



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



LES SYSTÈMES DE CULTURES INTERCALAIRES AVEC ARBRES FEUILLUS

Jumeler production de bois et
production agricole tout en
protégeant l'environnement

Canada 

Introduction

L'évolution de l'agriculture dans l'est du Canada a été caractérisée, au cours des cinq dernières décennies, par un gain spectaculaire de productivité. Toutefois, dans bien des cas, une exclusion progressive de l'arbre des terres cultivées s'en est suivie, notamment en raison de la mécanisation des grandes exploitations agricoles. Combinée à une intensification de l'agriculture, la diminution des superficies boisées et arborées a entraîné divers problèmes environnementaux, dont une baisse de la fertilité des sols et leur érosion, un accroissement de la pollution diffuse, une réduction de la biodiversité et une perte de qualité des paysages ruraux. Dans ce contexte, le rétablissement de l'arbre comme élément fondamental de l'agroécosystème agricole apparaît une solution judicieuse pour atténuer les impacts de l'agriculture intensive. Or, des expérimentations réalisées dans l'est du Canada et dans d'autres régions tempérées du monde ont démontré que les systèmes de cultures intercalaires (SCI) constituent une avenue prometteuse pour réintroduire stratégiquement les fonctions écologiques de l'arbre en milieu agricole et tendre ainsi vers des systèmes de production agricoles durables (photo 1). Tout en fournissant plusieurs services environnementaux, l'implantation d'arbres feuillus par le biais de tels systèmes peut aussi répondre de façon originale à la nécessité d'accroître la production de bois de qualité, indispensable à l'industrie de la transformation du bois et de la fabrication de meubles.

Ce document effectue un tour d'horizon de différents types de SCI observés au Canada et dans les régions tempérées de la planète, et donne un compte rendu des connaissances actuelles concernant leur productivité et leurs bénéfices environnementaux. Les principaux aspects de l'itinéraire technique à considérer pour réussir son projet de système de cultures intercalaires sont ensuite abordés : le choix des espèces d'arbres, leur espacement, leur entretien, ainsi que le choix des cultures et leur régie.



Photo 1. Les systèmes de cultures intercalaires 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.

La modernisation des formes traditionnelles d'association entre arbres et cultures

Dans les régions tempérées du monde, diverses formes traditionnelles d'association d'arbres et de cultures sont demeurées très vivantes. Dans certains pays comme l'Italie, la France et la Grèce, les systèmes de cultures intercalaires s'étendent sur plusieurs dizaines de milliers d'hectares. Généralement, ces cultures se composent de plantes céréalières (p. ex. : maïs, blé, orge) et oléoprotéagineuses (p. ex. : soya, tournesol), cultivées dans les «allées» de jeunes plantations linéaires d'arbres feuillus (p. ex. : noyers). Les cultures et les plantations peuvent partager les mêmes parcelles pendant plusieurs années, de l'ordre de 15 à 20 ans (photo 2), jusqu'à ce que l'ombrage des arbres inhibe la croissance des plantes agricoles. Dans d'autres systèmes traditionnels, par exemple dans la combinaison blé d'hiver - *Paulownia* en Chine (Wu et Zhu, 1997) et pacanier - cotonnier aux États-Unis (Zamora *et al.*, 2008), l'ombrage des arbres n'est

pas un facteur limitant ; les cultures intercalaires sont alors généralement maintenues tout au long du cycle de production.

Récemment, diverses initiatives visant à accroître la production de bois de feuillus tout en maintenant l'activité agricole en territoire rural ont permis la conception de nouveaux systèmes. En Europe, et notamment en France, des arbres comme le noyer et le peuplier hybride ont été associés à des cultures



Photo 2. Culture intercalaire de soya dans un verger de noyers du Dauphiné, en France. Dans cette région, la pratique des systèmes de cultures intercalaires remonte à l'antiquité.

comme le blé, le colza – aussi appelé canola au Canada – et diverses espèces fourragères (photo 3). Au Canada, les premiers essais expérimentaux ont été implantés il y a près de 25 ans à Guelph, en Ontario; ils portent surtout sur l'association d'arbres feuillus (i.e. chêne rouge, érable argenté, érable à sucre, frêne d'Amérique, noyer noir, peuplier



Photo 3. Système associant des noyers hybrides et du colza à la station expérimentale de Restinclières dans l'Hérault, en France.



Photo 4. Système associant des frênes d'Amérique et du blé à la station de recherche en agroforesterie de l'Université de Guelph, en Ontario.



Photo 5. Système associant des peupliers hybrides et de l'avoine à Saint-Paulin, au Québec.

hybride) et de grandes cultures (p. ex.: maïs, soya, blé) (photo 4). Au Québec, les toutes premières parcelles expérimentales ont été implantées il y a six ans. Le soya, le canola, le sarrasin et diverses céréales comme l'orge, l'avoine, le seigle et le blé, ont été associés à des plantations mélangées de feuillus nobles et de peupliers hybrides (photo 5).

Arbres et cultures intercalaires : poussent-ils bien ensemble ?

L'effet de la culture intercalaire sur la croissance de l'arbre

Pour les forestiers, associer des cultures agricoles à la production d'arbres n'est pas coutume. Les arbres peuvent-ils tirer parti de leur proximité avec les cultures intercalaires et bénéficier indirectement des soins (p. ex. : désherbage, fertilisation) qui leur sont apportés ? Bien qu'elles n'aient porté que sur de jeunes arbres, les expérimentations réalisées au Québec semblent indiquer que oui. Ainsi, il a été observé qu'après trois à quatre années de croissance, la biomasse aérienne de différents clones de peupliers hybrides associés à diverses cultures intercalaires annuelles était, en moyenne, de 40 % supérieure à celle observée dans un traitement répété de hersage entre les rangées d'arbres, une pratique communément utilisée dans la monoculture intensive du peuplier (Rivest *et al.*, 2009) (photo 6). Selon cette étude, l'amélioration de la croissance des arbres proviendrait notamment: i) de la stimulation de la biomasse microbienne du sol et de la minéralisation



Photo 6. Sur ce site expérimental à Saint-Rémi, au Québec, les peupliers hybrides associés depuis trois ans seulement à une culture intercalaire de soya (à gauche) ont une biomasse largement supérieure à celle des peupliers hybrides du traitement sans culture intercalaire (à droite). Il est à noter que le dispositif comprenait aussi des feuillus nobles (au centre).

de l'azote par la culture intercalaire; et ii) de la récupération, par les racines des arbres, d'une proportion importante des résidus de fertilisants dévolus à la culture intercalaire, ce qui améliore leur nutrition minérale. Des résultats similaires ont été obtenus en France par Chifflet *et al.* (2006).

Le type de culture associée aux arbres a toutefois une grande importance. Ainsi, des essais réalisés en Ontario ont démontré que la hauteur de jeunes arbres était plus élevée en présence de maïs ou de soya qu'en présence d'orge, une culture qui exerce une concurrence importante pour l'eau au début de la saison de croissance (Williams et Gordon, 1992). Néanmoins, lorsque les plantes associées sont bien choisies, tout indique que les arbres plantés dans les SCI auraient généralement des rotations sensiblement plus courtes que celles des arbres en peuplement forestier. Cela est d'autant plus vrai que les arbres des SCI, parce qu'ils sont plantés à de larges espacements, développent des cimes plus étendues, ce qui a pour effet d'accélérer leur croissance radiale. À moins de procéder à des élagages fréquents, on doit donc s'attendre à obtenir à la récolte finale des billes de pied plus courtes, mais plus volumineuses que celles récoltées dans les forêts naturelles (Cabanettes *et al.*, 1999).

L'effet de l'arbre sur la productivité de la culture intercalaire

Les agriculteurs sont souvent plus familiers avec l'association d'arbres et de cultures (p. ex. : bandes riveraines arborées et haies brise-vent) que ne le sont les forestiers. Néanmoins, insérer des rangées d'arbres rapprochées au milieu des cultures est une pratique peu fréquente. Il est bien connu que les jeunes arbres feuillus n'occasionnent généralement aux cultures qu'une perte de productivité négligeable, leur effet pouvant même être bénéfique dans certains cas. Cependant, avec les années, les cultures intercalaires peuvent subir le contrecoup de la concurrence des arbres pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux du sol. Au Québec et en Ontario, des études ont révélé que la diminution du rendement de cultures comme le soya et le maïs à proximité des arbres est généralement attribuable à leur ombrage (Reynolds *et al.*, 2007; Rivest *et al.*, 2009). Plusieurs options peuvent toutefois permettre de maîtriser la concurrence pour la lumière, dont: i) favoriser, dès la plantation, de larges espacements entre les arbres, à l'intérieur des rangées et entre elles; ii) opter pour des espèces et des clones d'arbre qui minimisent l'ombrage (forte porosité et faible largeur de cime); iii) privilégier l'éclaircie et des élagages fréquents; et iv) orienter les rangées d'arbres selon un axe nord-sud.

L'ombrage des arbres ne se traduit toutefois pas toujours par une diminution du rendement de la culture associée. Ainsi, certaines plantes fourragères (p. ex. :

fétuque élevée) peuvent produire, sous un certain ombrage (i.e. 50 %), une biomasse totale et un contenu total en protéines supérieurs à ceux observés en pleine lumière (Lin *et al.*, 1999). En Ontario, Clinch *et al.* (2009) ont aussi observé une amélioration de la reprise et du rendement d'une culture de saules sous l'ombrage modéré de diverses espèces d'arbres, comparativement à la monoculture (photo 7).



Photo 7. Sur ce site expérimental à Guelph, en Ontario, la biomasse d'une culture intercalaire de saule en courte rotation associée à des arbres de 20 ans est de 45 % supérieure à celle observée en plein champ.

Aux États-Unis, certaines recherches ont montré que la concurrence des arbres pour l'eau peut devenir critique au point de réduire significativement la productivité des cultures associées (Jose *et al.*, 2004). Il est toutefois possible de neutraliser cette concurrence grâce au cernage racinaire des arbres, c'est-à-dire par la maîtrise mécanique des racines des arbres pour les empêcher de pousser vers l'allée cultivée (photo 8). Les rares essais concernant la concurrence pour les éléments nutritifs du sol ont démontré qu'elle est généralement négligeable, dans la mesure où les exigences nutritives de la culture intercalaire sont comblées par des pratiques de fertilisation appropriées (Miller et Pallardy, 2001).



Photo 8. Des travaux de recherche ont démontré que le cernage racinaire (p. ex., à l'aide d'une sous-soleuse) peut limiter la compétition souterraine entre les arbres et les cultures.

Les systèmes de cultures intercalaires sont-ils rentables ?

En raison de leur nouveauté, on possède peu de données sur la rentabilité réelle des SCI. Néanmoins, il ressort de diverses études économiques (notamment à l'aide de simulations) que les SCI se comparent avantageusement aux monocultures et aux plantations conventionnelles (Graves *et al.*, 2007). Le choix de l'espèce d'arbre et de la culture associée a toutefois une grande influence sur la rentabilité des SCI. De façon générale, la rentabilité des SCI est favorisée par : i) de faibles taux d'intérêt (comme ceux observés actuellement) ; ii) le choix de sites à indice de fertilité élevé ; iii) l'utilisation de traitements sylvicoles et d'espacements maximisant le rendement des cultures et la croissance des arbres ; iv) la production de bois de qualité « déroulage », vendu quand les prix du marché sont les plus élevés ; v) le choix d'espèces d'arbre qui permettent l'exploitation de produits non ligneux à intérêt commercial (p. ex. : fruits, noix, sirop d'érable) ; et vi) l'apport d'incitatifs financiers reconnaissant les externalités positives de l'arbre sur le plan environnemental (p. ex. : séquestration du carbone, diminution de l'érosion du sol) (Dyack *et al.*, 1999 ; Benjamin *et al.*, 2000 ; Graves *et al.*, 2007).

L'arbre au service de l'environnement

Les SCI sont des agrosystèmes originaux qui répondent à des enjeux environnementaux multiples. Leur structure particulière, intermédiaire entre celles des systèmes agricoles de monocultures intensives et des écosystèmes naturels complexes, permet une meilleure exploitation des ressources du milieu en raison de la complémentarité de l'arbre et des cultures pour l'utilisation de l'eau, des éléments minéraux et du rayonnement lumineux, ainsi que de leur impact bénéfique sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

L'arbre améliore la fertilité des sols

Les SCI peuvent contribuer à augmenter les retours de matière organique au sol grâce aux résidus au sol (litières) issus de la biomasse aérienne des arbres et à la décomposition *in situ* de leurs racines (en particulier les racines fines). Les humus provenant des litières d'arbres feuillus sont souvent d'excellente qualité et peuvent donc être gérés comme une véritable fertilisation, ce qui peut se traduire par une diminution des besoins en engrais inorganiques. L'apport au sol de

matière organique provenant des arbres entraîne généralement une augmentation de la biomasse microbienne et des populations de vers de terre (Price *et al.*, 1999), contribuant ainsi à améliorer la fertilité des sols.

L'arbre freine l'érosion des sols et la pollution diffuse

Dans les systèmes de cultures intercalaires, la présence des racines des arbres permet de limiter le ruissellement de surface et l'érosion des sols. Les racines profondes des arbres peuvent également récupérer une partie des éléments fertilisants échappant à la culture par lixiviation, ce qui permet, entre autres, d'atténuer la pollution des nappes par les nitrates. On a donné à ce phénomène le nom « d'hypothèse du filet de sécurité » (*safety net hypothesis*) (Allen *et al.*, 2004). Son existence a notamment été illustrée, au Québec, dans un SCI avec des peupliers hybrides : de mai à la mi-octobre, on y a mesuré une diminution de près de 80 % de la quantité de nitrates lessivés dans l'eau du sol, grâce au pouvoir tampon des racines des arbres (Lacombe, 2007). Une étude réalisée en Ontario indique quant à elle que les SCI peuvent aussi atténuer la migration dans les cours d'eau de certaines bactéries dommageables pour la santé humaine (Dougherty *et al.*, 2009).

L'arbre séquestre le carbone atmosphérique

L'accroissement du taux de matière organique du sol et la présence d'une strate arborée fixatrice de dioxyde de carbone (CO₂) indiquent que les SCI peuvent aussi avoir un rôle majeur à jouer dans la séquestration du carbone et dans la réduction de la concentration atmosphérique d'autres gaz à effet de serre, comme l'oxyde nitreux (N₂O). L'utilisation de certaines essences à croissance rapide, tel le peuplier hybride, permet d'augmenter le potentiel de fixation de carbone atmosphérique des SCI. En Ontario, Peichl *et al.* (2006) ont évalué qu'à la treizième année de croissance des arbres, le flux net annuel de carbone dans un SCI associant le peuplier hybride et l'orge était de 13 tonnes de carbone par hectare, alors qu'il n'était que de 1 tonne par hectare dans un SCI associant l'épinette de Norvège et l'orge, et négatif de 3 tonnes par hectare dans un système de monoculture d'orge.

L'arbre permet d'améliorer la biodiversité et la qualité des paysages

Des études réalisées dans l'est de l'Amérique du Nord ont montré que la diversité et l'abondance des populations de prédateurs des ravageurs des cultures étaient plus élevées dans les SCI que dans les monocultures agricoles, ce qui pourrait limiter le besoin de recourir à

des pesticides (Stamps et Linit, 1998; Howell, 2001). Au Québec, une plus grande diversité des populations microbiennes, en particulier des mycorhizes arbusculaires, a été observée dans le sol d'un SCI associant le peuplier hybride et le soya, comparativement aux monocultures de soya et de peupliers hybrides (Chiffot *et al.*, 2009; Lacombe *et al.*, 2009).

Puisqu'ils forment une mosaïque d'habitats plus complexes et plus diversifiés que les systèmes agricoles conventionnels, les systèmes de cultures intercalaires permettent aussi d'attirer une plus grande quantité et une plus grande diversité d'oiseaux, comme cela a été observé en Ontario (Thevathasan et Gordon, 2004). Ils peuvent également favoriser les déplacements de la faune en contribuant à relier les îlots forestiers. Les SCI constituent donc une solution toute indiquée à la séparation spatiale des surfaces occupées par l'agriculture et par la forêt. Ils peuvent créer des paysages originaux, attractifs et favorables aux activités récréatives. Pour cette raison, leur adoption paraît particulièrement indiquée dans les milieux où la qualité du paysage a été fortement affectée par l'intensification des pratiques agricoles (photo 9).



Photo 9. Les systèmes de cultures intercalaires embellissent les paysages, comme on peut le voir sur cette parcelle où sont associés le noyer noir et le sarrasin en Poitou-Charentes, en France.

L'implantation et l'entretien des systèmes de cultures intercalaires

Quelles espèces d'arbres choisir ?

Lors de la planification d'un SCI, l'espèce d'arbre est généralement choisie en fonction de: i) sa vitesse de croissance; ii) sa valeur commerciale ou environnementale; iii) son adaptation aux conditions écologiques (sol et climat) du site; iv) sa résistance aux perturbations; et v) sa convivialité avec les cultures intercalaires.

Les échecs des plantations agroforestières sont souvent dus au choix d'espèces d'arbres inappropriées au site de plantation. Le tableau 1 présente les conditions édaphiques optimales pour l'établissement d'arbres feuillus nobles adaptés à la plaine du Saint-Laurent, au Québec, et pour lesquels il existe une bonne demande de la part de l'industrie forestière, notamment celle du sciage et du déroulage. Dans ce tableau, les différentes conditions de texture, de drainage et de pH des sols ont été ordonnées selon leur potentiel à recevoir ces espèces. Plusieurs spécialistes du milieu sont d'avis que ces arbres peuvent produire, sur de bons sites, du bois de qualité « déroulage » en 50 ou 60 ans, alors que les projections pour les forêts naturelles sont le plus souvent de 80 à 100 ans.

Tableau 1. Grille pour le choix des espèces d'arbres feuillus dans six conditions de sol au Québec (Cogliastro *et al.*, 1998, avec permission)

Espèce	CLASSIFICATION DES CONDITIONS DE SOL					
	TEXTURE DES SOLS					
	LOAM		SABLE LAOMEUX - LOAM SABLEUX			
	DRAINAGE		DRAINAGE			
	<i>bon</i>	<i>modéré</i>	<i>rapide</i>	<i>bon</i>	<i>modéré</i>	<i>imparfait</i>
Chêne à gros fruits	3	3	2	2	3	1
Chêne rouge	4	4	1	2	4	3
Érable argenté	2	2	2	2	2	1
Érable à sucre	1	1	2	1	2	NR
Frêne d'Amérique	1	2	2	2	2	2
Frêne de Pennsylvanie	2	2	4	4	3	1
Noyer noir	1	2	NR	2	NR	NR

pH 5,9-6,4 pH 7,4-7,6

1) meilleure performance de l'espèce sous ces conditions. 4) moins bonne performance de l'espèce sous ces conditions. NR) conditions de sol non recommandées pour l'espèce.

Il peut également être avantageux de combiner des feuillus nobles à des peupliers hybrides à croissance rapide, tel que cela a été expérimenté dans certains essais au Québec et en Ontario (photo 10). Une telle association s'inspire de la succession naturelle de certains écosystèmes forestiers où le peuplier domine les feuillus nobles, plus tolérants à l'ombre et de plus grande longévité, qui lui succèdent. Cette combinaison offre notamment les avantages suivants : i) création d'un microclimat favorable à la croissance des feuillus nobles ; ii) obtention de revenus à moyen terme grâce à la récolte des peupliers hybrides (âge d'exploitation de 15 à 20 ans pour la production de bois de qualité « déroulage ») ; iii) amélioration rapide de l'agroenvironnement et de la qualité des paysages ; et iv) maintien de l'ouverture du site grâce à la récolte des peupliers hybrides, ce qui est favorable à plusieurs cultures agricoles.



Photo 10. Système associant des peupliers hybrides (à gauche et à droite), des feuillus nobles (noyer noir et frêne d'Amérique, au centre) et du soya à Saint-Rémi, au Québec.

Bien que le mariage entre conifères et cultures ne soit pas impossible, ce type de SCI est peu répandu dans les régions tempérées. De façon générale, la qualité de la litière des arbres feuillus est supérieure à celle des conifères, ce qui se traduit notamment par des taux de minéralisation de l'azote plus élevés et son incorporation plus rapide dans le profil du sol.

À quel espacement les arbres doivent-ils être plantés ?

Contrairement aux plantations forestières de feuillus sur terres agricoles, où les arbres sont généralement plantés à des densités de 800 à 1 500 arbres par hectare, les arbres plantés en SCI n'exploitent qu'une faible proportion de l'espace (40 à 160 arbres par hectare, ce qui correspond approximativement à un écartement entre les rangées de 12 à 50 mètres, pour un espacement de 5 mètres sur les rangées). Généra-

lement, la densité des arbres est ajustée en fonction de l'équilibre recherché entre les arbres et les cultures. Avec un faible nombre d'arbres, une production soutenue des cultures intercalaires est assurée. Avec beaucoup d'arbres, c'est la production de bois qui est priorisée. Entre deux arbres d'une même rangée, l'espacement est généralement faible (3 à 6 mètres) de façon à permettre des éclaircies ; entre les rangées, où il faut accommoder la mécanisation des cultures, notamment le passage des rampes de pulvérisation, il est plutôt élevé (photo 11). L'expérience française montre que le meilleur compromis entre la production du bois et celle des cultures s'obtient souvent avec un écartement de 25 à 35 mètres pour des feuillus qui atteindront 15 à 20 mètres de hauteur à la récolte finale.



Photo 11. Sur cette parcelle, en France, l'écartement entre les rangées d'arbres est de 14 m, ce qui permet à l'agriculteur de circuler aisément avec sa rampe de pulvérisation de 12 m.

Faut-il maintenir une bande non cultivée ?

Dans les associations avec des cultures intercalaires annuelles, une bande non cultivée de 1 à 3 mètres de largeur est normalement maintenue sous les rangées d'arbres (photo 12). Si la bande non cultivée est trop étroite, les risques de bris mécaniques sur les arbres sont accrus, de même que les effets de la concurrence pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux entre les arbres et les cultures. En revanche, plus la bande non cultivée est large, plus on aura perdu de l'espace « cultivable ». Plusieurs méthodes de lutte contre les mauvaises herbes le long des rangées d'arbres peuvent être utilisées, dont l'utilisation de paillis de plastique et l'application d'herbicides. À la station de recherche de Guelph, en Ontario, le contrôle des mauvaises herbes n'a été effectué qu'au cours des dix premières années. Des études indiquent que les populations de mauvaises herbes dans les bandes non cultivées ne causent pas de problèmes d'envahissement dans les allées et qu'elles peuvent servir d'habitat à de petits mammifères (Kotey, 1996).



Photo 12. Sur cette parcelle à Saint-Paulin, au Québec, où on pratique une régie biologique de la culture, la bande non cultivée est composée d'un paillis de plastique et, à ses côtés, de deux étroites bandes enherbées qui sont fauchées mécaniquement.

Comment soigner les arbres pour obtenir du bois de qualité : la taille, l'élagage et l'éclaircie

Les arbres plantés à large espacement ont tendance à développer des houppiers denses, larges et bas sur le tronc, ce qui peut compromettre la production de bois de qualité. Par conséquent, la taille de formation et l'élagage demeurent incontournables pour favoriser la formation d'un fût droit et dépourvu de nœuds, mais aussi pour permettre le passage de la machinerie dans les allées et réduire l'ombrage sur les cultures intercalaires. Les éclaircies sur le rang, quant à elles, stimulent l'accroissement des arbres d'avenir pour la production de bois de qualité et



Photo 13. Sur cette parcelle à Saint-Rémi, au Québec, les peupliers hybrides de 6 ans ont été éclaircis et élagués sur une hauteur de 4 mètres. En augmentant momentanément la disponibilité de la lumière, ces traitements ont entraîné une plus grande uniformité du rendement du soya dans les allées cultivées.

permettent d'augmenter la luminosité apportée aux cultures intercalaires (photo 13). Généralement, une ou deux éclaircies, dans les 25 à 30 années suivant la plantation, ramèneront le peuplement à une densité définitive de 20 à 80 arbres par hectare. Le moment et l'intensité de l'éclaircie pourront être ajustés en fonction des besoins en lumière des cultures intercalaires. Des éclaircies hâtives sont recommandées pour les cultures exigeantes comme le maïs, alors que des éclaircies plus tardives conviendront aux cultures plus tolérantes à l'ombre.

Le choix et la conduite des cultures intercalaires

La décision de cultiver une plante plutôt qu'une autre dépend d'abord et avant tout des besoins de l'agriculteur et de son savoir-faire. Toutes les cultures intercalaires (grandes cultures, cultures fourragères, cultures maraîchères, petits fruits, plantes ornementales, etc.) sont possibles (photo 14). Il faut cependant considérer que les cultures annuelles présentent davantage de contraintes que les cultures pérennes : i) interventions mécanisées plus nombreuses et plus coûteuses ; ii) risques plus élevés de blessures aux arbres ; iii) incompatibilité de certains traitements phytosanitaires avec les arbres ; iv) obligation d'évacuer ou de fragmenter les produits de la taille des arbres ; v) délai et irrégularité dans la maturation des cultures à proximité de l'arbre.

Néanmoins, les cultures annuelles, notamment celles à cycle à croissance décalé par rapport à celui des arbres (p. ex. : céréales d'hiver) peuvent s'avérer moins compétitives que les cultures pérennes.



Photo 14. Il est tout à fait possible d'associer des arbres à des cultures spécialisées comme le montre cet exemple, en France, où des asperges ont été implantées entre les rangées de peupliers hybrides.

Dans les systèmes à faible densité de plantation (30 à 50 arbres par hectare), il est possible de maintenir la culture intercalaire jusqu'à la récolte des arbres. Cependant, à de plus fortes densités, il est probable que les rendements des plantes agricoles diminuent au point de ne plus être rentables lorsque les arbres se rapprochent de la maturité. Il faudra donc opter alors pour une culture adaptée à la concurrence des

arbres. Dans un tel cas, deux options sont possibles : se diriger progressivement vers des cultures tolérantes à l'ombre (p. ex. : certaines plantes fourragères) ou réduire la surface cultivée entre les rangées d'arbres de façon à ce que la culture associée bénéficie toujours des ressources nécessaires pour obtenir un rendement acceptable.

La surface équivalente de l'association (SEA)

La surface équivalente de l'association, ou SEA (appelée LER, Land Equivalent Ratio, en anglais) permet de comparer l'efficacité biologique du SCI à celle des monocultures agricoles et forestières. Elle est utilisée pour déterminer s'il est plus avantageux, pour une surface donnée, d'associer les arbres et les cultures que de les produire séparément. La SEA correspond à la surface requise, si l'on produit les arbres et les cultures séparément, pour obtenir la même production qu'un hectare en SCI. Une SEA supérieure à 1 indique donc que le SCI est le système le plus productif. Graves *et al.* (2007) ont estimé, à l'aide de la modélisation, que la SEA de plusieurs dizaines de scénarios de SCI intégrant des feuillus nobles ou des peupliers hybrides était, à quelques exceptions près, supérieure à 1, et pouvait même atteindre 1,4. Dans de tels cas, cela signifie que 1 hectare en SCI produit autant que 1,4 hectare où les arbres et les cultures seraient produits séparément.

Conclusion

Les recherches effectuées en Amérique du Nord et en Europe ont démontré l'intérêt des systèmes de cultures intercalaires (SCI), aussi bien sur le plan de la productivité que pour leurs bienfaits environnementaux. De nombreuses associations d'arbres et de cultures sont possibles, à condition de choisir des espèces adaptées aux conditions du site et dont les produits (autant ceux des arbres que ceux des cultures) peuvent occuper une place de choix sur des marchés bien implantés, mais aussi sur des marchés de niche. Il faut également considérer que les arbres et les cultures ont une influence les uns sur les autres. Les interventions doivent donc être orientées judicieusement de façon à optimiser leurs interactions positives tout en minimisant leurs interactions négatives. Par exemple, avec le développement des arbres, l'exploitant peut être appelé à opter pour la production de cultures se développant bien en milieu semi-ombragé, ou encore à privilégier certaines pratiques qui redonnent de la lumière aux cultures, comme l'élagage.

L'adoption des SCI dans le contexte agricole canadien nécessite toutefois un effort d'adaptation important de la part des producteurs, de l'industrie et des gouvernements. Une enquête récente réalisée au Québec auprès de propriétaires terriens a en effet montré que peu de propriétaires et de producteurs sont familiers avec ces systèmes (Marchand et Masse, 2008). Selon ces auteurs, l'absence d'incitatifs techniques et financiers ainsi que d'un cadre réglementaire spécifique aux SCI constitue une contrainte importante à leur développement. À titre de comparaison, en France, plus de 2000 hectares de nouvelles parcelles de SCI ont été mises en place par les producteurs au cours des dernières années, grâce à l'assouplissement des réglementations agricoles, agroenvironnementales et forestières. Les SCI constituent donc des modèles de production agricole durable qui demandent une adaptation des pratiques à la ferme comme des programmes de soutien technique et financier. Leur aptitude à revaloriser les terres agricoles marginales et à améliorer le bilan agroenvironnemental des terres plus fertiles en fait une solution de choix pour le maintien du potentiel productif des terres agricoles pour les générations futures.

Ouvrages cités

- Allen, S.C., Jose, S., Nair, P.K.R., Brecke, B.J., Nkedi-Kizza, P., Ramsey, C.L. 2004. Safety-net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) – cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management* 192 : 395-407.
- Benjamin, T.J., Hoover, W.L., Seifert, J.R., Gillespie, A.R. 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 4. The economic return of ecological knowledge. *Agroforestry Systems* 48 : 79-93.
- Cabanettes, A., Auclair, D., Imam, W. 1999. Diameter and height growth curves for widely-spaced trees in European agroforestry. *Agroforestry Systems* 43 : 169-182.
- Chiffot, V., Bertoni, G., Cabanettes, A., Gavaland, A. 2006. Beneficial effects of intercropping on the growth and nitrogen status of young wild cherry and hybrid walnut trees. *Agroforestry Systems* 66 : 13-21.
- 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. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 : 32-39.
- Clinch, R.L., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Volk, T.A., Sidders, D. 2009. Biophysical interactions in a short rotation willow intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 : 61-69.
- Cogliastro, A., Gagnon, D., Bouchard, A. 1998. La région du Haut-Saint-Laurent, idéale pour la plantation de feuillus. *L'Aubelle* 125 : 8-11.
- Dougherty, M.C., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Lee, H., Kort, J. 2009. Nitrate and *Escherichia coli* NAR analysis in tile drain effluent from a mixed tree intercrop and monocrop system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 : 77-84.
- Dyack, B.J., Rollins, K., Gordon, A.M. 1999. A model to calculate *ex ante* the threshold value of interaction effects necessary for proposed intercropping projects to be feasible to the landowner and desirable to society. *Agroforestry Systems* 44 : 197-214.
- Graves, A.R., Burgess, P.J., Palma, J.H.N., Herzog, F., Moreno, G., Bertomeu, M., Dupraz, C., Liagre, F., Keesman, K., van der Werf, W., Koeffeman de Nooy, A., van den Briel, J.P. 2007. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological Engineering* 29 : 434-449.
- Howell, H.D. 2001. Comparison of arthropod abundance and diversity in intercropping agroforestry and corn monoculture systems in southern Ontario. M.Sc., University of Toronto.
- Jose, S., Gillespie, A.R., Pallardy, S.G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61 : 237-255.
- Kotey, E.N. 1996. Effects of tree and crop residue mulches and herbicides on weed populations in a temperate agroforestry system. M.Sc., University of Guelph.
- Lacombe, S. 2007. Diminution des pertes du nitrate par lixiviation et augmentation de la diversité microbienne dans les systèmes agroforestiers. M.Sc., Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- Lacombe, S., Bradley, R.L., Hamel, C., Beaulieu, C. 2009. Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 : 25-31.
- Lin, C.H., McGraw, R.L., George, M.F., Garrett, H.E. 1999. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agroforestry Systems* 44 : 109-119.
- Marchand, P.P., Masse, S. 2008. Enjeux reliés au développement et à l'application de technologies de boisement et d'agroforesterie pour la production de biomasse énergétique : résultats des groupes de consultation rencontrés au Québec et dans les Prairies. Rapport d'information LAU-X-135. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides.
- Miller, A.W., Pallardy, S.G. 2001. Resource competition across the tree-crop interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. *Agroforestry Systems* 53 : 247-259.
- Peichl, M., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Huss, J., Abohassan, R.A. 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 66 : 243-257.

- Price, G.W., Gordon, A.M. 1999. Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada, *Agroforestry Systems* 44:141-149.
- Reynolds, P.E., Simpson, J.A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M. 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. *Ecological Engineering* 29: 362-371.
- 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. *Journal of Environmental Management* 91: 432-440.
- 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. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131: 51-60.
- Stamps, W.T., Linit, M.S. 1998. Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 39: 73-89.
- Thevathasan, N.V., Gordon, A.M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 61: 257-268.
- Williams, P.A., Gordon, A.M. 1992. The potential of intercropping as an alternative land use system in temperate North America. *Agroforestry Systems* 19: 253-263.
- Wu, Y., Zhu, Z. 1997. Temperate agroforestry in China. *In* Gordon, A.M. and Newman, S.M. (eds.). *Temperate Agroforestry Systems*, CAB International, Wallingford, UK., p. 149-179.
- Zamora, D.S., Jose, S., Nair, P.K.R., Jones, J.W., Brecke, B.J., Ramsey, C.L. 2008. Interspecific competition in a pecan-cotton alley-cropping system in the southern United States: Is light the limiting factor. *In* Jose, S. and Gordon, A.M. (eds.). *Toward Agroforestry Design: An Ecological Approach*. Springer, NY., p. 81-95

Lectures suggérées

- Dupraz, C., Liagre, F. 2008. *Agroforesterie – des arbres et des cultures*. Editions France Agricole, Paris. 413 p.
- Rivest, D., Olivier, A. 2007. Cultures intercalaires avec arbres feuillus: quel potentiel pour le Québec? *The Forestry Chronicle* 83: 526-538.
- Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Simpson, J.A., Reynolds, P.E., Price, G.W., Zhang, P. 2004. Biophysical and ecological interactions in a temperate tree-based intercropping system. *Journal of Crop Improvement* 12: 339-363.

Les auteurs remercient le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies, le Conseil national de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada ainsi que le Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec qui ont contribué financièrement aux travaux de recherche ayant servi, en partie, à la rédaction de ce document. Des remerciements sont aussi adressés aux réviseurs scientifiques provenant du Centre des brise-vent d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, John Kort, Ph.D., chercheur en agroforesterie, et Laura Poppy, spécialiste en agroforesterie. Les auteurs désirent aussi souligner la collaboration d'Alain Cogliastro, Ph.D., chercheur botaniste à l'Institut de recherche en biologie végétale du Jardin botanique de Montréal, ainsi que la contribution des collègues du Canada et de la France qui ont fourni plusieurs photos. Enfin, des remerciements sincères sont adressés aux producteurs agricoles qui ont participé aux projets expérimentaux réalisés sur leurs propriétés.



Auteurs:

David Rivest, Ing. F., Ph.D., Université Laval: david.rivest.1@ulaval.ca

Alain Olivier, Ph.D., Université Laval: alain.olivier@fsaa.ulaval.ca

Andrew M. Gordon, B.Sc.F., Ph.D., R.P.F., University of Guelph: agordon@uoguelph.ca

Crédits photo: Photo 1 : Raymond Sauvaire. Photo 2 : David Rivest. Photo 3 : David Rivest. Photo 4 : Naresh Thevathasan. Photo 5 : David Rivest. Photo 6 : David Rivest. Photo 7 : Naresh Thevathasan. Photo 8 : Christian Dupraz. Photo 9 : Fabien Liagre. Photo 10 : David Rivest. Photo 11 : Fabien Liagre. Photo 12 : David Rivest. Photo 13 : David Rivest. Photo 14 : Christian Dupraz.

Pour plus d'informations:

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Direction générale des services agroenvironnementaux

Division de l'adaptation régionale et des

changements de pratiques, région du Québec

Gare maritime Champlain

901, rue du Cap-Diamant, bureau 350-4

Québec (Québec) G1K 4K1

Téléphone: 418-648-3652

Télécopieur: 418-648-7342

Courriel: stephane.gariepy@agr.gc.ca

Site Web: www.agr.gc.ca/agroforesterie

Les opinions et déclarations contenues dans cette publication n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement la politique d'Agriculture et Agroalimentaire Canada ou celle du gouvernement du Canada. Cette publication peut être reproduite sans autorisation dans la mesure où la source est indiquée en entier.

Also available in English under the title:
HARDWOOD INTERCROPPING SYSTEMS
Combining wood and agricultural production while delivering environmental services

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2010
No de catalogue A42-108/2010F-PDF
ISBN 978-1-100-94279-7
No AAC 11208F