

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

ANALYSES MULTI-ÉCHELLES DU PHÉNOMÈNE D'ENFEUILLEMENT
DU COUVERT FORESTIER DE LA RÉGION DE L'ABITIBI

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE EXTENSIONNÉE DE
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PAR
SIMON LAQUERRE

JUIN 2007

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été possible grâce au financement du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable. Je remercie mon directeur Alain Leduc pour sa patience, sa disponibilité et ses judicieux conseils. Merci également à mon co-directeur Brian Harvey qui m'a convaincu d'embarquer dans cette belle aventure de trois ans et qui m'a initié à la recherche en biologie forestière. Merci à Jean Noël, Georges Pelletier, Michel Chabot et Pierre Grondin qui nous ont permis d'avoir accès aux bases SIFORT. Je suis également reconnaissant envers le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) et à Tembec Inc. pour les prêts de photographies aériennes. Merci à Annie Belleau, Suzanne Brais et Daniel Lessieur pour les conseils et l'aide apportée dans la gestion de base de données. Merci à Marie-Hélène Longpré pour son soutien technique et administratif. Finalement, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Jonathan Gagnon pour sa camaraderie, sa bonne humeur et son aide sur le terrain.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
RÉSUMÉ DU MÉMOIRE.....	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I : AUGMENTATION DU COUVERT EN PEUPLIER FAUX-TREMBLE DANS LES PESSIÈRES NOIRES DU NORD-OUEST DU QUÉBEC SUITE À LA COUPE TOTALE.	7
1.1. Résumé.....	8
1.2. Introduction	9
1.3. Matériel et méthode	11
1.3.1. Site d'étude.....	11
1.3.2. Bases de données SIFORT	13
1.3.3. Analyses SIFORT	14
1.3.4. Analyses statistiques	18
1.4. Résultats	19
1.4.1. Coupes totales précédant le premier inventaire décennal	19
1.4.2. Coupes totales réalisées entre le premier et le troisième inventaire décennal	22
1.5. Discussion	31
1.5.1. Phénomène d'enfeuillage : effet de la région écologique et du dépôt/drainage	31
1.5.2. Vitesse de développement de la strate de retour	32
1.5.3. Rajeunissement du couvert forestier.....	33
1.6. Conclusion.....	35
1.7. Remerciements	36
1.8. Références	36
APPENDICE A.....	40

CHAPITRE II : ANALYSE SPATIALE DE LA RÉPONSE DES ÎLOTS DE PEUPLIERS FAUX-TREMBLES DANS LES PEUPLEMENTS D'ÉPINETTE NOIRE SUITE À LA COUPE TOTALE.....	49
2.1. Résumé.....	50
2.2. Introduction	51
2.3. Matériel et méthode	53
2.3.1. Site d'étude.....	53
2.3.2. Photo-interprétation.....	54
2.3.3. Analyses statistiques.....	59
2.3.4. Taille et persistance des îlots de peuplier faux-tremble.....	59
2.3.5. Plan d'échantillonnage terrain	60
2.3.6. Compilation des données.....	61
2.3.7. Analyses statistiques	62
2.4. Résultats	63
2.4.1. Transitions des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble.....	63
2.4.2. Taille et persistance des îlots de peuplier faux-tremble.....	71
2.4.3. Données de terrain	71
2.5. Discussion	74
2.5.1. Expansion des îlots de peuplier faux-tremble.....	74
2.5.2. Dépôts organiques et enfeuillage	76
2.5.3. Espèce de remplacement ou de succession	77
2.5.4. Implications pour l'aménagement des forêts	78
2.6. Conclusion.....	79
2.7. Remerciements	80
2.8. Références	80
APPENDICE A.....	86
CONCLUSION GÉNÉRALE	91
LISTE DES RÉFÉRENCES	95

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1. Site d'étude.	11
1.2. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/ drainage (coupes totales précédant le 1 ^{er} inventaire décennal). Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciaire; Org= organique; *= significatif selon Neu <i>et al.</i> (1974); ↑= plus de 100%.	20
1.3. Déviance d'une distribution espérée : enfeuillage par peuplier faux- tremble vs dépôt/drainage (coupes totales précédant le 1 ^{er} inventaire décennal). Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciaire; Org= organique; *= significatif selon Neu <i>et al.</i> (1974).	21
1.4. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs temps écoulé depuis la coupe (coupes totales réalisées entre le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} inventaire décennal). Note : *= significatif selon Neu <i>et al.</i> (1974).	23
1.5. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/ drainage (jeunes coupes totales de 1 à 12 ans réalisées entre le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} inventaire décennal). Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciaire; Org= organique; *= significatif selon Neu <i>et al.</i> (1974); ↑= plus de 100%.	25
1.6. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/ drainage (coupes totales d'âge intermédiaire de 14 à 19 ans réalisées entre le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} inventaire décennal). Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciaire; Org= organique; *= significatif selon Neu <i>et</i> <i>al.</i> (1974); ↑= plus de 100%.	26

Figure	Page
1.7. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/ drainage (vieilles coupes totales de 20 ans et plus réalisées entre le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} inventaire décennal). Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciare; Org= organique; *= significatif selon Neu <i>et al.</i> (1974); ↑= plus de 100%.	27
1.8. Déviance d'une distribution espérée : enfeuillage par peuplier faux- tremble vs dépôt/drainage (coupes totales réalisées entre le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} décennal). Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciare; Org= organique; *= significatif selon Neu <i>et al.</i> (1974); ↑= plus de 100%.....	29
2.1. Sites d'étude.....	53
2.2. Schéma de l'échantillonnage terrain (virée, grappes et placettes).....	61
2.3. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à une coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe.....	64
2.4. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à la coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe - comparaison des hausses, baisses et inchangées.	65
2.5. Augmentation des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe - hausses vs non-hausses (baisses et stables).....	65
2.6. Diminution des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe - baisses vs non-baisses (hausses et stables).....	66
2.7. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à une coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe.....	68

Figure	Page
2.8. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à une coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe - comparaison des hausses, baisses et inchangées.	69
2.9. Augmentation des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe - hausses vs non-hausses (baisses et stables).	69
2.10. Diminution des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe - baisses vs non-baisses (hausses et stables).....	70
2.11. Fréquence des grappes présentant un bon coefficient de distribution (CD) en fonction de l'épaisseur de la matière organique.	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1. Information sur les photographies aériennes (panchromatiques noir et blanc)	57
2.2. Classes de recouvrement en peuplier faux-tremble.....	58

RÉSUMÉ DU MÉMOIRE

En forêt boréale, sur la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec, on reconnaît que l'introduction des activités anthropiques a mené à une transition de peuplements résineux en peuplements mixtes et feuillus. Cette augmentation de la proportion de feuillus de lumière par rapport aux peuplements d'origine se nomme enfeuillage. Les industriels de la région dépendant d'un approvisionnement en résineux sont particulièrement préoccupés face à la prolifération du peuplier faux-tremble. Le but de cette étude vise à caractériser l'importance et l'étendue du processus d'enfeuillage par le peuplier faux-tremble des pessières noires pour la portion de la grande ceinture d'argile soumise à l'aménagement forestier. Pour se faire, deux approches ont été employées. Dans un premier temps, la base de données « SIFORT » contenant les données cartographiques des trois programmes d'inventaire décennal du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec a été utilisée. Les analyses ont permis de dresser pour les régions écologiques 5a de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest et 6a de la pessière à mousses de l'ouest, un bilan des transformations qu'a subi le couvert forestier sous l'influence de la coupe totale au cours des 30 dernières années. Dans un deuxième temps, des photographies aériennes remontant jusqu'aux années 1970 ont été interprétées afin d'évaluer le pourcentage de peupliers faux-tremble dans des pessières noires sur argile mésique avant et après coupe totale. Une collecte de données sur le terrain a été réalisée afin de valider les observations photos et de recueillir des informations sur le coefficient de distribution des tiges et l'épaisseur de la matière organique. Les résultats des analyses SIFORT montrent que les stations fertiles avec un drainage modéré à imparfait sont les premières à voir émerger une régénération arborescente. Les argiles mésiques s'avèrent être particulièrement susceptibles à un enfeuillage par le peuplier faux-tremble. De plus, la région 6a apparaît moins propice à un enfeuillage que la région 5a, vraisemblablement en raison de son abondance de milieux humides et organiques qui freine la propagation du peuplier faux-tremble. Les résultats de la photo-interprétation et de la validation terrain indiquent que les îlots de peuplier faux-tremble contenus dans les pessières à épinette noire sur argile mésique gagnent en densité et en superficie suite à la coupe totale. Les îlots augmentent habituellement d'une classe de recouvrement à la fois, ce qui suggère un phénomène d'enfeuillage allant en s'aggravant si les conditions édaphiques le permettent. Cependant, la pessière pure (0% de peuplier) est relativement réfractaire à l'enfeuillage et les dépôts organiques apparaissent limiter l'intrusion du peuplier. Finalement, le peuplier n'apparaît pas constituer une menace pour la pérennité de l'épinette noire. Sa présence historique dans la composition de la mosaïque forestière de la région apparaît davantage lui conférer le statut d'espèce de succession.

Mots clés :

peuplier faux-tremble, pessière noire, coupe totale, enfeuillage, SIFORT, photographies aériennes

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Historiquement, les régimes de perturbations naturelles (feux et épidémies) ont façonné la composition et la structure des mosaïques forestières boréales (Bergeron *et al.*, 2001). Cependant, depuis quelques décennies, l'exploitation forestière a supplanté le feu comme principal agent perturbateur dans la partie sud de la forêt boréale (Brumelis et Carleton, 1989; Johnson *et al.*, 2003). Les pratiques sylvicoles actuelles, orientées vers des coupes industrielles de courtes révolutions, mène à une homogénéisation des paysages, à l'augmentation de peuplements de structures régulières et à des problèmes divers en regard de la composition forestière (Drapeau *et al.*, 2000; Grondin *et al.*, 2003b). À long terme, ces actions anthropiques ont notamment pour conséquence d'augmenter considérablement la proportion de forêts feuillues pionnières dans le paysage (Déry, 1995; Archambault *et al.*, 1998). Cet accroissement de la proportion de décidus par rapport au peuplement d'origine est désigné sous le terme « enfeuilletement ». Il s'agit d'un phénomène perceptible à l'échelle d'un peuplement ou encore à l'échelle régionale et qui regroupe des essences arborescentes et arbustives feuillues de début de succession, telles le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), l'aulne rugueux (*Alnus rugosa* (DuRoi) Spreng.) et l'érable à épis (*Acer spicatum* Lamb.) (Grondin *et al.*, 2003a).

Au Canada, la transition de la forêt boréale aménagée en couvert de peupliers faux-trembles est le type d'enfeuilletement le plus fréquemment abordé dans la littérature scientifique. Que ce soit dans les prairies de l'Ouest (Bella, 1986; Campbell *et al.*, 1994; Weir et Johnson, 1998; Murray et Kenkel, 2001), dans la grande ceinture argileuse de l'Ontario et du Québec (Carleton et Maycock, 1978; Brumelis et Carleton, 1988; Harvey et Bergeron, 1989; Carleton et MacLellan, 1994; Drapeau *et al.*, 2000; Lefort *et al.*, 2003) ou encore en Gaspésie (Fortin, 1999; Fortin et Gagnon, 2001).

Le peuplier faux-tremble est une espèce importante autant du point de vue écologique qu'économique en raison de sa vaste aire de distribution, de sa variabilité génétique et de sa croissance rapide (Barnes, 1966). Selon Perala (1990), il s'agit de l'essence arborescente ayant la plus grande étendue spatiale en Amérique du Nord. Qualifié d'espèce pionnière intolérante à l'ombre (Dix et Swan, 1971), le peuplier faux-tremble atteint généralement une hauteur variant de 13 à 20 m et un diamètre de 20 à 25 cm (Jobidon, 1995). Sa longévité varie d'une région à l'autre. Certains arbres peuvent atteindre l'âge de 200 ans à l'ouest du continent nord-américain, alors que près des Grands lacs les peupliers faux-trembles dépassant les 60 ans se détériorent rapidement (Jobidon, 1995). Lorsque soumis à la compétition, le peuplier faux-tremble développe un tronc allongé et élagué avec une petite couronne arrondie. Dans les forêts anciennes, il est plutôt dispersé (Harlow *et al.*, 1968; Bergeron, 2000). Bien que le peuplier faux-tremble croisse sur les sols de toute texture, on le retrouve en abondance sur les dépôts riches, fins et bien drainés (Brumelis et Carleton, 1988 ; Chen *et al.*, 2002).

Le peuplier faux-tremble a deux modes de reproduction: par graines et par drageons (Stoeckeler et Macon, 1956). Il commence à produire des semences entre 10 et 20 ans. Un individu peut libérer jusqu'à 1.6 millions de graines en une année (Jobidon, 1995). L'établissement par semence est cependant peu fréquent, car les conditions idéales de germination (humidité et exposition de la surface minérale) sont rarement rencontrées (Barnes, 1966; Brown et DeByle, 1987; Doucet, 1989). Selon la littérature, le principal mode de reproduction du peuplier faux-tremble est le drageonnement suite à une perturbation (Schier, 1973; Fraser *et al.*, 2004). La reproduction par drageons est stimulée par le brassage du sol et par la chaleur une fois la dominance apicale rompue, c'est-à-dire lors de la mortalité de l'arbre mère (Steneker, 1974; Doucet, 1989; Perala, 1990; Peterson et Peterson, 1992).

Le peuplier faux-tremble est une espèce adaptée à un environnement où le feu est récurrent (Brown et DeByle, 1987; Dansereau et Bergeron, 1993). Après le passage

d'un feu en forêt boréale, le peuplier faux-tremble occupent de grandes superficies et devient une espèce dominante (Bergeron et Dubuc, 1989; Paré *et al.*, 1993). Sa forte densité ainsi que sa croissance rapide limitent la croissance des résineux en sous couvert (Harvey et Bergeron, 1989; Frey *et al.*, 2003). Toutefois, cet avantage qu'a le peuplier faux-tremble sur les résineux est temporaire, car une auto-éclaircie se produit graduellement dans le peuplement. En l'absence de feu, la courte durée de vie de cette essence feuillue et son intolérance à l'ombre mènerait à un accroissement progressif de la dominance des résineux à travers le temps (Bartos et Mueggler, 1982; Greene et Johnson, 1999; Bergeron, 2000). À cet égard, Gauthier *et al.* (1996), Bergeron (1998) et Harvey *et al.* (2002) notent que la présence des essences pionnières dans le paysage naturel de la forêt boréale diminue de manière importante plus de 100 ans après feu. Lorsque l'intervalle entre deux feux est court, il est possible qu'un couvert de peupliers faux-trembles se maintienne longtemps dans le paysage (Noël, 2001; Johnstone et Chapin, 2006). Toutefois, il apparaît qu'un court cycle de feu ne caractérise que certaines régions de la forêt boréale et que la fréquence des feux, à l'est du Canada, tend plutôt à diminuer depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (Bergeron *et al.*, 2001; 2004).

De façon analogue au régime de feu naturel, certaines perturbations anthropiques favoriseraient également l'enfeuillement par le peuplier faux-tremble. À cet effet, Weir et Johnson (1998) et Lefort *et al.* (2003) notent que la transition de peuplements résineux en peuplements mixtes et feuillus s'explique avant tout par l'augmentation de la fréquence des perturbations humaines sous la colonisation agricole du Canada. Les auteurs ont démontré que dans la frange sud de la forêt boréale, l'interaction de la coupe et des feux échappés lors de défrichements agricoles adjacents aurait accru la quantité d'espèces feuillues de lumière, en particulier le peuplier faux-tremble.

Dans la région de la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec, la colonisation agricole a débuté vers 1912, lors de l'entrée en fonction de la voie

ferrée du Transcontinental (Vincent *et al.*, 1995). À cette époque, on défrichait pour faire place à l'agriculture, mais aussi pour vendre du bois aux usines (Blanchard, 1954). La vente fort rémunératrice du bois de pulpe des défrichements représentait la principale source de revenus du colon (Dugué, 1917; Randall, 1937). L'industrie réclamait particulièrement de l'épinette (Blanchard, 1954). Le défrichement intensif de la forêt autour des localités agricoles combiné aux nombreux brûlages d'abatis a eu pour conséquence de modifier profondément le paysage de la zone habitée. En coupant presque uniquement des résineux et en laissant sur pied un nombre significatif de peupliers faux-trembles, considéré à l'époque comme une essence ayant une faible valeur commerciale, le retour d'une forte régénération feuillue a été favorisé (Weir et Johnson, 1998; Lefort *et al.*, 2003). Aujourd'hui, les peuplements décidus dominant le paysage rural de la région. Les terres en friche ont été recolonisées massivement par le peuplier faux-tremble, mais également par l'aulne, le saule, le bouleau et le peuplier baumier (Randall, 1937; MacLean et Bedell, 1959; McDermott, 1961; Richard, 1980; Lefort *et al.*, 2003). La régénération en résineux est absente des sous-bois en raison de l'élimination des semenciers. Ce patron est représentatif de toute la portion agricole de la grande ceinture d'argile (Drapeau *et al.*, 2000).

En paysage forestier aménagé, l'enfeuillement de forêts de résineux par le peuplier faux-tremble est plus récent. Avant l'apparition des premières coupes à blanc dans les années 1970, la coupe forestière était surtout caractérisée par la récolte des plus gros individus (Perron, 1989; Lefort, 1998). L'exploitation forestière à l'aide de chevaux créait des conditions propices au maintien des espèces résineuses présentes avant coupe. Par contre, les travaux menés par Carleton et MacLellan (1994) sur la grande ceinture d'argile démontrent que le passage d'une foresterie artisanale à une foresterie industrialisée a accru la proportion de feuillus dans le paysage. Les opérations mécanisées ont eu pour effet d'avantager les espèces à croissance rapide au détriment de l'épinette noire, en créant des microsites favorables à la germination des semis de feuillus (Brumelis et Carleton, 1988). De

plus, tel qu'observé en milieu rural, plusieurs peupliers faux-trembles vivants ont été laissés debout au cours des premières années d'exploitation en raison de leur faible valeur marchande (Harvey et Bergeron, 1989; Harvey *et al.*, 1995; Carleton, 2000).

Drapeau *et al.* (2000) croient que cette forte proportion de forêts feuillues risque de persister dans le paysage en raison des révolution de coupe généralement plus courte (entre 50 et 70 ans) que le cycle de feu (>100 ans) (Bergeron, 1991; Dansereau et Bergeron, 1993; Gauthier *et al.*, 1996; Bergeron et Harvey, 1997). Les patrons de succession qui mènent à la forêt mixte et résineuse se trouvent donc tronqués. Gagnon *et al.* (1998), Fortin (1999) et Fortin et Gagnon (2001) abondent en le même sens et affirment que sous les conditions actuelles, le peuplier faux-tremble mérite davantage le statut d'espèce en expansion que celui d'espèce de transition. Ils mettent en doute la théorie de la succession végétale et croient plutôt que les espèces pionnières peuvent persister dans le paysage (dynamique cyclique). Ils soulèvent même la possibilité d'un remplacement irréversible de l'épinette noire par le peuplier faux-tremble.

L'enfeuillage par le peuplier faux-tremble est fortement lié au type de perturbation, à l'équipement utilisé, à la fréquence des interventions, à la composition forestière avant coupe, aux caractéristiques du milieu physique, à la quantité de bois coupé versus le nombre d'arbres laissés debout et à la saison de coupe (Bella, 1986; Carleton et MacLellan, 1994; Grondin *et al.*, 2003b). Selon Fortin et Gagnon (2001), la construction de routes est également un facteur de propagation important. Ces auteurs ont en effet noté un phénomène d'expansion linéaire du peuplier faux-tremble en bordure des chemins.

L'atteinte d'une proportion de feuillus de lumière qui excède celle généralement observée dans des territoires naturels est perçue comme inquiétante par les industriels dépendant d'un approvisionnement en épinette. Selon Prévost *et al.*, (2003), en raison de la structure industrielle québécoise qui est axée sur

l'exploitation des résineux, des scénarios sylvicoles doivent être développées pour permettre de maintenir les superficies couvertes par les résineux et même de les augmenter.

Dans ce projet, l'importance et l'étendue du processus d'enfeuillage des pessières noires de la grande ceinture d'argile du Nord-Ouest du Québec seront documentées par deux approches. Dans un premier temps, à partir des bases de données SIFORT et dans un deuxième temps, à l'aide de photographies aériennes et d'un échantillonnage sur le terrain. Les transitions de compositions forestières et la distribution des peupliers faux-trembles seront caractérisées avant et après coupe totale sur une échelle temporelle de 30 ans. L'analyse des bases de données SIFORT permettra de mettre en lumière le phénomène de l'enfeuillage par le peuplier faux-tremble à une échelle régionale (régions écologiques 5a - Sapinière à bouleau blanc de l'ouest et 6a - Pessière à mousses de l'ouest), tandis que l'interprétation des photographies aériennes ainsi que la cueillette de données en forêt documenteront le phénomène à l'échelle du peuplement.

**CHAPITRE I : AUGMENTATION DU COUVERT EN PEUPLIER FAUX-TREMBLE
DANS LES PESSIÈRES NOIRES DU NORD-OUEST DU QUÉBEC SUITE À LA
COUPE TOTALE.**

Simon Laquerre, Alain Leduc et Brian Harvey

Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda, Québec

1.1. Résumé

En forêt boréale, dans la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec, on reconnaît que l'aménagement forestier a mené à une transition de peuplements résineux en peuplements mixtes et feuillus. Cette augmentation de la proportion de feuillus de lumière par rapport aux peuplements d'origine se nomme enfeuilletement. En milieu naturel, le peuplier faux-tremble se régénère vigoureusement après le passage d'un feu par la production de nombreux drageons. De façon semblable, la coupe forestière favoriserait aussi sa prolifération. L'objectif de cette étude est de caractériser l'augmentation de couvert de peupliers faux-trembles après coupe pour les régions écologiques 5a de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest et 6a de la pessière à mousses de l'ouest. Les données du système d'information forestière par tesselle (SIFORT), issues des informations cartographiques des trois programmes d'inventaire décennal (1970, 1980 et 1990) du MRNF, ont été utilisées. L'analyse de ces données a permis de dresser pour les régions 5a et 6a, un bilan des transformations qu'a subi le couvert forestier sous l'influence de la coupe au cours des 30 dernières années. Les tesselles retenues aux fins d'analyses répondaient aux critères suivants: (1) ayant un couvert d'origine principalement composé d'épinettes noires; (2) ayant fait l'objet d'une coupe totale entre le 1^{er} et le 3^{ème} inventaire décennal, sans aucun traitement sylvicole subséquent; (3) ayant un couvert de retour apparaissant sur les cartes du 3^{ème} inventaire décennal permettant ainsi de connaître la composition forestière après coupe. L'échantillon ainsi constitué a permis d'évaluer le phénomène d'enfeuilletement par le peuplier faux-tremble en fonction du temps écoulé depuis la coupe, du dépôt/drainage et de la région écologique. Les résultats montrent que les coupes totales de moins de 14 ans sont encore trop jeunes pour qu'on puisse caractériser leurs strates de retour à l'aide de SIFORT. Les coupes de 12 à 19 ans sont avant tout caractérisées par des strates d'appellation générique : couverts feuillu, mixte ou résineux. La strate arborescente se manifeste principalement dans les coupes de plus de 20 ans. Les stations fertiles ou avec un drainage modéré à imparfait sont les premières à voir émerger une régénération arborescente. De plus, les argiles mésiques sont particulièrement susceptibles à un enfeuilletement par le peuplier faux-tremble. Par conséquent, sur cette combinaison de dépôt/drainage la pessière à épinettes noires devrait faire l'objet de pratiques d'aménagement adaptées pour limiter l'augmentation de la composante feuillue. Finalement, la région 6a apparaît moins propice à un enfeuilletement, vraisemblablement en raison de l'abondance de ses milieux humides et organiques qui freine la prolifération du peuplier faux-tremble.

1.2. Introduction

Le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) est une des espèces arborescentes les plus communes des forêts tempérée et boréale d'Amérique du Nord (Chen *et al.*, 2002). À l'intérieur de son aire de distribution, il se retrouve sous des conditions de régime thermique et de précipitation fort variées : depuis l'Alaska jusqu'à Terre-Neuve et vers le sud, jusqu'en Ohio et en Arizona (Jobidon, 1995). Au Québec, Grondin *et al.*, (2003a) ont noté que la proportion de peuplements feuillus de lumière (peuplier faux-tremble et bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.)) est naturellement plus grande dans la forêt boréale de l'ouest (sapinière et pessière) que dans la forêt boréale de l'est de la province. Cette différence s'expliquerait par un allongement du cycle de feu (donc plus de vieilles forêts) et une augmentation des précipitations de l'ouest vers l'est.

Dans la forêt boréale du Nord-Ouest du Québec, la dynamique naturelle (feux et épidémies) conduit à des mosaïques forestières où s'entremêlent des pessières noires pures, des pessières noires ponctuées de peupliers faux-trembles et des îlots de peupliers faux-trembles de dimensions fort variables (Grondin *et al.*, 2003a). Cependant, depuis quelques décennies, la colonisation du territoire et l'aménagement forestier ont considérablement changé la composition de la forêt boréale de cette région. Le morcellement anthropique du paysage par les feux d'origine humaine, les routes, les champs agricoles et les aires de coupe a entraîné une augmentation de la proportion des forêts de feuillus pionniers (Drapeau *et al.*, 2000; Lefort *et al.*, 2003).

Selon Bergeron *et al.* (2002), à long terme, ces perturbations anthropiques rajeunissent passablement la mosaïque forestière, ce qui entraîne une augmentation de la proportion de jeunes forêts et diminue considérablement l'importance régionale des vieilles forêts. Grondin *et al.* (2003a) soulève même la possibilité que sous l'effet des coupes forestières en progression, l'enfeuillement par le peuplier faux-tremble

risque de se poursuivre dans des territoires beaucoup plus nordiques et de conduire à un empiètement du domaine bioclimatique de la sapinière sur celui de la pessière.

Le but de cette étude est de déterminer l'ampleur du phénomène de conversion des peuplements résineux en peuplements mélangés ou feuillus de peuplier faux-tremble suite à la coupe totale dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses de l'ouest du Québec sur une échelle de 30 ans. D'après Grondin *et al.* (2003a), les régions écologiques 5a (Plaine de l'Abitibi) et 6a (Plaine du lac Matagami) sont des territoires particulièrement vulnérables à l'enfeuillement en raison de la prépondérance des dépôts argileux. De plus, selon Gauthier *et al.* (2000), l'établissement des essences tolérantes à l'ombre après le passage d'un feu est plus important dans la région 6a que dans la région 5a. Cette différence serait due à l'abondance des dépôts organiques de la région 6a qui contribue à maintenir l'épinette noire dans le paysage. Comme première hypothèse, on s'attend donc à observer un plus haut taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble dans la région 5a que dans la région 6a.

Le peuplier faux-tremble est particulièrement sensible aux conditions de dépôt et de drainage sur lesquelles il se trouve. Brumelis et Carleton (1988) et Chen *et al.* (2002) notent qu'après coupe, le peuplier faux-tremble est fréquemment rencontré sur sites bien drainés. Selon Harvey *et al.* (1995), Lefort *et al.* (2002) et Grondin *et al.* (2003a), le peuplier faux-tremble montre une agressivité particulière à se propager sur dépôts fins tels les argiles. À l'inverse, l'importance des dépôts organiques contribue principalement à l'augmentation de l'épinette noire dans le paysage (Lecomte et Bergeron, 2005). Nous posons comme deuxième hypothèse que les sites mésiques (particulièrement les argiles) sont plus sensibles à l'enfeuillement par le peuplier faux-tremble que les sites subhydriques ou hydriques.

Cette étude a été réalisée à l'aide de SIFORT (*Système d'Information Forestière par Tesselles*), un outil qui permet des analyses spatio-temporelles de données

descriptives issues de la compilation des cartes écoforestières du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF).

1.3. Matériel et méthode

1.3.1. Site d'étude

La région à l'étude (Figure 1.1) est localisée entre les basses terres de la baie de James et le bassin de l'Outaouais, sur la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec. Il s'agit d'une vaste plaine d'argile située à environ 300 mètres d'altitude, qui s'incline doucement vers la baie de James et dont les sédiments glaciolacustres constituent les vestiges de l'ancien lac proglaciaire Ojibway (Vincent et Hardy, 1977). La végétation de l'aire étudiée est incluse dans les domaines de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses.

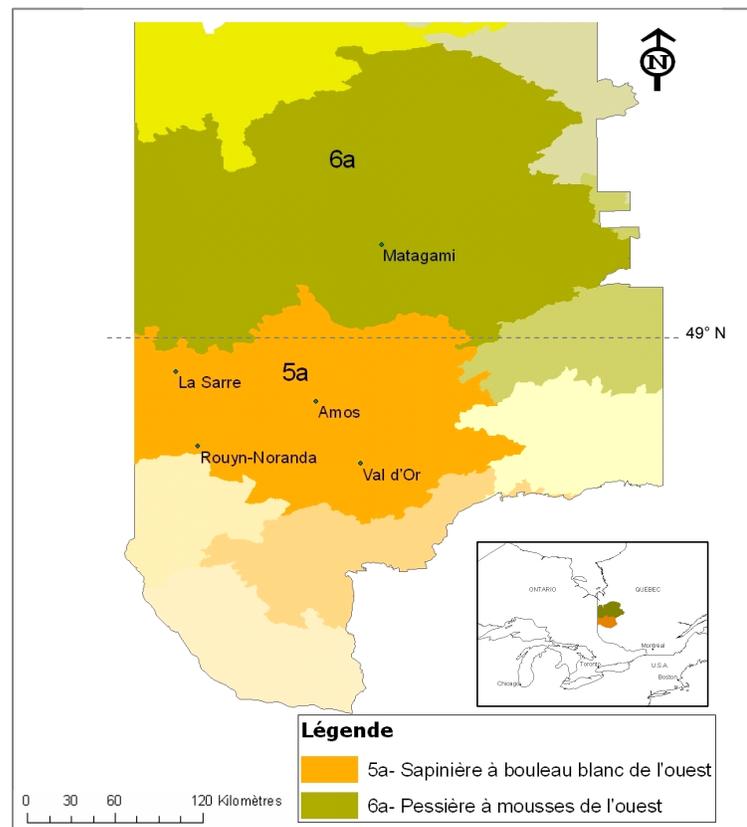


Figure 1.1. Site d'étude.

Le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest compose la partie sud de l'aire d'étude. Ce territoire, localisé entre 48° N et 49° N, est dominé par le peuplier faux-tremble, le bouleau blanc et le sapin baumier (Grondin *et al.*, 1998). La région écologique 5a, qui correspond à la Plaine de l'Abitibi, constitue la partie occidentale de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest et couvre une superficie de 26 895 km² (Grondin *et al.*, 1998). Le relief est ondulé dans la partie sud et plat dans la partie nord (Gauthier *et al.*, 2000). Les dépôts d'argiles glaciolacustres sont omniprésents. La température moyenne annuelle est de 1° C. La saison de croissance est de l'ordre de 160 jours et les précipitations totales annuelles sont de 800 à 900 mm (Grondin *et al.*, 1998). Ce territoire est sous l'influence des activités de colonisation (défrichement, agriculture, exploitations forestière et minière, construction d'infrastructures de transport et urbanisation) depuis le début des années 1910.

Dominé par des couverts résineux d'épinette noire, de sapin et de pin gris, le sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest est compris entre le 48° 37' N et le 52° N (Bergeron *et al.*, 1998). La région écologique 6a correspond à la partie sud-ouest de la pessière à mousses de l'ouest. Elle couvre une superficie de 49 099 km². Le relief est plat et les tourbières, les lacs et les rivières y abondent. Les dépôts de surface, essentiellement de textures fines, sont caractéristiques de la grande ceinture argileuse. Toutefois, dans la portion nord de la région, les sédiments sont constitués d'argile caillouteuse résultant de la récurrence du glacier Cochrane sur l'argile du lac Ojibway (Hardy, 1977). La température moyenne annuelle est de 0 à -2.5° C. La saison de croissance est d'environ 150 jours et les précipitations totales annuelles sont de 700 à 800 mm (Robitaille et Saucier, 1998). Depuis le début des années 1930, la partie sud de ce territoire est sous l'influence d'activités anthropiques liées à la colonisation. La partie nord est caractérisée par une exploitation forestière industrielle depuis les années 1970.

Selon Bergeron *et al.* (2004), la transition de la région 5a à la région 6a est principalement contrôlée par la dimension et la sévérité des feux. Dans la région 5a, l'abondance des essences feuillues, la présence de nombreux plans d'eau et la fragmentation du paysage par les routes et les terres agricoles agissent comme coupe-feu et contribuent à réduire la dimension et la sévérité des feux. À l'inverse, la région 6a est caractérisée par des feux intenses et de grandes superficies.

1.3.2. Bases de données SIFORT

Le Système d'Information Forestière par Tesselle (SIFORT) est une géobase qui a été développée par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) en partenariat avec la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) et la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM). Il s'agit d'un système de représentation cartographique dans lequel le territoire forestier du Québec est découpé en une mosaïque de polygones rectangulaires désignés sous le nom de tesselles. Chaque tesselle représente 15 minutes de latitude sur 15 minutes de longitude, ce qui équivaut à une superficie moyenne de 14 hectares (Pelletier *et al.*, 2001). L'information des tesselles s'obtient par attribution de la donnée forestière en son centre, à partir de la compilation des données des cartes écoforestières du MRNF. La donnée forestière regroupe le type de couvert, le groupement d'essence, les classes de densité, de hauteur et d'âge ainsi que des informations relatives à l'historique des peuplements, aux interventions forestières et aux perturbations naturelles. On retrouve également des données du milieu physique soit, le type de dépôt de surface et la classe de drainage. Le système de représentation cartographique couvre la totalité du territoire forestier, qu'il soit productif ou improductif, mais aussi les territoires non forestiers.

Tout comme les mises à jour cartographiques, l'acquisition des données SIFORT a été répétée à trois reprises, pratiquement à tous les dix ans, soit pour les inventaires décennaux 1970, 1980 et 1990. Étant donné que l'information contenue dans

SIFORT provient originellement de la photo-interprétation (élaboration de cartes écoforestières), la composition du sous-étage forestier ne peut être connue. De plus, il subsiste un risque d'erreur dans l'identification de la strate de retour (couvert forestier émergeant suite à la coupe).

L'avantage de SIFORT est sa capacité à décrire des changements dans le couvert forestier sur de vastes territoires et à plus ou moins long terme (moins de 30 ans). Par sa structure hybride des modes vectoriel et matriciel, SIFORT perd toutefois de la précision au niveau des contours des polygones forestiers originaux réduisant ainsi la résolution du couvert végétal (Pelletier *et al.*, 1996).

1.3.3. Analyses SIFORT

En premier lieu, une population de départ a été circonscrite à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute inc., 1988) à même l'ensemble des tesselles contenues dans SIFORT. Toutes les tesselles situées dans les régions 5a et 6a ayant subi une coupe totale (ct) ont été sélectionnées. Les tesselles qui ont subi une coupe avec protection de la régénération (cpr) ont été retirées du jeu de données en raison de leur trop petit effectif et de leur historique encore trop récent (l'application de la cpr a débuté dans les années 1990). Les tesselles comportant des traitements sylvicoles (plantation, ensemencement, dégagement, éclaircie précommerciale) ont aussi été écartées. Par la suite, une base de données de la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) contenant des informations relatives à l'historique des incendies forestiers a été jumelée à SIFORT. Ces nouvelles informations ont permis de combler une lacune de la géobase de SIFORT en offrant un portrait beaucoup plus précis des feux de forêt. Les peuplements forestiers qui ont subi à la fois un feu et une coupe totale ont pu être écartés de l'analyse, éliminant ainsi les ambiguïtés quant à la perturbation d'origine.

Suite à ce filtrage de données, l'échantillon créé a été divisé en deux groupes. Le premier groupe de tesselles contient des peuplements coupés avant le premier inventaire décennal (antérieur à 1970). Leur composition d'origine et l'année de leur prélèvement sont inconnues. Toutefois, on peut supposer que leur composition d'origine était constituée principalement de pessières noires pures (ou à dominance résineuse) étant donné que l'essence recherchée par l'industrie à cette époque était essentiellement l'épinette noire (Blanchard, 1954; Perron, 1989). Pour l'ensemble de ces tesselles, la strate de retour suite à la coupe est identifiée sur la dernière mise à jour cartographique correspondant au troisième décennal (années 1990). Le second groupe de tesselles comprend les peuplements coupés entre le premier et le troisième inventaire décennal. Leur composition d'origine est connue et identifiée sur les cartes du premier décennal. Seules les tesselles dont la strate prélevée correspondait à des pessières noires ont été retenues, les autres types de peuplements prélevés ont été écartés du jeu de données en raison de leurs trop faibles effectifs.

1.3.3.1. Caractérisation de la strate de retour

Les cartes du troisième inventaire décennal ont été utilisées afin d'identifier la strate de retour. Les règles de nomenclature des groupements d'essences sont donc les mêmes que celles des cartes écoforestières actuelles. Les groupements d'essences décrivent la composition arborescente d'un peuplement déterminée par le pourcentage de la surface terrière respective des principales essences qui le compose. Ainsi, trois grands types de couverts forestiers peuvent être distingués: résineux (>75 % résineux), mélangé (26 à 74% résineux) et feuillu (<25% résineux) (Saucier, 1994). Généralement, les termes résineux, mélangé et feuillu sont utilisés lorsque le peuplement mesure moins de 7 mètres. Dépassé cette hauteur, des groupements d'essences sont désignés.

Le nombre de groupements d'essences forestières étant trop important (63), des regroupements ont été effectués afin de les réduire à 18 (Appendice A, tableaux A.1 et A.2). Ces regroupements ont été basés sur les séries évolutives de la sapinière, de la pessière et de la pinède.

Par la suite, ces mêmes regroupements d'essences ont été subdivisés en trois grands stades forestiers (Appendice A, tableau A.3). En premier lieu, le stade dénudé regroupe les terrains forestiers fraîchement récoltés ou encore devenus improductifs suite à la coupe. Comme nous avons pris soin d'écarter les feux de forêt à partir de la base de données de la SOPFEU, le fait de retrouver des brûlis (br) dans cette catégorie s'expliquerait par une erreur de photo-interprétation. L'origine de la régénération, trop basse pour être désignée, aurait été faussement attribuée au passage d'un feu récent. Toujours dans le stade dénudé, les coupes totales (ct) indiquent que la composition du couvert forestier n'est pas encore visible par photo-interprétation. En deuxième lieu, le stade arbustif regroupe les peuplements de moins de 7 mètres de hauteur ainsi que les feuillus non commerciaux (FNC) et les aulnaies. En troisième et dernier lieu, le stade arborescent représente les peuplements productifs de plus de 7 mètres de hauteur.

1.3.3.2. Dépôts et classes de drainage

Lors de la compilation des bases SIFORT, les dépôts de surface et les drainages ont été déterminés à l'aide des cartes écoforestières suivant la nomenclature du MRNF (Saucier, 1994). Dans l'ensemble des deux régions écologiques, 21 types de dépôts de surface, 6 catégories d'épaisseur de dépôt et 8 classes de drainage ont été répertoriés. Dans le cadre de cette étude, les dépôts, l'épaisseur des dépôts et les classes de drainage ont été combinés afin de diminuer le nombre de groupes et de simplifier les analyses (Appendice A, tableaux A.4, A.5, A.6 et A.7). Neuf types édaphiques ont été définis : argile mésique, argile subhydrique, till mésique, till subhydrique, sable mésique, sable subhydrique, dépôt fluvioglacière, dépôt

organique et roc. Un portrait général de la proportion de ces neuf types édaphiques pour chacune des régions écologiques a été réalisé à partir de la base SIFORT originelle (Appendice A, tableau A.8).

1.3.3.3. Temps écoulé depuis la coupe

Pour obtenir le temps écoulé depuis la coupe, une base de données compagne de SIFORT a été jointe à l'ensemble des tesselles afin d'afficher l'année précise de prise de photographies aériennes. Par l'ajout de ces informations, le temps écoulé depuis la coupe a été calculé en soustrayant l'année de coupe à l'année de prise de photographie aérienne du troisième décennal. Pour le groupe de tesselles dont les peuplements ont été coupés avant le premier décennal, l'année de coupe est inconnue. Par défaut, elles ont été classées 25 ans et plus puisque l'ensemble des coupes datent d'avant 1970 et que les photos aériennes du troisième décennal ont été prises après 1991.

En ce qui a trait aux coupes réalisées entre le premier et le troisième inventaire décennal, elles présentent un âge variant entre 1 et 28 ans. Toutefois, tout comme dans le premier décennal, un faible nombre de tesselles (correspondant aux anciennes coupes) ne présentent pas de spécification quant à l'année de coupe. Un âge de 25 ans et plus leur a été attribuées, car il s'agit vraisemblablement de vieilles coupes. Aux endroits où subsistaient des incertitudes quant au temps écoulé depuis la coupe, les tesselles ont été retirées de l'analyse.

À partir de l'échantillon des peuplements coupés entre le premier et le troisième inventaire décennal, un tableau de contingence croisant les variables « strate de retour » et « temps écoulé depuis la coupe » a été produit. Les résultats émanant des différences entre les fréquences observées et les fréquences attendues ont permis de dégager de nouvelles classes d'âge. Ces classes d'âge sont moins nombreuses, ce qui a permis d'augmenter les effectifs dans chacune de celles-ci.

Elles respectent les brisures dans les distributions des grandes strates structurales que constituent les stades dénudé, arbustif et arborescent. Elles prennent en partie appui sur des classes d'âge du MRNF: 1-7 ans; 8-11 ans; 12-14 ans; 15-19 ans; 20-22 ans; 23-24 ans et 25 ans et plus.

1.3.3.4. Taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble

La proportion de pessières noires qui présente du peuplier faux-tremble après coupe a été obtenue via la strate de retour des cartes du troisième inventaire décennal. Les stades dénudé et arbustif ont été exclus du calcul puisqu'à ces stades de croissance, la régénération est trop basse pour pouvoir détecter la présence du peuplier faux-tremble. Ce n'est donc qu'à partir de la classe arborescente que le taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble a été calculé. Pour ce faire, deux catégories ont été créées afin d'évaluer s'il y avait enfeuillement ou non (Appendice A, tableau A.9). Après coupe totale, si la pessière noire d'origine régénère en un groupement d'essence comportant du peuplier faux-tremble (peupleraie, peupleraie avec résineux ou résineux avec peupliers), c'est un cas d'enfeuillement. À l'inverse, il s'agit d'un cas de « non enfeuillement ». Le peuplier baumier a été inclus dans les cas d'enfeuillement étant donné que les données SIFORT ne permettent pas de différencier cette essence du peuplier faux-tremble. Les feuillus d'essences intolérantes (Fi) n'ont pas été classés comme un enfeuillement par le peuplier, car la proportion en bouleau blanc contenue dans ce groupement d'essence est inconnue et risque d'influencer les résultats.

1.3.4. Analyses statistiques

Dans le but d'analyser les deux échantillons issus des données SIFORT, des tableaux de contingence ont été produits à l'aide du chiffrier Excel. Les tableaux de contingence ont permis de questionner l'association entre les différentes variables catégorielles : strate de retour vs dépôts/drainages; strate de retour vs temps écoulé depuis la coupe; strate de retour vs régions écologiques. Les fréquences observées,

c'est-à-dire les données brutes se résumant au tableau de contingence, ont permis de calculer les fréquences attendues. La fréquence attendue (F_a) se définit comme :

$F_a =$ probabilité inconditionnelle de l'événement ligne (\sum_i / \sum_{ij}) * probabilité inconditionnelle de l'événement colonne (\sum_j / \sum_{ij}) * nombre total d'observation (\sum_{ij})

Cette formule se simplifie de manière à ce que : $F_a = \sum_i * \sum_j / \sum_{ij}$

À partir des résultats des fréquences attendues, des déviations ont été calculées comme suit : Déviance = (fréquence obs. - fréquence att.) / fréquence att.

Par la suite, la statistique d'écart de Neu *et al.* (1974) a permis de déterminer qu'elles étaient les déviations responsables de différences significatives.

1.4. Résultats

1.4.1. Coupes totales précédant le premier inventaire décennal

Pour l'ensemble des coupes précédant le premier inventaire décennal, le temps écoulé depuis la coupe est de plus 25 ans. Contrairement aux coupes totales réalisées entre le premier et le troisième inventaire décennal, nous n'avons pas réalisé d'histogramme présentant la dynamique de développement des strates de retour dans le temps. Le temps écoulé depuis la coupe est suffisamment avancé pour voir émerger une régénération de stade arborescent. Il ne peut donc être considéré comme une source d'hétérogénéité au sein des tesselles.

1.4.1.1. Strate de retour vs dépôt/drainage

Un tableau de contingence a été réalisé en croisant les variables « strate de retour » et « dépôt/drainage ». Les résultats de la déviance (Figure 1.2.) démontrent que le stade dénudé se trouve en surabondance sur les dépôts organiques et sur le roc, ce

qui laisse présager un rythme de croissance moindre ou un plus fort taux d'échec d'établissement sur ces dépôts. Le stade arborescent apparaît en surnombre sur sites à drainage modéré à imparfait : argile mésique, sable, till et dépôt fluvioglaciaire, ce qui suggère une croissance plus rapide sur ces dépôts.

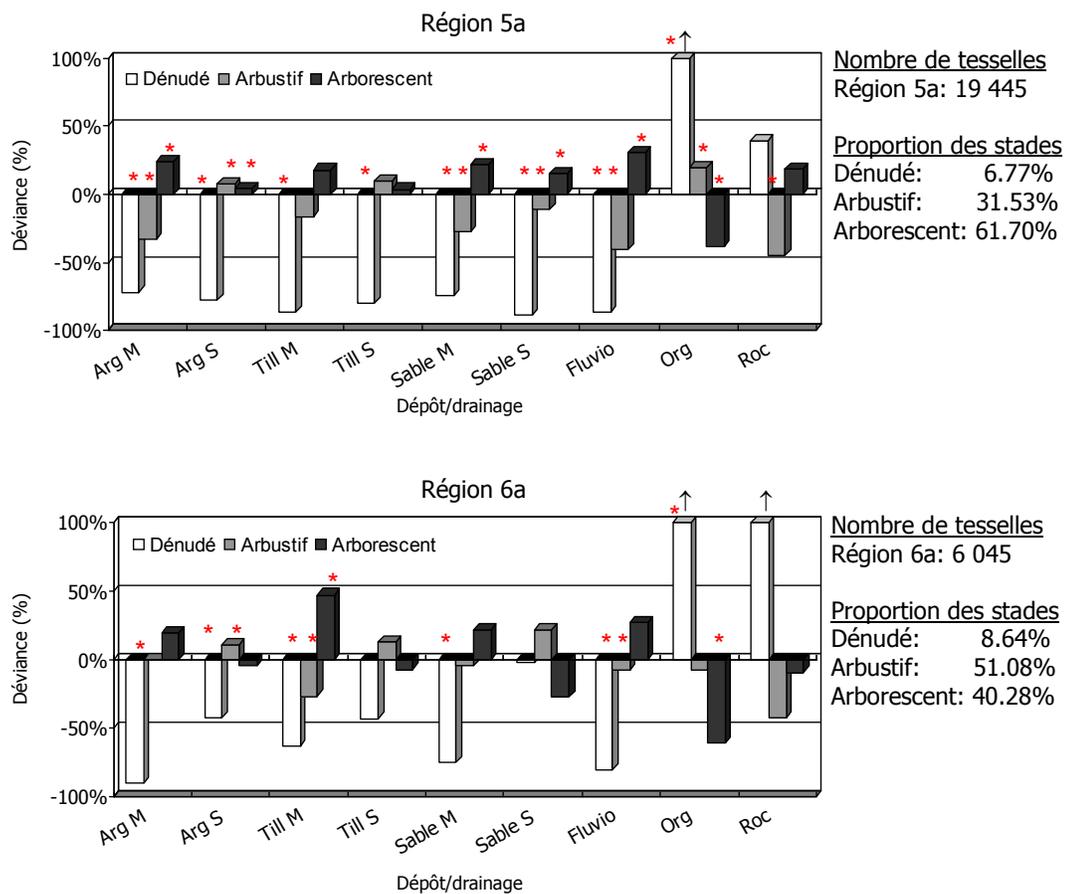


Figure 1.2. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/drainage (coupes totales précédant le 1^{er} inventaire décennal).

Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciaire; Org= organique;

* = significatif selon Neu *et al.* (1974); ↑ = plus de 100%.

1.4.1.2. Enfeuillement par le peuplier faux-tremble vs dépôt/drainage

Si on ne considère que la distribution des strates arborescentes regroupées en deux catégories (avec et sans peuplier), on obtient un taux d'enfeuillement global similaire entre la région 5a (29%) et la 6a (33%). L'analyse des déviations par couplet dépôt/drainage révèle toutefois une plus grande sensibilité à l'enfeuillement des argiles de la région 5a (Figure 1.3.). Le profil édaphique indique que le peuplier faux-tremble revient plus fortement sur argile mésique, argile subhydriques et dépôts fluvioglaciaires que sur les autres types de dépôt. Le profil d'enfeuillement de la région 6a montre que ces cas se produisent sur argile mésique, till mésique et sable mésique. Dans les deux régions écologiques, les sites mal drainés (till subhydrique, sable subhydrique et dépôts organiques) semblent plus résistants à l'enfeuillement par le peuplier faux-tremble.

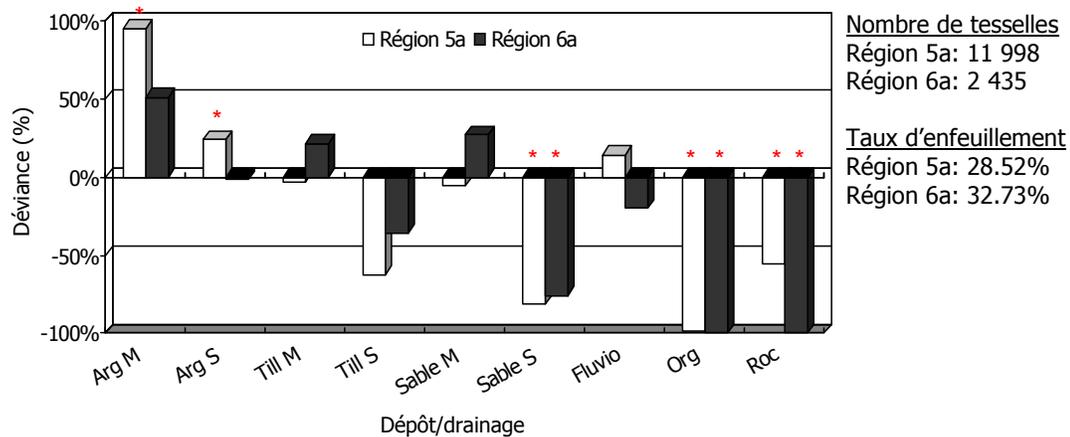


Figure 1.3. Déviance d'une distribution espérée : enfeuillement par peuplier faux-tremble vs dépôt/drainage (coupes totales précédant le 1^{er} inventaire décennal).

Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglaciaire; Org= organique;

*= significatif selon Neu *et al.* (1974).

1.4.1.3. Enfeuillement par le peuplier faux-tremble sur argiles vs régions écologiques

Les effectifs croisés entre le taux d'enfeuillement et les régions écologiques ont été calculés spécifiquement sur argile mésique et argile subhydrique vu que ce sont des dépôts reconnus pour être favorables à l'établissement du peuplier faux-tremble (Harvey *et al.*, 1995; Grondin *et al.*, 2003a). Le taux d'enfeuillement issu des valeurs observées montre que 56% des argiles mésiques et 35% des argiles subhydriques ont subi un enfeuillement dans la région 5a comparativement à 49% et 32% dans la région 6a. La statistique d'écart de Neu indique toutefois que les déviations responsables de ces différences sont non significatives.

1.4.2. Coupes totales réalisées entre le premier et le troisième inventaire décennal

1.4.2.1. Strate de retour vs temps écoulé depuis la coupe

Pour ces coupes, le temps écoulé depuis la coupe peut varier de 1 à plus de 25 ans. Nous avons donc dans un premier temps analysé la relation entre le temps écoulé depuis la coupe et le stade de développement de la strate de retour. L'histogramme issu de ce tableau (Figure 1.4.) présente la dynamique de développement des strates de retour dans le temps. L'analyse des déviations de ce tableau a permis de classer les coupes totales en trois sous populations: les jeunes coupes (1 à 14 ans) caractérisées par une dominance du stade dénudé, les coupes d'âge intermédiaire (12 à 19 ans) dans lesquelles le stade arbustif connaît son apogée et les vieilles coupes totales (20 ans et plus) où le stade arborescent domine.

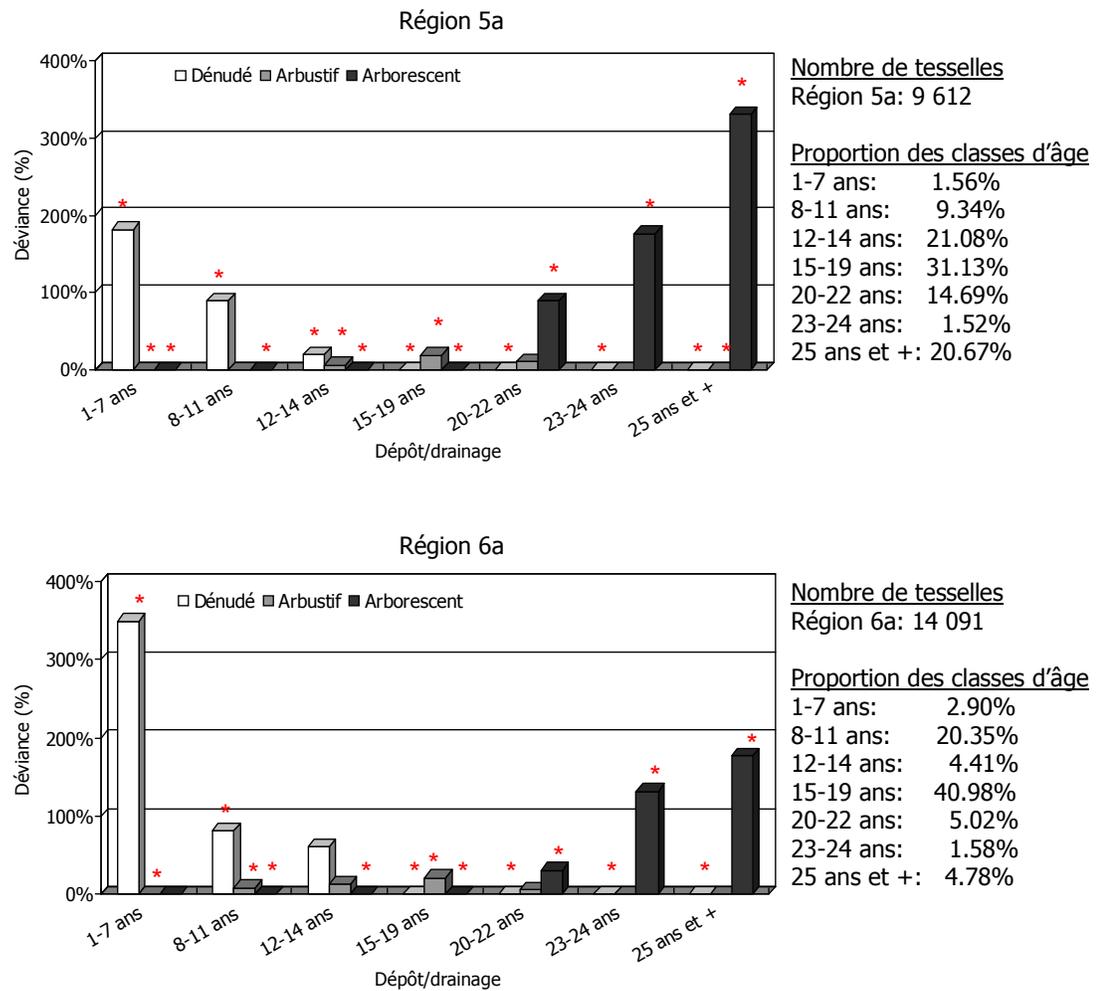


Figure 1.4. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs temps écoulé depuis la coupe (coupes totales réalisées entre le 1^{er} et le 3^{ème} inventaire décennal).
Note : * = significatif selon Neu *et al.* (1974).

1.4.2.2. Strate de retour vs dépôt/drainage

Les jeunes coupes, les coupes d'âge intermédiaire et les vieilles coupes ont ensuite fait l'objet de tableaux croisés à partir des variables « strate de retour » et « dépôt/drainage ». Pour les jeunes coupes (Figure 1.5.), le stade arborescent a été retiré de l'analyse en raison de son trop faible effectif. Le stade dénudé affiche un taux global de 40% dans les jeunes coupes. Il apparaît en surabondance sur till subhydrique, sur sable subhydrique, sur dépôt organique ainsi que sur le roc, ce qui laisse présager un rythme de croissance moindre sur ces combinaisons de dépôts/drainage, voire un plus fort taux d'échec d'établissement. Le stade arbustif, qui atteint une proportion globale de 60%, est en surnombre sur les dépôts à drainage modéré à imparfait.

Pour les coupes d'âge intermédiaire (Figure 1.6.), le stade dénudé atteint un taux global de 21%, le stade arbustif 72% et le stade arborescent 7%. Le stade dénudé sur sols mal drainés (till subhydrique, sable subhydrique et dépôt organique) et le stade arborescent sur les dépôts d'argile mésique, de sable mésique et de dépôt fluvioglacière présentent de fortes déviations positives.

En ce qui a trait aux vieilles coupes (Figure 1.7.), le stade dénudé a diminué considérablement (9%) et continue de s'observer en surnombre sur les dépôts organiques et sur le roc alors que le stade arbustif (52%) se retrouve en surabondance sur argile mésique et argile subhydrique. Le stade arborescent, qui atteint une proportion globale de 39%, s'affiche en surnombre sur argile mésique, till subhydrique, sable mésique, sable subhydrique et dépôt fluvioglacière. La distribution des stades de développement au sein des classes d'âge suggère que d'une région écologique à l'autre la proportion du stade dénudé diffère de manière importante. En effet, la région 6a affiche de plus fortes proportions de dénudés que la région 5a. Que ce soit parmi les jeunes coupes (46% vs 27%), les coupes d'âge intermédiaire (26% vs 16%) ou les vieilles coupes (14% vs 6%).

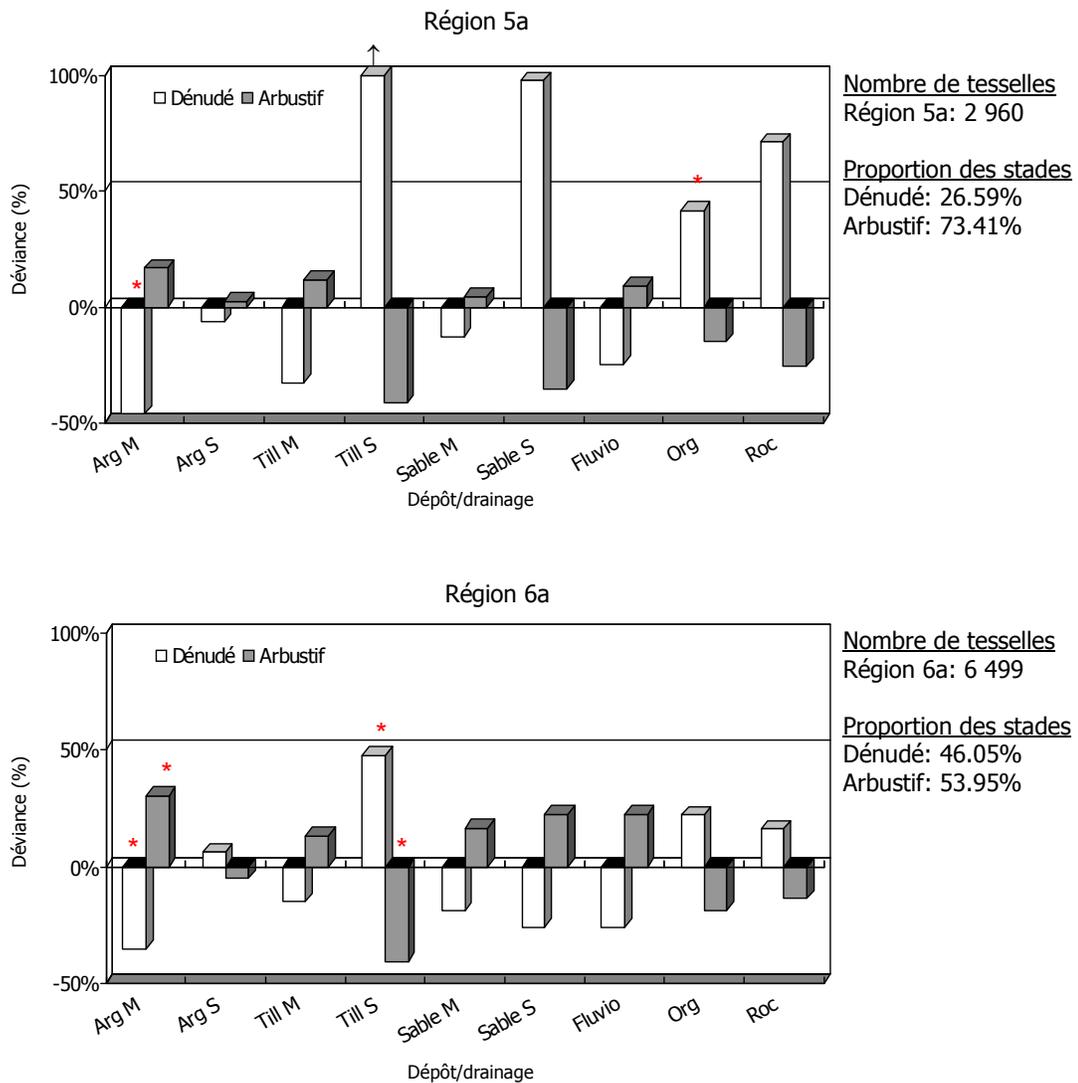


Figure 1.5. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/drainage (jeunes coupes totales de 1 à 12 ans réalisées entre le 1^{er} et le 3^{ème} inventaire décennal).

Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglacière; Org= organique;

*= significatif selon Neu *et al.* (1974); ↑= plus de 100%.

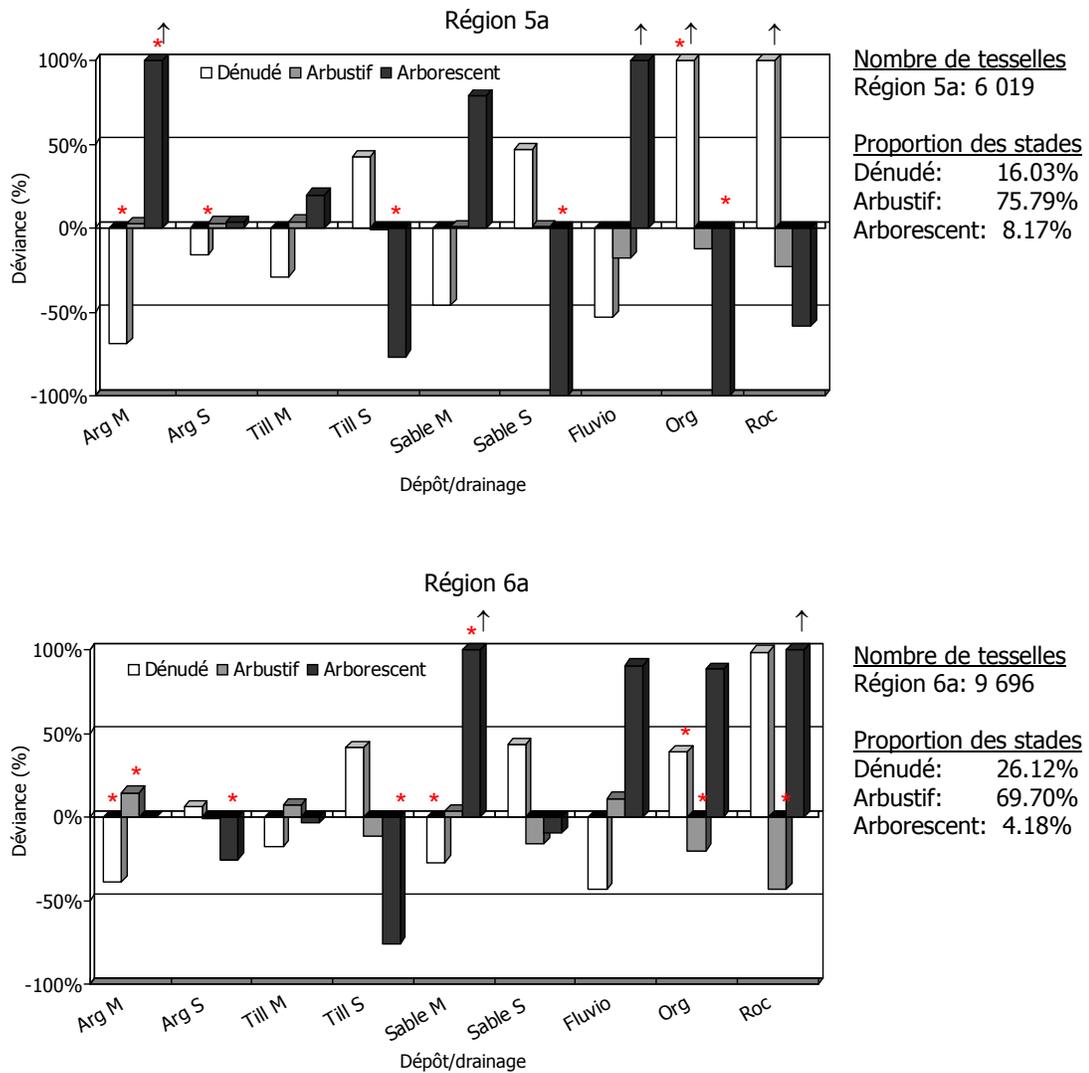


Figure 1.6. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/drainage (coupes totales d'âge intermédiaire de 14 à 19 ans réalisées entre le 1^{er} et le 3^{ème} inventaire décennal).

Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvioglacière; Org= organique; * = significatif selon Neu *et al.* (1974); ↑ = plus de 100%.

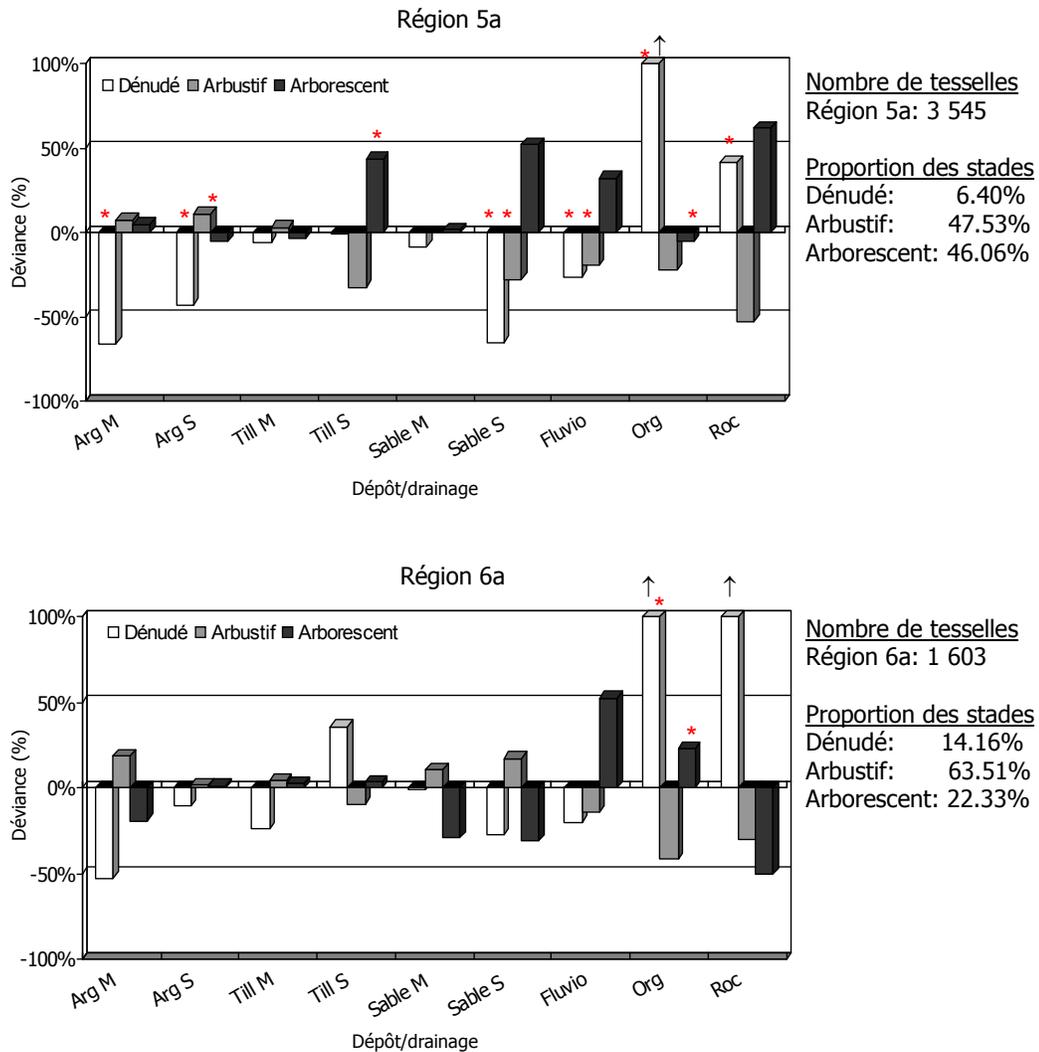


Figure 1.7. Déviance d'une distribution espérée : strate de retour vs dépôt/drainage (vieilles coupes totales de 20 ans et plus réalisées entre le 1^{er} et le 3^{ème} inventaire décennal).

Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydrique; Till M= till mésique; Till S= till subhydrique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydrique; Fluvio= fluvio-glaciaire; Org= organique; * = significatif selon Neu *et al.* (1974); ↑ = plus de 100%.

1.4.2.3. Enfeuillement par le peuplier faux-tremble vs dépôt/drainage

Parmi les jeunes coupes, le taux d'enfeuillement apparaît faible avec une moyenne de 16% de la strate arborescente présentant des signes de peuplier faux-tremble (Figure 1.8.). Le profil édaphique indique que ces cas se produisent sur argile mésique, argile subhydrique et till mésique. Plus tard, les coupes d'âge intermédiaire suggèrent beaucoup plus de cas d'enfeuillement avec en moyenne 57% de la strate arborescente ayant du peuplier faux-tremble. Le profil édaphique indique que le peuplier faux-tremble revient plus fortement sur argile mésique, dépôt fluvioglaciaire et sable mésique que sur les autres types de dépôt/drainage. Les anciennes coupes affichent un profil similaire avec une préférence pour argile mésique, argile subhydrique et dépôt fluvioglaciaire dans la région 5a et pour argile mésique, sable mésique et till mésique dans la région 6a. Cependant, les vieilles coupes montrent moins de susceptibilité au peuplier faux-tremble avec un taux d'enfeuillement de 30% des strates arborescentes. Ce fléchissement peut s'expliquer par la surabondance de dépôts humides parmi les vieilles coupes. En effet, 18% des vieilles coupes sont situées sur des dépôts organiques comparativement à 9% pour les coupes d'âge intermédiaire. De plus, il n'y a pas de différence significative pour le taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble sur dépôts sensibles (argiles mésiques) entre les vieilles coupes et celles d'âge intermédiaire.

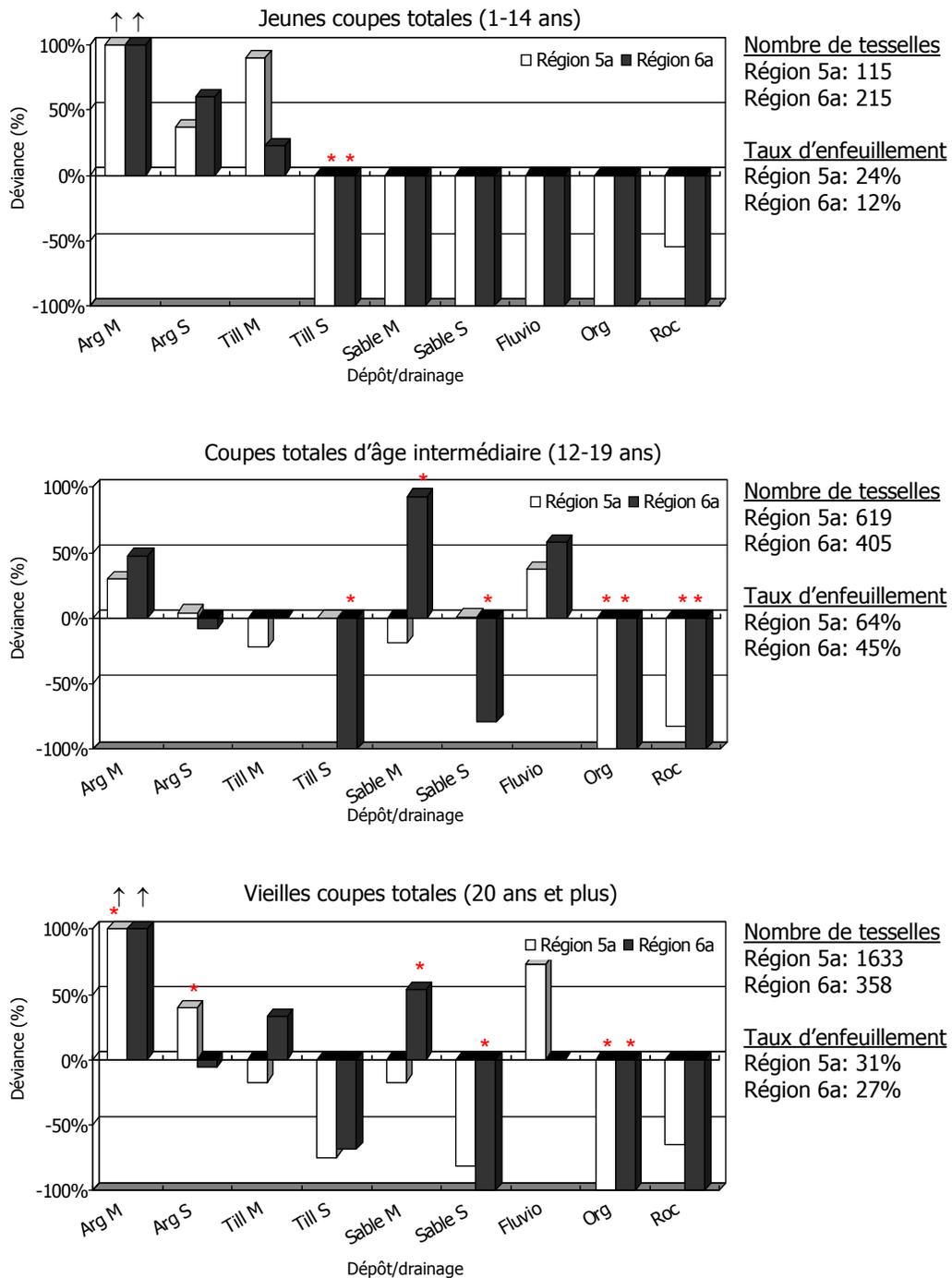


Figure 1.8. Déviante d'une distribution espérée : enfeuillement par peuplier faux-tremble vs dépôt/drainage (coupes totales réalisées entre le 1^{er} et le 3^{ème} décennal).
 Note : Arg M= argile mésique; Arg S= argile subhydraulique; Till M= till mésique; Till S= till subhydraulique; Sable M= sable mésique; Sable S= sable subhydraulique; Fluvio= fluvioglacière; Org= organique;
 *= significatif selon Neu *et al.* (1974); ↑= plus de 100%.

1.4.2.4. Enfeuillement par le peuplier faux-tremble sur argiles vs régions écologiques

Tout comme pour les coupes précédant le premier inventaire décennal, le taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble varie selon les régions écologiques. Les valeurs obtenues pour les vieilles coupes indiquent que sur les argiles mésiques de la région 5a, 63% des sites accusent un enfeuillement comparativement à 59% pour la région 6a. La statistique d'écart de Neu indique que ces différences sont non significatives. De plus, 43% des argiles subhydriques de la région 5a ont subi un enfeuillement comparativement à 25% pour la région 6a. Cette déviance est également apparue non significative selon Neu *et al.* (1974). Cependant, l'analyse des coupes totales précédant le premier inventaire décennal confirme ces résultats. Les sites subhydriques du nord (région 6a) apparaissent donc moins susceptibles à l'enfeuillement que ceux du sud (région 5a).

1.5. Discussion

1.5.1. Phénomène d'enfeuillement : effet de la région écologique et du dépôt/drainage

Les résultats des analyses SIFORT permettent de confirmer l'hypothèse selon laquelle la région 5a affiche un plus haut taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble que la région 6a. Le fait d'observer une différence de la dynamique des deux régions ne peut être attribuée à des raisons climatiques, car la majorité des espèces arborescentes sont présentes dans les deux régions, loin de leur limite nordique de distribution (Gauthier *et al.*, 2000; Bergeron *et al.*, 2004). Toutefois, il est reconnu que naturellement on retrouve davantage de peuplier faux-tremble dans la région 5a (Bergeron, 1998). De plus, étant donné que la région 5a est plus urbanisée (routes, villages, terre agricoles adjacentes...), elle est donc plus soumise au morcellement anthropique du paysage conduisant à une augmentation du couvert en peuplier faux-tremble. À l'inverse, la région 6a, située au nord, a échappé à cette colonisation humaine du territoire. Les activités sont essentiellement liées à l'exploitation primaire des ressources forestière et minière. Par conséquent, le réseau routier y est beaucoup moins développé et l'exploitation agricole pratiquement absente. Suite à la coupe, la région 6a a vu émerger une surabondance de sites dénudés plutôt qu'une strate feuillue.

Les résultats tirés des bases SIFORT appuient également l'hypothèse à l'effet que les sites mésiques (particulièrement les argiles) sont plus sensibles à l'enfeuillement par le peuplier faux-tremble que les sites subhydriques ou hydriques. Les argiles mésiques démontrent de manière éloquent leur sensibilité à un envahissement par le peuplier faux-tremble. Dans les deux régions écologiques, l'enfeuillement atteint des taux supérieurs à 49%. Les argiles subhydriques apparaissent toutefois moins enclines à un enfeuillement. L'explication la plus probable est que les sols des sites subhydriques sont non seulement plus humides mais plus froids que ceux des sites mésiques. Un régime hydrique déficient ainsi qu'une mauvaise oxygénation et une

trop fraîche température du sol affectent négativement l'établissement et la production de drageons de peuplier faux-tremble (Frey *et al.*, 2003). De plus, il est reconnu que les peuplements d'épinette noire dominent les dépôts organiques (Gauthier *et al.*, 2000; Harper *et al.*, 2003; Lecomte et Bergeron, 2005). L'épinette noire se régénère relativement bien sur des sites pauvres, soit mal ou excessivement drainés, où la compétition avec les essences à croissance rapide tel le peuplier faux-tremble est moins forte. À l'inverse, le peuplier faux-tremble montre une agressivité particulière à se propager sur des dépôts riches, fins et bien drainés telles les argiles mésiques (Brumelis et Carleton, 1988; Harvey *et al.*, 1995; Lefort *et al.*, 2002; Grondin *et al.*, 2003a et Bujold, 2005).

Bien que les aulnaies soient majoritairement confinées aux dépôts organiques, on peut affirmer que l'enfeuilletement par l'aulne est important sur la grande ceinture d'argile. Les analyses SIFORT montrent que le stade arbustif, incluant les aulnaies, chutent énormément 20 ans après coupe. Toutefois, il demeure possible qu'avec SIFORT nous ne soyons pas en mesure de détecter précisément l'ampleur de ces arbustiaies lorsque le temps après coupe est court. Il est donc possible qu'une certaine quantité de dénudés évolue vers des aulnaies au cours du temps, sous-estimant ainsi le phénomène. Peu d'études ont été effectuées à ce sujet dans la plaine d'argile. On retrouve les travaux de Vincent (1964), Brumelis et Carleton (1988 et 1989), Harvey et Bergeron (1989) et Grondin *et al.* (2003a) qui confirment tous l'agressivité de l'aulne rugueux (*Alnus rugosa* (Du Roi) Spreng.) à envahir les sites humides après coupe totale. Des recherches plus approfondies gagneraient à être réalisées.

1.5.2. Vitesse de développement de la strate de retour

Le temps de persistance des peuplements pionniers dans la mosaïque forestière naturelle a couramment été abordé dans la littérature : Bergeron et Dubuc, 1989; Gauthier *et al.*, 1996; 2000; Vincent, 2004. Ces différents travaux ont démontré

entre autre que le cheminement des peuplements est différent selon les conditions abiotiques. À cet effet, le dépôt de surface et le drainage jouent un rôle important, notamment en ce qui a trait à la fertilité des sites. D'après Vincent (2004), la succession naturelle serait plus rapide sur les sites fertiles que sur les sites pauvres. Les analyses faites à partir de SIFORT nous permettent d'affirmer que la fertilité des sites influence la reprise de la régénération suite à la coupe. L'évolution des différents stades de développement des coupes le démontre bien. Les jeunes coupes (1 à 14 ans) présentent de l'incertitude sur leur devenir, car le signal de la végétation ne permet pas une photo-interprétation précise de leur strate de retour. Le stade dénudé y est fort abondant sans pour autant indiquer une absence de régénération. Ce serait plutôt dû à une limite de la photo-interprétation. Malgré tout, on observe une reprise rapide de la régénération basse sur argile mésique, une station particulièrement fertile. Les coupes d'âge intermédiaire permettent un meilleur diagnostic sur la reprise forestière. Entre 12 et 19 ans après coupe, le stade arbustif atteint son plein épanouissement. Ce sont sur les sites les mieux drainés et les plus riches que l'on note les premiers signes d'apparition du stade arborescent. Ceci est en partie dû au fait que le peuplier faux-tremble, qui a une croissance rapide, domine sur ces sites. En ce qui concerne les vieilles coupes (20 ans et plus), même si elles sont faibles en nombres, le stade arborescent y domine. Néanmoins, il demeure que le stade dénudé se trouve encore en surabondance sur dépôts organiques et sur le roc, ce qui indique de manière définitive des échecs d'établissement.

1.5.3. Rajeunissement du couvert forestier

Nos résultats permettent d'affirmer que suite à la coupe, le peuplier faux-tremble prend de l'expansion à l'échelle régionale. D'ailleurs, plusieurs auteurs ont noté le même phénomène (Carleton et MacLellan, 1994; Weir et Johnson, 1998; Carleton, 2000). Ils affirment même que la coupe favorise davantage l'enfeuilletement que ne le fait le feu.

En raison du trop faible effectif de tesselles ayant été perturbées par le feu (sans récupération), nous n'avons pu utiliser SIFORT pour évaluer le degré d'enfeuillement suite aux incendies forestiers. Malgré l'absence de cette référence, l'envahissement rapide d'aires brûlées par des feuillus intolérants en forêt boréale a été rapporté ailleurs dans la littérature (Greene *et al.*, 2004; Johnstone et Chapin, 2006). Nous sommes donc devant un phénomène naturel d'augmentation des essences de lumière suite à une perturbation majeure, habituellement décrit comme un stade de développement transitionnel.

Face aux changements de composition du couvert forestier observés dans les secteurs aménagés, le peuplier faux-tremble a été considéré comme une espèce envahissante qui pourrait même remplacer l'épinette noire présente à l'origine dans le couvert forestier (Gagnon *et al.*, 1998; Fortin, 1999 et Fortin et Gagnon, 2001). Bien que l'analyse de SIFORT indique une expansion du peuplier à une échelle régionale, elle ne peut attester du remplacement de l'épinette noire par le peuplier. Pour ce faire, il eut fallu avoir des évidences à l'effet que le peuplier limite l'établissement et la survie de l'épinette noire après coupe et que, par conséquent, les tremblaies issues de coupe soient peu pourvues d'épinette noire en sous étage. Les données SIFORT, étant issues de la photo-interprétation, ne peuvent nous informer sur la composition du sous-étage des peuplements. Par contre, Bujold (2005), qui analysa les données d'inventaire des strates de régénération après coupe, montre qu'il existe peu de cas de conversion réelle de pessières noires vers la tremblaie dans le secteur d'étude. On peut donc affirmer qu'il n'existe pas d'évidence à l'effet que l'expansion du peuplier faux-tremble dans le couvert forestier soit accompagnée par une régression de l'épinette noire en sous couvert.

L'analyse des records polliniques nous indique que le peuplier faux-tremble fait partie de la composition du couvert forestier de l'Abitibi-Témiscamingue depuis plusieurs milliers d'années (Richard, 1980, Carcaillet *et al.* 2001). L'expansion récente du peuplier apparaît donc davantage comme une conséquence des pratiques

silvicoles actuelles, orientées vers des coupes à courtes révolutions et faible rétention (Drapeau *et al.*, 2000; Bergeron *et al.*, 2002; Grondin *et al.*, 2003b) qu'à une dynamique caractérisant les espèces envahissantes (Gagnon *et al.*, 1998; Fortin, 1999 et Fortin et Gagnon, 2001). Ce type d'aménagement engendre un rajeunissement du couvert forestier d'origine et favorise l'expansion de feuillus de lumière tel le peuplier faux-tremble. Bien qu'à court terme, cette expansion du peuplier ne semble pas être accompagnée d'une régression de l'épinette noire (Bujold, 2005), rien ne nous permet de prévoir ce qui pourrait résulter, à moyen terme, du maintien de ce régime d'aménagement équienné à courte révolution.

En résumé, le phénomène d'enfeuillement pourrait être exacerbé par un ensemble de facteurs agissant de pairs : 1) un fort taux d'établissement du peuplier faux-tremble et autres essences feuillues suite à la coupe; 2) un taux de perturbation (superficie annuelle moyenne) plus élevé que le taux naturel menant à un rajeunissement du couvert; 3) une moins grande proportion de forêts atteignant le stade suranné et permettant au sous-étage résineux d'émerger suite à la sénescence du peuplier faux-tremble.

1.6. Conclusion

L'étude du phénomène d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble avec les bases de données SIFORT s'est avérée concluante. Nos résultats valident les observations générales soulevées par d'autres auteurs à l'effet que les pessières noires sur argile mésique s'avèrent être particulièrement propices à un enfeuillement. On constate de plus que la pessière à mousse (région 6a), constituée d'une abondance de milieux organiques humides, apparaît moins encline à un envahissement par le peuplier faux-tremble. Cependant, SIFORT a des limites. L'information contenue dans les bases de données origine d'une photo-interprétation à l'amont de l'élaboration de cartes écoforestières. La composition du sous-étage forestier demeure donc souvent

cachée. Par conséquent, nous ne pouvons tirer des informations sur le coefficient de distribution des tiges en sous couvert. De plus, la résolution est plutôt grossière et permet rarement de détecter le couvert forestier lorsque celui-ci est inférieur à 7 mètres de hauteur. Malgré tout, SIFORT est un des rares outils permettant d'effectuer une étude spatio-temporelle du couvert forestier à plus ou moins long terme et sur de vastes territoires. Au chapitre 2, une photo-interprétation à plus petite échelle et un échantillonnage sur le terrain permettront de raffiner l'analyse du phénomène d'enfeuillage.

1.7. Remerciements

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable ont contribué au financement de cette étude. Merci à Annie Belleau, Suzanne Brais et Daniel Lessieur pour les conseils et l'aide apportée dans la gestion de base de données. Merci également à Jean Noël, Georges Pelletier, Michel Chabot et Pierre Grondin qui nous ont permis d'avoir accès aux bases SIFORT.

1.8. Références

- Bergeron, J.-F., Grondin, P. et Blouin, J. 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 206 p.
- Bergeron, Y. et Dubuc, M. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio* 79: 51-63.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Flannigan, M. et Kafka, V. 2004. Fire regime at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec. *Ecology* 85: 1916-1932.
- Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B. D. et Gauthier S. 2002. Natural Fire Regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica* 36: 81-95.

- Blanchard, R. 1954. L'Ouest du Canada français. Publications de l'Institut Scientifique Franco-Canadien, Montréal, 334 p.
- Brumelis, G. et Carleton, T. J. 1988. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. I. Trees and tall shrubs. *Can. J. For. Res.* 18: 1470-1478.
- Brumelis, G. et Carleton, T. J. 1989. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. II. Understorey vegetation. *J. Appl. Eco.* 26: 321-339.
- Bujold, M.-C. 2005. Changement de la composition forestière après opérations sylvicoles: une analyse des facteurs prédisposant à une conversion de la strate forestière prélevée. Mémoire de maîtrise en biologie. Université du Québec à Montréal, 66 p.
- Carcaillet, C., Bergeron, Y., Richard, P. J. H., Frechette, B., Gauthier, S. et Prairie, Y. T. 2001. Change of fire frequency in eastern Canadian boreal forests during the Holocene: does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *J. Eco.* 89: 930-946.
- Carleton, T. J. 2000. Vegetation responses to the managed forest landscape of central and northern Ontario. *Dans* : Perera, A., Euler, D. et Thompson, I. (editors), *Ecology of a Managed Terrestrial Landscape: patterns and processes of forest landscapes in Ontario*. University of British Columbia Press, p. 179-197.
- Carleton, T. J. et MacLellan, P. 1994. Woody vegetation responses to fire versus clear-cutting logging: a comparative survey in the central Canadian boreal forest. *Ecoscience* 1: 141-152.
- Chen, H. Y. H., Krestov, P. V. et Klinka, K. 2002. Trembling aspen site index in relation to environmental measures of site quality at two spatial scales. *Can. J. For. Res.* 32: 112-119.
- Drapeau, P., Leduc, A., Giroux, J.-F., Savard, J.-P., Bergeron, Y. et Vickery, W. L. 2000. Landscape-scale disturbances and changes in bird communities of boreal mixed-wood forests. *Ecol. Monogr.* 70:423-444.
- Frey, B. R., Lieffers, V. J., Landhäusser, S. M., Comeau, P. G. et Greenway, K. J. 2003. An analysis of sucker regeneration of trembling aspen. *Can. J. For. Res.* 33: 1169-1179.
- Fortin, S. 1999. Expansion du tremble (*Populus tremuloides* Michx.), au cours du XXIème siècle, dans le bassin de la Rivière York en Gaspésie, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 67 p.
- Fortin, S. et Gagnon, R. 2001. Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble en Gaspésie. II : Expansion du tremble après perturbations. Rapport volet 1 PMVRF, ministère des Ressources naturelles du Québec, 86 p.
- Gagnon, R., Potvin J. et Gagné E. 1998. Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay-Lac-Saint-Jean - Chibougamau-Chapais (Québec): vers un aménagement forestier durable. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 28 p.

- Gauthier, S., De Grandpré, L. et Bergeron, Y. 2000. Differences in forest composition in two boreal forest ecoregions of Québec. *J. Veg. Sc.* 11: 781-790.
- Gauthier, S., Leduc, A. et Bergeron, Y. 1996. Forest dynamics modelling under natural fire cycles: a tool to define natural mosaic diversity for forest management. *Env. Mon. Ass.* 39: 417-434.
- Greene, D. F., Noël, J., Bergeron, Y., Rousseau, M. et Gauthier, S. 2004. Recruitment of *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, and *Populus tremuloides* across a burn severity gradient following wildfire in the southern boreal forest of Quebec. *Can. J. For. Res.* 34: 1845-1857.
- Grondin, P., Bélanger, L., Roy, V., Noël, J. et Hotte, D. 2003a. Envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière (enfeuilletement), p. 131 à 174. *Dans* : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière, Grondin, P. et Cimon A., coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 200 p.
- Grondin, P., Saucier, J.-P., Blouin, J., Gosselin, J. et Robitaille, A. 2003b. Information écologique et planification forestière au Québec, Canada. Note de recherche forestière n° 118, ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 10 p.
- Grondin, P., Blouin, J. et Racine, P. 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 220 p.
- Hardy, L. 1977. La déglaciation et les épisodes lacustre et marin sur le versant québécois des basses terres de la baie de James. *Géogr. phys. Quat.* 31: 261-273.
- Harper, K., Boudreault, C., De Grandpré, L., Drapeau, P., Gauthier, S. et Bergeron, Y. 2003. Structure, composition and diversity of old-growth black spruce boreal forest of the Clay Belt region in Québec and Ontario. *Environ. Rev.* 11: S79-S98.
- Harvey, B. D. et Bergeron, Y. 1989. Site patterns of natural regeneration following clearcutting in north western Quebec. *Can. J. For. Res.* 19: 1458-1469.
- Harvey, B. D., Leduc, A. et Bergeron, Y. 1995. Early postharvest succession in relation to site type in the southern boreal forest of Quebec. *Can. J. For. Res.* 25: 1658-1672.
- Jobidon, R. 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec. *Revue de littérature. Mémoire de recherche forestière no. 117*, Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 180 p.
- Johnstone, J. F. et Chapin, F. S., III. 2006. Fire interval effects on successional trajectory in boreal forests of Northwest Canada. *Ecosystems* 9: 268-277.
- Lecomte, N. et Bergeron, Y. 2005. Succession pathways on different surficial deposits in the coniferous boreal forest of the Quebec Clay Belt. *Can. J. For. Res.* 35: 1984-1995.
- Lefort, P., Gauthier, S. et Bergeron, Y. 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity of the lake Abitibi area, Eastern Canada. *For. Sci.* 49: 509-521.

- Lefort, P., Harvey, B., Parton, J. et Smith, G. K. M. 2002. Synthesizing knowledge of the Claybelt to promote sustainable forest management. *For. Chron.* 78: 665-671.
- Neu, C. W., Byers, C. R., Peek, J. M. et Boy, V. 1974. A technique for analysis of utilization availability data. *J. Wildlife Manage.* 38: 541-545.
- Pelletier, G., Dumont, Y., Bédard, M. et Bergeron, J. 1996. SIFORT. *Arpenteur Géomètre* 23: 8-9.
- Pelletier, G., St-Onge, J., Roy, J.-F., Therriault, G. et Bordeleau, P. 2001. Classification des peuplements forestiers en tant que combustibles, selon la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt. Ministère des Ressources naturelles du Québec, 24 p.
- Perron, M. 1989. L'histoire de l'exploitation forestière dans la région de La Sarre de 1910 à 1980. *Capitale forestière du Canada*, 46 p.
- Richard, P. 1980. Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec. *Géogr. phys. Quat.*, 24: 77-94.
- Robitaille A. et Saucier, J.-P. 1998. Paysage régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec, Québec, 213 p.
- Saucier, J.-P. 1994. Le point d'observation écologique : normes techniques. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 116 p.
- SAS Institute, Inc. 1988. SAS/STATTM User's guide. Release 6.03 Edition. Cary, NC., 1028 p.
- Vincent, A. B. 1964. Growth and numbers of speckled alder following logging of black spruce peatlands. *For. Chron.* 40: 515-518.
- Vincent, E. 2004. Succession arborée dans la forêt boréale de l'ouest du Québec. Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 62 p.
- Vincent, J.-S. et Hardy, L., 1977. L'évolution et l'extension des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire Québécois. *Géogr. phys. Quat.* 30: 357-372.
- Weir, J. M. H. et Johnson, E. A. 1998. Effects of escaped settlement fires and logging on forest composition in the mixedwood boreal forest. *Can. J. For. Res.* 28: 459-467.

APPENDICE A

Tableau	Page
A.1. Abréviations des groupements d'essence arborescente.....	41
A.2. Regroupement des peuplements (1 ^{ère} étape).....	43
A.3. Regroupement des groupements d'essences (2 ^{ème} étape).....	44
A.4. Dépôts de surface.....	45
A.5. Épaisseur des dépôts.....	46
A.6. Drainages.....	46
A.7. Regroupement des dépôts/drainages.....	47
A.8. Proportion (%) des regroupements de dépôts/drainages en fonction des régions écologiques.....	48
A.9. Groupements d'essences (tels qu'identifiés au 3 ^{ème} inventaire décennal) ayant subi ou non un enfeuillement par le peuplier faux- tremble.....	48

Tableau A.1. Abréviations des groupements d'essence arborescente

Groupe ment d'essence	Abréviation
Bétulaie à bouleau blanc	Bb, BBBB
Le bouleau blanc constitue plus de 50% de la surface terrière des feuillus	BB1
Bétulaie à bouleau blanc avec épinette	BB1E, BBE, BBBBE
Bétulaie à bouleau blanc avec sapin	BBS, BB1S, BBBBS
Bétulaie à bouleau blanc avec résineux	BBBBR, BBRES
Bétulaie à bouleau blanc avec pin gris	BBPIG, BBBBPG
Bétulaie à bouleau blanc avec peuplier	BBPE
Bétulaie à bouleau blanc avec peuplier et épinette noire	BBPEE
Bétulaie à bouleau blanc avec peuplier et pin gris	BBPEPG
Bétulaie à bouleau blanc avec peuplier et résineux	BBPER
Bétulaie à bouleau blanc avec peuplier et sapin	BBPES
Cèdrière	CC
Feuillus d'essences intolérantes	Fi
Feuillus d'essences intolérantes avec résineux	FiR
Feuillus intolérants avec bouleau blanc et épinette	FIBBE
Feuillus intolérants avec épinette noire	FIE
Feuillus intolérants avec pin gris	FIPIG
Feuillus intolérants avec peuplier et épinette noire	FIPEE
Feuillus intolérants avec résineux	FIR, RIRES
Feuillus intolérants avec peuplier	FIPE
Mélèzaie à épinette noire	MEE
Mélèzaie	MEME
Mélèzaie à pin gris	MEPG
Pessière noire	EE
Pessière noire avec peuplier	EPE
Pessière noire avec cèdre	EC
Pessière noire avec mélèze	EME
Pessière noire avec sapin	ES
Pessière noire avec bouleau blanc	EBB

Groupe ment d'essence (suite)	Abréviation
Pessière noire à feuillus intolérants	EFI
Pessière noire à pin gris	EPG
Peupleuraie	PE, PEPE
Le peuplier constitue plus de 50% de la surface terrière des feuillus	PE1
Peupleuraie avec bouleau blanc	PEBB
Peupleuraie avec résineux	PE1R, PEPER
Peupleuraie avec bouleau blanc et épinette noire	PEBBE
Peupleuraie avec bouleau blanc et pin gris	PEBBPG
Peupleuraie avec bouleau blanc et résineux	PEBBR
Peupleuraie avec bouleau blanc et sapin	PEBBS
Peupleuraie avec épinette noire	PEE, PEPEE
Peupleuraie avec pin gris	PEPG, PEPEPG
Peupleuraie avec épinette blanche	PEPEG
Peupleuraie avec sapin	PEPES, PES
Pinède grise avec épinette noire	PGE
Pinède grise avec mélèze	PGME
Pinède grise	PGPG
Pinède grise avec bouleau blanc	PGBB
Pinède grise avec feuillus intolérants	PGFI
Pinède grise avec peulier	PGPE
Résineux avec cèdre	RC
Résineux avec épinette noire	RE
Résineux avec mélèze	RME
Résineux avec sapin	RS
Résineux avec pin gris	RPG
Résineux avec feuillus intolérants	RFI
Résineux avec peulier	RPE
Résineux avec bouleau blanc	RBB
Sapinière	SS
Sapinière avec bouleau blanc	SBB
Sapinière avec cèdre	SC
Sapinière avec épinette noire	SE
Sapinière avec peulier	SPE
Sapinière avec feuillus intolérants	SFI

Tableau A.2. Regroupement des peuplements (1^{ère} étape)

Aulnaie	br	ct	dh	ds	F	M	R	Fi
AL	BR	CT	DH	DS	F	M	R	BB
FNC								BBBB FI

MxFi	Pe	PeR	Rpe	MxR	EE	Pg	PgFi	SS
BB1	BBPE	BBPEE	EPE	EBB	EC	EPG	PGBB	SBB
BB1E	FIPE	BBPEPG	PGPE	EFI	EE	PGE	PGFI	SC
BB1S	PE	BBPER	RPE	RBB	EME	PGME		SE
BBBBE	PE1	BBPES	SPE	RFI	ES	PGPG		SS
BBBBPG	PEBB	PE1R		SFI	MEE	RPG		CC
BBBBR	PEPE	PEBBE			MEME			
BBBBBS		PEBBPG			MEPG			
BBE		PEBBR			RC			
BBPIG		PEBBS			RE			
BBRES		PEE			RME			
BBS		PEPEE			RS			
FIBBE		PEPEG						
FIE		PEPEPG						
FIPIG		PEPER						
FIPEE		PEPES						
FIR		PEPG						
FIRES		PES						

Tableau A.3. Regroupement des groupements d'essences (2^{ème} étape)

Abréviations de groupements d'essences	Regroupement	Abréviations après regroupement	Stade
BR CT DH DS	Brûlis total Coupe totale Dénudé humide Dénudé sec	BR CT DH DS	Dénudé
M F R AL, FNC	Mélangé Feuillu Résineux Aulnaie et feuillus non commerciaux	M F R Aulnaie	Arbustif
EC, EE, EME, ES, MEE, MEME, MEPG, RC, RE, RME, RS BB, BBBB, FI BB1, BB1E, BB1S, BBBBE, BBBBPG, BBBBR, BBBBS, BBE, BBPIG, BBRES, BBS, FIBBE, FIE, FIPIG, FIPEE, FIR, FIRES EBB, EFI, RBB, RFI, SFI, BBPE, FIPE, PE, PEBB, PEPE BBPEE, BBPEPG, BBPER, BBPES, PE1, PE1R, PEBBE, PEBBPG, PEBBR, PEBBS, PEE, PEPEE, PEPEG, PEPEPG, PEPER, PEPES, PEPG, PES EPG, PGE, PGME, PGPG, RPG PGBB, PGFI EPE, PGPE, RPE, SPE SBB, SC, SE, SS, CC	Pessière noire Feuillus d'essences intolérantes Peuplement mélangé avec feuillus intolérants Peuplement mélangé avec résineux Peupleraie Peupleraie avec résineux Pinède grise Pinède grise avec feuillus intolérants Résineux avec peuplier Sapinière	EE Fi MxFi MxR Pe PeR Pg PgFi Rpe SS	Arborescent

Tableau A.4. Dépôts de surface

Désignation	Code	Désignation	Code
DÉPÔTS GLACIAIRES	1	DÉPÔTS FLUVIATILES	3
Dépôts glaciaires sans morphologie particulière	1A	Dépôts alluviaux	3A
Till indifférencié	1A	Récent	3AE
Till à matrice argileuse	1AA	Ancien	3AN
Dépôts glaciaires caractérisés par leur morphologie	1B	DÉPÔTS LACUSTRES	4
Drumlins et drumlinoïdes	1BD	Plainte lacustre	4A
Moraine de De Geer	1BG	Glaciolacustre (faciès d'eau profonde)	4GA
Moraine frontale	1BF	Glaciolacustre (faciès d'eau peu profonde)	4GS
Moraine interlobaire	1BI	DÉPÔTS ORGANIQUES	7
DÉPÔTS FLUVIOGLACIAIRES	2	Organique épais	7E
Dépôts juxtaglaciaires	2A	Organique mince	7T
Esker	2AE	DÉPÔTS ÉOLIENS	9
Delta fluvioglaciaire	2BD	Dune stabilisée	9S
Épandage	2BE	ROC	R

Tableau A.5. Épaisseur des dépôts

Désignation	Épaisseur modale	Affleurements rocheux	Code
Épais	Supérieure à 1 m	Absents ou très rares	1a
Épaisseur moyenne	Entre 50 cm et 1 m	Rares ou très rares	1aY
Mince	Entre 25 cm et 50 cm	Rares ou peu fréquents	1aM
Très mince	Inférieure à 25 cm	Peu fréquents	M1a
Mince à très mince	Inférieure à 50 cm	Fréquents, plus de 25 %	R1a
Très mince à absent	–	Très fréquents, représentent plus de 50 % de recouvrement	R

Tableau A.6. Drainages

Désignation	Code
Excessif	0
Rapide	10, 13
Bon	20, 21
Modéré	30, 31
Imparfait	40, 41
Mauvais	50, 51, 53, 54
Très mauvais	60, 61, 63
Drainage complexe	16

Tableau A.7. Regroupement des dépôts/drainages

Argile mésique	Argile subhydrique	Till mésique	Till subhydrique	Sable mésique	Sable subhydrique	Fluvio- glaciaire	Organique	Roc
1AA30	1AA40	1A20	1A40	4GS20	4GS40	2A10	3AN60	R0
1AA30	1AA50	1A30	1A41	4GS30	4GS41	2A20	7E50	R10
3AN20	3AE41	1A31	1A50	4GS31	4GS50	2A30	7E60	R16
3AN30	3AE50	1AM16	1A53	4GS33	4GS51	2A31	7E61	R20
4GA13	3AE51	1AM20	1AM40	4GSM20	9S40	2A40	7T50	R30
4GA20	3AN40	1AM30	1AY40	4GSY20	R4GS40	2AE10	7T51	R1A10
4GA21	3AN50	1AY20	1AY50	4GSY30		2AE20	7T53	R1A16
4GA30	3AN51	1AY21	1BD40	9S16		2AE30	7T60	R1A20
4GA31	4A50	1AY30	1BG40	9S20		2AE40	7T61	R1A21
4GA40	4GA40	1AY31		9S30		2BD20	7T63	R1A30
4GAM20	4GA41	1BD20		R4GS20		2BD30	7TM50	R7T16
4GAM30	4GA50	1BD30		R4GS30		2BD40	7TY50	
4GAY20	4GA51	1BF20				2BE20	R7T50	
4GAY30	4GA53	1BF30				2BE30		
R4GA16	4GA54	1BG20				2BE40		
R4GA20	4GAM40	1BG30						
R4GA30	4GAY40	1BI10						
	4GAY50	1BI20						
	R4GA40	1BI30						
		M1A20						

Tableau A.8. Proportion (%) des regroupements de dépôts/drainages en fonction des régions écologiques

Dépôt/drainage	Région 5a	Région 6a
Argile mésique	8.72	8.09
Argile subhydrique	37.01	29.89
Till mésique	10.83	11.88
Till subhydrique	2.37	3.22
Sable mésique	5.21	2.2
Sable subhydrique	2.35	0.93
Fluvioglaciale	1.94	0.8
Organique	26.62	41.89
Roc	4.94	1.1

Tableau A.9. Groupements d'essences (tels qu'identifiés au 3^{ème} inventaire décennal) ayant subi ou non un enfeuillement par le peuplier faux-tremble

Enfeuillement	Non enfeuillement
Pe	EE
PeR	Fi
Rpe	FiR
	MxFi
	MxR
	Pg
	PgFi
	SS

**CHAPITRE II : ANALYSE SPATIALE DE LA RÉPONSE DES ÎLOTS DE
PEUPLIERS FAUX-TREMBLES DANS LES PEUPEMENTS D'ÉPINETTE NOIRE
SUITE À LA COUPE TOTALE.**

Simon Laquerre, Alain Leduc et Brian Harvey

Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda, Québec

2.1. Résumé

En forêt boréale, dans la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec, on reconnaît que l'introduction des activités anthropiques a mené à une transition de peuplements résineux en peuplements mixtes et feuillus. Cette augmentation de la proportion de feuillus de lumière par rapport aux peuplements d'origine se nomme enfeuillage. Le peuplier faux-tremble se régénère vigoureusement après le passage d'un feu par la production de nombreux drageons. De façon semblable, la coupe forestière favoriserait aussi sa prolifération. Le but de cette étude vise à caractériser le degré d'enfeuillage des pessières à épinette noire parsemées de peupliers faux-trembles suite à la coupe totale sur la grande ceinture d'argile. Pour ce faire, une analyse de l'expansion des îlots de peupliers faux-trembles après coupe a été entreprise à grande échelle de résolution. À cette fin, des photographies aériennes récentes (années 1990) ainsi que des photographies remontant jusqu'au début des années 1970 ont été sélectionnées. Les photos des années 1970 ont permis d'analyser 12 territoires de pessières noires matures ponctuées de peupliers faux-trembles sur dépôt d'argile mésique. Par la suite, au début des années 1980, des coupes totales sont survenues dans chacun des secteurs d'étude. Les photos des années 1990 ont servi à dresser un portrait spatial de la strate de retour et d'évaluer le taux d'enfeuillage. Une collecte de données sur le terrain a été réalisée afin de valider les observations photos et de recueillir des informations sur le coefficient de distribution des tiges et l'épaisseur de la matière organique. Les résultats montrent que les îlots de peuplier faux-tremble contenus dans les pessières à épinette noire sur argile mésique gagnent généralement en densité et en superficie suite à la coupe totale. Les îlots augmentent habituellement d'une classe de recouvrement à la fois, ce qui suggère un phénomène d'enfeuillage allant en s'aggravant si les conditions édaphiques le permettent. Cependant, la pessière pure (0% de peuplier) est relativement réfractaire à l'enfeuillage et les dépôts organiques apparaissent limiter l'intrusion du peuplier. De plus, la manière dont le peuplier est réparti dans les îlots aura une influence sur la persistance de ces derniers. Les îlots de grande dimension (> 200m de diamètre) auront davantage de chances de persister dans le paysage que les petits îlots (< 200m de diamètre). Finalement, l'analyse des données d'inventaire apparaît, à prime abord, confirmer que la présence du peuplier ne nuit pas à la présence de l'épinette. Par contre, la comparaison multiple des modèles prédictifs indique que ce serait plutôt un facteur conditionné par l'épaisseur de la matière organique tel la traficabilité du site qui serait possiblement causal. Le peuplier n'apparaît pas alors constituer une menace pour la pérennité de l'épinette noire. Il agirait plutôt comme une espèce de succession.

2.2. Introduction

En forêt boréale, le peuplier faux-tremble se régénère vigoureusement après le passage d'un feu par la production de nombreux drageons (Schier, 1973; Brown et DeByle, 1987; Johnstone et Chapin, 2006). De façon semblable, la coupe totale favoriserait aussi sa prolifération (Perala, 1974; Doucet, 1989; David *et al.*, 2001).

La coupe totale augmente le drageonnement en supprimant la dominance apicale des arbres-mères, en blessant physiquement des racines et en augmentant la température du sol (Bella, 1986). Les drageons se déploient de manière radiale depuis un point central constant (Comtois et Payette, 1987). Selon Jobidon (1995), ils émergent généralement à moins de 10 mètres de l'arbre-mère bien que les distances supérieures à 20m ne soient pas rares (Fortin et Gagnon, 2001; Harvey et Leduc, données non publiées).

Selon Bates *et al.* (1993), la saison de coupe peut influencer la disponibilité de carbohydrates dans les racines coupées, mais la littérature semble être contradictoire à ce sujet. Bella (1986) affirme qu'une coupe d'été favorise davantage le drageonnement qu'une coupe d'hiver tandis que Stoeckeler et Macon (1956) et Bates *et al.* (1993) ont observé une plus grande vigueur de la régénération dans les endroits récoltés en hiver. La circulation plus intense de la machinerie nuit à la régénération dans les peuplements récoltés au cours de l'été en réduisant le taux d'oxygénation du sol (Frey *et al.*, 2003). Ce phénomène est particulièrement susceptible de se produire sur les dépôts à texture fine (Harvey et Bergeron, 1989; Brais et Camiré, 1998). De plus, Perala (1974) note qu'une importante quantité de débris sur les parterres de coupe réduirait le drageonnement du peuplier faux-tremble.

Le but de cette étude vise à caractériser le degré d'enfeuillement des pessières à épinette noire parsemées de peupliers faux-trembles suite à la coupe totale sur la

grande ceinture d'argile du Nord-Ouest du Québec. Selon Brumelis et Carleton (1988), Harvey et Bergeron (1989), Carleton et MacLellan (1994) et Grondin *et al.* (2003a), le peuplier faux-tremble montre une agressivité particulière à se propager sur les dépôts de texture fine. Nous posons comme première hypothèse que les pessières à épinette noire sur argile mésique et ponctuées de peupliers faux-trembles qui subissent une coupe totale verront leurs îlots de peuplier gagner en densité et en superficie.

Il est reconnu qu'à travers le temps, dans les situations topographique à faible pente, les pessières noires sur dépôts à texture fine du Nord-Ouest du Québec développent une très épaisse couche de matière organique (Harper *et al.*, 2003; Fenton *et al.*, 2005). Selon Gauthier *et al.* (2000) et Lecomte et Bergeron (2005), l'importance des dépôts organiques de cette région contribue directement au maintien de l'épinette noire dans le paysage. Par conséquent, comme deuxième hypothèse nous nous attendons à ce que l'envahissement du peuplier faux-tremble dans les secteurs à épaisse couche de matière organique sera limité.

Gagnon *et al.* (1998), Fortin (1999) et Fortin et Gagnon (2001) affirment que sous les conditions d'aménagement actuelles de courtes révolutions de coupe, le peuplier faux-tremble mérite davantage le statut d'espèce en expansion que celui d'espèce de transition. Ils mettent en doute la théorie de la succession végétale et croient plutôt que les espèces pionnières peuvent persister dans le paysage (dynamique cyclique). Ils soulèvent même la possibilité d'un remplacement irréversible de l'épinette noire par le peuplier faux-tremble. Nous formulons donc comme troisième hypothèse que si le peuplier agit comme une espèce de remplacement, nous devons démontrer que sa présence nuit à l'établissement et à la survie de l'épinette noire et que, par conséquent, le coefficient de distribution de l'épinette noire en sous-étagement est déficient.

2.3. Matériel et méthode

2.3.1. Site d'étude

La région à l'étude (Figure 2.1.) est localisée aux environs du 49^{ème} parallèle nord, à la jonction de la région écologique 5a (Plaine de l'Abitibi) du domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest et de la région écologique 6a (Plaine du lac Matagami) du domaine de la pessière à mousses de l'ouest (Bergeron *et al.*, 1998).

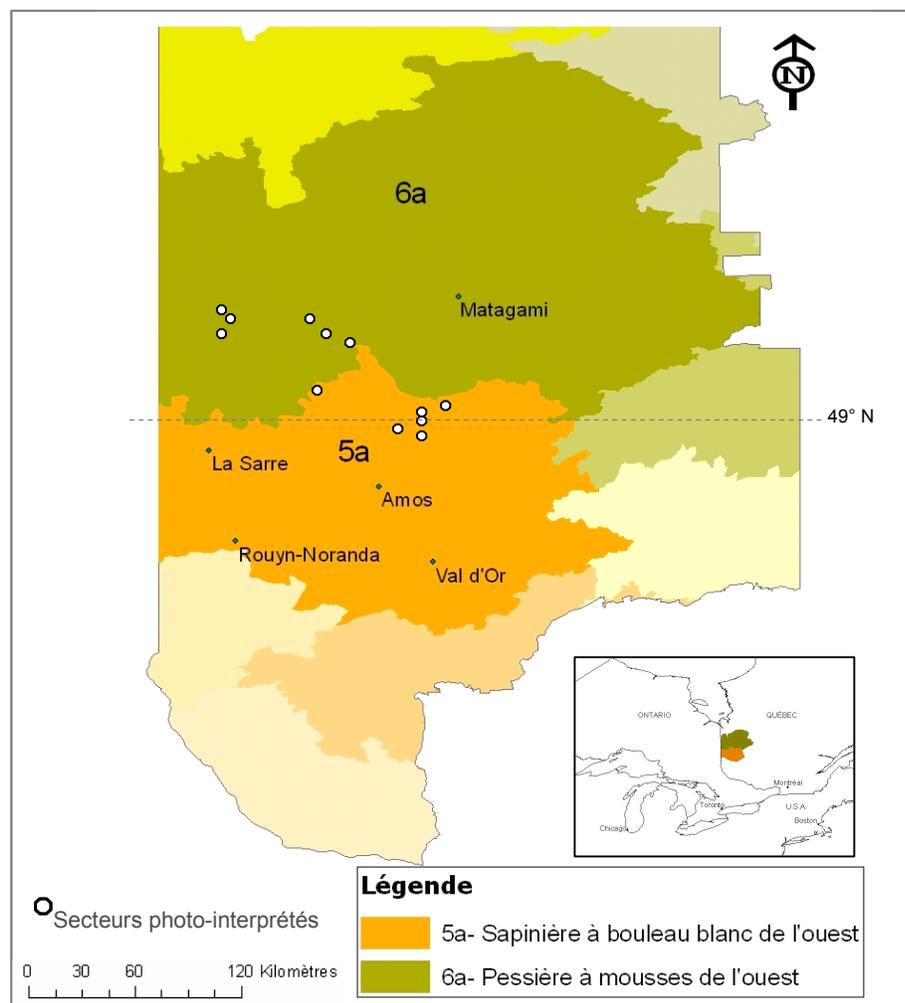


Figure 2.1. Sites d'étude.

Le secteur est également situé sur la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec, une vaste plaine d'argile qui s'incline doucement vers la baie de James et dont les sédiments glaciolacustres constituent les vestiges de l'ancien lac proglaciaire Ojibway (Vincent et Hardy, 1977). À certains endroits au nord de la zone d'étude, les dépôts de surface sont constitués d'argile caillouteuse résultant de la récurrence du glacier Cochrane sur l'argile du lac Ojibway (Hardy, 1977). Le territoire forestier est dominé par des couverts résineux d'épinette noire, de pin gris et de sapin. La température moyenne annuelle est de 0 à -2.5° C. La saison de croissance est d'environ 150 jours et les précipitations totales annuelles sont de l'ordre de 700 à 800 mm (Robitaille et Saucier, 1998). Le relief est plat et les tourbières, les lacs et les rivières y abondent. Le secteur est caractérisé par une exploitation forestière industrielle depuis le début des années 1970. Selon Bergeron *et al.* (2004), la transition de la région écologique 5a à la région écologique 6a est principalement contrôlée par la dimension et la sévérité des feux. Dans la région 5a, l'abondance des essences feuillues, la présence de nombreux plans d'eau et la fragmentation du paysage par les routes et les terres agricoles agissent comme coupe-feu et contribuent à réduire la dimension et la sévérité des feux. La région 6a est caractérisée par des feux intenses et de grandes superficies.

2.3.2. Photo-interprétation

En dépit de l'émergence de l'imagerie satellitaire, la photographie aérienne est toujours reconnue pour être l'outil de travail idéal pour illustrer les changements de couvert végétal à travers le temps (Hart et Laycock, 1996). Selon Kadmon et Hanari-Kremer (1999) et Bierman *et al.* (2005), la photographie aérienne constitue la seule source d'information combinant fine résolution spatiale, grande échelle et suivi à long terme de la végétation.

Dans plusieurs régions du monde, de multiples études spatio-temporelles ont fait état des changements de composition du paysage par l'entremise de la photo-

interprétation. En Amérique du Nord, en Afrique et en Australie, des recherches ont été menées sur la conversion de la plaine herbacée en strate arbustive (Scalan et Archer, 1991; Mast *et al.*, 1997; Hudak et Wessman, 1998; Bowman *et al.*, 2001). En Europe, Müllerova *et al.* (2005) ont dressé l'historique de l'invasion d'une plante exotique. Jean et Bouchard (1991) ont caractérisé l'évolution des terres humides du fleuve Saint-Laurent. Sur la côte ouest américaine, Kennedy et Spies (2004) ont examiné les changements de couverts forestiers avant et après coupes forestières. Fisher et Harris (1999) et Fensham et Fairfax (2003) ont analysé la fragmentation de la forêt australienne suite aux défrichements agricoles.

Plus près de notre territoire d'étude, Lefort (1998) et Lefort *et al.* (2003) ont étudié les changements de composition de la forêt boréale, dans la région de la grande ceinture argileuse du Nord-Ouest du Québec et du Nord-Est de l'Ontario. L'analyse de photographies aériennes de 1926, 1936 et 1952 a permis de constater que le paysage forestier du début du siècle, dominé par des résineux, est maintenant composé d'une forte proportion de feuillus de lumière. Le défrichement intensif de la forêt autour des villages agricoles combiné aux nombreux brûlages d'abatis a eu pour conséquence de modifier profondément le paysage de la zone habitée.

De manière similaire aux travaux de Lefort (1998) et Lefort *et al.* (2003), la présente étude vise à caractériser la dynamique d'enfeuillage de la forêt boréale par le peuplier faux-tremble à partir de photos aériennes panchromatiques en noir et blanc. Le phénomène est toutefois examiné sous un nouvel angle, celui des coupes à blanc industrielles.

2.3.2.1. Sélection des sites et des photos aériennes

En premier lieu, une recherche a été effectuée afin de trouver des secteurs forestiers qui ont été photographiés avant et après une coupe totale. Cette étape initiale a permis d'obtenir deux couplets de photos par site. Le premier jeu de photos,

illustrant le couvert d'origine, a été choisi en fonction du peuplement forestier et du dépôt de surface. Des pessières noires pures constituées d'au plus 25% de peupliers faux-trembles et reposant sur argiles mésiques ont été sélectionnées. Ces caractéristiques précises ont été fixées dans le but de vérifier l'hypothèse de Grondin *et al.* (2003a) selon laquelle les pessières noires sur dépôts de texture fine et ponctuées de peupliers faux-trembles sont très sujettes à l'enfeuillement. Le deuxième jeu de photographies aériennes est celui qui illustre le couvert de retour suite à la coupe. Un délai minimal de 10 ans entre l'année de coupe et la prise de photo a été recherché afin d'obtenir un signal clair de la régénération. Les sites qui ont fait l'objet d'interventions sylvicoles (préparation de terrain, plantation, ensemencement, éclaircie pré-commerciale) ou qui ont brûlé depuis la coupe ont été exclus.

Les cartes écoforestières et le répertoire des coupes du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) ont permis de trouver les images désirées. Ainsi le premier jeu de photos provient du premier inventaire décennal du ministère (années 1970) et le deuxième jeu de photos émane du troisième inventaire décennal (années 1990). Les coupes totales sont survenues entre ces deux décennaux. Au total, 12 secteurs ont fait l'objet d'une photo-interprétation (Figure 2.1 et Tableau 2.1).

2.3.2.2. Réalisation des croquis

En deuxième lieu, des croquis ont été tracés à partir des photographies aériennes à l'aide d'un stéréoscope à miroirs WILD ST4 (lunette de grossissement de 3X). Pour ce faire, des calques transparents ont été apposés sur les couplets stéréoscopiques du 1^{er} et du 3^{ème} inventaire décennal. Par la suite, les chemins, l'hydrographie, le périmètre de la coupe ainsi que les zones contenant du peuplier faux-tremble (à l'intérieur comme à l'extérieur de la coupe) ont été dessinés.

Tableau 2.1. Information sur les photographies aériennes (panchromatiques noir et blanc)

Localisation (canton)	Année photo avant coupe	Échelle	Année photo après coupe	Échelle	Date de coupe	Temps écoulé depuis la coupe
Paradis	1974	1:15 000	1992	1:15 000	1976	16 ans
Laberge	1974	1:15 000	1992	1:15 000	1976	16 ans
Casa Berardi	1974	1:15 000	1992	1:15 000	1975	17 ans
Ligneris	1972	1:15 000	1992	1:15 000	1975	17 ans
Dalet	1974	1:15 000	1992	1:15 000	1981	11 ans
Rainboth	1974	1:15 000	1992	1:15 000	1975	17 ans
Bacon	1979	1:15 000	1992	1:15 000	1979	13 ans
Coigny 1	1970	1:20 000	1995	1:15 000	1977	18 ans
Coigny 2	1972	1:20 000	1992	1:15 000	1978	14 ans
Coigny 3	1970	1:20 000	1995	1:15 000	1977	18 ans
Coigny 4	1970	1:20 000	1995	1:15 000	1978	17 ans
Bernetz	1970	1:20 000	1992	1:15 000	1976	16 ans

Pour les croquis représentant le couvert d'origine, les variations de teintes et de textures des peuplements forestiers ont permis de délimiter les différents objets avec précision. La présence d'îlots de peuplier faux-tremble contrastait vivement avec le couvert foncé et erratique de l'épinette noire. Le peuplier faux-tremble a pu être identifié par sa teinte pâle et sa texture régulière et fine. Sa cime est petite et ressemble à une sphère légèrement inclinée. En peuplements purs, lorsque les couronnes sont fortement regroupées, les peupliers faux-trembles s'apparentent à des fleurs de brocoli (Sayn-Wittgenstein, 1966; Desloges, 1970). Selon Rouffignat *et al.*, (1984), le peuplier se distingue très difficilement du bouleau blanc. Cependant, en raison du secteur d'étude, le bouleau blanc est pratiquement absent du paysage. À l'inverse du peuplier, l'épinette noire a une teinte sombre. Sa couronne est étroite, pointue et relativement dense et sa texture est très fine (Gagnon, 1974). Le profil d'un arbre sur le bord d'un lac, d'une tourbière ou d'une route a souvent permis de préciser une espèce ou de la différencier d'une autre. Les ombres projetées sur le sol offrent des indications précieuses sur certaines particularités de la cime (Brown, 1981; Mollard et Janes, 1985). De plus, étant donné que les photos ont été prises à la verticale, l'image des arbres près des bords de la photo était suffisamment déplacée pour qu'on puisse la voir partiellement de profil.

Pour les croquis représentant la strate de retour suite à la coupe, l'identification des jeunes peuplements au stade de régénération a été plus ardue. Les caractéristiques photographiques ne sont pas les mêmes que celles de la forêt mature. Une tonalité plus pâle caractérise l'image de ces peuplements. De plus, les jeunes cimes souvent très denses et sans forme bien définie donnent à la photographie une texture très uniforme sans patron distinct (Desloges, 1970). C'est la raison pour laquelle des visites de terrain ont été réalisées ultérieurement (voir sect. 2.2.5).

Une fois les croquis terminés, le pourcentage de recouvrement en peuplier faux-tremble de chaque îlot a été estimé et groupé en catégories (Tableau 2.2.).

Tableau 2.2. Classes de recouvrement en peuplier faux-tremble

Classe	Densité en peuplier faux-tremble
0	aucun
1	< 5%
2	5 à 25%
3	26 à 50%
4	51 à 75%
5	>75%

2.3.2.3. Numérisation des croquis

À l'aide d'un balayeur optique de haute précision, les croquis ont été numérisés et importés dans Arc Map. La fonction Georeferencing a permis de juxtaposer les croquis aux différentes couches numériques (format shapefile) des cartes écoforestières du MRNF. Des points de contrôle correspondant à des intersections de routes ou des embranchements de rivières ont ensuite été saisis afin de caler les dessins sur les couches numériques. Cette rectification géométrique a ainsi doté les croquis d'une référence spatiale en plus d'harmoniser les différences d'échelle. Suite à cette manœuvre, le périmètre des coupes et des îlots de peuplier faux-tremble ont

été redessinés à l'écran dans Arc Map et les classes de recouvrement ont été entrées dans des tables de données.

2.3.3. Analyses statistiques

Dans le but d'évaluer quantitativement les taux de conversion des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble, les données vectorielles ont été transformées en mode matriciel via la fonction Spatial Analysis de Arc Map. Puis, les couches avant et après coupe des 12 secteurs ont été converties en grilles dont les cellules ont 10 mètres de côté. Toujours sous Spatial Analysis, l'utilitaire Neighbourhood statistics a permis de calculer pour chaque cellule des croquis avant coupe une zone de voisinage de 10 mètres (distance moyenne de drageonnement de peuplier faux-tremble selon Jobidon (1995)) afin d'évaluer l'influence du drageonnement du peuplier.

Par la suite, à partir de la fonction Tabulate Area (Spatial Analysis - Zonal area) des tableaux de contingence ont été dressés à partir de la superposition des couches : (1) transition avant coupe vs après coupe; (2) transition avant coupe vs voisinage; (3) transition voisinage vs après coupe. Le croisement de ces couches a généré des couplets qui correspondent aux diverses transitions possibles. Puis, les 3 grilles ont été exportées dans le chiffrier Excel afin de calculer les triplets d'information :

- 1) classes de recouvrement de peuplier faux-tremble avant coupe;
- 2) classes de recouvrement de peuplier faux-tremble après coupe;
- 3) classes de recouvrement de peuplier faux-tremble avant coupe dans un rayon de 10 mètres.

2.3.4. Taille et persistance des îlots de peuplier faux-tremble

À partir des 12 croquis, la taille et la persistance des îlots de peuplier faux-tremble ont été évaluées. En premier lieu, les 57 îlots présents avant coupe ont été classés en fonction de leur taille : petit (axe maximal du diamètre inférieur à 200m) ou

grand (axe maximal du diamètre supérieur à 200m). Par la suite, ces mêmes îlots ont été classés en fonction de leur disparition ou non du paysage suite à la coupe.

2.3.5. Plan d'échantillonnage terrain

Comme on ne peut tirer d'une photographie ou d'une carte qu'une certaine somme de renseignements, il est essentiel de procéder à des travaux sur le terrain pour vérifier les interprétations et recueillir des données supplémentaires (Spurr, 1960; Desloges, 1970; Mollard et Janes, 1985). C'est pourquoi, les limites et les classes de recouvrement en peuplier faux-tremble des 12 secteurs ont été validées en forêt. La collecte de données a eu lieu au cours des étés 2004 et 2005. Cette validation terrain a permis de recueillir des informations additionnelles telles que le coefficient de distribution des tiges et l'épaisseur de la matière organique.

Comme méthode d'échantillonnage, des virées ont été tracées aux travers des îlots de peuplier faux-tremble. Les virées sont constituées de grappes à chaque 50 mètres. Une grappe mesure 45 mètres et contient 10 placettes. Ces dernières sont espacées par une distance de 5 mètres (Figure 2.2.).

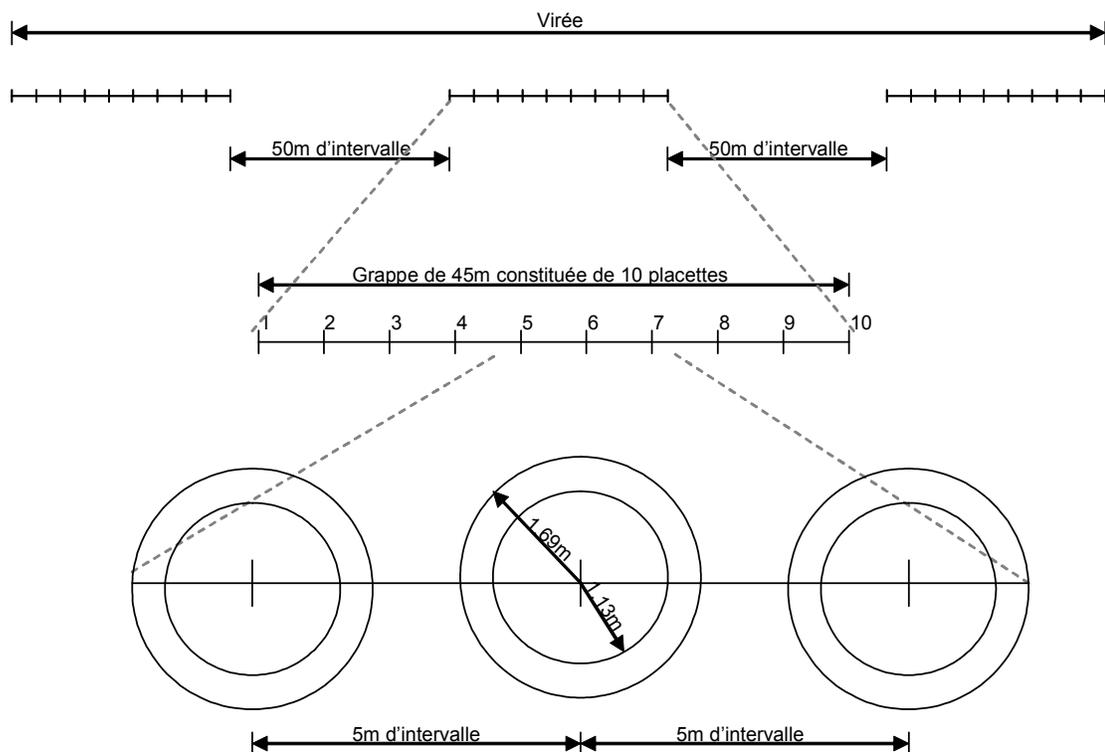


Figure 2.2. Schéma de l'échantillonnage terrain (virée, grappes et placettes).

Un dénombrement des tiges d'essences feuillues ainsi qu'une mesure de l'épaisseur de la matière organique ont été effectués aux placettes 1, 5 et 10, alors que la méthode présence/absence a été employée aux placettes 2, 3, 4, 6, 7, 8 et 9. Pour le dénombrement et l'absence/présence des tige d'essences feuillues un rayon de 1,69 mètres a été utilisé et pour les tiges d'essences résineuses un rayon de 1,13 mètres. Préalablement à l'échantillonnage des sites, la position géographique des grappes a été enregistrée à l'aide d'un GPS à partir des croquis sur Arc Map.

2.3.6. Compilation des données

À partir des données terrain, des tableaux de contingence ont été produits. Ces tableaux ont permis de questionner l'association entre diverses variables catégorielles : coefficient de distribution en peuplier faux-tremble vs épaisseur de la

matière organique; coefficient de distribution en résineux vs épaisseur de la matière organique; coefficient de distribution en aulne vs épaisseur de la matière organique; coefficient de distribution en résineux vs coefficient de distribution en peuplier faux-tremble.

Le coefficient de distribution correspond au pourcentage de placettes où se présente la tige d'une essence pour chaque grappe. Un coefficient de distribution a été considéré comme élevé lorsque :

- les peupliers faux-trembles sont présents dans plus de 3 placettes sur 10
- les résineux sont présents dans plus de 5 placettes sur 10
- les aulnes sont présents dans plus de 5 placettes sur 10

L'épaisseur de la matière organique de chaque grappe équivaut à la moyenne des placettes 1, 5 et 10.

2.3.7. Analyses statistiques

À partir des données compilées, des fréquences observées, des fréquences attendues et des déviations ont été calculées. Puis, le test Khi2 a déterminé s'il y avait de l'hétérogénéité dans la table de fréquence. Les écarts de Neu *et al.* (1974) ont montré quant à eux les cases du tableau responsables de cette hétérogénéité. Pour terminer, un modèle log-linéaire effectué dans le logiciel SAS (SAS Institute inc., 1988) a confronté l'effet du peuplier faux-tremble à l'effet de la matière organique sur le coefficient de distribution en épinette noire afin de vérifier si le peuplier limite le coefficient de distribution de l'épinette noire.

2.4. Résultats

2.4.1. Transitions des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble

Les résultats présentant les changements de classes de recouvrement de peuplier faux-tremble avant et après coupe ont été illustrés sous forme d'histogrammes empilés pour chacun des 12 secteurs (Appendice A) et pour tous les secteurs confondus (Figure 2.3.). Il s'agit de graphiques où chaque barre correspond à une classe de recouvrement avant coupe et l'empilement renvoie aux différentes classes de recouvrement après coupe. Ainsi chaque barre représente le vecteur de transition associé à une classe de recouvrement de peuplier faux-tremble avant coupe.

Des tableaux de contingence ont également été réalisés afin de mettre l'emphase sur divers contrastes pouvant caractériser les transitions de classes de recouvrement avant coupe vs après coupe. La figure 2.4 compare les différents cas de transition : hausse, inchangée et baisse. La figure 2.5 affiche hausse vs inchangée (baisse et stable). La figure 2.6 présente inchangée (hausse et stable) vs baisse.

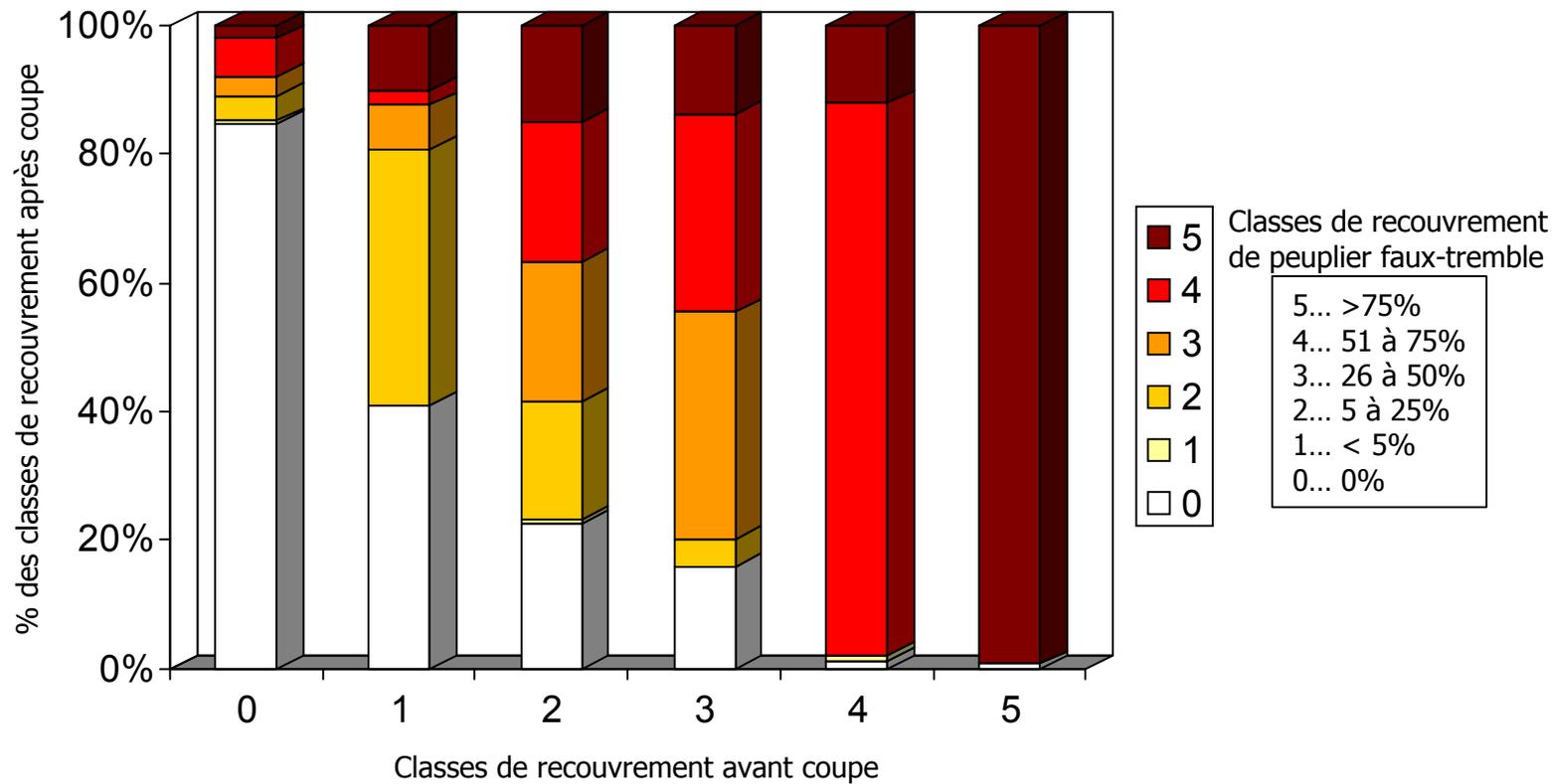


Figure 2.3. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à une coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe.

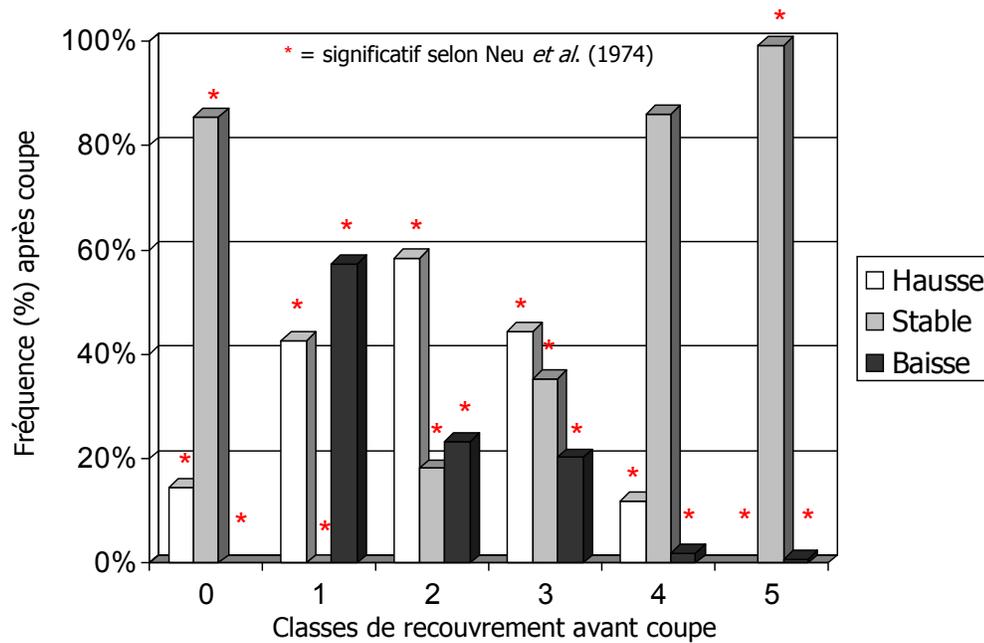


Figure 2.4. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à la coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe - comparaison des hausses, baisses et inchangées.

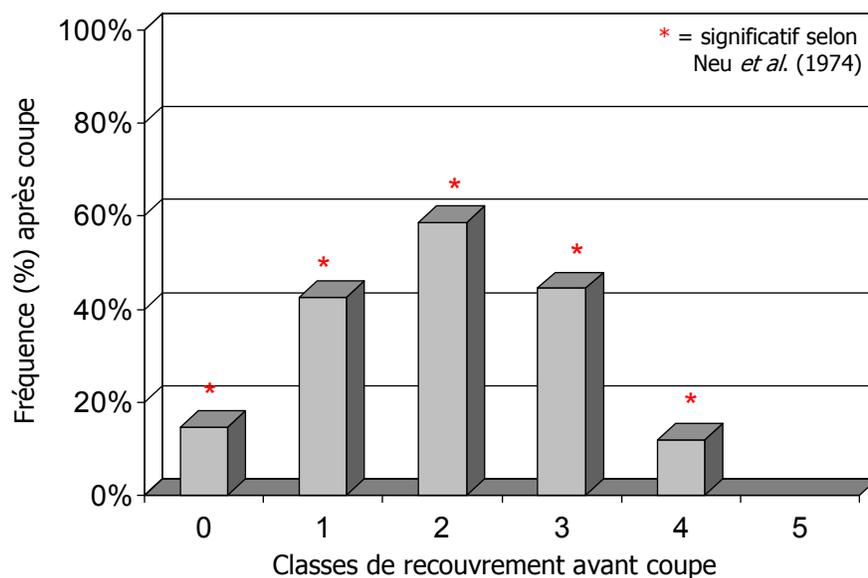


Figure 2.5. Augmentation des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe - hausses vs non-hausses (baisses et stables).

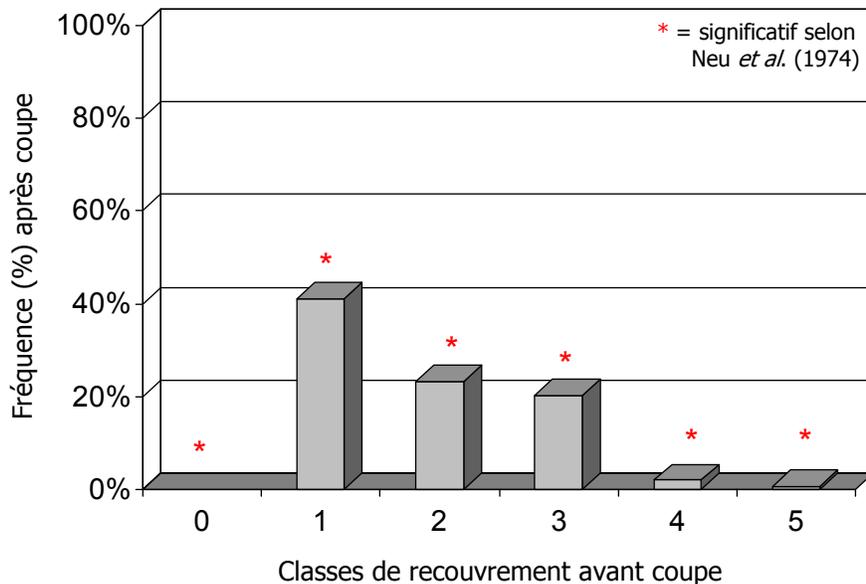


Figure 2.6. Diminution des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe vs après coupe - baisses vs non-baisses (hausses et stables).

Les résultats des figures 2.3 et 2.4 illustrent que la classe de recouvrement où il n'y avait pas de peuplier faux-tremble avant coupe a subi 15% d'enfeuillage. Pour la classe de recouvrement qui comportait moins de 5% de peuplier, 59% passe à une classe supérieure alors que 41% demeure inchangé. La classe de recouvrement suivante (5 à 25%) augmente dans 59% des cas, reste stable pour 18% et baisse dans 23% des cas. Lorsque la classe de recouvrement est de 26 à 50% dans l'îlot, ce dernier augmente d'une classe dans 45% des cas, demeure stable à 35% et diminue de 20%. Pour la classe de recouvrement supérieure (51 à 75%), les îlots augmentent de recouvrement dans 12% des cas, demeurent de même recouvrement dans 86% des cas et affichent une baisse dans 2% des cas. Finalement, la densité maximale (plus de 75%) demeure stable à 99% la plupart du temps.

Les figures 2.5 et 2.6 démontrent que les classes de recouvrement les plus susceptibles à subir soit une diminution ou une augmentation de densité sont les classes 1 (moins de 5%), 2 (5 à 25%) et 3 (26 à 50%).

Les transitions obtenues entre la classe de recouvrement moyenne avant coupe caractérisant le voisinage (zones de drageonnement de 10m du peuplier faux-tremble) et de l'état après coupe sont illustrées aux figures 2.7, 2.8, 2.9 et 2.10.

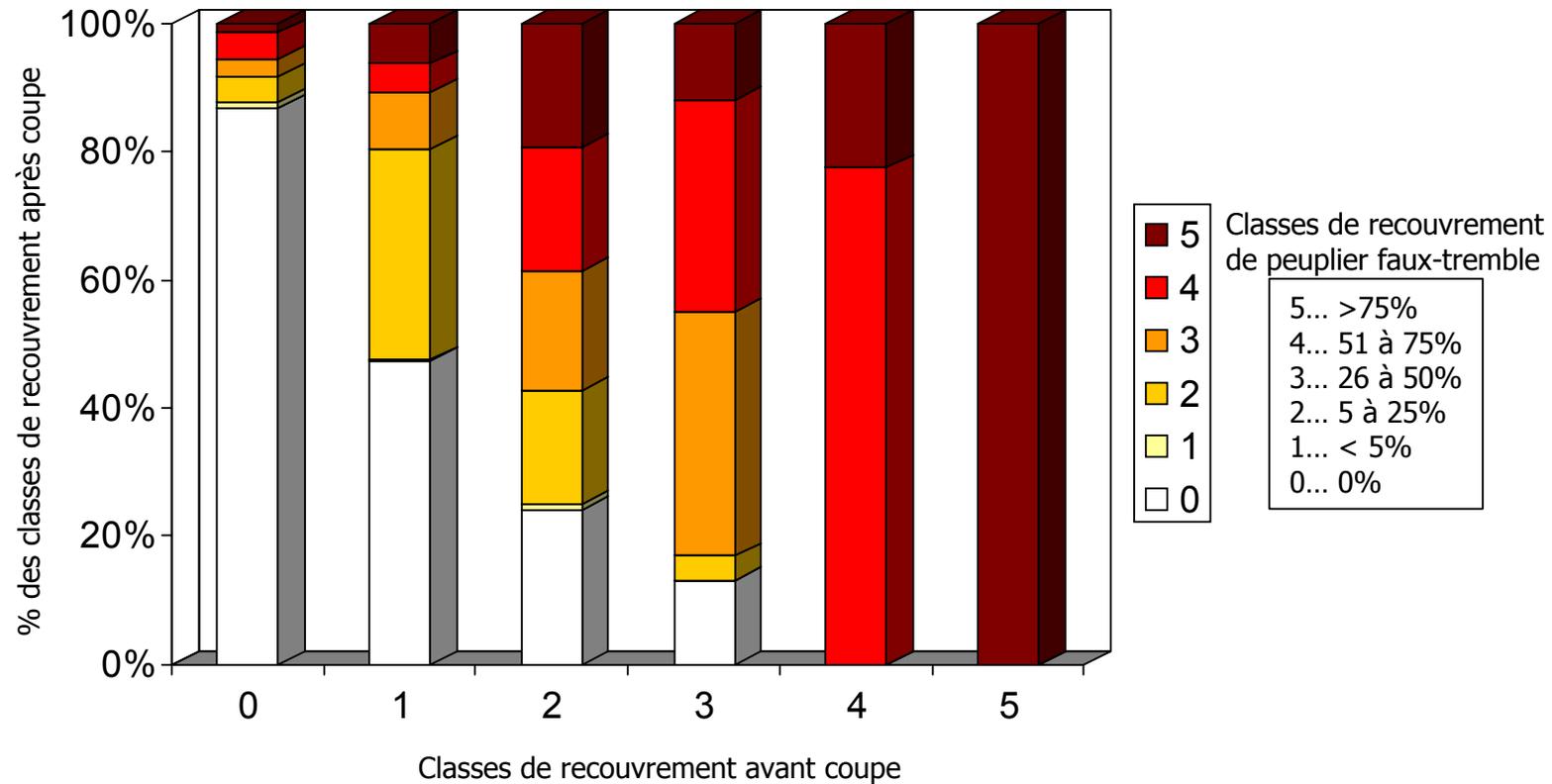


Figure 2.7. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à une coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe.

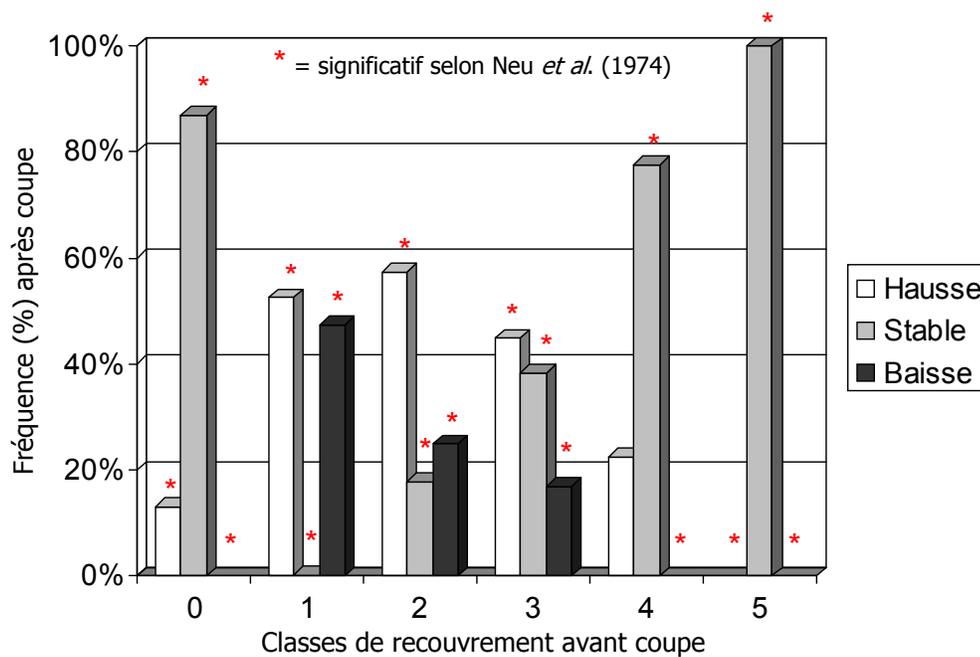


Figure 2.8. Évolution des classes de recouvrement de peuplier faux-tremble suite à une coupe totale pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe - comparaison des hausses, baisses et inchangées.

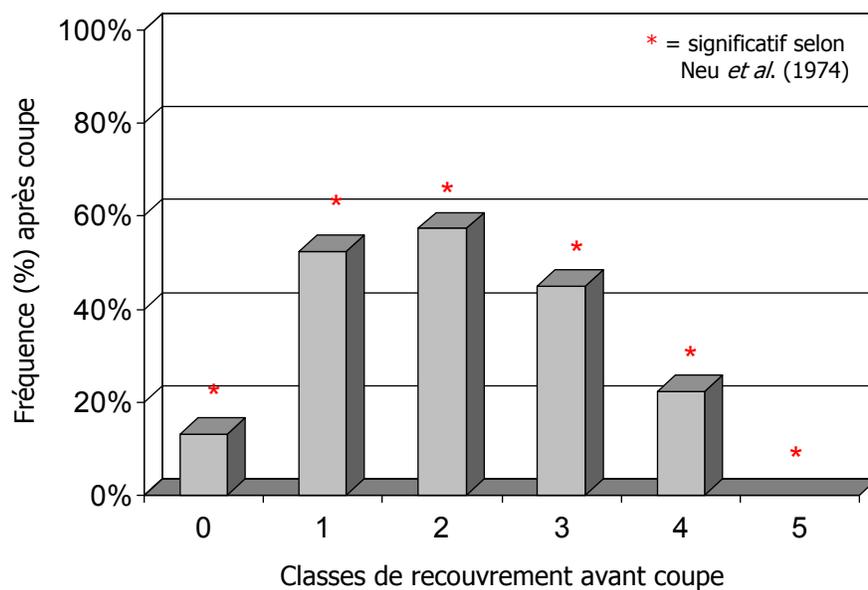


Figure 2.9. Augmentation des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe - hausses vs non-hausse (baisses et stables).

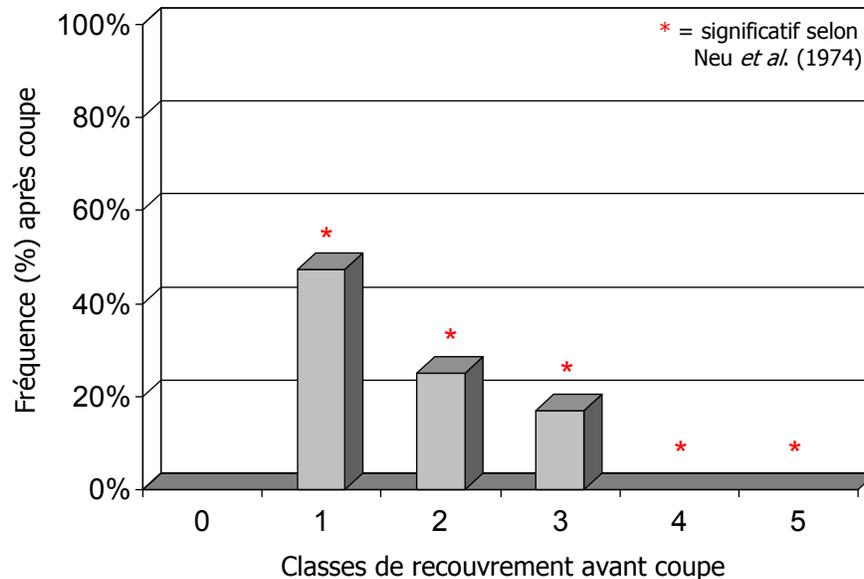


Figure 2.10. Diminution des classes de recouvrement en peuplier faux-tremble pour tous les secteurs confondus : avant coupe dans un voisinage de 10m vs après coupe - baisses vs non-baisses (hausses et stables).

L'évolution des différentes classes de recouvrement traduit sensiblement les mêmes résultats que la transition avant coupe vs après coupe. Les résultats des figures 2.7 et 2.8 démontrent que la classe de recouvrement où il n'y avait pas de peuplier faux-tremble avant coupe a subi 13% d'enfeuillage (une baisse de 2% comparativement aux cas d'envahissement avant vs après coupe). Pour la classe de recouvrement qui comportait moins de 5% de peuplier, 52% passe à une classe supérieure alors que 47% demeure inchangé et moins de 1% chute à 0. La classe de recouvrement suivante (5 à 25%) augmente dans 57% des cas, reste stable pour 18% et baisse dans 25% des cas. Lorsque la classe de recouvrement est de 26 à 50% dans l'îlot, ce dernier augmente en densité dans 45% des cas, demeure stable à 38% et diminue dans 17% des cas. Pour la classe de recouvrement supérieure (51 à 75%), les îlots augmentent dans 22% des cas (comparativement à 12% pour la transition avant vs après coupe) et demeurent de même recouvrement dans 78% des cas. Finalement, la densité maximale (plus de 75%) demeure stable à 100%.

La figures 2.9 et 2.10 démontrent que la classe 1 est la plus susceptible de varier soit à la hausse ou à la baisse. Il s'agit d'une classe très volatile. Pour les classes 2 et 3, les probabilités d'afficher une hausse sont plus grandes que celle de fluctuer à la baisse.

2.4.2. Taille et persistance des îlots de peuplier faux-tremble

La taille des îlots de peuplier semble clairement influencer sa probabilité de persistance ou de disparition. Les grands îlots, dont l'axe maximal du diamètre est supérieur à 200 mètres, ont de fortes chances de persister dans le paysage suite à la coupe (96% persistent vs 4% disparaissent). Les petits îlots, dont l'axe maximal du diamètre est inférieur à 200 mètres, ont pratiquement les mêmes chances de disparaître (47%) que de persister (53%).

2.4.3. Données de terrain

2.4.3.1. Coefficients de distribution vs épaisseur de la matière organique

Suite à la réalisation d'un tableau de contingence croisant l'épaisseur de la matière organique avec le coefficient de distribution du peuplier faux-tremble, un seuil de 30cm a été fixé. Au-dessous de ce seuil de 30cm, le maximum de réponse pour un bon coefficient de distribution de peuplier (> 3 placettes sur 10) est observé. À l'inverse, les grappes présentant un bon coefficient de distribution d'espèces résineuses et d'aulne (> 5 placettes sur 10) se retrouvent majoritairement sur des dépôts dont la profondeur de la matière organique est supérieure à 30cm (Figure 2.11.).

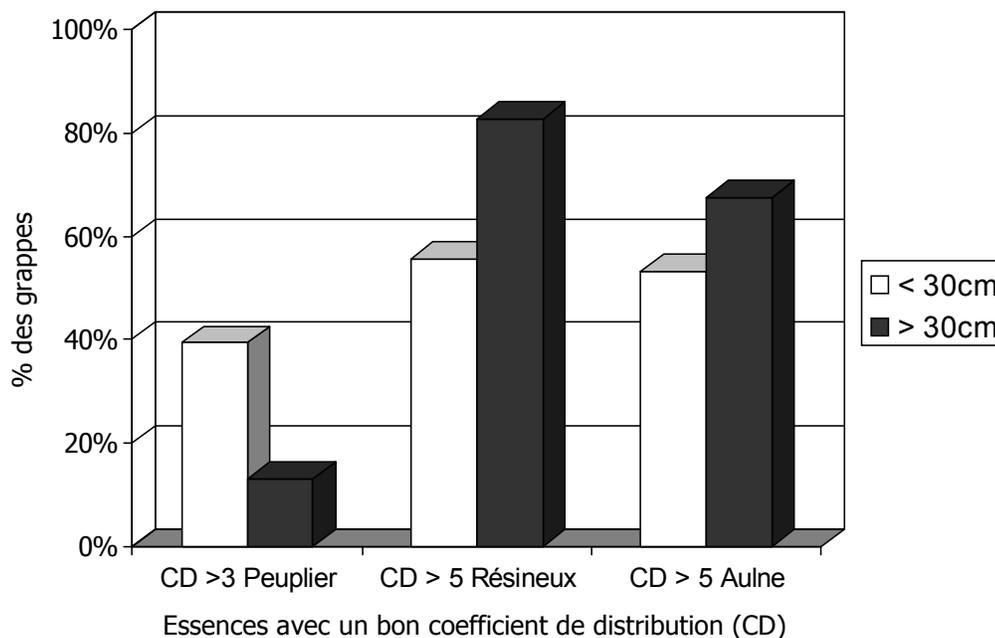


Figure 2.11. Fréquence des grappes présentant un bon coefficient de distribution (CD) en fonction de l'épaisseur de la matière organique.

2.4.3.2. Effet du peuplier faux-tremble et de l'épaisseur de la matière organique sur le coefficient de distribution des résineux (CDR)

Les analyses précédentes ont montré que le peuplier faux-tremble se rencontre avant tout sur des sites où l'épaisseur de la matière organique est inférieure à 30cm. Elles indiquent également que sur ces sites dont la couche organique est plus mince, la régénération résineuse (i.e. combinant l'épinette noire et le sapin) est moindre que sur les dépôts organiques. Afin de comparer l'effet de l'abondance du peuplier faux-tremble à celui de l'épaisseur de la matière organique sur la régénération résineuse, plusieurs modèles de régression logistique ont été ajustés sur le succès de régénération résineuse ($CDR < 6 = \text{échec}$, $CDR > 5 = \text{succès}$) puis comparés à l'aide du critère Akaike (AIC). Le modèle qui s'ajuste le mieux au succès de régénération est celui ne faisant appel qu'à l'épaisseur de matière organique (AIC= 200.6). Les deux autres modèles, soit le modèle ne faisant appel qu'à l'abondance

de peuplier faux-tremble (AIC= 215.0) et le modèle saturé incluant les deux variables explicatives (AIC= 198.8), s'avèrent rejetés par les comparaisons multiples. Les mêmes conclusions tiennent lorsqu'on ajuste les modèles pour le succès de régénération de l'épinette noire seulement. Ces résultats tendent à démontrer que la diminution de l'épaisseur de la matière organique apparaît un meilleur indicateur de la baisse du coefficient de distribution de l'épinette noire ou des résineux que ne l'est le peuplier faux-tremble. Les variations d'épaisseur de matière organique sont donc plus indicatrices des facteurs causaux expliquant le succès de régénération.

2.5. Discussion

2.5.1. Expansion des îlots de peuplier faux-tremble

L'analyse des classes de recouvrement issue de la photo-interprétation confirme l'hypothèse 1 selon laquelle les îlots de peuplier faux-tremble contenus dans les pessières à épinette noire sur argile mésique gagnent en densité et en superficie suite à la coupe totale. Selon Grondin *et al.* (2003b), il est important de définir le portrait primitif des zones sous aménagement (composition et structure) et de l'accompagner de seuils minimaux ou maximaux au-delà desquels une perte de l'intégrité écologique est anticipée. Or, nos résultats montrent que les îlots de peuplier augmentent habituellement d'une classe de recouvrement à la fois, ce qui suggère un phénomène d'enfeuillement allant en s'aggravant si les conditions édaphiques le permettent. Par contre, la pessière pure (0% de peuplier) est relativement réfractaire à l'enfeuillement. Lorsqu'il n'y a pas de peuplier au voisinage (moins de 10 mètres) et qu'on observe l'apparition du peuplier suite à la coupe (13% des cas), on peut supposer une colonisation par l'entremise de graines. Ce faible envahissement des zones dépourvues de peuplier avant coupe fait contraste avec les résultats observés par Fortin (1999) et Fortin et Gagnon (2001) en Gaspésie. Pour la classe 1 (moins de 5% de recouvrement), le peuplier profite déjà de sa présence sur le site pour se maintenir ou augmenter en classe de recouvrement suite à la coupe. Toutefois, le peuplier semble avoir de la difficulté à se maintenir à ce faible niveau de recouvrement, car il disparaît dans 40 % des cas. Par la suite, plus les classes de recouvrement augmentent en densité, plus le peuplier sera tenace et envahissant. Les classes de densité de 51 à 75% et de plus de 75% sont saturées de peupliers. Les chances qu'elles diminuent après la coupe sont pratiquement nulles. On peut donc affirmer qu'un peuplement d'épinette noire sur argile mésique avec une classe de recouvrement de peuplier de plus de 5% risque de subir un enfeuillement après coupe totale.

D'autre part, les résultats démontrent que si un îlot contenant du peuplier est suffisamment grand ($> 200\text{m}$ de diamètre), on observera une expansion du peuplier faux-tremble après coupe. Par contre, si l'îlot est petit ($< 200\text{m}$ de diamètre), les chances sont nettement moindres d'assister à une expansion. Il est reconnu que les populations de peupliers se développent selon une direction précise, depuis un point central constant (Comtois et Payette, 1987). Dans les conditions idéales, sous l'effet des perturbations, les individus situés à l'intérieur d'un îlot vont tendre à occuper des zones d'expansion concentriques parfaitement circulaires. Seules les limites physiques du milieu pouvant être colonisées restreignent ce développement. La forme des îlots est donc un indice des limites imposées à leur expansion géographique. La compétition des espèces résineuses, une topographie accidentée (Comtois et Payette, 1987) ou un sol trop humide et trop froid (Frey *et al.*, 2003; 2004) restreignent l'expansion des parcelles de peuplier. La grande dimension de certains îlots s'expliquerait donc par le peu de contraintes du milieu environnant. Ces grands îlots profiteraient de la récurrence de perturbations (feux et coupes), survenant à de courts intervalles de temps, pour maintenir leur superficie et même à l'augmenter, jusqu'à ce que la saturation du milieu physique disponible limite la portée de la croissance végétative. En l'absence de ces perturbations, ces grands îlots seraient plutôt amenés à se fractionner en de plus petits îlots et à disparaître. La sénescence des peupliers mènerait alors à un accroissement progressif de la dominance des résineux à travers le temps (Bartos et Mueggler, 1982; Greene et Johnson, 1999; Bergeron, 2000). À l'inverse, les îlots de petite dimension se trouvent plus vulnérables à leur environnement immédiat. Suite à un feu ou à une coupe, leurs chances de survie sont donc moindres, car ils se retrouvent bornés sur l'ensemble de leur pourtour par une forêt de conifères, des conditions édaphiques défavorables (couche organique épaisse, drainage déficient) ou autres barrières physiques qui limitent le drageonnement des peupliers.

2.5.2. Dépôts organiques et enfeuillement

À la lumière de nos résultats, il apparaît que l'envahissement du peuplier faux-tremble dans les secteurs à épaisse couche de matière organique est limité, confirmant ainsi l'hypothèse 2. Les données témoignent que les sites présentant plus de 30cm d'épaisseur de matière organique sont peu sujets à l'enfeuillement. À l'opposé, l'épinette noire est fort présente sur ces sites. Elle est reconnue pour dominer les sols organiques plus que toutes autres espèces (Gauthier *et al.*, 2000, Harper *et al.*, 2003; Lecomte et Bergeron, 2005). Par ailleurs, le phénomène soulevé par Fortin et Gagnon (2001), selon lequel les chemins sont des portes d'entrée très efficaces pour les avancées subséquentes du peuplier faux-tremble, s'avère peu concluant dans nos sites d'étude. Les peupliers installés le long des corridors routiers ont peu de chances de s'étaler dans les peuplements voisins de résineux en raison des sols organiques et humides de la grande ceinture d'argile qui agissent telle une barrière au drageonnement.

En ce qui a trait à l'aulne rugueux (*Alnus rugosa*), il est davantage abondant lorsqu'il y a plus de 30cm d'épaisseur de matière organique. L'aulne est reconnu pour former un couvert très dense et pour le sérieux ralentissement successional qu'il provoque (Jobidon, 1995). Selon Jobidon (1995) et Grondin *et al.* (2003a), c'est dans la pessière à mousse que l'espèce est la plus susceptible de compromettre l'établissement de la régénération. Il est principalement associé à des dépôts lacustres et à un drainage variant de modéré à mauvais. La coupe d'un peuplement avantage fréquemment la venue de l'aulne, résultat d'une augmentation de la lumière disponible et de la remontée de la nappe phréatique (Vincent, 1964; Brumelis et Carleton, 1988; Harvey et Bergeron, 1989). Des recherches plus approfondies sur l'enfeuillement de la pessière noire par cet arbuste suite à la coupe gagneraient à être réalisées.

2.5.3. Espèce de remplacement ou de succession

Afin d'attester que le peuplier peut agir comme une espèce de remplacement vis-à-vis de l'épinette (hypothèse 3), il importe de vérifier si ce dernier apparaît nuisible à l'établissement et à la survie de l'épinette noire. Le modèle log-linéaire permettant de comparer l'effet du peuplier faux-tremble et de l'épaisseur de la matière organique sur le coefficient de distribution des résineux démontre que c'est la matière organique qui présente une plus nette influence sur le coefficient de distribution résineux.

Tout d'abord, on note que le coefficient de distribution des résineux sur les sites avec une faible couche de matière organique (moins de 30cm d'épaisseur) est généralement plus faible que sur les sites davantage entourés (plus de 30cm d'épaisseur). Ces résultats apparaissent contradictoires avec ce qui est habituellement rapporté dans les travaux portant sur la régénération après feux. L'épinette se régénère habituellement mieux sur les sites ayant une faible couche organique (Jayen *et al.* 2006). Ces faibles taux d'établissement seraient possiblement attribuables au mode d'aménagement. Étant donné que ces sites étaient modérément drainés, ils présentaient alors moins de contrainte à la traficabilité de la machinerie et auraient pu être coupés en période automnale ou estivale. Comme il s'agit d'anciennes coupes à blanc, la régénération préétablie risque d'avoir été endommagée par la circulation de la machinerie (Harvey *et al.* 1995). D'autre part, l'étude de Bujold (2005) confirme que la destruction de la régénération préétablie est généralement plus importante sur les sites à texture fine, car ceux-ci sont plus susceptibles à la compaction. À l'opposé, lorsqu'un secteur de coupe présente en moyenne des dépôts organiques épais, son accès est limité et ces secteurs ne peuvent être exploités qu'en hiver. Possiblement que cette récolte hivernale a favorisé le maintien de la régénération préétablie de résineux. Une autre hypothèse serait que les sites à sols organiques présentaient des peuplements avant coupe ayant une structure irrégulière ou inéquienne alors que ceux avec une faible

matière organique étaient davantage équienne donc avec peu de régénération préétablie.

À certains égards, les résultats pourraient également indiquer que le peuplier faux-tremble nuit à l'établissement de l'épinette noire, confirmant ainsi l'hypothèse 3. Toutefois, nous ne pouvons en comprendre le mécanisme d'interférence. Selon Légaré *et al.* (2004) la production des résineux sur argile mésique ne serait que très peu affectée par la présence du peuplier faux-tremble, en autant que ce dernier ne dépasse pas 40% du volume de bois sur pied. À la lumière de ces résultats, il est probable que les sites présentant une forte proportion de peuplier faux-tremble puissent être défavorables à l'épinette noire, mais sans travaux plus détaillés nous ne pouvons mettre en évidence le mécanisme d'interférence.

2.5.4. Implications pour l'aménagement des forêts

Dans le cadre de cette étude, l'enfeuillement a été abordé uniquement sous l'angle de la coupe totale, telle que pratiquée au Québec jusqu'au début des années 1990. La coupe totale a été progressivement remplacée par la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS). Nous croyons que les résultats de l'étude peuvent être transposés aux CPRS avec certaines nuances. La CPRS a comme particularité de restreindre la circulation de la machinerie forestière à des sentiers parallèles également espacés couvrant au maximum 25% de la surface des parterres de coupe (Harvey et Brais, 2002). Les parterres de CPRS sont donc caractérisés par une alternance de zones où les sols et la végétation sont fortement perturbés (sentiers de débardage) et très faiblement perturbés (bande de protection entre les sentiers). Il est probable que la CPRS crée moins de microsites favorables à l'établissement de semis de peuplier faux-tremble et que le drageonnement ne soit pas autant stimuler que la coupe totale conventionnelle. Cependant, Lavoie *et al.* (2005), Fenton *et al.* (2005) et Lecomte *et al.* (2006b) questionnent l'applicabilité de la CPRS. Les effets des CPRS, qui protègent par définition la matière organique accumulée au sol,

peuvent parfois réduire la productivité des peuplements, particulièrement sur les dépôts fins et mal drainés.

Des scénarios sylvicoles alternatifs à expérimenter afin de contrôler l'enfeuillage pourraient comprendre l'utilisation de coupes partielles (Doucet, 1999; Prévost *et al.*, 2003). À cet effet, Prévost et Pothier (2003) ont établi qu'il était envisageable de limiter le drageonnement du peuplier en laissant un couvert partiel de 50% de la surface terrière, en autant que la régénération résineuse sous-couvert soit d'une densité significative. De plus, tel que recommandé par Ruel *et al.* (1998), il serait important de laisser une régénération résineuse de plus grande taille en place suite à la coupe afin de contrer le ralentissement de croissance occasionné par les feuillus. Johnstone (2005) a noté que l'élimination manuelle de la partie aérienne des drageons de peuplier faux-tremble pendant trois saisons après le passage d'un feu de forêt a un effet positif sur la croissance des semis résineux. Quoique onéreux, un tel traitement gagnerait à être testé suite à une coupe totale. L'aménagement de peuplements mixtes, qui sont abondamment représentés dans le paysage forestier de l'ouest du Québec, pourrait aussi être une voie à envisager. Selon Légaré *et al.* (2005), ce type d'aménagement pourrait être économiquement intéressant et pourrait maintenir une certaine diversité de paysage et ainsi favoriser les multiples usagers de la forêt. De plus, le développement d'un marché croissant pour la fibre d'essence feuillue, comme le peuplier faux-tremble, rend plus réalisable l'aménagement de peuplements mixtes.

2.6. Conclusion

La photographie aérienne s'est avérée être un outil approprié pour illustrer les changements de composition de la forêt boréale à travers le temps. Les résultats montrent que les îlots de peuplier faux-tremble contenus dans les pessières à épinette noire sur argile mésique gagnent en densité et en superficie suite à la

coupe totale. La manière dont le peuplier est réparti dans les îlots aura une influence sur la persistance de ces derniers. Les îlots de grande dimension auront davantage de chances de persister dans le paysage que les petits îlots. Les résultats suggèrent également que la pessière pure (0% de peuplier) est relativement réfractaire à l'enfeuillement et que l'épaisseur de la matière organique limite l'envahissement du peuplier après coupe.

2.7. Remerciements

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable ont contribué au financement de cette étude. Merci infiniment à Jonathan Gagnon pour son aide sur le terrain. Merci également au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) et à Tembec Inc. pour les prêts de photographies aériennes.

2.8. Références

- Bartos, D. L. et Mueggler, W. F. 1982. Early succession following clearcutting of aspen communities in northern Utah. *J. Range Manage.* 35: 764-767.
- Bates, P. C., Blinn, C. R. et Alm, A. A. 1993. Harvesting impacts on quaking aspen regeneration in northern Minnesota. *Can. J. For. Res.* 23: 2403-2412.
- Bella, I. E. 1986. Logging practices and subsequent development of aspen stands in east-central Saskatchewan. *For. Chron.* 62: 81-83.
- Bergeron, J.-F., Grondin, P. et Blouin, J. 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 206 p.
- Bergeron, Y. 2000. Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest. *Ecology* 81: 1500-1516.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Flannigan, M. et Kafka, V. 2004. Fire regime at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec. *Ecology* 85: 1916-1932.

- Bierman, P. R., Howe, J., Stanley-Mann, E., Peabody, M., Hilke, J. et Massey, C. A. 2005. Old images record landscape change through time. *GSA Today* 15: 1-6.
- Bowman, D. M. J. S., Walsh, A. et Milne D. J. 2001. Forest expansion and grassland contraction within a Eucalyptus savanna matrix between 1941 and 1994 at Litchfield National Park in the Australian monsoon tropics. *Glob. Ecol. Biogeogr* 10: 535-548.
- Brais, S. et Camiré, C. 1998. Soil compaction induced by careful logging in the claybelt region of northwestern Quebec (Canada). *Can. J. Soil Sci.* 78: 197-206.
- Brown, J. K. et DeByle, N. V. 1987. Fire damage, mortality, and suckering in aspen. *Can. J. For. Res.* 17: 1100-1109.
- Brown, J.-L. 1981. Les forêts du Témiscamingue, Québec. *Écologie et photo-interprétation. Études écologiques*, 5, Lab. Écol. Forest., Université Laval, Québec, 447 p.
- Brumelis, G. et Carleton, T. J. 1988. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. I. Trees and tall shrubs. *Can. J. For. Res.* 18: 1470-1478.
- Bujold, M.-C. 2005. Changement de la composition forestière après opérations sylvicoles : une analyse des facteurs prédisposant à une conversion de la strate forestière prélevée. *Mémoire de maîtrise en biologie. Université du Québec à Montréal*, 66 p.
- Carleton, T. J. and MacLellan, P. 1994. Woody vegetation responses to fire versus clear-cutting logging: a comparative survey in the central Canadian boreal forest. *Ecoscience* 1: 141-152.
- Comtois, P. et Payette, S. 1987. Le développement spatial et floristique des populations clonales de peuplier baumier (*Populus balsamifera*) au Nouveau-Québec. *Géogr. phys. Quat.* 41: 65-78.
- David, A. J., Zasada, J. C., Gilmore, D. W. et Landhäusser, S. M. 2001. Current trends in the management of aspen and mixed aspen forests for sustainable production. *For. Chron.* 77: 525-523.
- Desloges, C. 1970. Identification de quelques groupements forestiers du Québec à l'aide de la photographie aérienne panchromatique prise verticalement à une échelle du 1 : 15 840. *Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec*, 181 p.
- Doucet, R. 1989. Regeneration silviculture of aspen. *For. Chron.* 65: 23-27.
- Doucet, R. 1999. Établissement de la régénération résineuse après éclaircie de tremblais. *Note de recherche forestière no. 94, ministère des Ressources naturelles du Québec*, 6 p.
- Fensham, R. J. et Fairfax, R. J. (2003) A land management history for central Queensland, Australia as determined from landholder questionnaire and other sources. *J. Env. Manag.* 68: 409-420.

- Fenton, N., Lecomte, N., Légaré, S. et Bergeron, Y. 2005. Paludification in black spruce (*Picea mariana*) forests of eastern Canada : Potential factors and management implications. *For. Ecol. Manage.* 213: 251-159.
- Fisher, A. M. et Harris, S. J. 1999. The dynamics of tree cover change in a rural Australian landscape. *Land. Urban Plann.* 45: 193-207.
- Fortin, S. 1999. Expansion du tremble (*Populus tremuloides* Michx.), au cours du XXIème siècle, dans le bassin de la Rivière York en Gaspésie, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 67 p.
- Fortin, S. et Gagnon, R. 2001. Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble en Gaspésie. II : Expansion du tremble après perturbations. Rapport volet 1 PMVRF, ministère des Ressources naturelles du Québec, 86 p.
- Frey, B. R., Lieffers, V. J., Hogg, E. H. et Landhäusser, S. M. 2004 Predicting landscape patterns of aspen dieback: mechanisms and knowledge gaps. *Can J. For. Res.* 34: 1379-1390.
- Frey, B. R., Lieffers, V. J., Landhäusser, S. M., Comeau, P. G. et Greenway, K. J. 2003. An analysis of sucker regeneration of trembling aspen. *Can. J. For. Res.* 33: 1169-1179.
- Gagnon, H. 1974. La photo aérienne, son interprétation dans l'étude de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Les Éditions HRW, Montréal, 278 p.
- Gagnon, R., Potvin J. et Gagné E. 1998. Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay-Lac-Saint-Jean - Chibougamau-Chapais (Québec): vers un aménagement forestier durable. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 28 p.
- Gauthier, S., De Grandpré, L. et Bergeron, Y. 2000. Differences in forest composition in two boreal forest ecoregions of Québec. *J. Veg. Sci.* 11: 781-790.
- Greene, D. F. et Johnson E. A. 1999. Modelling recruitment of *Populus tremuloides*, *Pinus banksiana* and *Picea mariana* following fire in the mixedwood boreal forest. *Can. J. For. Res.* 29: 462-473.
- Grondin, P., Bélanger, L., Roy, V., Noël, J. et Hotte, D. 2003a. Envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière (enfeuilletement), p. 131 à 174. *Dans* : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière, Grondin, P. et Cimon A., coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 200 p.
- Grondin, P., Saucier, J.-P., Blouin, J., Gosselin, J. et Robitaille, A. 2003b. Information écologique et planification forestière au Québec, Canada. Note de recherche forestière n° 118, ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 10 p.
- Hardy, L. 1977. La déglaciation et les épisodes lacustre et marin sur le versant québécois des basses terres de la baie de James. *Géogr. phys. Quat.* 31: 261-273.

- Harper, K., Boudreault, C., De Grandpré, L., Drapeau, P., Gauthier, S. et Bergeron, Y. 2003. Structure, composition and diversity of old-growth black spruce boreal forest of the Clay Belt region in Québec and Ontario. *Environ. Rev.* 11: S79-S98.
- Hart, R.H. et Laycock, W.A. 1996. Repeat photography on range and forest lands in the western United States. *J. Range Manage.* 49: 60-67.
- Harvey, B. D. et Bergeron, Y. 1989. Site patterns of natural regeneration following clearcutting in north western Quebec. *Can. J. For. Res.* 19: 1458-1469.
- Harvey, B. et Brais, S. 2002. Effects of mechanized careful logging on natural regeneration and vegetation competition in the southeastern Canadian boreal forest. *Can. J. For. Res.* 32: 653-666.
- Harvey, B. D., Leduc, A. et Bergeron, Y. 1995. Early postharvest succession in relation to site type in the southern boreal forest of Quebec. *Can. J. For. Res.* 25: 1658-1672.
- Hudak, A. T. et Wessman C. A. 1998. Textural analysis of historical aerial photography to characterize woody plant encroachment in South African savanna. *Remote Sens. Environ.* 66: 317-330.
- Jayen, K., Leduc, A. et Bergeron, Y. 2006. Effect of fire severity on regeneration success in the boreal forest of north-west Quebec, Canada. *Ecoscience* 13: 143-151.
- Jean, M. et Bouchard, A. 1991. Temporal changes in wetland landscapes of a section of the St. Lawrence River, Canada. *Environ. Manag.* 15: 241-250.
- Jobidon, R. 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec. *Revue de littérature. Mémoire de recherche forestière no. 117.* Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 180 p.
- Johnstone, J. F. 2005. Effects of aspen (*Populus tremuloides*) sucker removal on postfire conifer regeneration in central Alaska. *Can. J. For. Res.* 35: 483-486.
- Johnstone, J. F. et Chapin, F. S., III. 2006. Fire interval effects on successional trajectory in boreal forests of Northwest Canada. *Ecosystems* 9: 268-277.
- Kadmon, R. et Hanari-Kremer, R. 1999. Studying long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. *Remote Sens. Environ.* 68: 164-176.
- Kennedy, R. S. H. et Spies T. A. 2004. Forest cover changes in the Oregon Coast Range from 1939 to 1993. *For. Eco. Manag.* 200: 129-147.
- Lavoie, M., Paré, D., Fenton, N., Groot, A. et Taylor, K. 2005. Paludification and management of forested peatlands in Canada : a literature review. *Environ. Rev.* 13: 21-50.
- Lecomte, N. et Bergeron, Y. 2005. Succession pathways on different surficial deposits in the coniferous boreal forest of the Quebec Clay Belt. *Can. J. For. Res.* 35: 1984-1995.

- Lecomte, N., Simard, M. et Bergeron, Y. 2006. Effects of fire severity and initial tree composition on stand structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada. *Ecoscience* 13: 152-163.
- Lefort, P. 1998. Influence du climat et de la colonisation canadienne sur le régime des feux de forêt dans la région du lac Abitibi. Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal, Montréal, 87 p.
- Lefort, P., Gauthier, S. et Bergeron, Y. 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity of the lake Abitibi area, Eastern Canada. *For. Sci.* 49: 509-521.
- Légaré, S., Bergeron, Y. et Paré, D. 2005. Effect of aspen (*Populus tremuloides*) as a companion species on the growth of black spruce (*Picea mariana*) in the southwestern boreal of Quebec. *For. Ecol. Manage.* 208: 211-222.
- Légaré, S., Paré, D. et Bergeron, Y. 2004. The responses of black spruce growth to an increased proportion of aspen in mixed stands. *Can. J. For. Res.* 34: 405-416.
- Mast J. N., Veblen, T. T. et Hodgson, M. E. 1997. Tree invasion within a pine/grassland ecotone: an approach with historic aerial photography and GIS modeling. *For. Eco. Manag.* 200: 129-147.
- Mollard, J. et Janes, J.R. 1985. La photo-interprétation et le territoire canadien. Approvisionnement et services Canada, Ottawa, 424 p.
- Mullerova, J., Pysek, P., Jarosik, V. et Pergl, J. 2005. Aerial photographs as a tool for assessing the regional dynamics of the invasive plant species *Heracleum mantegazzianum*. *J. Appl. Eco.* 42: 1042-1053.
- Neu, C. W., Byers, C. R., Peek, J. M. et Boy, V. 1974. A technique for analysis of utilization availability data. *J. Wildlife Manage.* 38: 541-545.
- Perala, D. A. 1974. Prescribed burning in an aspen - mixed hardwood forest. *Can. J. For. Res.* 4: 222-228.
- Prévost, M. et Pothier, D. 2003. Partial cuts in a trembling aspen - conifer stand: effects on microenvironmental conditions and regeneration dynamics. *Can. J. For. Res.* 33 : 1-15.
- Prévost, M., Roy, V. et Raymond, P. 2003. Sylviculture et régénération des forêts mixtes du Québec (Canada) : une approche qui respecte la dynamique naturelle des peuplements. Note de recherche forestière n° 125, ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 8 p.
- Robitaille A. et Saucier, J.-P. 1998. Paysage régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec, Québec, 213 p.
- Rouffignat, J. Tremblay, G. et Viau, B. 1984. Introduction à la photo-interprétation. Notes de cours et exercices à l'usage des étudiants du cours GGR-10566, département de Géographie, Université Laval, notes de documents de cours, no. 2 vol. 1.

Ruel, J.-C., Plusquellec, R. et Ung, C. H. 1998. Évolution de la régénération de peuplements résineux et mélangés au cours des 30 années après coupe à blanc mécanisée. *For. Chron.* 74 : 428-443.

SAS Institute, Inc. 1988. *SAS/STATTM User's guide*. Release 6.03 Edition. Cary, NC., 1028 p.

Sayn-Wittgenstein, L. 1966. Identification des essences forestières au moyen de photographies aériennes d'après les caractéristiques des cimes. Publication no 118F, ministère des forêts et du développement rural du Canada, Ottawa, 58 p.

Scalan, J.-C. et Archer, S. 1991. Simulated dynamics of succession in a North American subtropical Prosopis savanna. *J. Veg. Sci.* 2: 625-634.

Schier, G. A. 1973. Origin and development of aspen root suckers. *Can. J. For. Res.* 3: 45-53.

Spurr, S. H. 1960. *Photogrammetry and photo interpretation with a section on application to forestry* (2nd ed.). Ronald Press, New-York, 472 p.

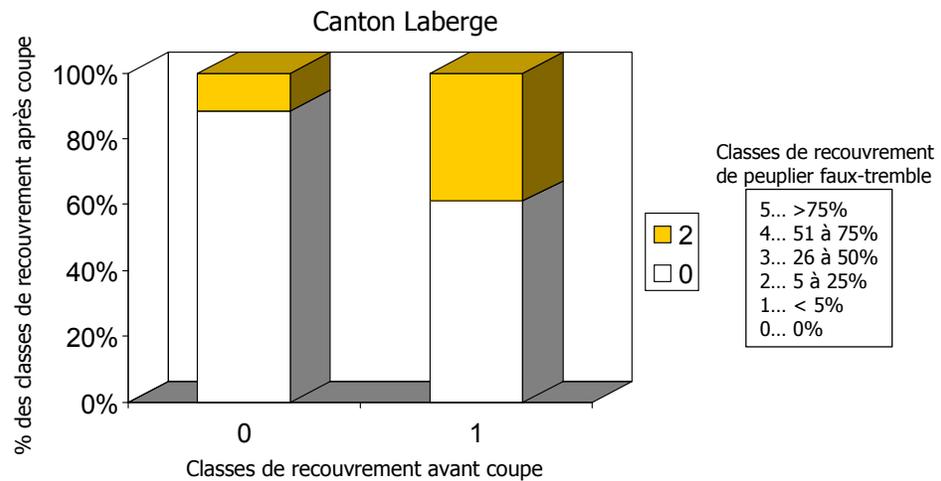
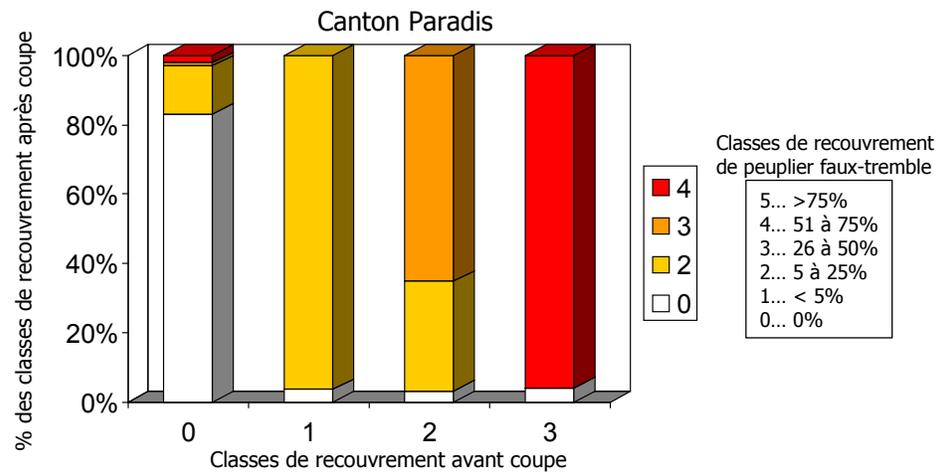
Stoekeler, J. H. et Macon, J.W. 1956. Regeneration of aspen cutover areas in northern Wisconsin. *J. For.* 54: 13-16.

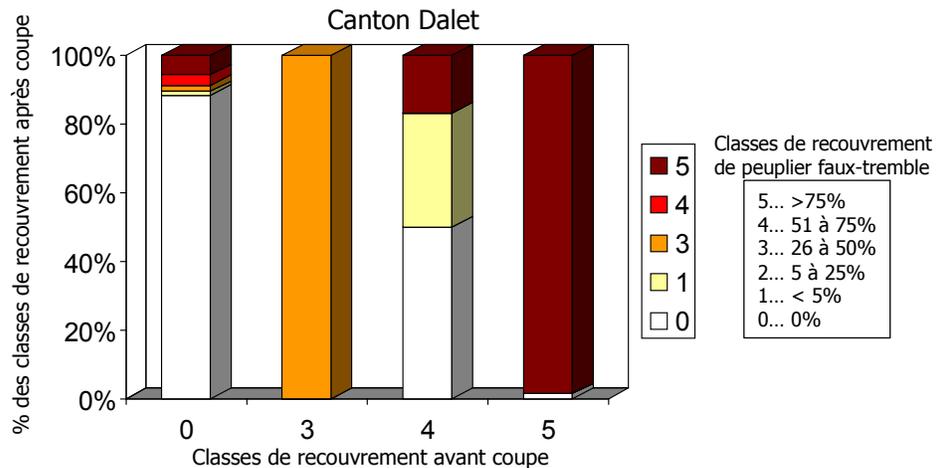
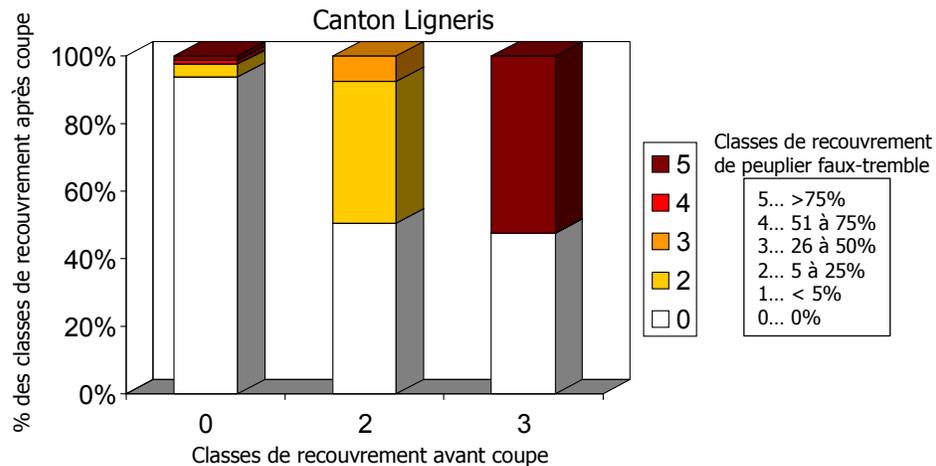
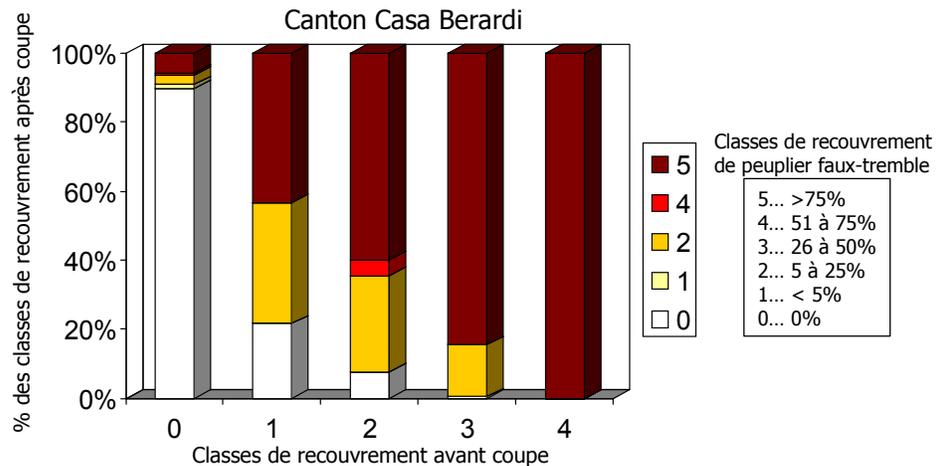
Vincent, A. B. 1964. Growth and numbers of speckled alder following logging of black spruce peatlands. *For. Chron.* 40: 515-518.

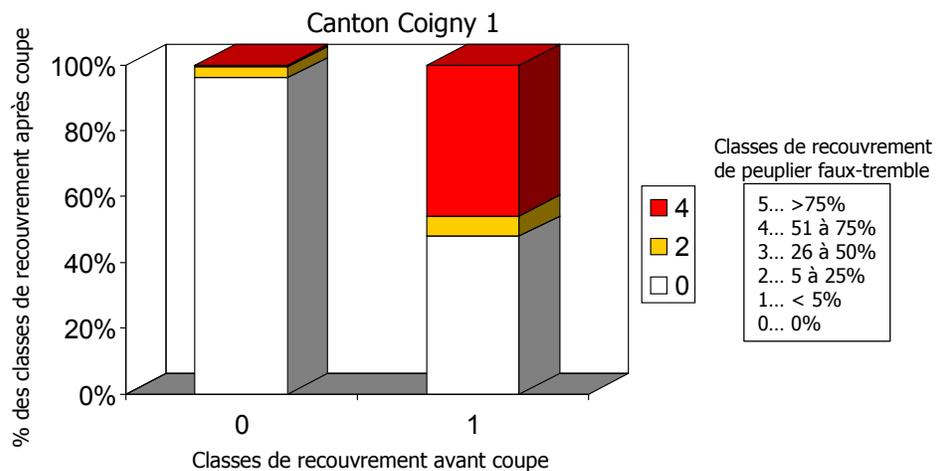
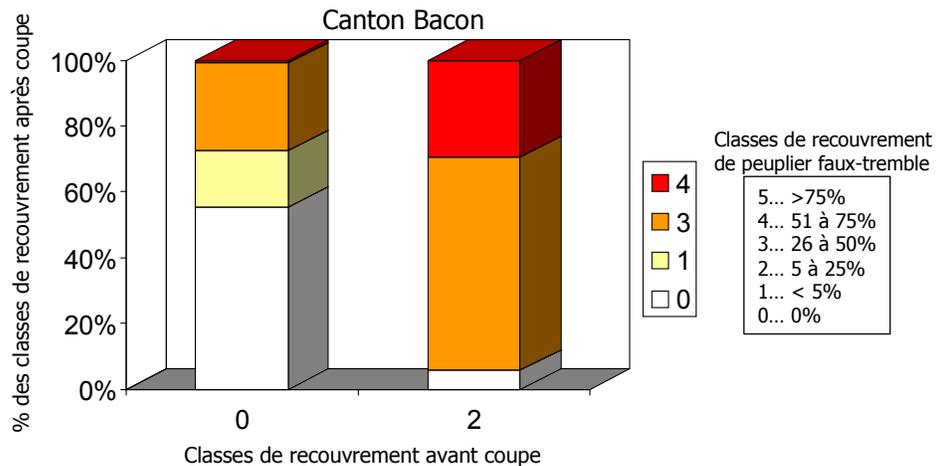
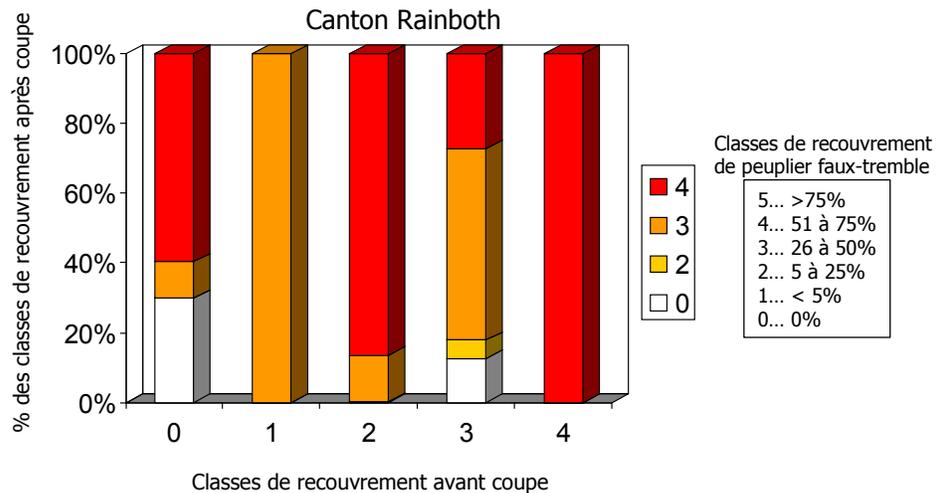
Vincent, J.-S. et Hardy, L., 1977. L'évolution et l'extension des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire Québécois. *Géogr. phys. Quat.* 30: 357-372.

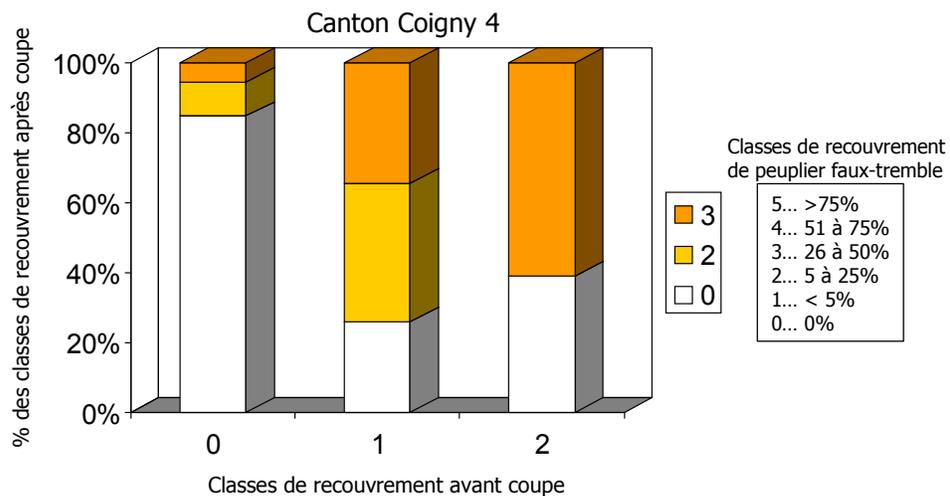
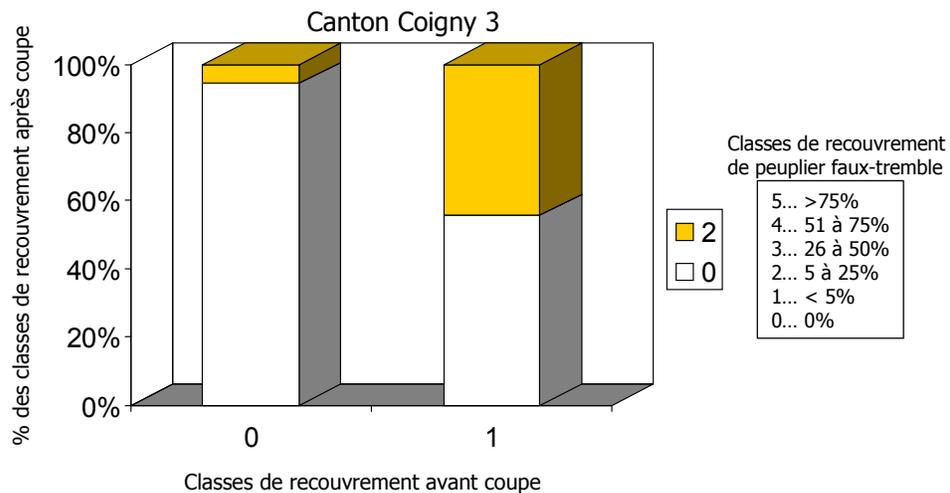
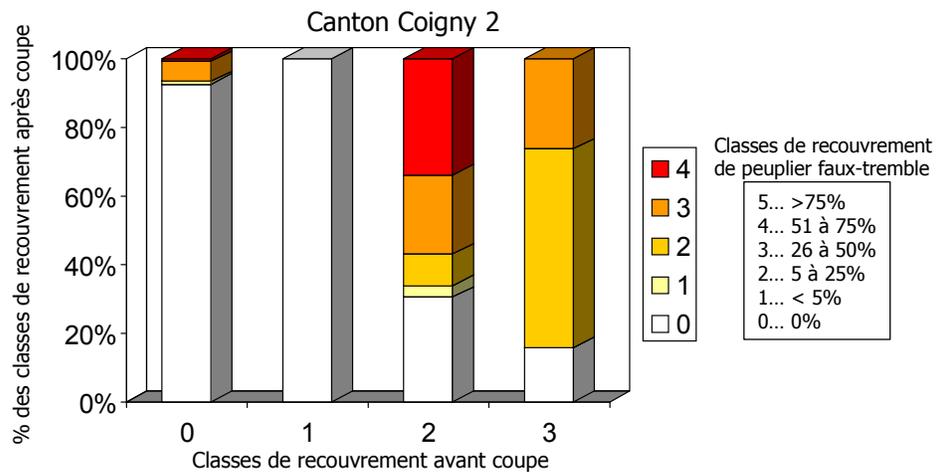
APPENDICE A

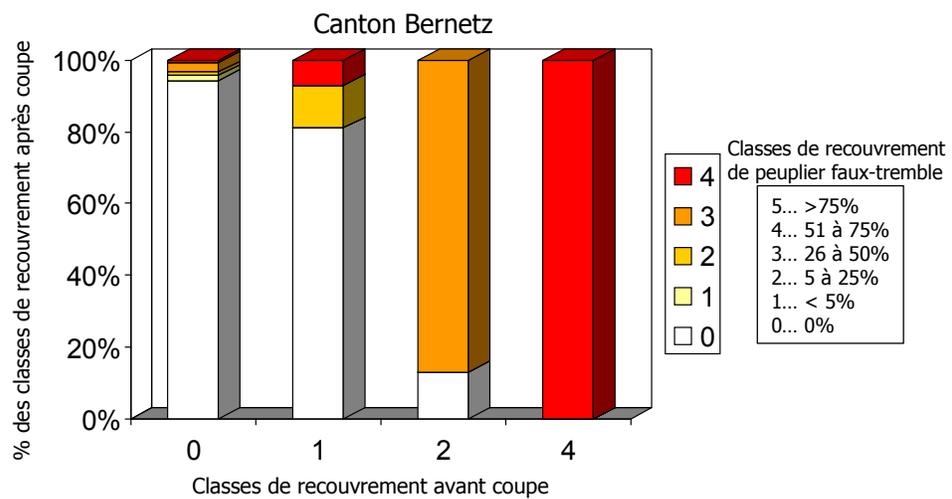
HISTOGRAMMES ILLUSTRANT L'ÉVOLUTION DES CLASSES DE RECOUVREMENT EN PEUPLIER FAUX-TREMBLE POUR CHACUN DES 12 SECTEURS











CONCLUSION GÉNÉRALE

Le but de cette étude visait à caractériser l'importance et l'étendue du processus d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble dans les pessières noires de la grande ceinture d'argile du Nord-Ouest du Québec. Pour se faire, deux approches ont été utilisées.

Le chapitre 1 de ce mémoire a étudié la conversion des peuplements d'épinette noire après coupe totale à l'échelle régionale à partir des bases de données SIFORT. L'analyse de ces données a permis de dresser pour les régions 5a de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest et 6a de la pessière à mousses de l'ouest, un bilan des transformations qu'a subi le couvert forestier sous l'influence de la coupe au cours des 30 dernières années. Le phénomène d'enfeuillement a été évalué en fonction du temps écoulé depuis la coupe, du dépôt/drainage et de la région écologique.

Le chapitre 2 a caractérisé le degré d'enfeuillement de pessières noires sur argile mésique parsemées de peupliers faux-trembles. À cette fin, une analyse spatio-temporelle de l'expansion des îlots de peupliers faux-trembles après coupe a été entreprise à grande échelle de résolution en utilisant des photographies aériennes remontant jusqu'aux années 1970. Une collecte de données sur le terrain a ensuite permis de valider les observations photos et de recueillir des informations sur le coefficient de distribution des tiges et l'épaisseur de la matière organique.

L'originalité de cette recherche réside principalement dans l'utilisation de ces deux approches à la fois distinctes et complémentaires. Dans chacune de celles-ci, l'objectif visait à évaluer le phénomène d'enfeuillement, mais à deux échelles d'analyses différentes (échelle régionale et échelle du peuplement) et en fonction de divers angles de vue (au-dessus et au-dessous de la canopée). Ces deux techniques se sont avérées efficaces, car elles ont permis de raffiner considérablement l'analyse du phénomène d'enfeuillement.

Parmi les résultats des deux chapitres, on constate que les régions écologiques 5a et 6a répondent différemment face à l'enfeuillement. Cette différence s'explique notamment par l'historique de ces deux territoires. À l'époque de la colonisation humaine de la grande ceinture d'argile, le défrichement intensif de la forêt autour des localités agricoles combiné aux nombreux brûlages d'abatis a eu pour conséquence de modifier profondément le paysage de la région 5a. À cette période, on coupait presque uniquement des résineux et laissait sur pied un nombre significatif de peupliers faux-trembles, considéré à l'époque comme une essence ayant une faible valeur commerciale. Le retour d'une forte régénération d'essences arborescentes et arbustives feuillues de début de succession a été favorisé (Weir et Johnson, 1998; Lefort *et al.*, 2003). Le paysage rural est constitué de nombreuses terres en friche recolonisées par le peuplier faux-tremble, l'aulne, le saule, le bouleau et le peuplier baumier (Randall, 1937; MacLean et Bedell, 1959; McDermott, 1961; Richard, 1980; Lefort *et al.*, 2003). Cependant, dans la portion forestière de la région d'étude, les peuplements à dominance de peuplier sont généralement bien pourvus d'une strate d'épinette noire en sous étage. Ce type de mixité apparaît assez répandu dans la région de l'Abitibi et contraste avec les peuplements purs de peupliers rencontrés en secteur agricole.

À l'inverse, la région 6a, situées au nord, a échappé à cette urbanisation du territoire. Les activités sont essentiellement liées à l'exploitation primaire des ressources forestière et minière. Par conséquent, le réseau routier y est beaucoup moins développé et l'exploitation agricole pratiquement absente. Contrairement à la région 5a, l'épinette noire domine le paysage et l'abondance des dépôts organiques semble limiter l'intrusion du peuplier faux-tremble.

Tel que soulevé par Grondin *et al.* (2003b), il est plausible qu'avant la colonisation humaine du territoire la pessière noire s'étendait plus au sud. Les activités anthropiques auraient alors augmenté considérablement le couvert en essences feuillues de lumière. Cependant, il nous semble peu réaliste que ce phénomène se

poursuivre dans des territoires plus nordiques. La colonisation agricole du territoire s'est arrêtée au niveau du 49^{ème} parallèle, à la limite sud de la région 6a, il y a déjà plusieurs décennies. Au nord de cette frontière, l'exploitation forestière risque peu de stimuler la prolifération du peuplier faux-tremble. D'autant plus qu'à cette hauteur, les sols organiques épais et mal drainés freinent la propagation du peuplier faux-tremble.

L'historique du territoire de la région 5a et de la région 6a ne peut donc être perçu de la même manière. Il en est de même entre la grande ceinture d'argile et la Gaspésie. L'expansion qu'a connu le peuplier faux-tremble suite à la colonisation de l'Homme dans la région ne peut être assimilée à une invasion du territoire comme il est fait mention pour la forêt gaspésienne (Fortin, 1999; Fortin et Gagnon, 2001). En effet, contrairement à ce qui est observé en Gaspésie, nos résultats suggèrent que le peuplier n'apparaît pas constituer une menace pour l'épinette noire et agirait plutôt comme une espèce de succession. On ne peut généraliser la menace du peuplier partout. À titre de comparaison, il est surprenant de constater que dans l'Ouest des États-Unis, des études traitent plutôt du déclin du peuplier faux-tremble et de sa restauration dans le paysage (Bartos et Campbell, 1998; Kulakowski *et al.*, 2004).

Dans le Nord-Ouest du Québec, l'enfeuillement par le peuplier n'est donc pas nécessairement si problématique qu'il paraît, du moins pour le moment. Il soulève bien sûr l'inquiétude chez certains industriels dépendants d'un approvisionnement en résineux. Toutefois, le développement technologique et le besoin accru de fibre à bas prix ont permis au peuplier faux-tremble d'acquiescer ses lettres de noblesse. L'augmentation du nombre de produits tirés de cet arbre actuellement sur le marché et les recherches en cours démontrent l'intérêt grandissant pour cette ressource (Mercier, 2002). Les possibilités de commercialisation sont nombreuses. L'essence est présentement utilisée par l'industrie des panneaux de lamelles orientées, l'industrie des pâtes et papiers ainsi que les sciages, le déroulage, le contreplaqué, les poutres lamellées et les palettes (David *et al.*, 2001; Mercier, 2002).

En plus d'être une ressource ligneuse intéressante, le peuplier faux-tremble est reconnu pour ses valeurs esthétique et culturelle. Les caractéristiques visuelle et auditive de cette essence forestière sont à la base de l'industrie touristique de l'Ouest des États-unis et du Canada (Peterson et Peterson, 1992; McCool, 2001). En effet, pour beaucoup de gens, le peuplier faux-tremble est un arbre réconfortant qui acquiert une valeur symbolique en automne : le feuillage jaune contrastant vivement avec le couvert foncé des résineux, le jeu de lumière créé par les rayons du soleil pénétrant la canopée, le son particulier des feuilles qui s'agitent à la moindre brise.

Plutôt que de percevoir le peuplier faux-tremble comme un envahisseur indésirable, on gagnerait plutôt à l'intégrer harmonieusement dans la structure industrielle de la foresterie québécoise et dans la culture régionale. L'aménagement de peuplements mixtes, qui sont abondamment représentés dans le paysage forestier de l'ouest du Québec, pourrait être une voie à envisager. Selon Légaré *et al.* (2005a), ce type d'aménagement pourrait être économiquement intéressant et pourrait maintenir une certaine diversité de paysage et ainsi favoriser les multiples usagers de la forêt. De plus, par son influence sur le cycle des éléments nutritifs et la composition de la strate de sous-bois, la présence du peuplier faux-tremble semble même ralentir le processus de paludification (Yu *et al.*, 2002; Légaré *et al.*, 2005b).

Pour conclure, un type d'enfeuillement particulièrement présent sur la grande ceinture d'argile et très peu traité dans la littérature scientifique est la prolifération de l'aulne rugueux. Cet arbuste est reconnu pour former un couvert très dense et pour le sérieux ralentissement successional qu'il provoque (Jobidon, 1995). Ce phénomène peut s'avérer plus problématique que l'enfeuillement par le peuplier faux-tremble, car il est susceptible de compromettre l'établissement de la régénération (résineuses et feuillues) pour plusieurs décennies. Des recherches plus approfondies sur l'enfeuillement de la pessière noire par cet arbuste suite à la coupe gagneraient à être réalisées.

LISTE DES RÉFÉRENCES

Archambault, L., Morissette, J. et Bernier-Cardou, M. 1998. Forest succession over a 20-years period following clearcutting in balsam fir-yellow birch ecosystems of eastern Québec, Canada. *For. Ecol. Manage.* 102: 61-74.

Barnes, B. V. 1966. The clonal growth habit of American aspens. *Ecology* 47: 439-447.

Bartos, D. L. et Campbell Jr. R. B. 1998. Decline of quaking aspen in the interior West - examples from Utah. *Rangelands* 20: 17-24.

Bartos, D. L. et Mueggler, W. F. 1982. Early succession following clearcutting of aspen communities in northern Utah. *J. Range Manage.* 35: 764-767.

Bella, I. E. 1986. Logging practices and subsequent development of aspen stands in east-central Saskatchewan. *For. Chron.* 62: 81-83.

Bergeron, Y., 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscapes on boreal forest fire regimes. *Ecology* 72: 1980-1992.

Bergeron, Y. 1998. Les Conséquence des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forestière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise. *Géogr. phys. Quat.* 52: 1-7.

Bergeron, Y. 2000. Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest. *Ecology* 81: 1500-1516.

Bergeron, Y. et Dubuc, M. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio* 79: 51-63.

Bergeron, Y., Gauthier, S., Flannigan, M. et Kafka, V. 2004. Fire regime at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec. *Ecology* 85: 1916-1932.

Bergeron, Y., Gauthier, S., Kafka, V., Lefort, P. et Lesieur, D. 2001. Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest: consequences for sustainable forestry. *Can. J. For. Res.* 31: 384-391.

Bergeron, Y., et Harvey, B. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *For. Ecol. Manage.* 92: 235-242.

Blanchard, R. 1954. L'Ouest du Canada français. Publications de l'Institut Scientifique Franco-Canadien, Montréal, 334 p.

Brown, J. K. et DeByle, N. V. 1987. Fire damage, mortality, and suckering in aspen. *Can. J. For. Res.* 17: 1100-1109.

- Brumelis, G. et Carleton, T. J. 1988. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. I. Trees and tall shrubs. *Can. J. For. Res.* 18: 1470-1478.
- Brumelis, G. et Carleton, T. J. 1989. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. II. Understorey vegetation. *J. Appl. Eco.* 26: 321-339.
- Campbell, C., Campbell, I. D., Blyth, C. D. et McAndrews, J. H. 1994. Bison extirpation may have caused aspen expansion in western Canada. *Ecography* 17: 360-362.
- Carleton, T. J. 2000. Vegetation responses to the managed forest landscape of central and northern Ontario. *Dans* : Perera, A., Euler, D. and Thompson, I. (editors), *Ecology of a Managed Terrestrial Landscape: patterns and processes of forest landscapes in Ontario*. University of British Columbia Press, p. 179-197.
- Carleton, T. J. et MacLellan, P. 1994. Woody vegetation responses to fire versus clear-cutting logging: a comparative survey in the central Canadian boreal forest. *Ecoscience* 1: 141-152.
- Carleton, T. J. et Maycock, P. F. 1978. Dynamics of the boreal forest south of James bay. *Can. J. Bot.* 56: 1157-1173.
- Chen, H. Y. H., Krestov, P. V. et Klinka, K. 2002. Trembling aspen site index in relation to environmental measures of site quality at two spatial scales. *Can. J. For. Res.* 32: 112-119.
- Dansereau, P.-R. et Bergeron, Y. 1993. Fire history in the southern boreal forest of northwestern Québec. *Can. J. For. Res.* 23: 25-32.
- David, A. J., Zasada, J. C., Gilmore, D. W. et Landhäusser, S. M. 2001. Current trends in the management of aspen and mixed aspen forests for sustainable production. *For. Chron.* 77: 525-523.
- Dery, S. 1995. Dynamique de l'enfeuillage après coupe de la sapinière boréale de seconde venue. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 92 p.
- Dix, R. L. et Swan, J. M. A. 1971. The roles of disturbance and succession in upland forest at Candle Lake, Saskatchewan. *Can. J. For. Res.* 49: 657-676.
- Doucet, R. 1989. Regeneration silviculture of aspen. *For. Chron.* 65: 23-27.
- Drapeau, P., Leduc, A., Giroux, J.-F., Savard, J.-P., Bergeron, Y. et Vickery, W. L. 2000. Landscape-scale disturbances and changes in bird communities of boreal mixed-wood forests. *Eco. Monogr.* 70: 423-444.
- Dugué, A. 1917. Les bâtisseurs de pays: la colonisation de l'Abitibi, l'état actuel, les besoins. *Le Petit Canadien* 14: 289-295.
- Fortin, S. 1999. Expansion du tremble (*Populus tremuloides* Michx.), au cours du XXI^{ème} siècle, dans le bassin de la Rivière York en Gaspésie, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 67 p.

- Fortin, S. et Gagnon, R. 2001. Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble en Gaspésie. II : Expansion du tremble après perturbations. Rapport volet 1 PMVRF, ministère des Ressources naturelles du Québec, 86 p.
- Fraser, E. C., Lieffers, V.J. et Landhäusser, S. M. 2004. Wounding of aspen roots promotes suckering. *Can. J. Bot.* 82: 310-315.
- Frey, B. R., Lieffers, V. J., Landhäusser, S. M., Comeau, P. G. et Greenway, K. J. 2003. An analysis of sucker regeneration of trembling aspen. *Can. J. For. Res.* 33: 1169-1179.
- Gagnon, R., Potvin J. et Gagné E. 1998. Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay-Lac-Saint-Jean - Chibougamau-Chapais (Québec): vers un aménagement forestier durable. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 28 p.
- Gauthier, S., Leduc, A. et Bergeron, Y. 1996. Forest dynamics modelling under natural fire cycles: a tool to define natural mosaic diversity for forest management. *Environ. Monit. Assess.* 39: 417-434.
- Greene, D. F. et Johnson, E. A. 1999. Modelling recruitment of *Populus tremuloides*, *Pinus banksiana* and *Picea mariana* following fire in the mixedwood boreal forest. *Can. J. For. Res.* 29: 462-473.
- Grondin, P., Bélanger, L., Roy, V., Noël, J. et Hotte, D. 2003a. Envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière (enfeuilletement), p. 131 à 174. *Dans* : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière, Grondin, P. et Cimon A., coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 200 p.
- Grondin, P., Saucier, J.-P., Blouin, J., Gosselin, J. et Robitaille, A. 2003b. Information écologique et planification forestière au Québec, Canada. Note de recherche forestière n° 118, ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 10 p.
- Harlow, W. M., Harrar, E. S. et White, F. M. 1968. Textbook of dendrology, covering the important forest trees of the United States and Canada. McGraw-Hill book Company, New York, 512 p.
- Harvey, B. D. et Bergeron, Y. 1989. Site patterns of natural regeneration following clearcutting in northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.* 19: 1458-1469.
- Harvey, B. D., Leduc, A. et Bergeron, Y. 1995. Early postharvest succession in relation to site type in the southern boreal forest of Quebec. *Can. J. For. Res.* 25: 1658-1672.
- Harvey, B.D., Leduc, A., Gauthier, S. et Bergeron, Y. 2002. Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *For. Eco. Manage.* 155: 369-385.
- Jobidon, R. 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec. *Revue de littérature. Mémoire de recherche forestière no. 117.* Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, 180 p.

- Johnson, E. A., Miyanishi, K. et Choczynska J. 2003. Effects of fire, logging and settlement on the boreal forest landscape in Ontario. Sustainable Forest Management Network Project Reports 2003/2004, 29 p.
- Johnstone, J. F. et Chapin, F. S., III. 2006. Fire interval effects on successional trajectory in boreal forests of Northwest Canada. *Ecosystems* 9: 268-277.
- Kulakowski, D., Veblen, T. T. et Drinkwater, S. 2004. The Persistence of quaking aspen (*Populus tremuloides*) in the Grand Mesa area, Colorado. *Ecol. Appl.* 14: 1603-1614.
- Lefort, P. 1998. Influence du climat et de la colonisation canadienne sur le régime des feux de forêt dans la région du lac Abitibi. Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal, Montréal, 87 p.
- Lefort, P., Gauthier, S. et Bergeron, Y. 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity of the lake Abitibi area, Eastern Canada. *For. Sci.* 49: 509-521.
- Légaré, S., Bergeron, Y. et Paré, D. 2005a. Effect of aspen (*Populus tremuloides*) as a companion species on the growth of black spruce (*Picea mariana*) in the southwestern boreal of Quebec. *For. Ecol. Manage.* 208: 211-222.
- Légaré, S., Paré, D. et Bergeron, Y. 2005b. Influence of aspen on forest floor properties in black spruce-dominated stands. *Plant and Soil* 275: 207-220.
- MacLean, D. W. et Bedell, G. H. D. 1959. Zone argileuse du Nord : étude sur la croissance et le rendement des forêts. Mémoire technique no. 20, ministère du Nord canadien et des Ressources nationales, Ottawa, 35 p.
- McCool, S. F. 2001. Quaking aspen and the human experience: dimensions, issues, and challenges, p. 147-160. *Dans* : Sustaining Aspen in Western Landscapes: Symposium Proceedings; 13-15 June 2000; Grand Junction, CO., Shepperd, W.D., Binkley, D., Bartos, D.L, Stohlgren, T.J. et Eskew, L.G., compilers. 2001. Proceedings RMRS-P-18. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 460 p.
- McDermott, G. L. 1961. Frontiers of settlement in the Great Clay Belt of Ontario and Québec. *An. Ass. Amer. Geogr.* 51: 261-273.
- Mercier, J.-F. 2002. Profil des produits forestiers première transformation : bois de sciage de peuplier faux-tremble. Ministère des Ressources naturelles, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Québec, 32 p.
- Murray, S. et Kenkel, N. 2001. Effect of harvesting on aspen dominated stands: forest succession and post-logging regeneration dynamics in the Duck Mountain ecoregion, west-central Manitoba. University of Manitoba, 37 p.
- Neu, C. W., Byers, C. R., Peek, J. M. et Boy, V. 1974. A technique for analysis of utilization availability data. *J. Wildlife Manage.* 38: 541-545.

Noël, J. 2001. Régénération forestière après feu et coupe de récupération dans le secteur de Val-Paradis, Abitibi. Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, 98 p.

Paré, D., Bergeron, Y. et Camiré, C. 1993. Changes in the forest floor of Canadian southern boreal forest after disturbance. *J. Veg. Sci.* 4: 811-818.

Perala, D. A. 1990. Quaking aspen. *Dans*: Burns, R. M. et Honkala B. H. (editors), *Silvics of North America*, Vol. 2, Hardwoods. Dept. of Agric., Washington, D.C., p. 555-569.

Perron, M. 1989. L'histoire de l'exploitation forestière dans la région de La Sarre de 1910 à 1980. *Capitale forestière du Canada*, 46 p.

Peterson, E. B. et Peterson, N. M. 1992. Ecology, management, and use of aspen and balsam poplar in the prairie Provinces, Canada. Special Report 1, Forestry Canada, Ottawa, 252 p.

Prévost, M., Roy, V. et Raymond, P. 2003. Sylviculture et régénération des forêts mixtes du Québec (Canada) : une approche qui respecte la dynamique naturelle des peuplements. Note de recherche forestière n° 125, ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 8 p.

Randall, J. R. 1937. Settlement of the Great Clay Belt of Northern Ontario and Québec. *The Bulletin of the Geographical society of Philadelphia.* 35: 53-66.

Richard, P. 1980. Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec. *Géogr. phys. Quat.* 24: 77-94.

Schier, G. A. 1973. Origin and development of aspen root suckers. *Can. J. For. Res.* 3: 45-53.

Stenecker, G. A. 1974. Factors affecting the suckering of trembling aspen. *For. Chron.* 50: 32-34.

Stoekeler, J. H. et Macon, J. W. 1956. Regeneration of aspen cutover areas in northern Wisconsin. *J. For.* 54: 13-16.

Vincent, O., Asselin, M., Gourd, B. B., Mercier, C., Viau, R., Côté, M., Marquis, J.-P., Riopel, M. et Sabourin, C. 1995. Histoire de l'Abitibi-Témiscamingue. Institut Québécois de Recherche sur la Culture, Les Presses de L'Université Laval, Québec, 763 p.

Weir, J. M. H. et Johnson, E. A. 1998. Effects of escaped settlement fires and logging on forest composition in the mixedwood boreal forest. *Can. J. For. Res.* 28: 459-467.

Yu, Z., Apps, M. et Bhatti, J. 2002. Implications of floristic and environmental variation for carbon cycle dynamics in boreal forest ecosystems of central Canada. *J. Veg. Sci.* 13: 327-340.