

Développement de systèmes de cultures intercalaires intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux cultures agricoles

Résumé

Dans les régions tempérées, et en particulier en Europe et aux États-Unis, on assiste à un intérêt de plus en plus marqué pour les systèmes de cultures intercalaires (SCI), qui consistent à cultiver des plantes agricoles entre des rangées d'arbres feuillus suffisamment espacées pour permettre le passage de la machinerie agricole. Le projet s'inscrivait donc dans une perspective de mise au point de SCI viables pour le contexte québécois, où ils étaient jusqu'à présent absents. L'objectif principal du projet était d'analyser les effets de l'association de cultures agricoles, de feuillus nobles et de peupliers hybrides sur la qualité chimique, structurale et biologique du sol, ainsi que sur la productivité des cultures et la croissance des arbres. Les résultats obtenus ont permis de démontrer l'effet positif de l'association sur diverses caractéristiques chimiques et biologiques du sol. Ils ont aussi montré qu'il est possible de maîtriser les effets négatifs de la compétition pour la lumière exercée par les arbres sur la culture en portant une attention particulière au choix des espèces et des clones d'arbres, à l'écartement entre les rangées d'arbres et à l'espacement des arbres sur le rang. Par ailleurs, on a pu observer que l'association avec la culture, probablement en raison des soins apportés à celle-ci, pouvait avoir un effet positif sur la croissance et le développement des arbres, comparativement aux arbres d'une plantation forestière. Grâce à ce projet, le Québec est à présent doté de parcelles expérimentales et de démonstration sur les SCI, qui constitueront des outils importants pour appuyer les producteurs agricoles et les propriétaires de plantations de feuillus dans leur décision d'adopter ou non ce type de systèmes novateurs. Les résultats obtenus permettent par ailleurs de les guider dans le choix des divers paramètres à mettre en œuvre lors de l'établissement des parcelles et de leur suivi. À plus long terme, l'adoption des SCI intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux plantes agricoles pourrait entraîner la valorisation de terres agricoles par un usage multi-productif, la rentabilisation des plantations de feuillus nobles et une amélioration de la qualité chimique, structurale et biologique des sols jumelée à une réduction de la charge de polluants dans les nappes phréatiques et les cours d'eau.

Introduction

Les systèmes de cultures intercalaires (SCI) sont des techniques agroforestières qui consistent en la plantation de rangées d'arbres largement espacées les unes des autres de façon à pouvoir allouer les bandes intercalaires à des plantes cultivées. Bien que ces systèmes soient tout à fait nouveaux dans le contexte québécois, certains essais réalisés notamment en Europe et aux États-Unis indiquent que certains SCI intégrant des peupliers hybrides (PH) ou des feuillus nobles s'avèrent aussi et même plus rentables et productifs que les systèmes agricoles ou forestiers conventionnels (Graves et al. 2007), tout en présentant de multiples bénéfices environnementaux comme l'amélioration de la fertilité des sols, l'augmentation de la séquestration du carbone et une meilleure préservation de la diversité biologique en milieu rural (Palma et al. 2007).

La présente étude, réalisée dans le sud-ouest du Québec, visait notamment à caractériser les interactions écologiques dans des SCI associant des PH et des feuillus nobles à diverses cultures, et en particulier au soya. La structure particulière des SCI, intermédiaire entre celles des monocultures intensives et des écosystèmes naturels, fait effectivement intervenir un large éventail d'interactions complexes qui contrôlent la productivité des arbres et des plantes agricoles. Une meilleure compréhension de ces interactions devrait aider à la mise en place et à la régie de SCI novateurs applicables au contexte québécois, tout en consolidant les connaissances scientifiques sur ces systèmes dans les régions tempérées de la planète.

L'ombrage des arbres et la concurrence qu'ils exercent pour l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux constituent des types d'interactions qui peuvent particulièrement limiter la productivité de la culture intercalaire associée (Jose et al. 2004). Cependant, certains éléments de l'itinéraire technique propre aux SCI, dont la sélection des espèces d'arbre, l'espacement et l'arrangement spatial des rangées d'arbres, l'élagage et l'éclaircie, pourraient contribuer à atténuer la compétition interspécifique. L'effet de ces éléments de l'itinéraire technique sur la disponibilité de la lumière, par exemple, et la productivité des plantes associées demeure toutefois peu connu. La présente étude a donc voulu s'y attarder. Nous avons également voulu connaître l'impact des SCI sur leur environnement édaphique, et notamment sur le lessivage des nitrates et la qualité biologique du sol.

Méthodologie

L'étude a été menée sur quatre sites expérimentaux, deux d'entre eux étant localisés à St-Paulin et St-Édouard, en Mauricie, et les deux autres à St-Rémi, en Montérégie. Puisque la plupart des résultats présentés ici proviennent des sites de St-Rémi, nous ne présenterons ici que la méthodologie utilisée sur ces sites. On pourra se référer à l'étude de Rivest (2008) pour des détails concernant la méthodologie sur les autres sites.

Le dispositif expérimental à St-Rémi est composé de 2 sites (A et B) qui diffèrent selon l'espacement entre les rangées de feuillus nobles et de PH (A = 6 m, B = 8 m), qui ont été plantés en 2000. Chacun des sites est divisé en 4 blocs aléatoires complets, comprenant chacun 5 rangées de PH et 4 rangées de feuillus nobles, de façon à ce que tous les rangs de feuillus nobles soient accompagnés des 2 côtés par un rang de PH. Les PH ont été plantés à tous les 2 m sur le rang, à raison de 9 plants contigus pour chacun des clones (*Populus nigra x maximowiczii* NM-3729, *Populus deltoides x nigra* DN-3308, *Populus trichocarpa x deltoides* TD-3230) distribués de façon aléatoire. Les feuillus nobles (noyer noir (*Juglans nigra*) et frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*)) sont plantés aux 3 m sur le rang, par groupe de 3 plants par espèce. Les rangées d'arbres sont orientées à 310°, ce qui correspond approximativement à l'orientation des terres dans la région de l'étude. Une éclaircie réalisée au cours de l'hiver 2006 a permis d'augmenter l'espacement entre les PH de 2 à 6 m sur les rangées, faisant passer leur densité de 417 à 139 tiges/ha dans le site A et de 313 à 104 tiges/ha dans le site B. Les PH ont été élagués en 2003 et en 2005 en visant à dégager, dans l'ordre, le tiers et la demie de leur fût.

Le soya (cultivar S03-W4) a été ensemencé sur la moitié des parcelles de chaque site par semis direct, avec un espacement entre les rangs de 38 cm, en visant une densité de 50 plants par m². L'autre moitié des parcelles était sans culture et soumise à deux hersages des allées par année. La répression des herbacées à proximité des arbres est assurée par un paillis de plastique en bande continue.

Résultats et discussion

L'impact du système de culture intercalaire sur la productivité de la culture agricole

Sur les sites de St-Rémi, le dispositif expérimental mis en place visait notamment à comparer les effets de trois clones de peupliers hybrides (PH) (TD-3230, DN-3308 et NM-3729) avant (2005) et après (2006) éclaircie des PH (2/3 des individus). Les variables mesurées comprenaient la proportion de lumière totale transmise (PLTT) et différents paramètres de productivité du soya, à diverses distances de la rangée de PH.

Le type de clone de PH a affecté significativement le rendement du soya en 2005. Dans le site A (espacement = 6 m), le rendement du soya sous l'influence du clone NM-3729 était de 15 % supérieur à celui du clone DN-3308, et de 21 % supérieur à celui de TD-3230 ($P = 0,02$). Ces résultats soulignent l'importance d'une sélection appropriée des espèces et des clones d'arbre. Aucune différence entre

clones n'a été observée en 2006, probablement en raison de l'éclaircie qui s'est traduite par une augmentation notable de la PLTT.

En 2005, tous les paramètres de productivité du soya variaient significativement en fonction de la distance par rapport à la rangée de PH ($P < 0,01$). Ainsi, dans le site B, le rendement relatif du soya passait, en s'éloignant de 2 à 5 m de la rangée de PH, de 40 à 90 % de celui observé dans les parcelles de référence. Par contre, en 2006, suite à l'éclaircie, la PLTT s'est accrue jusqu'à 30 % (2 m) par rapport à l'année précédente. Cela s'est traduit par un rendement relatif moyen de 99 % (excluant les bandes non cultivées) qui présentait, en outre, une distribution plus uniforme d'une distance à l'autre de la rangée de PH.

Le rendement du soya était corrélé significativement avec la PLTT, autant en 2005 qu'en 2006. Il était davantage corrélé avec le nombre de plants par m² et le nombre de gousses par m² qu'avec le poids de 100 grains, suggérant que la croissance végétative et le début de la phase reproductive (floraison) représentent sans doute les stades critiques du soya en SCI, comme cela a été observé en culture conventionnelle (Ball et al. 2001). Le fait que l'humidité du sol se soit maintenue à des niveaux suffisants pour les besoins du soya (ce qui a été démontré notamment par des mesures conjuguées de potentiel hydrique), les corrélations significatives entre la PLTT et le rendement du soya, ainsi que leur réponse similaire à l'effet de l'orientation, indiquent que la lumière est probablement le facteur limitant du SCI à l'étude.

L'impact de la culture intercalaire sur la croissance et la nutrition des arbres

Au terme de la troisième année d'application des traitements, un impact positif (sites de St-Édouard et St-Rémi) ou neutre (site de St-Paulin) de la culture intercalaire sur la croissance des PH a été observé (tableau 1). Le diamètre des PH en SCI était supérieur de 29, 10 et 13 % à celui des PH du témoin, à St-Édouard ($P = 0,0005$), St-Paulin ($P = 0,2$) et St-Rémi ($P = 0,0004$), respectivement. L'effet combiné de l'augmentation de la superficie foliaire et du contenu foliaire en éléments minéraux, notamment en azote, a probablement eu pour effet d'augmenter la capacité photosynthétique des PH plantés en SCI, ce qui se serait traduit par des gains notables de croissance. L'impact positif du SCI sur la croissance et la nutrition des PH était plus prononcé en 2005, une année marquée par des précipitations moins abondantes qu'en 2006.

Tableau 1. Effet des traitements de cultures intercalaires et de hersage des allées (témoin) sur les principaux paramètres de croissance et de nutrition des peupliers hybrides.

Site	Écartement	Traitement	Haut. (m)		Diam. (cm)		SF (cm ²)		N (g feuille ⁻¹)		P (g feuille ⁻¹)	
			2006	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006		
St-Édouard	10 m	Culture	4,63 a	4,54 a	65,0 a	128 a	14,8 a	19,3 a	1,10 a	1,73 a		
		Hersage	4,06 b	3,53 b	37,5 b	90,0 b	6,30 b	12,4 b	0,58 b	1,17 b		
St-Paulin	12 m	Culture	3,86 a	3,34 a	35,8 a	99,3 a	6,37 a	16,4 a	0,55 a	1,44 a		
		Hersage	3,74 a	3,04 a	29,1 a	103 a	4,73 b	17,6 a	0,45 a	1,61 a		
St-Rémi	8 m	Culture	11,3 a	14,3 a	N.D.	102 a	16,6 a	17,2 a	1,58 a	1,77 a		
		Hersage	10,9 a	12,6 b	N.D.	81 b	10,4 b	13,7 a	1,17 b	1,94 a		
	6 m	Culture	11,6 a	14,6 a	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
		Hersage	11,6 a	13,0 b	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		

Nota : Haut., hauteur ; diam., diamètre ; SF, superficie foliaire unitaire ; N.D., non disponible. Les moyennes d'une même colonne auxquelles ont été attribuées des lettres différentes, pour chaque combinaison de site et d'écartement entre les rangées d'arbres, sont significativement différentes à $P < 0,05$ (test de Tukey).

Parallèlement, des normes CND (*Compositional Nutrient Diagnosis*) propres aux PH ont été appliquées afin de comparer leurs bilans de déséquilibre nutritif pour les différents traitements. En général, le déséquilibre nutritif des PH en SCI était beaucoup moins important que celui des PH du témoin, en particulier sur les sites de St-Édouard et St-Rémi. Les plus importants écarts entre les traitements ont été observés en 2005 : le déséquilibre nutritif des PH du témoin était supérieur de 142, 59 et 105 % à celui des PH en SCI, pour les sites de St-Édouard, St-Paulin et St-Rémi, respectivement.

Parmi les éléments minéraux analysés (N, P, K, Ca et Mg), l'azote s'est avéré le plus limitant pour la croissance des PH, notamment dans le traitement témoin. Ces résultats, qui démontrent un bon potentiel de croissance des PH en SCI, permettent de nuancer des résultats moins probants obtenus dans les rares recherches portant sur des SCI avec des peupliers (Burgess et al. 2004 ; Powell et Bork 2004).

L'effet de la culture intercalaire sur la qualité du sol

Les différentes variables servant à caractériser la qualité du sol à St-Rémi ont été mesurées de façon à analyser les effets du SCI et du traitement témoin (2 hersages des allées par an), à diverses distances de la rangée de PH (0, 2 et 5 m). En 2005, la moyenne de la minéralisation nette (MN) de l'azote (toutes distances et dates confondues) en SCI s'est avérée supérieure de 22 % à celle du témoin. En 2006, même si la moyenne saisonnière de la MN de l'azote ne différait pas entre les traitements, les observations spécifiques à la période comprenant les mois de septembre et octobre indiquaient que, en comparaison avec le témoin, la MN de l'azote était supérieure de 16 % en SCI. Cette période était également marquée par les plus importants écarts de biomasse microbienne entre les traitements (20 % supérieure dans le SCI). La moyenne saisonnière du quotient métabolique (QM) dans le SCI était, pour sa part, inférieure de 7 et 25 % à celle observée dans le témoin, en 2005 et 2006, respectivement. Ces résultats semblent signifier que la biomasse microbienne serait plus efficace à minéraliser le carbone dans le sol.

L'examen de l'effet de la distance de la rangée de PH a fait ressortir que, à l'exception du pH et du QM, la valeur des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique du sol dans la bande au pied des PH (0 m) était beaucoup plus faible que dans l'allée (2 et 5 m), autant dans le SCI que dans le témoin. Il est fort probable que ces différences soient liées à la bande de paillis de polyéthylène qui freine l'incorporation au sol de la litière des arbres et sous laquelle une forte densité racinaire a été observée. Même si les effets positifs à court terme du paillis sur l'établissement des arbres sont bien connus, cela remet en question ses bénéfices à moyen terme, notamment sur la qualité du sol, et invite à réfléchir sur des stratégies alternatives de répression de la végétation le long des rangées d'arbres.

En 2006, nous avons effectué une étude lysimétrique pour mesurer les nitrates lessivés à 60 cm de profondeur dans le SCI de St-Rémi, dans des zones avec et sans racines d'arbres. L'hypothèse était que les racines des arbres pourraient capter les nitrates et créer un « filet de sécurité ». Dix-huit lysimètres ont été installés dans la culture intercalaire sans modification, et 18 autres dans des zones où l'effet des racines des arbres avait été éliminé à l'aide de tranchées imperméabilisées avec du polyéthylène. Les résultats préliminaires montrent que pour 8 des 11 dates d'échantillonnage, les concentrations en nitrates dans l'eau se retrouvant à 60 cm de profondeur sont plus élevées quand les racines des arbres sont absentes. Il semble donc que les arbres créent un filet de sécurité.

Nous nous sommes également intéressés à l'hétérogénéité spatiale des communautés microbiennes du sol. En 2006 nous avons extrait les acides gras phospholipidiques de grilles d'échantillons de sol. Les profils d'acides gras phospholipidiques extraits dans les échantillons représentent des empreintes des communautés microbiennes trouvées dans les sols. Une plus grande hétérogénéité des communautés microbiennes est souhaitable pour augmenter les chances de conserver toutes les fonctions écologiques du sol lors de perturbations. Selon les analyses de composantes principales, les communautés microbiennes provenant des différents échantillons des grilles étaient plus hétérogènes dans le SCI que dans la culture conventionnelle. D'autres analyses multivariées (PERMDISP) et des analyses sur les acides gras individuels (tests de Levene et de Moses) ont confirmé ces résultats.

Il convient cependant de préciser que les traitements n'étaient pas répétés et que l'inférence statistique ne peut être généralisée au-delà des champs étudiés.

L'abondance et la distribution des champignons mycorhiziens arbusculaires (AMF) dans le SCI et la plantation conventionnelle de PH (NM3729) a également été comparée à St-Rémi. L'abondance totale des spores était similaire dans les deux systèmes (avec respectivement $22,7 \pm 0,9$ et $22,6 \pm 1,1$ spores g^{-1} sol). Toutefois, la densité de spores augmentait proportionnellement avec la distance par rapport au peuplier dans le SCI tandis qu'elle était stable dans le témoin. L'abondance la plus faible a été trouvée sous le paillis de plastique dans les deux traitements.

L'identification des espèces d'AMF a révélé la présence d'au moins 13 phylotypes dans les racines de soya et de peuplier. Seulement 7 phylotypes étaient communs au soya et au peuplier. Deux phylotypes étaient spécifiques au soya et 4 au peuplier, dont 3 à celui associé au soya et 1 à celui en monoculture. L'indice de diversité en espèces d'AMF des parcelles de SCI était de 0,70 ($\pm 0,11$), valeur significativement supérieure à celle de la plantation conventionnelle de PH ($0,53 \pm 0,08$).

La biomasse aérienne et souterraine du soya était proportionnelle à la distance par rapport au peuplier. Cela peut expliquer pourquoi l'abondance des spores, qui est liée à l'abondance des racines, augmentait avec la distance par rapport au peuplier. Bien que le peuplier et le soya se soient développés dans les mêmes conditions, leurs communautés AMF respectives se sont révélées bien différentes. Les résultats suggèrent que l'association de l'arbre à la culture pourrait être plus riche en espèces d'AMF que chacune des deux composantes cultivées de façon séparée.

Retombées escomptées

Le présent projet a permis d'obtenir des données novatrices sur l'intérêt de combiner cultures agricoles et arbres feuillus au Québec. Il a notamment permis de montrer certains effets positifs de l'association sur la qualité chimique, structurale et biologique du sol, ainsi que sur la productivité des arbres. Il a aussi montré l'impact positif de certains éléments de la régie de l'arbre sur la productivité des cultures. Les résultats indiquent en effet qu'il est possible de contrôler les effets négatifs de la compétition pour la lumière si une attention particulière est portée à la sélection des espèces et des clones d'arbre, à l'écartement et à l'arrangement spatial des rangées d'arbres, ainsi qu'à certains traitements sylvicoles comme l'éclaircie et l'élagage.

En permettant une meilleure compréhension de l'interaction entre les diverses composantes des SCI, tout en fournissant des parcelles expérimentales et de démonstration pour les intervenants intéressés à ces systèmes, le projet ouvre donc la voie à leur application en milieu rural au Québec.

Références

• Burgess et al. 2004. *Agrofor. Syst.* 63: 157-169. • Graves et al. 2007. *Ecol. Engineering* 29: 434-449. • Jose et al. 2004. *Agrofor. Syst.* 61: 237-255. • Palma et al. 2007. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119 : 320-334. • Powell et Bork. 2004. *Can. J. For. Res.* 34: 1858-1869. • Rivest. 2008. Thèse de doctorat, Univ. Laval.