



Application de la sylviculture irrégulière aux peuplements feuillus
jugés inaptes au jardinage et prédiction du rendement par la
modélisation

Rapport d'étape
Année 2005-2006

Préparé par

Frédéric Doyon, ing. f., Ph.D.

Philippe Nolet, biol., M.Sc.

Remis au

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Direction régionale de l'Outaouais (07)

Juin 2006

Mise en contexte

Le jardinage est un traitement approprié pour une majeure partie de la forêt feuillue et dans certaines conditions forestières en forêt mixte au Québec puisqu'elles sont dominées par des essences tolérantes (telles *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, *Abies balsamea*) et mi-tolérantes à l'ombre (telles *Betula alleghaniensis*, *Quercus rubra*, *Picea glauca*) qui peuvent s'établir sous couvert en cohortes d'âge différents, générant ainsi une structure pluri-étagée apte à être jardinée (Schütz 1997). En nature, cette structure se maintient sur de longues périodes grâce à un régime de perturbations dominé par des micro-trouées occasionnées par la mortalité sporadiques d'individus dans le couvert forestier (Doyon et Sougavinski 2002). Dans le nord-est de l'Amérique du Nord, le jardinage est depuis longtemps prescrit lorsqu'il répond aux conditions de composition, de structure et de production (Arbogast 1957, O'Hara 2002) compte tenu des avantages qu'il procure pour le maintien des valeurs environnementales, sociales et économiques (Hornbeck et Leak 1992). Au Québec, lorsqu'appliqué de façon appropriée et dans les peuplements adéquats (Majcen et al. 1990), le jardinage donne dans rendements intéressants (Majcen 1994). Par exemple, Bédard et Majcen (2003) obtiennent des accroissements nets en surface terrière dix ans après traitement de $0.35 \pm 0.04 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ pour des érablières à bouleau jaune, permettant de retrouver la surface terrière initiale sur des rotations de 20 ans.

Cependant, l'application du jardinage ne peut être généralisée à l'ensemble de la forêt feuillue. En effet, avant même que le jardinage ne commence au Québec, plusieurs peuplements constituaient déjà le legs appauvri d'un passé d'écrémage réalisé lors de vieilles coupes à diamètre limite. Sabbagh *et al.* (2002) démontrent qu'un nombre important de peuplements des strates feuillues et mixtes de l'Outaouais comporterait une récolte insuffisante pour être jardinés malgré un potentiel d'éducation intéressant. De plus, les résultats de l'étude des effets réels du jardinage en forêt publique montrent que les rendements après jardinage en forêt publique sont bien en-deçà de ceux attendus (accroissement annuel net entre 0.1 et 0.2 $\text{m}^2/\text{ha}/\text{an}$) dans bien des cas dû à une mortalité accrue et au fait que la forêt résiduelle n'a souvent plus les caractéristiques requises (structure, vigueur et qualité) pour demeurer jardinable (MRNQ 2002a). À cette problématique s'ajoute celle du dépérissement de l'érable à sucre (Duchesne et al. 2002, Duchesne et al. 2005) et de l'envahissement par le hêtre des érablières (Doyon et Gravel 2003, Duchesne et al. 2005). L'application du jardinage dans la sapinière à bouleau jaune pose aussi souvent des difficultés puisque les structures irrégulières sont souvent

abondantes dans ces écosystèmes de par le régime de perturbations semi-catastrophiques générant des bouquets par cohortes (Fortin et al. 2003, Doyon et Lafleur 2004).

Face à ces constats, Blanchette et al. (2004) établirent une procédure de diagnostic pour distinguer les forêts aptes au jardinage. Cette notion de apte au jardinage a été précisée par Lessard et al. (2005). Cette clarification des conditions pour jardiner un peuplement soulève par le même fait la question du traitement auquel on devrait avoir recours pour toutes les situations qui ne rencontrent pas ces conditions. Que ce soit pour des raisons sylvicoles (irrégularisation de la structure, recrutement désiré insuffisant) ou des raisons économiques (capital bois d'œuvre trop appauvri, croissance trop faible), de nouveaux traitements doivent être développés afin de combler le vide sylvicole qui existe entre les systèmes sylvicoles menant à la coupe finale et ceux menant au jardinage.

Il existe dans la littérature en sylviculture un courant nouveau en Europe (**Continuous Cover Forestry** dans les pays anglo-saxons, **sylviculture irrégulière** dans les pays francophones) qui propose des approches de conduite de peuplement en structure irrégulière qui maintiennent un couvert permanent (Schütz 2002, Mason et al. 1999, Pommerening et Murphy 2004). La sylviculture irrégulière offre l'avantage de répondre à des objectifs simultanés de récolte, de régénération et d'éducation sans devoir s'ajuster nécessairement aux conditions classiques d'application du jardinage. Celles-ci sont basées sur les connaissances des processus écologiques des écosystèmes et des paysages de la forêt. Un large programme de recherche et d'essais expérimentaux est actuellement en application en Franche-Comté (France) (Van Damme 1999, LIFE 2004). Plusieurs outils de diagnostic et de gestion y ont été développés.

Plus près de chez nous, aux Etats-Unis, le sylviculteur peut utiliser une gamme plus étendue de traitements sylvicoles (Hornbeck et Leak 1992), incluant la coupe progressive irrégulière, la coupe à diamètre limite, le Two-Cut System (Sims 1992), la coupe d'amélioration (Erickson et al. 1990) et la coupe à maturité financière (Smith 1978). Ces méthodes alternatives de coupes peuvent souvent s'avérer économiquement plus profitables, dépendant de la structure et de la distribution de la qualité des tiges (Kaya et Buongiorno 1989). Il existe plusieurs comparaisons du jardinage avec la coupe à diamètre limite au point de vue de la qualité des tiges, de la croissance, et de la qualité du bois (Miller et Smith 1991, Erickson et al. 1990, Erickson et Reed 1992, Niese et al. 1995, Strong et al. 1995, Wiemann et al. 2004) qui démontrent les avantages et désavantages de chacun selon les conditions d'application. Ce projet veut tirer profit de cette expertise mondiale en matière

de sylviculture irrégulière pour définir des coupes partielles alternatives au jardinage au Québec.

L'application de nouveaux traitements sylvicoles pose toujours la difficulté d'en définir le rendement et la durabilité. Cet aspect est particulièrement vrai pour les systèmes sylvicoles à couvert permanent impliquant des coupes partielles (Peng 2000). Le défi réside dans la régularisation du régime de coupes partielles tout en perpétuant une structure de distribution durable (Adams et Ek 1974), quelle soit exponentielle négative ou « rotated sigmoid » (Leak 1996) puisqu'il existe une infinité de structures balancées et durables (Keyfitz 1968). L'utilisation de modèles de simulation de croissance des peuplements offre l'avantage de permettre l'exploration de plusieurs scénarios et d'en évaluer les effets sans avoir à les expérimenter sur des peuplements (Buongiorno et Michie 1980). La majorité des modèles de croissance pouvant simuler la croissance des peuplements inéquiennes sont des modèles à l'arbre individuel non-spatialement explicite (FIBER, NE-TWIGS, OAKSIM, SILVAH, Yield-MS, JABOWA, STEM) (Ernst et Stout 1991, Peng 2000). La croissance et la mortalité des tiges sont calculées pour chaque tige d'une liste en fonction des conditions de cette tige dans le peuplement et du site. Certains incluent un module de recrutement, d'autres pas. Cependant, aucun n'inclut un module d'évolution de la qualité. Or, la gestion de la qualité en forêts feuillues et mixtes est primordiale. Pour pallier à ce manque, Doyon et al. (2005) ont développé un modèle, COHORTE, incluant un module d'évolution de la qualité. Cette dernière caractéristique permet d'évaluer différents régimes de martelage de coupe partielle sur le développement du peuplement en tenant compte de la qualité des tiges.

Le modèle SORTIE quant à lui est un modèle de simulation spatialement explicite, par arbres individuels, permettant d'évaluer l'effet de coupes forestières impliquant différents patrons de récolte et de rétention des tiges, en tenant compte de l'emplacement des chemins de débardage, dans des peuplements de composition et de structure diamétrale variées, et selon différentes périodes de rotation. SORTIE est constitué de quatre principaux modules, chacun visant respectivement à prédire : 1) la lumière; 2) la régénération en fonction des lits de germination et des semenciers; 3) la croissance radiale en fonction de la lumière (juvéniles) et de la compétition des voisins (arbres adultes); 4) la mortalité en fonction de la croissance radiale (juvénile) et en fonction d'un seuil de DHP associé au début de la sénescence (arbres adultes). Depuis sa première version, SORTIE a subi plusieurs modifications. Une somme considérable de travail a notamment été investie en Colombie-Britannique pour adapter le modèle pour lui permettre de simuler l'effet d'interventions

sylvicoles. Pour ce faire, un modèle de récolte a été ajouté au modèle permettant à l'utilisateur de définir de façon très flexible les paramètres des interventions sylvicoles à simuler. Une publication récente a démontré l'utilité du modèle pour explorer les implications différents scénarios de sylviculture irrégulière dans plusieurs types forestiers (Coates *et al.* 2003). Récemment, les efforts de recherche et développement reliés au modèle se sont concentrés à améliorer le module d'accroissement des tiges de façon à ce que la croissance radiale soit fonction du dhp, de la distance et de l'espèce des arbres voisins, permettant ainsi de capturer de façon précise la réponse des tiges suite à une coupe (Canham *et al.* 2006).

Objectifs

Ce projet vise à ***proposer pour les forêts feuillues et mixtes non jardinables des coupes partielles alternatives de sylviculture irrégulière, décrire les conditions d'application de celles-ci pour les différentes régions de la forêt feuillue, et évaluer le rendement par voie de modélisation.*** Plus spécifiquement les objectifs de ce projet sont : (1) de développer une typologie des peuplements irréguliers pour le domaine de l'érablière, (2) de recenser les méthodes de sylviculture irrégulière ayant été expérimentées ailleurs dans le monde, (3) de vérifier l'applicabilité de ces méthodes pour chacun des types de peuplement irrégulier identifié à l'étape (1), (4) d'en vérifier le rendement et la durabilité par voie de modélisation, (5) d'en essayer leur application sur le terrain, (6) d'en évaluer les coûts et la productivité opérationnelle.

Les objectifs (1) et (2) étaient au cœur du travail de cette année 2005-2006. Le présent document se veut un rapport d'étape et dresse ainsi liste des tâches accomplies durant cette première année du projet en plus de fournir quelques résultats préliminaires. De ces travaux, une communication scientifique orale a été présentée au Colloque de l'IUFRO 1.05 conference on Natural disturbance-based silviculture – Managing for complexity, Rouyn-Noranda, Québec, Canada. Cette présentation est mise en annexe. Finalement, nous identifions les tâches que nous comptons accomplir dans l'année financière 2006-2007.

Travaux réalisés

Objectifs 1 : Établir une typologie structurale des peuplements feuillus de l'Outaouais

Méthodologie

Base de données

Pour définir la typologie structurale des peuplements feuillus de l'Outaouais, nous avons colligé l'ensemble des parcelles d'inventaire forestier utilisé pour l'exercice actuel de calcul de la possibilité forestière. De cet ensemble, trois type de parcelles-échantillons (PÉs) ont été utilisées : 1) PÉs du troisième décennal, 2) la dernière remesure des PÉs permanentes, 3) PÉs des inventaires d'intervention des bénéficiaires de CAAF de l'Outaouais. Tout cet ensemble de PÉs composait 20 502 PÉs. Cependant, une sélection a été effectuée afin de représenter seulement les peuplements feuillus. Pour ce faire le filtre suivant a été appliqué :

1. La surface terrière en résineux est moins de 25%;
2. Les CEP+AUL+SOR+AME+ERE moins de 50% de la ST;
3. Les BOP+BOG+PEU+PET+PEG+PEB moins de 50% de la ST;
4. Le BOJ moins de 50% de la ST;
5. Les ORA+ORR+ORT+FRN+ERA moins de 50% de la ST;

Finalement, nous avons retenu seulement les PÉs qui possédait un minimum de 10 m²/ha pour faire la classification de types structuraux. Au final, 10 951 PÉs ont été utilisées (Tableau 1). La Figure 1 présente la distribution de fréquence de la surface terrière des placettes d'inventaires sélectionnées.

Tableau 1. Parcelles-échantillons retenues pour les analyses de structure

UAF	nb_parcs
UAF 7151 *1989 et -	128
UAF 7151 *1990 et + après coupe	614
UAF 7152 *1989 et -	231
UAF 7152 *1990 et + après coupe	773
UAF 7152 *1990+ avant coupe	761
UAF 7251 *1989 et -	117
UAF 7251 *1990 et + après coupe	2409
UAF 7251 *1990+ avant coupe	2450
UAF 7351 *1990 et + après coupe	2576
UAF 7351 *1989 et -	153
UAF 7352 *1989 et -	41
UAF 7352 *1990 et + après coupe	314
UAF 7352 *1990+ avant coupe	332
UAF 7451 *1989 et -	178
UAF 7451 *1990 et + après coupe	182
UAF 7451 *1990+ avant coupe	160

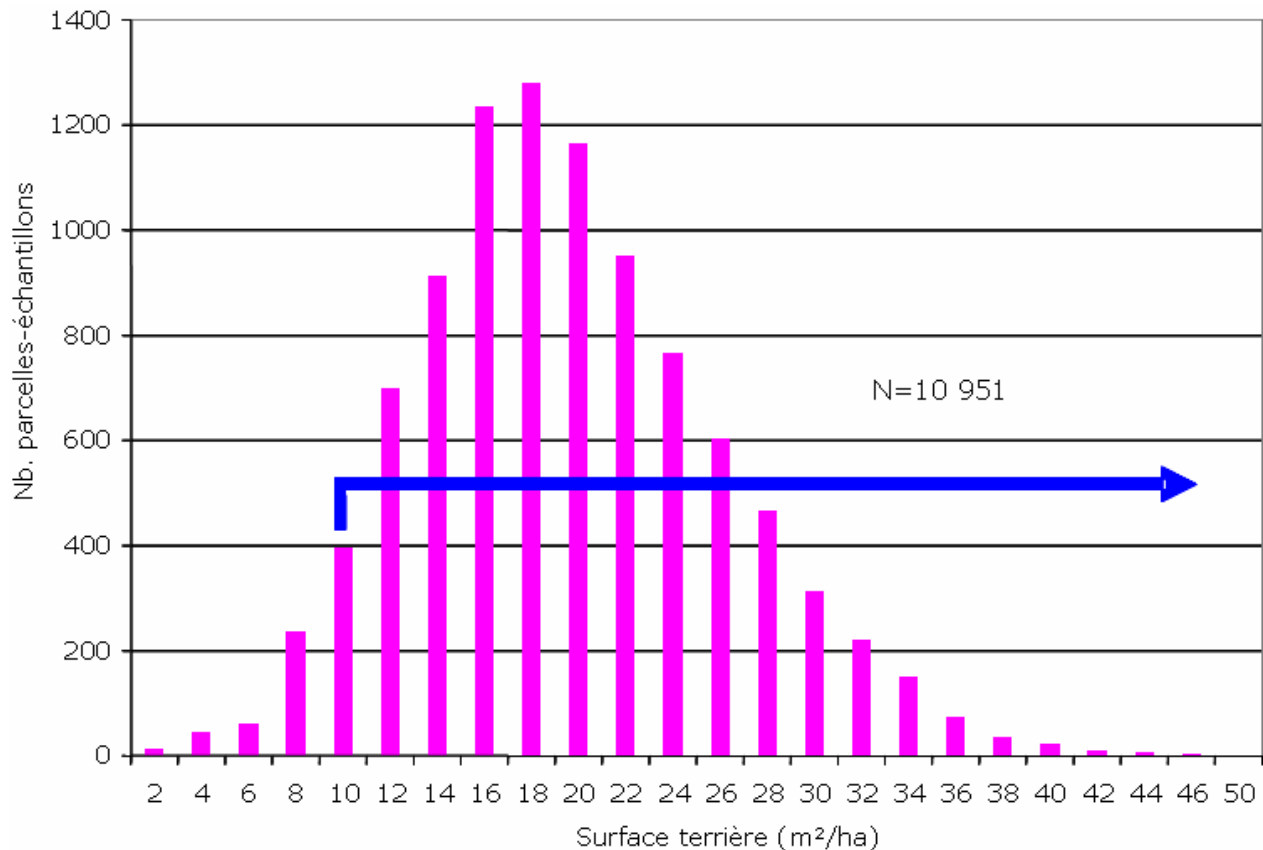


Figure 1. Répartition de la surface terrière des parcelles-échantillons ayant été sélectionnées pour la définition des types structuraux.

Analyse de groupement

Afin de produire nos groupes sylvicoles, nous avons procédé à 2 formes de groupement. Un premier groupement a été effectué pour définir les types structuraux et un deuxième a été effectué pour définir les types compositionnels. Afin de définir les types structuraux, nous avons créé trois classes de tailles : les perches (10-23.0 cm), les moyennes tiges (23.1 – 39.0 cm) et les grosses tiges (39.1 + cm). Ainsi, pour chaque PÉs, la surface terrière était subdivisée selon ces 3 classes. En ce qui concerne les types compositionnels, nous avons les espèces en groupes d’essences (Tableau 2).

Comme nous ne voulions pas que la surface terrière soit une variable *a priori* de classification, nous avons ramené la surface terrière de chacune des classes en proportion de la surface terrière totale de la PÉ, tant pour la définition des types structuraux que les types compositionnels.

Tableau 2. Groupement des essences utilisé pour effectuer le regroupement des types compositionnels.

Groupe essences	ESSENCE	Groupe essences	ESSENCE
AUR	EPN	FPT	NOC
AUR	PIG	FPT	ORA
AUR	SAB	FPT	ORR
AUR	THO	FPT	ORT
BOJ	BOJ	FPT	TIL
BOP	AME	EP	EPB
BOP	AUR	EP	EPR
BOP	BOP	ERR	ERR
BOP	ERE	ERS	ERS
BOP	ERP	HEG	HEG
BOP	PRP	HEG	OSV
BOP	SAL	PE	PEB
FPT	CAC	PE	PEG
FPT	CET	PE	PET
FPT	CHR	PE	PEU
FPT	FRA	PIN	PIB
FPT	FRN	PIN	PIR
FPT	FRP	PIN	PRU

L'analyse de groupement a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS (SPSS inc., 1999) en utilisant la procédure K-Means. Cette procédure regroupe l'ensemble des échantillons selon le nombre de groupes (valeur K) désirés par l'utilisateur. Pour définir le nombre optimal de groupes, nous avons augmenté le nombre de groupes jusqu'à ce qu'il y ait au moins deux groupes pour lesquels au moins une variable de groupement (soit la proportion en classe de tailles ou la proportion en groupes d'essences) n'était pas significativement différente.

Formation des groupes sylvicoles

La formation des groupes sylvicoles a été effectuée en montant un tableau croisé des types compositionnels et des types structuraux. Les cellules du tableau croisé comprenant moins de 50 PÉs étaient alors regroupées avec une autre cellule la plus près en composition et en structure.

Résultats

Types structuraux

L'analyse de groupement nous a donné 21 types structuraux. L'importance, en nombre de parcelles, de ces types structuraux varie de 123 à 1111 PÉs. La distribution des types structuraux dans le triangle des structures (TdS) nous montre que la majorité des types

structuraux se trouvent dans la partie en bas à gauche du TdS (Figure 2). En utilisant le TdS, il est possible de regrouper, pour des fins de simplification, nos 21 types structuraux selon les classes déjà définies par le projet LIFE (2004). Selon cette classification des structures, les PÉs représentant une structure mono-cohorte représentent 41.7% de l'ensemble (Tableau 3). La structure bi-cohorte est celle la plus dominante avec 56.4% de l'ensemble. Finalement la structure inéquienne n'est observée à l'échelle de la parcelle que pour 12.6% des PÉs.

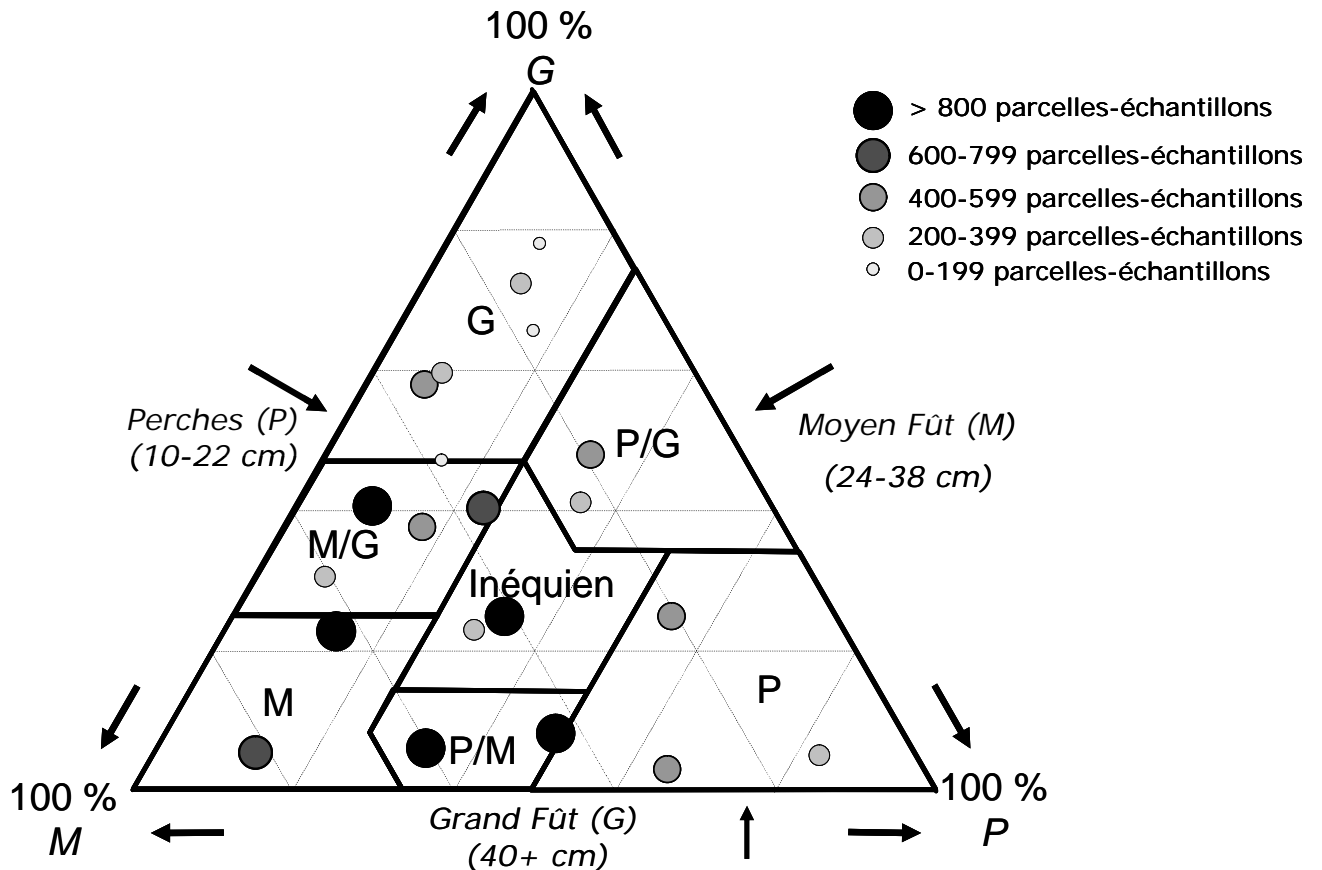


Figure 2. Répartition des 21 types structuraux identifiés par l'analyse de groupement dans le Triangle des Structures (LIFE 2004). Les structures mono-cohortes (P, M, G) se trouvent dans les pointes du TdS, les structures bi-cohortes se trouvent au centre des côtés du TdS (P/M, P/G, M/G) alors que la structure inéquienne est au centre du TdS.

L'analyse de groupement des espèces pour la définition des groupes compositionnels a résulté en 19 groupes compositionnels. Ces groupes ont été simplifiés en 6 grands types compositionnels (Tableau 3). Les érablières représentent un peu plus de la moitié de PÉS retenus. Les autres groupes compositionnels dominants sont les Ft(Heg), les ErsFi et les Chr(Fpt).

Lorsqu'on fait l'analyse croisé des grands types structuraux et des grands types compositionnels, on s'aperçoit que la répartition des grands types structuraux ne sont pas les mêmes pour les différents grands types compositionnels. En effet, on remarque que les structures mono-cohortes sont plus abondantes dans les grands types compositionnels Fi et FiErs, que les structures bi-cohortes sont plus abondants dans le Chr_Fpt et les Ft(Heg) et la structure inéquienne est à peu près absente des Fi mais à peu près présente équitablement dans les autres grands types compositionnels (Tableau 3).

Tableau 3. Répartition des parcelles-échantillons par grand type structural et par grand type compositionnel.

	G	P_G	M	M_G	P	P_M	INÉQUIENNE	Total
Chr_Fpt	0.52%	0.48%	1.62%	1.58%	2.02%	3.97%	1.33%	10.46%
Ers	9.72%	4.04%	7.57%	12.57%	4.77%	11.93%	6.15%	51.95%
Fi	0.01%	0.03%	0.09%	0.03%	0.56%	0.60%	0.09%	1.33%
FiErs	0.07%	0.16%	0.21%	0.34%	1.05%	1.08%	0.39%	2.95%
Ft(Heg)	1.83%	1.42%	3.63%	4.34%	2.97%	6.28%	2.94%	21.13%
ErsFi	1.23%	0.62%	1.53%	2.01%	2.30%	4.05%	1.70%	12.18%
Total	13.38%	6.76%	14.66%	20.86%	13.66%	27.91%	12.60%	100.00%

Objectifs 2 : Recenser les méthodes de sylviculture irrégulière ayant été expérimentées ailleurs dans le monde

Méthodologie

Dans cet exercice, nous nous sommes surtout intéressés aux résultats d'expériences afin de pouvoir comparer le jardinage avec la coupe à diamètre limite. Pour ce faire, nous avons repris la littérature américaine sur ce sujet et avons fait une synthèse des résultats obtenus.

Résultats

Le Tableau 4 – *Comparaison dans la littérature scientifique de la coupe à diamètre limite et de la coupe de jardinage* – synthétise diverses études qui comparent la coupe de jardinage à des coupes de type diamètre limite.

Pour différentes raisons, la CDL a été bannie du vocabulaire forestier québécois dans les dernières décennies. Il semble que l'on ait confondu la CDL et la coupe d'écrémage, et ce, probablement en raison d'abus lors de son utilisation. La littérature tend à démontrer que lorsque bien utilisée la CDL constitue un traitement sylvicole d'une grande valeur.

Miller et Smith concluent dans le même sens sur la comparaison entre la coupe de jardinage et la coupe à diamètre limite :

« Each practice has important advantages and disadvantages. Single-tree selection improves tree quality and affords control of residual stocking for sustained yield. Selection can be more difficult to apply, in practice, because it requires marking by cut ratios and accurate counts of cut and leave trees during marking. Yield from selection harvests is distributed among small and large sawtimber, thus increasing the unit harvesting cost and reducing stumpage value compared to diameter-limits.

Diameter-limit cutting is very easy to apply. Harvest volume is in relatively large trees (18 inches d.b.h and larger) so harvesting costs are lower than for selection cutting, other things being equal. Stands observed in this study did regenerate following each harvest and residual stand structure was adequate for sustained yield even though no attempt was made to achieve a given residual stocking. The greatest drawback of diameter-limit cutting is the lack of influence on the quality of immature merchandable trees. The quality of trees growing into larger sizes is left to chance. »

Il est bon d'ajouter à cette comparaison que la CDL peut être facilement améliorée par un assainissement dans les plus petites tiges (Buongiorno et al 2000).

Tableau 4. Comparaison dans la littérature scientifique de la coupe à diamètre limite et de la coupe de jardinage

Article	Rendement forestier ¹	Rendement qualité ²	Rendement économique ²	Traitements comparés	Note
Erickson et al 1990	CDL>CJ ²	CJ>CDL	CDL>CJ ³	CDL22,16,12; CJ90,70,50	5 passages, 32 ans
Miller and Smith, N-D	–	CJ>CDL	semblables ⁴	CDL17 CJ50	Conclusion comparative éclairante
Buongiorno et al 2000	–	–	CDL>CJ ⁵	CDL28,38,58; CJ21,17,14	Étude par modélisation
Strong et al 1995; Niese et al 1995	CDL>CJ de l'ordre de 2.5	CJ>CDL	CJ>CDL ⁶	CDL7, CJ90,75,60	5 passages, 40 ans
Sendak et al 2000	CDL>CJ de l'ordre de 2	CDL>CJ	Variable en fonction de l'indicateur ⁷	CDL9, 13; CJ75, 78,80,81,83, 87	1 passage, 40 ans
Wiemann et al 2004	–	Peu d'effets	–	CDL17 CJ15	3 passages CDL, 5 passages CJ; note importante sur l'érable à sucre ⁸

¹ Les auteurs n'ont pas tous utilisé les mêmes paramètres pour leurs comparaisons. Pour le rendement forestier, on parle habituellement d'accroissement en surface terrière ou en volume/année. Pour le rendement en qualité, on parle dans la plupart des cas des grades 1 à 3 utilisés pour les billes sur pied dans le nord-est américain. La qualité interne des tiges n'a pas été évaluée. Pour le rendement économique, les paramètres et les hypothèses utilisés sont très variables comme en font foi les notes suivantes.

² Peu explicite

³ L'analyse économique ne semble pas tenir compte des coûts d'exploitation

⁴ ibid. 2

⁵ Les coûts sont établis à l'hectare; or on sait que si ce des DHP plus gros sont récoltés, les coûts à l'hectare seront moins élevés. Ainsi, la différence observée entre CDL et CJ seraient probablement encore plus grande

⁶ Le diamètre-limite de cette étude est beaucoup plus bas que dans les autres études. La méthode de calcul de rentabilité économique est pour le moins obscure et est questionnable.

⁷ Les coûts ne sont pas dépendants de la grosseur des tiges récoltées.

⁸ L'épaisseur du bois d'aubier de l'ERS est corrélé positivement et fortement à la croissance diamétrale; la coloration du cœur n'est pas liée au DHP, mais à l'âge : la coloration commence à affecter de façon disproportionnée les tiges qui arrivent à maturité.

Travail à effectuer en 2006-2007

- Été : Repérage, cartographie et échantillonnage des parcelles pour les groupes sylvicoles identifiés. Prise de données et validation des structures observées.
- Automne : Développement de traitement de coupes partielles applicables à ces différents groupes sylvicoles. Calibration de *COHORTE* pour représenter les hypothèse de croissance les plus probables et reconnues. Calibration de *COHORTE* pour représenter les hypothèse de croissance les plus probables et reconnues. Évaluation du recrutement avec SORTIE
- Hiver : Évaluation du recrutement avec SORTIE. Calcul des rendements avec *COHORTE*. Développement d'une typologie structurale dynamique qui tiennent compte des transition structurales et compositionnelle tel que simulées dans *COHORTE*.

Littérature citée

- Adams, D. M. et A. R. Ek. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Canadian Journal of Forest Research* 4:274-287.
- Arbogast, C. Jr. 1957. Marking guides for northern hardwoods under the selection system. USDA For. Serv. Lake States For. Exp. Stn., Paper 56, 20p.
- Bédard, S. et Z. Majcen. 2003. Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods. *Forestry Chronicle* 79:898-905.
- Blanchette, M., R. Gagnon, A. Gingras, J. Gosselin, G. Lesage, Guy Lessard, C. Picard et D. Pin. 2004. Une démarche pour déterminer les caractéristiques des forêts aptes au jardinage. Comité sur les forêts aptes au jardinage. Rapport présenté au Comité permanent sur le Manuel d'Aménagement Forestier. 17p.
- Buongiorno, J. et B. R. Michie. 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science* 4:609-625.
- Canham, C. D., M. J. Papaik, M. Uriarte, W. H. McWilliams, J. C. Jenkins, and M. J. Twery. 2006. Neighborhood Analyses of Canopy Tree Competition along Environmental Gradients in New England Forests. *Ecological Applications*.
- Doyon, F. et D. Gravel. 2003. L'envahissement par le hêtre dans les érablières de l'Outaouais: phénomène fantôme ou glissement de balancier? Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique, 20p.
- Doyon, F. et B. Lafleur. 2004. Caractérisation de la structure et du dynamisme des peuplements mixtes à bouleau jaune: pour une sylviculture irrégulière proche de la nature. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique, 57 p. + 3 annexes.
- Doyon, F. et S. Sougavinski. 2002. Caractérisation du régime des perturbations naturelles de la forêt feuillue du Nord-Est de l'Amérique du Nord. Rapport de l'IQAFF. Synthèse remise à la Direction de l'environnement, Ministère des ressources naturelles. 116 p.
- Doyon, F., P. Nolet et P. Sabbagh. 2003. Pour un retour du sylviculteur: la sylviculture par objectifs. *Aubelle* 143: 12-15.
- Duchesne, L., Ouimet, R. et Houle, D. 2002. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. *J. Environ.Qual.*, 31: 1676-1683.
- Duchesne, L., Ouimet, R., Moore, J.-D. et Paquin, R. (Sous presse). Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* 208:223-236.

- Erickson, M. D., D. D. Reed et G. D. Mroz. 1990. Stand development and economic analysis of alternative cutting methods in northern hardwoods: 32-years results. *Northern journal of Applied Forestry* 7: 153-158.
- Erickson, M. D. et D. D. Reed. 1992. Silvicultural influence on heartwood discoloration in sugar maple. *Northern journal of Applied Forestry* 9: 27-29.
- Ernst, R. L. et S. L. Stout. 1991. Computerized algorithms for partial cuts. *Pages* 132-147 in *Proceeding of the 8th Central Hardwood Forest Conference*.
- Fortin, M., J. Bégin et L. Bélanger. 2003. Évolution de la structure diamétrale et de la composition des peuplements mixtes de sapin baumier et d'épinette rouge de la forêt primitive après une coupe à diamètre limite sur l'Aire d'observation de la rivière Ouareau. *Journal Canadien de la Recherche Forestière* 33: 691-704.
- Hornbeck, J.W. et W. B. Leak. 1992. Ecology and management of northern hardwood forests in New England. USDA For. Serv. Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-159. 43 p.
- Kaya, I. et J. Buongiorno. A harvesting guide for uneven-aged northern hardwood stands. *Northern journal of Applied Forestry* 6: 9-14.
- Keyfitz, N. 1968. *Introduction to mathematics of population*. Addison-Wesley, Reading, MA. 450 p.
- Leak, W. B. 1996. Long-term structural change in uneven-aged northern hardwoods. *Forest science* 42(2): 161-165.
- Lessard, G., G. Van der Kelen, P. Gauthier, F. Guillemette, M. Fortin, E. Morin, D. Blouin et H. Lapierre, 2005. *Détermination des paramètres des forêts aptes au régime du jardinage (phase I)*. Rapport 2005-04, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie, Sainte-Foy, 156 p.
- LIFE. 2004. Développement d'une gestion durable des futaies irrégulières feuillues en Franche-Comté. CD-ROM. Office Nationale des Forêts, France.
- Majcen, Z. 1994. Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec. *Rev. For. Fr.* XLVI: 375-384.
- Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier. 1990. Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide Technique. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources (Forêts), Direction de la Recherche Forestière et du développement. Service de la recherche appliquée. Mémoire n° 96. 96 p.
- Mason, B, G. Kerr et J. Simpson. 1999. What is Continuous Cover Forestry? Forestry Commission, Information Note, October 1999.
- Mathews, J. D. 1989. *Silvicultural systems*. Oxford Science Publications. Oxford University Press, Oxford, UK. 284 p.
- Miller, G. W. et H. C. Smith. 1991. Comparing partial cutting practices in Central Appalachian hardwoods. *Pages* 105-119 in *Proceeding of the 8th Central Hardwood Forest Conference*.
- MRNQ 2002a. Effets réels en forêt feuillue. Document interne du MRNQ.
- MRNQ 2002b. Plan d'action pour l'amélioration de l'aménagement des forêts feuillues du domaine de l'État. Communiqué de presse du MRN du Québec, 11 décembre 2002.
- Nolet P. et P. Sabbagh. 2001. Un guide sylvicole pour les forêts feuillues de l'Outaouais: AS, l'Aide sylviculteur. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique. 35 p.
- Niese, J. N., T. F. Strong et G. G. Erdmann. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. II. Economic evaluation. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1180-1188.
- Nolet, P., Doyon, F. et P. Sabbagh. 2005. *La sylviculture par objectifs. Guide pratique*. Association forestière des Cantons de l'Est, éd., Sherbrooke, Canada. ISBN 2-9807894-2-9. 28p.
- Nolet, P., M. Riopel, R. Marois, A. Stinson, D. Burgess, A. Gingras, D. Bouillon, R. Pouliot et F. Doyon. (En cours). *Essais expérimentaux de la sylviculture-par-objectifs applicables aux peuplements de feuillus de l'Ouest du Québec et l'Est de l'Ontario. Simulation des traitements à l'aide de COHORTE*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique.
- O'Hara, K. L. 2002. The historical development of uneven-aged silviculture in north America. *Forestry* 75(4): 339-346.
- Pacala, S. W.; Canham, C. D. et Silander, J. A. Jr. Forest models defined by field measurements: I. The design of a northeastern forest simulator. *Can. J. For. Res.* 1993; 23: 1980-1988.

- Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132:259-279.
- Pommerening, A. et S.T. Murphy. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77(1):27-44.
- Sabbagh, P., P. Nolet, F. Doyon, J-F. Talbot. 2002. Classification et caractérisation des forêts dégradées de l'Outaouais. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique. 112 p.
- Schütz, J. P. 1990. *Sylviculture 1: Principes d'éducation des forêts*. Les Presses Universitaires Romandes, Lauzanne. 243 p.
- Schütz, J. P. 1997. *Sylviculture 2: La Gestion des forêts irrégulières et mélangées*. Les Presses Universitaires Romandes, Lauzanne. 178 p.
- Schütz, J. P. 2002. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forestry* 75(4):329-337.
- Sims, D. H. 1992. The two-aged stand. A management alternative. USDA For. Serv. Cooperative Forestry. Technology Update. Southern region. Management Bulletin R8-MB 61. 2 p.
- Smith, H. C. 1978. An evaluation of four uneven-age cutting practices in Central Appalachian hardwoods. *Southern Journal of Applied Forestry* 6:193-200.
- SPSS inc., 1999. SPSS for windows, Release 10.0.5.
- Strong, T. F., J. N. Niese et G. G. Erdmann. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. I. Tree quality. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1173-1179.
- Van Damme, M. 1999. Typologie des peuplements feuillus irréguliers de Franche-Comté. Document scientifique de la Société Forestière de Franche-Comté.
- Wiemann, M. C., T. M. Schuler et J. E. Baumgras. 2004. Effects of uneven-aged and diameter-limit management on West Virginia tree and wood quality. USDA For. Serv. Forest Products Laboratory, Reaserch Paper FPL-RP-621. Madison, WI. 16 p.