization rates (% of recommended rate) on broccolli fresh head weight in 2022.**

Fertilization Rate	Broccoli Fresh Head Weight (kg)
0%	~150
50%	~150
100%	~150

**Fig. 6. Crop and field pea cover crop mixture in late June 2022, a week before termination.**

**Conclusion**

- In 2022, aboveground biomass of cover crops was 2.87 Mg DM ha<sup>-1</sup> (Fig. 6).
- Cover crop termination methods had no significant effect on selected indicators of soil health in the first year (Fig. 2 and 3) as reported in previous studies (Lokka and Nair, 2016; Pieper et al., 2015).
- The lowest broccolli fresh head weight was measured in the roller-crimped cover crop treatment, regardless of fertilization rates (Fig. 4). Similar results were obtained by Heffner et al. (2020). Cover crop growth in this treatment may also have influenced broccolli performance.
- Low broccolli fresh head weights were observed with reduced fertilization rates, methods (Fig. 5).
- In the first year of the experiment, cover crop termination methods had no significant effect on soil health indicators, while fertilization rates had an effect on broccolli head weight.
- After completion of this short-term field study, differences may be observed due to the cumulative effects of cover crop termination methods and fertilization rates.

**Acknowledgements**

## Annexe 4.3 - Activité de transfert et de diffusion scientifique du 4-5 décembre 2023.

Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. 2023. *Soil Health Response to Cover Crop Termination Methods in Small-Scale Organic Vegetable Production Systems*. Affiche présentée au « 2023 BSSS Annual Conference », Belfast, UK. 4-5 décembre 2023.

# Soil Health Response to Cover Crop Termination Methods in Small-Scale Organic Vegetable Production Systems

Michaël Brière<sup>1</sup>, Valérie Gravel<sup>2</sup>, Émilie Maillard<sup>3</sup>, Richard Hogue<sup>4</sup>, Denis Angers<sup>5</sup>, Marie-Élise Samson<sup>6</sup>, Jonathan Roy<sup>6</sup>, Denis La France<sup>7</sup>, Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département de phytiologie, Université Laval; <sup>2</sup> Département de Plant Science, McGill University; <sup>3</sup> Agriculture and Agri-Food Canada; <sup>4</sup> Institut de recherche et de développement en agroenvironnement; <sup>5</sup> Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval; <sup>6</sup> Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec; <sup>7</sup> Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité.



**Keywords:** cover crops, termination methods, organic, small-scale farming, soil health, vegetable crops.

### Introduction

- In intensive small-scale organic vegetable production systems, cover crops are usually incorporated into the soil by disking before the subsequent crop (Wauters et al., 2021).
- In recent years, silage tarps have gained popularity among small-scale farmers in Quebec as a suitable tool for no-till cropping systems. Termination of cover crops by roller-crimping is another strategy used by organic farmers.
- However, few studies have compared the effects of these practices on soil health and crop yields in intensive vegetable production systems (Adetunji et al., 2020; Hefner et al., 2020; Lounsbury et al., 2020).

### Objective

- To evaluate the short-term impact of spring-seeded cover crop termination methods and organic fertilization rates on selected soil health indicators and subsequent crop yields in small-scale organic vegetable production systems.

### Methodology

- Location:**
- 2-year (2022-2023) field experiment on a clay loam classified as Orthic Gleysol, with 21 g kg<sup>-1</sup> C, in Saint-Augustin-de-Desmaures, QC, Canada (46°43'N; 71°30'W).
  - Mean annual air temperature and precipitation of 5.8°C and 1166 mm.

- Experimental design:**
- Split-plot design (4 × 3) with 4 blocks.

#### Main plots: Cover crop termination methods



- Subplots: Organic fertilization rates of vegetable crops based on nitrogen (N)
  - 0% N
  - 50% N
  - 100% N



- Cover crops:**
- 2022: Oat (*Avena sativa* L.) and field peas (*Pisum sativum* L.).
  - 2023: Field peas and faba beans (*Vicia faba* L.).

- Vegetable production:**
- 2022: Broccoli 'Imperial'.
  - 2023: Beetroot 'Red Ace'.
  - Composted pelletized poultry manure (4-3-2) was broadcasted at vegetable transplanting, and blood meal (12-0-0) was applied on vegetable rows 4 weeks after transplanting.

- Soil and plant sampling:**
- Water-stable aggregates** (n=16)
- Soil was sampled at 0-10 cm depth in mid-September using a square shovel and passed through an 8-mm sieve.
  - Wet sieving was performed using the method and apparatus described by Angers et al. (2007).



- Bulk density** (n=48)
- Dry soil bulk density was determined from core samples at 0-10 cm depth in mid-September.

- Soil respiration** (n=16)
- Soil was sampled at 0-10 cm depth in mid-September.
  - Solivita CO<sub>2</sub>-Burst probes were used to measure evolved CO<sub>2</sub> within 24 h in a tightly closed container.

- Vegetable yields** (n=48)
- 12 broccoli heads and 20 beetroots per experimental unit were harvested and weighed.

### References

Ahmed, Nadeem, M. and L. 2022. Management of soil and crop yield of winter wheat and spring wheat. *Soil Tillage Res.* 244: 104717.  
 Angers, D., and Halde, C. 2017. Aggregate stability in winter wheat and soybean. *Soil Science and Society of America*. 74: 655-663.  
 Hefner, J., Samson, M., Roy, J., La France, D., and Angers, D. 2020. Cover crop termination methods: the constraints and benefits of roller-crimping and mowing and tarping. *Soil Science Society of America*. 84: 1081-1090.  
 Lounsbury, M., and Halde, C. 2020. Investigating spring to summer crop cover crop termination methods in organic vegetable production. *Front. Sustainable Food Systems*. 14: 589891.  
 Lounsbury, M., Halde, C., and Angers, D. 2021. Short-term effects of cover crop termination methods on soil health and organic vegetable production. *Front. Sustainable Food Systems*. 15: 689891.

### Results and Discussion

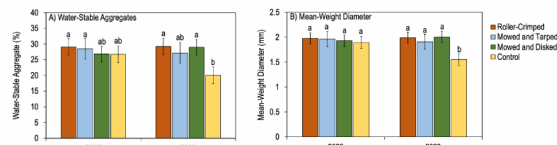


Fig. 2. Combined effect of year and termination methods on (A) the proportion of water-stable aggregates > 2 mm and (B) the mean-weight diameter of water-stable aggregates in 2022 and 2023 at 0-10 cm soil depth. Bars represent the standard errors of the means. Different letters indicate a significant difference between means at P ≤ 0.05 (Fisher's protected LSD).

- The use of cover crops resulted in a larger proportion of water-stable aggregates compared to the no-cover crop control in 2023.
- Mean-weight diameter of water-stable aggregates decreased significantly in the control treatment without cover crop in the 2<sup>nd</sup> year of the experiment. In contrast, mean-weight diameter did not vary among the other three cover crop termination treatments.

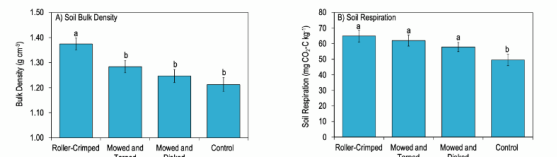


Fig. 3. Effect of termination methods, on average over 2022 and 2023, on (A) dry soil bulk density and (B) soil respiration at 0-10 cm soil depth. Bars represent the standard errors of the means. Different letters indicate a significant difference between means at P ≤ 0.05 (Fisher's protected LSD).

- Soil bulk density was significantly higher in the roller-crimped cover crop treatment than in the other treatments. Cover crop biomass did not produce a thick mat of mulch, while multiple passes of the roller-crimper were necessary to terminate cover crops, which could explain the differences in bulk density.
- Soil respiration values were significantly higher in the treatments with cover crops, regardless of termination methods, than in the no-cover crop control, indicating an effect of cover crops on soil biology over the period of the experiment.

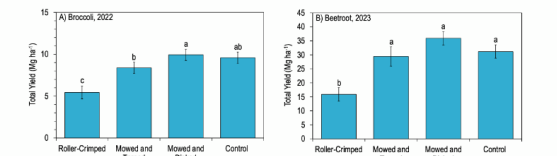


Fig. 4. Main effect of cover crop termination methods on (A) broccoli and (B) beetroot yields. Bars represent the standard errors of the means. Different letters indicate a significant difference between means at P ≤ 0.05 (Fisher's protected LSD).

- The lowest yields for broccoli as well as for beetroot were observed in the roller-crimped cover crop treatment.
- In both years, no difference was found between the mowed and disked cover crop treatment and the no-cover crop control.
- Vegetable crop yields were affected by organic fertilization rates, but there was no interaction with termination methods.
- Broccoli and beetroot yields were significantly higher in the 100% N treatment than in the other two fertilization rate treatments.

### Conclusion

- Establishing spring-seeded cover crops into organic vegetable production systems, regardless of termination methods, offers soil health benefits in the short-term, as shown by the proportion of water-stable aggregates (> 2 mm), the mean-weight diameter of water-stable aggregates, and soil respiration. However, the productivity of broccoli and beetroot crops decreased under the roller-crimped cover crop termination method.
- Multiple passes of the roller-crimper as an attempt to successfully terminate spring-seeded cover crops showed an increase in dry soil bulk density, suggesting a risk of soil compaction.
- Reducing organic fertilization rates, even combined with the use of spring-seeded cover crops, decreased crop yields.

### Acknowledgements



## Annexe 4.4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique du 13-15 février 2023.

Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. 2024. *Destruction des cultures de couverture en maraîchage biologique : réponse à court terme d'indicateurs de santé des sols*. Présentation orale au « 3e Congrès annuel du RQRAD », Québec, QC, 13-15 février, 2024.

# Destruction des cultures de couverture en maraîchage biologique : réponse à court terme d'indicateurs de santé des sols

Michaël Brière<sup>1</sup>, Valérie Gravel<sup>2</sup>, Émilie Maillard<sup>3</sup>,  
Richard Hogue<sup>4</sup>, Denis Angers<sup>3</sup>, Marie-Élise Samson<sup>5</sup>,  
Jonathan Roy<sup>6</sup>, Denis La France<sup>7</sup> et Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de phytologie, Université Laval

<sup>2</sup>Department of plant science, McGill University

<sup>3</sup>Agriculture et Agroalimentaire Canada

<sup>4</sup>Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

<sup>5</sup>Département des sols et génie agroalimentaire, Université Laval

<sup>6</sup>Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

<sup>7</sup>Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité



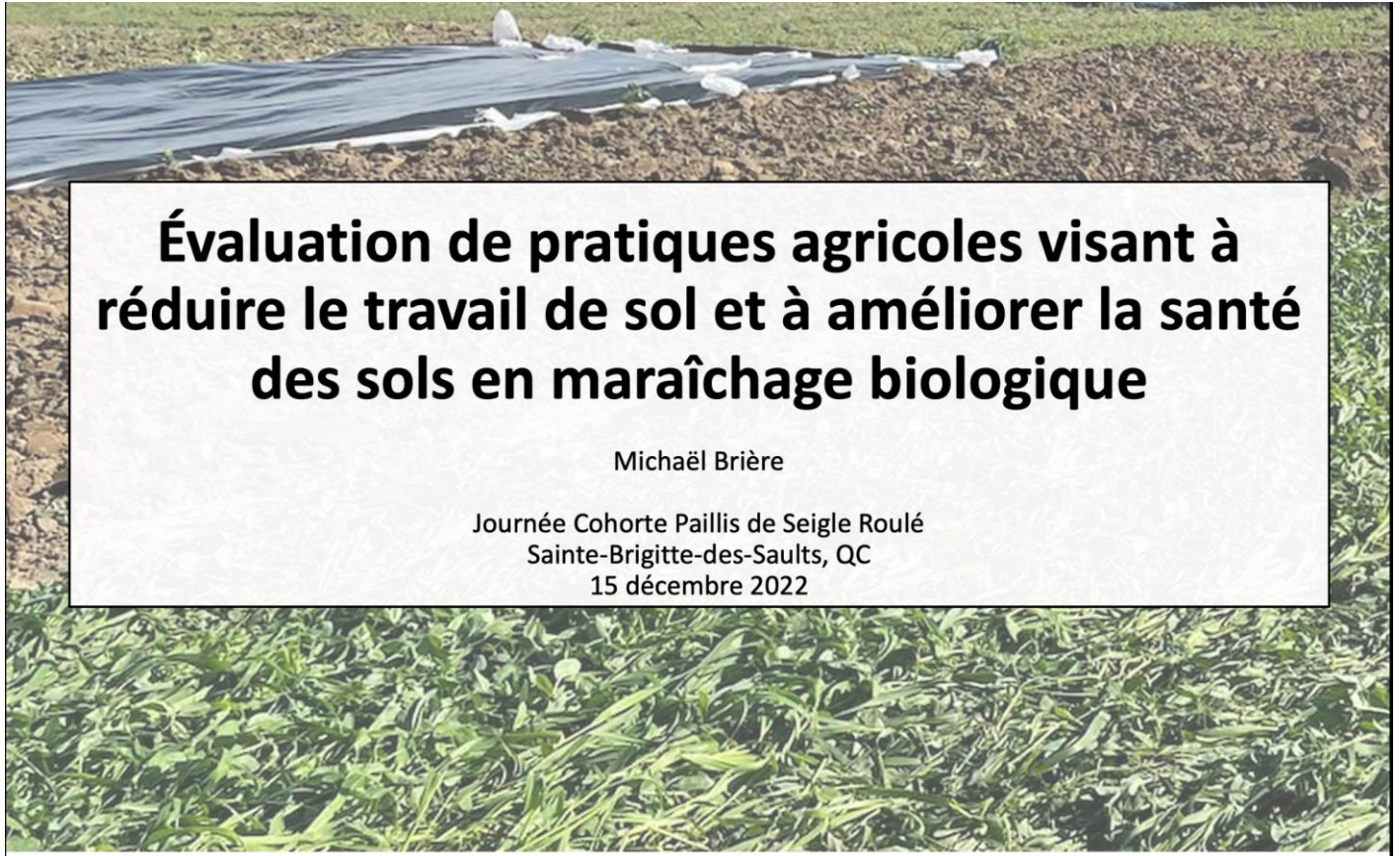
15 février 2024



Images : Halde, C. (2022) et Brière, M. (2023)

Annexe 5.1 - Activité de diffusion et de transfert du 15 décembre 2022

Brière, M. 2022. *Évaluation de pratiques agricoles visant à réduire le travail de sol et à améliorer la santé des sols en maraîchage biologique*. Conférence invitée à la «Journée cohorte Paillis de seigle roulé», organisée par Club Duralsol Drummond Inc. Sainte-Brigitte-des-Saults, QC, 15 décembre 2022.



# Évaluation de pratiques agricoles visant à réduire le travail de sol et à améliorer la santé des sols en maraîchage biologique

Michaël Brière

Journée Cohorte Paillis de Seigle Roulé  
Sainte-Brigitte-des-Saults, QC  
15 décembre 2022



UNIVERSITÉ  
**LAVAL**



Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation  
Québec



**CETAB+**  
Centre d'expertise et de transfert en  
agriculture biologique et de proximité  
CÉGEP DE VICTORIANVILLE

**irda** INSTITUT DE RECHERCHE  
ET DE DÉVELOPPEMENT  
EN AGROENVIRONNEMENT

Annexe 5.2 - Activité de diffusion et de transfert du 7 mars 2023.

Brière, M. 2023. *Les cultures de couverture en production maraîchère biologique – Perspectives de la recherche*. Conférence invitée à «Atelier de la Cohorte en santé des sols», organisé par l'Organisme de bassin versant de la Baie Missisquoi. Bedford, QC, 7 mars 2023.



**Les cultures de couverture en production maraîchère biologique**  
**Perspectives de la recherche**

---

*Évaluation des méthodes de destruction des cultures de couverture en maraîchage biologique*

**Michaël Brière<sup>1</sup>**  
Valérie Gravel<sup>2</sup>, Caroline Halde<sup>1</sup>

Cohorte santé des sols  
Organisme de bassin versant de la baie Missisquoi, Bedford, QC  
7 mars 2023

<sup>1</sup>Département de phytologie, Université Laval, Québec, QC, Canada  
<sup>2</sup>Department of Plant Science, McGill University, Saint-Anne-de-Bellevue, QC, Canada



1

Annexe 5.3 - Activité de diffusion et de transfert du 13 juillet 2023.

Brière, M.\* et Gagné, S.\* 2023. *Destruction des cultures de couverture sans travail de sol en maraîchage biologique*. Conférence invitée à «Journée Phytoprotection 2023», organisée par le CRAAQ. Saint-Augustin-de-Desmaures, QC, 13 juillet 2023.



## Annexe 5.4 - Activité de diffusion et de transfert publiée en automne 2023.

Brière, M. 2023. *Managing cover crops for enhancing soil health in organic vegetable production systems*. Article publié dans le magazine Organic Alberta, Automne, 2023.

FALL 2023

VOLUME 15 | ISSUE 03



### MANAGING COVER CROPS FOR ENHANCING SOIL HEALTH IN ORGANIC VEGETABLE PRODUCTION SYSTEMS

By Michaël Brière, Master's student,  
Department of Phytology, Université Laval

Cover crops are commonly used in organic production systems and can provide many benefits, including enhanced soil health, reduced nitrogen leaching, weed suppression, and higher crop yields. However, intensive and frequent tillage continues to be widely used in organic vegetable production systems, such that a common practice for terminating cover crops prior to vegetable planting is mowing and tilling crops into the soil.

Organic agriculture has long been criticized for relying heavily on tillage for incorporating cover crops into the soil and weed control. Managing cover crops without tillage in organic production systems has proved challenging. Nonetheless, organic farmers in Quebec, whose primary goal is to reduce tillage in their cropping systems, have started to adopt alternative practices for suppressing weeds and managing cover crops. Silage tarps have gained popularity amongst small-scale farmers as a suitable tool for no-till cropping systems. Silage tarps (black on one side and white on the other) are applied with the black side up and held in place for a few weeks before crop planting. Termination of cover crops by roller-crimping is another strategy some organic farmers use. A roller-crimper consists of a cylindrical steel drum with metal crimping blades, which crimp cover crop stems and leaves without cutting the stems. However, few studies have

compared these different methods to terminate cover crops without tillage. Therefore, the primary focus of our research project was to evaluate the short-term effects of cover crop termination methods on soil health and yield of subsequent vegetable crops.

The field experiment was conducted at a research site in Quebec on a clay loam in 2022 and 2023. In both years, a spring-seeded cover crop mixture was terminated in mid-summer, followed by a vegetable crop. In May 2022, a mixture of field pea and oat was seeded in a 50:50 ratio, while in 2023, the cover crop mixture consisted of field peas and faba beans. Four cover crop termination systems were evaluated before vegetable transplanting including roller-crimping, flail mowing and tarping, flail mowing



and incorporation by disking, and fallow control without a cover crop.

After the termination of cover crops, broccoli and beetroot were transplanted in 2022 and 2023, respectively. At harvest time, soil samples were collected, and soil health indicators were measured using soil-based lab tests.

After the first year of the experiment, we found no effect of termination methods on soil health indicators, which is not surprising given the short period of observations. However, vegetable yields were affected by the termination method such that under roller-crimping, broccoli and beetroot yields were, respectively, 45% and 56% lower compared to the incorporation of cover crops by disking. Other studies have also observed reduced yields due to slower mineralization and nitrogen release from roller-crimped cover crops. In the first year of our experiment, the regrowth of oats may have also contributed to the low yields. Cover crop termination timing in roller-crimping systems is critical and challenging for many organic farmers. Our findings showed that tarps could facilitate organic no-till vegetable production without compromising crop yields. The data analysis we have underway will give us a better picture of the effects on soil health and the potential trade-offs in cover crop management for organic vegetable production. Although, it will be necessary for future research to assess the long-term impacts of these no-till practices in organic vegetable production systems.

Annexe 5.5 - Activité de diffusion et de transfert du 19 janvier 2024.

Brière, M. 2024. *Stratégies de destruction des cultures de couverture de printemps*. Conférence invitée à la «Cohorte régionale», organisée par la Coopérative pour l'agriculture de proximité écologique (CAPÉ). Sherbrooke, QC, 19 janvier 2024.

## STRATÉGIES DE DESTRUCTION DES CULTURES DE COUVERTURE DE PRINTEMPS



Michaël Brière

Sherbrooke, QC - 19 janvier 2024

1

## Annexe 5.6 - Activité de diffusion et de transfert du 28-29 février 2024.

Brière, M.\*, Gravel, V., Maillard, É., Hogue, R., Angers, D., Samson, M-É., Roy, J., La France, D. et Halde, C. 2024. *Destruction des engrais verts : effet à court terme sur la santé du sol et sur les rendements*. Présentation orale au «10e Colloque Bio pour tous!», Victoriaville, QC, 28-29 février, 2024

# Destruction des engrais verts : effets à court terme sur la santé du sol et sur les rendements

Michaël Brière<sup>1</sup>, Valérie Gravel<sup>2</sup>, Émilie Maillard<sup>3</sup>,  
Richard Hogue<sup>4</sup>, Denis Angers<sup>3</sup>, Marie-Élise Samson<sup>5</sup>,  
Jonathan Roy<sup>6</sup>, Denis La France<sup>7</sup> et Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de phytologie, Université Laval

<sup>2</sup>Department of plant science, McGill University

<sup>3</sup>Agriculture et Agroalimentaire Canada

<sup>4</sup>Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

<sup>5</sup>Département des sols et génie agroalimentaire, Université Laval

<sup>6</sup>Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

<sup>7</sup>Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité

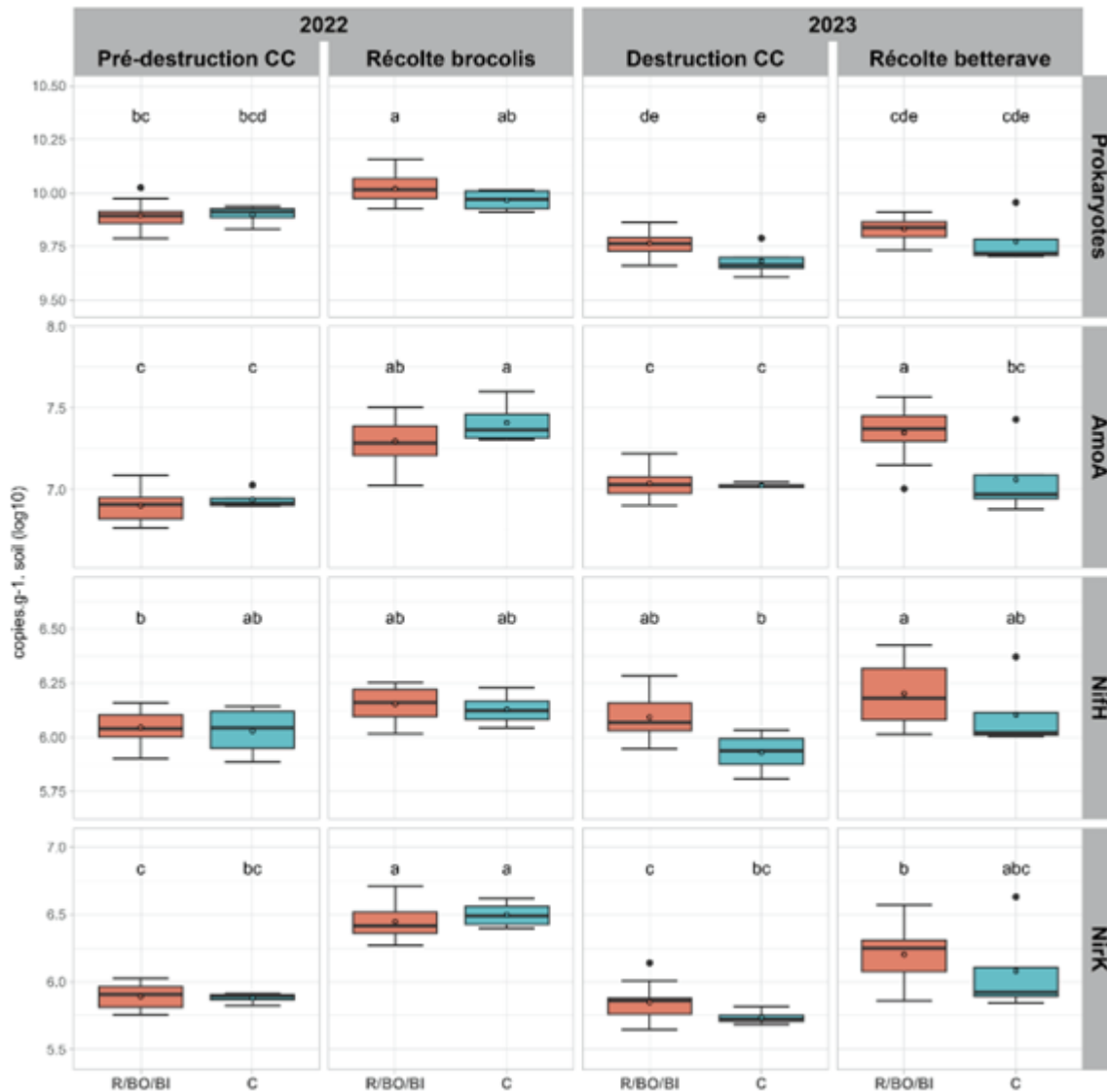


UNIVERSITÉ  
LAVAL

Colloque Bio pour tous! 29 février 2024

Images : Halde, C. (2022) et Brière, M. (2023)

## Annexe 5.7 - Gènes du cycle de l'azote



Quantifications par qPCR des bactéries totales (Prokaryotes) et des gènes du cycle de l'azote (NifH, AmoA et NirK) pour la profondeur de sol 0-10 cm prélevé à deux périodes en 2022 (brocolis) et en 2023 (betterave).