

Document de transfert de connaissances



© Nicolas Deschamps

DRONE
DESCHAMPS

Les haies agroforestières:

*Un potentiel de séquestration du carbone
confirmé en Montérégie*

Les haies agroforestières

Les haies agroforestières (HA) sont des alignements plus ou moins denses d'arbres ou d'arbustes plantés en bordure (parfois en bande riveraine) d'une parcelle cultivée pour protéger les cultures, les sols et les cours d'eau. Dans la littérature et dans la pratique, les HA comprennent les «haies brise-vent» [A] et les «bandes riveraines» composées d'espèces ligneuses.

Au Québec, les HA représentent le système agroforestier le plus répandu, avec une longueur totale estimée à environ 10 000 km [1]. Le taux d'adoption des HA demeure toutefois encore très faible au Québec. Par exemple, entre 2002 à 2014, moins de 3 000 km de HA, appuyées par le programme Prime-Vert du MAPAQ, ont été implantées sur les 978 000 ha de terres en grandes cultures [2]. Ainsi, moins de trois mètres de HA ont été implantées par hectare de grandes cultures au cours de cette période de douze ans.

Le développement des marchés du carbone (C) offre une opportunité économique pour

dynamiser l'adoption des HA. Le potentiel de séquestration du C dans les HA du Québec doit être précisé afin d'optimiser la compensation financière des producteurs et productrices qui font le choix d'adopter cette pratique agro-environnementale. Notamment, il faut comprendre comment ce potentiel est influencé par les différentes caractéristiques des haies, comme l'âge, la composition en espèces ou le type de paillis utilisé lors de la plantation.

À cette fin, nous avons mesuré les stocks de C dans les sols, la litière et la biomasse des arbres de 36 HA à travers la Montérégie. Le sol de chaque HA était comparé à celui de la parcelle agricole adjacente, soit à 40 m de la HA, afin d'évaluer le potentiel de séquestration du C des HA associées aux grandes cultures. Notre projet visait aussi à déterminer le rôle que peuvent jouer les caractéristiques des HA plantées (âge, composition en espèces, paillis utilisé) et des sols (texture) sur les stocks de C et leur stabilité dans les sols.



[A] Une haie agroforestière de type «haie brise-vent».



Les mécanismes de séquestration du carbone propres à l'agroforesterie

Un potentiel de séquestration du carbone avéré selon la littérature scientifique

Dans un système agricole, une exploitation peut réduire son bilan C en améliorant la gestion de ses sources d'émission. Ces stratégies incluent l'installation de toits sur les fosses à lisier, l'adoption de cultures de couverture ou de cultures pérennes herbacées, une optimisation des pratiques de fertilisation azotée et de chaulage ainsi que l'adoption de pratiques agroforestières. Le potentiel de séquestration du C des systèmes agroforestiers est largement reconnu et fait l'objet d'un consensus au sein de la communauté scientifique [3 - 6].

L'adoption de pratiques agroforestières permet de séquestrer du C à long terme au sein du système agricole à travers plusieurs mécanismes. La séquestration du C se produit lorsque les apports de C issus de la photosynthèse surpassent les pertes dues à la respiration des organismes vivants. Les principaux réservoirs de C dans une HA sont les parties aériennes de l'arbre, ses racines, sa litière ainsi que le sol. Tous les gains et pertes dans ces différents réservoirs sont comptabilisés dans le bilan C.

Les litières aériennes et souterraines des arbres peuvent contribuer à augmenter le stockage du C dans le sol [7]. La biomasse souterraine des arbres (racine et exsudats) représente un apport de C particulièrement important dans le sol. Les racines profondes

des arbres peuvent augmenter considérablement les stocks de C dans les horizons situés sous la couche arable du sol (plus de 20 cm) [8, 9]. La surface occupée par les haies agroforestières peut être exprimée en ha ou par km linéaire. Un ha de haie correspond en moyenne à 1,8 km de haie.

La biomasse des arbres agroforestiers, une alliée incontestable

La biomasse des arbres est le réservoir de C le plus important dans une HA. Une méta-analyse globale (83 sites) portant sur le potentiel de séquestration du C des HA (majoritairement arbustives) a montré que les stocks de C totaux dans les HA étaient supérieurs de 104 ± 42 tC/ha à ceux dans les parcelles cultivées [10]. La biomasse des HA contribuait à 84 % (87 ± 40 tC/ha) de cette augmentation [10]. Dans les prairies canadiennes, des chercheurs ont estimé que les stocks de C dans la biomasse aérienne des arbres des HA étudiées variaient de 11 à 105 tC/km selon l'âge des HA et les espèces qui les composent [11]. Il a été estimé par des travaux de modélisation de la dynamique du C que les taux de séquestration du C (aérien et souterrain) dans des HA implantées en Saskatchewan variaient, selon les espèces plantées, de 1,7 à 6,5 tC/km/an [12].



Les mécanismes de séquestration du carbone propres à l'agroforesterie

Des stocks de carbone organique du sol variables à travers le temps

Le sol est un réservoir majeur de C, mais il est difficile d'en estimer la quantité accumulée en raison de la complexité et de la dynamique de cet écosystème.

Selon la même méta-analyse globale mentionnée précédemment, les sols ont contribué à 16 % (17 ± 12 tC/ha) de l'augmentation des stocks de C [10]. Les stocks de C du sol des HA étaient de 32 ± 23 (écart-type) % supérieurs aux stocks de C des parcelles adjacentes cultivées annuellement [10]. L'implantation de HA sur des terres agricoles en prairie permanente n'a toutefois pas augmenté significativement les stocks de C étant donné qu'elles ont déjà des sols très riches en C [10]. Une étude menée dans le nord-ouest de la France, à une échelle régionale (21 sites), a aussi montré que le potentiel de séquestration du C du sol des HA variait grandement en fonction de leurs caractéristiques (p. ex. âge des arbres) et des propriétés du sol (p. ex. texture) [13]. Selon l'étude, la zone d'influence des HA sur les stocks de C dans les sols est majoritairement concentrée sous la haie (c.-à-d. à moins de 1 m des troncs d'arbres) et dans l'horizon 0-60 cm. En Saskatchewan, Dhillon et Van Rees [14] ont mesuré que le stock moyen de C dans les sols (0-50 cm) sous des HA était significativement supérieur de 18,6 tC/ha à celui dans des

champs adjacents en culture, sans compter le C accumulé dans la litière sous les HA (3 à 8 tC/ha). Par contre, le sol des HA plus jeunes avait tendance à perdre du C organique les premières années suivant la plantation, possiblement en raison de la préparation du sol avant la plantation. Les auteurs ont estimé que les caractéristiques des HA (p. ex. espèce d'arbre, âge, hauteur et largeur de cime) expliquaient de 59% à 74% la variabilité des stocks de C dans les sols entre les différents sites. D'autres études indiquent que le potentiel d'accumulation du C dans le sol serait accentué dans des HA matures, comparativement à de jeunes HA, sur les sols argileux plutôt que sur les sols légers et dans des HA de forte densité d'arbres [15-18]. De plus, le potentiel d'accumulation du C dans le sol par l'entremise des HA serait plus élevé lorsque le contenu en C initial est faible [10].



Les mécanismes de séquestration du carbone propres à l'agroforesterie

Et concernant le Québec?

Les connaissances applicables au Québec concernant le potentiel de séquestration du C des HA demeurent très limitées. Les taux de séquestration du C dans la biomasse pour différentes bandes riveraines agroforestières du Bas-Saint-Laurent ont été évalués à 0,41 tC/arbre pour les conifères, 0,46 pour des espèces de feuillus nobles, 0,71 pour des peupliers hybrides sur un horizon de 40 ans et 0,01 tC/arbuste pour les espèces arbustives sur un horizon de 5 à 10 ans [19]. Les stocks de C dans la biomasse aérienne et souterraine de HA riveraines de peupliers hybrides âgés de 9 ans (33-110 tC/ha) se sont révélés nettement supérieurs à ceux des bandes riveraines herbacées (3-4 tC/ha) [20].

Dans une étude récente dans des plantations expérimentales à forte densité établies au Québec (IDENT), où l'effet de compositions contrastées d'espèces d'arbres sur la concentration en C du sol a été testé, il a été démontré que la dynamique du C dans le sol à long terme peut grandement dépendre des changements du pH, de l'humidité et de la température du sol. Ces conditions du sol sont influencées en grande partie par la composition en espèces d'arbres à travers la qualité de leur litière, leur dynamique de prélèvement en eau et leurs effets sur le microclimat [21]. Dans ces mêmes

plantations, des collègues ont démontré que certains mélanges d'arbres avaient une productivité aérienne supérieure à celle attendue de leurs monocultures correspondantes [22], ce qui peut avoir des effets indirects sur les stocks souterrains de C (via une accumulation accrue de litière).

Néanmoins, il a été conclu que l'identité des arbres (p. ex. feuillu vs conifère) est plus importante que la diversité pour expliquer les différences dans les stocks de C du sol, ce qui signifie que la présence de certaines espèces ou groupes fonctionnels est plus importante que la diversité en soi [23]. Sous des conifères, le C s'accumulerait principalement dans la couche organique du sol, probablement en raison de leur litière aérienne récalcitrante, alors que l'accumulation de C se produirait principalement dans le sol minéral pour la plupart des peuplements d'espèces feuillues [23, 24]. Une méta-analyse a révélé que les taux de séquestration du C suite à l'afforestation sont plus élevés lorsque des espèces de feuillus sont plantées comparativement aux espèces de conifères [25].



Méthodologie et variables mesurées

Les haies agroforestières à travers la Montérégie

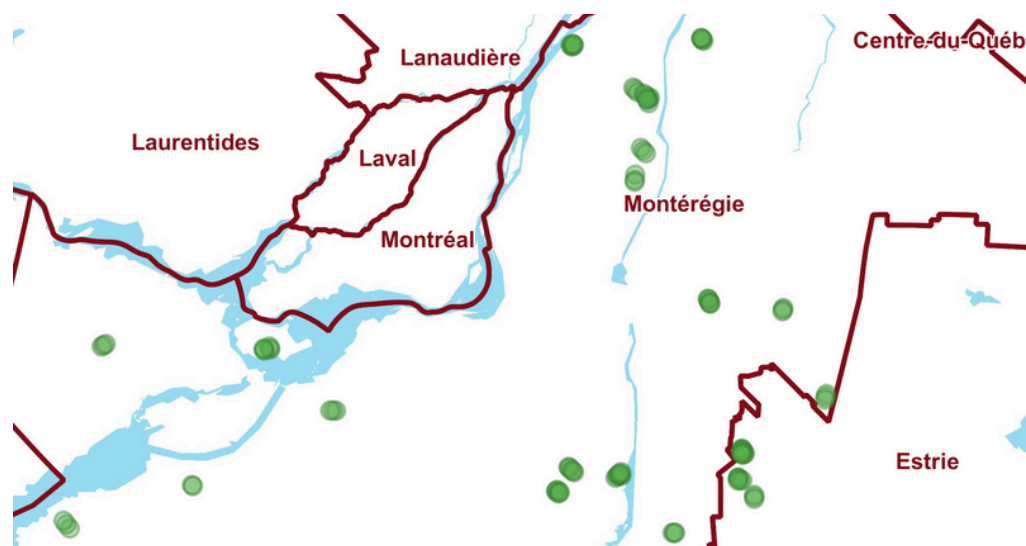
Notre objectif était de quantifier les stocks de C dans la nécromasse, le sol et la biomasse ligneuse de haies agroforestières de différents âges, compositions d'espèces et textures de sol, puis de comparer ces stocks à ceux des parcelles agricoles adjacentes.

Sites d'étude

Un total de 36 HA distinctes a été échantillonné à l'été 2022 sur les terres de 22 fermes spécialisées en grandes cultures (maïs, soya, céréales) en Montérégie [B]. Ces haies ont été choisies et classées selon leur âge (5-15 ans ou >15 ans), leur composition principale (conifères, mixtes ou feuillus), la texture du sol et le type de paillis utilisé à leur plantation (aucun/limité ou bande de plastique sur toute la longueur).

L'évaluation des stocks de carbone du sol

Dans chacune des HA, trois parcelles placées à intervalle régulier (de 80 à 200 m dépendamment de la longueur de la haie) ont été échantillonnées. Dans chacune de ces dernières, le sol minéral a été échantillonné dans deux environnements, soit sous la haie et à 40 m de celle-ci dans le champ adjacent (témoin agricole), ainsi qu'à deux profondeurs (0-20 cm et 20-50 cm) [C]. Trois carottes de sol, c'est-à-dire à 0, 5 et 10 m sur un transect parallèle à la haie, ont été prélevées pour chaque environnement et chaque profondeur, et ont été mélangées afin d'obtenir un échantillon composite représentatif (108 parcelles × 2 environnements × 2 profondeurs = 432 échantillons composites) [D]. La concentration en C de ces échantillons a ensuite été analysée en laboratoire grâce à la méthode de combustion sèche.



[B] Position géographique des 36 haies agroforestières étudiées situées majoritairement en Montérégie.



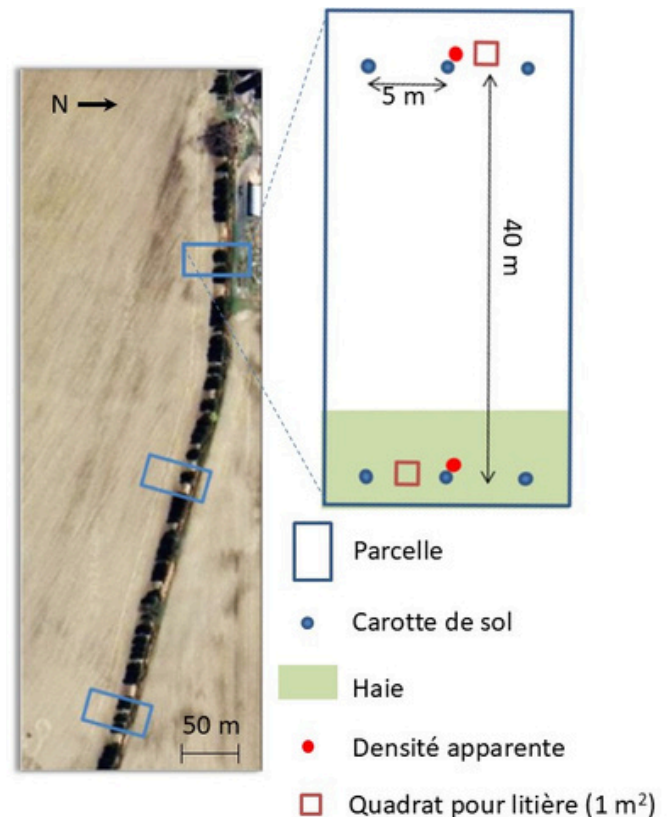
Méthodologie et variables mesurées

Dans chaque environnement et à quelques centimètres du carottage central du transect, un cylindre métallique contenant un volume précis de sol a été enfoncé verticalement afin de mesurer la densité apparente du sol entre 0 et 20 cm et entre 20 à 50 cm [E]. La masse sèche de la litière (débris ligneux fins, aiguilles, feuilles, chaumes de maïs) a été déterminée à l'aide d'un quadrat de 1m² par environnement. La texture du sol dans l'horizon 0-20 cm a été déterminée par la méthode de l'hydromètre.

Les stocks de C total dans les sols (tC/ha) sous les haies et dans les champs cultivés ont été déterminés en utilisant la densité apparente (g/cm³) et la concentration en C (%) des échantillons à 0-20 et 20-50 cm de profondeur, puis additionnés afin d'obtenir des stocks de C cumulatifs dans le 0-50 cm. Les stocks de C ont été corrigés selon l'approche de la masse équivalente [26] pour permettre la comparaison entre les données sous la haie et à 40 m de celle-ci malgré la variation en densité apparente.

L'évaluation des stocks de carbone de la litière

Les stocks de C dans la litière ont été déterminés en utilisant la masse sèche (g) et une concentration en C approximative de 44% [27], ainsi que l'aire d'échantillonnage (1 m²).



[D] Le design expérimental selon lequel le sol de chaque parcelle a été échantillonné sous la haie et à 40 m de celle-ci (témoin agricole) ainsi qu'à 50 cm de profondeur.



[C] Prélèvement d'une carotte de sol jusqu'à 50 cm de profondeur. Trois carottes de sol sont mélangées pour créer un échantillon composite afin de pallier la variabilité spatiale dans le carbone du sol.

© Antoine Magnoux



Méthodologie et variables mesurées

L'inventaire des arbres

Pour chaque parcelle et sur une longueur de 40 m, l'âge et l'abondance (nombre d'individus vivants/km) de chacune des espèces d'arbres et d'arbustes (lorsque présents) ont été dénombrés. La largeur de la bande non cultivée (emprise de la haie) a été mesurée. Le diamètre à hauteur de poitrine (à 130 cm, DHP) et la hauteur des arbres ont été déterminés pour quelques individus choisis aléatoirement par espèce. Les arbres plus petits que 8 m ont été mesurés avec une perche graduée et ceux plus grands l'ont été avec un vertex. La biomasse aérienne de ces arbres a été estimée à l'aide du calculateur de biomasse des arbres développé par Ressources naturelles Canada. Ce calculateur est basé notamment sur les équations allométriques développées par Lambert et al. [28], à l'exception de la biomasse du peuplier hybride estimée à partir de l'équation de Fortier et al. [29] développée dans un contexte agroforestier.

Pour les espèces autres que le peuplier hybride, un facteur de correction de 1,2 a été appliqué en raison de l'atténuation de la dominance apicale dans un contexte agroforestier, ce qui entraîne une couronne plus large contenant davantage de biomasse [30]. La biomasse racinaire des conifères et des feuillus a ensuite été estimée à l'aide d'équations générales [31]. Les valeurs spécifiques de la concentration

en C du bois (à l'espèce ou pour celle de l'espèce la plus proche phylogénétiquement) ont été obtenues à partir d'une base de données mondiale [32] afin de calculer le C total compris dans la biomasse.



[E] Un cylindre métallique contenant un volume précis de sol est enfoncé verticalement afin de mesurer la densité apparente du sol entre 0 et 20 cm et entre 20 à 50 cm de profondeur.

© Marc-Olivier Martin-Guay



Nos résultats en Montérégie: Sol et litière

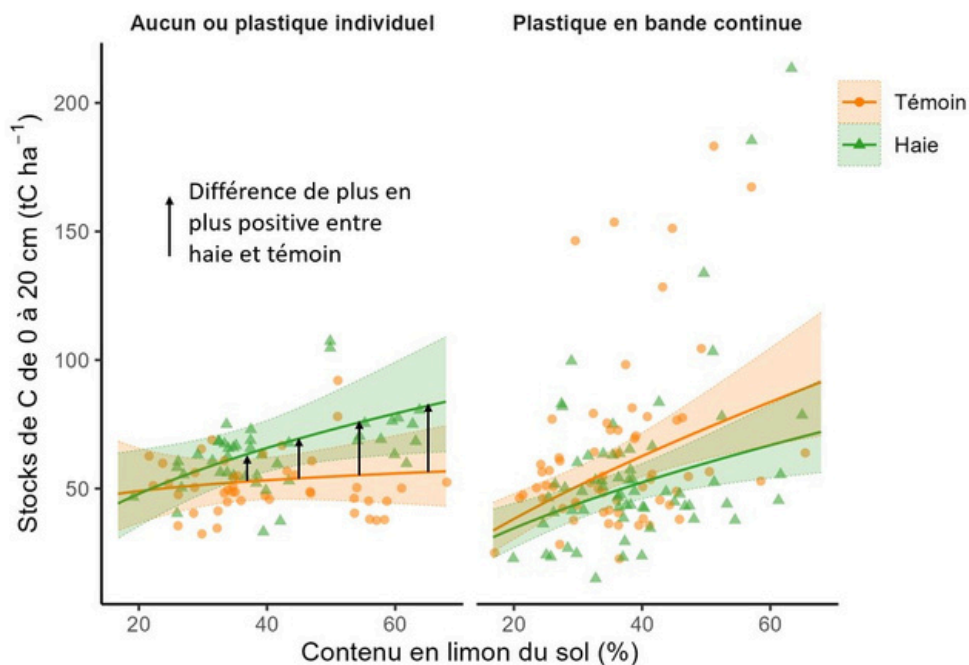
Le limon et son effet positif insoupçonné

L'analyse de l'effet de la texture du sol sur le C organique du sol a révélé des tendances intéressantes en l'absence de paillis plastique. Dans la couche superficielle (0-20 cm), l'accumulation de C sous la haie augmentait avec la teneur en limon comparativement à la parcelle agricole [F]. Pour le C dans la couche profonde (20-50 cm), l'effet (c.-à-d. la différence entre les stocks de C sous la haie et ceux dans le témoin) semble négatif avec peu de limon et de moins en moins négatif jusqu'à neutre avec l'augmentation du limon (40 m de distance). Suivant ces deux résultats, l'effet du limon était aussi positif pour l'entièreté du profil (0-50 cm). Ces résultats suggèrent que la teneur en limon favorise une

plus grande séquestration et conservation du C en l'absence de paillis de plastique, soulignant l'importance de la texture du sol dans la dynamique du C en contexte agroforestier.

Une litière plus abondante sous la haie

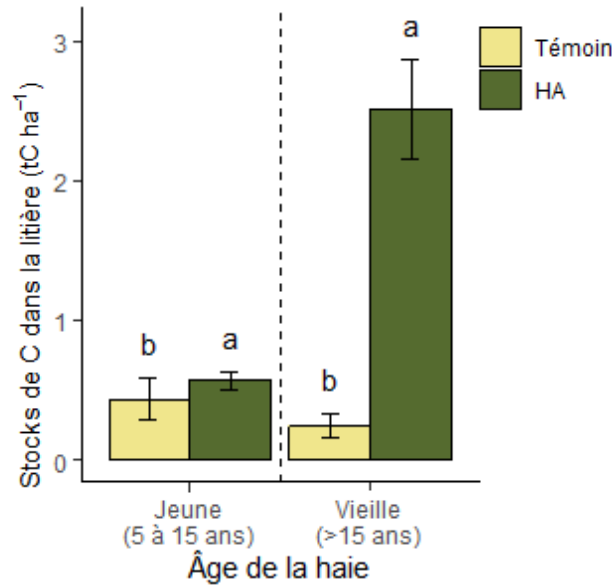
La litière sous les HA provenait principalement des arbres (ramilles, feuilles, cônes, etc.), mais également des cultures, comme les chaumes de maïs balayés par le vent, particulièrement dans les jeunes haies. L'accumulation de litière était généralement plus importante sous la haie relativement aux témoins agricoles (la plupart des champs n'avait aucune litière de culture), un effet gagnant en importance avec l'âge de la haie [G].



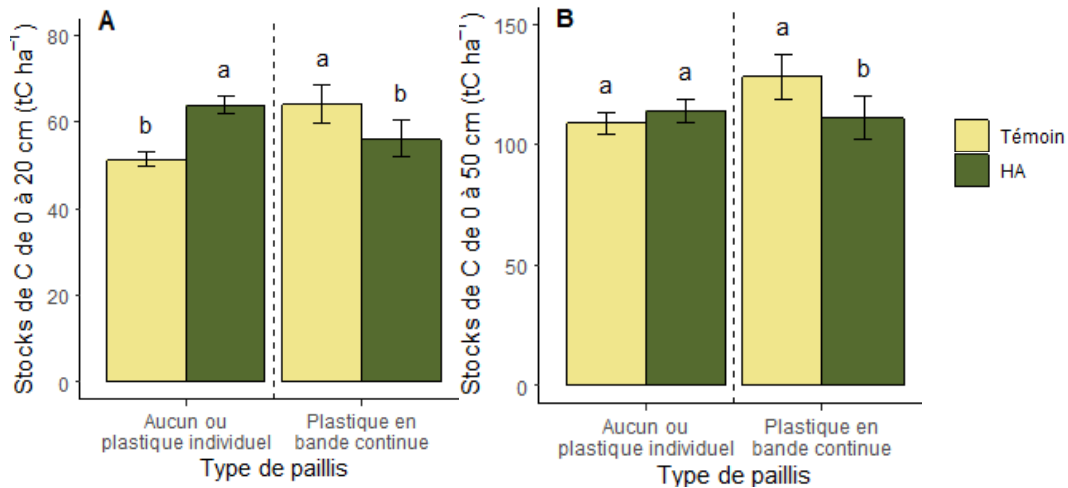
[F] La relation entre le contenu en limon du sol (%) et les stocks de carbone (tC/ha) à la surface du sol (0-20 cm) des haies agroforestières (vert) et de leurs parcelles témoins adjacentes (orange) selon le type de paillis.



Nos résultats en Montérégie: Sol et litière



[G] Comparaison entre les stocks en C dans la litière sous la haie agroforestière (vert) et dans les témoins agricoles (jaune) selon l'âge de la haie. Pour chaque division entre les âges de la haie, des lettres différentes représentent une différence significative. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types.



[H] Comparaison entre les stocks en C dans la couche de surface du sol (0 à 20 cm) (A) et les stocks en C cumulatifs du sol minéral (0 à 50 cm) (B) sous la haie agroforestière (vert) et dans les témoins agricoles (jaune) selon le type de paillis. Pour chaque type de paillis, des lettres minuscules différentes représentent une différence significative. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types.



[I] Plusieurs haies agroforestières étudiées dans le cadre de notre projet ont continué à séquestrer du carbone grâce à leur diversité, malgré une mortalité liée à la présence d'insectes ravageurs.

© Marc-Olivier Martin-Guay



Nos résultats en Montérégie: Sol et litière

Le paillis de plastique diminue le potentiel de séquestration de carbone

Les stocks de C en surface (0 - 20 cm) et les stocks de C cumulatifs (0 - 50 cm) étaient plus faibles dans les HA que les témoins lorsque le sol était recouvert d'un paillis de plastique. L'utilisation d'un paillis de plastique sur toute la longueur de la haie diminuait significativement les stocks de C dans le sol minéral de 13 % relativement aux témoins [H]. Ainsi, le paillis de plastique semble avoir créé des conditions non favorables à l'augmentation des stocks dans la couche supérieure [H]. De plus, cet effet négatif s'est répercuté sur l'ensemble du profil [H]. La barrière à l'incorporation de la litière aérienne dans le sol peut en partie expliquer cet effet négatif. De plus, il est possible que la décomposition de la matière organique ait été accélérée par des températures plus élevées sous le plastique noir. Il est aussi possible que l'absence de végétation spontanée (arbustes, herbacées) sous la haie ait limité les apports de matière organique au sol. Il serait judicieux de retirer le paillis de plastique une fois les arbres bien établis (p. ex. plus de 2,5 m de hauteur) ou bien d'utiliser un paillis organique.



[J] Une haie brise-vent composée de feuillus et de conifères.

© Marc-Olivier Martin-Guay



Nos résultats en Montérégie: Biomasse aérienne et souterraine

Feuillus versus conifères

Seulement deux facteurs semblent affecter la séquestration du C dans la biomasse des arbres de notre étude en Montérégie : l'âge et la texture du sol. En effet, qu'il s'agisse de feuillus ou de conifères [J], aucune composition de la haie n'a montré de tendance marquée à favoriser la séquestration annuelle du C. Le choix des espèces d'arbres apparaît donc peu déterminant, si ce n'est qu'une plus grande diversité d'espèces pourrait renforcer la résilience de la haie face aux perturbations présentes et futures. Par exemple, plusieurs HA étudiées dans le cadre de notre projet ont continué à séquestrer du C grâce à leur diversité, malgré la mortalité élevée des frênes causée par l'agrile [I].

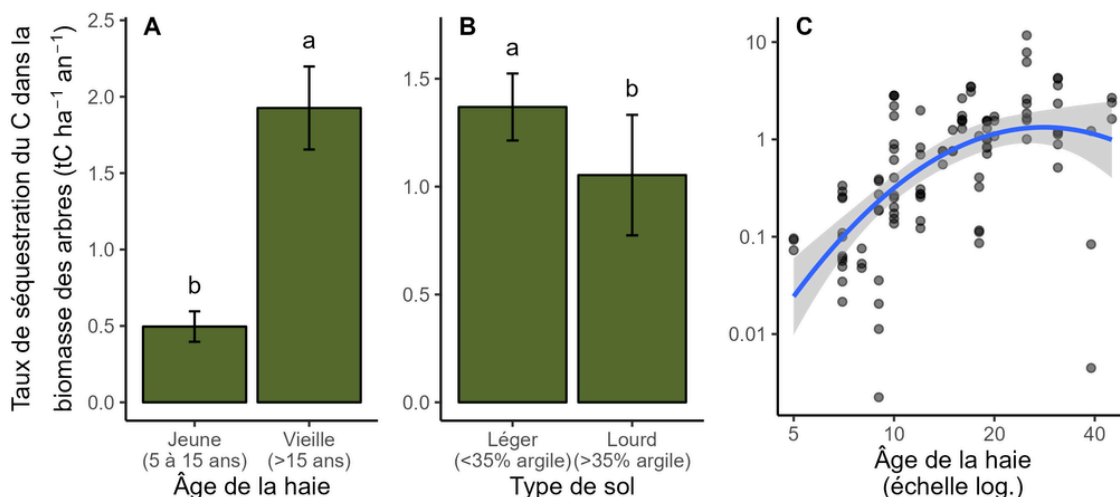
L'âge des haies agroforestières

Les HA matures (>15 ans) en Montérégie ont un taux de séquestration du C annuel dans la biomasse beaucoup plus important

qu'une jeune haie [K]. Plus l'âge des arbres augmente, plus leur taux de séquestration annuel (tC/ha/an) augmente jusqu'à ce qu'il plafonne autour de 20 ans tout en continuant à séquestrer du C à chaque année [K].

L'influence de la texture du sol sur la croissance des haies agroforestières

La croissance des arbres était supérieure dans les sols à texture légère. Les sols plus légers étaient donc plus propices à une séquestration du C accrue par les arbres (biomasse aérienne et souterraine) [K]. Dans une étude comprenant nos haies et 50 autres, Mathieu et al. [33] ont en effet trouvé que certaines espèces, notamment le mélèze, appréciaient les sols plus légers. Il est cependant possible que certains facteurs qui n'ont pas été pris en compte dans notre étude (p. ex. les intrants) aient influencé ce résultat.



[K] Taux de séquestration annuel du C dans la biomasse des arbres (aérienne et souterraine) relativement à un ha de haie selon l'âge en variable catégorique (A), le type de sol (B) et l'âge en variable continue (échelle logarithmique pour les deux axes) (C). La courbe prédite d'un modèle quadratique et ses intervalles de confiance à 95% sont montrés en C. Des lettres minuscules différentes représentent une différence significative et les barres d'erreur représentent les erreurs-types.



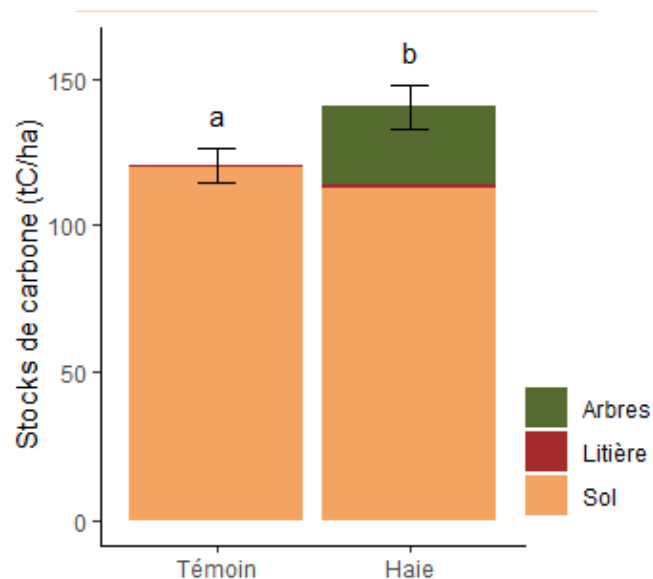
Un bilan carbone positif

Les HA (âge moyen de 17 ans) en Montérégie avaient des stocks de C de 17 % supérieurs à leurs témoins agricoles, et ce, principalement grâce à la biomasse aérienne et souterraine des arbres [L]. L'effet sur les sols était généralement neutre alors que celui sur la litière était négligeable. Les HA de plus de 15 ans ont montré le taux de séquestration de C le plus élevé, avec une augmentation des stocks de 44 tC/ha grâce à la biomasse des arbres. En revanche, les haies de moins de 15 ans ont eu un effet non significatif sur la séquestration du C, avec des stocks similaires à ceux des parcelles agricoles témoins. Le taux de séquestration annuel augmentait avec le vieillissement des haies et semblait se stabiliser autour de 20 ans. Que la haie soit composée de feuillus, de conifères ou d'un mélange, les stocks de C ne différaient pas significativement. En revanche, les haies implantées sur des sols plus légers (<35 % d'argile) ont montré une plus grande croissance des arbres, entraînant une augmentation significative de 19 % des stocks de C totaux. Pour les haies implantées sur des sols plus lourds, l'augmentation était moins marquée, à seulement 14 %, et n'était pas significative.

Le taux de séquestration moyen du C pourrait rapporter 129\$ par an pour chaque hectare de HA (environ 1,8 km) si on se base sur le prix de vente moyen des crédits compensatoires en 2023. Une même HA

en 2022 aurait rapporté annuellement 93\$/ha. Le prix de vente moyen va continuer à augmenter à travers les années [34]. Il est à noter que ce prix est uniquement associé à la séquestration effectuée par la biomasse des arbres.

Les résultats du projet confirment le potentiel de séquestration du C des HA, le type le plus répandu d'agroforesterie dans le sud du Québec. Cette pratique agro-environnementale peut ainsi contribuer à réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre des entreprises agricoles. La séquestration du C n'est qu'un des nombreux services écosystémiques offerts par les haies agroforestières. Leur intégration dans le paysage agricole serait un atout majeur pour une agriculture plus durable et résiliente.



[L] Comparaison des stocks de C entre des haies agroforestières et leurs témoins agricoles en Montérégie. Les moyennes et les erreurs-types sont montrées. Les lettres minuscules différentes représentent une différence significative.



Bibliographie

- [1] Thevathasan, N. V., Gordon, A. M., Bradley, R., Cogliastro, A., Folkard, P., Grant, R., ... Zabek, L. (2012). Agroforestry research and development in Canada: the way forward. Dans P. K. Nair et D. Garrity (Éds.), *Agroforestry – The Future of Global Land Use*, 247-283.
- [2] Anel, C., Cogliastro, A., Olivier, A. et Rivest, D. (2017). Une agroforesterie pour le Québec. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).
- [3] De Stefano, A. et Jacobson, M. (2018). Soil carbon sequestration in agroforestry systems: A meta-analysis. *Agroforestry Systems*, 92, 285-299.
- [4] Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J. et Nayak, D. R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 117-129.
- [5] Shi, L., Feng, W., Xu, J. et Kuzyakov, Y. (2018). Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation & Development*, 29(11), 3886-3897.
- [6] Muchane, M. N., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Jonsson, M., Pumariño, L. et Barrios, E. (2020). Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106899.
- [7] Lorenz, K. et Lal, R. (2014). Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 443-454.
- [8] Upson, M. A. et Burgess, P. J. (2013). Soil organic carbon and root distribution in a temperate arable agroforestry system. *Plant and Soil*, 373, 43-58.
- [9] Germon, A., Cardinael, R., Prieto, I., Mao, Z., Kim, J., Stokes, A., ... Jourdan, C. (2016). Unexpected phenology and lifespan of shallow and deep fine roots of walnut trees grown in a silvoarable Mediterranean agroforestry system. *Plant and Soil*, 401, 409-426.
- [10] Drexler, S., Gensior, A. et Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Regional Environmental Change*, 21(3), 74.
- [11] Kort, J. et Turnock, R. (1998). Carbon reservoir and biomass in Canadian farm shelterbelts. *Agroforestry Systems*, 44(2), 175-186.
- [12] Amichev, B. Y., Bentham, M. J., Kulshreshtha, S. N., Laroque, C. P., Piwowar, J. M. et Van Rees, K. C. (2016). Carbon sequestration and growth of six common tree and shrub shelterbelts in Saskatchewan, Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 97(3), 368-381.
- [13] Viaud, V. et Kunnemann, T. (2021). Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 305, 107174.
- [14] Dhillon, G. S. et Van Rees, K. C. (2017). Soil organic carbon sequestration by shelterbelt agroforestry systems in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 97(3), 394-409.
- [15] Laganriere, J., Angers, D. A. et Pare, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(1), 439-453.
- [16] Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., ... Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243-255.
- [17] Dhillon, G. S. et Van Rees, K. C. (2017). Distribution of soil organic carbon in the light and heavy fractions for six shelterbelt species and their adjacent agricultural fields in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 97(4), 732-744.
- [18] Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., ... Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 98-111.
- [19] Boulfroy, E., Babin, D., Vézina, J., Joannis, G. et Blouin, J. (2019). Optimisation de scénarios de plantations dans des bandes riveraines pour la séquestration du carbone. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), Cégep de Sainte-Foy.
- [20] Fortier, J., Truax, B., Gagnon, D. et Lambert, F. (2015). Biomass carbon, nitrogen and phosphorus stocks in hybrid poplar buffers, herbaceous buffers and natural woodlots in the riparian zone on agricultural land. *Journal of Environmental Management*, 154, 333-345.
- [21] Martin-Guay, M. O., Belluau, M., Côté, B., Handa, I. T., Jewell, M. D., Khelifa, R., ... Rivest, D. (2022). Tree identity and diversity directly affect soil moisture and temperature but not soil carbon ten years after planting. *Ecology and Evolution*, 12(1), e8509.



Bibliographie

[22] Tobner, C. M., Paquette, A., Gravel, D., Reich, P. B., Williams, L. J. et Messier, C. (2016). Functional identity is the main driver of diversity effects in young tree communities. *Ecology Letters*, 19(6), 638-647.

[23] Mayer, M., Prescott, C. E., Abaker, W. E., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G. W., ... Vesterdal, L. (2020). Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management*, 466, 118127.

[24] Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B. D. et Gundersen, P. (2013). Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests?. *Forest Ecology and Management*, 309, 4-18.

[25] Laganier, J., Angers, D. A. et Pare, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(1), 439-453.

[26] Wendt, J. W. et Hauser, S. (2013). An equivalent soil mass procedure for monitoring soil organic carbon in multiple soil layers. *European Journal of Soil Science*, 64(1), 58-65.

[27] Lee, S., Lee, S., Shin, J., Yim, J. et Kang, J. (2020). Assessing the carbon storage of soil and litter from National Forest Inventory data in South Korea. *Forests*, 11(12), 1318.

[29] Fortier, J., Truax, B., Gagnon, D. et Lambert, F. (2013). Mature hybrid poplar riparian buffers along farm streams produce high yields in response to soil fertility assessed using three methods. *Sustainability*, 5(5), 1893-1916.

[30] Zhou, X., Schoeneberger, M. M., Brandle, J. R., Awada, T. N., Chu, J., Martin, D. L., ... Mize, C. W. (2015). Analyzing the uncertainties in use of forest-derived biomass equations for open-grown trees in agricultural land. *Forest Science*, 61(1), 144-161.

[31] Li, Z., Kurz, W. A., Apps, M. J. et Beukema, S. J. (2003). Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(1), 126-136.

[32] Doraisami, M., Kish, R., Paroshy, N. J., Domke, G. M., Thomas, S. C. et Martin, A. R. (2022). A global database of woody tissue carbon concentrations. *Scientific Data*, 9(1), 284.

[33] Mathieu, A., Cogliastro, A. et Rivest, D. (2024). Drivers of tree establishment in planted windbreaks and riparian buffers: A case study of farms in southern Quebec, Canada. *Geoderma Regional*, 37, e00788.

[34] Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2024). Le marché du carbone, un outil pour la croissance économique verte! Québec, Qc, Canada : Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.



© Marc-Olivier Martin-Guay



Remerciements aux partenaires financiers

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.



Réalisé par

David Rivest Université du Québec en Outaouais

Marc-Olivier Martin-Guay Université du Québec en Outaouais

Émilie Maillard Agriculture et Agroalimentaire Canada

Vincent Poirier Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Daphnée Decelles Université du Québec en Outaouais

Personne-ressource pour plus d'information

David Rivest, Ph.D.

Université du Québec en Outaouais
Institut des sciences de la forêt tempérée

david.rivest@uqo.ca

819-595-3900 Poste 2937



Référence à citer

Rivest D., Martin-Guay M.O., Decelles D., Maillard E., Poirier V. 2024. Les haies agroforestières : Potentiel de séquestration du carbone confirmé en Montérégie. Document de transfert de connaissances. Université du Québec en Outaouais. 17 p.