



L'Institut canadien des politiques agroalimentaires 960, avenue Carling, édifice FEC 60 Ottawa (Ontario) K1A 0C6 www.capi-icpa.ca

Ce rapport est commandité en partie par la Fondation RBC et s'inscrit dans l'initiative environnementale plus vaste de l'ICPA intitulée « À l'avant-garde des solutions : aider les agriculteurs à travailler mieux, plus intelligemment et de manière écologiquement durable ». Cette initiative vise à tirer parti des politiques publiques et privées pour favoriser l'adoption rapide de pratiques de gestion bénéfiques et accroître la mise en œuvre de nouveaux outils et de nouvelles technologies afin de maximiser les résultats environnementaux et sociaux.



Fondation

En vue d'assurer la validité et la qualité de son travail, l'ICPA exige que tous les rapports de recherche soient soumis à un processus d'examen par les pairs. Un groupe consultatif, présidé par le directeur de recherche de l'ICPA, Al Mussell, Ph. D, a été formé pour fournir des commentaires sur l'élaboration, les grandes lignes et les premières versions de ce rapport. L'ICPA remercie les membres du groupe consultatif qui ont apporté leur expertise et leurs conseils aux boursiers de doctorat tout au long de la dernière année de leur bourse : Andréanne Léger, Ph. D, Alexandre Lillo, Ph. D, Lori Phillips, Ph. D, Grace Skogstad, Ph. D, Nevin Rosaasen, et Susan Wood-Bohm, Ph. D. Les points de vue et les opinions exprimés dans le présent document sont uniquement ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'ICPA.



Note de l'ICPA

En mai 2021, l'ICPA a défini quatre actions clés pour la durabilité et la prospérité futures du système agroalimentaire canadien : approches systémiques, réflexion stratégique, partenariats public-privé et leadership aspirationnel. L'ICPA croit que pour assurer au monde un accès durable et continu à la nourriture, nous devons regarder vers l'avenir. Les jeunes leaders d'aujourd'hui, ainsi que les générations futures, jouent un rôle essentiel pour aider le système agroalimentaire canadien à réaliser son grand potentiel.

Le programme de bourses de doctorat de l'ICPA est l'une des façons d'y parvenir. Les boursiers doctoraux de l'ICPA sont de jeunes chercheurs de tout le Canada et de toutes les disciplines qui s'attaquent à certains des problèmes les plus critiques de l'agriculture. Notre cohorte actuelle (2020-2022) étudie la question de la santé des sols agricoles.

Ce qui suit est le rapport final de notre deuxième cohorte, un groupe axé sur le développement de la recherche scientifique et des données dans la politique entourant l'atténuation des changements climatiques et le rôle que la séquestration du carbone peut jouer dans les terres cultivées du Canada. Cette recherche multidisciplinaire dans le domaine de la durabilité et de la résilience des sols agricoles contribue à certaines des conversations critiques de l'ICPA concernant la prospérité durable de l'agriculture canadienne.

Principaux points à retenir

- Les terres cultivées canadiennes représentent une opportunité d'atténuation du changement climatique grâce à leur potentiel de séquestration du carbone. Pour réaliser ce potentiel, les stratégies doivent tenir compte du contexte local et des conditions agroenvironnementales.
- Les politiques et les programmes peuvent contribuer à éliminer les obstacles à l'adoption des PGB en faisant participer les producteurs aux processus décisionnels, en fournissant des preuves du rendement des investissements et en assurant l'accès à des outils de mesure et de surveillance abordables et efficaces.
- La vulgarisation relative au piégeage du carbone dans le sol devrait permettre aux producteurs de mieux comprendre l'état des connaissances ainsi que les possibilités et les défis liés à l'adoption des PGB en utilisant des données scientifiques et des données provenant de plusieurs disciplines.

Résumé

APERÇU

Le secteur agricole canadien peut être une source de solutions aux changements climatiques. La séquestration du carbone dans le sol, c'est-à-dire le processus de captage et de stockage à long terme du carbone atmosphérique dans le sol, constitue une stratégie d'atténuation des changements climatiques à la disposition des producteurs canadiens. Les terres cultivées représentent une partie importante des terres agricoles canadiennes, et pourraient séquestrer le carbone grâce à l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques (PGB). Afin de réaliser ce potentiel, il est essentiel que les politiques et les programmes permettent aux producteurs d'adopter des PGB et les encouragent à le faire. Dans le présent rapport, nous présentons des recherches en vue d'éclairer les politiques et les programmes destinés à améliorer la séquestration du carbone dans les terres cultivées en :

- a. expliquant comment et pourquoi l'adoption de PGB peut accroître la teneur en carbone organique du sol dans les terres cultivées;
- b. présentant les principaux obstacles et les conditions favorables à l'adoption à grande échelle des PGB;
- c. mettant en évidence les dernières recherches et les projets existants qui montrent comment améliorer l'interface entre la science et les politiques visant la séquestration du carbone dans le sol des terres cultivées.

PRINCIPALES CONSTATATIONS

La variation régionale démontre que les sols de terres cultivées au Canada n'ont pas un historique homogène, ne présentent pas le même potentiel de stockage du carbone ou ne se trouvent pas dans les mêmes conditions agroenvironnementales. Cela suggère que les stratégies visant à améliorer la séquestration du carbone à l'échelle du Canada devraient différer pour répondre aux besoins locaux. À partir de quatre volets de recherche qui s'appuient sur des publications scientifiques, socio-économiques et politiques récentes et qui sont décrits dans quatre sections du rapport, les principales constatations suivantes sont mises en lumière :

Fondements: comprendre le carbone organique du sol

La séquestration du carbone dans le sol est le processus qui consiste à capter le dioxyde de carbone de l'atmosphère et à le stocker dans le sol. Les facteurs environnementaux et les pratiques agricoles qui encouragent la séquestration du carbone varient selon les conditions climatiques et les propriétés du sol. En particulier, les apports de matières organiques dans le sol et le traitement subséquent sont essentiels pour comprendre comment accroître la séquestration du carbone dans les terres cultivées.

Interventions : adopter des pratiques pour augmenter les niveaux de carbone organique dans le sol

Il existe trois leviers (ou mécanismes) pour accroître la séquestration du carbone dans le sol. Le premier levier consiste à augmenter le taux de photosynthèse par unité de surface pédologique, dans l'espace et dans le temps, en adoptant des pratiques comme les cultures de couverture et les rotations de cultures diversifiées. Le deuxième levier consiste à maximiser la quantité de biomasse retournée au sol en intégrant le fumier et en laissant les résidus de culture dans les champs. Le troisième levier consiste à réduire les émissions de carbone du sol causées par la minéralisation de la matière organique en adoptant des pratiques comme la réduction du travail du sol.

Facteurs contextuels : ce qui influence l'adoption

Les obstacles à l'adoption comprennent les risques et l'incertitude associés à l'adoption de nouvelles pratiques, les coûts initiaux élevés et les contraintes environnementales. Les conditions favorables comprennent la participation des producteurs à la conception des politiques, la preuve du rendement du capital investi, la certitude politique et réglementaire, et l'accès à des outils et technologies de mesure et de surveillance abordables et efficaces.

Science et politiques : renforcer l'interface

Les approches visant à renforcer l'interface entre la science et les politiques pour améliorer la séquestration du carbone dans le sol devraient comprendre une plus grande intégration et utilisation de la science et des données provenant de plusieurs disciplines, des possibilités de conception conjointe et de collaboration, et l'établissement de projets d'essai sur le terrain (p. ex., projets pilotes mettant à l'essai des idées de politiques et de marchés).

RECOMMANDATIONS

Afin de rehausser le rôle des politiques dans l'augmentation de la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes, il faudrait envisager une approche systémique fondée sur la science pour la conception des politiques. À court terme, cette approche devrait donner lieu à davantage d'occasions de collaboration pour la mise à l'essai d'innovations en matière de conception de politiques et de marchés qui utilisent les connaissances actuelles permettant de déterminer quelles PGB améliorent la séquestration du carbone et quels sont les obstacles et les conditions favorables à leur adoption. À long terme, cette approche peut être renforcée en investissant dans la recherche et l'infrastructure qui nous aident à mieux comprendre comment accroître et mesurer le stockage du carbone dans des conditions climatiques difficiles.

TRAVAILLER EN TANT QU'ÉQUIPE DE L'ICPA

En tant que boursiers doctoraux de l'ICPA, chacune et chacun d'entre nous se spécialisent dans différents aspects de l'atténuation des changements climatiques dans l'agriculture canadienne. En travaillant en équipe multidisciplinaire, nous avons pu tirer parti des connaissances de tous pour renforcer notre compréhension de la détermination, de la conception et de la mise en œuvre de politiques visant à améliorer la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes. Nous avons constaté qu'il était essentiel de travailler en équipe multidisciplinaire pour saisir les complexités de ce sujet.



Table des matières

Contenu

| No | te de | l'ICPA | | 2 | | | | |
|------------|-----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|--|--|--|
| Pri | incipo | aux poi | nts à retenir | 2 | | | | |
| Ré | sumé | | | 4 | | | | |
| 1. | | | | | | | | |
| 2. | Contexte | | | | | | | |
| | 2.1. | Santé | des sols et séquestration du carbone | 9 | | | | |
| | 2.2. | Conte | exte canadien : tendances, pratiques, et leurs implications | 9 | | | | |
| 3. | Mét | Méthodes | | | | | | |
| 4. | Résultats | | | | | | | |
| | 4.1. | Fonde | ements : comprendre le carbone organique du sol | 11 | | | | |
| | | 4.1.1. | Le sol et le cycle mondial du carbone | 11 | | | | |
| | | 4.1.2. | Matière organique, décomposition et cycle du carbone | 11 | | | | |
| | | 4.1.3. | Déterminer les changements dans les stocks de carbone | 12 | | | | |
| | | Boîte | de référence (sous-sol) | 13 | | | | |
| | 4.2. | Interv | entions : adopter des pratiques pour augmenter les niveaux de carbone organique dans le sol | 13 | | | | |
| | | 4.2.1. | Trois leviers pour améliorer la séquestration du carbone dans les sols agricoles | 13 | | | | |
| | | 4.2.2. | Pratiques de gestion bénéfiques et stocks de carbone organique dans le sol au Canada | 14 | | | | |
| | 4.3. | Facte | urs contextuels : ce qui influence l'adoption | 17 | | | | |
| | | 4.3.1. | Obstacles à l'adoption | 17 | | | | |
| | | Étude | de cas : obstacles et possibilités liés aux cultures de couverture | 17 | | | | |
| | | 4.3.2. | Conditions favorables à l'adoption à grande échelle | 19 | | | | |
| | 4.4. | Scien | ce et politiques : renforcer l'interface | 19 | | | | |
| | | 4.4.1. | Transfert de connaissances | 19 | | | | |
| | | 4.4.2. | Traduire la science en politiques | 20 | | | | |
| 5. | Con | clusio | 1 | 22 | | | | |
| 6. | Rem | nercien | nents | 24 | | | | |
| 7 . | Réfe | érence | S | 24 | | | | |



Introduction

Le secteur agricole canadien joue un rôle essentiel dans notre vie quotidienne. Les grands éleveurs, les agriculteurs et les producteurs, que nous appelons collectivement les producteurs dans le présent document, produisent les aliments que nous mangeons, le carburant pour notre transport (p. ex., les biocarburants provenant du maïs, du canola et de la betterave à sucre), les matières premières des produits que nous utilisons, et plus encore. De plus en plus, le secteur agricole du Canada est examiné pour son rôle dans la prestation de services écosystémiques qui peuvent améliorer la biodiversité, la qualité de l'eau et la résilience climatique (Drever et coll., 2021). Compte tenu de la menace des changements climatiques, il est de plus en plus nécessaire de déterminer, de définir et de mettre en œuvre des politiques et des programmes qui améliorent la séquestration du carbone, c'est-à-dire le processus de capture du carbone atmosphérique dans un bassin de carbone stable (Paustian et coll., 2016). Le sol est le plus grand réservoir de carbone organique terrestre, contenant environ trois fois plus de carbone que l'atmosphère, et peut donc jouer un rôle essentiel dans l'atténuation des changements climatiques (Paustian et coll., 2016). Les terres agricoles offrent une occasion unique de déterminer et d'encourager des pratiques de gestion bénéfiques (PGB) qui améliorent la séquestration du carbone et produisent des avantages connexes comme l'amélioration de la santé des sols, la résilience à la sécheresse et la qualité de l'eau. Le terme « terre cultivée » dans le présent document, à l'instar de la définition de Statistique Canada, comprend toutes les terres agricoles cultivées, y compris les cultures annuelles et vivaces, ce qui représente 93,4 millions d'acres, soit environ 59 % du total des terres agricoles au Canada en 2016 (Statistique Canada, 2017). Les estimations du potentiel de séquestration du carbone sur ces terres varient. L'adoption de l'approche « 4 pour 1000 », un calcul de la couverture globale, pour les terres cultivées du Canada, permet d'estimer que les stocks de carbone organique dans le sol peuvent augmenter de 0,4 % par année (Minasny et coll., 2017). Ce potentiel ne s'étend pas à toutes les terres, car les sols à faible teneur en carbone organique ont plus de place pour séquestrer le carbone que ceux qui sont sur le point d'atteindre un équilibre (Martin et coll., 2021). Néanmoins, compte tenu des vastes superficies occupées par les terres cultivées et de leur potentiel de séquestration du carbone, les terres cultivées canadiennes offrent la possibilité de fournir des mesures d'atténuation des changements climatiques et des services écosystémiques complémentaires par l'adoption de PGB. Toutefois, le succès de l'accroissement d'un bassin stable de carbone dans le sol des terres cultivées canadiennes dépend de la collaboration des producteurs, des chercheurs, des décideurs et d'autres partenaires. Cela garantira que les pratiques adoptées et les politiques, programmes et marchés qui les encouragent sont fondés sur les meilleures données scientifiques disponibles, économiquement viables et applicables dans les fermes.

On demande de plus en plus aux producteurs canadiens d'agir comme fournisseurs de solutions aux changements climatiques. Pour s'assurer que les producteurs sont bien équipés pour répondre à cette demande sociétale, les politiques ont un rôle à jouer pour mieux les positionner afin qu'ils adoptent des PGB qui sont pratiques et efficaces dans le contexte écologique, économique et social dans lequel ils évoluent. Il est important de noter que les PGB visant à accroître la séquestration du carbone varient d'un bout à l'autre du Canada en raison des différences qui existent



entre les conditions climatiques et les propriétés du sol. Les PGB qui ont démontré qu'elles augmentent la séquestration du carbone dans certaines régions du Canada comprennent la culture de couverture, la rotation de cultures d'espèces diverses, la conversion de cultures agricoles annuelles en cultures vivaces, la réduction des jachères d'été et le travail de conservation du sol (Janzen et coll., 1998; Bruce et coll., 1999; McConkey et coll., 2003; Vanden Bygaart et coll., 2003; Campbell et coll., 2005). Les producteurs de partout au Canada font face à des défis différents et ont besoin de mesures de soutien et d'incitatifs différents lorsqu'ils prennent des décisions de gestion agricole en vue d'adopter ces PGB. Par conséquent, la politique doit tenir compte non seulement des conditions environnementales, mais aussi des limites socio-économiques des producteurs en matière d'adoption des PGB, car les pratiques qui sont les meilleures pour accroître les stocks de carbone ne sont pas nécessairement réalisables du point de vue économique ou agricole, et vice versa. De plus, la science est un domaine en évolution et, par conséquent, notre compréhension de la meilleure façon de séquestrer le carbone dans des conditions climatiques différentes et changeantes peut changer. Compte tenu de ces multiples facteurs, l'amélioration de la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes est une question intrinsèquement multidisciplinaire qui exige une approche multidisciplinaire. Pour élaborer des politiques qui atteignent à la fois l'objectif d'accroître les stocks tout en étant attrayantes et accessibles aux producteurs, nous devons tenir compte de la recherche en science du sol, en économie et en agronomie, entre autres. Dans le présent rapport, nous examinons la question de l'augmentation du carbone des sols sous de multiples angles afin d'essayer de bien comprendre le sujet.

Compte tenu des considérations multidisciplinaires dans l'élaboration d'une politique visant à accroître la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes, le rapport vise à fournir un examen de la littérature qui met en contexte les PGB pouvant améliorer la séquestration du carbone dans le sol des terres cultivées, ainsi que les défis et les possibilités que les producteurs doivent relever pour les adopter. Le rapport présente également les pratiques exemplaires pour traduire la science en politiques qui peuvent être utilisées au Canada, car les politiques et les programmes continuent de mieux positionner les producteurs agricoles pour contribuer à l'atténuation des changements climatiques.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous présentons d'abord un aperçu des connaissances de base sur la séquestration du carbone et de sa place dans le cadre de la santé des sols et dans le contexte des terres cultivées au Canada. Nous nous appuyons ensuite sur diverses disciplines dans notre revue de la littérature. Enfin, nous présentons les résultats en faisant part de ce que nous avons appris en fonction de quatre principaux volets de recherche : 1) Fondements : comprendre le carbone organique du sol; 2) Interventions : adopter des pratiques pour augmenter les niveaux de carbone organique dans le sol; 3) Facteurs contextuels : ce qui influence l'adoption; (4) Science et les politiques : renforcer l'interface. Ces quatre volets de recherche permettent de bien comprendre non seulement les pratiques exemplaires en matière de séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes, mais aussi comment améliorer la façon dont cette compréhension se traduit en approches stratégiques.



2. Contexte

2.1. SANTÉ DES SOLS ET SÉQUESTRATION DU CARBONE

Les sols du Canada possèdent des propriétés différentes et sont soumis à des conditions environnementales variables qui ont une incidence sur leur fonction. Les producteurs, les agronomes et les chercheurs peuvent évaluer l'état et la qualité d'un sol donné en examinant sa « santé ». La santé des sols est un cadre qui nous permet d'examiner la complexité des sols et leur rôle dans l'établissement de systèmes agricoles durables. Janzen et coll. (2022) définissent la santé du sol comme étant « la vitalité d'un sol pour le maintien des fonctions socio-écologiques de la terre environnante ». Les conditions et la fonction de l'écosystème et les besoins du producteur doivent être connus pour évaluer avec précision la santé du sol. Janzen et coll. (2022) décrivent comment cela peut varier, car « un sol jugé sain pour la culture du raisin peut ne pas être idéal pour la promotion de l'habitat des oiseaux chanteurs; les propriétés du sol favorables à la séquestration du dioxyde de carbone atmosphérique peuvent ne pas produire de bonnes fraises » [traduction libre]. Bien que la santé du sol et la séquestration du carbone ne soient pas équivalentes, il est essentiel de tenir compte de la santé du sol au moment de déterminer les pratiques visant à accroître la séquestration du carbone. Par conséquent, les pratiques qui augmentent la séquestration du carbone dans le sol ne sont pas nécessairement bonnes pour tous les objectifs de production agricole ou d'autres considérations environnementales (voir Renwick et coll. (2018) pour un exemple de compromis entre les objectifs environnementaux). De plus en plus, l'infrastructure de recherche pour l'évaluation des fonctions du sol des terres cultivées est effectuée dans un cadre de santé des sols, et son adaptation pour évaluer la séguestration du carbone pourrait être une approche efficace afin de comprendre les conséquences environnementales plus vastes des interventions axées sur la séquestration du carbone.

2.2. CONTEXTE CANADIEN: TENDANCES, PRATIQUES, ET LEURS IMPLICATIONS

Dans les années 1930, les producteurs des Prairies canadiennes ont vécu directement les conséquences désastreuses de la dégradation du sol pendant le Dust Bowl (bol de poussière). Cet événement a contribué à accroître la sensibilisation générale à l'importance de la santé des sols et a créé, au cours des décennies suivantes, un mouvement vers l'élaboration et l'adoption de PGB au Canada. Aujourd'hui, la séquestration du carbone comme objectif d'adoption des PGB est au premier plan de la conversation sur le rôle de l'agriculture dans l'atténuation des changements climatiques. Au Canada, selon le Rapport d'inventaire national : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada, les absorptions nettes de carbone des terres cultivées à l'échelle nationale ont atteint un sommet d'environ 12 mégatonnes d'équivalent en dioxyde de carbone (Mt éqCO2) entre 2006 et 2011. Depuis ce pic en 2011, les absorptions nationales de carbone par les terres cultivées ont diminué de façon constante pour s'établir à 4,2 mégatonnes d'équivalent en dioxyde de carbone (ECCC, 2021a). Dans les provinces des Prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba), l'adoption de PGB, y compris le travail de conservation du sol et la réduction des jachères d'été (c.-à-d. le fait de laisser les champs nus) ont été les principaux facteurs à l'origine de la tendance à l'absorption relativement élevée du carbone dans les terres cultivées (Clearwater et coll., 2016). Cependant, depuis 2011, on pense que la diminution de l'absorption de carbone est le résultat d'une tendance croissante à la conversion des terres agricoles de cultures vivaces en cultures annuelles et de la diminution du rendement des niveaux de stockage de carbone découlant de l'essor de l'adoption du travail de conservation du sol dans les Prairies entre les années 1980 et 1990 (ECCC, 2021a; Paustian et coll., 2019).

Dans d'autres régions du Canada, en particulier les provinces de l'Est (l'Ontario et les provinces à l'est), Clearwater et coll. (2016) ont constaté que les niveaux de carbone organique dans le sol ont connu une diminution globale en raison de changements dans les pratiques de gestion et le type de culture, ce qui est en partie attribuable à une demande réduite pour les pâturages et la production fourragère pour le secteur de l'élevage. Dans un rapport de 2018, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) suggère que 82 % des sols agricoles de l'Ontario sont considérés comme une source de carbone et donc un émetteur net de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Les chercheurs et les praticiens constatent que les moteurs des changements dans les pratiques et les systèmes de production sont vastes et tiennent compte des demandes du marché, des effets pervers des politiques, des pressions sociétales, ainsi que du coût et du temps associés aux différentes pratiques de gestion des terres (Lark et coll., 2021; WWF, 2021). Afin d'améliorer la séquestration du carbone dans le sol, le rapport du MAAARO indique que l'adoption de PGB, comme la rotation des cultures, les cultures de couverture et la culture sans labour (selon le type de sol), pourrait être un moyen d'améliorer la qualité et le stockage du carbone dans les sols.

D'après les méthodologies et les analyses actuelles utilisées pour informer le Rapport d'inventaire national, il semble qu'en général, les terres cultivées du Canada constituent un puits de carbone, mais qu'elles ont récemment connu une tendance négative en matière d'absorption annuelle de carbone (ECCC, 2021a). Cependant, la variation régionale démontre que les sols de terres cultivées au Canada n'ont pas un historique homogène, ne présentent pas le même potentiel de stockage du carbone ou ne se trouvent pas dans les mêmes conditions agroenvironnementales, ce qui suggère que les stratégies visant à améliorer la séquestration du carbone à l'échelle du Canada devraient différer et répondre aux besoins locaux. Enfin, la recherche démontre que les terres cultivées et leur rôle dans la contribution aux cibles d'action pour le climat sont projetés en fonction de multiples facteurs, y compris le taux et le type d'adoption des PGB par les producteurs (ECCC, 2021b). Par conséquent, la promotion de l'adoption de PGB peut être une approche efficace pour améliorer la séquestration du carbone en agriculture (voir ECCC, 2021b).

3. Méthodes

Une revue approfondie de la littérature portant sur plusieurs disciplines a été réalisée pour produire ce rapport. Nous nous sommes inspirés de domaines de recherche comme la gestion agroenvironnementale, la science du sol, la gouvernance environnementale et les politiques fondées sur la science pour établir une vue d'ensemble des facteurs qui influent sur la séquestration du carbone dans les terres cultivées. Nous avons également utilisé les résultats de nos projets de recherche doctorale respectifs pour compléter les constatations tirées de la littérature.

Ce projet s'appuie sur la littérature portant sur quatre principaux volets de recherche :

a. Fondements : comprendre le carbone organique du sol

La littérature examinée dans le cadre de ce volet portait sur les connaissances fondamentales au sujet du carbone organique dans le sol et les leviers qui peuvent être utilisés pour améliorer la séquestration du carbone. Une attention particulière a été accordée aux considérations agroenvironnementales régionales qui peuvent influer sur le cycle du carbone, y compris la variabilité du sol, les pratiques agronomiques, le climat et les phénomènes météorologiques extrêmes.

b. Interventions: adopter des pratiques pour augmenter les niveaux de carbone organique dans le sol Notre équipe a examiné la littérature qui présente et évalue les PGB pour les systèmes de production de terres cultivées qui sont prometteuses en vue d'accroître la séquestration du carbone et les avantages complémentaires connexes. Dans bien des cas, cette littérature est particulière à une région et ne peut être facilement généralisée à l'échelle du Canada.

c. Facteurs contextuels: influences sur l'adoption

Les obstacles socio-économiques et politiques ainsi que les conditions favorables qui influencent l'adoption des PGB ont été examinés dans la littérature couverte par ce volet de recherche.

d. Science et politique : renforcer l'interface

Ce volet de recherche était axé sur la compilation de principes et de pratiques exemplaires en vue d'améliorer l'utilisation et l'intégration de la science dans la conception des politiques, tout en améliorant le transfert des connaissances entre les décideurs, les producteurs, les chercheurs et d'autres intervenants.

4. Résultats

4.1. FONDEMENTS: COMPRENDRE LE CARBONE ORGANIQUE DU SOL

4.1.1. Le sol et le cycle mondial du carbone

Le bilan de carbone du sol est défini par l'équilibre entre les entrées et les sorties de carbone dans le sol. Lorsqu'une terre naturelle est convertie en terre arable, une quantité importante de carbone organique du sol est perdue dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. Cette perte est attribuable au fait que les sols arables contiennent une densité et une diversité de plantes, de racines et de macro/micro-organismes beaucoup plus faibles, dans l'espace et le temps. La conversion des terres naturelles en sols arables réduit donc considérablement les apports annuels de carbone organique dans le sol provenant de la croissance des plantes et de la décomposition qui en résulte. De plus, la culture du sol a tendance à accélérer la minéralisation de la matière organique du sol indigène par les microbes du sol. Cette accélération contribue à la transformation du carbone organique du sol en dioxyde de carbone, qui est rejeté dans l'atmosphère, contribuant ainsi aux émissions de gaz à effet de serre.

Depuis l'avènement de l'agriculture, on estime que la conversion des terres en sols arables a contribué à l'émission d'environ 320 milliards de tonnes de carbone dans l'atmosphère, tandis que l'utilisation de combustibles fossiles provenant de l'activité humaine en a libéré 292 milliards de tonnes dans l'atmosphère (Lal, 2010). Les sols agricoles mondiaux ont donc été une source importante de carbone dans l'atmosphère au cours des derniers millénaires. En agriculture, on estime que les sols ont perdu entre 20 % et 70 % de leur contenu organique initial dans le monde. Simultanément, il y a eu à l'échelle mondiale un déclin de la productivité sur environ 20 % des terres arables du monde (FAO, 2017). Evans et coll. (2020) ont récemment estimé la durabilité des sols exprimée comme durée de vie, ce qui montre qu'à l'échelle mondiale, environ 16 % des sols gérés de façon classique ont une durée de vie inférieure à 100 ans. La réduction de la capacité de production des cultures et la menace croissante des changements climatiques font de la séquestration du carbone dans le sol une question urgente.

4.1.2. Matière organique, décomposition et cycle du carbone

La séquestration du carbone résulte du processus de décomposition où la matière organique est décomposée et le carbone provenant de cette matière organique reste dans le sol au lieu d'être perdu pour le système du sol par l'effet de la respiration microbienne (alors que les microbes respirent l'oxygène et libèrent du dioxyde de carbone), du lessivage ou de l'érosion. La matière organique désigne une grande source de composés à base de carbone provenant d'organismes vivants, comme les plantes, les animaux et les microbes, ainsi que leurs restes et sous-produits organiques produits par leur activité biologique. Elle est donc considérée comme un continuum complexe de molécules riches en carbone, diversifiées sur le plan biochimique, allant des résidus végétaux frais et non décomposés et des macro-organismes vivants, aux excréments des vers de terre, aux tissus microbiens et aux enzymes. Ces divers composés organiques jouent tous un rôle différent dans le fonctionnement de l'agroécosystème, mais sont intrinsèquement liés. Le processus de décomposition des matières organiques se situe au cœur de l'augmentation de la séquestration du carbone et de l'identification des PGB qui peuvent optimiser les résultats.

Lorsque des composés organiques frais, comme des résidus végétaux, pénètrent dans le sol, ils agissent comme source d'énergie pour les micro-organismes (Alvarez et coll., 1998). À mesure que les microbes décomposent les nouveaux apports en matières organiques et que la décomposition progresse, le carbone et les nutriments contenus dans ces résidus végétaux sont utilisés par les microbes. Une partie du carbone est perdue pour le système du sol sous forme de dioxyde de carbone par l'entremise de la respiration microbienne. Les composés

végétaux solubles, les sous-produits microbiens et la nécromasse microbienne (biomasse morte) ont une forte affinité pour les surfaces minérales, contribuant ainsi à la stabilisation de la matière organique dans le sol (Kallenbach et coll., 2016). La matière organique entraîne également l'agglutination et la formation d'agrégats, ce qui améliore la structure du sol et stabilise davantage la matière organique en limitant l'accessibilité aux décomposeurs (Dungait et coll., 2012). L'agrégation des sols contribue par ailleurs à améliorer de multiples conditions agroenvironnementales, y compris la conductivité hydraulique du sol, la capacité de rétention de l'eau, l'aération, la résistance au compactage et l'érosion. La biochimie des intrants organiques, la communauté microbienne, les conditions du sol et les pratiques de gestion ont toutes une incidence sur la quantité de carbone qui peut faire l'objet de respiration ou être stabilisée dans le sol à long terme par la formation de matières organiques et de complexes et agrégats minéraux du sol (Schmidt et coll., 2011; Cotrufo et coll., 2013).

La matière organique et son traitement contribuent donc directement au stockage à long terme du carbone et des nutriments. De plus, la teneur en matière organique est considérée comme un indicateur clé de la santé des sols en raison de ses multiples rôles dans le maintien de la qualité chimique, biologique et physique du sol. Il est essentiel de comprendre les processus du cycle de la matière organique du sol pour mettre en œuvre des stratégies qui maintiennent ou améliorent les multiples services écosystémiques fournis par les sols, y compris la séquestration du carbone (Palutikof, 2007).

4.1.3. Déterminer les changements dans les stocks de carbone

Les sols sont des écosystèmes extrêmement complexes qui recèlent encore de nombreux mystères. La morphologie du sol est façonnée au fil des millénaires par les matériaux parentaux, le climat, la topographie et les organismes vivants. Ce sont des écosystèmes dynamiques qui évoluent constamment en réponse aux facteurs environnementaux, créant une grande variabilité des sols dans le temps et dans l'espace. Ces différences influent sur la réaction du sol à tout changement donné des pratiques de gestion. Les producteurs sont directement touchés par cette variabilité. Ils savent quel sol convient le mieux au blé, au maïs ou au soja, et quelles parties de leur champ se réchauffent plus lentement au printemps. Les producteurs savent quels champs peuvent être semés plus tôt et lesquels souffriraient le plus d'une sécheresse. Cette variabilité du sol est l'un des principaux défis que doivent relever les producteurs et les scientifiques en science du sol pour déterminer les PGB qui conviennent le mieux à chaque champ. L'effet d'une pratique de gestion donnée sur un sol particulier ne peut être généralisé à tous les sols, ni aux sols d'un même pays, ni même à tous les champs d'une même ferme.

Pour déterminer avec précision les changements dans les stocks de carbone, même dans le même champ, l'intensité de l'échantillonnage doit tenir compte de cette importante variabilité spatio-temporelle. De plus, il est incroyablement difficile de détecter les changements dans les stocks de carbone, car ces changements sont au moins 10 fois plus petits que la teneur initiale en carbone organique dans le sol. Les grands stocks de fond, la variabilité spatiale et temporelle inhérente et les changements relativement petits et lents de la teneur en carbone du sol rendent très difficile la détection des changements à court terme (p. ex., cinq ans) dans les stocks de carbone organique du sol.

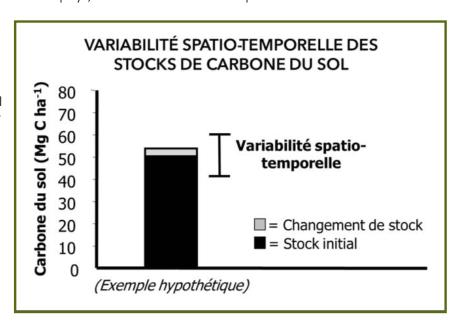


Figure 1. Les défis liés à la mesure des stocks de carbone organique dans le sol changent en raison des importants stocks initiaux de carbone, des petits changements au fil du temps et de la variabilité spatio-temporelle élevée. (Source : Samson, M.E. et Angers, D.A.)

SOUS-SOL

La profondeur est un facteur important dans l'évaluation de la santé des sols. Au cours des dernières décennies, les spécialistes des sols se sont surtout concentrés sur la couche arable, en supposant que le carbone plus profond du sol est stable et ne réagit pas aux PGB. Cette hypothèse était principalement fondée sur des études de datation par le radiocarbone, montrant que le carbone dans les couches de subsurface du sol pourrait être âgé de centaines à des milliers d'années (Hobley et coll., 2017). Sur la base de ces hypothèses, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2020) et le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2019) recommandent l'échantillonnage du sol à une profondeur de 30 cm, comme méthodologie normalisée par défaut pour la surveillance, la production de rapports et la vérification des changements dans les stocks de carbone des sols agricoles. Cependant, la zone racinaire est estimée être entre ~ 50 et 100 cm pour le blé, le maïs, l'orge et le canola, et à plus de 100 cm pour la luzerne (Fan et coll., 2017). De plus, le sous-sol (≥ 20 cm) contient jusqu'à 77 % du carbone organique total du sol, ce qui en fait une zone critique pour la séquestration du carbone. Des études récentes montrent que le carbone du sous-sol peut en fait être très réactif aux PGB dans certaines conditions environnementales (Osanai et coll., 2020; Samson et coll., 2021). Étant donné que les horizons du sous-sol représentent plus de la moitié des stocks mondiaux de carbone du sol (Balesdent et coll., 2018) et que la dynamique du carbone dans le sous-sol est très différente de celle de l'horizon superficiel (Rumpel et Kögel-Knabner, 2011), d'autres recherches sur l'effet des pratiques de gestion sur le sous-sol seront nécessaires avant que nous puissions prévoir l'effet d'une PGB particulière sur les stocks totaux de carbone des sols sous différentes conditions pédoclimatiques.

SURFACE VS LA COUCHE PROFONDE 0 à 20 cm : 23% Plus de 20 cm : 77%

POURCENTAGE DE CARBONE DANS LA COUCHE DE

Figure 2. Distribution du carbone organique du sol entre la couche supérieure et la couche du sous-sol (Source des données : Harrison et coll., 2011)

4.2. INTERVENTIONS : ADOPTER DES PRATIQUES POUR AUGMENTER LES NIVEAUX DE CARBONE ORGANIQUE DANS LE SOL

4.2.1. Trois leviers pour améliorer la séquestration du carbone dans les sols agricoles

L'augmentation des apports de matières organiques qui sont stabilisés dans le sol est essentielle pour accroître la séquestration du carbone. Nous présentons ici une approche à trois leviers pour accroître la matière organique du sol. Le principal échange de carbone entre l'atmosphère et l'écosystème terrestre est l'incorporation du dioxyde de carbone dans la biomasse végétale par la photosynthèse. Le principal levier (1er levier) pour augmenter les stocks de carbone dans les sols agricoles est donc d'augmenter le taux de photosynthèse par unité de surface pédologique, tant dans l'espace que dans le temps. Les stratégies visant à accroître la teneur en carbone du sol au moyen du premier levier pourraient comprendre la culture de couverture, les céréales d'hiver ou les rotations qui comprennent des cultures vivaces.

Le deuxième levier (2e levier) pour accroître les stocks de carbone dans les sols agricoles consiste à maximiser la quantité de biomasse retournée au sol. Les pousses de plantes riches en carbone, les racines (et les exsudats racinaires) représentent les principaux apports organiques du sol. Cependant, dans un écosystème agricole, les producteurs exportent et vendent une partie de cette biomasse végétale (céréales, pousses ou racines). Par exemple, dans certains systèmes, les producteurs récoltent des pailles céréalières pour la litière des animaux. En revanche, les producteurs de grandes superficies peuvent retourner des pailles céréalières dans le sol, ce qui contribue à l'apport de matière organique dans le sol. Cependant, si un producteur de viande ou de produits laitiers utilise de la paille pour la litière et le grain pour nourrir les animaux et retourne du fumier (et de la paille) dans le sol où ces plantes ont été produites, une partie du grain et de la paille ont été retournées au sol. Cet exemple montre à quel point il est important de tenir compte de l'ensemble du système lorsqu'on évalue l'effet des pratiques de gestion agricole sur la séquestration du carbone dans le sol.

Comme il a été mentionné précédemment, le bilan de carbone du sol dépend de l'équilibre entre les entrées et les sorties de carbone organique. Le troisième levier (3e levier) consiste donc à réduire les émissions de carbone du sol causées par la minéralisation de la matière organique. Lorsque les microbes se nourrissent de matière organique, une partie du carbone qu'elle contient s'accumule dans la biomasse microbienne, reste dans le sol et contribue à la stabilisation à long terme du carbone. Cependant, les micro-organismes respirent également une partie du carbone et la rejettent dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. Les pratiques de gestion bénéfiques, comme le travail du sol, peuvent avoir une incidence considérable sur la dynamique de la matière organique du sol en modifiant sa répartition verticale dans le profil pédologique (Angers et Eriksen-Hamel, 2008). Le travail du sol peut perturber les agrégats (Balesdent et coll., 1990, 2000), accroître le contact des résidus organiques avec les microbes du sol (Balesdent et coll., 2000) ainsi qu'accroître la température et l'état d'aération du sol de surface (Johnson et Lowery, 1985). Ces changements de composition du sol permettent aux microbes d'avoir un meilleur accès au carbone du sol déjà protégé, ce qui augmente les taux de minéralisation et libère du carbone dans l'atmosphère.

De ces trois leviers, celui qui présente le plus grand potentiel d'augmentation des stocks de carbone dans le sol est le premier, augmentant la quantité de photosynthèse par unité de surface pédologique. Ainsi, en se fondant sur un grand ensemble de données provenant d'études internationales, Toensmeier et coll. (2016) ont constaté que les pratiques de gestion comme l'inclusion de cultures vivaces dans la rotation présentent un potentiel de séquestration du carbone bien plus élevé que la culture sans labour, par exemple.

4.2.2. Pratiques de gestion bénéfiques et stocks de carbone organique dans le sol au Canada

Les PGB qui ont permis d'augmenter la séquestration du carbone dans certaines régions du Canada comprennent la culture de couverture, la rotation de cultures d'espèces diverses, la conversion de cultures agricoles annuelles en cultures vivaces, la réduction des jachères d'été et le travail de conservation du sol (Janzen et coll., 1998; Bruce et coll., 1999; McConkey et coll., 2003; Vanden Bygaart et coll., 2003; Campbell et coll., 2005). De plus, les pratiques qui augmentent le rendement des cultures peuvent également contribuer au stockage du carbone, car la séquestration du carbone est influencée par les apports de carbone provenant des plantes (Fan et coll., 2019). Cependant, la recherche montre que la capacité de ces PGB à influencer les niveaux de carbone organique dans le

LEVIERS POUR AUGMENTER LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS

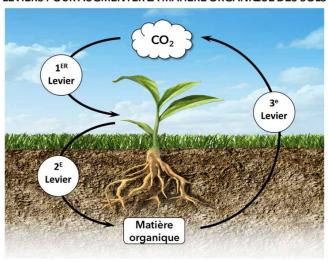


Figure 3. Les trois leviers de la séquestration du carbone dans les sols (Source : Samson, M.E. et Angers, D. A.)

sol des terres cultivées varie également en fonction de facteurs comme le type de sol, le climat et la façon dont la pratique est mise en œuvre. Par exemple, la conversion de terres cultivées de façon classique à un système de travail réduit du sol ne donne pas toujours les résultats environnementaux souhaités dans le centre et l'est du Canada (Angers et coll., 1997). Ce résultat est dû, en partie, à la capacité de différents sols d'accumuler du carbone organique après la conversion à une culture sans labour; les sols humides, comme ceux qu'on retrouve dans l'est du Canada, étant moins capables d'accumuler du carbone que les sols plus secs (VandenBygaart et coll., 2003). Les pratiques de gestion bénéfiques varient également en ce qui concerne l'agronomie, car Vanden Bygaart et coll. (2003) ont constaté que le type de culture qui remplace la jachère peut avoir une incidence sur le stockage du carbone organique dans le sol, le blé augmentant le stockage et le lin entraînant une perte nette de carbone organique dans le sol. Enfin, les changements climatiques peuvent avoir une incidence sur le carbone organique du sol, car la température et l'humidité ont une incidence sur l'apport en carbone et la décomposition du carbone (voir Malhi et coll., 2021). Il est de plus en plus important de comprendre comment les résultats des PGB sur le sol sont touchés par les inondations, les sécheresses et les changements de température, car les effets des changements climatiques entraînent une augmentation de la fréquence et de l'intensité des conditions météorologiques extrêmes.

LES PGB ET LEURS EFFETS SURE LES PRINCIPES DE SANTÉ DES SOLS

Liens entre les principales PGB et les principes de santé des sols

| | Principes do santé des sols | | | | | |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| PGB sélectionnés | Enrichir la matière organique des sols | Atténuer les pertubations et la compaction du sol | Garder le sol couvert, dans la mesure du possible | Diversifier les cultures pour augmenter la diversité dans le sol | Garder les racines vivantes tout au long de l'année, dans la mesure du possible | |
| Travail de conservation du sol | • | • | • | | | |
| Cultures de couverture | • | | • | • | • | |
| Amendements organiques | • | | | | | |
| Gestion des nutriments | • | • | | | | |
| Rotations de cultures diversifiées | • | | | • | • | |
| Zones tampons de conservation | • | • | • | • | • | |
| Prevention de lat compaction du sol | | • | • | | | |
| Gestion antiparasitair intégrée | | • | | • | | |
| Gestion des pâturages | • | • | • | • | • | |
| Démobilisation des terres | • | • | • | • | • | |
| Collecte de reseignements sur les sols | •* | •* | •* | •* | •* | |

^{*} Cette pratique a un impact indirect sur les principes de santé des sols

Source: Groupe AGÉCO.

Figure 4. Pratiques de gestion bénéfiques et leurs effets sur les principes de santé des sols (Source : Le pouvoir des sols, Équiterre et la Fondation Greenbelt rapport, 2021; reproduite avec la permission des auteurs)

Les agroécosystèmes sont des systèmes dynamiques. À la suite d'un changement dans les pratiques de gestion, ces systèmes évoluent vers un nouvel équilibre. Cet équilibre explique pourquoi le Canada ne peut pas se fier uniquement aux pratiques de culture sans labour dans les Prairies canadiennes pour la séguestration du carbone dans les années à venir. Les producteurs ont massivement adopté la culture sans labour il y a 30 à 40 ans (Awada et coll., 2014), lorsque les sols des Prairies ont commencé à passer du statut de source de carbone à celui du puits de carbone (ECCC, 2021a). Ces systèmes commencent maintenant à s'équilibrer, ce qui signifie que les taux de séquestration sont inférieurs à ce qu'ils étaient dans les premières années suivant l'adoption de la culture sans labour et continueront de diminuer dans les

années à venir. Pour que les sols agricoles continuent d'agir comme puits de carbone pour les décennies à venir, d'autres changements dans les pratiques de gestion doivent se produire. Cela pourrait signifier, par exemple, l'intégration de cultures de couverture aux systèmes de culture sans labour. Ce nouveau changement majeur dans le système provoquerait un nouveau déséquilibre et favoriserait la séquestration du carbone dans le sol jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint. Bien sûr, pour que cette stratégie fonctionne, il faut aussi maintenir les pratiques de culture sans labour. Autrement, ces sols pourraient commencer à agir comme source de carbone malgré l'adoption de cultures de couverture.

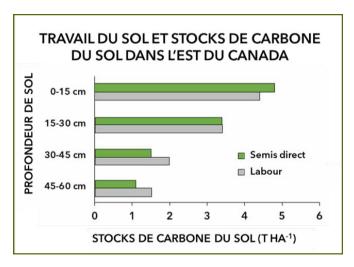
GESTION DES TERRES ET STOCKS DE CARBONE DU SOL EQUILIBRE OS SÉQUESTRATION DE CARBONE CONVERSION D'UNE TERRE NATURELLE ADOPTION D'UNE PRATIQUE

Figure 5. Tendances des flux de carbone avec la gestion des terres (Source : Samson, M.E. et Angers, D.A.)

Une autre occasion pour le secteur serait de se concentrer sur la mise en œuvre de PGB dans les provinces de l'Est. Bien que l'adoption de la culture sans labour dans les Prairies ait entraîné la séquestration du carbone dans le sol au cours des dernières décennies, les stocks de carbone dans le sol du Canada central et atlantique ont, en général, diminué de façon constante au cours de la même période. La perte de carbone dans l'est du Canada est principalement attribuable à la conversion de cultures agricoles vivaces en cultures annuelles. Des pratiques comme les systèmes de cultures annuelles non diversifiées, le travail intensif du sol et le manque d'apports de carbone provenant de cultures vivaces, de cultures de couverture ou de résidus de cultures dans les sols intensifient davantage la réduction des stocks de carbone organique dans ces sols.

EN TERRE ARABLE

Les solutions pour inverser ces tendances devraient toutefois être adaptées au contexte pédoclimatique et agricole particulier de ces écosystèmes. En effet, dans les climats plus secs et plus chauds, la culture sans labour offre de nombreux avantages, car elle peut aider à retenir l'eau dans le sol, améliorer le rendement des cultures, réduire l'érosion du sol et favoriser le stockage du carbone dans le sol. Toutefois, dans les climats plus frais et plus humides, la culture sans labour peut améliorer la santé des sols de surface, mais peut aussi entraîner une diminution du rendement des cultures



DE GESTION BÉNÉFIQUE

Figure 6. Effet de l'intensité du travail du sol sur les stocks de carbone organique du sol à différentes profondeurs dans des conditions froides et humides de l'est du Canada (Source des données : Samson et coll., 2021)

sans effet sur les stocks de carbone organique dans le sol. En effet, dans des conditions climatiques fraîches et humides, la culture sans labour favorise l'accumulation de carbone dans le sol de surface (Angers et coll., 1997; Gregorich et coll., 2009), mais le labour d'inversion augmente la concentration de carbone en profondeur en plaçant la matière organique là où

les taux de décomposition sont plus lents en raison des conditions froides et humides qui règnent dans le sous-sol (Angers et coll., 1997; MacDonald et coll., 2010; Samson et coll., 2021). Lorsqu'on tient compte de l'ensemble du profil du sol, on constate des différences minimes dans les stocks de carbone du sol lorsque l'on compare différentes intensités de travail du sol dans ces régions. Les rotations diversifiées et les cultures de couverture pourraient donc présenter un plus grand intérêt pour le maintien ou l'amélioration des stocks de carbone du sol dans les provinces de l'Est. Étant donné la complexité de l'intégration des PGB dans les systèmes agricoles, des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre les multiples résultats que les PGB peuvent produire et leur incidence nette sur les services écosystémiques, y compris la réduction des gaz à effet de serre.

4.3. FACTEURS CONTEXTUELS : CE QUI IN-FLUENCE L'ADOPTION

4.3.1. Obstacles à l'adoption

Les producteurs pourraient adopter des PGB pour un certain nombre de raisons différentes, y compris les avantages économiques, la réglementation, le désir de demeurer non réglementé, l'influence ou la pression sociale, ou ils pourraient être motivés à être de bons intendants de leurs terres (OCDE, 2001; Knowler et Bradshaw, 2007; Prokopy et coll., 2008; Feather et Amacher, 1994). Pour concevoir des politiques et des programmes qui permettent l'adoption de PGB qui améliorent la séguestration du carbone dans les terres cultivées, il est donc impératif de comprendre les obstacles économiques, sociaux et environnementaux auxquels les producteurs sont confrontés (p. ex., Zusman et coll., 2014; Nilsson et Weitz, 2019). La détermination des conditions favorables constitue une occasion d'éliminer ces obstacles et d'améliorer la capacité et l'intérêt des producteurs à adopter des PGB.

Les obstacles qui limitent l'intérêt ou la capacité des producteurs à adopter des PGB sont très variés et dépendent des producteurs et du contexte général où ils se situent (Weber et coll., 2017). Ces obstacles peuvent comprendre un accès limité aux mécanismes d'atténuation des risques pour l'adoption de nouvelles pratiques, des coûts initiaux élevés (c.-à-d. en raison d'un échéancier retardé avant qu'un producteur ne voie le rendement de son investissement) et des contraintes environnementales (p. ex., manque d'humidité à l'automne pour permettre l'établissement de cultures de couverture dans les provinces des Prairies). Ces obstacles à l'adoption soulignent l'importance de reconnaître que les producteurs doivent tenir compte de plusieurs facteurs avant d'introduire une nouvelle

PGB sur leur ferme et du fait que les fermes fonctionnent comme une entreprise; le profit financier est habituellement un facteur dans les décisions de gestion agricole.

Les chercheurs constatent que de nombreux producteurs sont réfractaires au risque et peuvent hésiter à adopter de nouvelles pratiques qui créent de l'incertitude dans leur exploitation, surtout lorsque les résultats des pratiques sont difficiles à évaluer (Sheeder et Lynne, 2011; Wayman et coll., 2017; Barreiro-Hurle et coll., 2018). Baumgart-Gentz et coll. (2012) ont examiné 46 études sur l'adoption des PGB par les producteurs et ont constaté qu'au fil du temps, les producteurs deviennent moins réticents à adopter de nouvelles pratiques qui ont démontré des résultats bénéfiques à mesure qu'elles deviennent plus répandues. Par conséquent, l'innovation se diffuse le long de la courbe d'adoption et le risque perçu de la pratique diminue, ce qui démontre la nécessité pour les producteurs d'accéder à des essais qui démontrent les répercussions des PGB (Rogers, 2003). L'adoption de pratiques peut également être influencée par des horizons temporels de gestion à long terme. De nombreux producteurs, en particulier ceux qui louent les terres qu'ils cultivent, fonctionnent habituellement à court terme. Cette période plus courte fait en sorte que les locataires sont moins susceptibles d'adopter des pratiques propres au site, comme la culture de couverture, quand il est incertain s'ils verront les résultats de leur investissement (Deaton et coll., 2018). Selon Statistique Canada, près de 40 % des terres agricoles sont gérées par des non-propriétaires, ce qui souligne l'ampleur potentielle de cet obstacle au Canada (Statistique Canada, 2016). Afin d'encourager l'adoption de PGB sur les terres louées par rapport aux terres possédées, il est impératif de comprendre l'échelle de temps du rendement des investissements par l'entremise de la santé des sols, de la productivité ou des marges bénéficiaires, car cela affecte la volonté des producteurs d'investir dans différents types de PGB en fonction de la durée de leurs contrats de location et de l'assurance qu'ils en verront la récompense (Deaton et coll., 2018; Martins et coll., 2021).

Étude de cas : obstacles et possibilités liés aux cultures de couverture

De nombreux producteurs de partout au Canada demeurent sceptiques quant à l'utilisation des cultures de couverture. Cela s'explique en partie par le peu de recherche ou d'information sur l'agronomie des cultures de couverture dans les principales régions agricoles du Canada, puisque la plupart des recherches sur les cultures de couverture ont été menées à des latitudes plus chaudes, où les avantages et les défis de la culture de couverture sont plus clairement démontrés (Daryanto et coll., 2018). L'adoption de cultures de couverture peut également être limitée par les difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre. Six enquêtes menées entre 2013 et 2020 aux États-Unis par Sustainable Agriculture Research and Education ont révélé que les producteurs croyaient que les plus grands défis pour l'utilisation des cultures de couverture étaient l'établissement, le temps et la main-d'œuvre nécessaires, ainsi qu'une gestion accrue et la sélection des espèces. Morrison et Lawley (2021) ont étudié les obstacles à l'adoption des cultures de couverture en Ontario dans le cadre du Ontario Cover Crop Feedback Project [projet de rétroaction sur les cultures de couverture de l'Ontario] de 2020. Les sondages ont permis de déterminer que les obstacles les plus courants qui contraignent l'utilisation des cultures de couverture en Ontario sont les suivants : les coûts supplémentaires associés à la culture des cultures de couverture (41 %), le manque d'accès à l'équipement nécessaire à la culture des cultures de couverture (36 %), la récolte tardive d'une culture commerciale empêchant la plantation de cultures de couverture (29 %), le fait de ne pas savoir par où commencer (24 %) et la brièveté de la saison de croissance (23 %).

Le Ontario Cover Crop Feedback Project de 2020 a également permis de déterminer des mesures qui pourraient permettre l'adoption de cultures de couverture (figure 7). Morrison et Lawley (2021) ont demandé aux producteurs de l'Ontario d'indiquer leurs objectifs pour la culture de couverture. Les producteurs pouvaient choisir parmi de multiples objectifs, et 20 % des producteurs ont indiqué qu'ils adoptaient des cultures de couverture uniquement pour des gains financiers, et 85 % des producteurs ont adopté des cultures de couverture pour améliorer la santé du sol. Cela montre que, bien que les gains financiers soient des facteurs clés pour comprendre l'adoption des PGB, les producteurs accordent également de l'importance à d'autres avantages environnementaux et sociaux.

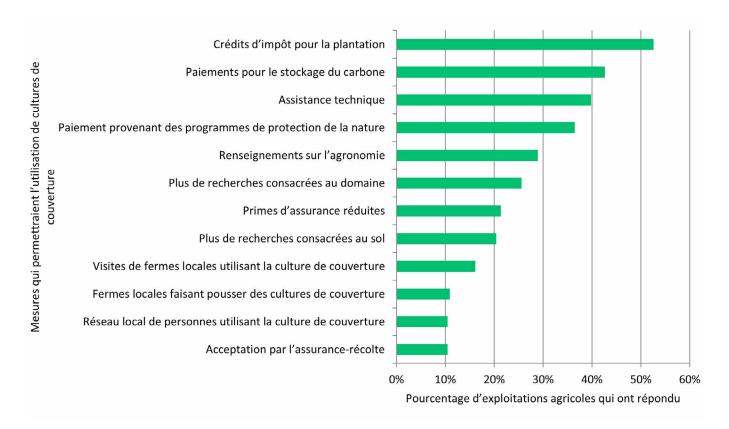


Figure 7. Réponses des producteurs de l'Ontario lorsqu'on leur a demandé quelles mesures leur permettraient d'adopter des cultures de couverture. (Source : Morrison et Lawley, 2021)

4.3.2. Conditions favorables à l'adoption à grande échelle

À l'instar des obstacles, les conditions favorables s'appliquent à toutes les disciplines. Les conditions favorables sont les conditions qui devraient être en place pour atteindre un résultat souhaité (Choi et Fara, 2012). Dans ce cas, le résultat souhaité est que les producteurs adoptent des PGB qui entraînent une séquestration accrue du carbone. Les chercheurs ont constaté que ces conditions favorables comprennent la participation des producteurs à la conception des politiques, la preuve du rendement du capital investi, la certitude politique et réglementaire, et l'accès à des technologies de mesure et de surveillance abordables et efficaces (Kragt et coll., 2017; Field to Market, 2022). Il existe un vaste corpus de recherches axées sur la compréhension des conditions qui permettent l'adoption des PGB, ce qui a aidé à éclairer et à évaluer la conception des politiques (p. ex., Morris, 2004; Yiridoe et coll., 2010). Cette recherche fournit un apercu très nécessaire de l'ensemble des conditions et des facteurs qui incitent les producteurs à adopter des PGB. Pourtant, elle n'a pas permis de déterminer de façon concluante un ensemble parfait de conditions qui doivent être en place pour permettre à tous les producteurs d'adopter les PGB, et cela ne semble pas être l'objectif de nombreux chercheurs, car les producteurs ne constituent pas un groupe homogène et, par conséquent, leur probabilité d'adoption ne peut être déterminée par une simple équation qui tient compte d'une liste de conditions.

Les politiques, à l'instar des PGB intégrées dans une exploitation agricole, devraient également être considérées comme fonctionnant au sein d'un système où elles peuvent soit fonctionner en ayant des effets pervers en créant des compromis, soit agir de façon complémentaire en permettant des résultats positifs pour les objectifs économiques, environnementaux et sociétaux. En plus des politiques et des programmes gouvernementaux, la société civile et les initiatives dirigées par l'industrie peuvent jouer un rôle essentiel dans la promotion d'une politique favorable et d'un paysage de marché qui facilite l'adoption des PGB chez les producteurs (Biggs et coll., 2021). Une grande partie de la littérature qui explique ce paysage préconise un changement transformationnel à toutes les échelles pour réaliser le potentiel d'adoption des PGB dans l'atténuation des changements climatiques. En particulier, divers intervenants, y compris des institutions financières internationales, des organisations environnementales non gouvernementales et des associations de producteurs soulignent l'importance d'établir des cadres financiers et de marché pour l'agriculture qui positionnent l'adoption des PGB comme étant plus

viable sur le plan économique que les pratiques classiques et le changement d'utilisation non durable des terres (Hallstein et Iseman, 2021; USFRA, 2021). En plus d'améliorer les mécanismes financiers pour l'adoption des PGB, il existe de plus en plus de documents qui soulignent la nécessité de réformer les politiques et les programmes agricoles existants qui ont des effets négatifs sur l'atténuation des changements climatiques (Searchinger et coll., 2020). Des recherches récentes indiquent également des conditions favorables, comme une collaboration intersectorielle améliorée sur les stratégies d'atténuation des changements climatiques afin de réduire les compromis entre les secteurs (p. ex., van Oosterzee et coll., 2014; Di Gregorio et coll., 2017). Pour que les parties prenantes, en particulier les producteurs, puissent naviguer efficacement dans le paysage politique et commercial de plus en plus complexe et en évolution rapide qui influence l'adoption des PGB, une condition favorable clé est un engagement significatif avec les producteurs à l'échelle régionale et locale afin d'éclairer la conception des programmes qui cherchent en définitive à enrôler les producteurs pour qu'ils adoptent des PGB (Hurlbert, 2014; Raymond et coll., 2016; Lewis et Rudnick, 2019).

4.4. SCIENCE ET POLITIQUES : RENFORCER L'INTERFACE

4.4.1. Transfert de connaissances

En plus d'élargir la recherche sur les approches visant à améliorer la séquestration du carbone dans les terres cultivées, les connaissances scientifiques actuelles doivent être communiquées efficacement pour veiller à ce que les résultats de la recherche soient diffusés aux bons publics. Les approches systémiques où les chercheurs, les agronomes, les producteurs et d'autres intervenants collaborent à l'élaboration de recherches sont jugées plus efficaces que les modèles linéaires où les producteurs sont simplement des consommateurs de connaissances (Moschitz et coll., 2015). Les approches systémiques du transfert des connaissances sont également prometteuses pour accroître les possibilités d'appliquer la recherche dans la pratique et pour mieux comprendre les répercussions de la recherche (Andrieu et coll., 2019). Un modèle collaboratif et systémique du transfert de connaissances est particulièrement pertinent aujourd'hui, car les connaissances scientifiques dans tous les domaines (p. ex, l'agronomie, la science du sol, les politiques et les sciences sociales, etc.) sont si profondes et vastes qu'il est impossible pour une seule personne de saisir toutes les possibilités et tous les défis dans toutes les disciplines pertinentes pour cibler des solutions cohérentes afin d'améliorer la séquestration du carbone dans le sol. Pour parvenir à une compréhension exhaustive et

systématique de sujets complexes tels que la séquestration du carbone dans les terres cultivées, la collaboration en matière de transfert de connaissances devrait être une priorité.

Des concepts comme la santé des sols fournissent à divers intervenants des cadres pour mener des collaborations en recherche multidisciplinaire qui peuvent briser les silos d'information et créer des ponts entre les sciences fondamentales et appliquées. Les concepts multidisciplinaires sont également à la base de la conception de politiques et de programmes qui facilitent la recherche et le développement à la ferme. Par exemple, en Finlande, la plateforme Carbon Action crée un espace où les producteurs, les chercheurs et les entreprises peuvent s'associer au développement et à la recherche d'approches qui peuvent accélérer la séquestration du carbone dans l'agriculture (Carbon Action Platform, sans date). Jusqu'à présent, ce programme a créé plus de 20 projets multidisciplinaires et plusieurs documents de transfert de connaissances, y compris des billets de blogue et des publications évaluées par des pairs (p. ex., Mattila et coll., 2022). L'élaboration de programmes qui permettent la conception conjointe et la mise en œuvre de projets de recherche met en pratique des approches systémiques du transfert de connaissances. Cela est particulièrement important, car les formes linéaires de transfert de connaissances et de technologie ne reflètent pas la façon dont de nombreux producteurs préfèrent recevoir et partager l'information (Cowie et coll. 2012; Wood et coll. 2014). À partir de 11 études de cas sur le partage des connaissances entre les producteurs, Sumane et coll. (2018) ont conclu qu'il fallait des modes de transfert des connaissances plus inclusifs et plus souples. Ce modèle de transfert des connaissances exige une plus grande participation des producteurs à l'étape de la recherche, quand les producteurs peuvent voir des résultats tangibles et accéder à des connaissances locales fondées sur l'expérience, tout en favorisant une plus grande confiance dans les PGB et leurs répercussions sur des exploitations agricoles réelles (Pannell et coll., 2006). Au Canada, des programmes comme l'Initiative des laboratoires vivants intègrent cette compréhension en facilitant un processus de conception conjointe pour la mise à l'essai de pratiques et d'innovations technologiques au niveau de la ferme associées à des possibilités d'évaluation et de perfectionnement des innovations avec des chercheurs et d'autres collaborateurs (AAC, sans date). En complément de l'intégration des producteurs dans la recherche et le développement, les chercheurs ont également constaté que les types de canaux de transfert de connaissances (p. ex., les réseaux de médias sociaux des agriculteurs, les journées de démonstration, les

séries de vidéos sur les résultats de la recherche, etc.) devraient être diversifiés pour mieux communiquer la recherche et les expériences vécues d'adoption des PGB à un plus grand nombre de producteurs (Sumane et coll., 2018).

4.4.2. Traduire la science en politiques

Cette interface entre la science et les politiques consiste en l'utilisation des résultats scientifiques pour orienter les processus d'élaboration des politiques et de prise de décisions. De plus en plus, les chercheurs, les décideurs et les praticiens cherchent à élaborer des politiques fondées sur la science (p. ex., AAC, 2019). Comme c'est le cas pour l'amélioration du transfert des connaissances, un modèle linéaire d'élaboration de politiques scientifiques ne correspond pas à la complexité de la gérance agroenvironnementale et pourrait nuire au processus d'élaboration de cadres de gouvernance adaptative fondés sur la science qui s'appliquent aux systèmes de production agricole et évoluent avec eux (Cash et Moser, 2000). Toutefois, la perturbation du modèle linéaire peut être accompagnée de nombreux obstacles. Les chercheurs ont cerné les principaux obstacles au processus d'intégration des données et de la science dans la conception des politiques, comme les différences culturelles et pratiques entre les décideurs et les chercheurs (Oliver et coll., 2014). Au-delà de ces derniers, il existe de multiples acteurs qui participent à l'interface entre la science et les politiques en vue améliorer la séquestration du carbone dans les terres cultivées du Canada, y compris les producteurs, les agronomes, les organismes sans but lucratif, les sociétés et d'autres. Bien qu'ils peuvent partager l'objectif commun d'améliorer la séquestration du carbone, leurs motivations et leurs besoins divergent probablement, ce qui souligne la nécessité d'adopter des approches systémiques pour traduire la science en politiques solides, fondées sur des données probantes, mais adaptables et souples. Ces types d'approches sont de plus en plus préconisés, car ils reflètent mieux les systèmes complexes dans lesquels les producteurs opèrent, et ils peuvent être plus inclusifs pour que des acteurs de grande envergure puissent participer efficacement à l'interface science-politiques (Singh et coll., 2021).

En compilant des recherches sur la façon de renforcer l'interface entre la science et les politiques, nous constatons que la collaboration entre divers acteurs est essentielle pour intégrer et diversifier les systèmes de connaissances qui éclairent la conception des politiques (Gluckman et coll., 2021). Il faudrait promouvoir la collaboration au sein de l'agriculture et l'étendre à l'extérieur du secteur afin d'élaborer des cadres stratégiques qui sont harmonisés de façon cohérente

pour atteindre des objectifs sociétaux plus vastes (p. ex., des cibles nationales de lutte contre les changements climatiques), tout en améliorant la capacité partagée et l'apprentissage entre les secteurs (Lewis et Rudnick, 2019; Singh et coll., 2021). Par exemple, à mesure que le secteur agricole devient de plus en plus axé sur les données et engagé dans l'atténuation des changements climatiques, la collaboration et l'harmonisation entre les secteurs de l'agriculture, du numérique et des technologies propres peuvent devenir de plus en plus une priorité. D'autres éléments clés à prendre en considération pour renforcer l'interface entre la science et les politiques afin de permettre une approche systémique comprennent la nécessité d'établir la confiance, la transparence et la légitimité entre les acteurs et de reconnaître quand les valeurs et les préjugés des acteurs peuvent influencer la rigueur de l'interface (Gluckman et coll., 2021). Pour intégrer ces considérations, Singh et coll. (2021) recommandent

l'intégration de processus d'évaluation indépendante et transparente des connaissances qui influencent la conception des politiques. Cela peut comprendre la conception de politiques éclairée et examinée par des groupes de travail représentant divers intervenants (en particulier les producteurs dans le contexte de l'adoption des PGB), des consultations publiques et des données en libre accès sur le rendement et les résultats des programmes et des politiques pour permettre l'évaluation de l'efficacité (voir Boxall, 2018).

En complément des résultats de recherche qui décrivent pourquoi et comment améliorer l'interface entre la science et les politiques, il faut aussi des occasions de mettre à l'essai différentes approches. Par exemple, en Ontario, l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario travaille en collaboration avec les producteurs et d'autres partenaires à des projets à la ferme qui mettent à l'essai des pratiques en matière de santé des sols, qui peuvent être utilisées

SÉQUESTRATION DE CARBONE DANS LES SOLS AGRICOLES; DE LA SCIENCE AUX POLITIQUES

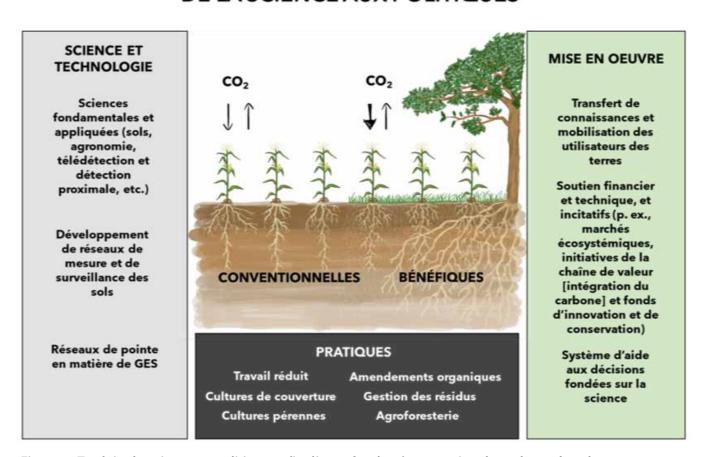


Figure 8. Traduire la science en politiques afin d'accroître la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes. (Inspiré de Paustian et coll., 2016)

pour éclairer l'amélioration de leurs approches en matière de prestation de programmes (AASRO, 2021). En plus d'éclairer les politiques, il y a de plus en plus d'exemples de projets de recherche et de développement qui éclairent la conception de marchés environnementaux. Ces exemples comprennent des projets en Alberta, où le EcoServices Network [réseau de services écologiques] travaille avec des partenaires, y compris la Western Stock Growers' Association, pour créer et mettre à l'essai la science, les données et l'infrastructure de marché qui seront essentielles à la mise en œuvre d'un marché qui récompense les producteurs qui adoptent des pratiques de conservation (Ecoservices Network, 2021). À l'étranger, le Conservation Innovation Grant du département de l'Agriculture des États-Unis, semblable aux laboratoires vivants du Canada, offre des occasions de mettre à l'essai des innovations à la ferme en collaboration, mais permet également de mettre à l'essai des approches stratégiques et commerciales pour promouvoir les innovations. Dans le cadre de ce programme, Bayer, la National Corn Growers Association et leurs partenaires ont élaboré une intervention dans la chaîne de valeur qui encourageait l'adoption des PGB et produisait des rapports sur les résultats par rapport aux cibles d'action climatique (c.-à-d. l'intégration du carbone). L'exploration et la mise à l'essai dans le cadre de ce projet contribuent à la recherche nécessaire pour rendre les approches de la chaîne de valeur permet-

tant de réduire les émissions de gaz à effet de serre reproductibles et évolutives (SustainCERT, 2020; Viresco, sans date). Un dernier exemple d'une approche de mise à l'essai des politiques et du développement des marchés éclairée par la science est une collaboration multipartite dirigée par le Ecosystem Services Market Consortium [consortium des marchés de services écosystémiques]. L'Ecosystem Services Market Consortium et ses membres, dont des associations d'agriculteurs, des ministères gouvernementaux, des organismes sans but lucratif, des entreprises agroalimentaires et des entreprises technologiques, collaborent à des projets pilotes à travers les États-Unis qui testent l'application de protocoles permettant aux producteurs d'accumuler des crédits, les récompensant pour l'amélioration de la qualité et de la quantité de l'eau, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la protection de la biodiversité et des habitats, et le renforcement de la séquestration du carbone (ESMC, 2022). L'apprentissage à partir de la littérature académique et des initiatives existantes, une plus grande intégration et utilisation de la science et des données, des approches de conception conjointe et de collaboration, et la mise en place de projets d'essai sur le terrain (p. ex., des projets pilotes testant les innovations en matière de conception des politiques) sont tous des éléments clés dans le renforcement de l'interface entre la science et les politiques pour améliorer la séquestration du carbone dans l'agriculture.

5. Conclusion

La lutte contre les changements climatiques est un défi de taille qui exige des solutions diversifiées issues de multiples secteurs. L'agriculture canadienne peut jouer un rôle essentiel dans l'atténuation des changements climatiques. Dans ce rapport, nous présentons nos constatations sur un aspect de l'atténuation des changements climatiques au Canada, soit la séquestration du carbone dans les terres cultivées. Nous avons adopté une approche multidisciplinaire à cet égard et avons tenu compte des possibilités environnementales, agronomiques et socio-économiques ainsi que des obstacles à l'augmentation de la séquestration du carbone partout au Canada.

Dans l'ensemble, nous avons constaté que la variation régionale démontre que les sols de terres cultivées au Canada n'ont pas un historique homogène, ne présentent pas le même potentiel de stockage du carbone ou ne se trouvent pas dans les mêmes conditions agroenvironnementales. Par conséquent, les stratégies visant à améliorer la séquestration du carbone à l'échelle du Canada devraient différer pour répondre aux besoins locaux.

Dans le cadre des quatre principaux volets de recherche, nous avons constaté ce qui suit :

a. La séquestration du carbone dans le sol est le processus qui consiste à capter le dioxyde de carbone de l'atmosphère et à le stocker dans le sol. Les facteurs environnementaux et les pratiques agricoles qui encouragent la séquestration du carbone varient selon les conditions climatiques et les propriétés du sol. En particulier, les apports de matières organiques dans le sol et le traitement subséquent sont essentiels pour comprendre comment accroître la séquestration du carbone dans les terres cultivées.

- b. Il existe trois leviers pour accroître la séquestration du carbone dans le sol. Le premier levier consiste à augmenter le taux de photosynthèse par unité de surface pédologique, dans l'espace et dans le temps, en adoptant des pratiques comme les cultures de couverture et les rotations de cultures diversifiées. Le deuxième levier consiste à maximiser la quantité de biomasse retournée au sol en intégrant le fumier et en laissant les résidus de culture dans les champs. Le troisième levier consiste à réduire les émissions de carbone du sol causées par la minéralisation de la matière organique en adoptant des pratiques comme le travail réduit du sol.
- c. Les obstacles à l'adoption comprennent les risques et l'incertitude associés à l'adoption de nouvelles pratiques, les coûts initiaux élevés et les contraintes environnementales. Les conditions favorables comprennent la participation des producteurs à la conception des politiques, la preuve du rendement du capital investi, la certitude politique et réglementaire, et l'accès à des outils et technologies de mesure et de surveillance abordables et efficaces.
- d. Les approches visant à renforcer l'interface entre la science et les politiques pour améliorer la séquestration du carbone dans le sol devraient comprendre une plus grande intégration et l'utilisation de la science et des données provenant de plusieurs disciplines, des possibilités de conception conjointe et de collaboration, et l'établissement de projets d'essai sur le terrain (p. ex., projets pilotes mettant à l'essai des idées de politiques et de marchés).

RECOMMANDATIONS

Afin de rehausser le rôle des politiques dans l'augmentation de la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes, il faudrait envisager une approche systémique fondée sur la science pour la conception des politiques. À court terme, cette approche devrait donner lieu à davantage de possibilités de collaboration pour la mise à l'essai d'innovations en matière de conception de politiques et de marchés qui utilisent la compréhension actuelle des PGB améliorant la séquestration du carbone et des obstacles et conditions favorables à l'adoption. À long terme, cette approche peut être renforcée en investissant dans la recherche et l'infrastructure qui nous aident à mieux comprendre comment accroître et mesurer le stockage du carbone dans des conditions climatiques difficiles.

Pour tirer parti de ce que les milieux scientifiques et agricoles savent déjà au sujet de la séquestration du carbone, des efforts de recherche à grande échelle et des analyses de données sur le sol sont nécessaires pour améliorer les prévisions des changements du carbone organique du sol dans divers contextes pédoclimatiques et de gestion.

- a. Mieux comprendre comment chaque PGB et les combinaisons de PGB influent sur la séquestration du carbone dans le sol dans l'ensemble du profil pédologique (sol profond).
- b. Accroître la recherche qui évalue l'incidence des conditions climatiques sur la séquestration du carbone dans les terres cultivées canadiennes, car le sol sera confronté à de nouvelles conditions environnementales en raison des changements climatiques.
- c. Favoriser davantage de programmes de recherche multidisciplinaires, en particulier ceux qui renforcent et construisent des systèmes intégrés de mesure et de surveillance du carbone organique du sol (p. ex., en mettant en relation des experts en télédétection, en modélisation des écosystèmes et en échantillonnage des sols).

En tant que boursiers doctoraux de l'ICPA, nous avons travaillé comme équipe multidisciplinaire sur ce rapport, en nous appuyant sur notre propre expertise tout en élargissant notre compréhension de l'agriculture canadienne. Le fait de travailler ensemble a mis en évidence les différences dans nos domaines respectifs en ce qui a trait à ce que nous valorisons en tant que chercheurs, ce que nous trouvons fondamental dans l'agriculture canadienne et même au langage que nous utilisons pour définir la principale terminologie. Cependant, nous avons également trouvé un terrain d'entente important dans notre travail, surtout en ce qui concerne le thème des solutions propres au site, tout en approfondissant notre compréhension de la façon dont nos recherches, à partir de nos doctorats et au-delà, peuvent être utilisées dans un contexte concret. La nature multidisciplinaire de la collaboration à ce rapport nous a permis de mieux comprendre les immenses complexités de la détermination, de la conception et de la mise en œuvre d'un seul aspect de l'amélioration de l'agriculture canadienne pour lutter contre les changements climatiques, soit la séquestration accrue du carbone dans les terres cultivées.

6. Remerciements

Merci à l'équipe de l'ICPA pour cette occasion et pour ses conseils et son soutien tout au long de notre expérience comme boursiers. Merci au Groupe consultatif pour ses commentaires réfléchis et ses encouragements.

7. Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). (2019). Politique sur l'intégrité scientifique d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Repéré à https://agriculture.canada.ca/fr/sciences-agricoles-innovation/politique-lintegrite-scientifique-dagriculture-agroalimentaire-canada
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). (Sans date). À propos des laboratoires vivants. Repéré à <a href="https://agriculture.canada.ca/fr/sciences-agricoles-innovation/initiative-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-vivants/propos-laboratoires-
- Andrieu, N., Howland, F., Acosta-Alba, I., Le Coq, J.-F., Osorio-Garcia, A. M., Martinez-Baron, D., ... Chia, E. (2019). Co-designing Climate-Smart Farming Systems with Local Stakeholders: A Methodological Framework for Achieving Large-Scale Change. Frontiers in Sustainable Food Systems. https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00037
- Angers, D., A., Bolinder, M., Carter, M., R., Gerergorich, E., G., Voroney, R., P., Drury, C., F., Liang, B., C., Voroney, R., Simard, R., Donald, R., G., Beyaert, R., P., et Martel, J. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 41(3-4), 191-201. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01100-2.
- Awada, L., Lindwall, C. W. et Sonntag, B. (2014). The development and adoption of conservation tillage systems on the Canadian Prairies. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 47–65. https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30013-7
- Barreiro-Hurle, J., Espinosa-Goded, M., Martínez-Paz, J. M. et Perni, A. (2018). Choosing not to choose: a meta-analysis of status quo effects in environmental valuations using choice experiments. *Economia Agraria y Recursos Naturales Agriculture and Resource Economics*, 18(1), 79-109. https://doi.org/10.7201/earn.2018.01.04
- Baumgart-Getza, A., Prokopy, L, S. et Floress, K. (2012). Why farmers adopt best management practice in the United States: A meta-analysis of the adoption literature. *Journal of Environmental Management*, 96(1), 17-25. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.006
- Biggs, N. B., Hafner, J., Mashiri, F. E., Huntsinger, L., et Lambin E. F. (2021). Payments for ecosystem services within the hybrid governance model: evaluating policy alignment and complementarity on California rangelands. *Ecology and Society*, 26(1),19. https://doi.org/10.5751/ES-12254-260119
- Boxall, P.C. (2018). Evaluation of Agri-Environmental Programs: Can We Determine If We Grew Forward in an Environmentally Friendly Way?. Revue canadienne d'agroéconomie/Canadian Journal of Agricultural Economics, 66, 171–186. https://doi.org/10.1111/cjag.12170
- Bruce, J. P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R. et Paustian, K. (1999). Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54(1), 382-389.
- Campbell, C. A., Janzen, H. H., Paustian, K., Gregorich, E. G., Sherrod, L., Liang, B. C. et Zentner, R. P. (2005). Carbon storage in soils of the North American Great Plains: Effect of cropping frequency. *Agronomy Journal*, 97, 349–363. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0349
- Campbell, C, A., Zenter, R, P., Liang, B, C., Roloff, G., Gregorich, E. et Blomert, B. (2000). Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid southwestern Saskatchewan effect of crop rotation and fertilizers. *Canadian Journal of Soil Science*, 80(1), 179–192. https://doi.org/10.4141/S99-028

- Cash, D. W. et Moser, S. (2000). Linking Global and Local Scales: Designing Dynamic Assessment and Management Processes. *Global Environmental Change*, 10, 109–120. http://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00017-0
- Choi, S. et Fara, M. (2012) Dispositions. Dans Zalta E. N. (dir.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (édition du printemps 2012). https://plato.stanford.edu/archives/spr2012/entries/dispositions/
- Clearwater, R. L., Martin, T. et Hoppe, T. (Éd.). (2016). L'agriculture écologiquement durable au Canada (Rapport no 4, Série sur les indicateurs agroenvironnementaux). Agriculture et Agroalimentaire Canada. Repéré à https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf
- Climate Action Platform. (Sans date). Carbon Action: Climate, Soil, Baltic Sea, Biodiversity. Baltic Sea Action Group. https://carbonaction.org/en/front-page/
- Cowie, A., Eckard, R. et Eady, S. (2012). Greenhouse gas accounting for inventory, emissions trading and life cycle assessment in the land-based sector: a review. *Crop and Pasture Science*, 63(3), 284. http://doi.org/10.1071/cp11188
- Crase, L. et Maybery, D. (2004). Personality and landholders' management of remnant bush and revegetation in the Murray catchment. *Australasian Journal of Environmental Management*, 11(1), 21–33. http://doi.org/10.1080/14486563.2004.10648595
- Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P-A. et Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, 185, 357-373. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.013
- Deaton, B, J., Lawley, C. et Nadella, K. (2018). Renters, Landlords, and Farmland Stewardship. *Agricultural Economics*, 49(2), 521–531. http://doi.org/10.1111/agec.12433
- Di Gregorio, M., Nurrochmat, D. R., Paavola, J., Sari, I. M., Fatorelli, L., Pramova, E., ... Kusumadewi, S. D. (2017). Climate policy integration in the land use sector: Mitigation, adaptation and sustainable development linkages. *Environmental Science and Policy*, 67, 35–43. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.004
- Drever, C. R., Cook-Patton, S. C., Akhter, F., Badiou, P. H., Chmura, G. L., Davidson, S. J., ... Kurz, W. A. (2021). Natural Climate Solutions for Canada. *Science Advances*, 7(23), 1-14. http://doi.org/10.1126/sciadv.abd6034
- ECCC (Environnement et Changement climatique Canada). (2021a). Rapport d'inventaire national 1990-2019 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2021/eccc/En81-4-1-2019-fra.pdf
- ECCC (Environnement et Changement climatique Canada). (2021b). Projections des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques au Canada 2020. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2021/eccc/En1-78-2020-fra.pdf
- ESMC (Ecosystem Services Market Consortium). (2022). About Us. Repéré à https://ecosystemservicesmarket.org/
- EcoServices Network. (2021). Grassland Conservation Exchange: A pilot project. Repéré à https://ecoservicesnet-work.ca/media/uploads/contributor-55/Grasslands%20Conservation%20Pilot_brochure_low%20resolution_final.pdf
- Evans, D. L., Quinton, J. N., Davies, J. A. C., Zhao, J. et Govers, G. (2020). Soil lifespans and how they can be extended by land use and management change. *Environmental Research Letters*, 15(9). https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba2fd
- Fan, J., McConkey, B. G., Liang, B. C., Angers, D. A., Janzen, H. H., Kröbel, R., Cerkowniak, D., D. et Smith, W. N. (2019). Increasing crop yields and root input make Canadian farmland a large carbon sink. *Geoderma*, 336, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.004
- Feather, P.M. et Amacher, G.S. (1994) Role of information in the adoption of best management practices for water quality improvement. *Agricultural Economics*, 11(2-3), 159-170. https://doi.org/10.1016/0169-5150(94)00013-1.

- Field to Market: The Alliance for Sustainable Agriculture. (2021). Financial Innovations to Accelerate Sustainable Agriculture: Blueprints for the Value Chain. Repéré à https://business.edf.org/files/Blueprints-for-the-val-ue-chain.pdf
- Gluckman, P.D., Bardsley, A. et Kaiser, M. (2021). Brokerage at the science–policy interface: from conceptual framework to practical guidance. *Humanit Soc Sci Commun*, 8(84). https://doi.org/10.1057/s41599-021-00756-3
- Gosling, E. et Williams, K. J. H. (2010). Connectedness to nature, place attachment and conservation behaviour: testing connectedness theory among farmers. *Journal of Environmental Psychology*, 30(3), 298–304. http://doi.org//10.1016/j.jenvp.2010.01.005.
- Hallstein, E. et Iseman, T. (2021). *Nature-based solutions in agriculture Project design for securing investment*. Virginia. FAO and The Nature Conservancy. Repéré à https://doi.org/10.4060/cb3144en
- Harrison, R. B., P. W. Footen et B. D. Strahm. (2011). Deep soil horizons: contribution and importance to soil carbon pools and in assessing whole-ecosystem response to management and global change. *Forest Science*, 57(1), 67-76. https://doi.org/10.1093/forestscience/57.1.67
- Hurlbert, M. (2014). Adaptive institutional design in agri-environmental programs. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 6(2), 145-165. http://doi.org/10.1108/IJCCSM-12-2012-0076
- Janzen, H. H., Campbell, C. A., Izaurralde, R. C., Ellert, B. H., Juma, N., McGill, W. B. et Zentner, R. P. (1998). Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil and Tillage Research*, 47(3-4), 181-195. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00105-6
- Janzen, H.H., Janzen, D.W. et Gregorich, E.G. (2022). The 'soil health' metaphor: Illuminating or illusory?. *Soil Biology and Biochemistry*, 159. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108167
- Knowler, D. et Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, 32, 25–48. http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.01.003
- Kragt, M. E., Dumbrell, N. P. et Blackmore, L. (2017). Motivations and barriers for Western Australian broad-acre producers to adopt carbon farming. *Environmental Science and Policy*, 73(novembre 2016), 115–123. http://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.009
- Lal, R. (2010). Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience*, 60, 708–721. http://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8
- Läpple, D. et Van Rensburg, T. (2011). Adoption of organic farming: Are there differences between early and late adoption? *Ecological Economics 70*(7), 1406-1414. http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.03.002.
- Lark, T.J., Spawn, S.A., Bougie et Gibbs, H. K. (2020). Cropland expansion in the United States produces marginal yields at high costs to wildlife. *Nat Commun 11*, 4295. https://doi.org/10.1038/s41467-020-18045-z
- Lewis, J. et Rudnick, J. (2019). The Policy Enabling Environment for Climate Smart Agriculture: A Case Study of California. *Front*. Food Syst., 3(31). https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00031
- Liu, T., Bruins R.J.F., et Heberling M.T. ... (2018). Factors influencing farmers' adoption of best management practices: a review and synthesis. *Sustainability*, 10(432). doi:10.3390/su10020432
- Malhi, G.S., Kaur, M. et Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, 13, 1318. https://doi.org/10.3390/su13031318
- Martins, F., Alteo, T., Mbazima. et Israelit, S. (2021). Helping Farmers Shift to Regenerative Agriculture. Brief. Bain and Company. Repéré à https://www.bain.com/insights/helping-farmers-shift-to-regenerative-agriculture
- Martin, M.P., Dimassi, B., Román Dobarco, M., Guenet, B., Arrouays, D., Angers, D.A., Blache, F., Huard, F., Soussana, J.-F. et Pellerin, S. (2021), Feasibility of the 4 per 1000 aspirational target for soil carbon: A case study for France. *Global Change Biology*, 27, 2458-2477. https://doi.org/10.1111/gcb.15547

- Mattila, T. J., Hagelberg, E., Söderlund, S. et Joona, J. (2022). How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans. *Soil and Tillage Research, 215*, 105204. http://doi.org/10.1016/j.still.2021.105204
- McConkey, B. G., Liang, B. C., Campbell, C. A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S. A. et Lafond, G. P. (2003). Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil Tillage and Research.* 74(1) 81–90. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00121-1
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., ... Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86. http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002
- Morris, C. (2004). Networks of agri-environmental policy implementation: a case study of England's Countryside Stewardship Scheme. *Land Use Policy21*,177–191. http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.01.002
- Morrison, C.L., et Y. Lawley. (2021) 2020 Ontario Cover Crop Feedback Report, département de science végétale, Université du Manitoba. Repéré à https://gfo.ca/agronomy/soil-leadership/
- Moschitz, H., Roep, D., Brunori, G. et Tisenkopfs, T. (2015). Learning and Innovation Networks for Sustainable Agriculture: Processes of Co-evolution, Joint Reflection and Facilitation. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 21(1), 1-11. http://doi.org/10.1080/1389224X.2014.991111
- Nilsson, M. et Persson, Å. (2012). Can Earth system interactions be governed? Governance functions for linking climate change mitigation with land use, freshwater and biodiversity protection. *Ecological Economics*, 81, 10-20. http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.06.020
- Nilsson, M. et Weitz, N. (2019). Governing Trade-Offs and Building Coherence in Policy-Making for the 2030 Agenda. *Politics and Governance*, 7(4), 254-263. http://doi.org/10.17645/pag.v7i4.2229
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) (2001). Améliorer les performances environnementales de l'agriculture : choix de mesures et approches fondées sur le marché. Paris.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. (2018). De nouveaux horizons : stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles de l'Ontario. Repéré à http://www.omafra.gov.on.ca/french/landuse/soil-strategy.pdf
- Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario (AASRO). (2021). ONFARM Forum 2021: Summary Report. Repéré à https://www.osciaresearch.org/uploads/source/ONFARM/2021_ONFARM_Forum_Summary_Report_Final.pdf
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F. et Wilkinson, R. (2006). Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Australian Journal of Experimental Agriculture,* 46(11), 1407-1424. Repéré à https://doi.org/10.1071/EA05037
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S. et coll. (2016). Climate-smart soils. *Nature 532*, 49–57. https://doi.org/10.1038/nature17174
- Paustian. K., Collier. S., Baldock. J., Burgess. R., Creque. J., DeLonge. M., ... Jahn, M. (2019). Quantifying carbon for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. *Carbon Management*, 10(6), 567-587. https://doi.org/10.1080/17583004.2019.1633231
- Prokopy, L. S., Floress, K., Klotthor-Weinkauf, D. et Baumgart-Getz, A. (2008). Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63(5), 300–311. http://doi.org/10.2489/jswc.63.5.300
- Raymond, Christopher, M., Reed, M., Beiling, C., Robinson, G. M. et Plieninger, T. (2016). Integrating different understandings of landscape stewardship into the design of agri-environmental schemes. *Environmental Conservation 43*, 350–358. http://doi.org/10.1017/S037689291600031X
- Renwick, William H., Michael J. Vanni, Thomas J. Fisher et Emily L. Morris. (2018). Stream Nitrogen, Phosphorus, and Sediment Concentrations Show Contrasting Long-term Trends Associated with Agricultural Change. *J. Environ. Qual.* 47,1513–1521.

- Rogers, E. (2003). Diffusion of innovations. New York, NY: The Free Press, 2003.
- Samson, M.-E., M. H. Chantigny, A. Vanasse, S. Menasseri-Aubry, I. Royer et D. A. Angers. (2021). Response of subsurface C and N stocks dominates the whole-soil profile response to agricultural management practices in a cool, humid climate. *Agriculture, ecosystems & environment, 320*. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107590
- Sheeder, R. J. et Lynne, G. D. (2011). Empathy-conditioned conservation: 'walking in the shoes of others' as a conservation farmer. *Land Economics*, 87(3), 433-452. http://doi.org/10.3368/le.87.3.433.
- SARE (Sustainable Agriculture Research and Education). (2013). 2012–2013 Cover Crop Survey. Repéré à https://sare.org/wp-content/uploads/SARE-CTIC-CC-Survey-Report-V2.8.pdf
- SARE (Sustainable Agriculture Research and Education). (2014). 2013–2014 Cover Crop Survey. Repéré à https://sare.org/wp-content/uploads/2013-14-Cover-Crop-Survey-Report.pdf
- SARE (Sustainable Agriculture Research and Education). (2015). 2014–2015 Cover Crop Survey. Repéré à https://sare.org/wp-content/uploads/2014-2015-Cover-Crop-Report.pdf
- SARE (Sustainable Agriculture Research and Education). (2016). 2015–2016 Cover Crop Survey. Repéré à http://www.sare.org/Learning-Center/From-the-Field/NorthCentral-SARE-From-the-Field/2016-Cover-Crop-Survey-Analysis
- SARE (Sustainable Agriculture Research and Education). (2017). 2016–2017 Cover Crop Survey. Repéré à https://sare.org/wp-content/uploads/2016-2017-Cover-Crop-Survey-Report.pdf
- SARE (Sustainable Agriculture Research and Education). (2020). 2019–2020 Cover Crop Survey. Repéré à https://www.sare.org/wp-content/uploads/2019-2020-National-Cover-Crop-Survey.pdf
- Searchinger, T.D., Malins, C., Glauber, J., Dumas, P., Baldock, D., Jayne, T., ... Marenya, P. (2020). *Revising Public Agricultural Support to Mitigate Climate Change. World Bank.* Washington, DC.
- Singh, B.K., Arnold, T., Biermayr-Jenzano, P. et coll. (2021). Enhancing science–policy interfaces for food systems transformation. *Nat Food 2*, 838–842. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00406-6
- Smukler, S. (2019). Managing Canadian Croplands to Maximize Carbon Sequestration and Minimize Other Ecosystem Service Trade-Offs Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2019/04/2019-02-21-CAPI-land-use-dialogue_Smukler-Paper-WEB-3.pdf
- Statistique Canada, 2016. Données sur les exploitations et les exploitants agricoles Faits saillants et analyse Un portrait de l'agriculture canadienne. Publication no 95-640-X, Ottawa. Repéré à http://www.statcan.gc.ca/pub/95-640-x/2011001/p1/p1-01-fra.htm
- Statistique Canada, 2017. Recensement de l'agriculture de 2016. Publication no 11-001-X, Ottawa. Repéré à https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/170510/dq170510a-fra.pdf
- Sumane, S. et coll. (2018). Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies, 59*, 232–241. http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.01.020
- SustainCERT. (2020). Bayer and Partners Break New Ground on Certifying Value Chain Greenhouse Gas Impacts with SustainCERT. https://www.sustain-cert.com/wp-content/uploads/2020/09/BAYER-Press-Release_Final.pdf
- USFRA (US Farmers and Ranchers in Action). (2021). Transformative Investment in Climate-Smart Agriculture Unlocking the potential of our soils to help the U.S. achieve a net-zero economy. Repéré à https://usfarmer-sandranchers.org/wp-content/uploads/2021/02/USFRA-Transformative-Investment-Report.pdf
- Vanden Bygaart, A.J., Gregorich, E.G. et Angers, D.A. (2003). Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and analysis of Canadian studies. *Canadian Journey of Soil Science83*, 363 380. https://doi.org/10.4141/S03-009

- Van de Pol, L., Tibbetts, C.A., Lin Hunter, D.E. (2021). Removing Barriers and Creating Opportunities for Climate-Resilient Agriculture by Optimizing Federal Crop Insurance. *Journal of Science Policy & Governance, 18*(2). https://doi.org/10.38126/JSPG180213
- van Oosterzee, P., Dale, A. et Preece, N. D. (2014). Integrating agriculture and climate change mitigation at landscape scale: Implications from an Australian case study. *Global Environmental Change, 29*, 306–317. http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.003
- Viresco. (Sans date). Projects. Repéré à https://www.virescosolutions.com/projects/
- Wayman, S., Kucek, L., K., Mirsky, S., B., Ackroyd, V., Cordeau, S. et Ryan, M, R. (2017). Organic and conventional farmers differ in their perspectives on cover crop use and breeding. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32 (4) 376 385. https://doi.org/10.1017/S1742170516000338
- Weber, M. (2017). Understanding Farmer Motivation and Attitudes Regarding the Adoption of Specific Soil Best Management Practices Summary and Recommendations. Food and Farm Care Ontario. Repéré à https://www.farmfoodcareon.org/wp-content/uploads/2017/10/FCC-Adoption-Behavior-Summa-ry-and-Recommendations.pdf
- Wood, B. A., Blair, H. T., Gray, D. I., Kemp, P. D., Kenyon, P. R., Morris, S. T. et Sewell, A. M. (2014). Agricultural Science in the Wild: A Social Network Analysis of Farmer Knowledge Exchange. *PLoS ONE, 9*(8). http://doi.org/10.1371/journal.pone.0105203
- Fonds mondial pour la nature. (2021). 2021 Plowprint Report. Repéré à https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/5yrd3g00ig_PlowprintReport_2021_Final_HiRes_b.pdf?ga=2.39453859.1827420371.1642169014-951445640.1642169014
- Yiridoe, E. K., Atari, D. O. A., Gordon, R. et Smale, S. (2010). Factors influencing participation in the Nova Scotia Environmental Farm Plan Program. Land Use Policy, 27(4), 1097–1106. Repéré à http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.02.00
- Zusman, E., Miyatsuka, A., Evarts, D., ... Patdu, K. (2013). Co-benefits: taking a multidisciplinary approach, *Carbon Management*, 4(2), 135–137, http://doi.org/10.4155/cmt.13.12