



Développement de systèmes agroforestiers intercalaires de deuxième génération au Québec

Introduction

Les systèmes agroforestiers intercalaires (SAI) consistent en la plantation de rangées d'arbres largement espacées les unes des autres, de façon à pouvoir cultiver des plantes agricoles dans les allées disposées entre les rangées d'arbres. Cet espace doit être suffisant pour permettre le passage de la machinerie agricole, y compris de rampes d'épandage de grande dimension. En couvrant de façon homogène l'ensemble d'une parcelle agricole, les SAI diffèrent des haies agroforestières, installées en bordure des champs, qui sont mieux connues et plus répandues. Pour leur part, les SAI demeurent relativement peu fréquents au Québec, où ils couvriraient près de 200 ha [1].

Diverses recherches récentes menées au Québec et en Ontario ont permis de démontrer que les SAI peuvent répondre à plusieurs enjeux de l'agroécosystème, dont la conservation des sols, la biodiversité, la qualité de l'eau, l'adaptation et la lutte aux changements climatiques, ainsi que l'attractivité des territoires ruraux [1, 2, 3]. Ces recherches ont toutefois été réalisées sur des SAI dits de « première génération », où de très faibles écartements entre les rangées d'arbres (8-15 m) ont été expérimentés. Or, ces faibles écartements peuvent devenir rapidement un facteur limitant pour la production de grandes cultures.

Depuis le début des années 2010, près d'une dizaine de sites expérimentaux sur des SAI améliorés, dits de « deuxième génération », ont été implantés chez divers producteurs agricoles du Québec, dans un contexte de production intensive de grandes cultures. De plus larges écartements (25-40 m) entre les rangées d'arbres y sont adoptés pour limiter la compétition arbre-culture pour les ressources et optimiser les rendements des cultures et la rentabilité des systèmes. Ce réseau d'envergure teste plusieurs espèces d'arbres qui sont associées à diverses cultures agricoles, dont du maïs, du soya, des céréales et des cultures fourragères. Il offre une excellente opportunité de quantifier le rendement de SAI mieux adaptés aux réalités des producteurs de grandes cultures. Ce document effectue un tour d'horizon des principales connaissances acquises des SAI expérimentaux de première génération au Québec et en Ontario. Un exemple concret d'un SAI de deuxième génération implanté à la Ferme Bertco, dans le Centre-du-Québec, est ensuite montré. Quelques résultats de rendement des cultures dans ce SAI et dans d'autres SAI du réseau de sites expérimentaux sont présentés. ●



Parcelle agroforestière expérimentale à Saint-Paulin / © DAVID RIVEST



SAI de première génération implanté en 2004 à St-Paulin. Jusqu'en 2016, les rangées de feuillus nobles alternaient avec des rangées de peupliers à tous les 12 m (A). La récolte des peupliers en 2016 a permis d'augmenter l'écartement entre les rangées de feuillus nobles à 24 m (B).

/ © NICOLAS DESCHAMPS - DRÔNE DESCHAMPS



SAI de deuxième génération de six ans avec des écartements de 40 m à Baie-du-Febvre, dans le Centre-du-Québec. / © NICOLAS DESCHAMPS / DRÔNE DESCHAMPS

Les enseignements tirés des SAI de première génération

Les SAI au service des sols et de la lutte aux changements climatiques

Grâce à la litière de feuilles d'arbres et à la décomposition de leurs racines fines, les SAI peuvent contribuer à améliorer le taux de matière organique et la fertilité chimique du sol [2, 4, 5]. Des études réalisées au Québec et en Ontario ont aussi montré que les SAI contribuent à accroître l'abondance, la diversité et la stabilité d'organismes du sol (ex. bactéries, champignons, microarthropodes, vers de terre) ayant un rôle positif sur la santé globale des sols et la productivité des cultures agricoles [5-11]. Les SAI peuvent aussi contribuer à la lutte aux changements climatiques grâce à leur grande capacité de séquestration du carbone dans les arbres et les sols, ainsi qu'à leur potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre par les sols [12-19].



Les SAI améliorent la santé des sols et contribuent à la lutte aux changements climatiques. / ©MICHEL CARIGNAN

Les SAI pour améliorer la qualité de l'eau et la biodiversité

Des chercheurs ont montré que les arbres dans les SAI, pour éviter en partie la compétition racinaire des cultures, développent leur système racinaire et puisent leur eau plus profondément dans des horizons qui sont peu exploités par les cultures [20]. Ainsi, les SAI peuvent freiner la migration vers les nappes phréatiques et les cours d'eau d'éléments minéraux mobiles, de résidus de pesticides et de certaines bactéries dommageables pour la santé humaine [21, 22]. Par ailleurs, les SAI créent des habitats plus diversifiés que les systèmes agricoles conventionnels. Ils sont donc susceptibles de jouer un rôle significatif dans la conservation et la restauration de la biodiversité. Par exemple, des chercheurs en Ontario ont observé que comparativement aux monocultures, les SAI attirent une plus grande diversité d'oiseaux non nuisibles aux cultures [23]. Ils ont aussi mesuré que les SAI comportaient plus de parasitoïdes, de pollinisateurs et de détritivores, qui sont tous des insectes utiles aux cultures, et moins d'insectes herbivores nuisibles [2].



Les SAI augmentent la diversité des oiseaux non nuisibles pour l'agriculture. / ©PIXABAY (LIBRE DE DROITS)



Une expérience à l'Université de Guelph a montré une plus grande stabilité du rendement du soya face à une réduction de la pluie en SAI. / ©JESSIE FURZE

Les SAI pour augmenter la stabilité des rendements face aux fluctuations climatiques

On s'intéresse aussi de plus en plus au potentiel des SAI à favoriser l'adaptation des agroécosystèmes aux changements climatiques. Des études au Québec et en Ontario ont par exemple démontré que les SAI peuvent augmenter la stabilité des rendements des cultures face à des fluctuations importantes des précipitations [5, 24]. Ces recherches suggèrent ainsi que l'adoption à grande échelle de tels systèmes pourrait limiter, dans le futur, lors des saisons affectées par des événements climatiques extrêmes, la dépendance des producteurs agricoles aux différents programmes gouvernementaux de gestion des risques.

Produire différemment en SAI pour le bénéfice de la société

Au fur et à mesure que les arbres grandissent en SAI, leur ombrage peut s'accroître et devenir, comme le suggèrent différentes recherches au Québec et en Ontario, un facteur limitant la productivité de grandes cultures [25-28]. Plusieurs options peuvent contribuer à maîtriser cette concurrence pour la lumière : privilégier de larges écartements entre les rangées d'arbres, choisir des mélanges d'espèces ayant des taux de croissance variés, orienter les rangées selon un axe nord-sud et procéder à des éclaircies et à des élagages. Les arbres, pour leur part, peuvent être hautement productifs en SAI [29, 30]. Cette grande productivité peut

s'expliquer par un plus grand accès à la lumière, mais aussi par la récupération, par leurs racines, d'une proportion importante des résidus de la fertilisation qui échappent aux cultures associées. Des chercheurs ont estimé que la somme des bénéfices économiques privés (bois et produits agricoles) et non marchands (ex. pollinisation, limitation de l'érosion, régulation du climat, de la qualité de l'eau, des sols et de l'air) d'un SAI, dont les caractéristiques ont été modélisées dans le contexte du Québec, était nettement supérieure à celle d'un système agricole de grandes cultures dépourvu d'arbres [31]. Des réflexions sont en cours pour évaluer les options de paiements aux producteurs agricoles afin de reconnaître les bénéfices non marchands qu'ils offrent à l'ensemble de la population. ●



Les arbres des SAI ont une croissance rapide et permettent de mieux valoriser l'eau, les éléments minéraux du sol et le rayonnement solaire disponibles. / ©ALAIN COGLIASTRO



Parcelle agroforestière expérimentale
à la Ferme Bertco, à Baie-du-Febvre.

© NICOLAS DESCHAMPS - DRÔNE DESCHAMPS

DRONE
DESCHAMPS

Vers des SAI de deuxième génération

Le cas de la Ferme Bertco

La Ferme Bertco, située à Baie-du-Febvre, dans le Centre-du-Québec, gère un troupeau de 72 vaches laitières Holstein de race pure et 165 ha de terres en cultures. Une rotation des cultures intégrant le maïs, le soya, les petites céréales et la luzerne y est privilégiée. La ferme est dans une zone agricole à fort potentiel agronomique. Depuis plusieurs années, les producteurs agricoles de la Ferme Bertco (Jacques et Marc Côté) ont développé et adopté plusieurs pratiques agroenvironnementales innovantes, dont le semis direct sous couverture végétale et l'agroforesterie. Ils ont implanté près de 6 km de haies brise-vent depuis le début des années 2005 ainsi qu'un SAI sur une parcelle de 10 ha en 2012.

Le dispositif expérimental

Le SAI comprend quatre rangées simples d'arbres espacées aux 40 m. Chacune des rangées est composée d'un feuillu à bois noble à croissance modérée, planté en alternance avec un peuplier hybride à croissance rapide. Cet arrangement spatial permet la création d'un microclimat favorable à la production des feuillus nobles et des cultures ainsi que des revenus issus de la récolte du bois mieux répartis dans le temps [32]. Les arbres ont été plantés selon un espacement de 5 m sur le rang. La densité de plantation est donc de 50 arbres par ha. Les cultures étaient la luzerne (2012-2015), le soya (2016) et le maïs (2017). Le dispositif expérimental a été planifié de façon à comparer la performance de six espèces feuillues de grande valeur ayant des stratégies de croissance contrastées : caryer ovale, chêne à gros fruits, chêne bicolore, chêne rouge, érable à sucre et

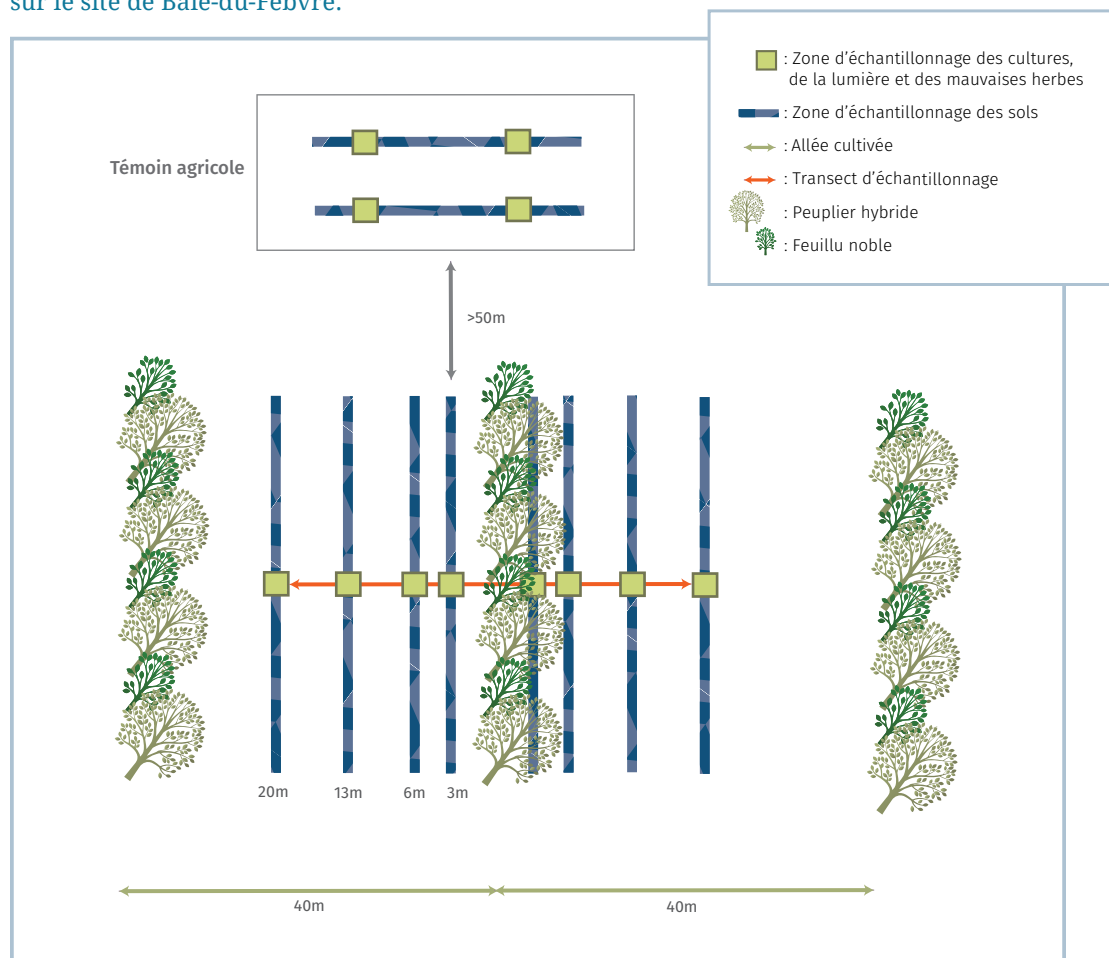
noyer noir. Le dispositif permet aussi de comparer des parcelles agricoles témoins, comprenant une culture agricole sans arbre, à des parcelles en SAI. Les parcelles expérimentales sont répétées dans différents blocs expérimentaux. Les rangées d'arbres sont installées sur une bande d'herbacées non cultivée large de 1,5 m. Le site est composé de grandes tournières disposées aux extrémités des rangées d'arbres, ce qui permet une circulation aisée de la machinerie agricole. La perte d'espace cultivable de la parcelle résultant de l'ajout des rangées d'arbres est de 3 %.

Les variables mesurées

L'échantillonnage des variables mesurées dans les parcelles agroforestières a été réalisé le long d'un transect perpendiculaire à la rangée d'arbres (voir figure 1). Des deux côtés de la rangée d'arbres, les variables ont été mesurées à quatre distances : 3 m, 6 m, 13 m et 20 m. La proportion de lumière totale transmise a été estimée pour la période du 15 juin au 30 septembre 2016 par l'analyse de photos hémisphériques. L'humidité du sol en surface (0-10 cm) a été estimée à l'aide d'un humidimètre à quatre reprises pendant les étés 2017 et 2018.

La fertilité chimique du sol (pH, C total, N total, P extractible et capacité d'échange cationique) a été déterminée en août 2016 à partir d'échantillons composites de sol (0-20 cm). Le taux d'envahissement des cultures par les mauvaises herbes a été estimé au début du mois d'août, en 2017 et 2018, par des mesures visuelles. Le rendement en grains du soya (2016) et du maïs (2017), au stade de leur maturité, a été déterminé par des récoltes en micro-parcelles (voir figure 1).

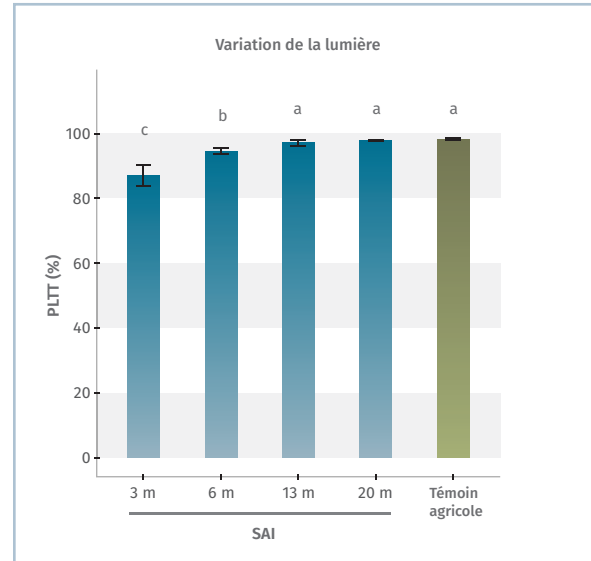
FIGURE 1. Dispositif expérimental et plan d'échantillonnage dans un bloc expérimental sur le site de Baie-du-Febvre.



Résultats

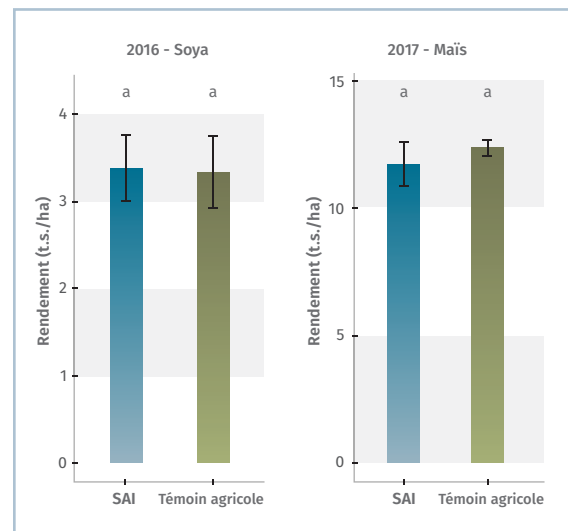
En mai 2016, la hauteur moyenne des feuillus nobles était de 4 m et celle des peupliers hybrides de 8 m. La hauteur des feuillus nobles, cinq ans après plantation, différait peu entre les espèces testées [33]. Par contre, le taux de survie de l'érable à sucre et du caryer ovale (environ 60 %) était inférieur à celui des autres espèces (80-90 %). La proportion de lumière totale transmise était la plus faible à 3 m de la rangée d'arbres (environ 85 %), intermédiaire à 6 m (environ 92 %) et la plus élevée aux deux distances les plus éloignées de la rangée d'arbres et dans le témoin agricole (voir figure 2). Aucun effet significatif du SAI sur l'humidité du sol et les propriétés chimiques du sol n'a été mesuré, ce qui suggère l'absence d'une concurrence souterraine des arbres pour les ressources du sol. Le taux d'envahissement des cultures par les mauvaises herbes dans le SAI était équivalent entre les distances et ne différait pas de celui dans le témoin agricole. Les rendements en grains de soya (2016) et de maïs (2017) dans les allées du SAI (toutes les distances combinées) étaient comparables à ceux dans les témoins agricoles (voir figure 3). ●

FIGURE 2. Effet d'un SAI de cinq ans sur la proportion de lumière totale transmise (PLTT) sur le site de Baie-du-Febvre.



Les barres verticales indiquent l'écart-type. Les moyennes qui partagent une même lettre ne sont pas significativement différentes à $P < 0,05$ (test de Tukey).

FIGURE 3. Effet d'un SAI sur le rendement du soya et du maïs sur le site de Baie-du-Febvre.



Les barres verticales indiquent l'écart-type. Les moyennes qui partagent une même lettre ne sont pas significativement différentes à $P < 0,05$ (test de Tukey).

Pourquoi adopter un SAI?

Le point de vue de Jacques Côté, producteur agricole

QUELLES ONT ÉTÉ VOS MOTIVATIONS À EXPÉRIMENTER UN SAI SUR VOTRE FERME?

« Les changements climatiques sont de plus en plus évidents. Il faut que nos pratiques agricoles s'adaptent à ces changements. Il n'est plus rare maintenant d'observer une très faible couverture de neige dans les champs pendant de longues périodes durant l'hiver. Comme nos rotations intègrent la luzerne et des céréales d'hiver, la conservation de la neige dans les champs l'hiver est très importante pour assurer la protection des cultures contre le gel. Puisque les arbres dans les SAI sont distribués uniformément dans une parcelle agricole, nous avons eu l'intuition que ces systèmes pourraient favoriser une meilleure rétention de la neige dans les

LES ARBRES DANS VOTRE SAI VOUS COMPLIQUENT-ILS LA TÂCHE?

« Très honnêtement, les arbres n'ont pas changé grand-chose à nos opérations. L'écartement entre les rangées et les tournières ont été bien planifiées pour permettre le passage de la rampe de pulvérisation de 36 m que nous employons. L'opérateur qui fait les travaux de pulvérisation à forfait ne s'est jamais plaint de la présence des arbres. De notre côté, on n'a pas noté de problème particulier avec les opérations de semis ou pendant les récoltes de foin. Il n'y a peut-être que quelques branches de peupliers qui poussent très vite qui ont frôlé la cabine de la batteuse de maïs cette année. Un élagage supplémentaire l'an prochain règlera sûrement ce petit enjeu et mettra les arbres hors d'atteinte de la machinerie. En



Selon le producteur agricole Jacques Côté de la Ferme Bertco, l'adoption des SAI constitue une solution à envisager dans le contexte de l'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques. / ©DAVID GAUDET - INTERVALLE FILM

champs, de façon à augmenter la survie de ces cultures. Aussi, nous croyons que les SAI peuvent tempérer pendant l'été les effets négatifs des fortes fluctuations climatiques sur les cultures. Nous avons également l'intuition qu'ils améliorent la qualité biologique des sols. »

fait, il vrai que les arbres demandent des soins d'entretien. On a par exemple dû tuteurer quelques arbres et remplacer des arbres morts. Si on veut qu'ils poussent bien, sans nuire aux cultures, il faut bien les tailler et les élaguer. À travers nos nombreuses tâches, il faut trouver du temps pour apporter ces soins aux arbres. Sinon, il faut s'assurer que des personnes compétentes puissent le faire pour nous. Par contre, contrairement aux animaux ou aux cultures qui demandent des soins à des moments très précis, l'avantage avec les arbres est que notre fenêtre de temps pour intervenir dans une année est beaucoup plus grande. »

**AVEZ-VOUS FAIT DES OBSERVATIONS PERSONNELLES
QUI MÉRITERAIENT D'ÊTRE ÉTUDIÉES
PLUS EN PROFONDEUR
PAR DES TRAVAUX DE RECHERCHE?**

« Cette année, parmi toutes nos parcelles cultivées en maïs, c'est notre parcelle cultivée en SAI qui a offert les meilleurs rendements selon nos observations personnelles. Selon ce que nous avons lu sur le sujet, les systèmes agroforestiers peuvent apporter beaucoup de matière organique dans les sols, ce qui peut favoriser la rétention de l'eau dans les sols. L'ombrage modéré des arbres peut aussi possiblement limiter le stress

des cultures pendant des périodes très chaudes qui favorisent l'assèchement des sols. À l'opposé, les arbres peuvent prélever de l'eau et augmenter son infiltration dans le sol pendant les périodes où les précipitations sont abondantes et où les champs sont saturés en eau. Cette année, on a eu beaucoup de précipitations au printemps et une sécheresse en septembre. Il est possible que les arbres aient contribué à atténuer les effets de ces conditions défavorables au maïs. La résilience des cultures face aux changements climatiques en agroforesterie est un aspect qui mériterait certainement d'être étudié plus en profondeur. » ●

Rendement des cultures dans cinq autres SAI de deuxième génération

En 2016 et 2017, le rendement de différentes cultures a été déterminé sur cinq autres sites expérimentaux similaires à celui de Baie-du-Febvre : Pointe-Fortune (implanté en 2011, cultures fourragères, 25 m d'écartement), Hudson (2011, cultures fourragères, 25 m d'écartement), St-Télésphore (2014, maïs et blé, 38 m), St-Ubalde (2013, culture fourragère, 33 m), St-André-de-Kamouraska (2013, haricot noir et soya, 33 m) [34]. Une réduction du rendement des cultures en SAI (toutes les distances combinées) n'a été mesurée que sur le site de St-André-de-Kamouraska, en 2016. Une réduction significative du rendement en haricot noir a été observée sur ce site à proximité des rangées d'arbres, où un fort

envahissement de la culture par les mauvaises herbes a aussi été observé. Il est possible que l'épandage des herbicides dans le SAI ait été moins uniforme près des rangées d'arbres, rendant leur effet sur l'élimination des mauvaises herbes plus hétérogène. Autrement, en 2016 et 2017, sur tous les sites, le rendement des cultures en SAI était équivalent à celui dans le témoin agricole. Nos résultats indiquent ainsi que, si les mauvaises herbes sont bien maîtrisées dans les allées intercalaires, les jeunes SAI intégrant de larges écartements d'arbres n'ont pas d'effets négatifs sur la production agricole. ●



Récolte du maïs dans un SAI de deux ans sur le site de St-Télésphore, en Montérégie. / ©ALAIN COGLIASTRO



SAI de deux ans intégrant une culture fourragère sur le site de St-Ubalde, dans la région de la Capitale-Nationale.

/ ©ALAIN COGLIASTRO

Conclusion

Les recherches récentes effectuées au Québec et en Ontario ont démontré l'intérêt des SAI pour améliorer la santé des sols, la qualité de l'eau et la biodiversité en milieu agricole. Elles indiquent aussi que les SAI constituent une solution efficace pouvant permettre l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à ces changements. Les résultats préliminaires obtenus dans différents jeunes SAI expérimentaux de deuxième génération ont montré des rendements satisfaisants, généralement équivalents à ceux mesurés dans des champs témoins dépourvus d'arbres. Ces rendements en SAI de deuxième génération semblent donc davantage prometteurs que ceux obtenus dans des SAI de première génération. Les connaissances actuellement disponibles permettent d'envisager le déploiement à grande échelle de SAI bien adaptés à la réalité des producteurs de grandes cultures. Des recherches

supplémentaires sont toutefois nécessaires afin d'optimiser le potentiel de production des SAI et leur rentabilité. Il faudrait par exemple déterminer les meilleures options techniques pour favoriser la productivité des SAI, tant sur le plan de la régie des cultures agricoles (densité des semis, distance entre la culture et les lignes d'arbre, maîtrise uniforme des mauvaises herbes) que de la gestion des arbres (format des plants mis en terre, modalités de plantation et de protection, stratégies de tailles d'entretien et de formation). Aussi, des efforts de recherche doivent être orientés vers la sélection de variétés de plantes agricoles tolérant bien un ombrage modéré. Enfin, des recherches futures sont nécessaires pour intégrer le stade évolutif des arbres et la variation des conditions climatiques dans les prévisions de la production agricole en SAI. ●



© MAXIME CARRIER

Références

- [1] Anel B, Cogliastro A, Olivier A, Rivest D. 2017. Une agroforesterie pour le Québec. Document d'orientation et de réflexion, Comité agroforesterie du CRAAQ. CRAAQ, Québec.
- [2] Thevathasan N, Gordon AM. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agrofor Syst* 61: 257-268.
- [3] Thevathasan NV, Gordon AM, Bradley B, Cogliastro A, Folkard P, Grant R, Robert Grant, Kort J, Liggins J, Njenga F, Olivier A, Pharo C, Powell G, Rivest D, Schiks T, Trotter D. 2012. Agroforestry research and development in Canada: the way forward. *Adv Agrofor* 9: 247-283.
- [4] Thevathasan NV, Gordon AM. 1997. Poplar leaf biomass distribution and nitrogen dynamics in a poplar-barley intercropped system in southern Ontario, Canada. *Agrofor Syst* 37: 79-90.
- [5] Rivest D, Lorente M, Olivier A, Messier C. 2013. Soil biochemical properties and microbial resilience in agroforestry systems: Effects on wheat growth under controlled drought and flooding conditions. *Sci Total Environ* 463-464: 51-60.
- [6] Price GW, Gordon AM. 1999. Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agrofor Syst* 44: 141-149.
- [7] Chiffot V, Rivest D, Olivier A, Cogliastro A, Khasa D. 2009. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. *Agric Ecosyst Environ* 131: 32-39.
- [8] Lacombe S, Bradley RL, Hamel C, Beaulieu C. 2009. Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agric Ecosyst Environ* 131: 25-31.
- [9] Bainard LD, Koch AM, Gordon AM, Klironomos JN. 2012. Temporal and compositional differences of arbuscular mycorrhizal fungal communities in conventional monocropping and tree-based intercropping systems. *Soil Biol Biochem* 45: 172-180.
- [10] Doblaz-Miranda E, Paquette A, Work T. 2014. Intercropping trees' effect on soil oribatid diversity in agro-ecosystems. *Agrofor Syst* 88: 671-678.
- [11] Furze JR, Martin AR, Nasielski J, Thevathasan NV, Gordon AM, Isaac ME. 2017. Resistance and resilience of root fungal communities to water limitation in a temperate agroecosystem. *Ecol Evol* 7: 3443-3454.
- [12] Peichl M, Thevathasan NV, Gordon AM, Huss J, Abohassan RA. 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agrofor Syst* 66: 243-257.
- [13] Bambrick AD, Whalen JK, Bradley R, Cogliastro A, Gordon AM, Olivier A, Thevathasan NV. 2010. Spatial heterogeneity of soil organic carbon in tree-based intercropping systems in Quebec and Ontario, Canada. *Agrofor Syst* 79: 343-353.
- [14] Beaudette C, Bradley RL, Whalen JK, McVetty PBE, Vessey K, Smith DL. 2010. Tree-based intercropping does not compromise canola (*Brassica napus* L.) seed oil yield and reduces soil nitrous oxide emissions. *Agric Ecosyst Environ* 139: 33-39.
- [15] Evers AK, Bambrick A, Lacombe S, Dougherty MC, Peichl M, Gordon AM, Thevathasan NV, Whalen J, Bradley RL. 2010. Potential greenhouse gas mitigation through temperate tree-based intercropping systems. *Open Agric J* 4: 49-57.
- [16] Borden KA, Isaac ME, Thevathasan NV, Gordon AM, Thomas SC. 2014. Estimating coarse root biomass with ground penetrating radar in a tree-based intercropping system. *Agrofor Syst* 88: 657-669.
- [17] Wotherspoon A, Thevathasan NV, Gordon AM, Voroney RP. 2014. Carbon sequestration potential of five tree species in a 25-year-old temperate tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agrofor Syst* 88: 631-643.
- [18] Winans K, Whalen J, Rivest D, Cogliastro A, Bradley R. 2016. Carbon Sequestration and Carbon Markets for Tree-Based Intercropping Systems in Southern Quebec, Canada. *Atmosphere* 7(2): 17.
- [19] Cuellar MA, Allaire SE, Lange S, Bradley RL, Parsons WFJ, Rivest D, Cogliastro A. 2017. Greenhouse gas dynamics in a tree-based intercropping system. *Can J Soil Sci* 97: 382-393.
- [20] Link CM, Thevathasan NV, Gordon AM, Isaac ME. 2015. Determining tree water acquisition zones with stable isotopes in a temperate tree-based intercropping system. *Agrofor Syst* 89: 611-620.
- [21] Dougherty MC, Thevathasan NV, Gordon AM, Lee H, Kort J. 2009. Nitrate and *Escherichia coli* NAR analysis in tile drain effluent from a mixed tree intercrop and monocrop system. *Agric Ecosyst Environ* 131: 77-84.
- [22] Bergeron M, Lacombe S, Bradley RL, Whalen J, Cogliastro A, Jutras MF, Arp P. 2012. Reduced soil nutrient leaching following the establishment of tree-based intercropping systems in eastern Canada. *Agrofor Syst* 83: 321-330.
- [23] Gibbs S, Koblenz H, Coleman B, Gordon AM, Thevathasan NV, Williams P. 2016. Avian diversity in a temperate tree-based intercropping system from inception to now. *Agrofor Syst* 90: 905-916.
- [24] Nasielski J, Furze JT, Bargaz A, Thevathasan NV, Isaac ME. 2015. Agroforestry promotes soybean yield stability and N_2 -fixation under water stress. *Agron Sustain Dev* 35(4): 0.
- [25] Reynolds PE, Simpson JA, Thevathasan NV, Gordon AM. 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecol Eng* 29: 362-371.
- [26] Rivest D, Cogliastro A, Vanasse A, Olivier A. 2009. Production of soybean associated with different hybrid poplar clones in a tree-based intercropping system in southwestern Québec, Canada. *Agric Ecosyst Environ* 131: 51-60.
- [27] Bouttier L, Paquette A, Messier C, Rivest D, Olivier A, Cogliastro A. 2014. Vertical root separation and light interception in a temperate tree-based intercropping system of Eastern Canada. *Agrofor Syst* 88: 693-706.
- [28] Peng X, Thevathasan NV, Gordon AM, Mohammed I, Gao P. 2015. Photosynthetic response of soybean to microclimate in 26-year-old tree-based intercropping systems in southern Ontario, Canada. *PLoS ONE* 10(6): 1-10.
- [29] Rivest D, Cogliastro A, Olivier A. 2009. Tree-based intercropping systems increase growth and nutrient status of hybrid poplar: a case study from two Northeastern American experiments. *J Environ Manage* 91: 432-440.
- [30] Rivest D, Cogliastro A, Bradley RL, Olivier A. 2010. Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. *Agrofor Syst* 80: 33-40.
- [31] Alam M, Olivier A, Paquette A, Dupras J, Revéret JP, Messier C. 2014. First general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of temperate tree-based intercropping systems demonstrates substantial benefits for the provision of market and non-market services. *Agrofor Syst* 88: 679-91.
- [32] Rivest D, Olivier A, Gordon A. 2010. Les systèmes de cultures intercalaires avec arbres feuillus : jumeler production de bois et production agricole tout en protégeant l'environnement. Gouvernement du Canada. ISBN 978-1-100-94279-7.
- [33] Rivest D, Cogliastro A. 2018. Establishment success of seven hardwoods in a tree-based intercropping system in southern Quebec, Canada. *Agroforestry Systems*. Sous Presse.
- [34] Réseau de sites de démonstration en agroforesterie du CRAAQ. <http://outils.craaq.qc.ca/reseau-de-sites-de-demonstration-en-agroforesterie>. ●

Ce document a été rédigé par :

David Rivest, professeur en agroforesterie au département des sciences naturelles de l'Université du Québec en Outaouais

Maxime Carrier, étudiant à la maîtrise en biologie à l'Université du Québec en Outaouais

Félix-Antoine Rhéaume-Gonzalez, étudiant à la maîtrise en agroforesterie à l'Université Laval

Alain Olivier, professeur en agroforesterie à la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval

Alain Cogliastro, botaniste chercheur au Jardin botanique de Montréal, professeur associé à l'Université de Montréal, Institut de recherche en biologie végétale

Référence suggérée : Rivest D, Carrier M, Gonzalez F-A, Olivier A, Cogliastro C. 2018.

Développement de systèmes agroforestiers intercalaires de deuxième génération au Québec.

Groupe interdisciplinaire de recherche en agroforesterie (GIRAF), Québec.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'accord Cultivons l'avenir 2 conclu entre le ministre de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Des remerciements sincères sont adressés aux producteurs agricoles et propriétaires qui ont participé aux projets expérimentaux réalisés sur leurs propriétés.

Photos en page couverture

Système agroforestier intercalaire à Baie-du-Febvre en 2013 (luzerne, ©David Rivest) et 2017 (maïs, ©Alain Cogliastro).

Graphisme - Maksud graphisme



POUR PLUS D'INFORMATION : **DAVID RIVEST**

Université du Québec en Outaouais
58, rue Principale, Ripon (Qc) JOV 1V0
Téléphone : 819-595-3900, poste 2937
david.rivest@uqo.ca