

Avril 2022

Séquestration du carbone dans les sols agricoles :

Atteindre les cibles canadiennes en matière de changements climatiques

rapport *Recherche* préparé pour l'ICPA par Susan Wood-Bohm, Ph. D.



rapport
Recherche



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

Ce rapport est commandité en partie par la Fondation RBC. Il fait partie d'une initiative environnementale plus vaste de l'ICPA qui vise à aider les agriculteurs à produire mieux, de façon plus raisonnée et en utilisant des pratiques plus durables d'un point de vue environnemental (**Spearheading Solutions : Helping Farmers Operate Better, Smarter and Environmentally Sustainably**). Cette initiative vise à tirer parti des politiques publiques et privées pour favoriser l'adoption rapide de pratiques de gestion bénéfiques et accroître l'adoption de nouveaux outils et de nouvelles technologies afin de maximiser les résultats environnementaux et sociaux.



Fondation

Pour assurer la validité et la qualité de son travail, l'ICPA exige que tous les rapports Recherche soient soumis à un processus d'examen par les pairs. L'ICPA remercie les pairs évaluateurs qui se sont penchés sur l'ébauche du présent rapport pour leurs commentaires. Les points de vue et les opinions exprimés dans le présent document sont uniquement ceux de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'ICPA.



Note de l'ICPA

Le présent document présente une partie des travaux de recherche menés par l'ICPA sur l'intensification durable. Ces travaux, dirigés par Susan Wood-Bohm, Ph. D., sont financés en partie par la Fondation RBC et font partie de l'initiative environnementale plus vaste de l'ICPA intitulée Spearheading *Solutions : Helping Farmers Operate Better, Smarter and Environmentally Sustainably*.

Le présent document expose les concepts fondamentaux de la séquestration du carbone dans les sols agricoles et poursuit en posant la question suivante : « Quelle quantité de carbone les sols agricoles du Canada peuvent-ils séquestrer? » Il offre une réponse prometteuse : le Canada peut relever le défi international 4 pour 1000 en ce qui concerne la séquestration du carbone organique dans le sol, et il existe un éventail d'approches qui lui permettent de le faire. De même, il présente un certain nombre de défis liés aux obstacles agronomiques, économiques et politiques.

La publication du rapport de recherche survient à un moment où l'on s'intéresse de plus en plus au rôle que l'agriculture peut jouer dans l'atténuation des changements climatiques. L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) vient d'ailleurs tout juste de publier un rapport sur le sujet – **La séquestration du carbone dans les sols par l'agriculture : Options stratégiques (janvier 2022)** (en anglais).

Les articles de l'ICPA et de l'OCDE abordent plusieurs mêmes questions liées aux politiques. Ils s'intéressent particulièrement aux défis et aux difficultés liées à l'atteinte d'un équilibre entre la capacité restreinte de rétention du carbone, d'une part, et les incitatifs politiques nécessaires augmenter la séquestration du carbone dans les sols agricoles dont le potentiel demeure inexploité, d'autre part.

L'idée selon laquelle l'agriculture peut représenter l'intermédiaire qui permettrait d'atténuer les changements climatiques présente de grands dangers lorsqu'on l'étudie dans une optique réductionniste et qu'on en fait une analyse partielle. Certains liens et résultats peuvent être retenus au détriment des autres, ce qui favorise l'émergence de solutions rapides et/ou simplistes, qui divisent au lieu de réunir. Une vidéo récente, publiée par le New York Times et largement diffusée, affirmant que l'agriculture moderne est « payée pour détruire la planète » illustre ce danger.

L'ICPA s'est engagée à tenir un dialogue équilibré sur la façon dont un système agroalimentaire plus résilient peut répondre aux demandes croissantes des consommateurs, autant au Canada qu'ailleurs dans le monde. Cette résilience passe par un système qui produit plus d'aliments, de meilleure qualité, tout en étant environnementalement et économiquement durable.

Les observations suivantes, réalisées par Mme Susan Wood-Bohm, représentent un constat pertinent, juste et réaliste sur les sols du Canada et le rôle qu'ils jouent en ce qui concerne les changements climatiques.

Principaux points à retenir

- L'atteinte de l'objectif zéro émission du Canada d'ici 2050 nécessite des progrès considérables dans tous les secteurs industriels, ainsi que des investissements ciblés pour stimuler l'innovation et encourager les comportements individuels. Les solutions fondées sur la nature, comme la séquestration biologique du carbone, sont importantes pour atteindre ces objectifs.
- Les sols canadiens ont un rôle énorme à jouer pour assurer l'approvisionnement en alimentation humaine et animale au Canada, soutenir le commerce mondial et stabiliser les émissions de carbone.
- Avec des cibles climatiques ambitieuses, les futures stratégies du secteur agricole canadien doivent viser à accroître la production, tout en réduisant les émissions et en augmentant la quantité de carbone séquestré.
- Il est difficile de comprendre comment les stratégies et les pratiques de gestion bénéfiques (PGB) peuvent aider le Canada à atteindre ses objectifs climatiques à long terme, compte tenu de la grande variation de leur incidence sur les sols.
- La réduction du travail du sol a été confirmée comme l'une des méthodes les plus efficaces pour réduire les pertes et améliorer la séquestration du carbone dans les sols agricoles canadiens. Cependant, comme le travail réduit du sol est déjà largement adopté là où les caractéristiques du sol et les systèmes de culture le permettent, le potentiel de gains supplémentaires est limité.
- Le Canada s'est joint à l'initiative 4 x 1000, lancée à la Conférence des Parties à Paris (2015) et adoptée par plus de 200 pays, qui vise à augmenter la quantité de carbone contenue dans le sol de 0,4 % par année. Cette cible est considérée comme techniquement réalisable dans les sols agricoles actuellement cultivés au Canada.
- Les protocoles qui visent la séquestration du carbone plutôt que les réductions n'ont pas été retenus pour les marchés canadiens réglementés du carbone. Toutefois, les marchés volontaires et les projets de compensation internes offrent un potentiel futur.
- Au Canada, la mesure du carbone organique du sol (COS) dans les champs est souvent un élément négligé. Elle pourrait devenir essentielle pour valider la séquestration.

En novembre 2021, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de carbone de 40 à 45 % par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2030. D'ici la fin de la décennie, il devra réduire ses émissions d'environ 439 Mt éq. CO₂ par année. Ultimement, un objectif de zéro émission nette est prévu pour 2050¹.

L'atteinte de ces objectifs ambitieux nécessitera des progrès considérables dans tous les secteurs industriels. Il faut réduire les émissions de méthane, de dioxyde de carbone et d'oxyde nitreux provenant des combustibles fossiles, de la production d'électricité, des transports et des industries lourdes. Des investissements ciblés sont

attendus pour stimuler l'innovation et l'adaptation dans les autres secteurs, et des mécanismes d'intervention, comme la taxe sur le carbone, pourraient encourager les changements de comportement au niveau individuel.

En plus de la réduction des émissions, un rôle important est envisagé pour les solutions fondées sur la nature. Ces solutions, communément appelées séquestration biologique du carbone, misent sur la capacité de la nature à capter et à stocker le carbone à long terme. La séquestration biologique se produit lorsque les plantes et les arbres absorbent et stockent le CO₂ de l'atmosphère. À court

terme, quelque deux milliards d'arbres seront plantés d'ici 2030² afin d'accroître les absorptions atmosphériques de carbone grâce à la capacité photosynthétique des arbres en croissance. Cet investissement permettra également une séquestration à long terme si les produits forestiers qui en résultent sont utilisés comme bois d'œuvre pour la construction.

L'agriculture est également appelée à jouer un rôle important. Au cours des vingt dernières années, le secteur agricole a contribué de façon assez constante à environ 8 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) au Canada, dont environ 50 % sont attribuables

¹ Tasker, J. P., et A. Wherry. « Trudeau pledges to slash greenhouse gas emissions by at least 40% by 2030 », [En ligne], CBC News, 22 avril 2021. <https://www.cbc.ca/news/politics/trudeau-climate-emissions-40-per-cent-1.5997613>

² Gouvernement du Canada. L'engagement de 2 milliards d'arbres, [En ligne]. <https://www.canada.ca/fr/campagne/2-milliards-arbres.html> (Consulté le 30 janvier 2022).

à l'élevage et les 50 % restants à la production végétale³. L'agriculture canadienne est un élément essentiel du système alimentaire mondial. La production ne peut donc pas être réduite sans avoir d'incidence sur la sécurité alimentaire mondiale. Par conséquent, l'avenir doit être dominé par des stratégies visant à accroître la production, tout en réduisant les émissions. Avec des cibles climatiques ambitieuses, l'agriculture devra non seulement réduire les émissions produites, mais aussi accroître la quantité de carbone séquestré dans les sols agricoles. Ce document vise à explorer les aspects scientifiques et pratiques de l'augmentation de la séquestration du carbone dans le sol et la façon dont cela peut aider le Canada à atteindre ses objectifs en matière de changements climatiques.

Les sols sont des mélanges complexes de particules. Ils comprennent une fraction minérale, composée d'argile, de limon et de sable, une fraction organique, communément appelée carbone organique du sol (COS) et composée de matières végétales en décomposition (feuilles mortes et racines), ainsi que des organismes vivants (bactéries, champignons et insectes, par exemple), de l'air et de l'eau. Les sols se forment très lentement sur une échelle de temps géologique. Leur composition est fortement influencée par le matériau minéral d'origine sur lequel ils sont construits, le type de végétation (prairies ou forêt/toundra) qui recouvrait historiquement le matériau d'origine et les conditions environnementales (température et humidité) qui prévalaient au moment de la création du sol. Au fil du

temps, ces processus ont mené à la formation d'horizons ou de couches de sol distinctifs, ce qui permet de classer les types de sols. Au Canada, un système taxonomique rigoureux, composé de dix ordres, de divers grands groupes et de plusieurs sous-groupes⁴, a été développé. Les terres les plus propices à l'agriculture présentent une teneur élevée en minéraux et en matière organique, typique des sols produits sous le couvert des prairies. Ceux-ci sont les plus abondants dans l'Ouest canadien. Toutefois, les sols issus de la forêt peuvent également être très fertiles. La série « Guelph », le type de sol officiel de l'Ontario, présente de nombreuses caractéristiques bénéfiques pour la production végétale lorsqu'elle est combinée au climat plus chaud et humide de l'Ontario⁵.



Figure 1.
L'importance des sols.
Adaptée de la FAO, 2015.⁶

³ Gouvernement du Canada. Indicateur des gaz à effet de serre d'origine agricole, [En ligne]. <https://agriculture.canada.ca/fr/agriculture-environnement/changements-climatiques-qualite-lair/indicateur-gaz-effet-serre-dorigine-agricole>

⁴ Gouvernement du Canada. Le système canadien de classification des sols, 3e édition, [En ligne]. <https://sis.agr.gc.ca/siscan/taxa/cssc3/index.html> (Consulté le 30 janvier 2022).

⁵ Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. Sol provincial, [En ligne]. <http://www.omafr.gov.on.ca/french/about/prov-soil.htm> (Consulté le 30 janvier 2022).

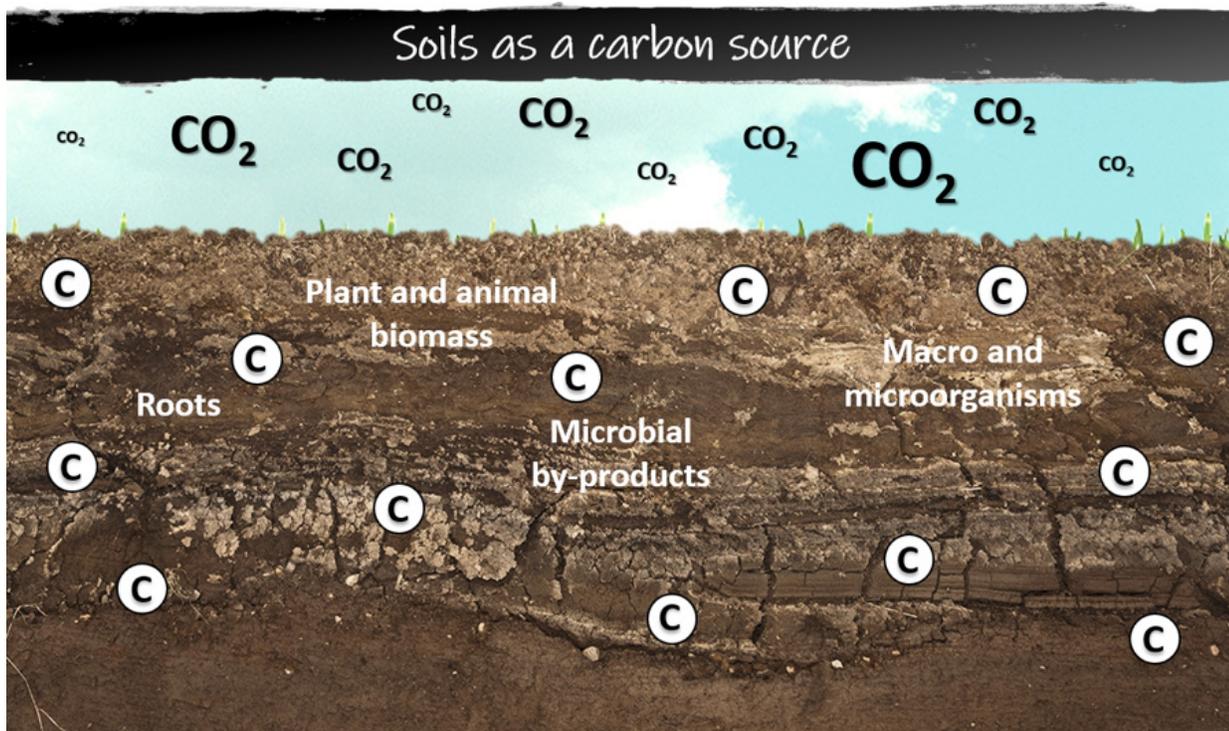
⁶ <https://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284478/>

Les sols sont des milieux vivants et dynamiques qui abritent une série de processus physiques, chimiques et biologiques. Le sol fournit un substrat pour la croissance des plantes, en plus d'être une source de minéraux et d'abriter les microorganismes qui contribuent à fournir les nutriments et l'eau. Au fur et à mesure de leur croissance, les plantes absorbent le CO₂ atmosphérique. Grâce à la photosynthèse, elles sont en mesure de combiner le CO₂ avec l'eau du

sol afin de produire les molécules à base de carbone nécessaires à la fabrication des composantes structurales et aux processus chimiques liés à leur croissance et à leur développement. Les plantes sont composées de 40 à 50 % de carbone, réparti à peu près également dans les tissus aériens (tiges et feuilles) et souterrains (racines)⁷. Lorsque les plantes terminent leur cycle de croissance, la décomposition s'amorce avec l'aide des microorganismes. Le CO₂ hors sol

est libéré dans l'atmosphère tandis que le carbone souterrain est incorporé dans le réservoir de COS. Le COS demeurera stable à moins que le sol ne soit perturbé, ce qui entraîne l'oxydation du COS et le rejet du CO₂ dans l'atmosphère. Lorsque la quantité de carbone retirée de l'atmosphère et stockée dépasse la quantité perdue par oxydation, on considère que le carbone est éliminé de manière permanente de l'atmosphère.

Figure 2. Les sols comme source de carbone, gracieuseté de Marie-Élise Samson.



La quantité de carbone dans un sol donné peut être déterminée avec précision en prélevant des échantillons et en les testant en laboratoire⁸ ou sur le terrain⁹. Elle peut également être évaluée à plus grande échelle au moyen de techniques comme la spectroscopie aérienne, le lidar et la modélisation au niveau du paysage^{10,11}.

⁷ United States Department of Agriculture. Manage Carbon, Natural Resources Conservation Service Pennsylvania, [En ligne]. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/pa/soils/health/?cid=nrcseprd1201408> (Consulté le 30 janvier 2022).

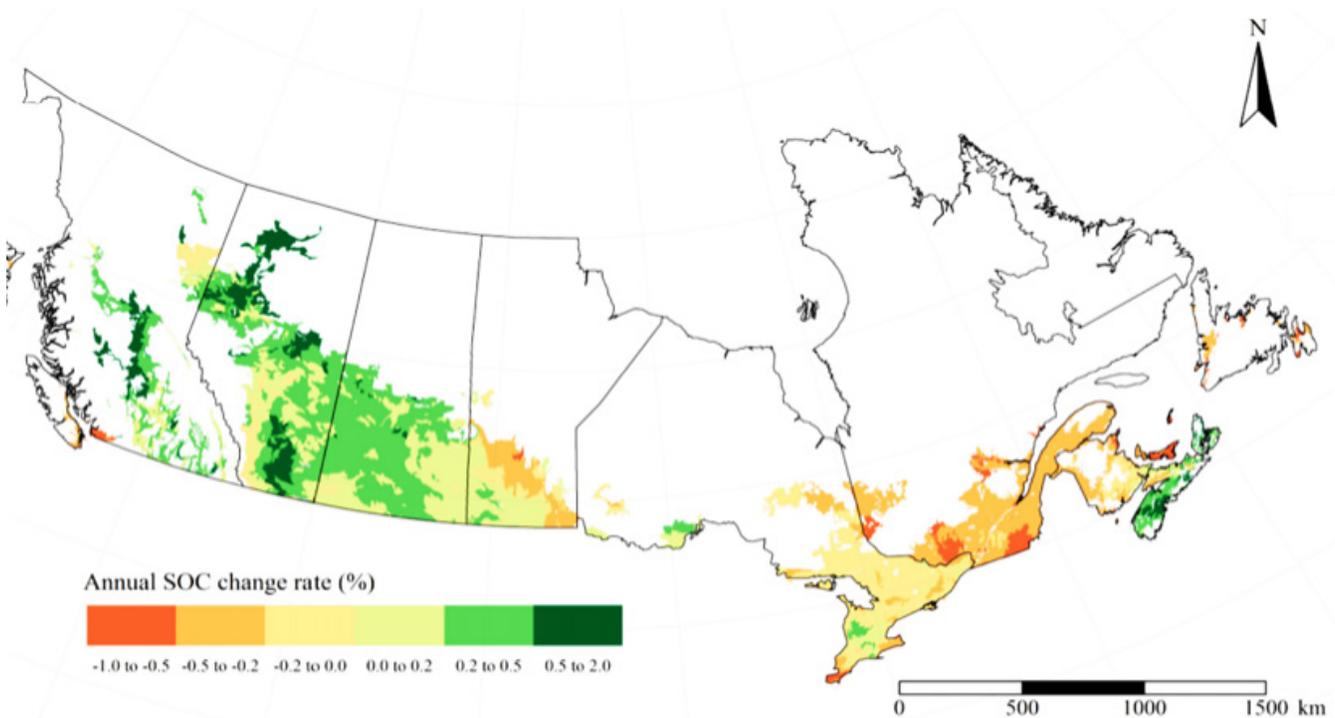
⁸ Department of Sustainable Natural Resources. Soil Survey Standard Test Method: Organic Carbon, [En ligne]. <https://www.environment.nsw.gov.au/resources/soils/testmethods/oc.pdf>

⁹ Edwards, T. Measuring and reporting soil organic carbon, Department of Primary Industries and Regional Development, Government of Western Australia, [En ligne]. <https://www.agric.wa.gov.au/soil-carbon/measuring-and-reporting-soil-organic-carbon> (Consulté le 5 février 2022).

¹⁰ Stevens, A., Udelhoven, T., Denis, A., Tychon, B., Lioy, R., Hoffmann, L. et B. van Wesemael. « Measuring soil organic carbon in croplands at regional scale using airborne imaging spectroscopy », *Geoderma*, vol. 158, 2010, p. 32–45. doi : <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.032>

¹¹ Fynn, A. J., Alvarez, P., Brown, J. R., George, M. R., Kustin, C., Laca, E. A., Oldfield, J. T., Schohr, T., Neely, C. L. et C. P. Wong. « Soil carbon sequestration in United States rangelands. In *Grassland carbon sequestration: Management, Policy and Economics* », [En ligne], *Integrated Crop Management*, Vol. 11, 2010. <https://www.fao.org/3/i1880e/i1880e00.htm>

Figure 3. Stocks de COS au Canada de 1971 à 2015. Adapté de Fan et coll., 2019¹²



La quantité de carbone que les sols agricoles canadiens peuvent séquestrer dépend de nombreux facteurs environnementaux et opérationnels, ainsi que de la superficie totale des terres cultivées.

Deuxième plus grand pays au monde, le Canada couvre une superficie impressionnante de 9 985 millions de km². Toutefois, la zone propice aux activités agricoles est considérablement plus petite en raison des limites géographiques et climatiques. Par exemple, plus de 27 % des terres émergées se trouvent au nord de la limite des arbres, dans des conditions inhospitalières pour la production végétale, et les ressources en eau douce, comme les lacs et les cours

d'eau¹³, occupent 890 000 km². Lorsque toutes les limites ont été prises en compte, seulement 7 % environ des terres émergées du Canada sont propices à l'élevage et à la culture. Une petite superficie supplémentaire peut être utilisée pour l'élevage d'animaux sans modification des terres¹⁴.

Les principales régions agricoles du Canada sont situées dans les provinces des Prairies et de l'Ouest. On y cultive de vastes superficies de céréales et d'oléagineux. On y élève également le plus grand nombre d'animaux de boucherie au Canada, pour la plus grande partie de leur vie sur des parcours naturels. Cette région est caractérisée par des fermes plus

grandes et des sols plus secs. En Ontario, dans le sud du Québec et dans une partie de la région de l'Atlantique, les sols plus humides et plus chauds permettent de produire une variété de cultures annuelles et vivaces. Le bétail est généralement élevé dans des bâtiments clos et le fumier est épandu de façon saisonnière sur les terres cultivées. Les fermes de cette région ont tendance à être plus petites et plus intensives. En 2016, sur un total de 93,4 millions d'acres cultivés au Canada¹⁵, 86,3 % des terres cultivées se trouvaient au Manitoba, en Saskatchewan et en Alberta, tandis que les 13,7 % restants se trouvaient en Ontario, au Québec et dans les autres provinces¹⁶.

¹² Fan, J., McConkey, B. G., Liang, B. C., Angers, D., Janzen, H. H., Kröbel, R., Cerkowniak, D. D. et W. N. Smith. « Increasing crop yields and root input make Canadian farmland a large carbon sink », *Geoderma*, vol. 336, 2019, p. 49–58. doi : 10.1016/j.geoderma.2018.08.004

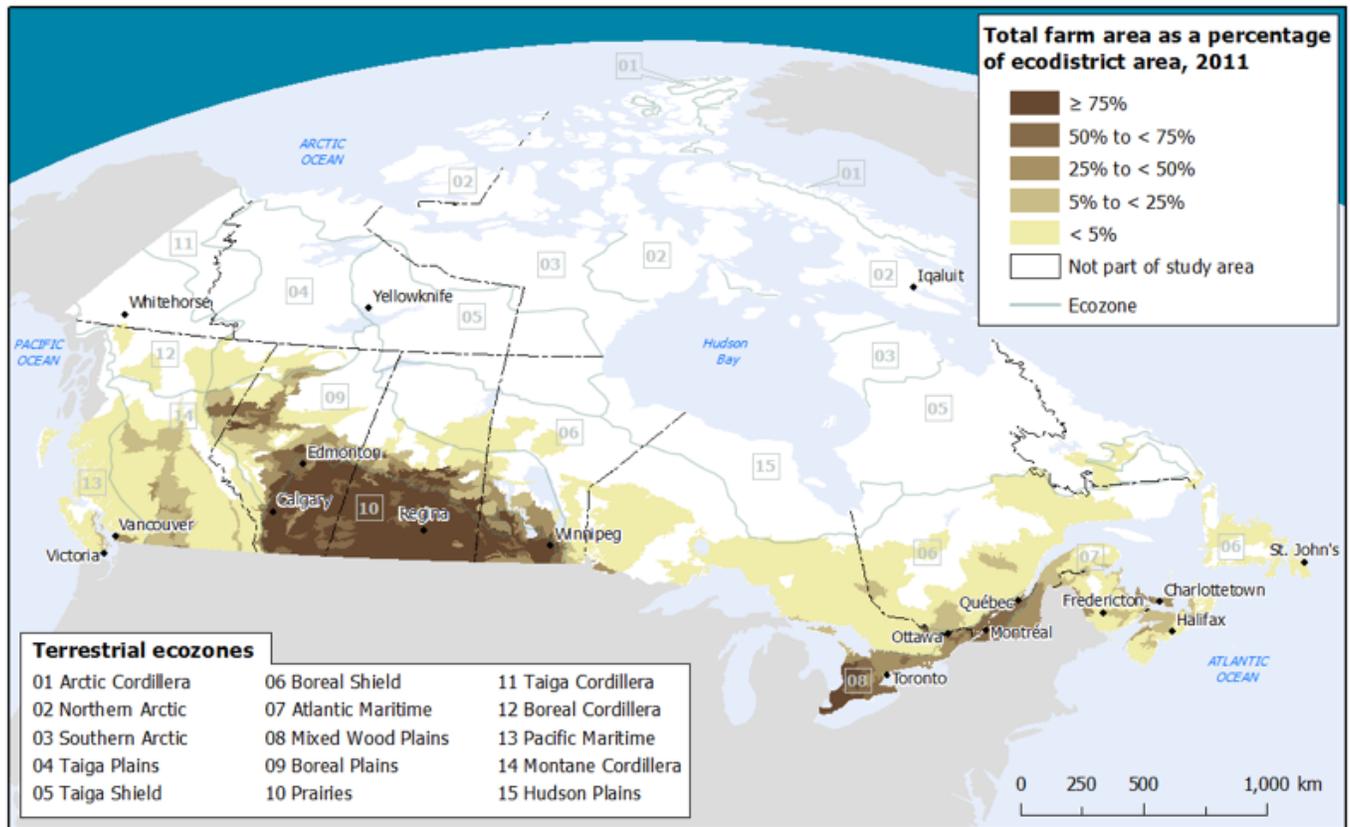
¹³ Statistique Canada. Géographie, [En ligne]. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-402-x/2011000/chap/geo/geo-eng.htm> (Consulté le 30 janvier 2022).

¹⁴ Statistique Canada. Un portrait de l'agriculture canadienne, [En ligne]. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/ca-ra2006/articles/snapshot-portrait-eng.htm> (Consulté le 5 février 2022).

¹⁵ Statistique Canada. Recensement de l'agriculture de 2016, [En ligne]. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/170510/dq170510a-eng.htm> (Consulté le 30 janvier 2022).

¹⁶ Statistique Canada. La Saskatchewan demeure le grenier du Canada, [En ligne], 10 mai 2017. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/95-640-x/2016001/article/14807-eng.htm>

Figure 4. Superficie agricole totale, en pourcentage de la superficie de l'écodistrict, 2011.¹⁷



Lors de la Conférence des Parties à Paris (2015), la France a lancé une initiative visant à encourager la séquestration du carbone dans les sols agricoles par l'utilisation de pratiques de gestion bénéfiques (PGB) adaptées à la région. Une PGB est une technique de production qui diffère de l'approche conventionnelle et qui confère un avantage environnemental ou de production. L'initiative 4 x 1000 a comme objectif d'augmenter de 0,4 % par année la quantité de carbone séquestrée dans le sol. À

l'échelle mondiale, cela permettrait de compenser la totalité des nouvelles émissions annuelles de GES. Plus de 200 pays et partenaires, dont le Canada, se sont joints à l'effort¹⁸. L'initiative 4 x 1000, avec son objectif ambitieux, a suscité beaucoup de discussions sur le rôle potentiel des sols agricoles et un débat sur la faisabilité d'un tel plan¹⁹. Beaucoup de travail a depuis été accompli pour déterminer s'il existe une capacité technique pour atteindre cet objectif, ainsi que pour évaluer les mécanismes d'interven-

tion nécessaires pour permettre la mise en œuvre d'une telle stratégie. On estime que dans les sols agricoles actuellement exploités au Canada, les puits de carbone stables représentent environ 4140 Mt de C dans les 30 cm supérieurs du sol et 5500 Mt jusqu'à une profondeur de 100 cm²⁰. Comme les PGB permettent des gains de 0,1 à 0,5 t de C/ha/an, l'objectif de 4 x 1000 est donc techniquement réalisable au Canada²¹.

¹⁷ <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/141113/mc-a001-fra.htm>

¹⁸ L'initiative internationale "4 pour 1000", [En ligne]. <https://www.4p1000.org/> (Consulté le 30 janvier 2022).

¹⁹ De Vries, W. « Soil carbon 4 per mille: A good initiative but let's manage not only the soil but also the expectations: Comment on Minasny et al. (2017) *Geoderma* 292: 59–86 », *Geoderma*, vol. 309, 2018, p. 111–112.

²⁰ Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C. B., Young Hong, S., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Leatitia Mulder, V., ... et L. Winowiecki. « Soil carbon 4 per mille », *Geoderma*, vol. 292, 2017, p. 59–86. doi : <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

²¹ VandenBygaart, A. J., McConkey, B. G., Angers, D. A., Smith, W., de Gooijer, H., Benthams, M. et T. Martin. « Soil carbon change factors for the Canadian agriculture national greenhouse gas inventory », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 88, no 5, 2008, p. 671–680.

Historiquement, la culture des champs consistait à « travailler » ou labourer le sol pour briser la terre en particules plus fines afin que les semences puissent germer et croître. Cette façon de faire permettait d'incorporer plus d'air au sol, entraînant l'oxydation du carbone du sol et favorisant son rejet dans l'atmosphère, créant une perte dans le réservoir de COS. Les estimations à l'échelle mondiale ont montré que des contributions très importantes au carbone atmosphérique sont attribuables à la culture des terres. Ces pertes historiques offrent maintenant une possibilité de séquestration importante du carbone²². La reconstruction des puits de COS prendra nécessairement un certain temps, en plus d'être facilement perturbée, mais certaines techniques se sont déjà révélées efficaces.

L'une des méthodes les plus efficaces pour réduire les pertes et améliorer la séquestration du carbone dans le sol consiste à réduire le travail du sol ou, si la culture le permet, à l'éliminer complètement. Des scientifiques canadiens ont modélisé la perte de COS en s'appuyant sur les données provenant de 180 sites en travail conventionnel et en travail réduit. Une réduction importante des pertes de carbone a été confirmée dans les systèmes en travail réduit²³. L'adoption de la méthode du « semis direct » a eu un effet spectaculaire sur les pertes de carbone dans l'Ouest. Depuis 1981, les provinces de l'Ouest sont ainsi passées d'une situation de perte nette de carbone à un gain

net, avec de grandes régions géographiques où la quantité de carbone dans le sol a augmenté jusqu'à 1200 kg/ha/an²⁴. La gestion sans labour permet également de réduire la quantité d'équipements nécessaires et, par conséquent, les émissions de combustibles fossiles. Une réduction de l'impact des GES de 71 % a ainsi été estimée²⁵. Malgré cela, il est toujours possible de continuer à séquestrer du carbone dans l'Ouest parce que les puits de COS continueront d'augmenter au fil du temps, quoique plus lentement. Un nouvel équilibre est prévu d'ici un siècle, lorsque les gains se stabiliseront. Par ailleurs, au cours de la même période de 30 ans, de 1981 à 2011, les provinces de l'Est ont été beaucoup moins enthousiastes à adopter la culture sans labour. À ce jour, dans cette région, les puits de COS manquent de stabilité et continuent de libérer plus de carbone qu'ils n'en stockent. Cette tendance risque de se poursuivre parce que les sols non labourés sont plus lents à se réchauffer et à sécher au printemps, ce qui retarde la plantation et la germination et, ultimement, affecte le rendement. De plus, certaines cultures, comme le maïs, présentent le défi d'une importante biomasse en surface après la récolte, ce qui peut créer un obstacle à la germination des cultures suivantes, à moins qu'une partie de ces résidus ne soit d'abord éliminée.

Étant donné que le travail réduit du sol est déjà largement adopté là où les caractéristiques du sol et les systèmes culturels le permettent,

le potentiel du semis direct pour atteindre les objectifs climatiques est limité. D'autres PGB pourraient toutefois être utiles. Parmi celles-ci, les cultures de couverture peuvent constituer une opportunité pour un vaste éventail de types de sol et de cultures.

Les cultures de couverture ne sont pas semées pour être récoltées, mais plutôt pour les autres avantages qu'elles procurent. Il peut s'agir de graminées, de légumineuses, de crucifères ou d'autres plantes à feuilles larges. Les cultures de couverture sont habituellement semées après la récolte et peuvent être incorporées au sol ou utilisées comme base pour le semis direct. Les cultures de couverture contribuent au COS, mais ont également des effets très positifs sur la réduction de l'érosion, l'amélioration de la fertilité du sol, la conservation des réserves d'eau, la réduction des ravageurs et des mauvaises herbes et l'augmentation de la biodiversité. Les cultures de couverture peuvent avoir un effet direct et immédiat sur les stocks de carbone près de la surface. Les sols de l'Ontario ont affiché une augmentation de plus de 10 % du COS dans les cas où des cultures de couverture ont été utilisées pendant neuf années consécutives²⁶. Toutefois, cette solution a des répercussions très variables selon le type de sol, les pratiques culturales et la culture de couverture choisie. Ainsi, les répercussions positives peuvent être variables selon chaque situation²⁷.

²² Sanderman, J., Hengl, T. et G. J. Fiske. « Soil carbon debt of 12,000 years of human land use », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 114, no 36, 2017, p. 9575-9580. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1706103114>

²³ Smith, W. N., Rochette, P., Monreal, C., Desjardins, R. L., Pattey, E. et A. Jaques. (1997). « The rate of carbon change in agricultural soils in Canada at the landscape level », *Canadian Journal of Soil Science*, vol 7, no 2, 1997, p. 219-229

²⁴ Gouvernement du Canada. Indicateur de la matière organique du sol, [En ligne]. agriculture.canada.ca/fr/agriculture-environnement/sols-terres/indicateur-matiere-organique-du-sol (Consulté le 30 janvier 2022).

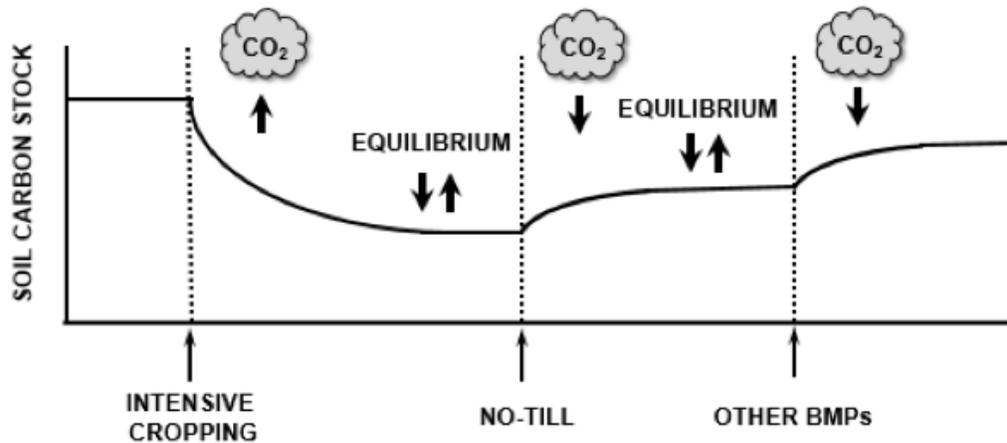
²⁵ Sainju, U. M. « A Global Meta-Analysis on the Impact of Management Practices on Net Global Warming Potential and Greenhouse Gas Intensity from Cropland Soils », *PLOS ONE*, 2016.

²⁶ Chahal, I., Vyn, R. J., Mayers, D. et L. L. van Eerd. « Cumulative impact of cover crops on soil carbon sequestration and profitability in a temperate humid climate », *Scientific Reports*, vol. 10, no1, 2020. <https://doi.org/10.1038/S41598-020-70224-6>

²⁷ Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R. M. et P. Smith. « A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity », *Global Change Biology*, vol. 25, no 8, 2019, p. 2530-2543. <https://doi.org/10.1111/GCB.14644>

En plus de réduire le travail du sol et de semer des cultures de couverture, d'autres pratiques de gestion peuvent avoir des répercussions importantes sur la séquestration du carbone. On peut penser par exemple à l'implantation de plus de plantes fourragères et vivaces, comme la luzerne, à l'utilisation d'engrais pour accroître la production de biomasse, aux cultures intercalaires et à une utilisation plus judicieuse des rotations de cultures pour intégrer des plantes choisies pour leurs effets positifs sur le sol²⁸.

Figure 5. Impact des différentes PGB sur la séquestration du carbone. Adaptée de Fan et coll., 2019²⁹



Compte tenu de la grande variation de leur incidence sur les sols, il est difficile de comprendre l'incidence potentielle de ces stratégies et de ces PGB sur la capacité du Canada à atteindre ses objectifs climatiques à long terme. La stabilité des stocks de carbone organique dans le sol est, au mieux, fragile et le carbone nouvellement stocké est facilement perdu si le sol est travaillé, par exemple pour gérer une infestation de mauvaises herbes envahissantes. Étant donné que la séquestration initiale du carbone se produit dans la zone de culture active (dans les 30 cm supérieurs du sol), elle est assujettie aux conditions météorologiques, aux perturbations et aux impacts

directs des changements climatiques. Les conséquences des changements climatiques qui perturbent le cycle normal de l'eau, comme les inondations, les sécheresses, ou la fonte de plus en plus rapide des neiges au printemps, peuvent modifier considérablement le cycle du carbone dans les horizons supérieurs du sol. Avec le temps, les microorganismes contribuent à déplacer le COS vers les horizons plus profonds, où les réservoirs de carbone sont plus stables³⁰.

Une étude récente portant sur les réserves de carbone terrestres stockées au Canada a utilisé divers outils d'acquisition de données et

une série de modèles pour déterminer les stocks relatifs de carbone dans la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et les sols profonds. Bien que la plupart des données et des analyses aient porté sur les réserves contenues dans la forêt boréale et les tourbières, l'analyse des stocks de carbone en profondeur est particulièrement intéressante. Les sols agricoles, qui sont évalués grâce à des échantillons de sol prélevés dans les zones agricoles actives, montrent les effets des perturbations. Toutefois, les analyses négligent peut-être le potentiel des réservoirs stables plus profonds, qui ne sont pas mesurés par les techniques d'échantillonnage traditionnelles³¹.

²⁸ VandenBygaart, A. J., Gregorich, E. G. et D. A. Angers. « Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and assessment of Canadian studies », *Canadian Journal of Soil Science*, 2003

²⁹ Fan, J., McConkey, B. G., Liang, B. C., Angers, D. A., Janzen, H. H., Kröbel, R., Cerkowniak, D. D. et W. N. Smith. « Increasing crop yields and root input make Canadian farmland a large carbon sink », *Geoderma*, vol. 336, 2019, p. 49–58.

³⁰ Ontl, T. A. et L. A. Schulte. « Soil Carbon Storage », *Nature Education Knowledge*, vol. 3, no 10, 2012, p. 35. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-carbon-storage-84223790/>

³¹ Sothe, C., Gonsamo, A., Arabian, J., Kurz, W. A., Finkelstein, S. A. et J. Snider. « Large soil carbon storage in terrestrial ecosystems of Canada », *Earth and Space Science Open Archive*, 2021. <https://doi.org/10.1002/ESSOAR.10507117.2>



Ces travaux appuient l'idée que plus de carbone peut être stocké sous les couches d'activité agricole qu'on ne le pensait auparavant.

Les chercheurs canadiens semblent être parvenus à un consensus selon lequel l'initiative 4 x 1000 est techniquement faisable pour les sols agricoles canadiens. La solution préconisée est la mise en œuvre du travail réduit du sol, en reconnaissant toutefois qu'il ne reste qu'une capacité supplémentaire limitée dans les sols de l'Ouest. Une augmentation de 0,4 % du COS dans les sols agricoles actuellement exploités ajouterait 16,6 Mt de C aux 30 cm supérieurs du sol et permettrait la séquestration de 60,8 Mt de CO₂ par année, ce qui représente environ 14 % de la cible du Canada pour 2030. On peut supposer que l'adoption de PGB supplémentaires pourrait augmenter ce nombre.

Cette faisabilité technique peut être favorisée par des mécanismes d'intervention complémentaires. Les crédits de carbone sont une façon d'inciter les producteurs à adopter des pratiques qui améliorent les

réserves de COS. Les marchés du carbone réglementés se concentrent sur la mesure et la réduction des émissions par l'élaboration et l'utilisation de protocoles, pour lequel un crédit de carbone est attribué. Ces crédits sont achetés par les industries réglementées qui sont autorisées à utiliser des crédits pour se conformer à au moins une partie de leurs obligations. Les crédits de carbone volontaires ne peuvent pas servir à satisfaire aux obligations réglementaires, mais peuvent être utilisés dans le cadre d'allégations environnementales. Dans les deux cas, la compensation des émissions de carbone est générée par la réduction des émissions de carbone. Les protocoles qui misent sur la séquestration du carbone plutôt que sur la réduction ont été mis de côté sur les marchés canadiens officiels en raison des problèmes de stabilité et des dépenses connexes liés à la validation et à la vérification. Le concept de compensation ou de changement à l'interne, qui implique une amélioration du bilan carbone en amont ou en aval d'une chaîne d'approvisionnement, peut être utile pour favoriser les change-

ments menant à la séquestration du carbone et, au final, à la réalisation de l'objectif³².

L'adoption de PGB est directement récompensée par l'amélioration du rendement ou de la qualité de la récolte. Les activités comme la réduction du travail du sol réduisent les coûts liés à la main-d'œuvre et au carburant, mais elles entraînent généralement des coûts plus élevés, ou des lacunes, en matière de protection phytosanitaire. En particulier, les herbicides chimiques constituent un substitut essentiel pour contrôler les mauvaises herbes, puisqu'elles ne sont pas d'être détruites par le travail du sol et la perturbation de la couche supérieure du sol qui en résulte. On peut s'attendre à ce que les herbicides deviennent de plus en plus incontournables à mesure que les changements climatiques favorisent l'invasion de nouvelles espèces de mauvaises herbes. Sans l'utilisation des herbicides, les stratégies de réduction du travail du sol sont très difficiles à mettre en œuvre avec succès.

³² My Climate - Shape Our Future. Que signifie Carbon Insetting?, [En ligne]. <https://www.myclimate.org/information/faq/faq-detail/what-is-carbon-insetting/> (Consulté le 5 février 2022)

L'adoption de certaines PGB nécessite l'acquisition de nouveaux équipements coûteux. Dans de nombreuses régions du Canada, l'accès à des équipements abordables constitue un obstacle énorme. Des mécanismes d'intervention permettant l'achat d'intrants agricoles essentiels pourraient avoir de multiples avantages, y compris l'amélioration de la séquestration du carbone à long terme.

Certains producteurs ont adopté des techniques d'« agriculture régénératrice », qui combinent systématiquement la réduction du travail du sol, les cultures de couverture, l'introduction de plantes vivaces et l'agroforesterie. Ce

type d'agriculture vise à encourager la biodiversité, à intégrer le bétail dans le système et à utiliser des intrants biologiques dans le but d'améliorer la santé des sols et, par conséquent, le rendement³³. L'utilisation de ces techniques a démontré des avantages pour certains³⁴, mais elles ne sont pas entièrement possibles dans toutes les régions du pays et n'ont pas encore démontré une adoption généralisée ou des avantages économiques pour tous³⁵.

Lorsque la séquestration du carbone est considérée comme un élément essentiel de la stratégie sur les changements climatiques, un élément clé qui est souvent

négligé et qui pourrait devenir un mécanisme d'intervention facilitant essentiel est la mesure du COS sur le terrain dans l'ensemble du pays. Un simple échantillonnage du sol, combiné à une analyse et à une modélisation plus poussées permettraient de déterminer les endroits où l'application de PGB pourrait être la plus utile et la plus rentable. La prise de telles mesures pourrait également permettre de valider les changements positifs au fil du temps. Les sols canadiens ont un rôle énorme à jouer pour assurer l'approvisionnement en alimentation humaine et animale au Canada, soutenir le commerce mondial et stabiliser et équilibrer les émissions de carbone.

³³ Régénération Canada. À propos, [En ligne]. <https://regenerationcanada.org/en/about-us/> (Consulté le 5 février 2022)

³⁴ Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K. et C. Johns. « What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes », *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.577723/BIBTEX>

³⁵ Ellen MacArthur Foundation. *Regenerative agriculture*, [En ligne]. <https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/regenerative-agriculture> (Consulté le 5 février 2022).