

Document de transfert de connaissances

# Les systèmes agroforestiers intercalaires

Vers une agriculture  
résiliente aux changements climatiques



# Pourquoi s'intéresser aux systèmes agroforestiers intercalaires?



Un système agroforestier intercalaire (SAI) est l'association délibérée de plusieurs rangées d'arbres sur une parcelle cultivée. Les allées cultivées sont assez larges pour permettre le passage de la machinerie agricole habituelle, dont des rampes d'épandage à large dimension. Ainsi, le producteur peut suivre sa régie habituelle et continuer d'avoir de bons rendements. Ce modèle d'agroforesterie permet d'étendre les bénéfices environnementaux des arbres à l'ensemble de la parcelle plutôt que de les restreindre à leur bordure, comme c'est le cas dans les systèmes avec haies agroforestières qui sont plus connus et répandus dans les régions tempérées.

Selon Ouranos, la probabilité d'occurrence de stress hydrique des cultures au sud du Québec est appelée à augmenter avec les changements climatiques. Des hausses de 1,0 à 1,8 °C des températures moyennes estivales sont attendues pour l'horizon 2011-2040 [1]. Également, les vagues de chaleur devraient devenir plus fréquentes au cours des prochaines décennies [1]. La hausse des températures a pour conséquence d'augmenter la demande évaporative de l'atmosphère. L'augmentation de l'évapotranspiration qui en découle se traduirait par une diminution de la disponibilité en eau du sol.

Une légère augmentation des précipitations est attendue pour le sud du Québec en raison notamment d'une hausse de la quantité de précipitations provenant des jours les plus pluvieux [2]. Ces précipitations abondantes seront toutefois entrecoupées de longues périodes sans pluie. Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des stress hydriques est donc anticipée pour le sud du Québec [1].

Les effets des SAI sur les conditions microclimatiques et les flux hydrologiques sont encore peu étudiés. De rares études antérieures suggèrent que les SAI ont le potentiel d'atténuer les effets négatifs du stress hydrique sur les cultures en réduisant la vitesse du vent et les fluctuations de la température du sol et de l'air [3]. La modification de ces conditions microclimatiques se traduit par une évapotranspiration moindre, notamment en ce qui concerne l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration des cultures, permettant ainsi de conserver l'eau dans le sol [4].

Notre équipe a donc tenté de faire la lumière sur les conditions microclimatiques dans deux SAI situés à Baie-du-Febvre (BDF) et Saint-Télesphore (ST).

# Les sites à l'étude



## Le dispositif expérimental

Pour les deux SAI de notre étude, nous avons associé une parcelle témoin dépourvue d'arbres hors du SAI sur la même terre agricole. L'historique de régie de culture est le même pour le SAI et pour la parcelle témoin.

## Les variables étudiées

À différentes distances des rangées d'arbres à l'intérieur de chaque SAI (0, 4, 12 et 20 m) et dans des parcelles témoins sur la même terre agricole, les propriétés du sol (disponibilité de l'azote et des macronutriments, lessivage de l'azote, humidité, accumulation de litière), les conditions microclimatiques (évaporation [A], lumière [B], vitesse du vent, température et humidité relative de l'air) et le rendement ont été échantillonnés à plusieurs reprises en 2021 et 2022. La qualité nutritionnelle du foin produit à BDF en 2022 a été analysée par un laboratoire externe. Cependant, les propriétés du sol sous la bande d'arbres à ST n'ont pas été échantillonnées, car cette bande non cultivée est couverte d'un paillis de plastique.

## Le SAI de la Ferme Bertco à Baie-du-Febvre

Ce SAI, implanté en 2012, est composé de rangées simples d'arbres réparties sur 10 ha pour une densité de plantation de 50 arbres par ha. L'espacement entre les rangées d'arbres est de 40 m. La bande de sol non cultivée sous la rangée d'arbres fait 2 m de large. Les rangées sont constituées de peupliers hybrides en alternance avec différentes essences de feuillus nobles (caryer ovale, chêne bicoloré, chêne à gros fruit, chêne rouge, érable à sucre, noyer noir).

Un traitement de cernage racinaire a permis d'isoler l'effet des interactions aériennes entre les arbres et les cultures [C]. Des stations météorologiques ont été mises en place à 4, 12 et 20 m de distance d'une rangée d'arbres ainsi que sur la parcelle témoin [D].



[A] Des évaporomètres de Piché permettent de mesurer le potentiel d'évaporation de l'eau dans l'atmosphère.

©Ève-Marie Hébert

# Les sites à l'étude



[B] Des dispositifs de photos hémisphériques permettent de mesurer la quantité de lumière transmise dans les allées cultivées.

©Ève-Marie Hébert

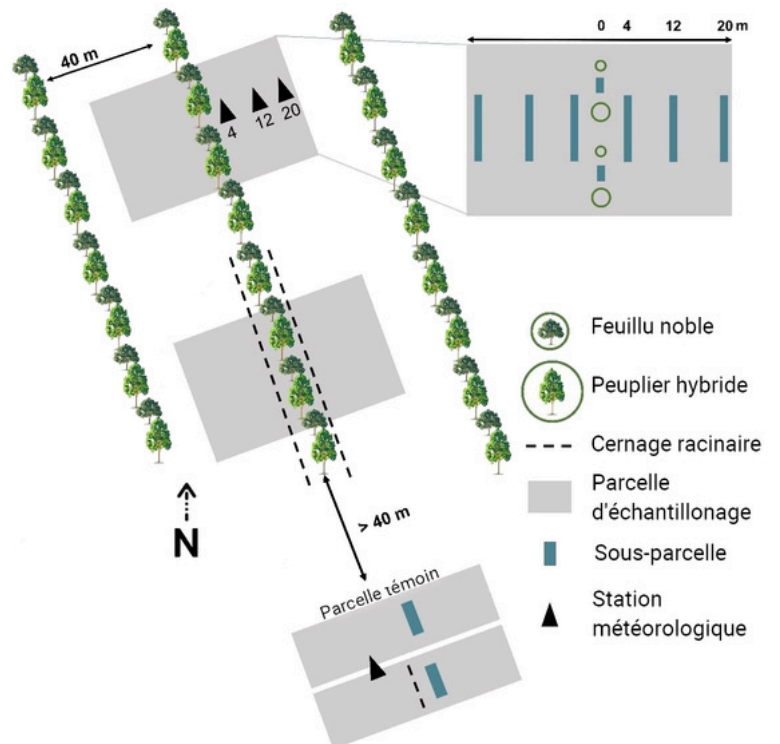


[C] Le traitement de cernage racinaire a été réalisé à l'aide d'une sous-soleuse en 2021 et 2022. Ce traitement consistait à faire des tranchées de 75 cm de profondeur à 2,5 m de la rangée d'arbres.

©David Rivest

## Le SAI de la ferme Villamo à St-Télesphore

Ce SAI, implanté en 2014, est composé de rangées simples d'arbres réparties sur 10 ha pour une densité de plantation de 56 arbres par ha. L'espacement entre les rangées d'arbres est de 38 m. La bande de sol non cultivée sous la rangée d'arbres fait 2 m de large. Les rangées sont constituées de différentes essences (noyer noir, chêne rouge, chêne à gros fruits, tilleul d'Amérique, aulne glutineux et peupliers hybrides). Dans le cadre de notre projet d'étude, nous nous sommes intéressés à des compositions spécifiques, soit une rangée de chênes rouges seuls, de peupliers hybrides seuls et une rangée de leur mélange dans un ratio 1:1. Ce choix de composition d'espèces d'arbres sur les rangées permet le suivi d'un gradient d'interactions plus ou moins fortes avec la culture étant donné la croissance beaucoup plus rapide des peupliers.



[D] Le design expérimental du système agroforestier intercalaire de Baie-du-Febvre. Des stations météorologiques ont été installées à 4, 12 et 20 m de distance de la rangée d'arbres ainsi que sur la parcelle témoin. Ce design a été répété dans trois blocs sur le site.



# Quels effets des SAI sur les sols?

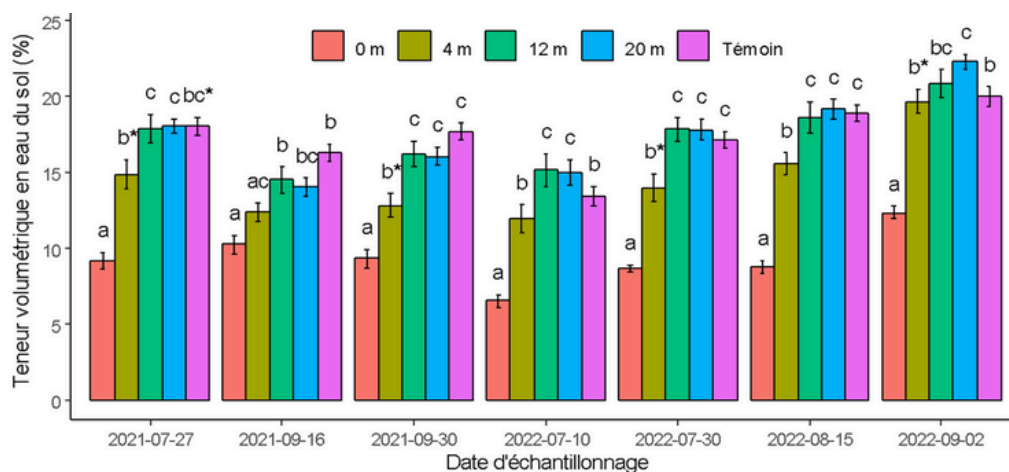


À BDF, la bande de sol sous les arbres n'est pas cultivée. Plusieurs strates végétales y croissent. Nous avons donc été en mesure de caractériser quelques propriétés physicochimiques du sol sous la rangée d'arbres ainsi que dans l'allée cultivée pour ensuite les comparer aux propriétés du sol de la parcelle témoin.

## Apport accru en matière organique

Au fil des années, les arbres et leurs racines apportent de la matière organique au sol. Les feuilles tombent au sol annuellement. Au cours de leur vie, les racines sécrètent des composés organiques, les rhizodépôts, qui alimentent et affectent l'environnement autour d'elles. Par exemple, ces composés peuvent être des protéines ou des sucres.

Durant leur croissance, la pointe des racines, appelée apex racinaire, s'effrite et libère des cellules. À leur mort, les cellules des racines contribuent aussi à l'apport en matière organique [5]. Ces cellules, provenant de l'apex racinaire et de la mort des racines, nourrissent la vie microbienne autour des racines [6] [7]. La vie microbienne contribue à son tour à transformer la matière organique apportée par les plantes. Selon nos résultats, le taux de matière organique était significativement supérieur sous la rangée d'arbres que dans l'allée cultivée et la parcelle témoin [H]. La matière organique s'accumule près des rangées d'arbres et pourrait théoriquement contribuer à une meilleure rétention en eau et permettre la formation d'agrégats du sol.



[E] Teneur volumétrique en eau du sol à différentes distances de la rangée d'arbres dans le système agroforestier intercalaire de Baie-du-Febvre. Pour chaque échantillonnage, des lettres différentes représentent une différence significative. Pour une distance et un échantillonnage spécifique, un astérisque représente une différence significative entre les parcelles avec et sans cernage racinaire. La teneur en eau est significativement réduite sous la rangée d'arbres et à 4 m de distance de celle-ci.

# Quels effets des SAI sur les sols?



## Une densité apparente et une conductivité hydraulique du sol améliorées

Sous les rangées d'arbres à BDF (0 m), le sol était moins dense [H]. La densité apparente du sol pourrait avoir été modifiée par l'accumulation de matière organique dans la bande non cultivée. Il est aussi fort probable que la diminution du passage de la machinerie ait joué son rôle, surtout lorsqu'on compare ces parcelles de la bande non cultivée aux autres parcelles qui subissent des passages répétés de machinerie agricole.

La conductivité hydraulique représente la capacité du sol à laisser l'eau s'infiltrer. Elle est mesurée en fonction de la saturation des pores en eau. Lorsqu'un sol s'assèche, ces pores se remplissent d'air plutôt que d'eau.

La conductivité hydraulique à saturation [F] et à quasi-saturation [G] étaient aussi améliorées sous la rangée d'arbres [H]. L'infiltration de l'eau plus importante pourrait être associée à l'augmentation de la densité des racines par les arbres et autres strates végétales, mais la diminution de la teneur en eau du sol joue aussi un rôle important. En effet, puisque les arbres diminuent l'humidité du sol jusqu'à 4 m [E] [J] et qu'un sol plus sec présente une meilleure conductivité hydraulique, les arbres ont donc un effet positif indirect sur les deux types de conductivité hydrauliques. Cette meilleure infiltration de l'eau

permettrait de diminuer l'érosion du sol lorsqu'il y a du ruissellement et de recharger plus efficacement les nappes phréatiques.



[F] Des infiltromètres à double paroi permettent de mesurer la conductivité hydraulique à saturation du sol, c'est-à-dire l'infiltration de l'eau lorsque les pores du sol sont remplis d'eau.

©Ève-Marie Hébert

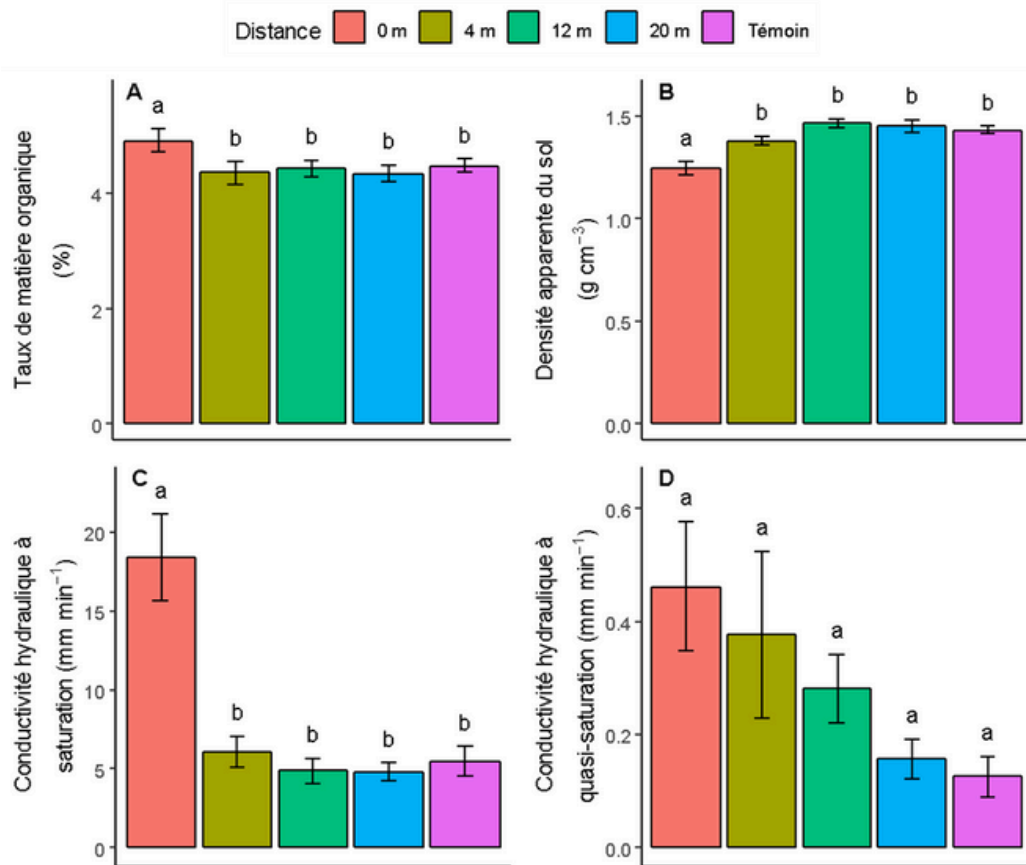


[G] Des infiltromètres à quasi-saturation permettent de mesurer la conductivité hydraulique à quasi-saturation du sol.

©Ève-Marie Hébert



# Quels effets des SAI sur les sols?



[H] Taux de matière organique (A), densité apparente (B) conductivité hydraulique à saturation (C) et à quasi-saturation (D) à différentes distances de la rangée d'arbres du système agroforestier intercalaire de Baie-du-Febvre.

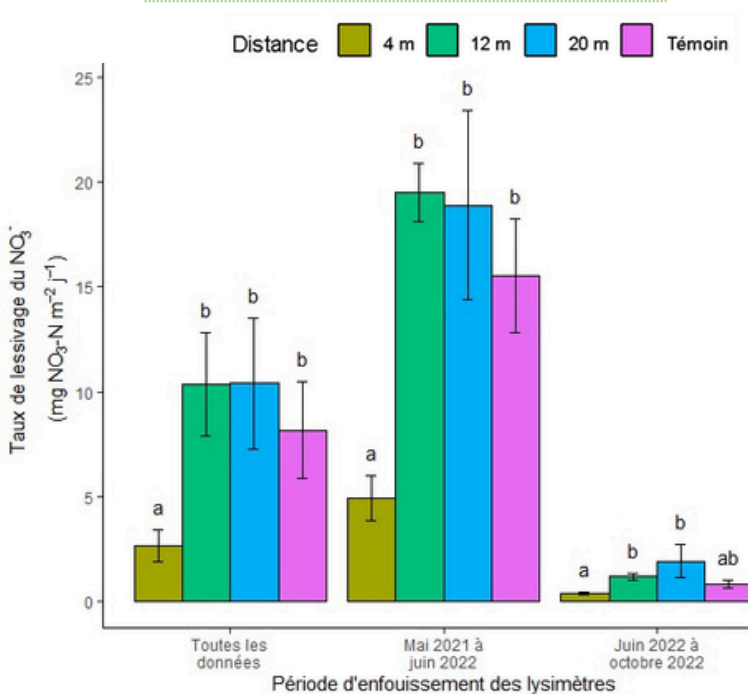
## L'azote

La minéralisation de l'azote sous forme assimilable (nitrate et ammonium) pour les plantes est étroitement liée aux microorganismes du sol. En effet, ceux-ci sont sensibles au contenu en eau du sol. Dans des conditions sèches, leur activité métabolique est réduite et par conséquent, l'azote est moins minéralisé. De plus, une faible teneur en eau limite la mobilité des ions dans la solution du sol. Sur les deux sites à l'étude, l'humidité du sol était diminuée près des arbres (4 m de distance)

[E].

À BDF, elle était également diminuée sous la rangée d'arbre (0 m). La disponibilité des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en surface était moins importante dans la zone près des arbres. Le lessivage du nitrate, mesuré à 40 cm de profondeur à l'aide de lysimètres, était beaucoup moins important près des arbres, soit jusqu'à 86 % plus bas à 4 m que dans les parcelles témoins de ST [I] et BDF. Aucun effet du SAI sur la disponibilité ou le lessivage de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) n'a été observé.

# Quels effets des SAI sur les sols?



[I] Taux de lessivage du nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) à différentes distances de la rangée d'arbres dans le SAI de ST. Pour chaque période d'enfouissement des lysimètres, des lettres différentes représentent une différence significative.

## Enrichissement en phosphore et potassium

Sous la rangée d'arbres à BDF, le taux de disponibilité du phosphore et du potassium était significativement supérieur à l'allée cultivée et à la parcelle témoin. Les trappes à litière ont capturé nettement plus de feuilles à 0 et 4 m relativement aux autres distances. Cet apport en feuilles pourrait expliquer la plus grande disponibilité en P et K, mais l'enracinement plus profond des arbres pourrait aussi participer à ce phénomène. Des racines profondes sont en mesure de remonter des nutriments à la surface et ainsi les rendre disponibles dans le cycle des nutriments.

## Conservation des éléments fertilisants au sein du SAI

Grâce à la diminution du lessivage des nitrates et le recyclage des nutriments dû à la litière annuelle des arbres, la bande non cultivée permettrait de conserver ces éléments fertilisants au sein du SAI. Le lessivage des nitrates est non seulement coûteux pour les producteurs agricoles, mais ils sont aussi nocifs pour l'environnement et la santé humaine lorsqu'ils parviennent aux cours d'eau.

La bande non cultivée au sein du SAI de BDF était enrichie en matière organique, en phosphore et potassium. Le sol y était moins compacté. L'eau s'infiltrait mieux et cet effet était présent à 4 m de distance dans le SAI de BDF et celui de ST.



[J] Des sondes TDR permettent de mesurer la teneur en eau du sol.

©Ève-Marie Hébert



# Quels effets des SAI sur le microclimat?



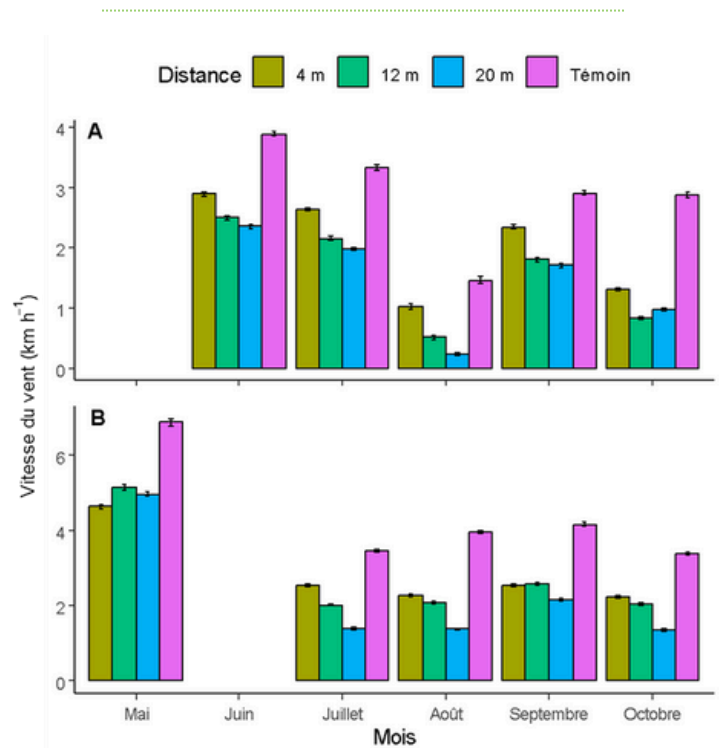
Au sein d'un SAI, les conditions microclimatiques peuvent différer de la parcelle témoin.

## Une vitesse de vent réduite

Une vitesse de vent trop importante peut briser les semis, provoquer la verse chez certaines cultures, éroder le sol, augmenter la dérive des pesticides appliqués et réduire le couvert de neige. La diminution de la vitesse du vent a donc des effets bénéfiques sur le rendement de culture et le sol. À BDF, la vitesse moyenne mensuelle du vent était systématiquement réduite dans le SAI versus la parcelle témoin [K]. Au sein des allées cultivées du SAI, la vitesse du vent diminuait au fur et à mesure qu'on se rapprochait du centre. Ainsi, plus la station météorologique était éloignée des arbres, plus la vitesse du vent diminuait. Nous suspectons un effet de turbulence du vent près de la rangée d'arbres qui pourrait expliquer une vitesse du vent plus élevée dans cette zone de l'allée cultivée.

## L'évaporation potentielle du SAI diffère de la parcelle témoin

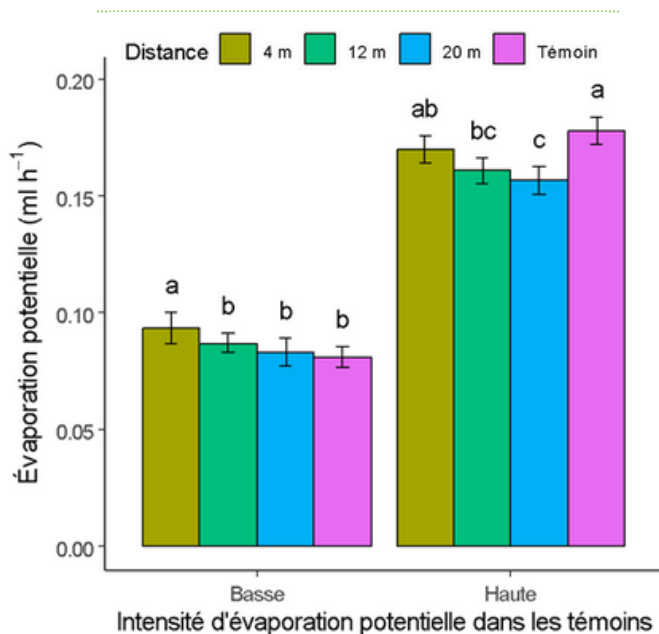
L'évaporation potentielle (EP) correspond à la valeur maximale d'évaporation d'un couvert végétal continu lorsque le sol dispose d'une quantité d'eau suffisante pour satisfaire la demande évaporative de l'atmosphère.



[K] Moyennes mensuelles pour la vitesse du vent à différentes distances de la rangée d'arbres dans le SAI de BDF durant les saisons de croissance de 2021 (A) et 2022 (B).

Elle est influencée par les apports énergétiques du rayonnement solaire, la vitesse du vent, ainsi que la température et l'humidité de l'air. Dans le cadre de notre expérience, l'EP est mesurée à l'aide d'évaporomètres de Piché [C]. Dans le SAI, nous savons que la vitesse du vent [K] et la proportion transmise de lumière totale [M] étaient systématiquement réduites lorsque les arbres atteignent une hauteur importante. Selon nos résultats, l'évaporation potentielle était influencée par la distance par rapport à la rangée d'arbres dans le SAI de BDF et ST.

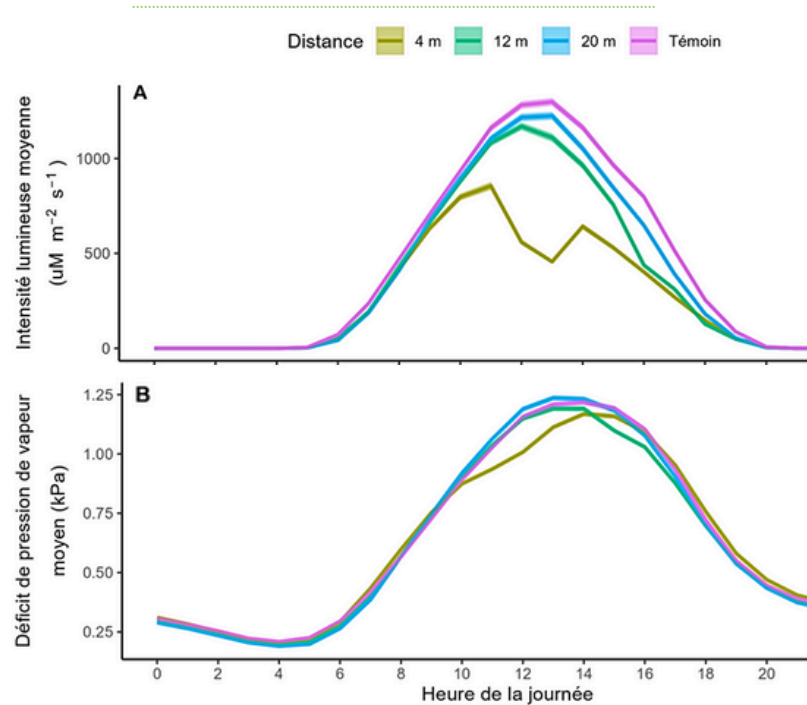
# Quels effets des SAI sur le microclimat?



[L] Évaporation potentielle à différentes distances de la rangée d'arbres dans le SAI de BDF dans des conditions de basse et haute évaporation (catégories basées sur l'évaporation dans les témoins; seuil de 0,12 ml h<sup>-1</sup>). Pour chaque catégorie, des lettres différentes représentent une différence significative.

Cependant, à BDF, les différences entre les catégories de distance dépendaient non seulement de la distance entre la rangée d'arbres, mais aussi des conditions observées dans les témoins. Cette observation fait partie de nos résultats les plus intéressants : lorsque l'évaporation potentielle de l'atmosphère était plus importante dans les témoins agricoles, celle-ci était moins importante à 12 et 20 m dans le SAI relativement aux témoins [L]. Ceci pourrait s'expliquer par une diminution d'intensité lumineuse et du vent au centre des allées cultivées et la plus petite demande évaporative de l'air à 12 m (c.-à-d. le petit déficit de pression de vapeur d'eau) [M].

En ce qui concerne le déficit de pression de vapeur d'eau à BDF, il était généralement inférieur au témoin à 4 m durant le jour et à 12 m durant l'après-midi [M].



[M] Moyennes horaires pour la lumière photosynthétiquement active (A) et le déficit de pression de vapeur d'eau (B) à différentes distances de la rangée d'arbres dans le SAI de BDF durant les saisons de croissance de 2021 et 2022.

Une deuxième observation intéressante est la différence entre l'évaporation potentielle du SAI et la parcelle témoin lorsque l'intensité d'évaporation potentielle était basse: c'est à 4 m de la rangée d'arbres que l'on observait la plus grande évaporation potentielle [L]. Néanmoins, ce résultat reste surprenant considérant la faible intensité lumineuse et la faible demande évaporative de l'air à cette distance.



# Quelle résilience aux changements climatiques?



## En situation de stress hydrique

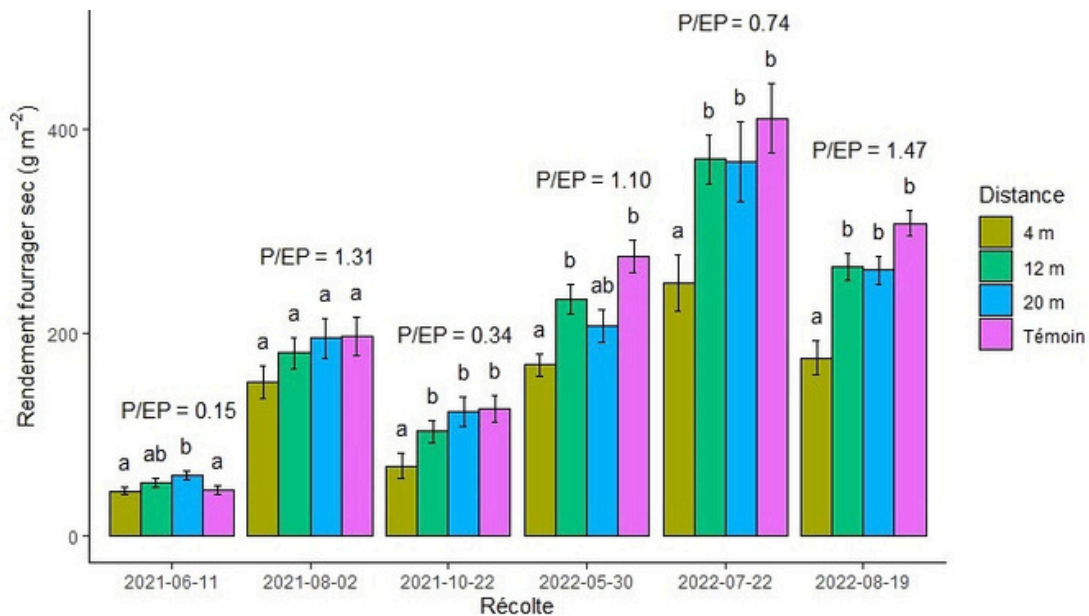
Dans ce projet, il n'y a eu qu'un seul échantillonnage où nous avons mesuré une amélioration significative du rendement à l'intérieur du SAI (au centre des allées précisément) sur les huit récoltes fourragères, c'est-à-dire le premier échantillonnage à BDF [N]. C'est donc à la première coupe de foin, au mois de juin 2021 que le SAI a eu un effet positif sur les récoltes. Le fait que la période de croissance précédant cette récolte ait été celle avec la plus petite quantité de précipitations relative à l'évaporation potentielle estimée n'est donc pas anodin [N]. Un faible ratio de précipitation sur le potentiel d'évaporation atmosphérique (P/EP) représente un stress hydrique pour les cultures dans nos conditions climatiques: la quantité d'eau sous forme de précipitation ne répond pas au potentiel d'évaporation atmosphérique. En bref, le mois de juin était aride en 2021 avec un ratio P/EP de 0,15. D'ailleurs, la diminution de la vitesse du vent au sein du SAI pourrait avoir contribué à pallier le stress hydrique ressenti par les plantes au mois de juin 2021. Ce résultat suggère qu'il peut y avoir de la résilience des SAI au niveau du rendement en période de stress hydrique. De plus, ces informations permettent d'estimer à partir de quel seuil le stress hydrique

peut entraîner un effet bénéfique à l'intérieur du SAI. Combiné aux projections des modèles climatiques, ce seuil pourra aider à modéliser ces effets bénéfiques dans le long terme.

Lors d'épisodes de pluies extrêmes, les risques d'érosion du sol augmentent avec l'augmentation de la force d'impact de la pluie. Les bandes non cultivées au sein du SAI pourraient permettre de diminuer l'érosion du sol grâce à leur meilleure infiltration de l'eau lors de ces épisodes. Il est à noter que sur le site de ST, la densité apparente du sol était significativement moins dense à 20 m que la densité apparente de la parcelle témoin. Une diminution de la densité apparente du sol pourrait refléter une diminution de la compaction des sols et donc l'augmentation du taux d'infiltration, bien que ce taux d'infiltration n'ait pas été mesuré à ST.

Notre étude a démontré que les SAI ont le potentiel d'améliorer les propriétés hydrologiques des parcelles agricoles (p. ex. augmentation du taux d'infiltration, réduction de l'évaporation, diminution de la densité apparente du sol). Dans le contexte de l'augmentation prévue de la fréquence et de l'intensité des déficits hydriques ou des épisodes de pluies extrêmes, ce potentiel des SAI apparaît hautement pertinent.

# Quelle résilience aux changements climatiques?



[N] Rendement fourrager à différentes distances de la rangée d'arbres et les témoins pour chaque récolte à Baie-du-Febvre. P/EP (précipitation / potentiel d'évaporation) est un indice qui a de basses valeurs lorsque les conditions sont arides et il s'applique à la période de croissance précédant la récolte.



[O] Le système agroforestier intercalaire de Baie-du-Febvre. Les arbres sont espacés de 5 mètres sur leur rang. En 2021 et 2022, ce champ était en foin avec un mélange de luzernes et graminées.

©Yanick Rose

# Leçons techniques à retenir de notre étude



## Revisiter la composition du mélange fourrager lorsque les arbres approchent leur maturité

Dans le cas de la culture fourragère en SAI, nos résultats indiquent que lorsque les arbres en SAI ont une taille qui se rapproche de leur maturité, il peut être avantageux de modifier la composition des mélanges fourragers, en particulier à proximité des rangées, en favorisant les plantes qui tolèrent davantage l'ombrage des arbres. Par exemple, nos résultats ont montré qu'il peut être judicieux de cultiver un mélange fourrager dominé par les graminées dans la zone proche des rangées d'arbres. En effet, nous avons observé une plus grande tolérance des graminées à la concurrence des arbres comparativement à la luzerne.

## Arbres à croissance rapide ou lente?

Les peupliers hybrides présents dans les deux SAI à l'étude ont eu des croissances très rapides. Ceux-ci peuvent fournir rapidement de nombreux services écosystémiques. Par exemple, la réduction importante de la vitesse du vent et du lessivage des nitrates observée sur les deux sites est sans doute attribuable en bonne partie aux peupliers de grande taille. Cependant, cette rapidité de croissance en contexte agroforestier peut s'accompagner d'une certaine concurrence avec les cultures pour les ressources.

Par exemple, dans le SAI de ST, il n'a fallu que huit ans pour que les effets des peupliers sur l'humidité du sol et la lumière se distinguent de façon significative de ceux du chêne rouge, une espèce avec un taux de croissance de l'ordre de trois fois inférieur à celui du peuplier. Nos résultats soulignent l'importance d'envisager une récolte relativement hâtive des peupliers dans les SAI pour s'assurer de limiter leur concurrence avec les cultures. Par exemple, sur le site de BDF, la récolte des peupliers en vue d'une transformation pour le sciage est prévue dès 2024, alors qu'ils auront 13 ans et environ 45 cm de diamètre. Une récolte encore plus hâtive (p. ex. 10 ans après plantation) de tiges de plus petite dimension en vue d'une production à valeur moindre (p. ex. pâtes et papiers) peut aussi être envisagée selon les objectifs des producteurs. À la plantation, des espacements sur la rangée d'arbres plus grands entre peupliers et autres espèces d'arbres à croissance plus lente (p. ex. 8 m) que ceux qui ont été adoptés sur nos deux sites expérimentaux (5 m) pourraient aussi permettre de limiter leur concurrence avec les cultures lors des dernières années avant leur récolte.



# Leçons techniques à retenir de notre étude



Si la croissance rapide du peuplier peut être avantageuse pour « accompagner » pendant quelques années les espèces feuillues à croissance plus lente (ex. érables, chênes, noyers), elle implique toutefois la nécessité de les tailler fréquemment pendant au moins la première moitié de sa vie, comme nous l'avons fait sur nos deux sites expérimentaux. En fait, les tailles s'imposent sur toutes les espèces d'arbres plantées en SAI si l'objectif est de maximiser la qualité des billes, mais aussi pour libérer le passage de la machinerie agricole et augmenter la disponibilité de la lumière pour la croissance des cultures dans les allées.

## Le cernage racinaire, une pratique à adopter?

Le cernage racinaire se veut un outil pour réduire la compétition pour l'eau entre la culture et les arbres dans un système agroforestier. Il consiste à couper les racines des arbres à l'aide d'un travail de sol, tel que le sous-solage. Bien que le cernage racinaire à 2,5 m de la rangée ait eu des effets bénéfiques sur l'humidité du sol et le rendement fourrager près de la rangée des arbres (4 m de distance de ceux-ci), ces changements ne se sont pas répercutés de façon significative sur l'ensemble du rendement agricole du SAI à BDF. En revanche, il ne s'agit que d'une expérience sur un seul site et la pertinence de cette pratique est encore à étudier.

Il est important de souligner que le cernage racinaire s'est accompli le long d'une rangée d'arbres composée de peupliers hybrides et de feuillus nobles. Les peupliers hybrides sont des arbres à croissance rapide et ils peuvent créer une compétition racinaire plus importante versus une espèce différente d'arbre.

De plus, nous avons observé que le traitement de cernage racinaire peut favoriser la production de rejets de peupliers à partir des racines coupées, autant dans la bande non cultivée que proche des rangées dans la zone cultivée. Nos observations suggèrent donc que le cernage racinaire est une pratique agroforestière qu'il faut prudemment envisager dans tout système agroforestier (incluant les haies agroforestières) composé d'espèces ligneuses qui peuvent facilement rejeter (ex. peupliers et saules).



[P] Cernage racinaire à Baie-du-Febvre. On peut voir aussi la litière de feuilles d'arbres accumulées à la surface du sol.

© David Rivest

# À quels rendements peut-on s'attendre dans un SAI?



Nos suivis des rendements des cultures dans les deux SAI expérimentaux ont débuté bien avant le présent projet. Nos résultats antérieurs ont montré que les rendements des grandes cultures (maïs, soya, blé) en SAI étaient équivalents et parfois même supérieurs à ceux dans les témoins agricoles [8] [9].

## Les rendements à BDF

Pour la première fois, nous avons mesuré une légère diminution du rendement de la culture sur le site BDF, alors que les peupliers qui composaient 50% des individus d'arbres plantés se rapprochaient de leur âge de récolte.

Plus précisément, il y a eu en moyenne 21 % de diminution du rendement fourrager à BDF dans le SAI de 9-10 ans. On peut souligner que cette diminution de rendement a été compensée par une augmentation du taux de protéines brutes proche du centre de l'allée cultivée [Q].

## Les rendements à ST

Sur le site de ST, en revanche, aucune diminution du rendement fourrager pour un SAI de 7 ans n'a été mesuré (4,2 t/ha par récolte dans le SAI et les témoins). Le SAI n'a eu aucun impact significatif sur la composition du foin en luzerne et en

Distance (m)	ENL 3X	PB (%)	FDA (%)	FDN (%)	FnDDN (%)
4	1,495 ± 0,015 a	26,02 ± 0,97 ab	25,2 ± 1,2 a	29,5 ± 1,5 a	18,0 ± 1,2 a
12	1,510 ± 0,017 a	27,58 ± 0,73 a	23,7 ± 1,1 a	27,8 ± 1,3 a	17,0 ± 1,0 a
20	1,470 ± 0,015 a	25,54 ± 0,72 ab	26,6 ± 1,0 a	31,3 ± 1,3 a	19,6 ± 1,2 a
Témoin	1,470 ± 0,016 a	25,36 ± 0,79 b	26,5 ± 1,0 a	30,9 ± 1,3 a	19,9 ± 1,0 a

[Q] Moyenne (± erreur-type) pour l'énergie nette de lactation (ENL), les protéines brutes (PB), les fibres au détergent acide (FDA), au détergent neutre (FDN) et non-digestibles au détergent neutre (FnDDN) à différentes distances dans le système agroforestier intercalaire de Baie-du-Febvre. Pour chaque variable, des lettres différentes représentent une différence significative.

# À quels rendements peut-on s'attendre dans un SAI?



graminées. L'année suivante à ST (8 ans), le rendement du blé dans le SAI a diminué globalement de 21 %. Néanmoins, l'année suivante, le rendement du maïs dans l'ensemble de l'allée cultivée ne différait pas significativement de celui dans les témoins. Or, le maïs est bien plus exigeant en lumière que le blé.

## Les limites expérimentales

La présence d'arbres situés à proximité des témoins agricoles (c'est-à-dire en boisés, haies ou SAI) nous amènent à interpréter les écarts de rendement entre les SAI et les témoins avec une certaine prudence. Il est en effet possible que les cultures dans nos témoins aient pu bénéficier d'une certaine protection par ces arbres environnants. On ne peut rejeter l'hypothèse que des témoins agricoles plus éloignés des arbres environnants et davantage exposés au vent aurait pu mettre en évidence un plus grand nombre d'effets positifs des SAI sur les rendements. Sur le site de BDF, le producteur agricole a indiqué que, selon ses observations et estimations personnelles, le rendement de la culture fourragère dans le SAI était supérieur à celui dans ses autres champs (pour une régie équivalente).

Nous souhaitons rappeler à quel point l'expérimentation en agroforesterie peut être complexe. À la lumière des résultats du présent projet et de ceux de travaux précédents, les SAI démontrent leur pertinence et leurs apports bénéfiques en agriculture. Contrairement à certaines perceptions négatives qui circulent par rapport à la présence d'arbres en milieu agricole, les SAI ne devraient pas être considérés comme des systèmes nuisibles à la productivité agricole. Or, s'ils sont bien conçus (notamment avec des espacements d'arbres appropriés) et bien gérés tout au long de leur développement, les SAI vont généralement offrir de très bons rendements, bien qu'on puisse y observer une certaine variabilité dans l'espace, dans le temps et selon les types de cultures.



[R] Blé à Saint-Télesphore.

©Ève-Marie Hébert



# Le potentiel des systèmes agroforestiers intercalaires



Les SAI ont le potentiel d'influencer la productivité et la qualité fourragère en fonction de différentes conditions hydrométéorologiques. Nos résultats couvrant deux saisons de croissance indiquent qu'une augmentation du rendement proche du centre des allées cultivées peut survenir pendant les périodes plus sèches. Nos résultats indiquent aussi que le SAI peut améliorer certaines variables associées à la qualité fourragère comme la teneur en protéines brutes. En situation d'excédant hydrique, proche des arbres, le SAI a réduit la disponibilité en eau du sol en comparaison à un témoin agricole. À l'exception de cette courte zone à l'interface arbre-culture, nous avons

toutefois montré que le SAI a le potentiel d'augmenter la disponibilité de l'eau dans des conditions extrêmes, aussi bien humides que sèches.

Les rangées d'arbres sont un atout : tel un avaloir, elles peuvent permettre d'évacuer rapidement le surplus d'eau, ce qui peut favoriser un passage plus rapide de la machinerie au printemps et une réduction du risque de compaction du sol à l'automne.

Dans le cadre de nos futures recherches, nous tenterons de raffiner le réglage spatio-temporel pour comprendre davantage la dynamique microclimatique des SAI.



[S] Visite de la parcelle de la ferme Bertco à Baie-du-Febvre en 2022 dans le cadre de l'initiative des Laboratoires vivants.

©Union des producteurs agricoles

## Références



[1] Ouranos. (2015a). *Vers l'adaptation - Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1: Évolution climatique au Québec. Édition 2015*, 114.

[2] Ouranos. (2015b). *Vers l'adaptation - Synthèses des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 2: Vulnérabilités, impacts et adaptation aux changements climatiques*, 228.

[3] Wolz, K.J. et DeLucia, E.H. (2018). Alley cropping: Global patterns of species composition and function. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 61-68.

[4] Jacobs, S.R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., Breuer, L. et Bellingrath-Kimura, S.D. (2022). Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 323, 109065.

[5] Lorenz, K. et Lal, R. (2014). Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 443-454.

[6] Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M. et Capowiez, Y. (2020). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. *Plant and Soil*, 453(1-2), 29-44.

[7] Udawatta, R.P., Rankoth, L.M. et Jose, S. (2019). Agroforestry and biodiversity. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10), 2879.

[8] Carrier, M., Gonzalez, F. A. R., Cogliastro, A., Olivier, A., Vanasse, A. et Rivest, D. (2019). Light availability, weed cover and crop yields in second generation of temperate tree-based intercropping systems. *Field crops research*, 239, 30-37.

[9] Gagné, G., Lorenzetti, F., Cogliastro, A. et Rivest, D. (2022). Soybean performance under moisture limitation in a temperate tree-based intercropping system. *Agricultural Systems*, 201, 103460.



[T] Parcelle agroforestière de la ferme Bertco à Baie-du-Febvre.

©David Rivest



Réalisé par:

**David Rivest** Université du Québec en Outaouais

**Marc-Olivier Martin-Guay** Université du Québec en Outaouais

**Ève-Marie Hébert** Université du Québec en Outaouais

**Audrey Maheu** Université du Québec en Outaouais

**Alain Cogliastro** Institut de recherche en biologie végétale

**Marie-Noëlle Thivierge** Agriculture et Agroalimentaire Canada

**Pierre-Luc Chagnon** Agriculture et Agroalimentaire Canada

**Daphnée Decelles** Université du Québec en Outaouais

Nous remercions chaleureusement M. Jacques Côté de la Ferme Bertco pour sa bienveillance et son implication à toutes les étapes de ce projet, y compris dans la diffusion des connaissances et le partage de son expérience et de son savoir-faire. Nous remercions aussi chaleureusement M. Serge Villeneuve de la Ferme Villamo pour son accueil indéfectible et pour nous avoir permis de mener toutes nos expériences sur sa terre. Nous remercions aussi l'Institut des sciences de la forêt tempérée, l'Institut de recherche en biologie végétale et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Nous sommes reconnaissants envers tous les assistants de terrain qui ont contribué à la réussite de ce projet, en particulier Samuel Juneau et Eva Masson.

Ce projet a été financé dans le cadre du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture découlant du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.





**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., Hébert E.M., Decelles D., Maheu A., Cogliastro A., Thivierge M.N., Chagnon P.L. 2024. Les systèmes agroforestiers intercalaires - Vers une agriculture résiliente aux changements climatiques. Document de transfert de connaissances. Université du Québec en Outaouais. 20 p.

