

DAVID RIVEST

**LA CULTURE INTERCALAIRE PEUT-ELLE
DYNAMISER LA PLANTATION DES ARBRES
FEUILLUS À BOIS NOBLE AU QUÉBEC ?**

Essai

**Présenté pour l'obtention du grade de
*Maître ès sciences (M.Sc.)***

**Département de Phytologie
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation
Université Laval**

Novembre 2004

© David Rivest, 2004

Résumé

Les besoins croissants de la société québécoise en bois de feuillus durs de qualité, ainsi que la volonté de conserver certaines forêts naturelles, nécessiteraient d'importantes initiatives de reboisement avec des arbres feuillus au cours des prochaines années. Or, l'intérêt pour les plantations de feuillus nobles demeure encore dérisoire en comparaison de celui qu'on observe pour les essences résineuses : au cours des dernières années, il s'est planté moins d'un feuillu pour 200 résineux. C'est bien peu si l'on considère que la transformation du bois de feuillus représente environ 25% du marché total de l'industrie du bois au Québec. Une des raisons pouvant expliquer ce manque d'engouement pour les plantations de feuillus réside dans le fait que les revenus qu'on peut en tirer ne surviennent qu'à long terme, alors même qu'elles nécessitent des investissements importants pour l'implantation et l'éducation des arbres. Afin de donner un nouvel élan à la plantation feuillue au Québec, il apparaît essentiel de se tourner aujourd'hui vers des avenues davantage adaptées aux contraintes qui freinent sa diffusion. Dans cette étude nous nous sommes donc penchés sur la culture intercalaire, une pratique agroforestière qui consiste en un peuplement à deux strates (arbres en rangées largement espacées et plantes cultivées entre les rangées). Des expériences réalisées en Ontario, aux USA et en Europe ont révélé l'intérêt de telles formes modernes et performantes d'associations d'arbres et de cultures, qui se sont montrées adaptées à la mécanisation et souvent très efficaces en termes de production et de protection de l'environnement.

Bien que la culture intercalaire soit pratiquement inconnue au Québec, elle pourrait éventuellement être appelée à devenir un important vecteur de développement de la plantation des feuillus nobles, notamment grâce à ses avantages économiques. Dans le but de vérifier cette hypothèse de départ, nous avons utilisé une approche socio-économique. Elle a reposé, premièrement, sur une analyse comparative coûts/bénéfices de trois systèmes concrets mis en place au sein d'une entreprise agroforestière localisée à St-Nicolas (Québec) : 1) plantation pure de noyers noirs (*Juglans nigra*) ; 2) plantation pure de sapins de Noël (*Abies balsamea*) ; et 3) association de noyers noirs, de sapins de Noël et de cèdres à haie (*Thuja occidentalis* var. *nigra*). Dans un deuxième temps, une enquête a été réalisée pour déterminer le profil de dix propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches ainsi que leurs perceptions concernant la culture intercalaire. Cette démarche suggère un ensemble de pistes de solutions à emprunter afin de mieux orienter les actions à entreprendre pour la promotion de la culture intercalaire au Québec.

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de maîtrise, Alain Olivier, d'abord et avant tout pour m'avoir partagé quotidiennement sa jovialité, son entrain et son enthousiasme, mais aussi pour son grand professionnalisme, son assiduité, sa disponibilité, sa patience et sa rigueur sans faille. M. Olivier, sincèrement, je vous lève mon chapeau. Merci.

Mes remerciements vont également à Christian Dupraz et Jerzy Sawicki qui ont bien voulu prendre de leur temps pour me recevoir comme stagiaire et pour avoir donné un sens pratique à mon projet de maîtrise. À vous deux, merci infiniment pour m'avoir transmis une partie de cette grande passion qui vous anime. Merci à vous pour m'avoir donné autant de liberté.

Je tiens également à rendre hommage à Raymond-Marie Gauvin, un grand artisan de la culture des arbres feuillus qui, depuis toujours, s'est montré généreux et attentif à mon endroit. M. Gauvin, vous m'avez fait découvrir une véritable passion pour les feuillus nobles. Aujourd'hui, je suis honoré de pouvoir la partager avec vous.

Enfin, mille mercis à ma femme Miren, ma force et mon inspiration, pour tout l'amour inconditionnel qu'elle porte à mon égard, jour après jour.

Table des matières

Résumé	II
Remerciements.....	III
Table des matières	IV
Liste des acronymes	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des photos	X
Introduction générale	1
Chapitre 1 Les systèmes de cultures intercalaires intégrant des arbres feuillus sous climat tempéré.....	8
1. Introduction.....	8
2. L'agroforesterie.....	9
3. Les associations d'arbres feuillus et de cultures intercalaires	10
3.1 Les formes traditionnelles d'associations.....	10
3.2 La recherche et le développement de formes modernes d'associations.....	13
3.3 Aperçu de l'itinéraire technique.....	17
3.3.1 <i>Le choix des arbres</i>	17
3.3.2 <i>L'espacement des arbres</i>	18
3.3.3 <i>La bande non cultivée</i>	20
3.3.4 <i>L'éducation des arbres</i>	20
3.3.5 <i>La régie des cultures intercalaires</i>	21
4. La productivité des systèmes de cultures intercalaires.....	23
4.1 La performance des arbres soumis à l'influence d'une culture intercalaire	23
4.2 L'impact des arbres sur la productivité des cultures intercalaires	27
5. Les avantages socio-économiques des systèmes de cultures intercalaires.....	30
6. Les apports environnementaux des systèmes de cultures intercalaires	34
7. Conclusion.....	36

Chapitre 2 Analyse économique de la culture intercalaire : étude de l'association noyer noir - cèdre à haie - sapin de Noël à la Pépinière St-Nicolas, au Québec.....	38
1. Introduction.....	38
2. Méthodologie.....	40
2.1 Le modèle d'analyse économique utilisé	40
2.2 La variable mesurée.....	41
2.3 Le site.....	43
2.4 Les espèces ciblées.....	43
2.5 Les modalités de production.....	44
2.6 L'itinéraire technique et la productivité des différentes modalités de production	47
2.6.1 <i>Modèle 1 : culture pure de noyers</i>	47
2.6.1.1 L'itinéraire technique	47
2.6.1.2 La productivité, la récolte et la vente du bois de noyer.....	49
2.6.2 <i>Modèle 2 : la culture pure de sapins de Noël</i>	51
2.6.2.1 L'itinéraire technique	51
2.6.2.2 La productivité, la récolte et la mise en marché du sapin de Noël.....	52
2.6.3 <i>Le modèle 3 : la culture intercalaire</i>	53
2.7 L'analyse de sensibilité.....	56
2.7.1 <i>Le taux d'intérêt</i>	56
2.7.2 <i>La productivité et la qualité du bois de noyer</i>	57
2.7.3 <i>L'ajout ou le retrait d'une composante : la culture des cèdres à haie</i>	58
2.7.4 Les incitatifs financiers à la culture des noyers.....	59
3. Résultats et discussion.....	60
3.1 Les trois modèles de base.....	60
3.2 L'analyse de sensibilité de la VAN.....	62
3.2.1 <i>Le taux d'intérêt</i>	62
3.2.2 <i>La productivité et la qualité du bois de noyer</i>	63
3.2.3 <i>La production de cèdres à haie</i>	64
3.2.4 <i>Les incitatifs financiers à la culture des noyers</i>	65
4. Conclusion.....	66

Chapitre 3 Le profil des propriétaires de plantations de feuillus nobles et leur perception de la culture intercalaire, dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec.....	67
1. Introduction.....	67
2. Méthodologie.....	69
2.1 Les limites de l'analyse.....	69
2.2 La sélection de l'échantillon et les modalités de contacts avec les répondants ...	69
3. Résultats et Discussion.....	70
3.1 Le profil des propriétaires de plantations de feuillus nobles.....	70
3.2 L'itinéraire technique des plantations.....	72
3.3 Pourquoi les propriétaires interrogés plantent-ils des arbres feuillus ?.....	76
3.4 Les contraintes limitant la réalisation et l'entretien des plantations feuillues	78
3.5 La perception de la culture intercalaire par les propriétaires de plantations de feuillus	80
4. Conclusion.....	82
Conclusion générale	84
Références.....	89
Annexe A.....	103
Annexe B	104
Annexe C	105
Annexe D	106
Annexe E	109

Liste des acronymes

AFBF :	Agence forestière des Bois Francs
AMVP	Agences de mise en valeur des forêts privées
CIRAD :	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CRPF :	Centre régional de la propriété forestière
ENSAM :	École nationale supérieure agronomique de Montpellier
INRA :	Institut national de la recherche agronomique
PAC :	Politique agricole commune
PSN :	Pépinière St-Nicolas
RNC :	Ressources naturelles Canada
SAFE :	Systèmes agroforestiers pour les fermes européennes

Liste des tableaux

Tableau 1. Croissance en hauteur et en diamètre et taux de survie d'arbres feuillus âgés de 7 ans en plantations agroforestières (AF) et forestières (PF) européennes.	24
Tableau 2. Productivité de diverses cultures intercalaires soumises à l'influence d'arbres feuillus au sein d'essais menés en région tempérée.	28
Tableau 3. Aspects financiers de différentes modalités de culture du noyer noir et d'agriculture en Amérique du Nord.	32
Tableau 4. Données intégrées au modèle « culture pure de noyers » concernant la production des noyers noirs à la Pépinière St-Nicolas pour les trois années de récolte prévues.	50
Tableau 5. Données intégrées au modèle « culture pure de noyers » concernant la répartition des produits du bois de noyer noir à la Pépinière St-Nicolas pour les trois années de récolte prévues.	51
Tableau 6. Données intégrées au modèle « culture pure de sapins » concernant la quantité de sapins de Noël récoltés à la Pépinière St-Nicolas pour les quatre années de récolte prévues au premier cycle d'exploitation.	53
Tableau 7. Données intégrées au modèle « culture intercalaire » concernant la production des cèdres à haie, des sapins de Noël et des noyers noirs à la Pépinière St-Nicolas pour les différentes années de récolte prévues.	55
Tableau 8. Répartition des produits du bois de noyer noir provenant du modèle « culture intercalaire » pour les trois années de récolte prévues dans le cadre de trois scénarios de volume de production.	58
Tableau 9. Caractéristiques générales des propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).	71
Tableau 10. Espèces d'arbres feuillus à bois noble utilisées par les propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).	73
Tableau 11. Niveau de connaissance de la culture intercalaire des propriétaires de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).	81

Liste des figures

Figure 1. Arrangement spatial des trois modèles de plantation utilisés à la Pépinière St-Nicolas à l'année de mise en terre des plants.	45
Figure 2. Valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) de trois modalités de cultures utilisées à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans.	60
Figure 3. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare du modèle de culture intercalaire utilisé à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction de trois taux d'intérêt.	62
Figure 4. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) du modèle de culture intercalaire utilisé à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction d'une variation de $\pm 25\%$ de la productivité et de la qualité du bois de noyer noir.	63
Figure 5. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) du modèle de culture intercalaire utilisé à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction de la présence ou de l'absence de la culture de cèdres à haie.	64
Figure 6. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) des modèles « culture intercalaire » et « plantation pure de noyers » utilisés à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction des incitatifs financiers à la culture des noyers noirs.	65
Figure 7. Motifs invoqués par les propriétaires de plantations de feuillus nobles de Chaudière-Appalaches interrogés pour expliquer leur décision de planter des feuillus nobles ($n = 10$).	77
Figure 8. Facteurs limitant la réalisation et le suivi d'une plantation de feuillus nobles selon les propriétaires de Chaudière-Appalaches interrogés ($n = 10$).	78

Liste des photos

- Photo 1. Plantation forestière de chêne à gros fruits dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec. 3
- Photo 2. Plantation forestière de frêne rouge dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec. 3
- Photo 3. Culture intercalaire de laitue sous des pêchers dans la région du Roussillon, en France. 12
- Photo 4. Culture intercalaire de soya sous des noyers à noix dans le département de l'Isère, en France. 12
- Photo 5. Système associant noyer hybride et blé dur sur le site de Restinclières dans le département de l'Hérault, en France. 14
- Photo 6. Système associant *Paulownia* spp. et blé, en Chine. 16
- Photo 7. Système associant noyer noir et sarrasin dans le département des Charentes Maritimes, en France. 18
- Photo 8. Système associant noyer noir, cèdre à haie et sapin de Noël à la Pépinière St-Nicolas, dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec. 45
- Photo 9. Système de plantation associant noyer noir et viorne trilobée (*Viburnum trilobum*) dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec. 74
- Photo 10. Système de plantation associant chêne rouge et sapin baumier dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec. 74
- Photo 11. Système de cultures intercalaires intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux cultures agricoles dans la région de la Mauricie, au Québec : semis de l'avoine le long d'un rang de peupliers hybrides. 86
- Photo 12. Système de cultures intercalaires intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux cultures agricoles dans la région de la Mauricie, au Québec : levée de l'avoine le long d'un rang de cerisiers tardifs. 86

Introduction générale

La forêt feuillue couvre l'extrême sud du Québec et occupe la portion la plus nordique d'une large bande qui s'étend depuis le centre-est des États-Unis et où prédominent les essences à feuilles caduques. Elle occupe près de 110 000 km², soit près de 7 % du territoire québécois ou 19 % de sa superficie forestière. Par ailleurs, elle chevauche la portion la plus peuplée de la province. En effet, 75 % de la population québécoise est disséminée au travers du domaine bioclimatique couvert par la forêt feuillue. Comme la forêt feuillue occupe les territoires adjacents aux zones habitées, elle est facilement accessible. Ses attraits et sa richesse offrent à la population une panoplie de produits, services et activités récréatives. Notamment, la forêt feuillue fournit d'importants volumes de bois, lequel est transformé dans de nombreuses usines réparties sur tout le territoire. Elle représente donc un apport économique important pour plusieurs localités en fournissant des milliers d'emplois directs en forêt et en usines.

Les besoins croissants de la société québécoise en bois de feuillus, ainsi que la volonté de conserver certaines forêts naturelles, pourraient donc entraîner d'importantes initiatives de reboisement de feuillus au cours des prochaines années. En effet, une partie de la forêt feuillue devra être aménagée intensivement afin de compenser la productivité perdue par l'utilisation du territoire à d'autres fins que la récolte de matière ligneuse, par exemple, pour la création d'aires protégées. Le gouvernement du Québec a adopté, en effet, des principes et des orientations stratégiques en vue de doter le Québec, d'ici 2005, d'un réseau d'aires protégées plus représentatif de l'ensemble de sa diversité biologique, l'objectif étant de faire passer la superficie actuelle de 2,8 % du territoire à 8 % (Ministère de l'Environnement du Québec 1999). Les plantations représentent, dans cet optique, un outil tout indiqué pour atteindre les objectifs de production de bois tout en diminuant la pression de récolte sur les forêts naturelles et ainsi favoriser leur conservation.

D'ailleurs, le reboisement avec des feuillus cadre parfaitement avec certaines orientations définies par le gouvernement du Québec. La stratégie de protection des forêts (Ministère des Ressources naturelles du Québec 1994) et le plan d'action sur la diversité biologique (Ministère des Ressources naturelles du Québec 1996) proposaient ainsi le reboisement comme technique de revalorisation des friches, en recommandant particulièrement les espèces feuillues dans les régions méridionales du Québec.

De concert avec le développement intensif de l'agriculture, les superficies forestières de plusieurs régions ont largement régressé: certaines (Li et Beauchesne 2003) présentent moins de 10 % de surfaces boisées. La perte du couvert forestier, en plusieurs endroits, est maintenant telle qu'elle est associée à plusieurs problèmes environnementaux. Ainsi, bien que le reboisement avec des feuillus soit une activité sylvicole très modeste actuellement, ses impacts positifs sur l'environnement rural sont nombreux et importants. Cette activité contribue notamment à maintenir le caractère feuillu dominant et productif du Québec méridional et indirectement à conserver la diversité du patrimoine naturel de cette région (Ministère des Ressources naturelles du Québec 1994). De surcroît, l'intégration de l'arbre feuillu permet d'atténuer la forte concentration spatiale de la production agricole, ce qui peut s'avérer utile pour créer des corridors « verts » qui permettent de relier les divers îlots forestiers qui parsèment le paysage.

Dans le sud du Québec, là où s'étend leur aire de distribution, les feuillus ont longtemps été plantés pour leur attrait ornemental ou réservés à l'aménagement de brise-vent et à la protection des berges contre l'érosion (Dumont 1995). Toutefois, un intérêt grandissant pour la culture des feuillus en plantation forestière (photos 1 et 2) a été observé à la fin des années 80 et au début des années 90. Alors que la production annuelle n'avait jamais dépassé 150 000 plants auparavant, on a mis en terre à chaque année, entre 1988 et 1995, plus d'un million de plants d'espèces feuillues en vue de la production de bois d'œuvre (Dumont 1997).

Ce phénomène a coïncidé avec celui de la rareté croissante des bois feuillus de qualité au Québec. En effet, suite à une intense exploitation des espèces ligneuses au XIX^e siècle (Bouchard *et al.* 1989), particulièrement dans le sud de la province, le potentiel forestier de la forêt feuillue est présentement négligé. L'évolution de la qualité des billes de feuillus durs récoltées au cours des dernières années est bon indicateur de la situation actuelle de la qualité du bois fournie par la forêt feuillue : en dix ans, les billes de qualité supérieure ont diminué de 10 %, alors que celles de qualité moindre ont augmenté de 10 % (Plourde 2001). Parallèlement, la consommation de bois de feuillus durs par les usines



Photo 1. Plantation forestière de chêne à gros fruits dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec (photo : D. Rivest).



Photo 2. Plantation forestière de frêne rouge dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec (photo : D. Rivest).

québécoises de sciage et déroulage a doublé entre 1990 et 1999, passant de 1 484 700 à 2 982 900 m³ (Plourde 2001). Le problème, c'est que cette augmentation spectaculaire a surtout bénéficié aux États-Unis dont l'apport à ce marché (sciage et déroulage) a grimpé en flèche de 175 %. Cela signifie que 35 % de la consommation québécoise de bois de feuillus durs est comblée actuellement par des importations en provenance des États-Unis. Selon Michaud (2001), la valeur des importations de bois de sciage de feuillus durs s'élevait à un peu plus de 500 millions de \$ en 1999, une situation paradoxale sachant que, depuis 1993, la valeur des exportations de meubles du Québec vers les États-Unis n'a cessé de croître, passant de 220 millions de \$, en 1991, à 1,3 milliard en 1999.

Malgré la prise en compte de ce contexte pour le moins inquiétant, l'engouement pour les plantations de feuillus demeure limité, considérant l'immensité du territoire québécois qui serait prêt à accueillir maintenant leur venue, notamment sur les terres agricoles abandonnées. En effet, de concert avec la piètre qualité des forêts rémanentes situées au sud de la province, dans un paysage presque exclusivement agricole, on assiste actuellement à un abandon massif des terres. Ainsi, de 1961 à 1996, l'espace agricole est passé de 3 200 000 à 1 740 000 ha (Domon et Bouchard 2001). Le pâturage amélioré aurait perdu 72 % de sa superficie au Québec, soit près de 20 000 hectares par année qui au terme du processus deviendront majoritairement des terres en friche (Statistique Canada 1997). Comme ces terres laissées à l'abandon prendront au minimum plus de 50 ans à retrouver une structure arborescente (Girard 1990) qui permette au propriétaire d'en tirer un revenu, il est important pour soutenir un aménagement intensif du territoire de trouver des alternatives (e.g. plantation de feuillus) qui permettent de valoriser l'activité humaine sur ces sites.

Par ailleurs, en comparaison avec le reboisement en essences résineuses, l'effort consacré au développement des plantations feuillues demeure dérisoire : au cours des cinq dernières années il a représenté moins de 0,5 % de toutes les activités de production de plants forestiers au Québec (Parent et Fortin 2003). C'est bien peu si on considère que la transformation des feuillus représente environ 25 % du marché total de l'industrie du bois au Québec (Ressources naturelles Canada 2003). De surcroît, l'enrésinement du sud du Québec, là où devraient prédominer les essences d'arbres feuillus, n'est pas sans soulever un tollé de protestations, notamment de la part des groupes d'environnementalistes.

L'aménagement des plantations feuillues et leur suivi fait appel cependant au sens du long terme et les dividendes engendrés par une telle entreprise sont souvent difficiles à percevoir pour un producteur privé. La plantation de feuillus ne serait pratiquée que par une minorité de propriétaires parce qu'on estime (sans disposer encore d'études exhaustives) que cela commande des investissements de temps et d'argent importants en raison des techniques sylvicoles particulières. Il est en effet plus difficile et coûteux de planter des feuillus que des résineux (von Althen 1991). Les exigences particulières de la plantation de feuillus demandent que le sylviculteur soit en quelque sorte « spécialisé » (Cogliastro *et al.* 2001). Les rares études économiques tendraient même à démontrer que la simple plantation de feuillus nobles n'est pas rentable en l'absence de subventions et de revenus supplémentaires à court et moyen terme (Robitaille 1999).

La réalité démontre que les propriétaires de plantations feuillues qui connaissent du succès sont rares. Bien qu'aucune étude approfondie ne le démontre, beaucoup de spécialistes s'entendent pour affirmer que le taux de succès des plantations a été inférieur à 30 % au cours des 15 dernières années. Ces insuccès seraient à la base du découragement de plusieurs propriétaires forestiers. Cette démotivation à planter des feuillus nobles s'est visiblement accrue lors des dernières années si on s'en tient aux statistiques de reboisement. En effet, moins de 400 000 plants ont été mis en terre annuellement entre 1997 et 2002 (Parent et Fortin 2003). Cela représente une diminution de 50 % de l'effort de reboisement par rapport à celui déployé au début des années 90.

Pour pallier cette problématique et afin de dynamiser la culture des feuillus nobles, de nouvelles avenues de régénération artificielle sont en développement. Elles sont de nature à susciter l'enthousiasme chez les conseillers forestiers et les propriétaires, ce qui stimulerait la poursuite des interventions. Elles se veulent plus adaptées à certaines contraintes économiques qui freinent la diffusion de la pratique. Citons en exemple, l'association du peuplier hybride et des feuillus nobles en double rotation ou l'introduction de feuillus nobles en friche arbustive (Cogliastro *et al.* 2001) ou dans les peuplements forestiers dégradés (Truax *et al.* 2000). Comparativement à la plantation conventionnelle, ces modèles se veulent plus adaptés aux réalités socio-économiques d'aujourd'hui et tirent parti de la complémentarité des associations (mélange des espèces et création d'une « ambiance forestière ») pour mieux valoriser les ressources du milieu.

Le présent essai vise à approfondir une autre de ces avenues. Il s'agit de la culture intercalaire. Cette pratique, intermédiaire entre l'agriculture et la foresterie, consiste en un peuplement à deux strates (arbres en rangées largement espacées et plantes cultivées entre les rangées). Elle permet une meilleure exploitation des ressources du milieu grâce aux interactions bénéfiques entre l'arbre et les cultures associées pour l'utilisation de l'eau, des éléments minéraux et de l'énergie lumineuse, ainsi qu'à leur impact bénéfique sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Baldy *et al.* 1993). L'intérêt que nous lui portons dans ce travail est tout à fait à propos. Bien que cette pratique agroforestière n'ait fait pratiquement aucune percée actuellement au Québec, celle-ci pourrait éventuellement être appelée à devenir un important vecteur de développement de la plantation des feuillus nobles. Nous croyons, en effet, que les nombreux avantages de la culture intercalaire, notamment au plan économique, pourraient rendre son adoption plus attrayante que la plantation conventionnelle. Il suffit de se pencher sur les résultats convaincants démontrés au sein de plusieurs pays d'Europe, aux États-Unis et en Ontario, notamment, pour s'en persuader.

Pourquoi s'intéresser à cette pratique alors qu'elle est méconnue du territoire québécois ? Est-elle davantage productive que les pratiques conventionnelles d'agriculture et de foresterie ? Quels sont ses fonctions, avantages et inconvénients ? À quel niveau se situe l'état des connaissances actuelles au plan environnemental, social et économique ? Voilà autant de questions auxquelles le premier chapitre (*Les systèmes de cultures intercalaires intégrant des arbres feuillus sous climat tempéré*) de cet essai s'attarde.

Le second chapitre vient appuyer, par une étude pratique, les considérations exposées dans cette synthèse. Pour ce faire, nous nous penchons sur l'évaluation économique de trois systèmes concrets mis en place au sein d'une entreprise agroforestière québécoise localisée dans la municipalité de St-Nicolas, à 15 km de la ville de Québec. Cette analyse nous a permis de comparer, sur la base de la valeur actuelle nette, un système de culture intercalaire intégrant le noyer noir (*Juglans nigra*), le cèdre à haie (*Thuja occidentalis* var. *nigra*) et le sapin de Noël (*Abies balsamea*), à la plantation pure du noyer noir, d'une part et, d'autre part, à la plantation pure de sapins de Noël.

Au troisième chapitre, nous avons entrepris de recueillir et de rassembler, à l'aide d'une enquête menée dans la région administrative de Chaudière-Appalaches, l'information nécessaire pour déterminer le profil socio-économique des principaux acteurs pour lesquels

cet essai présente un intérêt, les propriétaires de plantations de feuillus nobles. Nous avons également caractérisé leur exploitation, documenté leurs motivations et contraintes à planter des feuillus nobles et recueillis leur perception de la culture intercalaire.

L'ensemble de cette approche suggère, en conclusion, un ensemble de pistes de solutions à emprunter afin de mieux orienter les actions à entreprendre pour la promotion de la culture intercalaire au Québec. Enfin, le cheminement utilisé vise à répondre à notre question de départ : « la culture intercalaire peut-elle dynamiser la plantation des arbres feuillus à bois noble au Québec ? »

Chapitre 1

Les systèmes de cultures intercalaires intégrant des arbres feuillus sous climat tempéré

1. Introduction

Au cours des cinquante dernières années, marquées par l'industrialisation et l'explosion démographique, l'agriculture sous climat tempéré a été le théâtre d'une révolution sans précédent. Cette évolution s'est soldée aujourd'hui par un gain spectaculaire de la productivité des systèmes d'exploitation des ressources, mais aussi par l'exclusion des communautés forestières. En effet, devant l'inertie imposée par l'agriculture moderne, l'arbre a été progressivement rejeté des campagnes au profit des grandes exploitations mécanisées. Le terme de ce long processus de défrichement n'aura pas été sans s'accompagner d'importants problèmes socio-économiques et environnementaux. De ce nombre, soulignons particulièrement : la déprise agricole, les conflits sociaux entre propriétaires forestiers qui souhaitent boiser des terres agricoles et agriculteurs en activité, la perte de qualité des paysages ruraux, la réduction des stocks de bois de feuillus précieux, la perte de fertilité des sols et leur érosion, la modification des habitats, la pollution des eaux et de l'air et la réduction de la biodiversité (écosystémique, spécifique et génétique).

À l'ère du développement rural durable, plusieurs pays tempérés se sont sensibilisés à ces enjeux de grande envergure. Cette sensibilisation s'est manifestée par des actions concertées visant la recherche et le développement de pratiques à la fois productives et plus

respectueuses pour l'environnement. Dans ce contexte, l'agroforesterie est rapidement apparue comme une alternative toute indiquée pour réconcilier foresterie et agriculture afin de mieux valoriser et diversifier les espaces cultivés.

Bien que l'appel de l'agroforesterie puisse parfois apparaître comme une reprise du passé, le développement de pratiques innovantes, tournées vers l'avenir, est de nature à susciter l'intérêt, tant chez les agriculteurs et les chercheurs que chez les pouvoirs publics (Rocheleau 1999). Des essais récents, effectués notamment en Chine, en Amérique du Nord et en Europe, ont démontré les possibilités de formes modernes et performantes d'agroforesteries (Gordon *et al.* 1997a). Elles sont adaptées aux contraintes de la mécanisation et peuvent ainsi être très efficaces, à la fois en termes de production et de protection de l'environnement (Price 1995 ; Garrett et Buck 1997).

Nous nous proposons, dans ce chapitre, de faire une synthèse des connaissances sur l'agroforesterie tempérée, particulièrement sur les systèmes de cultures intercalaires intégrant des arbres feuillus. Pour ce faire, cette pratique agroforestière sera examinée dans sa globalité. Les aspects biophysiques, socio-économiques et environnementaux seront ainsi abordés. Nous tenterons tout d'abord de bien mettre en contexte les éléments de définition, d'histoire, de distribution et de caractérisation de cette pratique agroforestière, qu'il convient de dénommer « la culture intercalaire » (*intercropping – alley cropping*) pour être en conformité avec la nomenclature internationale.

2. L'agroforesterie

L'agroforesterie est une science distincte de l'agriculture et de la foresterie. Elle consiste en l'association délibérée d'arbres à des cultures végétales et/ou à des élevages, sous une même parcelle ou sous toute autre forme d'arrangement spatial ou temporel, et dont les interactions (écologiques et/ou économiques) entre les composantes arborées et non-arborées sont significatives (Nair 1993). Il serait trop fastidieux d'énumérer les pratiques agroforestières connues et d'en décrire les multiples applications. En tout, on peut rassembler et classer une vingtaine de pratiques agroforestières (Young 1989). Bien que l'intérêt manifesté par les paysans à l'égard de ces pratiques remonte à très longtemps, la recherche et le développement de l'agroforesterie en est à ses tous premiers pas,

particulièrement pour les régions tempérées du monde (Sanchez 1995 ; Garrett et Buck 1997 ; Jose *et al.* 2004).

Les pratiques agroforestières s'opposent aux pratiques agricoles et forestières par leur caractère multifonctionnel (Nair 1993) : elles fournissent des produits forestiers (bois, fruits, fourrage pour les animaux, fleurs pour l'apiculture, liège, etc.) et des produits agricoles ; elles protègent les sols, les eaux, la faune sauvage et les cultures (protection phytosanitaire et microclimatique) ; elles sont des alternatives aux jachères ; elles protègent les parcelles des incendies ; elles diversifient les habitats et augmentent la biodiversité ; elles enrichissent le patrimoine des exploitations agricoles ; elles mettent en valeur l'esthétique des campagnes par la création de paysages originaux.

En relation avec les fonctions ou les produits recherchés, l'enjeu fondamental de l'agroforesterie consiste à marier judicieusement les arbres et les cultures, puis à maîtriser, dans le temps, les interactions découlant de cette association.

Nous nous intéresserons maintenant à décortiquer les fondements et applications de cette approche pour le contexte particulier de la culture intercalaire, que Gordon et Williams (1991) définissent comme la plantation d'arbres en rangées largement espacées, permettant la production de cultures végétales entre ces rangées. Le système de culture intercalaire peut également être défini comme un peuplement à deux strates qui permet une exploitation accrue des ressources du milieu grâce aux interactions bénéfiques entre l'arbre et les cultures associées (Baldy *et al.* 1993).

3. Les associations d'arbres feuillus et de cultures intercalaires

3.1 Les formes traditionnelles d'associations

Sous climat tempéré, il existe actuellement une dizaine de systèmes agroforestiers (Newman et Gordon 1997). Certains de ces systèmes, très anciens mais encore très utilisés, comme le brise-vent, ont été développés empiriquement, alors que d'autres, comme l'agroforesterie du *Paulownia* spp., en Chine, ont émergé de travaux de recherche récents (Wu 1997). La culture intercalaire est un système agroforestier qui lie ces deux origines. En effet,

elle met en relation les connaissances traditionnelles aux avancées de la recherche scientifique.

Les premiers exemples de cultures intercalaires remontent à plus de 2000 ans, et sont rapportés pour les pays méditerranéens. On y fait mention de l'association blé (*Triticum* spp.) et olivier (*Olea europea*), où le blé est cultivé une année sur deux pour affaiblir la vigueur végétative des oliviers et favoriser ainsi la mise à fruit (Lelle et Gold 1994, dans Dupraz 1994a). D'autres exemples de systèmes très anciens sont aussi dignes de mention. Sous climat méditerranéen, soulignons particulièrement les cultures céréalières sous les amandiers (*Prunus amygdalus*), arganiers (*Argania* spp.), chataîgniers (*Castanea sativa*) et chênes fruitiers fourragers (*Quercus* spp.) (Dupraz et Newman 1997). En Chine, les premières observations relatives aux interactions écologiques et biologiques entre arbres et cultures intercalaires ont été rapportées au 14^e siècle. Les Chinois constataient alors que l'association du mûrier (*Morus* spp.) avec des cultures intercalaires comme le millet (*Setaria italica*), le soya (*Glycine max*), le sésame (*Sesamum* spp.) et le melon (*Cumis* spp.) était bénéfique pour augmenter la productivité des systèmes d'exploitation (Zhu *et al.* 1991). La place de l'arbre dans tous ces systèmes était essentielle.

Suite à l'intensification de l'agriculture, ces systèmes agroforestiers ont, pour la plupart, largement régressé (Boubaker 1997). Néanmoins, certaines pratiques traditionnelles sont demeurées très vivantes. Nous pouvons citer l'exemple des cultures intercalaires de blé sous jujubiers fruitiers (*Ziziphus jujuba*), en Chine (Wu et Zhu 1997), qui couvrent aujourd'hui plus de 200 000 ha, ou encore les cultures intercalaires hivernales maraîchères sous les vergers de pêchers (*Prunus persica*) du Roussillon (photo 3), en France (Dupraz et Newman 1997). Les cultures intercalaires dans les jeunes noyeraies du Dauphiné (photo 4) et du Périgord sont également des pratiques dignes de reconnaissance. Couvrant une superficie de 1500 ha, elles représentent probablement l'exemple le plus répandu de culture intercalaire en Europe (Dupraz 1994a). Cette pratique a été développée empiriquement par les agriculteurs et elle a atteint un niveau appréciable de technicité. Dépendant des intérêts personnels des agriculteurs, pendant 4 à 15 ans, les noyers sont appelés à partager l'espace des parcelles avec différentes cultures (Liagre 1993, dans Dupraz 1994a) : des céréales d'été (maïs (*Zea mays*), sorgho (*Sorghum bicolor*)), des céréales d'hiver (blé, orge (*Hordeum vulgare*)), des oléoprotéagineux (soya, colza (*Brassica napus*), tournesol (*Helianthus annuus*)), du tabac (*Nicotiana* spp.), des plantes fourragères (luzerne (*Medicago sativa*)), des fruitiers (pommiers (*Malus* spp.), poiriers (*Pyrus* spp., vignes (*Vitis* spp.)), des petits fruits comme la framboise (*Ribes* spp.), des plantes aromatiques comme la lavande (*Lavandula* spp.), des cultures de semence ou des fleurs.



Photo 3. Culture intercalaire de laitue sous des pêchers dans la région du Roussillon, en France (Photo : C. Dupraz).



Photo 4. Culture intercalaire de soya sous des noyers à noix dans le département de l'Isère, en France (photo : D. Rivest).

De concert avec la colonisation européenne, des pratiques traditionnelles similaires se sont développées en Amérique du Nord. Citons en exemple les cultures céréalières et maraîchères sous pacaniers (*Carya illinoensis*) dans le sud des États-Unis, qui sont très répandues aujourd'hui (Williams et Gordon 1992). Ailleurs, chez certains producteurs de pêche du sud de l'Ontario, la tradition consiste à cultiver des tomates (*Lycopersicon esculentum*), des citrouilles (*Cucurbita pepo*), des framboises, du maïs sucré et plusieurs autres légumes entre les rangées de pêcheurs (Williams et Gordon 1992).

3.2 La recherche et le développement de formes modernes d'associations

Des initiatives partagées entre certains agriculteurs et chercheurs progressistes ont été consacrées, dernièrement, non seulement au perfectionnement des pratiques traditionnelles, mais aussi à la conception de nouvelles associations d'arbres et de grandes cultures. Il existe essentiellement trois pôles innovants rattachés à la recherche et au développement concernant la culture intercalaire: la Chine, l'Europe et l'Amérique du Nord.

Du point de vue de l'ampleur et de la mise en œuvre chez les paysans, aucune agroforesterie ne peut rivaliser avec les pratiques agroforestières chinoises. Parmi ces pratiques, l'association *Paulownia* spp. et blé d'hiver (*Triticum* spp.) a fait l'objet d'études agronomiques poussées et représente aujourd'hui plus de 1,8 millions d'hectares (Wu et Zhu 1997). Le développement spectaculaire de l'agroforesterie du *Paulownia* spp. origine presque exclusivement de travaux de recherche récents qui ont porté notamment sur l'amélioration génétique de cette espèce. Il s'agit d'un système agroforestier à très haut niveau de productivité et de protection des cultures qui a littéralement transformé le paysage des vastes plaines du Nord de la Chine (Wu 1997). La reproduction de ces pratiques en Europe ou en Amérique du Nord est toutefois difficilement envisageable dû à un contexte biophysique et social très différent.

En Europe, les travaux réalisés sur les cultures intercalaires sont souvent restés à l'écart de la recherche, mais depuis une dizaine d'années plusieurs essais expérimentaux ont été réalisés, notamment en France et au Royaume-Uni. La plus importante expérimentation agroforestière d'Europe a été mise en place en 1995 à la station expérimentale de Restinclières, située dans l'Hérault (France), par une équipe mixte de recherche (ENSAM-

INRA-CIRAD). Il s'agit d'une vitrine sur les nouvelles possibilités offertes par l'agroforesterie avec 54 ha de plantations expérimentales, associant une quarantaine d'essences d'arbres, mais particulièrement le noyer hybride (NG23- *Juglans regia x Juglans nigra*) (photo 5) et le pin pinea (*Pinus pinea*) à des cultures intercalaires typiques du département (blé dur (*Triticum durum*), colza, vigne) (INRA et CRPF 2000). Les plantations agroforestières sont comparées à des témoins forestiers afin de comprendre et d'expliquer les performances des parcelles agroforestières (Dupraz *et al.* 1999a). D'autres expérimentations dans l'Hérault, menées sur les sites de Castries et Notre-Dame de Londres, associent des noyers (noyer noir (*Juglans nigra*) et noyer hybride) à des cultures fourragères pérennes : luzerne, sainfoin (*Onobrychis sativa*) et fétuque élevée (*Festuca arundinacea*) (Dupraz *et al.* 1999b). Au Royaume-Uni, l'association peuplier hybride (*P. trichocarpa x deltoides*) et céréales a fait l'objet d'études approfondies sur différents sites (Park *et al.* 1994 ; Merwin 1999). Des essais expérimentaux, étudiant l'association noyer régia (*Juglans regia*) et luzerne, ont également été rapportés pour le centre de l'Italie (Paris *et al.* 1995; Pini *et al.* 1999).



Photo 5. Système associant noyer hybride et blé dur sur le site de Restinclières dans le département de l'Hérault, en France (photo : D. Rivest).

En parallèle, le projet SAFE (des Systèmes Agroforestiers pour les Fermes Européennes), qui met en relation des chercheurs en agroforesterie de plusieurs pays européens (France, Hollande, Royaume-Uni, Italie, Espagne, Suisse, Grèce), mérite également une attention particulière de par son ampleur et son originalité. Le projet SAFE s'inscrit dans le cadre de l'évolution de la Politique agricole commune (PAC). Il suggérera des bases scientifiques pour la prise en compte de l'agroforesterie dans les prochaines révisions de la PAC. Des bases de données et des modèles seront mis au point pour évaluer l'intérêt économique de l'agroforesterie, et les résultats des simulations permettront de suggérer des aménagements réglementaires permettant le développement de l'agroforesterie à l'échelle européenne (SAFE 2004).

En Amérique du Nord, plusieurs expériences ont été menées depuis une quinzaine d'années, notamment par l'Université de Guelph en Ontario (Canada), l'Université du Missouri (É-U), l'Université Purdue (É-U) et l'Université de la Floride (É-U), dans le but de mieux connaître le potentiel de la culture intercalaire. La plupart des essais expérimentaux menés en Amérique du Nord font référence à l'association noyer noir et grandes cultures (maïs, blé, soja, avoine (*Avena sativa*), orge et plantes fourragères) (Garrett et Kurtz 1983; Garrett *et al.* 1991 ; Gordon et Williams 1991 ; Williams et Gordon 1992 ; Williams *et al.* 1997; Garrett et Harper 1999 ; Garrett et McGraw 2000 ; Gillespie *et al.* 2000). On peut aussi faire mention du système pacanier et coton (*Gossypium hirsutum*) développé dans le sud des États-Unis (Ramsey et Jose 2002 ; Lee et Jose 2003 ; Wanvestraut *et al.* 2004). Le chêne rouge (*Quercus rubra*) (Gillespie *et al.* 2000), le peuplier hybride (*Populus* *hyb.*) (Thevathasan et Gordon 1997) et le frêne blanc (*Fraxinus alba*) (Williams et Gordon 1992), notamment, ont également fait l'objet d'études relatives à la culture intercalaire. En marge de la recherche, des initiatives d'exploitants témoignent des possibilités de formes variées d'associations qui répondent à des besoins spécifiques. Citons par exemple les cultures intercalaires de sapin de Noël, de plantes médicinales, de framboisiers, de bleuettiers (*Vaccinium* spp.) et de plantes ornementales sous noyer noir dans l'État du Missouri (Garrett et Harper 1999).

Nous nous devons de mentionner aussi l'intérêt porté par des chercheurs sur le suivi de certains dispositifs américains de culture en couloir qui mettent en relation le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) à des cultures intercalaires de maïs (Ssekabembe *et al.* 1994 ; Seiter *et al.* 1999a). Il s'agit d'un arbre fixateur d'azote dont les raméaux des branches sont récupérés fréquemment pour fertiliser les cultures intercalaires. La culture en

couloir, de par ses applications, est une pratique agroforestière distincte de la culture intercalaire. Nous ne nous y attarderons donc pas davantage dans ce travail.

3.3 Aperçu de l'itinéraire technique

La plupart des feuillus précieux peuvent être plantés sur des terres agricoles (von Althen 1991). La plantation est souvent préférée à la régénération naturelle, car la plupart des essences nobles sont faiblement disséminées en forêt et se régénèrent difficilement (notamment le noyer et le chêne). Les boisements de terres agricoles peuvent alors prendre deux formes : plantations forestières ou plantations agroforestières. Il s'agit de deux itinéraires techniques largement différents. Les plantations forestières classiques font généralement appel à de fortes densités initiales (800 à 1500 arbres/ha) permettant plusieurs éclaircies. L'inconvénient principal de cette approche est l'absence de revenu à court terme et la perte du potentiel agricole (Baldy *et al.* 1993). À l'opposé, les plantations agroforestières n'exploitent qu'une faible proportion des espaces agricoles (100 à 300 arbres/ha) et la conduite des cultures intercalaires permet de préserver la trésorerie des exploitations. De cette façon, la pratique concilie des objectifs patrimoniaux (feuillus précieux de longue rotation) et des objectifs de revenus annuels par l'exploitation des cultures intercalaires (Dupraz 1994b).

Nous tenterons maintenant d'exposer les principaux aspects qui façonnent l'itinéraire technique de la culture intercalaire.

3.3.1 Le choix des arbres

Lorsque l'on plante des feuillus précieux, la première considération consiste à choisir une ou des espèces d'arbre qui conviennent au type de site que l'on possède (von Althen 1991 ; Cogliastro *et al.* 1997). Dans un contexte d'agroforesterie, le choix de l'arbre s'appuie généralement sur les enjeux suivants: la valeur commerciale ou environnementale de l'espèce, sa vitesse de croissance, sa résistance aux perturbations et sa capacité à créer un micro-environnement avantageux pour les cultures intercalaires (Hodge *et al.* 1999). L'arbre idéal existe-il? Bien qu'ils ne soient pas compatibles avec tous les sites, le *Paulownia* spp. et le noyer demeurent deux bons exemples d'arbres idéalisés.

En Chine, la convivialité du *Paulownia* spp. (photo 6) en agroforesterie n'est plus à démontrer. C'est un arbre indigène, à usages multiples (bois de construction, feuilles utilisées comme fourrage, nectar riche provenant des fleurs), adapté à une large amplitude écologique et possédant une croissance très rapide, de l'ordre de 0,5 m³ ou de 12 m en 10 ans (Wu et Zhu 1997). Ses caractéristiques biologiques font de lui un arbre très peu compétitif pour les

cultures intercalaires : foliaison tardive, faible ombrage porté aux cultures intercalaires, enracinement profond qui entraîne très peu de concurrence pour les ressources édaphiques, défoliaison tardive qui permet de protéger les cultures hivernales du froid (Wu 1997).

En Europe comme en Amérique du Nord, grâce à sa grande valeur économique, sa qualité paysagère, sa capacité à produire des noix, son bon potentiel de croissance et sa souplesse à l'aménagement, le noyer (photo 7) est un arbre qui a d'ores et déjà attiré la faveur des agroforestiers (Williams *et al.* 1997). La biologie du noyer fait de lui un arbre peu compétitif en agroforesterie et compatible avec de nombreuses cultures (Garrett et McGraw 2000). Du point de vue de la phénologie, il est l'un des arbres dont la foliaison démarre le plus tardivement au printemps et l'un des premiers à perdre ses feuilles à l'automne.

3.3.2 L'espacement des arbres

Généralement, dans les formes modernes d'associations, la densité des arbres est déterminée par les objectifs de l'exploitant (production de feuillus de qualité, autres produits des arbres (noix et fruits), cultures, valeur paysagère, conservation des sols, faune, etc.) et la nature de l'équipement agricole utilisé (Williams et Gordon 1992 ; Dupraz 1994b). La densité d'arbres à l'hectare souhaitée sera atteinte en ajustant l'espacement des arbres sur les lignes et entre les lignes. À la station expérimentale de Restinclières (France), cela représente un espacement de 13 m entre les lignes de noyers, pour accommoder le passage d'une rampe de pulvérisation de 12 m d'envergure, et de 4 m sur la ligne, pour avoir un minimum de souplesse lors des éclaircies (INRA et CRPF 2000). Il en est à peu près de même en Amérique du Nord dans les formes modernes d'associations avec le noyer noir, où les exploitants adoptent généralement un espacement de 12,5 x 3 m (Garrett *et al.* 1991). En Chine, la nécessité de subvenir aux besoins alimentaires de la famille en céréales force les paysans à opter, le plus souvent, pour de très faibles densités (5 x 40 m) de plantation de *Paulownia* spp. (Zhu 1991). Les résultats obtenus par Balandier et Dupraz (1999) permettent de recommander une densité de plantation initiale représentant le double de la densité finale du peuplement que l'on souhaite constituer. Par ailleurs, il est admis que pour assurer un ensoleillement maximal aux cultures agricoles intercalaires, il est préférable d'aligner les haies d'arbres selon une orientation nord-sud.



Photo 6. Système associant *Paulownia* spp. et blé, en Chine (photo : C. Dupraz).



Photo 7. Système associant noyer noir et sarrasin dans le département des Charentes Maritimes, en France (photo : F. Liagre).

3.3.3 *La bande non cultivée*

Dans les associations de cultures intercalaires annuelles (notamment les céréales), une bande linéaire non cultivée est normalement maintenue sous les rangées d'arbres. La maîtrise de la végétation concurrente dans cette bande est une opération cruciale dans l'itinéraire technique de l'exploitation, à la fois pour stimuler la croissance des arbres (Cutter et Garrett 1993), mais aussi pour assurer leur protection et éviter de gêner la culture intercalaire (Garrett *et al.* 1991 ; Dupraz 1994b). Plusieurs techniques de désherbage sont envisageables (paillage, mécanique ou chimique), mais le contrôle chimique de la végétation demeure la technique la plus performante, la moins onéreuse, la plus populaire auprès des exploitants et la moins dommageable pour les arbres (Garrett *et al.* 1991). La largeur de la bande non exploitée est également un choix technique très important. Les expérimentations menées par Dupraz (2001) ont permis de comparer des bandes non cultivées de 1 m (92 % de la surface est cultivée) et de 4 m (70 % de la surface est cultivée). Après 7 ans de croissance, les noyers disposés à 2 m de la plus proche rangée de blé dur mesurent 1 m de plus que ceux situés à 50 cm du blé dur. Tout indique qu'une faible distance arbre-culture résulte en une concurrence pour l'eau et les éléments minéraux des cultures intercalaires. En revanche, une large bande non cultivée induit une perte appréciable d'espace cultivable.

3.3.4 *L'éducation des arbres*

Par rapport aux forêts naturelles ou aux plantations denses, les arbres plantés à large espacement ont tendance à manifester moins de dominance apicale et donc à développer des houppiers denses, larges et bas sur le tronc. Ce type de développement des arbres apparaît incompatible avec la production de bois de qualité. Pour la production de bois de tranchage et de déroulage, la taille et l'élagage demeurent les traitements sylvicoles les plus efficaces afin d'améliorer la qualité du bois (Hubert et Courraud 1994). Comme son nom l'indique, la taille de formation vise avant tout à améliorer la forme des arbres, alors que l'élagage permet d'éliminer les nœuds, de former un fût droit, d'allouer le passage de la machinerie dans les allées et de réduire l'ombrage porté aux cultures intercalaires. Ces traitements d'éducation exigent un certain niveau de technicité, car la qualité de l'arbre peut sérieusement diminuer si des branches sont coupées à tort ou encore si la taille est exagérée ou trop tardive.

Contrairement à l'approche conventionnelle qui vise à former une longue bille sans nœud (6 m et plus), il sera plus avantageux économiquement de maintenir un houppier bas et large pour la production de noix (Garrett et Kurtz 1983). Au Missouri, les noyers à vocation fruitière sont élagués de 2,4 à 3 m sur les sites mésiques (indice de qualité de station de 16 à 21 m) et de 3,7 à 4,9 m sur les sites les plus riches (indice de qualité de station > 21 m) (Garrett et Harper 1999). Là où la récolte de noix n'est pas envisagée, la hauteur de l'élagage peut atteindre 8 m.

En procurant plus d'espace aux arbres, les éclaircies bien faites stimulent l'accroissement des arbres d'avenir pour la production de bois de qualité. Il en est de même pour le développement des cimes des fruitiers. Les éclaircies permettent aussi d'augmenter la luminosité apportée aux cultures intercalaires. Une ou deux éclaircies, dans les 25 à 30 années suivant la plantation, ramèneront le peuplement à sa densité définitive, soit généralement 75 arbres à l'hectare (Williams *et al.* 1997). Le moment et l'intensité de l'éclaircie seront ajustés en fonction des besoins en lumière des cultures intercalaires. Ainsi, pour des cultures d'ombrage comme le ginseng à cinq folioles (*Panax quinquefolium*), de faibles éclaircies tardives seront souhaitables. En revanche, des éclaircies précoces seront recommandées pour des plantes de lumière comme le maïs.

3.3.5 La régie des cultures intercalaires

La régie des cultures intercalaires représente certainement un aspect technique critique dans la conception du système. En plus d'influencer l'arrangement spatial des arbres, le choix des cultures intercalaires affectera la rentabilité de l'entreprise agricole et la croissance des arbres (Williams *et al.* 1997). La sélection des cultures intercalaires s'en remet à différentes considérations comme la nature du site, les intérêts personnels du propriétaire foncier et son habileté à répondre aux changements constants du marché, ainsi que les interactions avec les arbres (Garrett et Harper 1999).

En comparaison avec les cultures pérennes intercalaires (prairie pâturée), les associations de cultures intercalaires annuelles sont davantage contraignantes du point de vue de la mise en œuvre pour diverses raisons (Dupraz 1994b) : interventions mécanisées qui sont plus longues et plus coûteuses à réaliser, risques de blessures aux troncs et aux racines des arbres, incompatibilité de certains traitements phytosanitaires avec les arbres, impossibilité de circuler dans le sens perpendiculaire des lignes d'arbres avec la machinerie,

obligation d'évacuer ou de fragmenter les produits de la taille des arbres, et irrégularité dans la maturation et le rendement des cultures selon la proximité de l'arbre.

En Chine, les cultures intercalaires céréalières sont maintenues d'année en année jusqu'à la récolte des arbres (Zhu 1991). Il en va autrement avec les pratiques rencontrées en Amérique du Nord qui prônent davantage le remplacement progressif des cultures dans le temps. Voyons ce que cela peut signifier avec un exemple concret rapporté par Benjamin *et al.* (2000), concernant un système de cultures intercalaires intégrant le noyer noir, selon une révolution de récolte de 67 ans. Pendant les premières années suivant leur plantation, les noyers exercent peu de compétition et la productivité d'une culture intercalaire de maïs se maintient. Cependant, au bout d'une dizaine ou d'une quinzaine d'année (dépendamment de l'espacement des lignes d'arbres), l'ombre portée par les arbres et la compétition pour l'eau se font plus importantes. Dès lors, les rendements du maïs, une plante en C4 très exigeante en eau et en lumière, diminuent au point qu'il n'est plus économiquement intéressant de poursuivre la culture. Le maïs est alors remplacé par une culture de blé, plante en C3, qui tolère davantage l'ombre. À son tour, la culture intercalaire de blé sera remplacée par des cultures fourragères lorsque les noyers atteindront 20 ou 25 ans et jusqu'à ce qu'il aient 50 ou 55 ans. Après la disparition des cultures et en attendant la coupe finale des arbres, d'autres utilisations des bandes intercalaires seront envisageables, comme un pâturage pour les animaux ou l'aménagement d'espaces récréatifs sous les arbres (Williams et Gordon 1992).

Après la récolte des arbres, la parcelle agroforestière peut facilement retrouver sa fonction d'origine car l'essouchement d'une centaine de souches à l'hectare ne pose pas de problème technique majeur. À l'opposé de ce système perpétuel (réversible) de culture intercalaire, il sera également possible de conserver les arbres dans le but d'établir une forêt naturelle (Williams et Gordon 1992).

Tout cela étant dit, qu'est-ce qui pourra motiver véritablement l'exploitant, qu'il soit agriculteur ou forestier, à mélanger arbres et cultures alors qu'ils poussent normalement bien chacun de leur côté ? Les arbres et les cultures associées peuvent-ils être de connivence ? La productivité du système de culture intercalaire est-elle suffisante ? Possède-t-elle certains atouts aux plans socio-économiques et environnementaux ? La réponse à ces questions n'est pas simple. Nous tenterons d'y répondre dans les sections suivantes.

4. La productivité des systèmes de cultures intercalaires

En milieu tempéré, la productivité des arbres et des cultures agricoles est un enjeu capital. Pour tout producteur, il s'agit d'un critère décisionnel incontournable pour l'adoption d'une pratique d'exploitation, peu importe la ressource visée. Il n'est donc pas surprenant de constater que les chercheurs se vouent à développer des pratiques agricoles et forestières toujours plus performantes. La culture intercalaire, bien qu'elle réponde à des enjeux environnementaux importants, est indissociable de cette règle universelle. Quelle est la productivité des arbres plantés dans les systèmes de cultures intercalaires ? Les arbres ont-ils un impact sur le rendement des cultures associées ? Quels mécanismes biophysiques influent sur l'élaboration de la productivité des systèmes de cultures intercalaires ? Comment le producteur peut-il piloter ces mécanismes de façon à optimiser la productivité des arbres et des cultures associées ? Voilà autant de questions qui seront débattues dans cette section.

4.1 La performance des arbres soumis à l'influence d'une culture intercalaire

L'influence des cultures intercalaires sur les jeunes arbres a rarement été mise en évidence, car les témoins forestiers sont souvent absents des dispositifs expérimentaux (Dupraz 1999). Néanmoins, quelques études menées sur divers sites en France, notamment, ont permis la comparaison de la croissance et du taux de survie de jeunes arbres feuillus plantés en parcelles agroforestières par rapport à ceux plantés en parcelles forestières (tableau 1).

Tableau 1. Croissance en hauteur et en diamètre et taux de survie d'arbres feuillus âgés de 7 ans en plantations agroforestières (AF) et forestières (PF) européennes.

Site	Arbre	Culture intercalaire	Densité (arbres/ha)		Taux de survie (%)		Hauteur de l'arbre (cm)		Diamètre de l'arbre (mm)	
			AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF
Orcival ¹ (France)	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Cultures fourragères	200	1333	52	31	336	434	37	51
Valmanya ¹ (France)	<i>Quercus rubra</i>	Cultures fourragères	400	1100	80	82	287	308	40	35
	<i>Acer saccharum</i>	Cultures fourragères	400	1100	96	60	378	210	73	49
	<i>Prunus avium</i>	Cultures fourragères	400	1100	88	71	497	343	91	61
Pomy ¹ (France)	<i>Prunus avium</i>	Cultures fourragères	400	1100	73	48	329	196	47	25
	<i>Acer platanoides</i>	Cultures fourragères	400	1100	73	50	273	84	28	11
Notre-Dame de Londres ² (France)	<i>Juglans nigra</i>	Sainfoin	400	400	60	90	260	200	51	38
Restinclières ³ (France)	Noyer hybride	Blé dur et colza	192	204	n.d	n.d	560	350	142	98
Toulouse ⁴ (France)	<i>Prunus avium</i> ^a	Rotation blé-orge-tournesol-colza	167	167	n.d	n.d	520	460	91	71
	Noyer hybride ^a	Idem	100	100	n.d	n.d	420	310	76	42
Wolverton ⁵ (UK)	<i>Prunus</i> spp. <i>Fraxinus</i> spp. <i>Acer pseudoplatanus</i>	Blé d'hiver Orge Pois	357	1250	n.d	n.d	430 510 (moyenne pour les 3 espèces)		n.d	n.d

1. Balandier et Dupraz (1999) 2. Dupraz *et al.* (1999b) 3. Dupraz (2002) 4. Chiffot *et al.* (2004)
5. Incoll *et al.* (2000) n.d.= non disponible a = arbres de 6 ans

À la lumière du tableau 1, le ratio « performance des arbres en plantations agroforestières (AF) » sur « performance en plantations forestières (PF) » varie de la façon suivante :

- de 0,77 (*Acer pseudoplatanus* à Orcival) à 3,25 (*Acer platanoïdes* à Pomy) pour la hauteur totale des arbres, la moyenne étant de 1,45 ;
- de 0,73 (*Acer pseudoplatanus* à Orcival) à 2,55 (*Acer platanoïdes* à Pomy) pour le diamètre des arbres, la moyenne étant de 1,50 ;
- de 0,67 (*Juglans nigra* à Notre-Dame de Londres) à 1,67 (*Acer pseudoplatanus* à Orcival) pour le taux de survie des plants, la moyenne étant de 1,30.

L'interprétation de ces résultats nous indique que, généralement, les jeunes feuillus développent davantage leur croissance en hauteur et en diamètre en culture intercalaire par rapport à la plantation forestière. Leur taux de survie y est également plus élevé. Pourquoi les arbres plantés dans les témoins forestiers, bien que non confrontés à la compétition d'une culture intercalaire, accusent-ils un tel retard de croissance sur les arbres agroforestiers ? Si les avancées de la recherche ne permettent pas encore de bien cerner les facteurs pouvant expliquer ces résultats pour le moins étonnants, un certain nombre d'hypothèses ont été avancées et sont actuellement à l'étude, notamment sur le site de Restinclières en France. Parmi ces hypothèses (Dupraz *et al.* 1999a), soulignons les suivantes : récupération en profondeur, par les racines des arbres, de l'azote minéral dévolu aux cultures et échappé par lixiviation ; effet du désherbage des cultures intercalaires (peu de mauvaises herbes au printemps, ce qui permet d'économiser de l'eau utile au cours de l'été) ; impact du travail du sol qui force le système racinaire des arbres à s'enfoncer en profondeur, ce qui leur permet de mieux résister aux sécheresses estivales.

Bien que les données soient insuffisantes pour pouvoir le confirmer, on peut donc s'attendre à des révolutions sensiblement plus courtes des arbres plantés dans des systèmes de cultures intercalaires par rapport aux plantations conventionnelles ou aux arbres produits en forêt naturelle (Dupraz 1994b). Cette supposition a été faite également par Janin *et al.* (1997) qui prétendent que, si une attention particulière est portée à la taille de formation et à l'élagage, le développement du merisier, en « ambiance agroforestière », permet d'obtenir des sujets commercialisables en moins de 40 ans alors qu'il faut compter entre 70 et 90 ans pour des sujets en forêt. Cependant, le faible niveau de formation du duramen (couleur foncée du bois qui représente une caractéristique importante de la qualité du merisier) pourrait être un facteur diminuant la valeur de la plantation agroforestière. Pour leur part, Cutter et Garrett (1993) n'ont pas identifié d'effets contraignants de cultures

intercalaires (soya, blé dur et cultures fourragères) sur la qualité du bois de noyers noirs de 15 ans ; au contraire, cette modalité de culture a bénéficié à la gravité spécifique du bois, au diamètre et à la hauteur des noyers. Selon ces auteurs, les noyers intégrés aux systèmes de cultures intercalaires peuvent produire du bois de qualité « déroulage » en 50 ou 60 ans, alors que les projections pour les plantations conventionnelles fixent les rotations entre 80 et 100 ans. En l'absence de compétition pour la lumière, les arbres plantés dans les systèmes de cultures intercalaires, c'est-à-dire à larges espacements, développent des cimes plus importantes que ceux plantés en parcelles forestières, ce qui se traduit par une croissance accélérée du tronc (Cabanettes *et al.* 1999). On doit cependant s'attendre à obtenir, au terme de la récolte finale du bois, de courtes et grosses billes de pied plutôt que de longues et minces.

Dans le cas où une double production est envisagée pour l'arbre (*e.g.* noix et bois), la fertilisation des cultures intercalaires peut s'avérer très avantageuse. En effet, une étude de Gray et Garrett (1999) révèle qu'une faible application d'azote, au printemps ou à la fin de l'été, permet d'augmenter significativement, par rapport à un traitement témoin (sans fertilisation), la formation de pistils chez les fleurs, la rétention des fruits sur les branches et les rendements en noix, chez des noyers noirs cultivés selon une modalité de culture intercalaire.

Le type de culture associée est un élément qui peut également influencer la productivité des arbres, particulièrement lors de leur stade d'établissement. Le choix de la culture doit donc être raisonné. En Ontario, Williams et Gordon (1992) ont mesuré que la croissance et le taux de survie de jeunes arbres (chênes, noyers et frênes) sont supérieurs en présence du maïs ou du soya, mais inférieurs avec l'orge qui, en raison de sa phénologie, s'accapare plus rapidement l'humidité du sol lors de la saison de végétation. En Grèce, Gakis *et al.* (2004) ont comparé, dans un système sylvopastoral, l'impact de trois modalités de cultures intercalaires sur l'établissement de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) : 1) culture fourragère pérenne (*Lolium perenne*) ; 2) trèfle blanc (*Trifolium repens*) ; et 3) témoin sans culture (entretien au glyphosate). Après les six premières années suivant la plantation, le gain de croissance en hauteur des érables était supérieur pour le traitement « témoin » (415 %), intermédiaire pour le traitement « trèfle blanc » (192 %) et le plus bas pour le traitement « culture fourragère pérenne » (134 %). Dans ce contexte climatique, caractérisé par un faible régime de précipitation (630 mm), une corrélation positive a été observée entre la croissance des érables et l'humidité du sol (Gakis *et al.* 2004). Dans le traitement témoin, l'eau et les éléments nutritifs du sol sont davantage disponibles que dans les deux autres traitements, ce qui résulte en une augmentation significative du nombre, de la surface et du contenu en azote des feuilles de l'érable (Gakis *et al.* 2004).

Que se passe-t-il à plus long terme, lorsque les cultures annuelles sont remplacées par des cultures pérennes ? Dans l'État du Missouri, Cutter et Garrett (1993) ont observé une diminution de la croissance radiale annuelle de noyers noirs suite au changement (lorsque les noyers avaient une dizaine d'années) d'une culture intercalaire de blé d'hiver-soya par une culture fourragère, et ce même en maintenant une bande non cultivée d'une largeur de 4,6 m. Les raisons de ce déclin de croissance n'ont cependant pas été clarifiées.

4.2 L'impact des arbres sur la productivité des cultures intercalaires

Si la culture intercalaire ne nuit généralement pas à la productivité des arbres, et peut même dans certains cas l'améliorer, comment les cultures intercalaires réagissent-elles quant à elles à la présence intime des arbres auxquels elles sont associées ? Afin de faire la lumière sur la productivité des cultures intercalaires, nous avons rassemblé dans le tableau 2 les résultats d'un ensemble d'études qui ont abordé la question. Il se dégage notamment de ces résultats que l'influence des jeunes arbres sur la productivité des cultures est négligeable au cours des premières années, mais qu'elle devient plus importante lorsque les arbres atteignent des dimensions plus appréciables (généralement après 7 à 10 ans). Par contre, il est surprenant de constater que, à l'inverse des cultures annuelles, certaines cultures fourragères, davantage tolérantes à l'ombre, peuvent voir leur rendement et leur qualité nutritive augmenter, malgré l'influence des arbres à laquelle elles sont soumises.

En général, la productivité des cultures intercalaires décroît davantage à proximité des arbres, ce qui laisse présager une relation de compétition. Si l'on sait que les arbres et les cultures doivent se partager, à leur interface, la lumière, l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur croissance et à leur développement, on ne peut cependant pas affirmer que les mécanismes de compétition pour ces ressources sont communs à tous les systèmes de cultures intercalaires. En effet, les exigences des arbres et des plantes agricoles varient largement d'une espèce à l'autre, d'autant plus lorsqu'ils se développent sous des conditions bioclimatiques différentes (Dupraz et Newman 1997).

En Chine, Chirko *et al.* (1996) ont établi une forte corrélation entre le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA) et l'élaboration du rendement d'une culture intercalaire de blé. Selon ces auteurs, lorsque l'intensité lumineuse est en dessous de l'optimum du blé (à proximité des *Paulownia* spp.), la quantité d'énergie disponible pour la fixation du gaz carbonique via le cycle de Calvin est faible et la synthèse des composés carbonés est du même fait peu importante. Sur le plan métabolique, cela signifie que des conditions de

Tableau 2. Productivité de diverses cultures intercalaires soumises à l'influence d'arbres feuillus au sein d'essais menés en région tempérée.

Pays et référence	Caractéristiques de l'arbre	Culture intercalaire	Espacement des arbres	Productivité ⁽²⁾ de la culture intercalaire
Chine Chirko <i>et al.</i> (1996)	<i>Paulownia</i> spp. 11 ans, 12 m ⁽¹⁾	Blé d'hiver	60 m x 5 m	- Perte de 21 % du rendement à 2,5 m de la ligne des arbres - Perte de 4 % du rendement à 20 m de la ligne des arbres - Aucune différence de rendement entre les côtés est et ouest des arbres
Chine Zhu (1991)	<i>Paulownia</i> spp. 7 ans, 8 m	Blé d'hiver	6 m x 5 m 10 m x 5 m 20 m x 5 m 50 m x 5 m	- Perte de rendement moyenne ⁽³⁾ de 30-35 % - Perte de rendement moyenne de 25-30 % - Perte de rendement moyenne de 6-7 % - Gain de rendement moyen de 8-10 %
France Rivest (2002)	Noyer hybride 8 ans, 5 m	Blé dur	13 m x 4 m	- Perte de rendement moyenne de 5-8 %
	<i>Juglans nigra</i> 25 ans, 11 m	Blé tendre	14 m x 10 m	- Perte de rendement moyenne de 27 %
	<i>Prunus avium</i> 11 ans, 7 m	Blé tendre	14 m x 2 m	- Perte de rendement moyenne de 21 %
France Dupraz (2001)	Noyer hybride 7 ans ; 4 m	Colza	13 m x 4 m	- Aucune perte de rendement
Royaume-Uni Incoll <i>et al.</i> (2000)	<i>Prunus</i> spp. <i>Fraxinus</i> spp. <i>A. pseudoplatanus</i> 5 ans et 3,7 m 6 ans et 4 m 8 ans et 4,7 m 9 ans et 5,4 m	Orge d'hiver Pois Blé d'hiver Orge de printemps	14 m x 2 m	Moyenne pour tous les arbres : - Gain de rendement moyen de 22 % - Perte de rendement moyenne de 6 % - Perte de rendement moyenne de 22 % - Perte de rendement moyenne de 20 %
Canada Simpson <i>et al.</i> (2004)	<i>Acer saccharinum</i> 10 ans	Maïs Soya	12,5 m x 5 m	- Perte de rendement moyenne de 19 % - Perte de rendement moyenne de 25 %
	Peuplier hybride 10 ans	Maïs Soya	12,5 m x 5 m	- Perte de rendement moyenne de 29 % - Perte de rendement moyenne de 29 %
États-Unis Gillespie <i>et al.</i> (2000)	<i>Juglans nigra</i> et <i>Quercus rubra</i> 10 ans ; 7,5 m	Maïs	8,5 m x 2,4 m	- Perte de rendement de 50 % à 2 m de la ligne des arbres
États-Unis Garrett et Kurtz (1983)	<i>Juglans nigra</i> 15 ans et plus	Cultures fourragères	12 m x 3 m	- Gain de rendement moyen de 33 % - Gain de 10 % de la digestibilité <i>in vitro</i>
États-Unis Garrett et Harper (1999)	<i>Juglans nigra</i> 5 à 10 ans	Blé d'hiver Soya	12 m x 3 m	- Perte de rendement moyenne négligeable du blé durant les dix premières années - Perte de rendement moyenne de 20 % du soja au terme de la dixième année

1. Âge et hauteur de l'arbre. 2. Les gains ou les pertes de rendement sont tous toujours exprimés par rapport au rendement observé dans une parcelle témoin (sans arbres). 3. Il s'agit d'une moyenne du rendement mesuré sur toute la bande intercalaire.

faible luminosité engendrent un faible taux de photosynthèse alors que le taux de respiration demeure normal, si bien que la quantité de réserves glucidiques disponibles pour la croissance générale du blé décroît. Pour sa part, Simpson (1999), dans Thevathasan et Gordon (2004), a étudié, en Ontario, l'effet de l'ombrage porté par le peuplier et l'érable argenté (*Acer saccharinum*) sur la productivité de cultures intercalaires de soya et de maïs. Les résultats de cette étude démontrent que les paramètres de croissance (hauteur, poids et surface foliaire) des plants de maïs et de soya étaient corrélés significativement avec le RPA et l'assimilation du carbone, mais non corrélés avec le potentiel hydrique du sol au midi solaire.

À l'opposé, dans le centre-ouest des États-Unis, Gillespie *et al.* (2000) n'ont pas observé une influence marquée de l'ombrage porté par des noyers noirs et des chênes rouges de 11 ans sur la productivité d'une culture intercalaire de maïs. C'est la compétition souterraine pour l'eau qui a été jugée comme le facteur biophysique le plus critique en regard de la productivité et de la durabilité de ce système de culture intercalaire (Jose *et al.* 2000a). Ainsi, dans cette étude, l'utilisation de barrières en polyéthylène et le cernage racinaire se sont avérés efficaces pour neutraliser cette compétition, empêchant que la croissance des arbres soit affectée. La manipulation du système racinaire permet donc d'allonger la « durée de vie » de la culture intercalaire de maïs (Gillespie *et al.* 2000). Selon Benjamin *et al.* (2000), le retour économique apporté par le cernage racinaire dans le système précédent est tel qu'il justifie largement son utilisation. L'intérêt du cernage racinaire pour limiter la compétition souterraine interspécifique a également été rapporté par Wanvestraut *et al.* (2004) dans le cadre d'une étude portant sur un système pacanier-coton de 47 ans, ainsi que par Miller et Pallardy (2001) qui l'ont testé au sein d'un système érable argenté - maïs de 11 ans. Cette dernière étude rapporte cependant que, malgré le cernage racinaire des érables argentés, la croissance des premiers rangs de maïs est néanmoins compromise en raison de l'ombrage porté par les arbres. De plus, une diminution de croissance des érables argentés a été observée lorsque le cernage était pratiqué sur des arbres dont les racines étaient déjà bien établies. Il est donc plus judicieux de procéder régulièrement et le plus tôt possible alors que les arbres sont jeunes (Miller et Pallardy 2001). En forçant les racines à explorer les horizons inférieurs du sol, cette approche permet par ailleurs de limiter les stress physiologiques que peuvent subir les arbres.

5. Les avantages socio-économiques des systèmes de cultures intercalaires

Au-delà de la croissance des arbres, du rendement des cultures associées et des interactions biophysiques générées par leur union, qu'en est-il des aspects socio-économiques de l'association ? Les systèmes de cultures intercalaires sont-ils rentables ? Loin d'être banale, cette question est généralement au cœur des premières préoccupations des investisseurs. En effet, tout exploitant risque d'avoir de fortes réticences à adopter la culture intercalaire si ses retombées économiques demeurent inférieures à celles des systèmes conventionnels d'agriculture ou de foresterie. L'évaluation économique de la culture intercalaire n'est cependant pas simple. À l'opposé de l'agriculture, ancrée dans une dynamique d'exploitation à court terme, la culture intercalaire s'inscrit dans une perspective de long terme, ce qui fait apparaître, de surcroît, certaines considérations sociales et environnementales dans la prise de décision. La logique d'exploitation de l'agriculteur n'est donc pas transposable à celle du sylviculteur (Dupraz 1994b). Cette nuance est fondamentale car elle fait apparaître ainsi deux raisonnements distincts.

D'une part, pour l'agriculteur, la culture intercalaire, bien qu'elle requière une expertise particulière, représente un outil intéressant de diversification des productions. En économie des ressources naturelles, il est admis que le risque de compromettre une production diversifiée est moindre que pour une mono-production. La diversification rend l'investissement moins vulnérable aux facteurs (financiers, biologiques et climatiques) qui restent hors du contrôle de l'agriculteur, ce qui présente une certaine sécurité de revenu à long terme (Kurtz 2000). En plus d'y donner une plus-value à sa terre (Kurtz 2000), l'agriculteur peut y voir également l'occasion de laisser en héritage un important capital sous forme d'arbres de grande valeur, sans que le revenu courant de ses parcelles semées ne soit interrompu (Dupraz 1994b ; Mary *et al.* 1999). L'arbre, au cours de son développement, est par ailleurs appelé à jouer un rôle protecteur non négligeable pour la culture intercalaire : effet brise-vent, fixation des sols, stimulation de la microfaune et de la microflore des sols, récupération par les racines profondes d'une partie des éléments fertilisants lessivés ou drainés, enrichissement du sol en matière organique par la litière. Ces éléments représentent des avantages qui peuvent jouer un rôle important dans le maintien de la qualité des sols, l'un des grands facteurs parmi ceux qui déterminent dans quelle mesure l'agriculture peut être pratiquée de façon durable. Si cette action bénéfique des arbres apparaît d'abord comme un atout environnemental, elle se traduit également, à long terme, par des gains d'ordre économique pour l'agriculteur. Par ailleurs, la culture intercalaire représente une

alternative aux boisements en plein de terres agricoles (Dupraz 1994b). Elle permet de maintenir une activité agricole sur des terroirs dont les potentialités agricoles sont ainsi conservées.

D'autre part, pour le sylviculteur, l'investissement dans une plantation d'arbres intégrés à un système de culture intercalaire peut s'avérer intéressant dans la mesure où il est en général moins important que celui qu'on doit faire dans une plantation forestière (faible nombre d'arbres, possibilité d'interventions phytosanitaires sur les arbres grâce aux larges espacements, maîtrise de la compétition par l'entretien de la bande intercalaire) (Dupraz 1994b). La culture intercalaire permet par ailleurs de générer des revenus à court terme, ce que ne permet pas une plantation d'arbres conventionnelle. Les coûts importants imposés par l'implantation et l'éducation des feuillus à bois nobles peuvent donc être soutenus avantageusement par la production annuelle de cultures intercalaires, ce qui génère un retour économique important (Williams et Gordon 1992). La croissance accélérée des arbres ainsi que les révolutions sensiblement plus courtes des arbres (section 4.1) sont également des avantages économiques qui prèchent en faveur de la culture intercalaire.

Un certain nombre d'études économiques, notamment nord-américaines, démontrent ainsi que la culture intercalaire est une pratique plus rentable à mettre en œuvre que la plantation en parcelle forestière. Le tableau 3 présente la synthèse des résultats de trois d'entre elles qui se sont attardées à comparer, à partir d'indicateurs financiers tels que la valeur actuelle nette (VAN) et le taux interne de rendement (TIR), différentes modalités de cultures avec le noyer noir.

Ces résultats démontrent notamment qu'il est plus rentable d'associer des noyers noirs à une culture intercalaire plutôt que de les produire en plantation pure. Par exemple, la production de noyer à double-fin (noix et bois), bien qu'elle requière une stratégie d'aménagement particulière, est plus avantageuse financièrement que la simple production de bois car elle permet l'apport de revenus annuels à moyen terme (Garrett et Kurtz 1983 ; Kurtz *et al.* 1984). Par ailleurs, deux études économiques sur trois (tableau 3) ont mis en évidence que la modalité de culture agricole génère un flux économique moins important que la culture intercalaire.

Tableau 3. Aspects financiers de différentes modalités de culture du noyer noir et d'agriculture en Amérique du Nord.

Pays et Référence	Modalité de culture	Espèces	VAN (\$/ha/a n)	TIR (%)	Remarques
USA Kurtz <i>et al.</i> (1996)	Culture intercalaire	Noyer noir (bois et noix), soya et blé	5 175	11,7	Taux d'intérêt de 4 %, 60 ans de rotation pour les noyers, site mésique, production de noix lorsque les noyers ont 20 ans. Dollars U.S.
	Plantation forestière à double fin	Noyer noir (bois et noix)	4 495	10,8	
	Plantation forestière	Noyer noir (bois)	360	4,3	
	Agriculture	Soya et blé	1 716	--	
USA Benjamin <i>et al.</i> (2000)	Culture intercalaire	Noyer noir (bois), blé, soya, fourrages	19 518	18,3	Taux d'intérêt de 5%, 67 ans de rotation pour les noyers, site riche, cernage racinaire des noyers en culture intercalaire. Dollars U.S.
	Plantation forestière	Noyer noir (bois)	15 102	8,1	
	Agriculture	Maïs	7 164	--	
Canada Dyack <i>et al.</i> (1999)	Culture intercalaire	Noyer noir (bois), maïs, soya, blé	555	--	Taux d'intérêt de 5 %, 55 ans de rotation pour les noyers. Dollars canadiens
	Agriculture	Maïs, soya, blé	1 050	--	

L'ensemble de ces résultats, bien qu'ils ne soient pas exhaustifs, révèle que plus la modalité de culture est intensive et plus le retour économique est important. Par contre, ces données financières doivent être interprétées avec circonspection, car elles sont issues de simulations alimentées par certaines hypothèses qui n'ont pas encore été totalement vérifiées. Il faut considérer également que l'utilisation d'un arbre à forte valeur économique comme le noyer noir ne peut être prescrit pour tous les sites. Selon Campbell *et al.* (1991), pour que la culture intercalaire soit compétitive à l'agriculture conventionnelle, il est nécessaire que les arbres utilisés aient une valeur économique importante et que leur taux de croissance soit élevé, ce qui nécessite des pratiques culturales appropriées et des sites relativement riches. De faibles taux d'intérêt et l'existence de programmes d'appuis financiers pour la plantation d'arbres peuvent, de surcroît, situer la valeur économique de la

culture intercalaire à un niveau comparable, voire même supérieur, à celui de l'agriculture conventionnelle (Campbell *et al.* 1991 ; Dyack *et al.* 1999 ; Garrett et Harper 1999).

Une parcelle conduite en culture intercalaire possède aussi l'avantage de pouvoir faire l'objet d'un partenariat entre un propriétaire foncier et un agriculteur en activité qui soit bénéfique aux deux partenaires. Cet aspect constitue une dimension sociale originale et propre à la culture intercalaire. Le propriétaire valorise son patrimoine avec un investissement modéré, tout en jouissant de la garantie d'entretien et de protection de ses plantations apportée par la présence d'un agriculteur, qui bénéficie en retour de l'usage de terres supplémentaires pour ses activités agricoles. De tels partenariats ont été observés dans divers contextes en France, à la satisfaction des deux partenaires (Dupraz 1994b).

Les avantages socio-économiques des systèmes de cultures intercalaires constituent un critère essentiel de leur adoption. Dans cette optique, nous leur avons accordé une place de premier plan dans cet essai, notamment en leur consacrant deux sections complètes (chapitres 2 et 3). Le lecteur doit ainsi considérer que la plupart des aspects socio-économiques qui ont été abordés dans cette section, parfois brièvement, seront davantage analysés, à la lumière de deux études concrètes, plus loin dans ce travail. Avant de s'y rendre, il convient toutefois de clore cette synthèse par un survol des bénéfices environnementaux de la culture intercalaire.

6. Les apports environnementaux des systèmes de cultures intercalaires

La culture intercalaire répond à des enjeux environnementaux multiples. Sa conception particulière sous forme d'un agrosystème original, intermédiaire entre les monocultures intensives et les écosystèmes naturels complexes, permet de mieux valoriser et harmoniser certains espaces cultivables, tout en diversifiant leur production. Elle permet en effet une meilleure exploitation des ressources du milieu grâce à la complémentarité de l'arbre et des cultures pour l'utilisation de l'eau, des éléments minéraux et de l'énergie lumineuse, ainsi qu'à leur impact bénéfique sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Baldy *et al.* 1993).

Plusieurs ouvrages suggèrent que les systèmes de cultures intercalaires contribuent à augmenter les retours de matière organique au sol par les résidus de biomasse aérienne des arbres et par la décomposition *in situ* de leurs racines (Baldy *et al.* 1993 ; Park *et al.* 1994 ; Bross *et al.* 1995 ; Thevathasan et Gordon 1997 ; Jose *et al.* 2000b ; Wojewoda et Russel 2003 ; Jose *et al.* 2004). Par exemple, les feuilles de peupliers, lorsqu'elles sont incorporées au sol des bandes intercalaires, induisent une augmentation du taux de nitrification, de la teneur en carbone du sol et de l'azote accessible aux plantes (Thevathasan et Gordon 1997). En effet, les humus provenant des litières de feuilles d'arbres sont souvent d'excellente qualité et peuvent donc être gérés comme une véritable fertilisation. Leur incorporation au sol par des pratiques culturales appropriées nécessite toutefois l'étude d'itinéraires techniques spécifiques aux systèmes de cultures intercalaires (Baldy *et al.* 1993). Par contre, parce qu'elles libèrent plus rapidement l'azote et le phosphore, les racines fines des arbres joueraient un rôle plus important que les feuilles dans la fixation des éléments nutritifs au sol (Jose *et al.* 2000b).

L'ajout au sol de matière organique par les arbres résulte en une augmentation de la biomasse microbienne (Seiter *et al.* 1999b ; Lee et Jose 2003 ; Wojewoda et Russel 2003) et des populations d'invertébrés (Park *et al.* 1994), notamment les vers de terre (Price et Gordon 1999) qui permettent de diminuer la densité apparente du sol et d'augmenter sa porosité et la minéralisation des éléments nutritifs. En outre, Lee et Jose (2003) ont mis en évidence que l'augmentation à long terme de la quantité de microorganismes du sol permet d'accroître sa respiration, ce qui se traduit indirectement par une amélioration de sa qualité. Dans les systèmes de cultures intercalaires, la plupart des paramètres physico-chimiques et

biologiques qui caractérisent la fertilité des sols varient, non seulement dans le temps, à mesure que les arbres gagnent en biomasse, mais aussi spatialement, selon la proximité des arbres. En Pologne, une étude de Wojewoda et Russel (2003), concernant un système de brise-vent de 7-8 ans, a en effet démontré que le contenu en matière organique du sol, l'activité déshydrogénase, la biomasse microbienne et le potentiel de minéralisation de l'azote varient proportionnellement à la proximité des haies d'arbres (les valeurs de ces paramètres étant les plus élevées très près des arbres, soit à 1 m, intermédiaires à 10 m, et les plus faibles à 50 m). Par ailleurs, l'interconnexion des mycorhizes des arbres et des plantes herbacées pourrait favoriser le transfert efficace de nutriments, notamment du phosphore, entre systèmes racinaires (Baldy *et al.* 1993).

L'augmentation probable du taux de matière organique du sol et la présence d'une strate arborée fixatrice de CO₂ dans les cultures intercalaires portent à croire que ces systèmes peuvent aussi avoir un rôle à jouer dans la séquestration du carbone et devenir un choix tout indiqué pour lutter contre l'effet de serre (Kort et Turnock 1999 ; Paul *et al.* 2002 ; Lee et Jose 2003 ; Oelbermann *et al.* in press). Le choix de certaines essences à croissance rapide, tel le peuplier hybride, augmente davantage ce potentiel de fixation de carbone atmosphérique (Kort et Turnock 1999). Cet aspect mérite particulièrement d'être souligné dans un contexte où le Canada, par exemple, a accepté, en signant l'accord de Kyoto, de réduire de 6% d'ici 2012 ses émissions de gaz à effet de serre par rapport à ses émissions de 1990.

La culture intercalaire peut permettre également de rencontrer les besoins de protection particuliers des bandes riveraines. Elle peut aussi servir pour faire obstacle aux vents. L'augmentation de la rugosité de surface et de la stabilité du sol, grâce à la présence des arbres, permet de freiner le ruissellement de surface et autorise des stockages transitoires de l'eau en excès (Baldy *et al.* 1993). Par ailleurs, les racines profondes des arbres sont appelées à récupérer une partie des éléments fertilisants échappant à la culture par lessivage et lixiviation. Dans le sud des États-Unis, l'étude d'un système de culture intercalaire associant le pacanier et le coton a mis en lumière cet atout environnemental appelé filet racinaire de sécurité ou « safety-net role of tree roots » (Allen *et al.* 2004). De tels avantages s'avèrent bénéfiques pour lutter contre la pollution et l'érosion des sols, des problèmes environnementaux majeurs qui sévissent actuellement sous climat tempéré. Soulignons, par exemple, que le coût total de l'érosion des sols due aux activités agricoles aux États-Unis a déjà été estimé à 44 milliards de dollars (U.S.) par année (Pimentel *et al.* 1995).

D'autre part, certaines études ont mesuré une diversité et une abondance supérieure des populations aériennes d'arthropodes dans les systèmes de cultures intercalaires par rapport aux monocultures agricoles (Peng *et al.* 1993 ; Stamps *et al.* 2002 ; Akbulut *et al.* 2003). Cela permet souvent une protection phytosanitaire par stimulation des populations de prédateurs des ravageurs des cultures (Stamps et Linit 1997). Une telle « lutte biologique » est d'un grand intérêt environnemental car, en définitive, elle contribue à réduire l'utilisation des pesticides. Le maintien et la gestion de ces « ennemis naturels » dépendent par ailleurs de toute une série de considérations techniques dont le choix, la diversité et l'arrangement spatial des arbres, ainsi que les opérations culturales qui les concernent (Dix *et al.* 1995).

Puisqu'elle forme une mosaïque d'habitats plus complexe et plus diversifiée que les systèmes agricoles conventionnels, la culture intercalaire permet d'attirer une diversité et une quantité accrue de petits mammifères (Incoll *et al.* 2000) et d'oiseaux (Gordon *et al.* 1997b). De plus, elle peut contribuer à relier les îlots forestiers de grande superficie pour favoriser les déplacements de la faune.

La culture intercalaire est une alternative à la séparation spatiale de l'agriculture et de la forêt. Elle peut donc créer des paysages originaux, attractifs, semi-ouverts et favorables aux activités récréatives (Williams et Gordon 1992). Elle présente un potentiel paysager novateur, porteur de symboles forts et favorables à l'image des agriculteurs dans la société. Cela est particulièrement le cas dans les milieux où le paysage a été fortement ouvert par l'agriculture.

7. Conclusion

La culture intercalaire, ne doit pas être perçue comme un système rigide, circonscrit à l'association d'un nombre limité d'arbres et de cultures. Au contraire, l'examen des formes traditionnelles et modernes d'associations, sous climat tempéré, témoigne d'un large éventail de possibilités, modulables et adaptées à différents contextes biophysiques et socio-économiques. Une facette importante de son art consiste, d'une part, à favoriser les relations de facilitation entre la composante arborée et les cultures associées et, d'autre part, à intervenir au moment opportun pour y limiter les relations de compétition (Jose *et al.* 2004).

La culture intercalaire fait cependant appel à un niveau élevé de technicité. En effet, l'itinéraire technique de la plantation forestière ou de l'agriculture traditionnelle n'est pas transposable à celui du système de culture intercalaire. La gestion de l'interaction arbre-culture n'est pas sans entraîner, en contrepartie, une complexification des tâches à accomplir dans le système de culture intercalaire.

Deux logiques distinctes d'exploitation de la terre peuvent influencer le choix de la culture intercalaire plutôt que le boisement ou la culture en plein. Pour l'agriculteur, cela peut représenter une diversification des activités de son exploitation par l'établissement d'un patrimoine vivant sous la forme d'arbres de grande valeur, sans qu'il n'entame le potentiel agricole de sa parcelle. En revanche, le sylviculteur souhaitera entretenir et rentabiliser à court et moyen terme ses plantations d'arbres en les associant à des cultures intercalaires. Néanmoins, rien n'empêche que l'agriculteur et le sylviculteur puissent se pencher sur des formules de partenariats qui peuvent s'avérer favorables à l'un comme à l'autre.

Par ailleurs, les travaux de recherche les plus récents sont sans équivoque : le système de culture intercalaire peut être très efficace, s'il est bien conçu, tant en terme de production que de protection de l'environnement. On ne doit pas se surprendre ainsi que la France (SAFE 2004) et cinq États aux États-Unis (Cutter *et al.* 1999), notamment, se soient dotés de politiques visant à encourager l'adoption de la culture intercalaire.

La diversité des préoccupations auxquelles répond le système de culture intercalaire trouve son écho dans la multifonctionnalité. Il fait le pont, de façon originale, entre l'agriculture traditionnelle, la sylviculture, l'environnement et l'aménagement rural, en favorisant l'échange et la complémentarité, certainement entre les diverses ressources biophysiques visées, mais aussi entre les intervenants concernés par ces différents secteurs.

Chapitre 2

Analyse économique de la culture intercalaire : étude de l'association noyer noir - cèdre à haie - sapin de Noël à la Pépinière St-Nicolas, au Québec

1. Introduction

Au Québec, diverses études de cas démontrent que la plantation conventionnelle de feuillus nobles n'est pas rentable en raison notamment de la charge sylvicole importante qu'il faut déployer lors des 10 premières années de production et de l'absence de revenus à court et moyen terme (Robitaille 1999). Dans ces circonstances, la culture intercalaire représente une avenue tout indiquée pour assurer la rentabilité de la plantation des feuillus. Ses avantages économiques, notamment les revenus à court terme apportés par la récolte de plantes cultivées, pourraient inciter plusieurs producteurs à adopter un tel système de production. Par ailleurs, l'expérience européenne, entre autres, démontre que lorsque les arbres sont associés à une culture intercalaire et plantés à de larges espacements, leur croissance est généralement plus importante ; les coûts sont minimisés en raison de la réduction du nombre d'arbres improductifs (grâce à une plus faible densité de plantation) et de leur entretien par le biais de celui qui est dévolu aux cultures intercalaires ; la qualité du bois produit est améliorée (cernes larges et réguliers, adaptés aux besoins de l'industrie), car les arbres ne subissent pas les cycles compétition - éclaircies ; leur suivi et leur entretien sont facilités par l'activité agricole intercalaire (SAFE 2004). Le regard que nous avons porté précédemment sur la valeur économique de quelques systèmes de cultures intercalaires avec des noyers, en Amérique du Nord (tableau 3), révèle en effet des perspectives intéressantes

pour les propriétaires fonciers québécois intéressés à planter des feuillus à bois noble sur leur exploitation.

Or, au Québec, aucune étude n'a encore été menée pour évaluer l'intérêt économique d'associer un feuillus précieux tel que le noyer noir à des cultures intercalaires. Dans un contexte d'économie de marché, il s'agit pourtant d'un critère décisionnel qui influence grandement tout producteur dans son choix d'adopter ou non la culture intercalaire plutôt qu'une pratique agricole ou forestière conventionnelle (Kurtz 2000, Godsey 2002).

Notre démarche a consisté à réaliser, à l'aide de la modélisation par l'approche du budget partiel (*spreadsheet approach*) (Thomas 1991), une évaluation économique exploratoire d'un système de cultures intercalaires qui a été mis en place au printemps 2000 à la Pépinière St-Nicolas (PSN), une entreprise localisée à 15 km au sud-ouest de la ville de Québec. Il s'agit d'une association de noyers noirs, de cèdres à haie (*Thuja occidentalis* var. *nigra*) et de sapins de Noël (*Abies balsamea*). Ce système agroforestier comporte de nombreuses similitudes avec celui décrit par Garrett et McGraw (2000), et vanté par certains producteurs de l'Oregon (Merwin 2002), qui consiste en l'association du sapin de Noël et du noyer noir selon une modalité de culture intercalaire. Bien que de nombreuses études économiques aient porté sur l'association noyer – cultures annuelles, notamment aux États-Unis (Kurtz 2000) et en Ontario (Dyack *et al.* 1999), aucune étude ne s'est encore attardée, à notre connaissance, à l'évaluation économique de l'association du noyer et du sapin de Noël.

La méthodologie utilisée dans ce chapitre visait à répondre aux hypothèses suivantes : 1) l'association du noyer noir, du cèdre à haie et du sapin de Noël génère une valeur actuelle nette supérieure à la plantation conventionnelle de noyer noir, mais inférieure à la plantation simple de sapins de Noël ; et 2) le taux d'intérêt, le taux de croissance du noyer et la qualité de son bois, l'ajout ou le retrait de la culture de cèdres à haie et les incitatifs financiers représentent un ensemble de paramètres appelés à modifier significativement la valeur actuelle nette du modèle de culture intercalaire à l'étude.

2. Méthodologie

2.1 Le modèle d'analyse économique utilisé

D'un point de vue économique, pour que la culture intercalaire soit une alternative acceptable pour le propriétaire-exploitant, elle doit générer un flux financier égal ou supérieur à l'option de l'agriculture ou de la foresterie. Les différences marquées entre ces trois pratiques, notamment en ce qui a trait à l'itinéraire technique et à la durée du cycle de production, rendent cependant leur comparaison difficile. Comment mettre en perspective la valeur économique d'un système de cultures intercalaires par rapport à l'assolement agricole ou forestier ?

Plusieurs approches ont été proposées pour évaluer la rentabilité économique de la culture intercalaire sous différentes conditions biologiques, physiques et agronomiques. Dans la plupart des cas, il s'agit essentiellement de modèles de simulations dont l'approche générale consiste à identifier et quantifier les intrants, estimer les coûts et les revenus, et simuler la croissance des arbres et la productivité agricole, afin d'évaluer les profits ou les pertes monétaires du système sur un horizon de temps donné (Thomas 1991). Pour tenir compte du facteur d'incertitude relatif aux valeurs de certaines variables (*e.g.* la croissance des noyers, les interactions positives ou négatives entre l'arbre et la culture associée) qui alimentent le modèle, la simulation économique doit être appuyée par une analyse de sensibilité (Dyack *et al.* 1999 ; Benjamin *et al.* 2000 ; Dubé *et al.* 2002).

Nous nous sommes largement inspirés de cette approche pour l'évaluation économique du système de culture intercalaire développé à la PSN. Les données servant à alimenter le modèle proviennent principalement de données recueillies dans le cadre d'un stage étudiant réalisé à la PSN. Elles concernent notamment l'itinéraire technique, la productivité et le coût d'établissement et d'entretien des trois espèces ciblées. Cette information a été complétée par des sources bibliographiques qui permettent d'avancer des hypothèses réalistes pour définir des variables comme la productivité du noyer noir à long terme, tant en terme de volume que de qualité.

2.2 La variable mesurée

On considère généralement qu'il est plus avantageux d'avoir un revenu immédiat plutôt que le même revenu dans plusieurs années parce qu'on peut ainsi investir tout de suite ce revenu de façon à en tirer un profit. Pour la même raison, il est préférable que les coûts soient assumés le plus tard possible. Lorsque l'on compare des coûts et bénéfices survenant au cours d'années différentes, il importe donc, dans un premier temps, de les convertir en valeur actuelle nette (VAN). La VAN est un indicateur économique simple d'utilisation. Elle est communément utilisée pour réaliser les budgets des entreprises agricoles (Godsey 2002) et forestières (Nadeau *et al.* 1996). La plupart des études qui ont porté sur la modélisation économique des systèmes de culture intercalaire intégrant le noyer, ont utilisé la VAN (Kurtz 2000).

L'actualisation permet de traduire les bénéfices et coûts futurs en bénéfices et coûts actuels. Un dollar d'aujourd'hui n'a en effet pas la même valeur qu'un dollar d'il y a 60 ans. Ainsi, à un taux d'actualisation de 6 %, un dollar d'aujourd'hui vaut autant que 32 dollars dans 60 ans, alors qu'un dollar dans 60 ans équivaut à 0,03 \$ d'aujourd'hui.

La VAN est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$VAN = \sum_{n=0}^n R_n (1 + i)^{-n} - C_n (1 + i)^{-n}$$

Où R_n : revenus nets ;
 C_n : coûts nets ;
 i : taux d'actualisation (6 %) ;
 n : nombre d'années depuis l'année 0, correspondant à une période donnée.

Un projet est rentable économiquement si la valeur actuelle nette (VAN) est positive (> 0). La meilleure option économique est celle qui présente la VAN la plus élevée. Toutefois, une variation du taux d'actualisation fait varier la VAN. Plus le taux d'actualisation sera élevé, moins l'importance des avantages et des coûts qui surviennent dans le futur sera grande. De même, plus la période d'actualisation sera étendue, moins la VAN sera élevée.

Il existe d'autres indicateurs économiques qui permettent de mesurer la rentabilité économique de la culture intercalaire, comme le taux interne de rendement et le rapport bénéfice/coût (Kurtz *et al.* 1996). Par contre, ces indices ont le désavantage de ne pas

indiquer le montant de la valeur créée. Vu la portée exploratoire de la présente étude, nous nous sommes attardés uniquement au calcul de la VAN.

Il convient par ailleurs de préciser que cette analyse comparative de la VAN entre les différentes modalités de production ne s'est pas penchée sur les bénéfices non économiques dits intangibles (*e.g.* valeur d'existence). Ceux-ci, loin d'être négligeables à qui veut les approfondir, sont généralement évalués dans les études socio-économiques plus avancées. Le fait de les soustraire de la présente étude ne pose toutefois pas de problème d'interprétation quant aux conclusions qui peuvent être tirées des résultats obtenus. En effet, toutes choses étant égales entre elles, les VAN restent valides et autorisent la comparaison étant donné qu'elles ont été calculées sur la base d'un même modèle d'analyse.

Dans l'analyse de la VAN, nous avons exclu un certain nombre de coûts pour lesquels une étude approfondie s'avérerait nécessaire. De ce nombre, soulignons notamment : l'amortissement et l'entretien du fonds de terre, des bâtiments, de l'équipement et de la machinerie, les assurances, les coûts de publicité et les taxes foncières. Comme nous comparons des modèles de production implantés sur un site commun et gérés par une même entreprise (PSN), cela ne remet pas en question la validité des résultats de la VAN. En effet, nous prenons pour acquis que, peu importe le modèle de production envisagé, les valeurs du fonds de terre, des taxes, des assurances, des frais de gestion et d'administration, etc., demeurent les mêmes.

2.3 Le site

Les trois modèles de production ont été implantés sur trois parcelles distinctes de la PSN dont le précédent cultural était une culture fourragère. Le site de la PSN est localisé à l'intérieur de la municipalité régionale de comté des Chutes-de-la-Chaudière, elle-même située dans la région administrative de Chaudière-Appalaches. La température moyenne durant la saison de végétation, qui est d'une longueur moyenne de 155 jours, est de l'ordre de 15 °C. La précipitation moyenne durant la saison de végétation est de 510 mm. Le sol est un loam sableux, profond, dont le drainage est modéré. Bien que nous n'ayons pas mené d'analyses approfondies du sol, la comparaison de la hauteur moyenne des noyers noirs de quatre ans (1,35 m) cultivés sur le site de la PSN à celle mesurée (0,95) par Cogliastro *et al.* (1997) au sud-ouest de Montréal (meilleures conditions climatiques) est un bon indicateur de la très bonne fertilité du sol retrouvé à la PSN.

2.4 Les espèces ciblées

En raison des propriétés exceptionnelles de son bois, le noyer noir est réservé aux usages les plus nobles, dont l'ébénisterie. En Amérique du Nord, sa valeur commerciale s'est toujours maintenue à un niveau supérieur à celui des autres essences forestières. Comme nous l'avons exposé dans une section précédente, le noyer noir est une espèce qui se prête bien aux associations agroforestières (Williams *et al.* 1997). Bien que la limite de l'aire naturelle de distribution du noyer noir soit établie à 43° de latitude Nord (sud de l'Ontario), cela n'a pas empêché son introduction dans le sud du Québec il y a 110 ans (Li *et al.* 1992). L'intérêt pour sa plantation est toutefois récent au Québec. Les essais de Cogliastro *et al.* (1997, 2003) ont démontré que la performance de jeunes plantations de noyers noirs était comparable à celle de plusieurs plantations d'espèces de feuillus indigènes à bois noble (e.g. le chêne rouge, le chêne à gros fruits (*Quercus macrocarpa*), l'érable à sucre (*Acer saccharum*) et le caryer cordiforme (*Carya cordiformis*)). Cette observation a été corroborée à la PSN.

Le sapin baumier est largement exploité dans les forêts naturelles du Québec pour son bois. Cependant, cette espèce est également prisée pour la production d'arbres de Noël. Au Québec, la culture de sapins de Noël est considérée comme une production agricole. Il

s'agit d'un secteur horticole en plein essor, représenté par 300 entreprises qui cultivent 11 000 hectares de terrain et génèrent des revenus de 30 millions de dollars (Gouvernement du Québec 2003). La PSN cultive et met en marché le sapin baumier depuis plus de 10 ans. Son expérience démontre qu'il s'agit d'une espèce simple à cultiver et qui se prête bien à des associations avec d'autres espèces, dont les arbres feuillus.

Le cèdre est l'arbre le plus apprécié, cultivé et entretenu en Amérique du Nord comme haie de démarcation des terrains privés. Année après année, le cèdre à haie est le produit le plus demandé par la clientèle de la PSN. Sa popularité, son court cycle d'exploitation (4 à 5 ans), sa facilité d'entretien et ses faibles exigences édaphiques en font une culture très rentable. Comme la production de sapins de Noël, la culture en pépinière de cèdres à haie est considérée au Québec comme une activité agricole, reliée au secteur de l'horticulture ornementale.

2.5 Les modalités de production

Trois modalités de culture ont été comparées et calibrées pour le site de la PSN. Il s'agit de trois modèles qui sont déjà en place à la PSN. Le premier modèle (*culture pure de noyers*) consiste en une production conventionnelle de noyers noirs d'une densité initiale de 1 666 plants par hectare. Des parcelles conduites selon cette modalité de production ont été implantées en 2000, 2001 et 2003 sur le site de la PSN. Le second modèle (*culture pure de sapins*) est une plantation simple de sapins de Noël de 1 666 plants par hectare. Cette densité de culture est celle qu'a toujours privilégiée la PSN lors de l'installation de parcelles pures de sapins de Noël. Les plus vieilles parcelles de sapins de Noël ont une douzaine d'années aujourd'hui. Le troisième modèle (*culture intercalaire*) représente une combinaison de trois productions sur une même parcelle : plantation de noyers noirs destinés à la production de bois (475 plants/ha), culture de cèdres à haie (1 430 plants/ha) et culture de sapins de Noël (950 plants/ha). Ce modèle a été implanté en l'an 2000. On retrouve, à la figure 1, l'arrangement spatial des trois modalités de production au moment de la première année de leur établissement.

Dans les modèles 1 et 2, les plants sont distancés de 3 m entre les lignes de plantation et de 2 m sur les lignes. Dans un cas comme dans l'autre, la disposition spatiale

des espèces est la représentation exacte de celle retrouvée à la PSN. Nous sommes conscients que plusieurs exploitants québécois de sapins de Noël utilisent des densités de plantation plus importantes (*i.e.* plus de 2200 plants/ha). Néanmoins, afin de ne pas biaiser les résultats de la présente étude, nous nous en sommes tenus uniquement à l'arrangement spatial employé par la PSN ; il en a été de même pour l'itinéraire technique. Pour sa part, la densité de noyers présentée au modèle 1 est celle normalement prescrite au Québec (Dumont 1995).

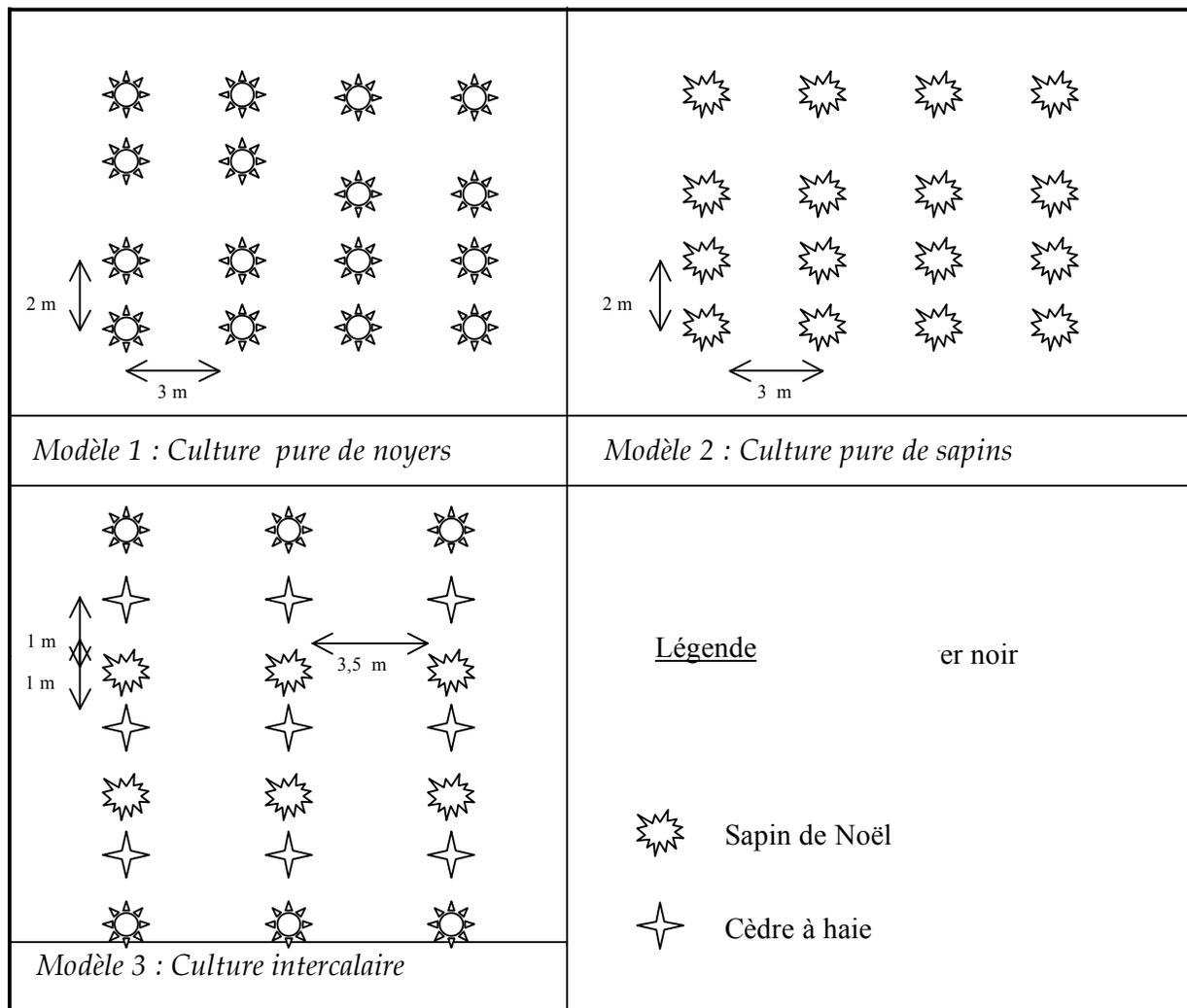


Figure 1. Arrangement spatial des trois modèles de plantation utilisés à la Pépinière St-Nicolas à l'année de mise en terre des plants.

Dans le modèle 3 (photo 8), les noyers sont intercalés de trois cèdres et de deux sapins sur chaque ligne. Dans l'ordre, nous retrouvons donc la séquence de plantation suivante : noyer, cèdre, sapin, cèdre, sapin, cèdre et noyer. Les plants, toutes espèces confondues, sont distancés entre eux de 1 m sur les lignes et de 3,5 m entre les lignes. Au total, 2 860 plants ont été mis en terre sur une parcelle de 1 hectare, les cèdres représentant la moitié et les sapins le tiers du nombre total de plants. La densité initiale des noyers (475 plants/ha) est légèrement supérieure à celle utilisée normalement dans les systèmes de cultures intercalaires (noyers – cultures annuelles) des États-Unis, soit de 270 plants/ha à un espacement de 12 m x 3 m (Garrett *et al.* 1991). Nous devons mentionner cependant que les États-Unis sont beaucoup plus avancés que le Québec en ce qui a trait à l'amélioration génétique du noyer noir (Li *et al.* 1992). Par ailleurs, le recours à des espacements plus rapprochés offrira plus de souplesse pour les éclaircies qui devraient ramener le peuplement à une densité définitive de 100 arbres à l'hectare.



Photo 8. Système associant noyer noir, cèdre à haie et sapin de Noël à la Pépinière St-Nicolas, dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec (photo : D. Rivest)

2.6 L'itinéraire technique et la productivité des différentes modalités de production

2.6.1 Modèle 1 : culture pure de noyers

❖ 2.6.1.1 L'itinéraire technique

Depuis 5 ans, la PSN a accumulé de nombreuses données sur l'implantation et l'entretien de jeunes noyers noirs. Par exemple, des chronométrages ont été effectués, d'année en année, pour mesurer le temps nécessaire à la réalisation de chacune des opérations culturales. De plus, les ressources humaines, matérielles et économiques déployées pour ce type d'exploitation ont été comptabilisées. Les éléments de l'itinéraire technique de cette modalité de production (mais aussi ceux des deux autres modèles) représentent donc le reflet des pratiques que la PSN a préconisées jusqu'à maintenant pour la culture du noyer. Cependant, comme la modélisation économique fait intervenir la perspective du long terme et que l'ensemble des parcelles de la PSN sont relativement jeunes, il nous a fallu extrapoler en ce qui a trait à un certain nombre d'opérations culturales prévues comme l'élagage et les éclaircies, pour lesquelles la PSN ne possède pas encore de données (coûts, fréquence, etc.). Pour ce faire, nous avons procédé à une analyse sommaire des connaissances techniques acquises dans le champ de la plantation du noyer (*e.g.* Hubert 1983), tant sur le plan technique qu'économique. Les coûts des diverses activités de l'itinéraire technique intégrés dans la modélisation apparaissent à l'annexe A.

Une année avant la plantation, à l'année 0, un certain nombre d'activités reliées à la préparation du terrain sont réalisées à la PSN : drainage, labourage et hersage. La préparation du terrain assure un développement plus rapide des plants et accroît l'efficacité des traitements de répression de la végétation concurrente (von Althen 1990). Après la préparation du terrain, des bandes de paillis de plastique sont installées afin que les noyers puissent être épargnés de la compétition herbacée. En effet, le noyer noir étant particulièrement sensible à la concurrence pour l'eau et les éléments nutritifs, la répression de la végétation concurrente est absolument nécessaire pour assurer de bons taux de croissance et de survie des plants (Garrett *et al.* 1991). La protection assurée par le paillis de plastique est efficace, durable, peu dispendieuse, relativement acceptable socialement et constitue l'alternative la plus sensée aux phytocides (Dumont 1995). De plus, elle crée des

conditions micro-environnementales favorables à une croissance rapide et vigoureuse des feuillus nobles (Balleux et Van Lerberghe 2001).

Le printemps suivant, à l'année 1, les plants sont mis en terre, puis entourés d'une collerette afin d'empêcher la végétation sous-jacente de se propager. Sans cette collerette, l'efficacité du paillis est grandement réduite. À partir de cette même année, le fauchage des allées enherbées est amorcé. Celui-ci est prévu jusqu'à l'année 10. Les allées sont fauchées à 3 à 4 reprises durant l'année pour conserver la parcelle propre, pour restreindre la compétition herbacée et pour freiner la prolifération des rongeurs. Ces derniers s'attaquent aux jeunes arbres dont ils dévorent l'écorce, le cambium, les branches et parfois même les racines (Robitaille 1992).

Les tailles de formation, les élagages et les éclaircies représentent des traitements essentiels qu'il est convenu d'appliquer précocement et progressivement car c'est le moyen le plus efficace d'améliorer la qualité du bois et les revenus qui en découlent (Hubert 1983 ; Dumont 1997). En effet, à la récolte finale, on peut obtenir de meilleurs revenus en raison d'une plus forte proportion de bois destiné au sciage ou au déroulage. La taille de formation vise avant tout à améliorer la forme des arbres, alors que l'élagage permet d'éliminer les nœuds le long du tronc. À la PSN, une première taille de formation est prévue à l'année 3, puis elle est pratiquée systématiquement à chaque deux ans jusqu'à l'année 11. Les élagages ont lieu aux années 9, 12, 15 et 20. La taille de formation est prévue pour une partie des tiges désignées comme étant de belle venue, c'est-à-dire vigoureuses et ne présentant aucune maladie ni défaut apparent. Les élagages sont effectués d'abord sur 400 tiges (années 9 et 12), puis sur 225 tiges (années 15 et 20). Quant aux éclaircies, en réduisant progressivement la densité des tiges, ce qui augmente l'ouverture de la plantation, elles ont un effet positif sur la croissance des tiges résiduelles. Une éclaircie précommerciale a lieu à l'année 12. Elle consiste à supprimer une tige sur deux. Deux éclaircies commerciales sont planifiées aux années 35 et 45. Tous ces traitements d'éducation, réalisés aux moments opportuns, permettront de produire, au terme de l'horizon d'exploitation de 65 ans (récolte finale), du bois de très bonne qualité destiné principalement au déroulage et au sciage.

❖ 2.6.1.2 La productivité, la récolte et la vente du bois de noyer

La productivité d'une plantation est un critère technique incontournable de la modélisation économique. C'est à partir de cette variable que se déterminent les revenus tirés du bois. Le problème est qu'il n'existe aucune table de rendement du noyer en plantation au Québec car l'intérêt qu'on lui porte est très récent. Les rares données de productivité proviennent de plantations établies à Pointe-Platon, à environ 45 km à l'ouest du site de la PSN. À 21 ans, les noyers de diverses descendance génétiques mesuraient en moyenne 8,7 m de hauteur et 9,9 cm de diamètre (Li *et al.* 1992), alors qu'à 60 ans, 101 noyers/ha donnaient 153 m³ (Castonguay et Musnier 1979). En Ontario, von Althen (1969) a mesuré un volume de 201 m³ dans une plantation de 48 ans. En France, les meilleurs sites peuvent donner, à 70 ans, jusqu'à 280 m³ (60 cm de diamètre par noyer) en bois de tranchage (Hubert 1983). La durée de la saison de végétation en France est toutefois plus longue que celle du sud du Québec.

Il peut sembler difficile de se retrouver au travers de ces mesures ponctuelles de rendement du noyer en plantation. Cependant, elles permettent de confirmer que les noyers ont une croissance rapide par rapport à plusieurs résineux et certains feuillus à bois noble (von Althen 1990).

Compte tenu de l'absence de tables de croissance du noyer noir au Québec, il nous a donc fallu émettre un certain nombre d'hypothèses quant à la hauteur et au diamètre des arbres au moment des trois récoltes prévues (éclaircies commerciales et récolte finale). Ces hypothèses demeurent néanmoins réalistes en regard des mesures de productivité que nous venons d'exposer, particulièrement celles de Pointe-Platon. Ces hypothèses ont été formulées également en fonction de la fertilité importante retrouvée sur le site de la PSN et sur la base de l'expérience de terrain que cette entreprise a acquise dans le reboisement des feuillus. Le tableau 4 décrit les données de productivité qui ont été intégrées au modèle 1, c'est-à-dire les résultats escomptés pour l'accroissement en diamètre, en hauteur et en volume des noyers, de même que les récoltes anticipées de bois. Le volume marchand des noyers a été calculé en fonction du diamètre à la hauteur de poitrine (1,3 m) et de la hauteur totale de l'arbre selon l'équation développée par Perron (1986) pour le noyer cendré :

$$\text{VMB} = 0,7829 + 0,1321188 H - 0,271184 DH + 0,0395851 D^2H$$

Où VMB : volume marchand brut (dm³) ;
H : hauteur totale de l'arbre (m) ;
D : diamètre à la hauteur de poitrine (cm).

Tableau 4. Données intégrées au modèle « culture pure de noyers » concernant la production des noyers noirs à la Pépinière St-Nicolas pour les trois années de récolte prévues.

Année de récolte	Hauteur totale du noyer	DHP	Volume de bois de noyer (1 tige)	Nb de tiges et volume de bois de noyer (par ha)
Année 35	13 m	24 cm	0,174 m ³	350 tiges ou 61 m ³
Année 45	15 m	32 cm	0,481 m ³	300 tiges ou 144 m ³
Année 65	21 m	46 cm	1,501 m ³	100 tiges ou 150 m ³

DHP = diamètre du noyer à la hauteur de poitrine (1,3 m)

Le volume de bois de noyer anticipé est présenté pour les trois années de récolte qui consistent en deux éclaircies commerciales (années 35 et 45) et une récolte finale (année 65). Ce volume s'accroît avec les années en relation avec l'augmentation de la hauteur et du diamètre de l'arbre. Le scénario retenu prévoit un accroissement annuel moyen du diamètre de 0,76 cm par année. Par rapport à celui utilisé dans les simulations économiques de Benjamin *et al.* (2000), soit un accroissement annuel moyen du diamètre de 1,02 cm pour une plantation pure de noyers dans le centre-ouest des États-Unis, il s'agit selon nous d'une hypothèse réaliste.

La répartition du bois récolté entre les quatre catégories de produits (déroulage, sciage, pâte et non utilisable) a été effectuée selon les proportions présentées au tableau 5. Cette répartition est celle proposée par Robitaille (1999), dans le cadre d'une étude économique portant sur une analyse comparative coûts/bénéfices de divers modèles de plantation de feuillus dans la région de l'Outaouais.

L'effet cumulatif des tailles de formation, des élagages et des éclaircies devrait se traduire par une hausse substantielle des volumes de qualité « déroulage » et, par le fait même, d'une diminution des volumes de qualité « pâte ».

Tableau 5. Données intégrées au modèle « culture pure de noyers » concernant la répartition des produits du bois de noyer noir à la Pépinière St-Nicolas pour les trois années de récolte prévues.

Année de récolte	Déroulage	Sciage	Pâte	Non utilisable
Année 35	---	36 %	54 %	10 %
Année 45	18 %	50 %	22 %	10 %
Année 65	32 %	50 %	8 %	10 %

Les revenus tirés des récoltes du bois ont pour leur part été déterminés à partir des prix moyens actuels payés par la scierie Vexico (J. Champagne comm. pers. 2004) pour la catégorie des produits « sciage » et par la compagnie Commonwealth Plywood Ltée (A. Beaudry comm. pers. 2004) pour les produits « déroulage ». Il existe quatre classes de qualité de bois de sciage (sélect, S1, S2, S3) pour le noyer noir (sélect étant la meilleure classe). Pour le bois de 35 ans (1^{ère} éclaircie commerciale), nous avons utilisé les proportions suivantes pour chacune de ces classes : 3 %, 17 %, 50 % et 30 %, ce qui permet l'obtention d'un prix moyen de 100 \$/m³. La pondération choisie pour les tiges de 45 ans et plus (40 %, 50 %, 10 % et 0 %) permet l'obtention d'un prix moyen de 200 \$/m³. Nous avons évalué le prix moyen des produits « déroulage » à 450 \$/m³. Au Québec, le prix moyen offert pour la pâte des bois durs est estimé quant à lui à 42 \$/m³ (R. Beaugard comm. pers. 2004).

2.6.2 Modèle 2 : la culture pure de sapins de Noël

❖ 2.6.2.1 L'itinéraire technique

Pour soutenir une production commerciale de sapins de Noël, un certain nombre d'opérations culturales doivent être réalisées au moment opportun. À l'exception de la durée réduite de son cycle de production (10 ans), la conduite d'une plantation de sapins de Noël est similaire à celle de la plantation de noyers, particulièrement pour la préparation du terrain et certains éléments concernant l'entretien des parcelles et l'éducation des plants. La préparation du terrain s'entame à l'année 0 avec l'exécution des mêmes traitements

rapportés pour la plantation du noyer, à savoir le drainage, le labourage, le hersage et la pose du paillis de plastique.

À l'année 1, les sapins de Noël sont mis en terre, mais ne sont pas entourés de collerettes puisque, à l'opposé des plants de noyer à racines nues, il s'agit de plants cultivés en multi-cellules qui ne demandent qu'une légère perforation du paillis lors de leur plantation. À l'année 3, nous avons prévu le remplacement de 10 % de ces plants (mortalité). Les allées sont fauchées à toutes les années jusqu'à la fin de l'horizon d'exploitation qui est prévue à l'année 9.

Les tailles de formation débutent à l'année 4 et sont pratiquées ensuite à chaque année sur tous les sapins. Les tailles dirigent le développement des branches afin d'obtenir un arbre de bonne qualité ornementale. Elles permettent également de réduire la croissance en hauteur, de développer une forme plus conique et de rendre l'arbre plus touffu.

Les années 6 à 9 sont les plus déterminantes de l'itinéraire technique car elles sont marquées par la récolte des sapins. Les coûts des diverses activités de l'itinéraire technique et des autres frais apparaissent à l'annexe B.

À l'année 10, les souches sont arrachées, le paillis est ramassé et le terrain est préparé et amendé pour une seconde rotation qui s'entame à l'année 11. De façon à comparer ce modèle avec les modèles « plantation pure de noyers » et « culture intercalaire », nous avons calculé la VAN sur un horizon d'analyse de 65 ans. Six cycles d'exploitation consécutifs ont donc été pris en compte.

Les sapins de Noël de la PSN ont la particularité d'être cultivés sans aucun recours à des intrants chimiques. Selon le propriétaire-exploitant (J. Sawicki comm. pers. 2003), la haute fertilité du site, les faibles exigences édaphiques du sapin baumier et l'utilisation du paillis constituent des éléments qui justifient le fait de ne pas utiliser d'engrais chimiques, d'herbicides ou d'insecticides.

❖ 2.6.2.2 La productivité, la récolte et la mise en marché du sapin de Noël

Cela fait maintenant plus de dix ans que la PSN produit et met en marché des sapins de Noël. La plupart des sapins de Noël sont vendus au détail sur le site de la PSN. Les récoltes sont réalisées manuellement au cours des mois de novembre et décembre. L'expérience acquise à la PSN démontre notamment que les récoltes s'échelonnent sur quatre années; elles commencent à l'année 6 et se terminent à la neuvième année de production (tableau 6).

Tableau 6. Données intégrées au modèle « culture pure de sapins» concernant la quantité de sapins de Noël récoltés à la Pépinière St-Nicolas pour les quatre années de récolte prévues au premier cycle d'exploitation.

Année de récolte	% de la récolte totale	Nb de sapins récoltés (par ha)
Année 6	5 %	75
Année 7	25 %	375
Année 8	45 %	675
Année 9	25 %	375

N.B. Une perte de 10 % a été soustraite de la densité initiale de 1 666 arbres/ha.

L'année 8 est la plus importe en terme de nombre de sapins récoltés (45 % de la récolte totale), alors qu'une très faible récolte (5 %) s'effectue à l'année 6. À la PSN, le prix de vente moyen (peu importe l'âge des sapins) des trois dernières années s'est élevé à 20 \$ par arbre de Noël.

2.6.3 Le modèle 3 : la culture intercalaire

Les deux modalités de culture présentées plus haut ont servi de référence pour construire le modèle « culture intercalaire », qui intègre le noyer, le cèdre à haie et le sapin de Noël.

L'itinéraire technique du modèle 3 est donc un hybride issu des modèles « culture pure de noyers » et « culture pure de sapins». En fait, tous les traitements culturaux présentés précédemment, à la fois pour modèle 1 et 2, sont intégrés à l'intérieur du modèle « culture intercalaire », selon la même fréquence et les mêmes coûts. Par exemple, les traitements d'élagage des noyers cultivés en culture intercalaire ont lieu aux années 9, 12, 15

et 20, comme c'est le cas dans le modèle « culture pure de noyers ». Il en est de même pour les éclaircies commerciales des noyers qui se déroulent aux années 35 et 45. En raison des larges espacements des noyers dans cette modalité de culture, l'éclaircie précommerciale des noyers est cependant exclue. Par ailleurs, contrairement au modèle « culture pure de sapins », les souches de sapin ne sont pas extraites dans le modèle « culture intercalaire ». Cette activité est effectivement superflue en raison du fait que le terrain ne doit pas être préparé de nouveau pour une révolution subséquente de sapins.

Par contre, un nouvel élément d'importance a été intégré au modèle 3. Il s'agit de la culture intercalée de cèdres à haie. Les éléments de sa production sont sensiblement similaires à ceux énoncés précédemment pour la production du sapin de Noël ou du noyer (*e.g.* préparation du terrain, plantation des plants, paillis de plastique, etc.). Les cèdres sont récoltés en mottes quelques années avant la récolte des sapins de Noël. L'expérience de la PSN témoigne qu'au moins 85 % des cèdres plantés sont normalement commercialisables. Cela représente 1 215 cèdres/ha dans le cas du modèle 3, répartis de la façon suivante : 40 % (485 cèdres) à l'année 4 et 60 % (730 cèdres) à l'année 5. L'arrachage des cèdres, effectué au printemps ou à l'automne, demeure relativement simple. À la PSN, le prix de vente moyen d'un cèdre à haie en motte de 4 ou 5 ans est de 11 \$. Les observations de la campagne 2003 (première année de récolte des cèdres) nous portent à croire que leur production et leur qualité ornementale ne sont pas entamées par la présence rapprochée des noyers et des sapins de Noël.

Les coûts des diverses activités de l'itinéraire technique qui ont été intégrés au modèle « culture intercalaire » sont présentés à l'annexe C.

Le scénario de production du modèle « culture intercalaire » est présenté au tableau 7. Bien entendu, la quantité de bois récolté, sur un horizon de production de 65 ans, est moins importante dans le modèle « culture intercalaire » que dans le modèle « plantation pure de noyers ». Il en est de même pour la récolte des sapins de Noël, puisqu'on y compte moins de sujets par rapport au modèle « culture pure de sapins ».

Tableau 7. Données intégrées au modèle « culture intercalaire » concernant la production des cèdres à haie, des sapins de Noël et des noyers noirs à la Pépinière St-Nicolas pour les différentes années de récolte prévues.

Année de récolte	Production (par ha)
Année 4	485 cèdres à haie
Année 5	730 cèdres à haie
Année 6	45 sapins de Noël
Année 7	215 sapins de Noël
Année 8	385 sapins de Noël
Année 9	210 sapins de Noël
Année 35	175 tiges ou 30 m ³ de bois de noyer
Année 45	150 tiges ou 72 m ³ de bois de noyer
Année 65	100 tiges ou 150 m ³ de bois de noyer

Nous avons émis l’hypothèse que la production et la qualité des noyers (tableau 5) et des sapins de Noël sont les mêmes en culture intercalaire qu’en culture pure. Aucune interaction entre le noyer, le sapin et le cèdre n’a donc été considérée dans les simulations économiques des trois modèles de base. Il faut souligner en effet qu’aucune interaction positive ou négative spécifique n’a été observée jusqu’à maintenant dans le modèle « culture intercalaire ». Cela est conforme avec les observations de Merwin (2002), qui a rapporté qu’un producteur de l’Oregon n’avait pas observé, lui non plus, d’interactions particulières entre noyers et sapins, à moyen terme, pour un système similaire à celui de la PSN. On ne peut pas exclure cependant la possibilité que les noyers du modèle « culture intercalaire », en raison de leur faible densité initiale, produisent davantage de volume de bois par tige par rapport au modèle « plantation pure ». Cet aspect a donc été pris en compte dans l’analyse de sensibilité.

2.7 L'analyse de sensibilité

La modélisation économique en agroforesterie est un outil décisionnel fort utile. Toutefois, l'interprétation des résultats que la simulation apporte demeure limitée si elle ne prend pas en compte les interactions ou les événements inattendus qui pourraient survenir dans le temps. L'analyse de sensibilité permet d'intégrer ces éléments. Elle bonifie la modélisation économique en estimant l'impact d'un changement positif ou négatif d'une variable donnée sur la rentabilité économique globale. L'analyse de sensibilité permet ainsi d'avoir une idée juste de l'ampleur du risque généré par l'usage de la modélisation. En effet, certains paramètres qui restent difficiles à quantifier, particulièrement dans le cadre d'une modalité de production agroforestière et sur un horizon d'analyse aussi long que 65 ans, peuvent être appelés à modifier significativement la profitabilité d'une entreprise. De ce nombre, soulignons notamment : le taux d'intérêt, la croissance des arbres et la qualité de leur bois lors de la récolte, l'ajout ou le retrait d'une composante agricole ou forestière, les incitatifs financiers, les coûts de production, la productivité des composantes agricoles, les taxes, le coût de la main d'œuvre, le prix du bois ou des produits agricoles et l'horizon d'analyse. Parmi cette série de facteurs, nous avons choisi les quatre premiers et nous les avons soumis à une étude de sensibilité. Certains auteurs (*e.g.* Campbell *et al.* 1991 ; Benjamin *et al.* 2000) justifient le choix de ces paramètres par le fait qu'ils sont appelés à faire varier de façon importante la VAN. Cet ensemble minimal de quatre paramètres (le taux d'intérêt, la croissance des arbres et leur qualité lors de la récolte, l'ajout ou le retrait d'une composante agricole ou forestière et les incitatifs financiers) permet par ailleurs de confronter la sensibilité de la VAN à court et long terme.

Comme notre étude se penche essentiellement sur l'intérêt économique de la culture intercalaire, l'analyse de sensibilité a porté uniquement sur le modèle 3.

2.7.1 Le taux d'intérêt

Le taux d'intérêt ou taux d'actualisation est un taux arbitraire utilisé pour calculer la VAN d'un projet. Plus le taux d'intérêt est bas et plus le retour sur l'investissement est important à la fin d'un horizon de temps donné. Comme le taux d'intérêt est peu prévisible, nous avons voulu quantifier l'impact de différents taux d'intérêt sur la VAN à 65 ans. Des taux d'actualisation bas (4 %) et élevé (8 %) ont été comparés à un taux moyen (6 %).

2.7.2 La productivité et la qualité du bois de noyer

Le fait de cultiver les noyers en « ambiance agroforestière » influencera-t-il leur productivité et la qualité du bois produit ? Après quatre années de croissance en cohabitation avec le sapin et le cèdre, les observations menées à la PSN démontrent que les noyers semblent avoir bénéficié de cet environnement particulier. En effet, il a été constaté que grâce à la présence rapprochée des cèdres et des sapins, les noyers ont tendance à développer leur croissance en hauteur plutôt que l'extension latérale de leurs branches (Rivest, obs. pers.). Par ailleurs, une fois les cèdres et les sapins récoltés, les noyers se retrouvent rapidement (après 10 ans de croissance) à de larges espacements. Des études effectuées en France (*e.g.* Cabanettes *et al.* 1999) démontrent que les arbres plantés à de larges espacements développent davantage leur houppier que l'élongation en hauteur du tronc, ce qui permet d'obtenir de courtes et grosses billes, plutôt que de longues et minces. Néanmoins, ces observations doivent être considérées avec beaucoup de réserves, car elles ont été menées dans un contexte biophysique fort différent de celui de la PSN. Il n'est pas exclu qu'une croissance du noyer plus faible que celle attendue soit observée. Nous avons donc voulu mesurer tant l'effet d'une augmentation que d'une diminution de la croissance des noyers sur la VAN.

Par ailleurs, la qualité du bois est liée de près à la croissance des arbres. Une grosse bille de bois offre généralement plus de potentiel pour le déroulage qu'une bille mince. Pour cette raison, nous avons soumis conjointement la productivité et la qualité du bois de noyer à l'analyse de sensibilité. Par rapport au scénario réaliste (tableaux 5 et 7), un scénario pessimiste (interaction négative) et un scénario optimiste (interaction positive) ont été simulés, puis comparés au scénario réaliste (aucune interaction). Le scénario pessimiste est caractérisé par une diminution de 25 %, à chacune des trois années de récolte, du volume de bois produit et du pourcentage de bois récolté faisant partie de la meilleure classe de qualité. Le scénario optimiste prend en compte, quant à lui, une augmentation de 25 % de ces variables. Bien que nous ayons établi arbitrairement le coefficient de variation de qualité et de volume du bois à $\pm 25\%$, nous sommes d'avis qu'il permet d'exprimer les extrêmes de variation envisageables. Le tableau 8 décrit ce que nous entendons exactement par une variation de $\pm 25\%$ de la meilleure classe de qualité du bois.

Tableau 8. Répartition des produits du bois de noyer noir provenant du modèle « culture intercalaire » pour les trois années de récolte prévues dans le cadre de trois scénarios de volume de production.

Année de récolte	Déroutage			Sciage			Pâte		
	P	R	O	P	R	O	P	R	O
Année 30	--	--	--	11 %	36 %	61 %	79 %	54 %	29 %
Année 45	--	18 %	43 %	43 %	50 %	47 %	47 %	22 %	0 %
Année 60	7 %	32 %	57 %	50 %	50 %	33 %	33 %	8 %	0 %

Note : 10 % du bois est considéré comme étant non utilisable à chaque récolte, quelque soit le scénario.

P= scénario pessimiste : - 25 % ; R= scénario réaliste ; O: scénario optimiste : + 25 %

À la récolte finale, le scénario optimiste correspond à une augmentation de 25 % du bois de qualité « déroutage » et à une diminution de 25 % du bois de qualité « pâte ». En revanche, le scénario pessimiste prend en compte une diminution de 25 % de la classe de qualité « déroutage » et une augmentation de 25 % de la classe de qualité « pâte ».

2.7.3 L'ajout ou le retrait d'une composante : la culture des cèdres à haie

Quel est l'impact de la production des cèdres sur la VAN ? Nous avons cherché à savoir, dans cette simulation, s'il est vraiment approprié, d'un point de vue économique, d'intégrer cette production au modèle de culture intercalaire développé par la PSN. Afin de simuler l'impact économique de la production de cèdres sur la VAN du modèle « culture intercalaire », nous avons soustrait du modèle de base (tableau 7) l'ensemble de ses coûts et revenus.

2.7.4 Les incitatifs financiers à la culture des noyers

Au Québec, tout propriétaire forestier reconnu peut bénéficier du programme d'aide à la mise en valeur de la forêt privée. Géré par les différentes Agences régionales de mise en valeur des forêts privées (AMVP) réparties sur tout le territoire québécois, ce programme offre un important soutien technique et financier pour la réalisation des travaux d'aménagement et d'amélioration des propriétés forestières privées. Cette aide financière atteint normalement 80 % de la valeur des travaux forestiers à effectuer, le 20 % restant étant à la charge du propriétaire privé. À l'Agence des forêts privées de Québec, les travaux admissibles pour la plantation de feuillus sont notamment les suivants : le labourage - hersage, le drainage, la plantation, l'achat des plants (offerts gratuitement par le gouvernement du Québec) et certains travaux d'entretien et d'éducation de plantation. Cependant, en vertu du règlement interne des AMVP et en raison du zonage agricole des parcelles qui accueillent les noyers, tant pour les modalités « plantation pure de noyers » que « culture intercalaire », la PSN n'a pas pu profiter de ces subventions qui sont délivrées uniquement pour l'aménagement de terrains forestiers (incluant certains terrains en friche). Cela explique pourquoi nos calculs précédents n'ont pas tenu compte des incitatifs financiers offerts actuellement par les AMVP. Néanmoins, nous avons considéré important de simuler l'effet éventuel des incitatifs financiers sur la VAN, car, rappelons-le, ce travail cherche notamment à savoir si la culture intercalaire peut intéresser les propriétaires forestiers motivés à planter des arbres feuillus.

Notre démarche a consisté à soustraire 80 % des coûts des opérations reliées à l'établissement (drainage, labourage - hersage, paillis de plastique, plantation, achat des plants) et à l'entretien (fauchage des allées, tailles de formation, élagages, éclaircies précommerciales) des noyers noirs, à la fois pour les modalités « culture pure de noyers » et « culture intercalaire ». Un taux de financement de 80 % a été choisi pour rester fidèle à celui offert actuellement par les AMVP. Bien entendu, comme les AMVP ne financent pas les activités agricoles, nous n'avons pas tenu compte de la possibilité de subventionner les travaux désignés pour la culture du sapin de Noël ou du cèdre à haie.

3. Résultats et discussion

3.1 Les trois modèles de base

Les résultats obtenus suite aux simulations effectuées sur les trois modèles de base, selon un taux d'intérêt de 6 % et un horizon d'analyse de 65 ans, sont exposés à la figure 2.

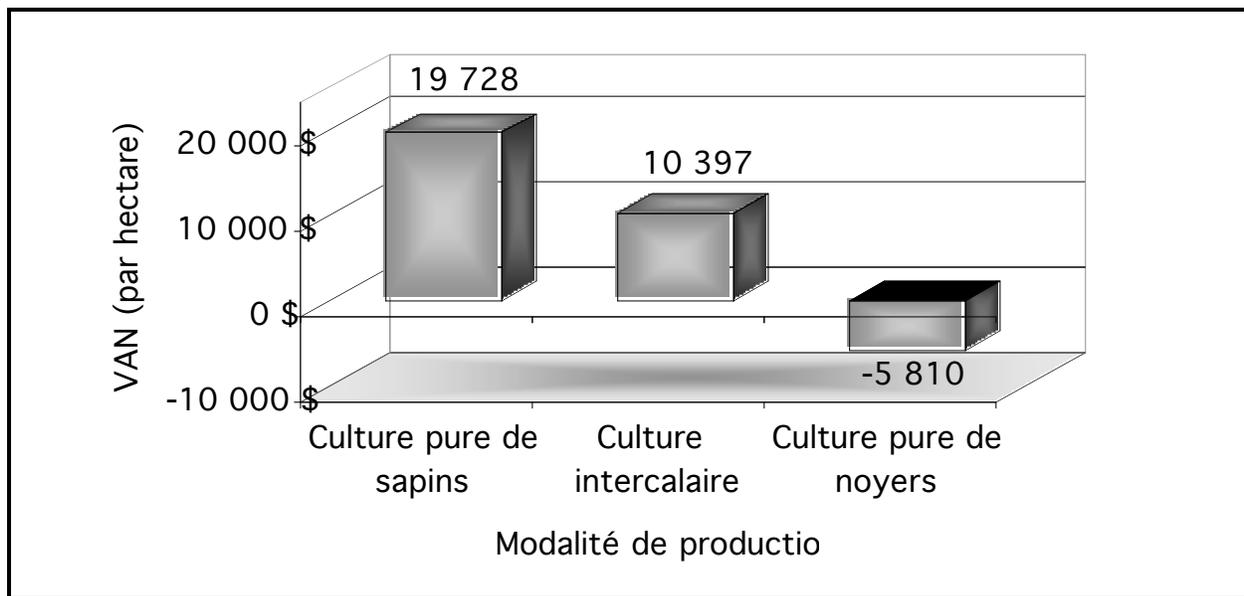


Figure 2. Valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) de trois modalités de cultures utilisées à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans.

De prime abord, force est de constater l'écart important entre les trois modèles, particulièrement entre le modèle « culture pure de noyers » et les deux autres. En effet, à l'opposé des modèles « culture pure de sapins » et « culture intercalaire », la culture pure de noyers noirs est fortement déficitaire (-5 810 \$). Au Québec, des déficits budgétaires ($i = 6\%$) ont été rapportés également par Robitaille (1999) pour des plantations pures et mélangées de feuillus à bois noble (*i.e.* l'érable à sucre, le chêne rouge et le frêne d'Amérique). Le fait que les premiers revenus ne surviennent qu'à 35 ans, lors de la première éclaircie commerciale, explique largement le déficit de la VAN pour le modèle « culture pure de noyer ». De plus, l'analyse des coûts (annexe 1) met en lumière la charge financière importante des 20 premières années, notamment pour la réalisation des travaux d'établissement et d'entretien des noyers. En fait, ces coûts représentent un peu plus de 50

% des coûts totaux. Par ailleurs, malgré les revenus importants qui peuvent être tirés de la vente de bois noyer de qualité (déroulage et sciage), l'effet de l'actualisation sur un horizon de 65 ans demeure très significatif sur la VAN : 1 dollar généré dans 65 ans ne correspond qu'à 2 cents d'aujourd'hui à un taux d'intérêt de 6 %.

La VAN obtenue pour le modèle « culture intercalaire » confirme notre première hypothèse. En effet, ce modèle génère un revenu plus important que l'assolement du noyer. En revanche, sa VAN est inférieure à celle du modèle « culture pure de sapins ». L'écart important qui sépare le modèle « culture intercalaire » du modèle « culture pure de noyers » est attribuable aux revenus générés à court terme par la vente de cèdres à haie et de sapins de Noël. Cela est d'autant plus vrai que les gains d'argent obtenus à court terme augmentent davantage la VAN que ceux (vente du bois) récupérés à long terme. De plus, en comparaison avec le modèle « culture pure de noyers », la plus faible densité de plantation (1 190 plants de moins) dans le modèle « culture intercalaire » limite l'impact négatif de certains coûts sur la VAN. Par exemple, il en coûte 1 833 \$ de moins par hectare à l'année 1 pour l'achat et la mise en terre des plants de noyer (incluant le remplacement des plants morts). De plus, comme l'éclaircie précommerciale est exclue, cela permet une économie de 1 500 \$ par hectare. Soulignons par ailleurs que le fauchage des allées (250 \$/an pour les dix premières années) est assuré par le biais de celui qui est destiné aux cultures associées.

Le modèle « culture intercalaire » obtient néanmoins une VAN de 89 % inférieure à celle du modèle « culture pure de sapins de Noël ». Une étude menée en Ontario, où on a comparé un système agricole conventionnel (rotation annuelle maïs-soya-blé) à un système de culture intercalaire avec le noyer, est arrivée à un résultat similaire : la culture intercalaire génère une VAN de 112 % inférieure à celle du système agricole, selon un horizon d'analyse de 55 ans et à un taux d'intérêt de 5 % (Dyack *et al.* 1999). Pourquoi l'assolement agricole génère-t-il une VAN plus importante que la modalité « culture intercalaire » ? Ces deux pratiques se distinguent quant aux revenus qu'elles génèrent. Sur un horizon de 65 ans, le modèle « culture pure de sapins » permet des revenus soutenus, ce que ne permet pas le modèle « culture intercalaire » développé à la PSN. En effet, cette dernière modalité de production n'amène aucun revenu entre l'année 10 (fin de la production des sapins) et l'année 35 (première éclaircie commerciale des noyers). Néanmoins, notre analyse ne s'est limitée qu'à l'itinéraire technique planifié par la PSN. L'ajout d'une culture tolérante à l'ombre comme le ginseng à cinq folioles (*Panax quinquefolius*) ou d'une production de noix, 10 ou 15 ans après l'année de plantation des noyers, permettrait peut-être de bonifier la VAN du modèle « culture intercalaire », l'amenant ainsi à un niveau comparable à celui du modèle « plantation pure de sapins ».

3.2 L'analyse de sensibilité de la VAN

3.2.1 Le taux d'intérêt

La figure 2 illustre, pour le modèle « culture intercalaire », la sensibilité de la VAN calculée selon trois différents taux d'intérêt. Pour un taux d'intérêt bas (4 %), la VAN obtenue (15 136 \$) est supérieure de 45 % à celle obtenue pour un taux d'intérêt moyen (6 %), soit 10 397 \$ (modèle de base). Un taux d'intérêt élevé (8 %), quant à lui, a pour effet de diminuer la VAN du modèle de base de 31 % (7 896 \$).

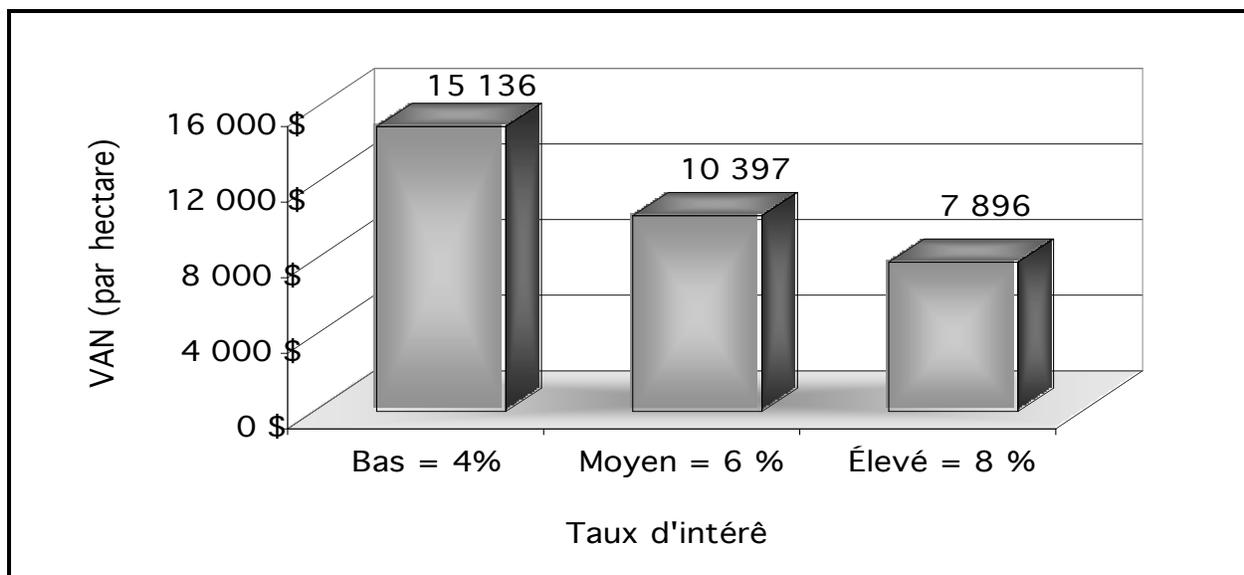


Figure 3. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare du modèle de culture intercalaire utilisé à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction de trois taux d'intérêt.

L'utilisation d'un taux d'intérêt bas a pour conséquence d'augmenter les revenus escomptés de la récolte du bois. En contrepartie, un taux d'intérêt élevé affecte à la baisse les bénéfices économiques anticipés à long terme. Tout producteur intéressé par la culture intercalaire devrait considérer cet aspect. Néanmoins, le choix du taux d'actualisation, qu'il soit élevé ou bas, ne change rien à l'intérêt de la culture intercalaire par rapport aux deux autres modèles de production.

3.2.2 La productivité et la qualité du bois de noyer

La figure 3 expose l'effet d'une variation positive ou négative de 25 % de la productivité et de la qualité du bois de noyer. Le scénario optimiste (+ 25 %) fait grimper la VAN du scénario réaliste (modèle de base) de 14 %, la faisant passer de 10 397 à 11 844 \$. À l'opposé, le scénario pessimiste (- 25 %) occasionne une baisse de 12 % de la VAN du scénario réaliste, celle-ci chutant de 10 397 à 9 313 \$.

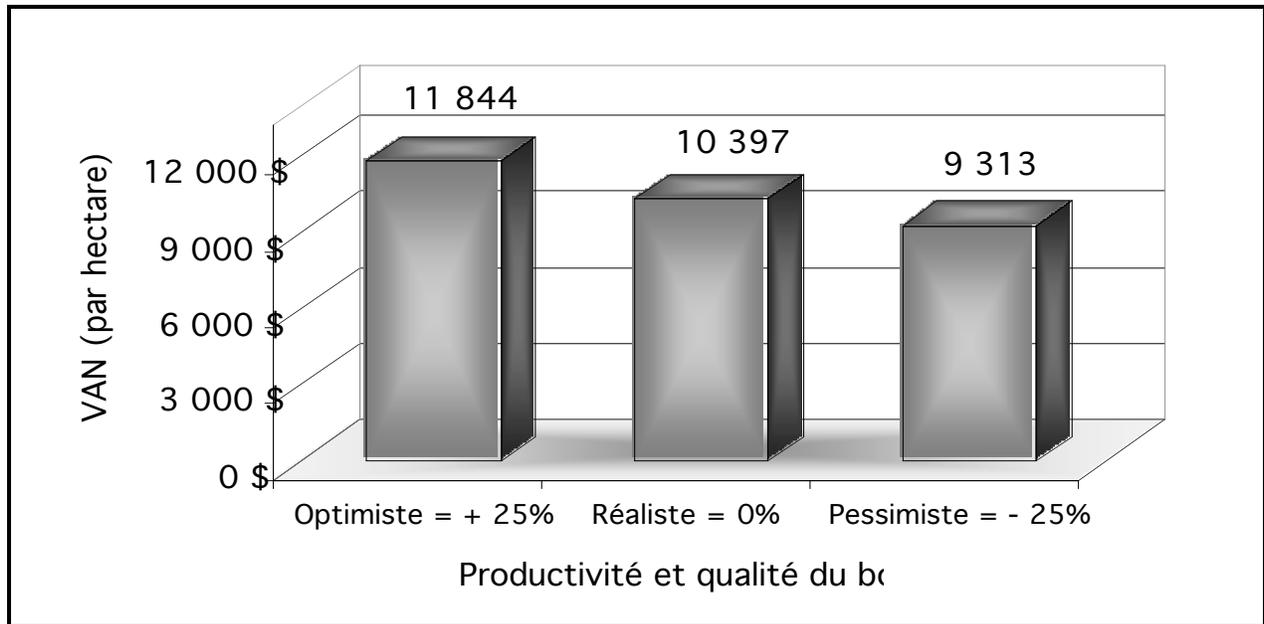


Figure 4. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) du modèle de culture intercalaire utilisé à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction d'une variation de $\pm 25\%$ de la productivité et de la qualité du bois de noyer noir.

Tel que l'ont rapporté Benjamin *et al.* (2000), cette analyse démontre que l'effort consacré à l'obtention d'une production optimale de bois de qualité de noyer rapporte des dividendes. Cependant, bien qu'un gain de productivité et de qualité du bois de noyer engendre une augmentation non négligeable de la VAN, force est d'admettre qu'une diminution aussi importante que 25 % de ces paramètres n'empêche pas l'option de la culture intercalaire de rester rentable. L'effet de l'actualisation explique, de nouveau, cette constatation. Par exemple, lors de la récolte finale (65 ans), une augmentation de 25 % du volume et de la qualité du bois de noyer fait grimper les bénéfices nets, en dollars courants (dollars non actualisés), de 32 863 à 55 945 \$, soit un gain important de 23 082 \$. Par

contre, l'actualisation à un taux d'intérêt de 6 % fait passer ces derniers montants de 744 (scénario réaliste) à 1 267 \$ (scénario optimiste), soit une légère augmentation de 523 \$ (dollars réels ou actualisés).

3.2.3 La production de cèdres à haie

La figure 4 présente la sensibilité de la VAN du modèle « culture intercalaire » au retrait de la culture de cèdres. Le fait de soustraire cette culture a pour effet d'abaisser significativement la VAN du modèle de base (avec cèdre) de 10 397 à 3 600 \$, soit une baisse de 288 %. Malgré le fait que le système serait rentable en l'absence d'une culture combinée de cèdres, nous sommes forcés d'admettre que celle-ci est un apport très important à la VAN. Cela est d'autant plus vrai que les revenus apportés par la culture de cèdres arrivent dès la quatrième année suivant leur mise en terre, permettant ainsi un retour rapide sur l'investissement (*pay back*), c'est-à-dire dès la cinquième année. Sans la culture de cèdres, le retour sur l'investissement ne se ferait qu'à la huitième année, rendant le projet moins attrayant. Cette analyse confirme l'utilité d'avoir intégré la culture de cèdres au sein du système développé par la PSN. Elle met également en lumière l'intérêt d'exploiter, de façon optimale, l'espace cultivable d'un terrain donné.

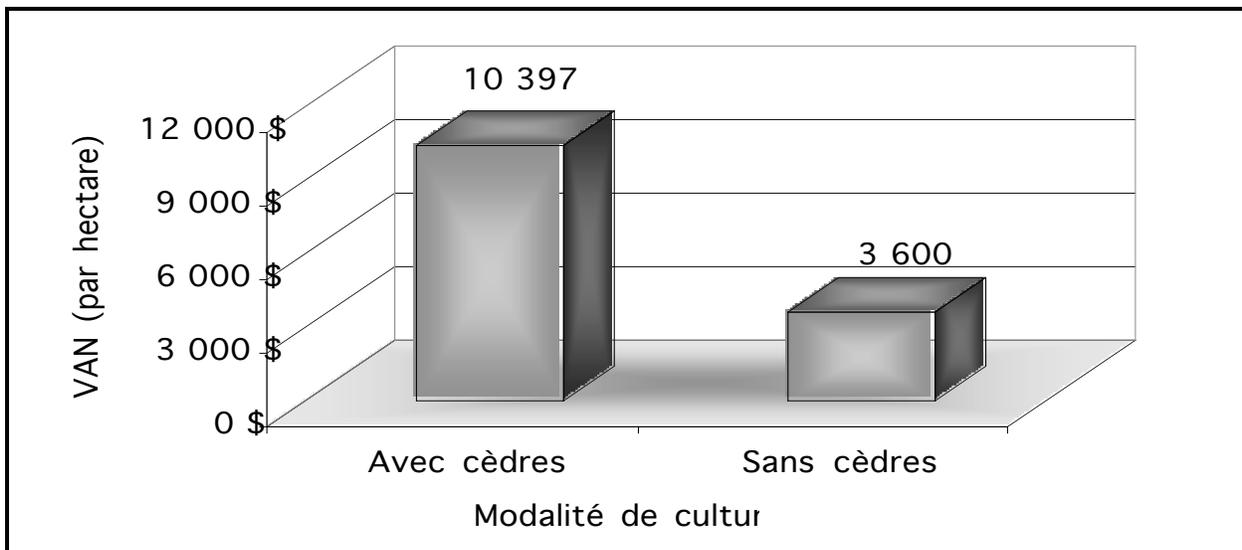


Figure 5. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) du modèle de culture intercalaire utilisé à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction de la présence ou de l'absence de la culture de cèdres à haie.

3.2.4 Les incitatifs financiers à la culture des noyers

La figure 5 fait état des VAN obtenues pour les modèles « culture intercalaire » et « plantation pure de noyers » suite aux simulations qui ont intégré une subvention correspondant à 80 % du coût réel de chaque intervention liée à l'établissement ou à l'entretien des noyers.

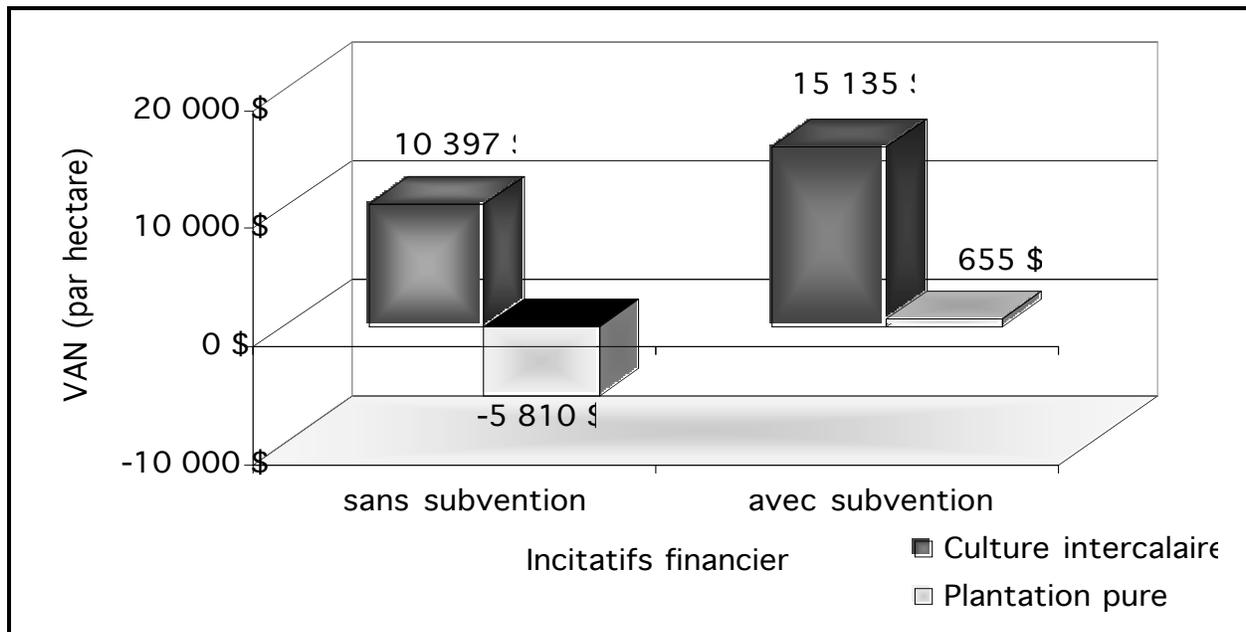


Figure 6. Analyse de sensibilité de la valeur actuelle nette (VAN) par hectare ($i = 6\%$) des modèles « culture intercalaire » et « plantation pure de noyers » utilisés à la Pépinière St-Nicolas selon un horizon d'analyse de 65 ans en fonction des incitatifs financiers à la culture des noyers noirs.

On remarque l'effet très significatif de l'ajout des subventions sur la VAN des deux modèles. Les subventions permettent en effet une augmentation de 46 % de la VAN du modèle « culture intercalaire » et permet au modèle « plantation pure de noyers » de franchir le cap de la rentabilité économique, sa VAN passant de - 5 810 à 655 \$. Dans les deux cas, les coûts initiaux importants sont absorbés par les incitatifs financiers, ce qui rend l'investissement beaucoup plus attrayant. Les incitatifs financiers ne permettent cependant pas d'amenuiser l'écart entre les deux modalités de culture : la culture intercalaire demeure beaucoup plus intéressante d'un point de vue économique que la plantation pure de noyers. L'apport des incitatifs financiers permet en outre de réduire considérablement l'écart entre les VAN des modèles « culture pure de sapins » (19 728 \$) et « culture intercalaire » (15 135 \$).

4. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif de comparer, par le biais de simulations économiques, les VAN obtenues pour trois systèmes concrets mis en place au sein de la PSN : 1) plantation pure de noyers noirs ; 2) plantation pure de sapins de Noël ; et 3) association de noyers noirs, de sapins de Noël et de cèdres à haie. En raison des revenus générés à court et moyen terme par la récolte des cèdres et des sapins, la VAN du modèle « culture intercalaire » surpasse de loin celle du modèle « plantation pure de noyers ». L'apport de revenus supplémentaires dans le modèle « culture intercalaire » serait toutefois nécessaire pour que sa VAN s'élève à un niveau comparable à celle du modèle « plantation pure de sapins », qui présente l'avantage de fournir des revenus soutenus dans le temps. Par exemple, l'ajout d'une exploitation de noix de noyers et/ou d'une culture de plantes herbacées tolérantes à l'ombre, dans le modèle « culture intercalaire », pourrait permettre de bonifier sa VAN. Cela dit, la simple valeur patrimoniale ou esthétique du noyer peut rendre le modèle « culture intercalaire » tout aussi attractif que le modèle « culture pure de sapins ». Nous reviendrons sur cet aspect au chapitre 3.

L'analyse de sensibilité a permis de nuancer les VAN obtenues pour les trois modèles de base. Elle a mis en lumière qu'un taux d'actualisation élevé défavorise les investissements à long terme et, à l'inverse, qu'un faible taux d'intérêt a pour effet d'augmenter les revenus escomptés, à long terme, de la récolte du bois. En outre, l'analyse de sensibilité a souligné l'importance d'optimiser la production de bois, en volume et en qualité, et d'utiliser tout l'espace cultivable d'une parcelle agroforestière. Enfin, les VAN obtenues lors de l'ajout d'incitatifs financiers laissent entrevoir des opportunités intéressantes pour l'avenir dans la mesure, évidemment, où ces incitatifs sont disponibles pour le producteur intéressé par la culture intercalaire, ce qui n'a pas été le cas pour la PSN. Les incitatifs financiers, peu importe leur provenance, devraient ainsi permettre de reconnaître les externalités positives de l'arbre, tant au plan économique (production de bois), social (embellissement des campagnes) qu'environnemental (séquestration du carbone, atténuation de la pollution de l'eau, augmentation de la biodiversité, etc.).

Chapitre 3

Le profil des propriétaires de plantations de feuillus nobles et leur perception de la culture intercalaire, dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec

1. Introduction

La connaissance du profil, des besoins, des valeurs et des connaissances des propriétaires de plantations de feuillus nobles est fondamentale. Ils sont en effet les premiers acteurs concernés par cette pratique. Maintenant que les systèmes de plantation et leurs modes de régie ont été largement décortiqués pour le contexte du Québec, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour intégrer les dimensions humaines aux considérations biophysiques, de façon à mieux saisir la réalité socio-économique que vivent les propriétaires de plantations de feuillus nobles.

Alors qu'un certain nombre d'enquêtes a été réalisé pour décrire les pratiques forestières des propriétaires forestiers de diverses régions du Québec (*e.g.* AFBF 1999 ; Réseau Circum et DDMA 1999 ; Nadeau 2001), à notre connaissance, aucune d'entre elles ne s'est attardée à l'analyse détaillée du thème de la plantation des feuillus nobles. Qui sont les propriétaires qui plantent des feuillus nobles ? Quelles techniques utilisent-ils ? Qu'est-ce qui les motive à planter des feuillus ? Quelles sont les contraintes auxquelles ils font face ? Ont-ils enregistré de bons taux de réussite ? Pensent-ils qu'il est rentable de planter des feuillus ? Ont-ils déjà envisagé l'utilisation de pratiques agroforestières telles que la culture intercalaire pour valoriser leur exploitation ? Voilà autant de questions qui

méritent d'être approfondies et sur lesquelles nous nous sommes penchés dans le cadre de la présente étude.

Comme nous étions loin de posséder les ressources nécessaires pour enquêter sur l'ensemble de la province, nous nous sommes uniquement attardés à l'étude des propriétaires forestiers de la région de Chaudière-Appalaches. Le choix de cette région est tout indiqué car, de toutes les régions du Québec, c'est celle qui comporte la superficie la plus importante en forêts privées. Les 13 649 km² de forêts privées qui couvrent la région de Chaudière-Appalaches représentent 88 % de sa superficie forestière totale. Malgré son fort potentiel pour la plantation de feuillus nobles, il ne s'y est planté que 62 000 plants de feuillus (incluant les peupliers hybrides) au cours de l'année 2000, contre 6 263 900 plants de résineux (Parent et Fortin 2003). Cette problématique s'apparente largement à celle décrite précédemment pour l'ensemble du Québec. Ainsi, sans vouloir généraliser l'entièreté des résultats de notre étude, nous sommes d'avis que certaines des conclusions tirées du cas de la région de Chaudière-Appalaches pourront être extrapolées à l'ensemble du Québec.

Notre enquête avait pour objectif de dresser un portrait des propriétaires de plantations de feuillus nobles dans la région de Chaudière-Appalaches. Les différents sujets abordés dans le questionnaire qui a été soumis aux répondants concernent quatre volets : le profil des propriétaires et de leur exploitation ; l'itinéraire technique des plantations ; les motivations des propriétaires à planter des feuillus nobles et les contraintes auxquelles ils font face ; et leur perception de la culture intercalaire.

L'ensemble des résultats de l'enquête permettra de confirmer ou d'infirmer les hypothèses suivantes : 1) les propriétaires de plantations de feuillus nobles représentent un groupe vieillissant, à niveau d'éducation élevé et dont les moyens financiers sont supérieurs à la moyenne ; 2) la plantation de feuillus est pratiquée sur de petites superficies par la majorité des propriétaires, car elle commande des investissements de temps et d'argent importants en raison des pratiques sylvicoles particulières qu'elle requiert ; 3) les motivations des propriétaires à planter des feuillus ne sont pas d'ordre économique, mais idéologique et liées à la valorisation personnelle ; et 4) la culture intercalaire est une pratique agroforestière inutilisée car elle est peu connue des propriétaires, mais suscite l'intérêt de la majorité d'entre eux.

2. Méthodologie

2.1 Les limites de l'analyse

Une enquête quantitative structurée de type exploratoire a été menée afin de tester les hypothèses de cette étude. Comme l'échantillon est de taille limitée et que les personnes interrogées n'ont pas été choisies totalement au hasard, les conclusions de l'enquête doivent être interprétées avec circonspection. Le lecteur se doit de considérer les résultats sous l'angle de tendances plutôt que de faits rigoureusement démontrés et possédant une valeur significative quantifiable.

2.2 La sélection de l'échantillon et les modalités de contacts avec les répondants

Il a été impossible de connaître le nombre exact de propriétaires de plantations de feuillus nobles dans la région de Chaudière-Appalaches, notamment, en raison du caractère marginal de cette pratique. On estime cependant qu'ils sont moins de 100 à exercer cette activité sylvicole (Loiselle comm. pers. 2004). De ce nombre, nous avons considéré uniquement, pour la constitution de l'échantillon, les propriétaires qui ont connu de bons taux de réussite dans leurs essais respectifs. Par conséquent, les propriétaires qui ont échoué ont été éliminés de cette étude. Il faut bien comprendre cependant que le point de vue des propriétaires qui ont éprouvé des succès significatifs n'est pas dénué d'intérêt en ce qui a trait aux contraintes à l'adoption de la culture intercalaire au Québec. Nous nous sommes attardés à l'avis des « meilleurs » et des plus « engagés » car notre but est de mettre en perspective l'ensemble des conditions qu'il faut réunir pour obtenir le succès attendu dans la plantation de feuillus. Dans le même ordre d'idée, nous croyons que ce groupe de propriétaires devrait offrir une opinion plus éclairée et élaborée sur la culture intercalaire.

L'échantillon n'a pas été, dans ce contexte, tiré de façon aléatoire. Les 10 propriétaires forestiers interrogés ont été sélectionnés au moyen d'une approche « boule de neige ». Le principe de cette approche consiste à rajouter des répondants à l'échantillon sur la base de contacts communiqués par les premiers individus interrogés. Les deux premiers répondants ont été recommandés par l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière. Avant de procéder à l'enquête proprement dite, les propriétaires ont été

contactés une première fois par téléphone pour confirmer leur participation et prendre rendez-vous pour l'entrevue. Tous les répondants abordés ont accepté de se livrer à l'enquête et à l'ensemble de ses questions. La durée de chacune des entrevues, réalisées par l'entremise d'un entretien téléphonique, s'est située entre 30 et 60 minutes. Les 10 entrevues ont été réalisées entre le 15 janvier et le 15 février 2004. Chacun des répondants a été interrogé à l'aide d'un questionnaire (annexe D) comportant 24 questions fermées. Cependant, tous les commentaires et réactions des répondants, concernant l'une ou l'autre de ces questions, ont été notés. Le questionnaire comportait également une question ouverte (dernière question du questionnaire) concernant la perception qu'ont les propriétaires de la culture intercalaire. Afin que tous les répondants puissent donner un avis éclairé sur cette pratique, l'enquêteur a d'abord présenté brièvement le concept de la culture intercalaire en décrivant ses principaux enjeux (annexe E). Toutes les entrevues ont été conduites par le même enquêteur.

3. Résultats et Discussion

3.1 Le profil des propriétaires de plantations de feuillus nobles

Cette section traite des caractéristiques générales des propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches. Les résultats obtenus sont détaillés au tableau 9.

De prime abord, nous constatons, sans grande surprise, que le groupe des propriétaires est foncièrement masculin : 100 % des répondants sont des hommes. Toutefois, 30 % d'entre eux nous ont confirmé être co-propriétaires avec leur conjointe. Les propriétaires interrogés sont plutôt âgés. Seulement 10 % ont moins de 40 ans, alors que 40 % sont âgés entre 51 et 60 ans. Une proportion importante des personnes interrogées, soit 30 %, a plus de 70 ans, un pourcentage beaucoup plus grand que dans la population en général.

Tableau 9. Caractéristiques générales des propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).

Caractéristiques		Proportion des propriétaires	Caractéristiques		Proportion des propriétaires
Sexe	Hommes	100 %	Profession	Secteur agricole	10 %
	Femmes	nul		Secteur des services	30 %
Âge	40 ans et moins	10 %		Secteur des affaires	30 %
	41-50 ans	10 %		Fonctionnaires	30 %
	51-60 ans	40 %	Niveau de revenu annuel ¹	Moins de 40 000 \$	10 %
	61-70 ans	10 %		40 000 à 90 000 \$	40 %
	71 ans et plus	30 %		Plus de 90 000 \$	50 %
Scolarité	Primaire	nul	Superficie de la propriété	10 - 30 ha	40 %
	Secondaire	20 %		31 - 60 ha	40 %
	Post-secondaire	20 %		61 - 200 ha	10 %
	Universitaire	60 %		Plus de 200 ha	10 %

1. Revenu du répondant avant impôt

En ce qui a trait à la scolarité des propriétaires, notons qu'elle est importante. En effet, 60 % détiennent un diplôme de niveau universitaire, alors que 20 % seulement n'ont pas dépassé le niveau d'éducation secondaire. Ils sont majoritairement fonctionnaires ou reliés au secteur des affaires (60 % des répondants) et nous ont confié, pour la plupart d'entre eux, être des ingénieurs. Fait surprenant, la relation entre la pratique de la plantation de feuillus et le secteur de l'agriculture est presque nulle : seulement 10 % des gens interrogés gagnent leur vie de l'agriculture. Cependant, plusieurs propriétaires s'adonnent à diverses activités agricoles sur leur exploitation de façon à en tirer un revenu d'appoint (des détails supplémentaires à ce sujet sont donnés à la section suivante).

Le niveau de scolarité élevé des propriétaires interrogés détermine logiquement leur niveau de revenu annuel qui, de toute évidence, est supérieur à la moyenne. En effet, 90 % disent gagner plus de 40 000 \$ annuellement. Or, des enquêtes réalisées dans les régions de Lanaudière, des Laurentides et de la Montérégie ont mis en évidence que la majorité des propriétaires forestiers (la plupart ne plantent pas de feuillus nobles) dans chacune de ces trois régions ont un revenu familial de moins de 40 000 \$ (Nadeau 2001). Cela contraste avec les résultats de notre enquête, où un individu interrogé sur deux présente un revenu annuel de plus de 90 000 \$. Force est d'admettre, à la lumière de ce résultat pour le moins convaincant, que les propriétaires de plantations de feuillus nobles interrogés sont des gens bien nantis.

Quant à la superficie que possèdent les propriétaires, elle varie passablement. Il faut préciser ici qu'il s'agit de la superficie totale possédée par les répondants et non pas uniquement de la superficie occupée par les plantations.

3.2 L'itinéraire technique des plantations

Dans la plupart des cas, les parcelles sur lesquelles ont été plantés les feuillus nobles sont issues de friches herbacées ou arbustives. Seulement 20 % des répondants disent avoir exploité des parcelles agricoles. Il faut comprendre que les parcelles zonées « agricoles » ne sont pas assujetties au programme d'aide à la mise en valeur de la forêt privée, ce qui les exclut de toute subvention pour la plantation feuillue. Par ailleurs, la plantation forestière, à l'opposé du système de cultures intercalaires, ne permet pas de maintenir les potentialités agricoles d'une terre (Dupraz et Newman 1997). En comparaison des faibles densités (100 à 300 plants/ha) retrouvées dans les systèmes de cultures intercalaires, la densité initiale de plantation utilisée par les propriétaires interrogés, soit d'environ 1 400 plants/ha (en milieu ouvert) en moyenne, empêche en effet la tenue d'activités agricoles. Par ailleurs, 30 % des répondants ont fait l'essai de planter des feuillus à l'intérieur de peuplements forestiers dégradés. Même s'ils accordent une plus grande importance à la plantation en milieu ouvert, ces répondants se disent satisfaits des résultats de cette pratique.

La superficie totale occupée par les plantations feuillues, au sein d'une même propriété, est inférieure à 5 ha dans 60 % des cas. Considérant que les aires occupées par les plantations de feuillus ont été plantées sur plusieurs années chez la majorité des répondants, nous sommes d'avis (sans disposer encore d'études élaborées) que cette surface demeure minime par rapport à celle utilisée normalement pour le reboisement en essences résineuses. À titre comparatif, en 2000, 2 847 ha ont été reboisés en essences résineuses sur les terres privées de la région de Chaudière-Appalaches, contre 41 ha en essences feuillues (Parent et Fortin 2003). Seulement 20 % des propriétaires interrogés disent posséder plus de 15 ha de terrain en plantations de feuillus nobles.

La plantation de feuillus nobles au Québec est une pratique forestière récente qui n'a pris son envol qu'au début des années 90 (Dumont 1997). Il n'est donc pas surprenant de constater que 90 % des propriétaires de notre échantillon ont commencé à planter des feuillus sur leur exploitation après l'année 1991.

Bien que la plantation feuillue soit pratiquée sur de petites superficies, elle fait généralement appel à une diversité importante d'espèces qui répondent, entre autres, aux

conditions édaphiques particulières retrouvées au sein de chaque exploitation. Au total, 16 espèces d'arbres feuillus à bois noble sont utilisées parmi les 10 propriétaires interrogés (tableau 10). Si la plupart de ces espèces sont indigènes au Québec, un nombre non négligeable d'entre elles sont « exotiques » (*i.e.* chêne des marais, chêne pédonculé, chêne sessile et noyer noir). Tous les répondants disent avoir planté au moins deux espèces sur leur propriété. Quatre ont fait l'essai de plus de dix espèces différentes de façon à comparer entre elles, notamment, leurs performances en plantation. Ce phénomène met en évidence l'intérêt marqué d'un nombre important de propriétaires à déterminer, empiriquement, les espèces les plus appropriées aux conditions qui prévalent sur leur site. D'un point de vue global (vitesse de croissance, qualité et valeur économique du bois, qualité paysagère, souplesse pour l'aménagement, usage multiple de l'arbre et facilité d'entretien), le chêne rouge, le noyer noir, l'érable à sucre et le cerisier tardif sont, dans l'ordre, les espèces les plus appréciées par les propriétaires interrogés. Voilà une opinion qui, bien qu'elle repose sur un échantillon limité, mériterait d'être considérée dans le cas d'un éventuel développement de la culture intercalaire au Québec.

Tableau 10. Espèces d'arbres feuillus à bois noble utilisées par les propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).

Nom vernaculaire	Nom latin	Nom vernaculaire	Nom latin
Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i>	Chêne rouge	<i>Quercus rubra</i>
Bouleau à papier	<i>Betula papyrifera</i>	Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>
Caryer ovale	<i>Carya ovata</i>	Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i>
Cerisier tardif	<i>Prunus serotina</i>	Frêne d'Amérique	<i>Fraxinus americana</i>
Chêne à gros fruits	<i>Quercus macrocarpa</i>	Frêne de Pennsylvanie	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	Noyer cendré	<i>Juglans cinera</i>
Chêne des marais	<i>Quercus palustris</i>	Noyer noir	<i>Juglans nigra</i>
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>	Tilleul d'Amérique	<i>Tilia americana</i>

Bien que la culture des arbres feuillus à bois noble soit récente au Québec, il n'en demeure pas moins que les règles d'or pour sa réussite sont bien connues (Dumont 1995).

Cependant, comme plusieurs répondants nous l'ont rapporté, il existe un écart important entre les aspects techniques décrits dans les manuels et ceux acquis au travers de la réalité du terrain. Au-delà des recommandations des spécialistes, quels travaux les praticiens réalisent-ils ? Les commentaires et les résultats de l'enquête démontrent que les techniques et les outils utilisés varient grandement d'un propriétaire à l'autre. Chacun semble avoir développé sa propre méthode de travail par essais et erreurs. Cependant, il se dégage un consensus pour l'ensemble des propriétaires : la liste des travaux à accomplir est étendue. Dans 80 % des cas, cela consiste, pour le moins, à l'élaboration des travaux suivants : construction de chemins, préparation du terrain (*e.g.* broyage forestier, essouchement, labour, hersage, passage d'un rotoculteur forestier), drainage, remplacement des arbres morts, protection des arbres contre les rongeurs, élimination de la végétation concurrente au pied des arbres (*e.g.* paillage, application d'herbicides, dégagement mécanique), fauchage des herbacées dans les allées, taille de formation et élagage. De plus, plusieurs propriétaires (50 % des répondants) disent avoir déjà fait la reproduction de semis à partir de semences qu'ils ont eux-mêmes sélectionnées (*e.g.* glands, samares, noix de noyer) pour combler en partie ou en totalité leurs besoins en plants de reboisement. L'un d'entre eux nous a même confié avoir fait lui-même l'analyse biochimique de la sève contenue dans plusieurs érables sélectionnés de façon à choisir les semences de ceux qui présentaient les plus hautes teneur en sucre. Parmi les autres travaux énumérés par les répondants, citons en exemple : le tuteurage, le recépage, l'engazonnement des allées, l'éclaircie de plantation, la fertilisation, la transplantation, l'utilisation de brise-vent et le gainage des arbres feuillus avec des espèces arbustives (photo 9) ou résineuses (photo 10) de manière à favoriser l'élongation en hauteur du tronc. La prise en compte de toutes ces opérations qu'il faut effectuer avant et après la plantation des arbres feuillus démontre l'ampleur de l'investissement en temps et en argent qu'un propriétaire doit déployer pour la poursuite de cette entreprise.

Afin d'avoir une indication sur le niveau de réussite globale de leur projets respectifs, nous avons demandé aux propriétaires d'évaluer le taux de survie de l'ensemble des feuillus nobles qu'ils ont plantés sur leur propriété. Chez huit propriétaires sur dix, ce taux est supérieur à 80 %, alors que seulement 20 % l'évaluent entre 60 et 80 %, un taux qui demeure néanmoins très appréciable. Il ne faut pas croire cependant que tous les propriétaires de plantations de feuillus du Québec ont obtenu d'aussi bons résultats que les dix répondants que nous avons interrogés. Au contraire, le taux de succès est bas au



Photo 9. Système de plantation associant noyer noir et vioerne trilobée (*Viburnum trilobum*) dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec (photo : D. Rivest).



Photo 10. Système de plantation associant chêne rouge et sapin baumier dans la région de Chaudière-Appalaches, au Québec (photo : D. Rivest).

Québec : nous l'estimons à moins de 50 % (A. Rainville comm. pers. 2002), sans doute en raison du fait que certaines règles techniques exposées précédemment ne sont pas toujours respectées.

En dehors des activités reliées à la plantation de feuillus, nous avons demandé aux répondants s'ils s'adonnaient à la plantation d'arbres résineux ou à des activités agricoles. La moitié des propriétaires possèdent des plantations résineuses alors que 70 % disent que des activités agricoles ont déjà été réalisées sur leur propriété (terres en location dans certains cas). Les productions agricoles suivantes ont été citées par les répondants : culture fourragère, culture en serre, culture en pépinière, culture de sapins de Noël, culture de framboises, viticulture, production acéricole et culture céréalière. Ces résultats mettent en évidence que les répondants ne se limitent pas uniquement à la plantation de feuillus. Au contraire, ils sont ouverts à un large éventail d'activités de production.

3.3 Pourquoi les propriétaires interrogés plantent-ils des arbres feuillus ?

L'enquête suggérait une liste de motifs pouvant expliquer l'intérêt des répondants à planter des feuillus nobles. La figure 7 intègre les résultats obtenus à cet effet. La fréquence avec laquelle un motif était invoqué varie selon les motifs, ce qui nous a permis de les classer en quatre groupes. Un premier groupe, qui fait l'unanimité des propriétaires, concerne la valorisation du paysage de la propriété : tous les répondants ont affirmé planter des feuillus pour embellir leur terre. Le second groupe de motifs, lié à la valorisation personnelle, réunit 70 à 90 % des propriétaires. On y retrouve création d'un héritage, projet de retraite et divertissement et loisir. Les résultats obtenus pour ces deux groupes de motifs sont intéressants car ils mettent en perspective ceux obtenus dans le cadre de l'étude économique du chapitre 2. Bien que la valeur économique de la culture intercalaire puisse parfois apparaître inférieure à celle de l'assolement agricole, comme cela a été mis en lumière dans le chapitre précédent, il n'en reste pas moins qu'un motif comme la formation d'un patrimoine peut accroître, aux yeux d'un propriétaire, la valeur de la culture intercalaire, et même la rendre tout aussi sinon plus intéressante que l'agriculture conventionnelle. Les résultats de Mary *et al.* (1999) appuient cette idée ; les planteurs de noyers (*Juglans regia*) du Dauphiné (France) qui se tournent vers une production à double-fin (bois et noix), plutôt que vers la simple production de noix en verger, le font notamment pour répondre à des objectifs de long terme comme la constitution d'un patrimoine à léguer ou encore l'intérêt culturel ou esthétique pour l'arbre de haute taille. Lawrence *et al.* (1992),

qui ont menés des enquêtes auprès des exploitants agricoles de l'état de Washington (Etats-Unis), indiquent également que ce sont des arguments d'ordre esthétique (paysage) qui sont présentés comme le motif majeur pour introduire des parcelles agroforestières dans les exploitations, alors que le motif économique est secondaire.

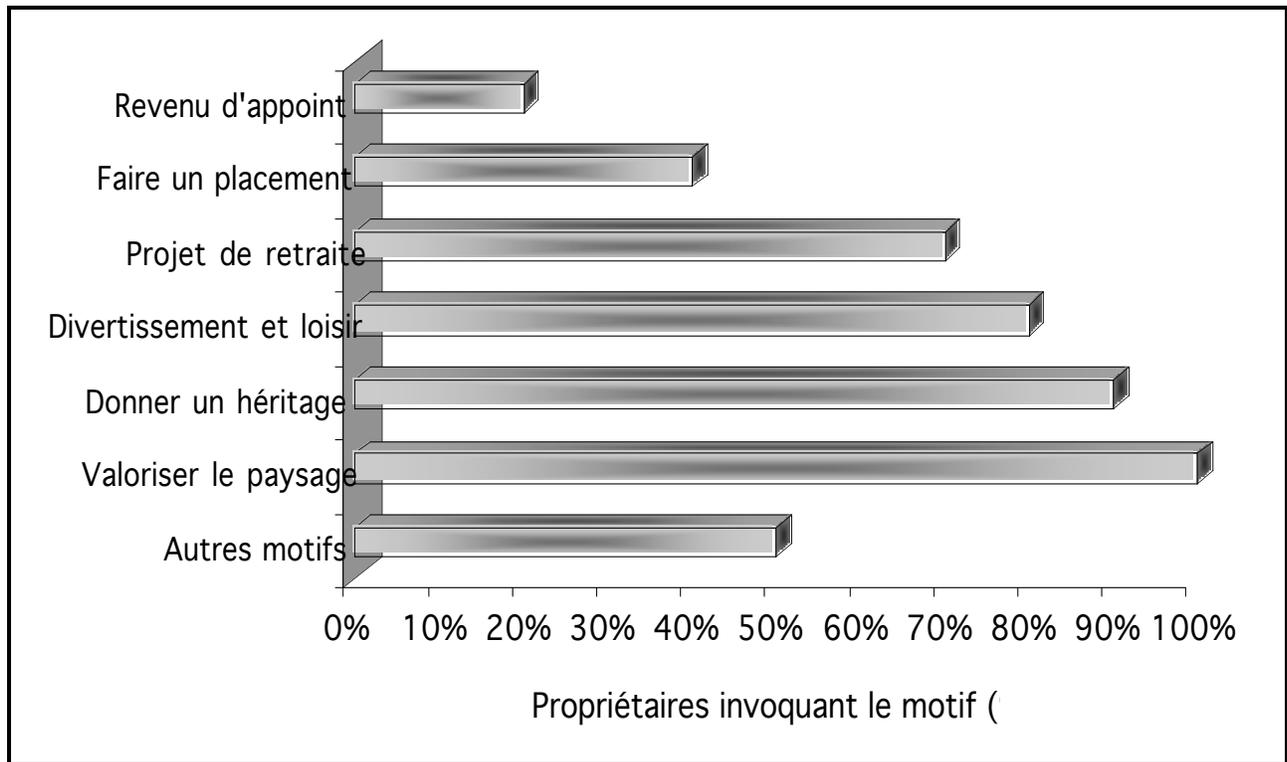


Figure 7. Motifs invoqués par les propriétaires de plantations de feuillus nobles de Chaudière-Appalaches interrogés pour expliquer leur décision de planter des feuillus nobles (n = 10).

Le troisième groupe de motifs, d'ordre économique, concerne une minorité de propriétaires. Seulement 20 à 40 % des propriétaires, en effet, disent planter des feuillus nobles pour générer un revenu d'appoint ou pour faire un placement. Ce groupe de répondants nous a par ailleurs confié que les revenus escomptés n'étaient pas liés à la production de bois, mais plutôt à celle de produits forestiers non-ligneux (e.g. noix et sirop d'érable).

Finalement, le dernier groupe englobe tous les autres motifs des propriétaires. Parmi ceux qui ont été soulevés, soulignons notamment : le défi personnel, le plaisir de posséder une plantation de feuillus, le maintien de la forme physique, le développement de nouveaux marchés (e.g. bois de tonnellerie) et la passion pour l'innovation.

3.4 Les contraintes limitant la réalisation et l'entretien des plantations feuillues

Le questionnaire proposait aux répondants de se prononcer sur une liste de facteurs limitant la plantation des feuillus nobles sur leur propriété. Parmi tous les volets abordés par l'enquête, celui-ci, qui concerne les contraintes liées à la réalisation et au suivi des projets de plantation, est celui qui a suscité le plus d'émotions. De prime abord, pour 60 % des propriétaires interrogés, le faible niveau de connaissances scientifiques représente un facteur qui les a limités dans leur tentative de planter des feuillus nobles (figure 8). Certains se sont plaints du manque d'adéquation entre la recherche scientifique et la réalité du terrain. « J'ai fait beaucoup d'erreurs lors de mes premiers essais et j'ai été forcé de développer mes propres approches, d'apprendre par moi-même » a commenté l'un d'entre eux. Le portrait est similaire (50 % des répondants) quant au manque de conseils techniques. Ce groupe de propriétaires dit avoir bénéficié d'un encadrement technique pour le moins limité. « En plus d'avoir eu de la difficulté à convaincre tous les intervenants, j'ai reçu de très mauvais conseils de la part de mon conseiller forestier... il n'y connaît rien », nous a confié un répondant.

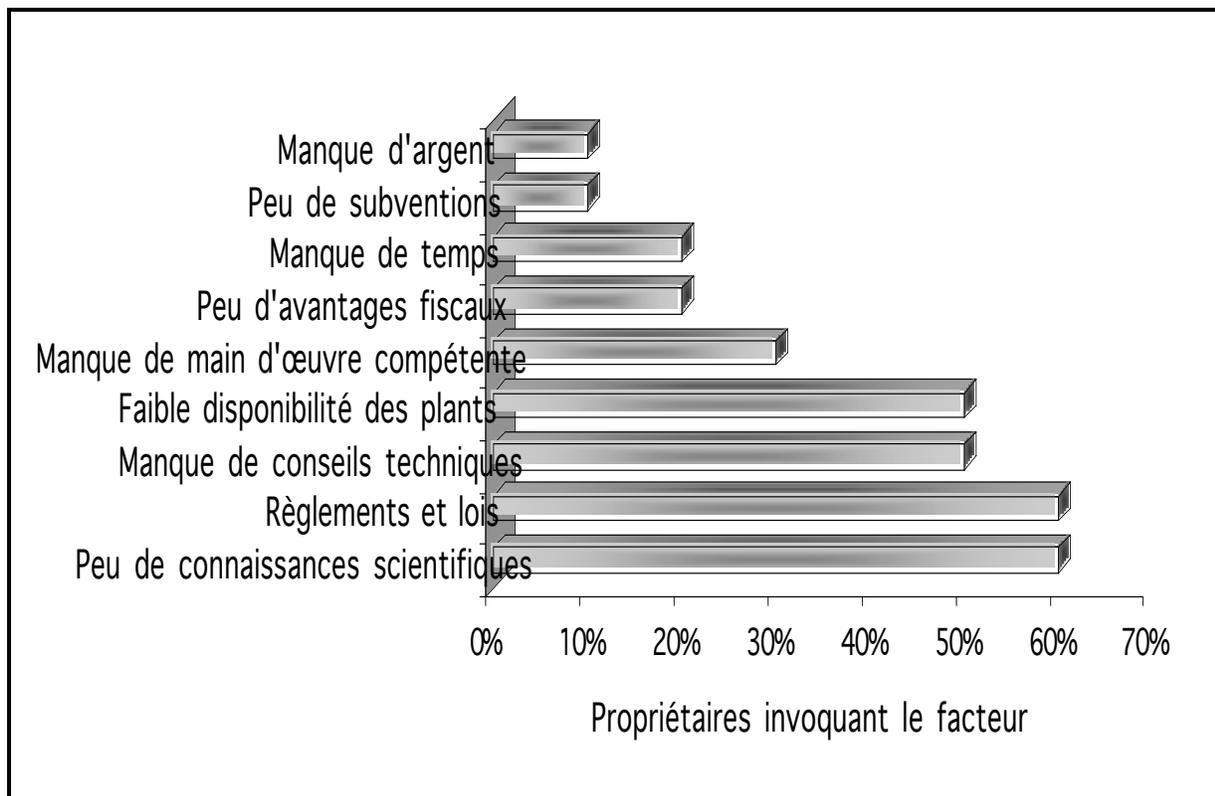


Figure 8. Facteurs limitant la réalisation et le suivi d'une plantation de feuillus nobles selon les propriétaires de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).

La rigidité des règlements municipaux et des lois sont également deux éléments de litige qui demeurent excessivement contraignants pour une majorité de propriétaires (60 % des répondants). C'est particulièrement l'aspect du zonage des terres qui éveille le plus de frustrations chez les répondants. Plusieurs disent s'être battus longuement pour faire changer le zonage de certaines parcelles agricoles laissées à l'abandon, parfois depuis plus de 15 ans ! Le problème, c'est qu'un propriétaire ne peut avoir recours aux subventions forestières (e.g. gratuité des plants) si le terrain sur lequel il désire reboiser est zoné « agricole ». *A priori*, un tel contexte ne semble pas favorable à un éventuel développement de la culture intercalaire au Québec. En France, les réglementations existantes ont également été reconnues comme constituant un frein important à l'adoption de l'agroforesterie (Dupraz 1994b). Toutefois, la réglementation a été révisée récemment et les pratiques agroforestières sont dorénavant reconnues (SAFE 2004). Cela signifie par exemple que les propriétaires désirant recourir à la culture intercalaire peuvent bénéficier d'aides pour la plantation des arbres, tandis que les agriculteurs peuvent profiter des aides habituelles dévolues aux grandes cultures, proportionnellement à la surface semée.

Bien que nous notions une implication importante des propriétaires dans la réalisation des travaux sur leur propriété, 30 % d'entre eux ont eu de la difficulté à recruter une main d'œuvre compétente et qualifiée. Or, la plantation de feuillus exige des soins particuliers, qui nécessitent des employés habilités et bien formés.

Par ailleurs, 20 % des propriétaires réclament des considérations fiscales davantage appropriées à la plantation de feuillus. Selon eux, le système d'avantages fiscaux devrait permettre de stimuler et de rentabiliser la plantation de feuillus. « Les propriétaires privés devraient pouvoir déduire de leurs revenus annuels toutes les dépenses reliées à leur projet de plantation », nous a relaté un répondant.

De tous les facteurs limitants, le temps et l'argent sont les moins rapportés par les propriétaires. Cela confirme que la plupart d'entre eux s'investissent beaucoup personnellement, mettant en œuvre tous les efforts soutenus que la plantation de feuillus nécessite. L'âge et les revenus élevés des répondants expliquent en grande partie la raison pour laquelle ils sont aussi engagés et prêts à déployer toutes les ressources nécessaires pour la poursuite de leurs projets respectifs de plantation.

Bien que les aspects financiers ne semblent pas représenter un élément significatif de motivation ou de contrainte à la plantation des feuillus, il n'en demeure pas moins que 100 % des répondants pensent que sa rentabilité est envisageable au Québec, bien que seulement à très long terme. Si cette idée fait l'unanimité des répondants, certains nous ont confié par contre que la rentabilité requiert que tous les intervenants (l'industrie du bois, l'État, les propriétaires privés, les agents de développement, les chercheurs, les organismes de gestion de la forêt privée) s'allient autour d'une vision commune.

3.5 La perception de la culture intercalaire par les propriétaires de plantations de feuillus

Avant de recueillir l'opinion des propriétaires sur la culture intercalaire, nous avons jugé important de savoir s'ils avaient déjà entendu parler du concept de l'agroforesterie. Pour guider les personnes interrogées, nous avons cité quelques exemples de pratiques agroforestières retrouvées au Québec, telles que les brise-vent, les bandes riveraines et la culture en sous-bois de plantes herbacées commerciales. Un nombre important de répondants (80 %) a répondu avoir pour le moins déjà entendu parler de l'agroforesterie ou de l'une ou l'autre des pratiques agroforestières citées. La plupart se disent plus familiers avec la pratique des brise-vent. Certains répondants en font même usage sur leur exploitation.

Si l'agroforesterie est un terme reconnu par la majorité des propriétaires, il n'en est pas de même pour celui de la culture intercalaire (tableau 11). La moitié des répondants ne connaît pas du tout cette pratique. Un groupe non négligeable (40 % des répondants) dit en avoir entendu parler sans toutefois en connaître les principales caractéristiques. Un répondant parmi les dix interrogés affirme qu'il a fait l'essai de cette pratique sur sa propriété. Il nous a confié qu'il a associé, sur l'une de ses parcelles, des chênes et des noyers à des cultures intercalaires de plantes horticoles ornementales.

Tableau 11. Niveau de connaissance de la culture intercalaire des propriétaires de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (n = 10).

Réponse concernant le niveau de connaissance de la culture intercalaire	Distribution des propriétaires
Oui, j'ai fait l'essai de cette pratique sur ma propriété	10 %
Je connais bien cette pratique sans en avoir fait l'essai	aucun
Je connais un peu cette pratique	40 %
Je ne connais pas du tout cette pratique	50 %

Après avoir décrit, de façon aussi neutre que possible, les principaux enjeux de la culture intercalaire (notamment par la lecture d'un court paragraphe ; voir l'annexe E), nous avons demandé aux répondants s'ils seraient intéressés à faire l'essai de cette pratique sur leur exploitation. Nous constatons avec surprise que, malgré leur faible niveau de connaissances de cette pratique, 30 % des gens interrogés ont admis être intéressés à en faire l'essai. De plus, 50 % ont souligné qu'ils pourraient être intéressés à adopter cette pratique agroforestière, à condition d'en savoir davantage sur ses modalités. À l'opposé des propriétaires que nous avons interrogés, majoritairement forestiers, une enquête menée en Ontario a démontré que les agriculteurs y sont beaucoup moins enclins à adopter la culture intercalaire (Matthews *et al.* 1993). Dans notre étude, seulement 20 % des répondants ne sont pas du tout intéressés par cette pratique. Parmi les raisons qu'ils ont évoquées, soulignons les suivantes : « Je suis trop âgé pour me tourner vers une telle entreprise » ; « Cela me paraît un peu trop complexe » ; « Je ne suis pas prêt pour un tel changement alors que j'ai mis des années à développer les techniques que j'utilise aujourd'hui » ; « Mon plaisir, c'est les arbres ».

Nous avons également recueilli l'avis et les perceptions de chacun sur la culture intercalaire. Des commentaires positifs apportés par les répondants, soulignons les suivants : le principe est intéressant d'un point de vue économique car il permet de rentabiliser le reboisement ; cela pourrait mener à des ententes avec des agriculteurs intéressés à louer les bandes intercalaires ; cela pourrait permettre de donner une « plus-value » au terrain ; il s'agit d'une alternative intéressante pour valoriser le lisier de porc ; la pratique pourrait être compatible avec certaines cultures maraîchères intensives, où l'on

emploi de petits équipements. En revanche, des commentaires négatifs sont aussi soulevés par les répondants : la pratique est incompatible avec certaines essences d'arbre qui requièrent de fortes densités initiales de plantation ; les arbres sont susceptibles d'être davantage exposés aux vents, ce qui pourrait diminuer la qualité de leur bois ; la pratique risque de gêner le passage de la machinerie, surtout celle utilisée pour les grandes cultures ; la culture intercalaire impose d'importants changements au plan technique ; les politiques forestières et de tenure des terres actuelles apparaissent peu compatibles avec la pratique ; elle exige l'utilisation de plants de très bonne qualité, voire même améliorés génétiquement.

4. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif de déterminer, par le biais d'une enquête, le profil des propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches, ainsi que leur perception concernant la culture intercalaire. Les résultats de l'enquête suggèrent que les propriétaires interrogés représentent un groupe vieillissant, à fort niveau d'éducation et dont les moyens financiers sont supérieurs à la moyenne. Comme ils sont généralement bien nantis et qu'ils ont du temps à consacrer à leurs projets respectifs de plantation, ils ont enregistré de bons taux de succès dans leurs divers essais de plantation, ce qui est loin d'être le cas pour l'ensemble des propriétaires de plantations de feuillus du Québec. Ces succès ont cependant été obtenus au prix d'investissements personnels et financiers importants. En effet, l'éventail des travaux à accomplir pour mener à bien une plantation de feuillus nobles est large, ce qui impose en outre que l'exploitant soit spécialisé, débrouillard et innovant.

Ce sont les arguments d'ordre esthétique (paysage) et de valorisation personnelle (formation d'un héritage et divertissement) qui ont été cités comme les motifs majeurs pour planter des feuillus nobles, alors que le motif économique est secondaire. Ce résultat est intéressant car il est complémentaire à ceux obtenus au chapitre 2. Bien que la valeur économique de la culture intercalaire puisse parfois apparaître inférieure à celle de l'assolement agricole, il n'en demeure pas moins qu'un motif tel que la valorisation du paysage peut rendre l'option de la culture intercalaire tout aussi attrayante que celle de l'agriculture conventionnelle.

Les répondants ont rapporté par ailleurs que l'aspect économique ne constitue pas une contrainte majeure à planter des feuillus, ce qui confirme qu'ils sont prêts à déployer tous les moyens requis pour obtenir le succès auquel ils s'attendent. Le manque de connaissances scientifiques, l'absence de transfert technologique et la rigidité des lois et règlements ont été identifiés comme les facteurs les plus contraignants. Selon les répondants, le zonage des terres et les programmes d'incitatifs financiers sont deux aspects qui mériteraient particulièrement d'être bonifiés.

La majorité des propriétaires interrogés sont familiers avec le concept d'agroforesterie. Toutefois, très peu d'entre eux connaissent et pratiquent la culture intercalaire. En dépit de ce résultat, il est surprenant de constater que cette pratique suscite néanmoins de l'intérêt chez une majorité de propriétaires, ce qui laisse entrevoir des perspectives positives pour le développement de la culture intercalaire au Québec. La plupart des répondants souhaiteraient toutefois en savoir davantage sur cette pratique agroforestière avant de s'y engager. Le problème est que, pour l'instant, très peu de spécialistes québécois sont habilités à répondre à cette requête.

Enfin, les propriétaires interrogés voient notamment en la culture intercalaire une opportunité de rentabiliser la plantation des feuillus, un argument de poids qui pourrait inciter un plus grand nombre de propriétaires à faire le même choix qu'eux : planter des feuillus à bois nobles.

Conclusion générale

Sur la base des statistiques de reboisement, force est d'admettre que la plantation des feuillus à bois noble au Québec tarde encore à se développer à son plein potentiel. Comme l'ont invoqué les propriétaires de la région de Chaudière-Appalaches interrogés dans cette étude (chapitre 3), l'itinéraire technique de la plantation des feuillus nobles nécessite que l'exploitant soit spécialisé. Cette activité à caractère marginal commande, de surcroît, des investissements importants en temps et en argent. On suppose ainsi, comme le suggèrent les résultats du chapitre 3, que la plantation des feuillus nobles est réservée à un nombre limité de propriétaires, généralement bien nantis et prêts à déployer tous les frais et efforts personnels qu'elle incombe.

Bien que cette pratique agroforestière ne fasse pas partie intégrante de la tradition sylvicole québécoise, elle représente dorénavant une solution tout indiquée aux problèmes posés par l'approvisionnement en bois de feuillus de qualité, ainsi qu'à la volonté de conserver certaines forêts naturelles. Afin d'encourager la plantation des feuillus, il apparaît essentiel aujourd'hui de revoir les modèles classiques de production, qui sont inspirés de ceux qui ont été conçus pour la plantation des résineux. Des modèles modernes, plus performants et pouvant répondre à certaines contraintes économiques qui freinent l'adoption de la plantation des feuillus devraient être proposés aux producteurs. Dans cet ordre d'idées, bien qu'elle ne soit pas une panacée, la culture intercalaire constitue un modèle qui mériterait qu'on lui accorde une attention particulière au Québec.

En Europe, aux États-Unis et en Ontario, notamment, de nombreux essais en stations expérimentales et chez les exploitants ont démontré l'intérêt d'un tel modèle qui peut s'avérer efficace, s'il est correctement conçu, tant en terme de production que de protection de l'environnement. En effet, comme nous l'avons exposé au chapitre 1, la complémentarité recherchée entre arbres et cultures associées dans les systèmes de cultures intercalaires peut se traduire par des gains sociaux, économiques et environnementaux significatifs. On ne peut douter de la durabilité d'un tel modèle de production qui, par ailleurs, présente l'avantage de maintenir les potentialités agricoles des espaces cultivables,

ce qui n'est pas le cas des modèles classiques de plantation. Au Québec, un tel atout devrait permettre de favoriser le maillage entre les forestiers et les agriculteurs. Cela pourrait être l'occasion d'apaiser certains conflits qui les opposent, notamment ceux qui concernent le zonage des terres.

Bien que la plupart des recherches sous climat tempéré se soient essentiellement attardées aux associations d'arbres et de grandes cultures (notamment les céréales), la culture intercalaire ne doit pas être perçue comme un système rigide, circonscrit à la combinaison d'un nombre limité d'espèces ligneuses et de cultures. Au contraire, l'étude du cas de la PSN, tel que présenté au chapitre 2, a permis de soulever l'exemple d'un modèle novateur, imaginé pour les fins d'une entreprise spécialisée dans le champ de l'horticulture ornementale. Nous avons notamment mis en évidence, par le biais d'une analyse économique, que le modèle de la culture intercalaire (association du noyer, du cèdre à haie et du sapin de Noël) génère une VAN supérieure à celle du modèle classique de plantation (plantation intégrale de noyers), en raison des revenus apportés à court et moyen terme par la récolte des cultures associées.

La culture intercalaire peut-elle toutefois intéresser un nombre suffisant de propriétaires-exploitants au Québec, au point qu'on lui accorde ses lettres de noblesse ? Pour leur part, les propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches interrogés (chapitre 3) se disent majoritairement intéressés à faire l'essai de cette pratique agroforestière sur leur propriété, à condition toutefois d'en savoir davantage sur ses modalités. Ils y voient l'occasion d'optimiser les espaces cultivables et de minimiser les coûts importants imposés par l'éducation des arbres feuillus, alors que leur rotation est parmi les plus longues. Comme l'échantillon de notre enquête était constitué essentiellement de propriétaires forestiers, on ne peut affirmer cependant que les propriétaires de terres agricoles seraient aussi enclins à adopter la pratique. Une enquête destinée exclusivement à des agriculteurs québécois permettrait certainement de mettre en lumière la perception qu'ils ont vis-à-vis de la culture intercalaire. Néanmoins, des enquêtes menées en France, chez des exploitants de grandes cultures, suggèrent, contre toute attente, que les commentaires à l'endroit de la culture intercalaire sont généralement positifs et que plusieurs agriculteurs y seraient prêts à en faire l'essai (C. Dupraz comm. pers. 2004).

Maintenant que nous avons largement débattu du thème de la culture intercalaire, nous pouvons donc répondre par l'affirmative à notre question de départ, à savoir : la culture intercalaire peut-elle dynamiser la plantation des arbres feuillus à bois noble au Québec ? Si la réponse à cette question ne fait plus aucun doute pour nous, il n'en est toutefois pas de même pour celle qui concerne la diffusion de la pratique. Ainsi, quelles voies devons-nous emprunter pour la promotion de la culture intercalaire au Québec ?

Par rapport à ses voisins (Ontario et États-Unis), le Québec accuse un important retard concernant la recherche et le développement de systèmes de cultures intercalaires. Il apparaît donc sensé que des parcelles expérimentales soient installées, à la fois en stations expérimentales et chez les exploitants. D'ailleurs, il semble que cette lacune pourra être corrigée sous peu puisqu'un projet issu d'un partenariat entre chercheurs en agriculture, en environnement et en foresterie a été lancé récemment. Ce projet vise à mettre au point des systèmes de cultures intercalaires intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux plantes agricoles (photos 11 et 12), de façon à doter le Québec d'un modèle agroforestier moderne dans le contexte de la recherche de systèmes de production durables et écoviabiles. L'objectif principal de ce projet est d'analyser les effets de la combinaison de cultures agricoles et d'arbres feuillus sur la qualité chimique, structurale et biologique du sol, ainsi que sur le rendement des cultures agricoles et la croissance des arbres. La réalisation de cette étude devrait permettre d'évaluer la faisabilité technique de la culture intercalaire en milieu québécois, de valider son intérêt au plan scientifique et d'intéresser divers producteurs et acteurs de la production agricole et forestière à son implantation. Par ailleurs, le modèle de production à l'étude (combinaison de feuillus nobles et de peupliers hybrides disposés en rangées alternées) est novateur en lui-même car il n'a pas encore fait l'objet d'études approfondies (Thevathasan et Gordon 2004).

Comme les systèmes de cultures intercalaires intégrant des arbres feuillus sont pratiquement méconnus des forestiers et des agriculteurs québécois, peu de décideurs politiques en ont entendu parler. Il est donc logique qu'aucun cadre réglementaire spécifique n'ait encore été alloué à la culture intercalaire. Or, un statut propre à la culture intercalaire, ouvert à la fois aux agriculteurs et aux producteurs forestiers, autoriserait le contrôle de son développement. Ce statut devrait permettre à tout producteur qui désire s'exécuter en « zone agricole » de pouvoir bénéficier des subventions forestières habituelles pour l'implantation et l'entretien des lignes d'arbres. De plus, étant donné que la culture intercalaire est une pratique durable et à fort potentiel de protection et d'embellissement de



Photo 11. Système de cultures intercalaires intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux cultures agricoles dans la région de la Mauricie, au Québec : semis de l'avoine le long d'un rang de peupliers hybrides (photo : D. Rivest).



Photo 12. Système de cultures intercalaires intégrant des feuillus nobles et des peupliers hybrides aux cultures agricoles dans la région de la Mauricie, au Québec : levée de l'avoine le long d'un rang de cerisiers tardifs (photo : D. Rivest).

l'environnement, il serait bienvenu que les propriétaires privés puissent déduire de leurs impôts annuels toutes les dépenses reliées à la plantation d'arbres. L'idée d'une prime au propriétaire pour fin de « séquestration du carbone » devrait également être considérée. Cette prime pourrait être calculée au prorata du nombre d'arbres plantés et en fonction du potentiel d'assimilation du carbone de l'espèce ligneuse utilisée.

Enfin, le développement maîtrisé des systèmes de cultures intercalaires au Québec devrait être facilité par la concertation des agronomes, des ingénieurs forestiers et des professionnels de l'environnement. Cela devrait être l'occasion de proposer des technologies qui répondent aux véritables besoins et valeurs exprimés par les agriculteurs et producteurs forestiers, avec le souci de respecter également ceux de la société en général.

Références

AFBF. 1999. Sondage auprès des propriétaires de boisés de la région centre-du-Québec. Agence forestière des Bois Francs. Site internet: <http://www.afbf.qc.ca/pdf/SondProp.pdf> (consulté le 12/02/04).

Akbulut S, Keten A et Stamps WT. 2003. Effect of alley cropping and arthropod diversity in Duzce, Turkey. *Journal of Agronomy and Crop Science* 189: 261-269.

Allen SC, Jose S, Nair PKR, Brecke BJ, Nkedi-Kizza P et Ramsey CL. 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.

Balandier P et Dupraz C. 1999. Growth of widely spaced trees. A case study from young agroforestry plantations in France. *Agroforestry Systems* 43: 151-167.

Baldy C, Dupraz C et Schilizzi S. 1993. Vers de nouvelles agroforesteries en climats tempérés et méditerranéens. I. Aspects agronomiques. *Cahiers Agricultures* 2: 375-386.

Balleux P et Van Lerberghe P. 2001. Le boisement des terres agricoles. Institut pour le développement forestier, Paris, France. 128 p.

Benjamin TJ, Hoover WL, Seifert JR et Gillespie AR. 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.

Boubaker AB. 1997. Agroforesterie et développement rural en région méditerranéenne. Dans: *L'agroforesterie pour un développement rural durable*. Comptes rendus de l'atelier international, 23-29 juin 1997, Montpellier, France. CIRAD-Forêts, Montpellier, France, pp. 21-24.

Bouchard A, Dyrda S, Bergeron Y et Meilleur A. 1989. The use of notary deeds to estimate the changes in the composition of 19th century forest, in Haut-Saint-Laurent, Québec. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1146-1150.

Bross EL, Gold MA et Nguyen PV. 1995. Quality and decomposition of black locust (*Robinia pseudoacacia*) and alfalfa (*Medicago sativa*) mulch for temperate alley cropping systems. *Agroforestry Systems* 29: 255-264.

Cabanettes A, Auclair D et Imam W. 1999. Diameter and height growth curves for widely-spaced trees in European agroforestry. *Agroforestry Systems* 43: 169-182.

Campbell GE, Lottes GJ et Dawson JO. 1991. Design and development of agroforestry systems for Illinois, USA: silvicultural and economic considerations. *Agroforestry Systems* 13: 203-224.

Castonguay A et Musnier A. 1979. Rentabilité des reboisements au Québec. III – Plantations de noyers noirs. Ministère des terres et forêts, Service de la Recherche, Québec, Canada. Mémoire n° 51. 74 p.

Chiffлот V, Bertoni G, Gavaland A, Cabanettes A et Dupraz C. 2004. Improving growth and nutritional status of highly valuable broadleaf species through intercropping. Affiche présentée au 1er congrès mondial d'agroforesterie, 27 juin-2 juillet 2004, Université de la Floride, Orlando, USA. Site internet: <http://www.afbf.qc.ca/pdf/soundProp.pdf> (consulté le 25/07/04).

Chirko CP, Gold MA, Nguyen PV et Jiang JP. 1996. Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a Paulownia and wheat intercropping system. *Forest Ecology and Management* 83: 171-180.

Cogliastro A, Gagnon D et Bouchard A. 1997. Experimental determination of soil characteristics optimal for the growth of ten hardwoods planted on abandoned farmland. *Forest Ecology and Management* 96: 49-63.

Cogliastro A, Benjamin K et Paquette A. 2001. Nouvelles avenues vers une production de bois feuillus de qualité en plantation. Dans: Cogliastro A et Hallé A (éd.) Dynamiser la sylviculture des feuillus. Les actes du colloque tenu le 24 novembre 2000. La société des amis de la maison de l'arbre, Montréal, Canada, pp. 39-49.

Cogliastro A, Gagnon D, Daigle S et Bouchard A. 2003. Improving hardwood afforestation success : an analysis of the effects of soil properties in southwestern Quebec. *Forest Ecology and Management* 177: 347-359.

Cutter BE, Garrett HE. 1993. Wood quality in alleycropped eastern black walnut. *Agroforestry Systems* 22: 25-32.

Cutter BE, Rahmadi AI, Kurtz WB et Hodge S. 1999. State policies for agroforestry in the United States. *Agroforestry Systems* 46: 217-227.

Dix ME, Johnson RJ, Harrell MO, Case RM, Wright RJ, Hodges L, Brandle JR, Schoeneberger MM, Sunderman NJ, Fitzmaurice RL, Young LJ et Hubbard KG. 1995. Influence of trees on abundance of natural enemies of insect pests: a review. *Agroforestry Systems* 29: 303-311.

Domon G et Bouchard A. 2001. La mise en valeur des friches dans le contexte de la nouvelle ruralité. Colloque sur la naturalisation végétale, 22-23 février 2001, La société de l'arbre du Québec, Québec, Canada. Site internet: <http://www.sodaq.qc.ca/lectures/colloques2001/domon.html> (consulté le 06/02/04).

Dubé F, Couto L, Silva ML, Leite HG, Garcia R et Araujo GA. 2002. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 55: 73-80.

Dumont M. 1995. Plantation des feuillus nobles: guide. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, Québec, Canada. 126 p.

Dumont M. 1997. Le reboisement avec des feuillus: une option judicieuse sur les terres privées. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, Québec, Canada. 20 p.

Dupraz C. 1994a. Les associations d'arbres et de cultures intercalaires annuelles sous climat tempéré. *Revue Forestière Française* 46: 72-83.

Dupraz C. 1994b. Le chêne et le blé : l'agroforesterie peut-elle intéresser les exploitations européennes de grandes cultures? *Revue Forestière Française* 46: 84-95.

Dupraz C. 1999. Adequate design of control treatments in long term agroforestry experiments with multiple objectives. *Agroforestry Systems* 43: 35-48.

Dupraz C. 2001. Étude du fonctionnement écophysologique de l'association noyer – blé dur. Dans: Programme intégré de recherches en agroforesterie à Restinclières (PIRAT). Rapport d'étude 2000, INRA, Montpellier, France, pp. 2-18.

Dupraz C. 2002. Étude du fonctionnement écophysologique de l'association noyer – culture intercalaire. Dans: Programme intégré de recherches en agroforesterie à Restinclières (PIRAT). Rapport d'étude 2000, INRA, Montpellier, France, pp. 4-16.

Dupraz C et Newman SM. 1997. Temperate agroforestry : the european way. Dans: Gordon AM et Newman SM (éd.) *Temperate Agroforestry Systems*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 181-236.

Dupraz C, Fournier C, Balvay Y, Dauzat M, Pesteur S et Simorte V. 1999a. Influence de quatre années de culture intercalaire de blé et de colza sur la croissance de noyers hybrides en agroforesterie. Dans: Bois et forêts des agriculteurs. Actes du colloque de Clermont-Ferrand. CEMAGREF Éditions, Antony, France, pp. 95-114.

Dupraz C, Simorte V, Dauzat M, Bertoni G, Bernadac A et Masson P. 1999b. Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a Mediterranean climate. *Agroforestry Systems* 43: 71-80.

Dyack B, Rollins K et Gordon AM. 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.

Gakis S, Mantzanas K, Alifragis D, Papanastasis VP, Papaioannou A, Seilopoulos D et Platis P. 2004. Effects of understory vegetation on tree establishment and growth in a silvopastoral system in northern Greece. *Agroforestry Systems* 60: 149-157.

Garrett HE et Kurtz WB. 1983. Silvicultural and economic relationships of integrated forestry farming with black walnut. *Agroforestry Systems* 1: 245-256.

Garrett HE, Jones JE, Kurtz WB et Slusher JP. 1991. Black Walnut (*Juglans nigra* L.) agroforestry – its design and potential as a land-use alternative. *The Forestry Chronicle* 67: 213-218.

Garrett HE et Buck LE. 1997. Agroforestry practice and policy in the United States of America. *Forest Ecology and Management* 91: 5-15.

Garrett HE et Harper LS. 1999. The science and the practice of black walnut agroforestry in Missouri, USA: A temperate zone assessment. Dans: Buck LE, Lassoie JP, Fernandes ECM (éd.) *Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems*, CRC Press, New York, USA, pp. 97-110.

Garrett HE et McGraw RL. 2000. Alley cropping. Dans: Garrett HE, Rietveld WJ et Fisher RF (éd.) *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*. American Society of Agronomy, Madison, USA, pp. 149-188.

Gillespie AR, Jose S, Mengel DB, Hoover WL, Pope PE, Seifert JR, Biehle DJ, Stall T et Benjamin TJ. 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 1. Production physiology. *Agroforestry Systems* 48: 25-40.

Girard M. 1990. L'évolution structurale de la friche agricole dans les paroisses de Neuville-Pointe-aux-Trembles. Mémoire de recherche. Faculté des lettres, Université Laval, Québec, Canada. 66 p.

Godsey LD. 2002. Economic differences between agriculture and agroforestry. Dans: Schroeder W et Kort J (éd.) *Temperate agroforestry: adaptive and mitigative roles in a changing physical and socio-economic climate*. Proceeding of the 7th biennial conference on agroforestry in North America, August 13-15, 2001, Saskatchewan Agriculture and Food, Regina, Canada, pp. 94-100.

Gordon AM et Williams PA. 1991. Intercropping valuable hardwood tree species and agricultural crops in southern Ontario. *The Forestry Chronicle* 67: 200-208.

Gordon AM, Newman SM et Williams PA. 1997a. Temperate agroforestry: an overview. Dans: Gordon AM et Newman SM (éd.) *Temperate Agroforestry Systems*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 1-8.

Gordon AM, Thevathasan NV, Simpson JA et Williams PA. 1997b. Biological and ecological interactions in a temperate intercropping system, Ontario, Canada. Dans: *L'agroforesterie pour un développement rural durable. Comptes rendus de l'atelier international, 23-29 juin 1997, Montpellier, France*. CIRAD-Forêts, Montpellier, France, pp. 295-296.

Gouvernement du Québec. 2003. *La nature du Québec, une expérience à partager*. Gouvernement du Québec, Québec, Canada. 63 p.

Gray D et Garrett HE. 1999. Nitrogen fertilization and aspects of fruit yield in a Missouri black walnut alley cropping practice. *Agroforestry Systems* 44: 333-344.

Hodge S, Garrett HE et Bratton J. 1999. *Alley Cropping: An Agroforestry Practice*. Agroforestry Notes, USDA National Agroforestry Center, Lincoln, USA. 4 p.

Hubert M. 1983. *Les noyers à bois*. Institut pour le développement forestier, Paris, France. 132 p.

Hubert M et Courraud R. 1994. *Élagage et taille de formation des arbres forestiers*. Institut pour le développement forestier, Paris, France. 303 p.

Incoll LD, Corry DT, Wright C, Klaa K et Mill PJ. 2000. Temperate silvoarable agroforestry with quality hardwood timber species – report 1997-2000. *The UK Agroforestry Forum Newsletter* 1: 9-12.

INRA et CRPF. 2000. *Agroforesterie à Restinclières pour l'Hérault et au-delà... Réalisations et perspectives*. Institut national de la recherche agronomique/Centre régional de la propriété forestière, Montpellier, France. 19 p.

Janin G, Leban JM, Ducci F, Charrier B et Mosedale J. 1997. L'utilisation en agroforesterie des résineux et des feuillus. Les conséquences sur la qualité du bois produit. Dans: L'agroforesterie pour un développement rural durable. Comptes rendus de l'atelier international, 23-29 juin 1997, Montpellier, France. CIRAD-Forêts, Montpellier, France, pp. 303-305.

Jose S, Gillespie AR, Seifert JR et Biehle DJ. 2000a. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 2. Competition for water. *Agroforestry Systems* 48: 41-59.

Jose S, Gillespie AR, Seifert JR, Mengel DB et Pope PE. 2000b. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 3. Competition for nitrogen and litter decomposition dynamics. *Agroforestry Systems* 48: 61-77.

Jose S, Gillespie AR et Pallardy SG. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61: 237-255.

Kort J et Turnock R. 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. *Agroforestry Systems* 44: 175-186.

Kurtz WB. 2000. Economics and policy of agroforestry. Dans: Garrett HE, Rietveld WJ et Fisher RF (éd.) *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*. American Society of Agronomy, Madison, USA, pp. 321-360.

Kurtz WB, Garrett HE et Kincaid WH. 1984. Investment alternatives for black walnut management. *Journal of Forestry* 82: 604-608.

Kurtz WB, Garrett HE, Slusher JP et Osburn DB. 1996. *Economics of agroforestry*. University of Missouri, Agricultural publication G5021, Columbia, USA. 4 p.

Lawrence JH, Hardesty LH, Chapman RC et Gill SJ. 1992. Agroforestry practices of non-industrial private landowners in Washington State. *Agroforestry Systems* 19: 37-55.

Lee KH et Jose S. 2003. Soil respiration and microbial biomass in a pecan-cotton alley cropping system in southern USA. *Agroforestry Systems* 58: 45-54.

Li P, Parrot L et Bousquet J. 1992. Introduction of black walnut in southern Québec: evaluation of beparental progenies 21 years after. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 1201-1204.

Li T et Beauchesne P. 2003. Portrait du déboisement pour les périodes 1990-1999 et 1999-2002 pour les régions administratives de la Chaudière-Appalaches, du Centre-du-Québec, de la Montérégie et de Lanaudière (Rapport synthèse). Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Ministère de l'Environnement du Québec et Direction des politiques du secteur municipal, Québec, Canada.

Mary F, Dupraz C, Delannoy E et Liagre F. 1999. Incorporating agroforestry practices in the management of walnut plantations in Dauphiné, France: an analysis of farmers' motivations. *Agroforestry Systems* 43: 243-256.

Matthews S, Pease SM, Gordon AM et Williams PA. 1993. Landowner perceptions and the adoption of agroforestry practices in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 21: 159-168.

Merwin M. 1999. Alley cropping with hybrid poplar may profit UK farmers. *The Temperate Agroforester* 7 (4): 1-5.

Merwin M. 2002. Oregon family farm mixes christmas trees and black walnut. *Inside Agroforestry fall 2001 / winter 2002*: 4.

Michaud JF. 2001. Le meuble du Québec: fait au Québec avec des arbres importés. Dans: Cogliastro A et Hallé A (éd.) *Dynamiser la sylviculture des feuillus. Les actes du colloque tenue le 24 novembre 2000. La société des amis de la maison de l'arbre*, Montréal, Canada, pp. 1-3.

Miller AW et Pallardy SG. 2001. Resource competition across the tree-crop interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. *Agroforestry Systems* 53: 247-259.

Ministère de l'Environnement du Québec. 1999. Cadre d'orientation en vue d'une stratégie québécoise - Les aires protégées au Québec: une garantie pour l'avenir. Gouvernement du Québec, Québec, Canada. 20 p.

Ministère des Ressources naturelles du Québec. 1994. Une stratégie, aménager pour mieux protéger les forêts. Gouvernement du Québec, Québec, Canada. 197 p.

Ministère des Ressources naturelles du Québec. 1996. Biodiversité du milieu forestier. Bilan et engagements du ministère des Ressources naturelles. Gouvernement du Québec, Québec, Canada. 152 p.

Nadeau JP, Poulin H, Roy J et Mercier JC. 1996. Analyses économique et multicritère dans la prise de décision en milieu forestier. Dans: Manuel de Foresterie. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec et Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, pp. 881-906.

Nadeau S. 2001. Le profil de nos propriétaires forestiers, nos principaux acteurs. Dans: Cogliastro A et Hallé A (éd.) Dynamiser la sylviculture des feuillus. Les actes du colloque tenu le 24 novembre 2000. La société des amis de la maison de l'arbre, Montréal, Canada, pp. 53-64.

Nair PKR. 1993. An Introduction to agroforestry. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Pays-Bas. 499 p.

Newman SM et Gordon AM. 1997. Temperate agroforestry: synthesis and future directions. Dans: Gordon AM et Newman SM (éd.) Temperate Agroforestry Systems. CAB International, Wallingford, UK, pp. 251-266.

Oelbermann M, Paul Voroney RP et Gordon AM. In press. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. Agriculture Ecosystems and Environment.

Parent BM et Fortin MC. 2003. Ressources et industries forestières – Portrait statistique édition 2003. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, Canada. Version électronique: <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp#0> (consulté le 29/01/04).

Paris P, Cannata F et Olimpieri G. 1995. Influence of alfalfa (*Medicago sativa* L.) intercropping and polyethylene mulching on early growth of walnut (*Juglans* spp.) in central Italy. *Agroforestry Systems* 31: 169-180.

Park J, Newman SM et Cousins SH. 1994. The effects of poplar (*P. trichocarpa* x *deltoides*) on soil biological properties in a silvoarable system. *Agroforestry Systems* 25: 111-118.

Paul KI, Polglase PJ, Nyakuengama JG et Khanna PK. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168: 241-257.

Peng RK, Incoll LD, Sutton SL, Wright C et Chadwick A. 1993. Diversity of airborne arthropods in a silvoarable agroforestry system. *Journal of Applied Ecology* 30: 551-562.

Perron JY. 1986. Standard volume tables: gross merchantable volume. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de l'inventaire forestier, Québec, Canada. 52 p.

Pimentel D, Harvey P, Resosudarno P et Sinclair D. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117-1122.

Pini R, Paris P, Benetti A, Vigna Guidi G et Pisanelli A. 1999. Soil physical characteristics and understory management in a walnut (*Juglans regia* L.) plantation in central Italy. *Agroforestry Systems* 46: 95-105.

Plourde R. 2001. Billes de qualité : toujours d'actualité? Dans: Cogliastro A et Hallé A (éd.) *Dynamiser la sylviculture des feuillus. Les actes du colloque tenu le 24 novembre 2000. La société des amis de la maison de l'arbre, Montréal, Canada, pp. 5-12.*

Price C. 1995. Economic evaluation of financial and non-financial costs and benefits in agroforestry development and the value of sustainability. *Agroforestry Systems* 30: 75-86

Price GW et Gordon AM. 1999. Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 44: 141-149.

Ramsey C et Jose S. 2002. Management challenges of temperate alley cropping system : lessons from southern USA. Dans: Schroeder W et Kort J (éd.) Temperate agroforestry: adaptive and mitigative roles in a changing physical and socio-economic climate. Proceeding of the 7th biennial conference on agroforestry in North America, August 13-15, 2001, Saskatchewan Agriculture and Food, Regina, Canada, pp. 158-163.

Réseau Circum et DDMA. 1999. Enquête auprès de propriétaires des boisés de l'Outaouais - Rapport final. Del Degan, Massé et Associé, Québec, Canada. Version électronique: http://www.circum.com/textes/bois_outaouais.pdf (consulté le 14/02/04).

Ressources naturelles Canada. 2003. L'état des forêts au Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa, Canada. 121 p.

Rivest D. 2002. Influence des arbres sur l'élaboration du rendement des céréales intercalaires en agroforesterie (Campagne 2002). Rapport de stage de maîtrise en agroforesterie. Université Laval, Québec, Canada. 30 p.

Robitaille D. 1992. Ces sacrés campagnols! L'Aubelle 92 :15-16.

Robitaille D. 1999. Analyse comparative coûts/bénéfices. Dans: Étude de sensibilité, programme de revalorisation des friches dans les rangs agricoles déstructurés du territoire de la MRC de Papineau. Service de la planification et de l'aménagement du territoire de la MRC de Papineau, MRC de Papineau, Canada, pp. 8-23.

Rocheleau D. 1999. Confronting complexity, dealing with difference: social context, content, and practice in agroforestry. Dans: Buck LE, Lassoie JP et Fernandes CM (éd.) Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems. CRC Press, New York, USA, pp. 191-235.

SAFE. 2004. Le projet SAFE. Silvoarable Agroforestry for Europe, Montpellier, France. Site internet: <http://www.montpellier.inra.fr/safe/> (consulté le 13/03/04).

Sanchez PA. 1995. Science in agroforestry. Agroforestry Systems 30: 5-55.

Seiter S, William RD et Hibbs DE. 1999a. Crop yield and tree-leaf production in three planting patterns of temperate-zone alley cropping in Oregon, USA. *Agroforestry Systems* 46: 273-288.

Seiter S, Ingham ER, William RD. 1999b. Dynamics of soil fungal and bacterial biomass in a temperate climate alley cropping system. *Applied Soil Ecology* 12: 139-147.

Simpson JA, Reynolds et Gordon AM. 2004. Effects of tree shading on corn and soybean gas exchange, photosynthesis, and growth in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. Dans: Sharrow S (ed.) *Agroforestry and riparian buffers for land productivity and environmental stability. Proceeding of the 8th biennial conference on agroforestry in North America, June 22-25, 2003, Corvallis, USA*, pp. 315-316.

Ssekabembe CK, Henderlong PR et Larson M. 1994. Soil moisture relations at the tree /crop interface in black locust alleys. *Agroforestry Systems* 25: 135-140.

Stamps WT et Linit MS. 1997. Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 39: 73-89.

Stamps WT, Woods TW, Linit MS et Garrett HE. 2002. Arthropod diversity in alley cropped black walnut (*Juglans nigra* L.) stands in eastern Missouri, USA. *Agroforestry Systems* 56: 167-175.

Statistique Canada. 1997. Le profil agricole du Québec. Statistique Canada, Division de l'agriculture, Ottawa, Canada.

Thevathasan NV et Gordon AM. 1997. Poplar leaf biomass distribution and nitrogen dynamics in a poplar-barley intercropped system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 37: 79-90.

Thevathasan NV et Gordon AM. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 61: 257-268.

Thomas TH. 1991. A spreadsheet approach to the evaluation of the economics of temperate agroforestry. *Forest Ecology and Management* 45: 207-235.

Truax B, Gagnon D et Chevrier N. 2000. Herbicide-free plantations of oaks and ashes along a gradient of open to forested mesic environments. *Forest Ecology and Management* 137: 155-169.

von Althen FW. 1969. Plantations d'essences forestières feuillues dans le sud de l'Ontario. Ministère des Pêches et des Forêts du Canada, Direction générale des Forêts, publication n° 1242F, Sault-Ste-Marie, Canada. 34 p.

von Althen FW. 1990. Hardwood planting on abandoned farmland in southern Ontario: revised guide. Minister of Supply and Services Canada, Catalogue No. Fo 42-150/1990E, Sault-Ste-Marie, Canada. 77 p.

von Alten FW. 1991. Afforestation of former farmland with high-value hardwoods. *The Forestry Chronicle* 67: 209-211.

Wanvestraut RH, Jose S, Nair PKR et Brecke BJ. 2004. Competition for water in a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) – cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Agroforestry Systems* 60: 167-179.

Williams PA et Gordon AM. 1992. The potential of intercropping as an alternative land use system in temperate North America. *Agroforestry Systems* 19: 253-263.

Williams PA, Gordon AM, Garrett HE et Buck L. 1997. Agroforestry in North America and its role in farming systems. Dans: Gordon AM et Newman SM (éd.) *Temperate Agroforestry Systems*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 9-84.

Wojewoda D et Russel S. 2003. The impact of a shelterbelt on soil properties and microbial activity in an adjacent crop field. *Polish Journal of Ecology* 51: 291-307.

Wu YY. 1997. Agroforestry for sustainable land use in the temperate agricultural plains of China. Dans: *L'agroforesterie pour un développement rural durable*. Comptes rendus de l'atelier international, 23-29 juin 1997, Montpellier, France. CIRAD-Forêts, Montpellier, France, pp. 97-101.

Wu YY et Zhu ZH. 1997. Temperate agroforestry in China. Dans: Gordon AM et Newman SM (éd.) Temperate Agroforestry Systems. CAB International, Wallingford, UK, pp. 149-179.

Young A. 1989. Agroforestry for Soil Conservation. CAB International, Wallingford, UK. 276 p.

Zhu Z. 1991. Evaluation and model optimisation of Paulownia intercropping system: a project summary report. Dans: Zhu Z, Cai M, Wang S, Jiang Y (eds.) Agroforestry Systems in China. The Chinese Academy of Forestry, People's Republic of China et International Development Research Centre (Canada), Beijing China, pp. 30-43.

Zhu Z, Fu M, Sastry CB. 1991. Agroforestry in China: an overview. Dans: Zhu Z, Cai M, Wang S, Jiang Y (éd.) Agroforestry Systems in China. The Chinese Academy of Forestry, People's Republic of China et International Development Research Centre (Canada), Beijing, China, pp. 2-7.

- Annexe A -

**Coûts de production du modèle 1
(« culture pure de noyers ») à la Pépinière St-Nicolas**

Année	Opération ou matériel	Coût (\$/ha)
0	Drainage	500
	Labourage	200
	Hersage	200
	Achat et pose du paillis de plastique	1 600
1	Mise en terre des plants (0,50 \$ / plant)	830
	Achat des plants (0,90 \$ / plant)	1 500
	Achat et pose de collerettes	600
	Fauchage des allées	250
2	Fauchage des allées	250
3	Fauchage des allées	250
	Remplacement des plants morts (10 %)	230
	Taille de formation (0,10 \$ / arbre)	40
4	Fauchage des allées	250
5	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,20 \$ / arbre)	80
6	Fauchage des allées	250
7	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,30 \$ / arbre)	120
8	Fauchage des allées	250
9	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,50 \$ / arbre)	200
	Élagage (0,25 \$ / arbre)	100
10	Fauchage des allées	250
11	Taille de formation (0,60 \$ / arbre)	240
12	Élagage (0,75 \$ / arbre)	300
	Éclaircie précommerciale	500
15	Élagage (1,50 \$ / arbre)	340
20	Élagage (2 \$ / arbre)	450
35	Éclaircie avec martelage (20 \$ / m ³)	1220
	Transport du bois (10,50 \$ / m ³)	640
45	Éclaircie avec martelage (20 \$ / m ³)	2880
	Transport du bois (10,50 \$ / m ³)	1510
65	Coupe finale (14 \$ / m ³)	2100
	Transport du bois (10,50 \$ / m ³)	1575

- Annexe B -

**Coûts de production du modèle 2
(« culture pure de sapins ») à la Pépinière St-Nicolas**

Année	Opération ou matériel	Coût (\$/ha)
	Drainage	500
	Labourage	200
	Hersage	200
	Achat et pose du paillis de plastique	1 600
1	Mise en terre des plants (0,25 \$/plant)	415
	Achat des plants (0,50 \$/plant)	830
	Fauchage des allées	250
2	Fauchage des allées	250
3	Fauchage des allées	250
	Remplacement des plants morts (10 %)	125
4	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,10 \$/plant)	165
5	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,20 \$/plant)	335
6	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,25 \$/plant)	415
	Récolte et vente (3 \$/sapin)	225
7	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,25 \$/plant)	395
	Récolte et vente (3 \$/sapin)	1125
8	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,25 \$/plant)	305
	Récolte et vente (3 \$/sapin)	2025
9	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (0,25 \$/plant)	95
	Récolte et vente (3 \$/sapin)	1125
10	Essouchage, enlèvement du paillis et du sol	amendement 1 500

- Annexe C -
Coûts de production du modèle 3
(« culture intercalaire ») à la Pépinière St-Nicolas

Année	Opération ou matériel	Coût (\$/ha)
0	Drainage	500
	Labourage	200
	Hersage	200
	Achat et pose du paillis de plastique	1 450
1	Achat et mise en terre des plants	2 455
	Achat et pose de collerettes (noyers)	170
	Fauchage des allées	250
2	Fauchage des allées	250
	Fauchage des allées	250
3	Fauchage des allées	250
	Remplacement des plants morts (10 %)	245
	Taille de formation (noyers)	40
4	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (sapins)	45
	Récolte et vente de cèdres (2,5 \$ / cèdre)	1215
5	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (sapins et noyers)	270
	Récolte et vente de cèdres (2,5 \$ / cèdre)	1 825
6	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (sapins)	235
	Récolte et vente (3 \$ / sapin)	135
7	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (noyers et sapins)	345
	Récolte et vente (3 \$ / sapin)	645
8	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (sapins)	175
	Récolte et vente (3 \$ / sapin)	1155
9	Fauchage des allées	250
	Taille de formation (sapins et noyers)	250
	Élagage des noyers	100
	Récolte et vente (3 \$ / sapin)	630
10	Fauchage des allées	250
11	Taille de formation des noyers	240
12	Élagage des noyers	300
15	Élagage des noyers	340
20	Élagage des noyers	450
35	Éclaircie avec martelage (20 \$ / m ³)	600
	Transport du bois (10,50 \$ / m ³)	315
45	Éclaircie avec martelage (20 \$ / m ³)	1 440
	Transport du bois (10,50 \$ / m ³)	755
65	Coupe finale (14 \$ / m ³)	2100
	Transport du bois (10,50 \$ / m ³)	1575

Note : Se référer aux annexes A et B pour les coûts de la taille et de l'élagage par arbre selon l'année de référence.

- Annexe D - Questionnaire

Le profil des propriétaires de plantations de feuillus nobles de la région de Chaudière-Appalaches (Québec) et leur perception de la culture intercalaire

Nom de l'enquêteur _____ Date _____

Code du questionnaire _____

IDENTIFICATION

1. Nom du propriétaire-exploitant _____
2. Adresse de la propriété _____
3. Âge _____
4. Sexe _____
5. Niveau de formation académique 1= primaire 2= secondaire []
3= post-secondaire 4= universitaire
6. Métier ou profession _____
7. Niveau de revenu annuel 1 = moins de 40 000\$ 2 = 40 000 à 90 000 \$ []
3 = plus de 90 000 \$
8. Superficie totale de la propriété forestière et/ou agricole _____

L'ITINÉRAIRE TECHNIQUE DES PLANTATIONS

9. Quelle est l'origine de la parcelle (ou des parcelles) []
sur laquelle ont été plantés vos feuillus nobles ?
1 = champ 2 = friche herbacée 3 = friche arbustive 4 = forêt
10. Quelle est la superficie totale occupée par vos plantations de feuillus nobles ? _____

11. Quel est l'âge de votre plus vieille plantation ? _____

12. Quelles sont les espèces de feuillus nobles que vous avez plantées jusqu'à maintenant ?

- | | | | |
|--|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> Chêne rouge | <input type="checkbox"/> Érable à sucre | <input type="checkbox"/> Bouleau jaune | <input type="checkbox"/> Cerisier tardif |
| <input type="checkbox"/> Chêne à gros fruits | <input type="checkbox"/> Érable rouge | <input type="checkbox"/> Bouleau à papier | <input type="checkbox"/> Autres espèces |
| <input type="checkbox"/> Noyer noir | <input type="checkbox"/> Frêne d'Amérique | <input type="checkbox"/> Tilleul d'Amérique | |
| <input type="checkbox"/> Noyer cendré | <input type="checkbox"/> Frêne de Pennsylvanie | <input type="checkbox"/> Orme d'Amérique | |

13. Parmi celles que vous avez plantées, quelle est votre espèce d'arbre préférée d'un point de vue global (vitesse de croissance, qualité et valeur économique du bois, qualité paysagère, souplesse à l'aménagement, usage multiple de l'arbre, facilité d'entretien, etc.) ? _____

14. À quel espacement moyen vos arbres sont généralement plantés ? _____

15. Identifiez les travaux que vous réalisez habituellement avant et après la plantation de vos arbres.

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Construction de chemin | <input type="checkbox"/> Fertilisation |
| <input type="checkbox"/> Préparation de terrain | <input type="checkbox"/> Drainage |
| <input type="checkbox"/> Remplacement des arbres morts | <input type="checkbox"/> Taille de formation |
| <input type="checkbox"/> Protection des arbres contre les rongeurs | <input type="checkbox"/> Élagage |
| <input type="checkbox"/> Protection des arbres contre les cerfs de Virginie | <input type="checkbox"/> Éclaircie de plantation |
| <input type="checkbox"/> Élimination de la végétation concurrente au pied des arbres | <input type="checkbox"/> Autres travaux |
| <input type="checkbox"/> Fauchage de l'herbe dans les allées | |

16. Avez-vous aussi réalisé des plantations de résineux ? []
1 = oui 2 = non

17. Faites-vous ou avez-vous déjà fait de l'agriculture sur votre propriété ? []
1 = oui 2 = non

Si vous avez répondu oui, de quelles productions s'agit-il ?

- | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> grandes cultures | <input type="checkbox"/> plantes fourragères | <input type="checkbox"/> maraîchage | <input type="checkbox"/> culture en pépinière |
| <input type="checkbox"/> arbres fruitiers | <input type="checkbox"/> petits fruits | <input type="checkbox"/> élevage | <input type="checkbox"/> autres productions |

MOTIVATIONS ET CONTRAINTES À PLANTER DES FEUILLUS NOBLES

18. Pourquoi plantez-vous des feuillus nobles ?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Générer un revenu d'appoint | <input type="checkbox"/> Faire un placement/investissement |
| <input type="checkbox"/> Divertissement et loisir | <input type="checkbox"/> Valoriser le paysage de la propriété |
| <input type="checkbox"/> Projet de retraite | <input type="checkbox"/> Autres motifs |
| <input type="checkbox"/> Donner un héritage | |

19. Identifiez les facteurs qui ont limité la réalisation de vos plantations et de leur entretien.

- Faible niveau de connaissances scientifiques
- Peu de subventions
- Manque de conseils techniques
- Peu d'avantages fiscaux
- Rigidité des règlements municipaux et des lois
- Manque de main-d'œuvre compétente
- Manque d'argent
- Manque de disponibilité de plants de bonne qualité
- Manque de temps
- Autres facteurs

20. Croyez-vous qu'il est rentable de planter des feuillus nobles au Québec ? []
1= oui 2= non

21. À combien estimez-vous le taux de survie de l'ensemble des feuillus nobles que vous avez plantés sur votre propriété ? []
1 = moins de 40 % 2 = entre 40% et 60 % 3 = entre 60% et 80% 4 = 80 % et +

PERCEPTION DE LA CULTURE INTERCALAIRE

22. Avez-vous déjà entendu parler du concept de l'agroforesterie ? []
1= oui 2= non

23. Connaissez-vous la culture intercalaire ? []
1 = Oui, j'ai fait l'essai de cette pratique sur ma propriété
2 = Je connais bien cette pratique sans en avoir fait l'essai
3 = Je connais un peu cette pratique
4 = Je ne connais pas du tout cette pratique

25. Seriez-vous intéressé à faire l'essai de cette pratique sur votre propriété ? []
1 = oui
2 = peut-être, je dois d'abord en savoir davantage sur les modalités de la pratique
3 = non

26. Que pensez-vous de la culture intercalaire ?

- Annexe E -

Principaux enjeux de la culture intercalaire présentés aux répondants de l'enquête

La culture intercalaire se définit comme la plantation d'arbres en rangées largement espacées (à plus de 8 m généralement), permettant la production de cultures agricoles végétales entre ces rangées. Plusieurs cultures sont envisageables, dépendant de l'intérêt personnel de l'exploitant et des marchés : céréales et oléagineux (maïs, blé, soya, orge, etc.), cultures fourragères, cultures horticoles (petits fruits, pommes de terre, plantes maraîchères, plantes horticoles ornementales), sapin de Noël, ginseng, etc. La culture intercalaire peut s'adapter aux contraintes de la mécanisation et peut ainsi être très efficace, à la fois en termes de production et de protection de l'environnement. La culture intercalaire tire parti de la complémentarité des arbres et des cultures agricoles pour mieux valoriser les ressources du milieu. Plusieurs essais menés en Europe, en Ontario et aux États-Unis, notamment, démontrent que les feuillus nobles plantés dans ce type de système poussent plus rapidement qu'en parcelle forestière, ce qui peut mener à des révolutions sensiblement plus courtes des arbres. Bien que la culture intercalaire exige un certain niveau de technicité, l'investissement dans ce type de plantation (faible densité) est en général moins élevé que celui requis pour l'implantation et l'entretien des plantations forestières conventionnelles. La pratique permet de concilier des objectifs patrimoniaux (feuillus précieux de longue rotation) et des objectifs de revenus à court terme par l'exploitation des cultures intercalaires. Plusieurs études économiques démontrent ainsi que ce type de système est plus rentable que la plantation pure d'arbres.