

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTREAL

CHANGEMENT DE LA COMPOSITION FORESTIÈRE

APRÈS OPÉRATIONS SYLVICOLES :

UNE ANALYSE DES FACTEURS PRÉDISPOSANT

À UNE CONVERSION DE LA STRATE FORESTIÈRE PRÉLEVÉE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN BIOLOGIE

PAR

MARIE-CLAUDE BUJOLD

JUIN 2005

## REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord remercier mon directeur de recherche Alain Leduc pour m'avoir offert la chance de travailler sur ce projet. Je voudrais aussi remercier mon co-directeur Yves Bergeron, pour m'avoir ouvert les portes du GREFi et de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable.

Je tiens aussi à remercier la compagnie forestière Nexfor Norbor pour avoir rendu la base de données des inventaires forestiers des strates coupées en régénération accessible. Ainsi que pour le soutien technique de l'équipe de géomatique.

J'aimerais aussi remercier la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable pour le soutien technique et financier. Un gros merci aussi aux gens que j'ai croisés pendant cette période et dont je conserve pleins de bons souvenirs et de bonnes amitiés.

Finalement un merci tout spécial à ma famille, mes amis et mon amour qui mon soutenus tout au long de cette période un peu plus longue que prévue !

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES ANNEXES.....	xi
RÉSUMÉ.....	xii
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Problématique.....	2
1.3 Objectifs du projet de recherche.....	4
1.4 Démarche adoptée.....	5
2. RÉGION D'ÉTUDE.....	7
2.1 La pessière noire à mousse de l'ouest.....	9
2.2 La sapinière à bouleau blanc de l'ouest.....	10
3. MÉTHODOLOGIE.....	11

3.1 Description de la base de données.....	11
3.1.1 Plan de sondage.....	12
3.1.2 Mesures de la végétation.....	12
3.1.3 Caractéristiques évaluées dans les placettes.....	13
3.2 Analyse de la base de données.....	14
3.3 Analyses statistiques.....	16
3.3.1 Caractérisation de la régénération après coupe (réalisation des transitions).....	16
3.3.2 Variables explicatives utilisées dans les analyses statistiques.....	17
4 RÉSULTATS.....	21
4.1 Description de la base de données.....	21
4.2 Analyses des changements de composition après récolte.....	23
4.3 Classification des changements de composition à la suite de la récolte.....	25
4.4 Description des modèles statistiques.....	28
4.5 Analyse des facteurs susceptibles d’entraîner des échecs d’établissement de la régénération après aménagement forestier.....	29

4.5.1 Susceptibilité des pessières à l'échec d'établissement.....	30
4.5.2 Susceptibilité des peuplements mixtes à l'échec d'établissement.....	31
4.5.3 Susceptibilité des sapinières à l'échec d'établissement.....	33
4.6 Analyse des facteurs favorisant l'enfeuillement après opération sylvicole.....	34
4.6.1 Susceptibilité des pessières à l'enfeuillement.....	35
4.6.2 Susceptibilité des peuplements mixtes à l'enfeuillement.....	36
4.6.3 Susceptibilité des sapinières à l'enfeuillement.....	37
4.7 Analyse des facteurs favorisant l'ensapinage après opération sylvicole.....	38
5 DISCUSSION.....	40
5.1 Influence des types de sites dans les conversions après aménagement forestier.....	41
5.2 Influence des types de traitements sylvicoles sur les conversions.....	42
5.3 Effet de la composition des peuplements avant coupe sur les changements de compositions après coupe.....	44
5.4 Interrelation entre les facteurs explicatifs (type de sites, type de traitements sylvicoles, composition du peuplement avant récolte et région).....	49
5.5 Pistes de solution pour limiter les changements de composition.....	50
5.5.1 Pistes de solution afin de limiter l'ensapinage.....	50

5.5.2 Pistes de solution afin de limiter l'enfeuillement.....	50
6 CONCLUSION.....	51
BIBLIOGRAPHIE.....	53
Annexe 1.....	61
Annexe 2.....	65

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1	Région d'étude.....7
2	Distribution des aires communes de la compagnie forestière Norbord pour la région de l'Abitibi.....8
3	Schématisation de la disposition des grappes d'inventaire.....12
4	Grille décisionnelle pour l'appellation attribuée à la régénération.....17
5	Conversion des peuplements selon les grands secteurs étudiés.....26
6	Conversion selon les types de peuplements avant coupe.....26
7	Conversion selon les types de dépôt/drainage.....27
8	Conversion selon les traitements sylvicoles.....28
9	Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des pessières à l'échec d'établissement de la régénération après récolte forestière .....31
10	Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des peuplements mixtes à l'échec d'établissement de la régénération après récolte forestière.....32
11	Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des sapinières à l'échec d'établissement de la régénération après récolte forestière.....33
12	Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des pessières à l'enfeuillage après aménagement forestier.....35
13	Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des peuplements mixtes à l'enfeuillage après récolte forestière...36

- 14 Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des sapinières à l'enfeuillage après récolte forestière.....37
  
- 15 Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des pessières à l'ensapinage après aménagement forestier.....39



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1 Représentation des placettes toutes essences confondues, regroupées selon les types de dépôt/drainage contenus dans la base de données des strates coupées en régénération d'une hauteur de 7 m et moins pour la région de l'Abitibi.....	15
2 Peuplements constituant les populations pour l'analyse des conversions.....	20
3 Représentation des différents traitements sylvicoles utilisés dans le secteur d'étude.....	21
4 Composition des peuplements récoltés dans les régions d'étude.....	21
5 Représentation des types de dépôt/drainage par région.....	22
6 Description de la composition des peuplements avant la récolte selon les dépôts de surface/drainage.....	23
7 Transitions de différents types de peuplements à la suite de la coupe forestière....	24
8 Taux de conversion des peuplements suite à l'application de traitements sylvicoles. Les conversions retenues sont l'enfeuillement, l'ensapinage et l'échec d'établissement.....	25
9 Modèle statistique représentant l'échec d'établissement .....	29
10 Modèle statistique représentant l'enfeuillement.....	29

11	Modèle statistique représentant l'ensapinage.....	29
12	Regroupement des dépôts du modèle déterminant la susceptibilité des sapinières à l'échec d'établissement de la régénération après coupe.....	34

## LISTE DES ANNEXES

Annexe	Page
1 Exemple de données disponibles dans la base de données des inventaires forestiers des strates coupées en régénération d'une hauteur de 7 m et moins pour la région de l'Abitibi.....	61
2 Liste des abréviations utilisées dans le document.....	65

## RÉSUMÉ

En forêt boréale, la récolte de bois est devenue la perturbation la plus fréquente. Cette perturbation, de par sa fréquence et son étendue, est susceptible d'occasionner un rajeunissement du couvert forestier. Il importe donc de se demander : 1) Si ces changements diffèrent de ce que pourrait engendrer des perturbations naturelles; 2) est-ce que trop de peuplements sont ramenés dans une courte période de temps à des stades successionnels pionniers et 3) quel est l'impact de ces modifications sur le paysage?

La modification de la structure d'âge et de la composition forestière à l'échelle du paysage entraîne des changements tant au niveau de la biodiversité de la forêt d'origine qu'au niveau de l'industrie forestière.

Le but de cette étude est de dresser un bilan des changements de vocation sylvicole à la suite d'une première récolte afin de répondre aux questions suivantes : 1) Quel est l'effet des traitements sylvicoles sur l'établissement de la strate de retour 2) En quoi certains types de sites (dépôt de surface/drainage) sont plus sensibles aux conversions et 3) En quoi certains types de peuplements, de par leur composition d'origine, sont plus susceptibles aux changements de composition

Afin de tracer un portrait des changements de composition à une échelle régionale, les inventaires forestiers des strates coupées en régénération d'une hauteur de sept mètres et moins pour la région de l'Abitibi ont été analysés.

Les phénomènes de conversion après coupe ont été décrits en comparant la composition avant coupe à la composition après coupe à l'aide de matrices de transition. Ensuite, les facteurs prédisposant à certaines conversions jugées comme problématiques par l'industrie forestière ont été cernés en trois grandes catégories soit: 1) L'érosion du potentiel commercial par l'envahissement du parterre de coupe par des essences n'ayant aucune valeur commerciale (perte de vocation forestière); 2) L'érosion du potentiel résineux causé par le remplacement d'une strate résineuse prélevée par une strate feuillue, comme par exemple l'envahissement par le peuplier faux-tremble (l'enfeuillage); et 3) La perte de qualité de la strate résineuse par le remplacement de l'épinette noire par le sapin (ensapinage).

Les résultats suggèrent entre autres que dans la région de l'Abitibi, les peuplements mixtes (composés d'essences feuillues et résineuses), sont les plus sensibles à l'enfeuillage après coupe forestière, ce qui s'explique par le fait que les espèces feuillues sont déjà en place pour recoloniser le site. De plus, les dépôts d'argiles mésiques sont les plus sensibles aux impacts des aménagements forestiers. Finalement, les peuplements récoltés par des coupes totales sont les plus propices aux changements de composition, ce qui peut être attribuable en partie à la diminution d'arbres semenciers sur le site ainsi qu'à la destruction de la régénération pré-établie, ce qui laisse un milieu propice à la colonisation par des espèces pionnières ainsi qu'à l'envahissement du site par des espèces compétitrices.

## **1.INTRODUCTION**

### **1.1 Mise en contexte**

Au cours des dernières décennies, la récolte de bois est devenue la perturbation la plus fréquente en forêt boréale (Franklin et Forman, 1987 ; Spies *et al.*, 1994 ; Wallin *et al.*, 1994 ; Enoksson *et al.*, 1995 ; Anglestam, 1996). Ces perturbations anthropiques, de par leur fréquence et leur étendue, occasionnent un rajeunissement du couvert forestier (Bergeron *et al.*, 2001 ; Bergeron et Harvey, 1997 ; Gauthier *et al.*, 1996). Il importe alors de se demander si ces changements diffèrent de ce que pourrait engendrer des perturbations naturelles (comme le feu et les épidémies d'insectes) et est-ce que trop de peuplements sont ramenés dans une courte période de temps à des stades successionnels pionniers. Il importe aussi de se demander quel est l'impact de ces modifications sur le paysage.

On reconnaît maintenant que l'aménagement forestier pratiqué à grande échelle peut entraîner des changements dans la composition et la structure des mosaïques forestières (Carleton et McLellan, 1994 ; Spies *et al.*, 1994 ; Edenius et Elmberg, 1996 ; Gauthier *et al.*, 1996 ; Bergeron et Harvey, 1997). Que ce soit par l'enfeuilletement ou par l'ensapinage, la forêt mûre résultant de nos pratiques d'aménagement risque, à bien des égards, de ne pas ressembler à celle qui a été récoltée.

En raison des échelles de temps et d'espace impliquées dans la mise en place de conditions forestières et de l'évolution constante des pratiques forestières, il est actuellement difficile de dresser un portrait précis du devenir des zones aménagées (Reiger et Baskerville, 1996).

Par contre, certains facteurs nous permettent de prévoir l'abondance et la composition de la régénération après coupe. Ces facteurs sont notamment : 1) la quantité et la qualité de la régénération avant coupe (Frisque et Vézina, 1977); 2) les sources de semences disponibles et la qualité du lit de germination (Frisque, 1977); 3) le niveau de destruction de la

régénération préétablie lors des activités de récolte (Frisque, 1977) ; 4) le type et la dimension des coupes (Frisque et Vézina, 1977) et 5) les caractéristiques du milieu physique (Doucet, 1986; Harvey et Bergeron, 1989; Ruel, 1992b).

## **1.2 Problématique**

Les modifications dans la composition forestière entraînent des problèmes pour l'industrie forestière, aussi bien au niveau de l'exploitation qu'au niveau de la transformation. La composition des peuplements forestiers naturels en forêt boréale étant dominée par les conifères, l'industrie s'est développée de façon à optimiser l'exploitation et la transformation de ces ressources. C'est pourquoi des changements dans la composition des peuplements après la récolte forestière comme le remplacement des essences résineuses par des essences feuillues, ou le remplacement des épinettes par le sapin ou encore par la diminution des essences convoitées par des essences de peu de valeur commerciale, constituent une menace pour les approvisionnements de l'industrie en matière première.

Au niveau de l'exploitation, des changements dans la composition forestière entraîneraient des modifications dans les techniques de récoltes, la machinerie actuellement utilisée étant essentiellement adaptée à la récolte des résineux.

La transformation de la matière première serait aussi affectée. En effet, des changements d'approvisionnement en matière première impliqueraient une baisse de qualité des produits résultant de la transformation et de nombreux investissements seraient nécessaires afin d'adapter les usines à ces changements. Les conifères (épinettes, pins) de ces régions ont une qualité de bois de sciage nettement supérieure aux feuillus (bouleau, tremble) et le type de pâte à papier fabriqué dans ces régions est tributaire des essences que l'on y retrouve.

Outre les impacts économiques, les modifications de la structure d'âge et de la composition forestière à l'échelle du paysage découlant de l'aménagement forestier ont également été identifiées comme responsables de changements dans la biodiversité de la forêt d'origine

(Drapeau *et al.*, 2000 ; Drapeau *et al.*, 2001). Plusieurs études démontrent que les jeunes peuplements en forêt boréale sont naturellement dominés par des espèces intolérantes à l'ombre telles que le peuplier faux-tremble. Avec le temps, ces peuplements se dirigent vers des peuplements mixtes où des espèces plus tolérantes à l'ombre, souvent résineuses, s'installent et éventuellement dominant (Carleton et Maycock, 1978 ; Wein et McLean, 1983 ; Bergeron, 2000).

Certaines études (Pothier, 1996 ; Fortin et Gagnon, 2000) soutiennent qu'il est naturel d'observer une augmentation de la composante feuillue en début de succession en comparaison à la composition avant coupe du peuplement et ce, même si la composition avant coupe était essentiellement composée de résineux. Il est alors envisageable de se demander si le phénomène contraire ne représenterait pas un problème en soi.

La transformation du milieu engendre également des modifications dans la composition des espèces fauniques. Prenons, par exemple, la problématique du caribou par rapport à l'enfeuillage. À la suite de la coupe, les essences feuillues sont disponibles en grande quantité, ce qui constitue du brout de qualité pour l'orignal. En effet, pendant l'été les principales essences recherchées par l'orignal sont l'érable à épis (*Acer spicatum*), le bouleau blanc (*Betula papyrifera*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes*), les saules (*Salix* sp.), le sorbier (*Sorbus americana*), l'amélanchier (*Amelanchier* sp.) (Samson *et al.*, 2002). Avec l'expansion des aires de récoltes, l'orignal tend à étendre son territoire vers les zones plus nordiques habituellement occupées par le caribou. Ce qui entraîne à sa suite la remontée de son principal prédateur, le loup. Cette situation rend le caribou plus vulnérable à la prédation (DeBellefeuille, 2001 ; Bergerud et Pagé, 1987 ; Racey *et al.*, 1999).

### 1.3 Objectifs du projet de recherche

Le but de cette étude est de documenter la distribution et la composition de la régénération arborescente après coupe afin de décrire les changements de composition à la suite de différents types d'aménagements forestiers. Les changements de composition ont été caractérisés en trois classes : l'échec d'établissement de la régénération, l'enfeuilletement et l'ensapinage.

Plusieurs études locales portant sur la régénération après coupe forestière ont été publiées mais peu d'analyses permettent de dresser des bilans régionaux. Afin d'améliorer les prévisions des conditions forestières dans l'avenir, il est nécessaire d'analyser les changements de composition forestière après coupe sur une plus grande échelle. C'est à une échelle régionale que seront étudiés les impacts de l'aménagement forestier sur l'établissement de la régénération, à l'aide d'une base de données constituée des inventaires forestiers des strates en régénération d'une hauteur de 7 m et moins pour la région de l'Abitibi qui a été compilée par la compagnie forestière Norbord Nexford entre 1997 et 2000.

Notre premier objectif sera donc de documenter **l'échec d'établissement de la régénération** après aménagement forestier. Ce changement de composition se définit comme un peuplement dont la régénération après aménagement sylvicole ne comporte pas une quantité suffisante de tiges d'essences arborescentes commerciales, le peuplement est alors qualifié de strates feuillues non commerciales (FNC). Les essences considérées comme non commerciales sont, entre autres, l'aulne (*Alnus sp.*), l'érable à épis, le sorbier, les saules et le cerisier (*Prunus Pennsylvanica* L.f.).

Notre deuxième objectif sera de documenter le phénomène d'**enfeuilletement** à la suite des traitements sylvicoles. Nous parlerons d'enfeuilletement lors d'une augmentation des composantes feuillues par rapport à la composition du peuplement initial, c'est-à-dire la composition du peuplement avant la récolte.



Finalement, notre troisième objectif traitera de **l'ensapinage**. Cette modification de couvert implique une diminution du coefficient de distribution d'épinettes noires (*Picea mariana* (Mill.) BSP) au profit du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.).

Afin de répondre à nos objectifs, trois grands facteurs pouvant intervenir dans les changements de composition après opération sylvicole ont été mis en évidence. Ainsi, nous évaluerons dans quelle mesure la composition du peuplement avant coupe, le type de traitement sylvicole (plantation, coupe totale, coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS)) et la sensibilité de certains types de sites aux pratiques forestières (combinaison du dépôt de surface et de la classe de régime hydrique) sont déterminants dans le succès d'établissement et la composition de la régénération à la suite de la coupe forestière.

#### **1.4 Démarche adoptée**

Nous vérifierons tout d'abord si la **composition avant récolte** des peuplements influence la composition après coupe de ces peuplements. Pour ce faire, les pessières noires, les pinèdes grises, (*Pinus banksiana* Lamb.), les sapinières, les peupleraies, les peuplements mixtes de feuillus (peupliers faux-trembles, bouleaux blancs), les peuplements mixtes de résineux (épinettes noires, mélèzes, (*Larix laricina* (Du Roi) Koch), sapins, pins gris), et les peuplements mixtes de feuillus et de résineux seront comparés entre eux afin de déterminer leur susceptibilité à la modification de leur composition à la suite des opérations forestières.

#### **Hypothèse #1**

La composition du peuplement avant récolte influence la composition après coupe de ce peuplement.

**Prévision 1.1 :**

Les peuplements composés d'essences mixtes, c'est-à-dire de tiges de feuillus et de tiges de résineux, sont plus susceptibles à un enfeuillement de leur couvert, car les essences feuillues sont déjà installées sur le site.

**Hypothèse #2**

Suite à l'aménagement forestier, certains types de sites de par leur dépôt de surface et leur drainage sont plus sensibles à la modification de leur couvert forestier.

Afin de vérifier si les changements de compositions forestières sont plus importants sur certains **types de sites** (dépôt de surface et drainage), la composition de la strate de retour sera comparée sur des dépôts argileux (mésique et sub-hydrique), sur des dépôts grossiers (mésique et sub-hydrique), sur des tills, sur les dépôts rocheux, ainsi que sur des sols hydromorphes.

**Prévision 2.1 :** Les changements de composition forestière devraient être plus fréquents sur les sites riches, où la compétition est élevée, c'est-à-dire sur les dépôts de surfaces argileux.

**Hypothèse #3**

Certains **traitements sylvicoles** engendrent un taux plus élevé de changements de composition forestière.

Les traitements sylvicoles les plus fréquents seront analysés afin de déterminer si certains traitements favorisent les changements de compositions. Ainsi, les coupes totales, les coupes avec protection de la régénération et des sols (CPRS) et les plantations seront considérées.

**Prévision 3.1 :**

Les coupes totales devraient entraîner plus de changements de composition que les coupes avec protection de la régénération et des sols, car ces dernières laissent de la régénération pré-établie en place.

## 2. RÉGION D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée dans la région de l'Abitibi. Cette région est située à l'extrême ouest du Québec et est délimitée au nord par les basses terres de la Baie James et au sud par le bassin de l'Outaouais. La frontière du Québec et de l'Ontario constitue la limite ouest de la région tandis que la longitude 76°30' constitue son extrémité est (fig. 1).

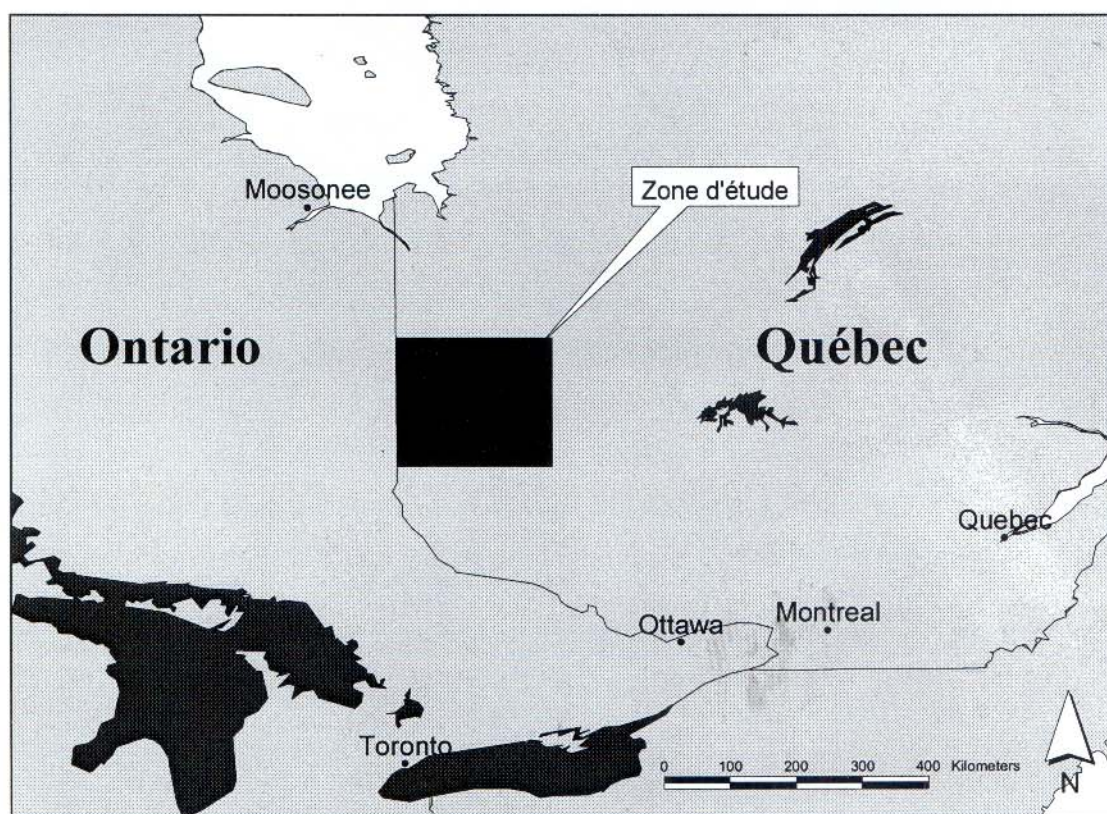


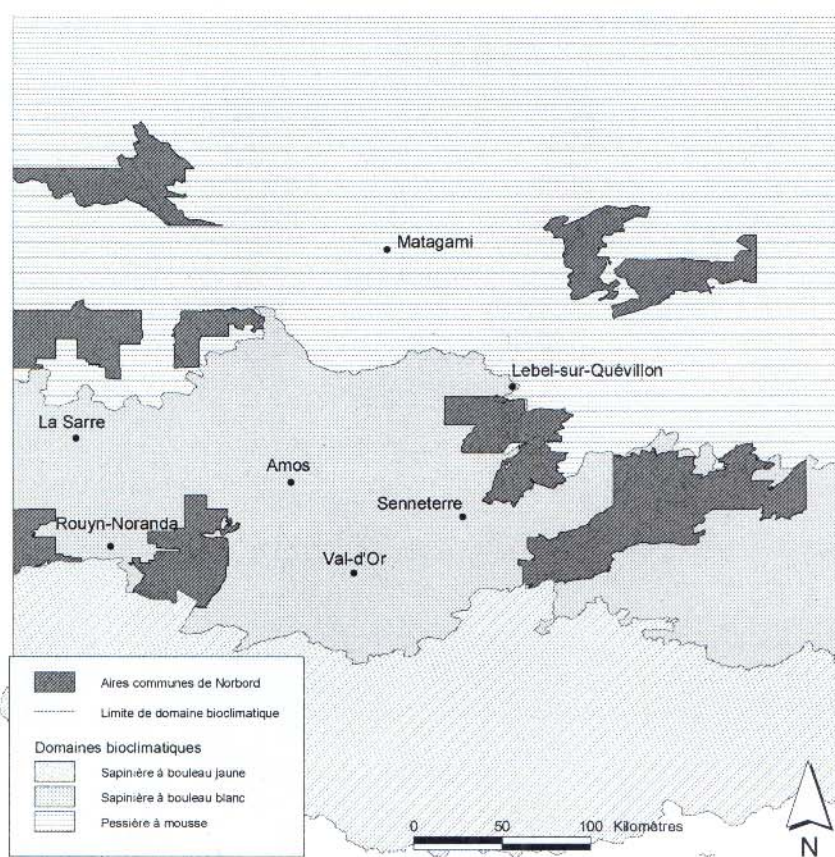
Figure 1 Région d'étude.

Cette région est caractérisée par la présence d'un dépôt d'argile qui origine du lac proglaciaire Barlow-Ojibway (Vincent et Hardy, 1977). La nature et la distribution des dépôts de surface dans le paysage résultent principalement des effets de la dernière glaciation de la période quaternaire et des événements postglaciaires qui l'ont suivie (Camiré, 1996). Les types de dépôts de surface sont distribués selon l'altitude. Ainsi, les plaines et les coteaux



sont caractérisés par des argiles glaciolacustres ou des tills argileux tandis que les collines n'ayant pas été recouvertes par les eaux du lac présentent des placages de till d'épaisseurs variables. Quant aux collines ayant été délavées, elles sont caractérisées par des tills délavés ou des affleurements rocheux. Finalement, sur les terrains mal drainés et les fonds de vallée, les dépôts organiques se sont développés, recouvrant ainsi les argiles glaciolacustres (Grondin *et al.*, 1999).

Le territoire à l'étude correspond aux aires communes de la compagnie forestière Norbord Nexford, situées dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc ainsi que dans la pessière à mousses de l'ouest. L'ensemble de ces aires communes inventoriées a une superficie de 285 000 hectares. Pour les fins d'analyses, le territoire a été divisé en quatre grands secteurs : La Sarre, Rouyn-Noranda, Lebel-sur-Quévillon et Senneterre (fig. 2).



**Figure 2** Distribution des aires communes de la compagnie forestière Norbord-Nexford dans la région de l'Abitibi.

La végétation de l'aire d'étude est incluse dans les deux grandes zones bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc au sud et de la pessière noire à mousses au nord, la limite entre ces deux zones se situant aux environs du 49° parallèle (Grondin, P. 1996.).

### **2.1 La pessière noire à mousses de l'ouest**

Le domaine de la pessière noire à mousses est le plus vaste domaine bioclimatique du Québec. Il forme une bande de près de 300 km de largeur s'étendant depuis l'ouest de l'Abitibi et la Baie-James jusqu'à l'extrémité est de la Côte-Nord. Les régions de La Sarre (nord-est de l'Abitibi) et de Lebel-sur-Quévillon font partie du sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest. Les températures moyennes annuelles y varient de 0 °C pour la limite sud à -2.5 °C pour la limite nord. Les précipitations moyennes annuelles se situent entre 700 et 1000 mm. La moyenne de jours sans gel varie entre 44 et 104 jours (Bergeron *et al.*, 1998).

On retrouve majoritairement trois grands types de dépôts de surface dans la pessière à mousses de l'ouest : les tills, les sols organiques et les dépôts glaciolacustres (Bergeron *et al.*, 1998).

Les couverts résineux dominant le paysage de la pessière à mousses de l'ouest, alors que les peuplements mixtes et feuillus constituent seulement 10 % du territoire. De plus, une proportion relativement importante (17 %) du territoire est constituée de terrains forestiers improductifs, c'est-à-dire des terrains dénudés humides, des terrains dénudés secs et des aulnaies (Bergeron *et al.*, 1998).

La végétation est caractérisée par des forêts généralement dominées par l'épinette noire et le pin gris. On retrouve également des peuplements mixtes de peupliers faux-tremble, de peupliers baumiers (*Populus balsamifera* L.), de bouleaux blancs, d'épinettes blanches (*Picea glauca* (Moench) Voss.) ainsi que des sapins baumiers (Grondin, 1996).

## 2.2 La sapinière à bouleau blanc de l'ouest

Le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc couvre près de 8 % du Québec. Il forme une bande d'environ 100 km de largeur qui s'étend d'ouest en est, du lac Abitibi jusqu'à l'extrémité est de la Gaspésie, de l'île d'Anticosti et des Îles-de-la-Madeleine. Rouyn-Noranda et Senneterre se situent dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest. Ce sous-domaine bioclimatique compose la partie sud de la zone boréale. Il se distingue du sous-domaine de l'est par un relief moins accidenté et par une plus grande abondance de peuplements feuillus ou mélangés à tendance de feuillus (Grondin *et al.*, 1999).

Ces régions sont caractérisées par une température annuelle de 0.8 °C et par des précipitations annuelles de 857 mm, la période moyenne de jours sans gel est de 64 jours (Environnement Canada, 1993).

Dans la sapinière à bouleau blanc de l'ouest, on retrouve une dominance des dépôts à textures fines et moyennes. On retrouve également des dépôts organiques sur les terrains mal drainés (Grondin *et al.*, 1999).

Le territoire forestier est composé essentiellement de peuplements mélangés ou résineux. Les peuplements résineux, comme les pessières noires, les pinèdes grises et les sapinières se retrouvent répartis de façon égale sur le territoire. Par contre, les peuplements mélangés et feuillus dominés par les feuillus intolérants (peuplier faux-tremble et bouleau blanc) se concentrent sur les argiles de l'extrémité ouest du territoire (Grondin *et al.*, 1999).

### **3. MÉTHODOLOGIE**

#### **3.1 Description de la base de données**

Une base de données existante a été utilisée afin de décrire les modifications de couvert forestier. Cette base de données a été compilée par la compagnie forestière Norbord Nexford entre 1997 et 2000. Elle est constituée des données des inventaires forestiers des strates en régénération d'une hauteur de 7 m et moins pour la région de l'Abitibi.

Les objectifs initiaux des inventaires constituant la base de données étaient d'améliorer les connaissances sur les strates inférieures à 7 m de hauteur, car celles-ci constituent une partie importante des strates considérées dans le calcul de la possibilité forestière. L'inventaire de ces strates sera utilisé pour définir les superficies par production prioritaire (résineux, mélangé, feuillu ou mixte), pour ainsi prévoir l'évolution et la croissance de ces strates et de déterminer les sites sujets à des travaux sylvicoles comme le reboisement, le regarni ou l'éclaircie précommerciale (Demers, 2002).

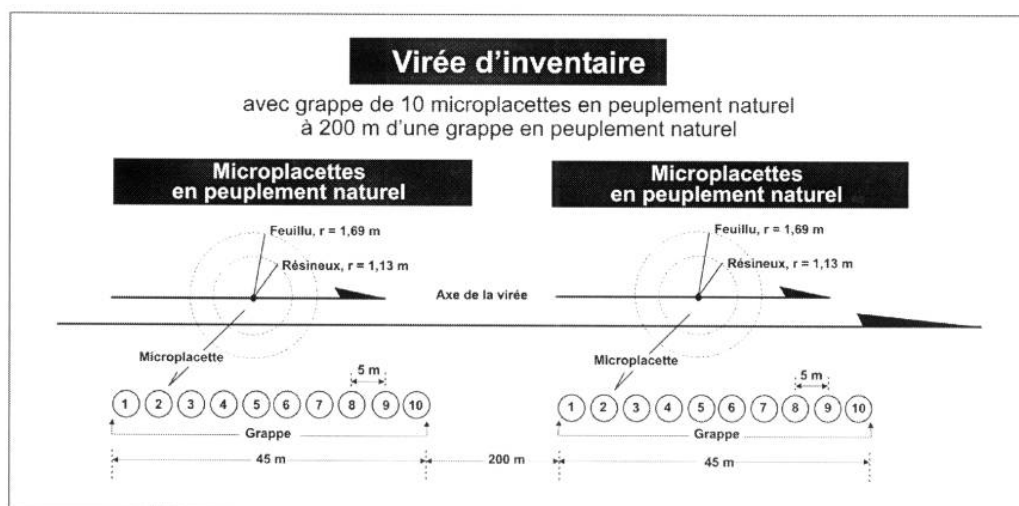
Nous analyserons donc cette base de données afin de déterminer l'impact des opérations forestières sur la strate de retour après coupe. Il sera alors possible de dresser un portrait des changements de composition à l'échelle régionale de l'Abitibi.

La régénération préétablie échantillonnée est âgée entre 12 et 28 ans, mais la plupart des sites ont été coupés il y a environ 12 ans. Les inventaires forestiers des strates compilées ont été effectués en 1997, 1998 et 2000.

### 3.1.1 Plan de sondage

La récolte des données sur le terrain a été réalisée selon les normes des inventaires forestiers du ministère des Ressources naturelles du Québec au moyen de placettes-échantillons temporaires pour les peuplements de moins de 7 m de hauteur (Demers, 2002). La méthode d'échantillonnage par grappe a été utilisée (figure 3). Cette méthode consiste à faire l'inventaire de 10 microplacettes circulaires d'un rayon de 1,13 m espacées de 5 m entre elles et réparties le long d'une virée d'inventaire. Au total, la base de données est constituée de 4 800 grappes.

**Figure 1 : Grappes (2) de microplacettes espacées de 200 m minimum le long d'une virée d'inventaire**



**Figure 3** Schématisation de la disposition des grappes d'inventaire, tiré de Demers, 2002.

### 3.1.2 Mesures de la végétation

L'échantillonnage a été réparti parmi les peuplements avant coupe les plus représentatifs de la région de l'Abitibi. Les pessières, les peupleraies, les sapinières, les pinèdes, les peuplements mixtes de résineux, les peuplements mixtes de feuillus, les peuplements mixtes de feuillus et de résineux ont été inventoriés.



À l'intérieur de chaque microplacette, toutes les tiges d'essences commerciales ont été dénombrées, l'essence a été prise en note ainsi que la hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) de chaque tige. De plus, l'état de santé des tiges d'essences commerciales a été pris en note. Dans le cas de l'épinette noire, les marcottes ont été distinguées des semis.

Pour les tiges d'essences non commerciales qui poussent en bouquet, comme l'aulne et le saule, le nombre de tiges a été noté pour chaque essence. De plus, la hauteur, le pourcentage de recouvrement ont été estimés et le dhp a été mesuré au millimètre. Pour les tiges d'essences non commerciales qui ne poussent pas en bouquet, elles sont mesurées une par une et pour chaque essence le pourcentage de recouvrement, le dhp et la hauteur ont été estimés.

Finalement, la végétation arbustive et herbacée telle les éricacées, les plantes herbacées et les mousses, est identifiée seulement avec l'espèce et quantifiée selon son pourcentage de recouvrement.

### 3.1.3 Caractéristiques évaluées dans les microplacettes

Ces microplacettes d'échantillonnage de 4 m<sup>2</sup> décrivent :

- Le peuplement actuel et dans certains cas, le peuplement avant la perturbation (selon le type de couvert retrouvé sur les cartes écoforestières de la région);
- L'origine du peuplement (coupe forestière (totale, partielle, CPRS) brûlis, plantation, chablis, épidémie, friche, ensemencement);
- Les coordonnées des placettes d'échantillonnage (longitude, latitude);
- Le feuillet cartographique où se situent les placettes échantillonnées;
- Des pourcentages de recouvrement de la végétation arbustive, herbacée et muscinale;
- Le type de dépôts de surface et la cote de drainage;
- La pente;

- Le pourcentage de déchets de coupe laissés sur le site;
- Le pourcentage de pierrosité du sol;
- La hauteur, le dhp, l'âge, l'origine et l'état de santé de cinq tiges arborescentes (arbres études);
- La hauteur au 5<sup>e</sup> verticille et l'essence des arbres études;
- La présence d'ornières sur les parterres de coupe;
- La vocation du site;
- Les prescriptions pour améliorer le site.

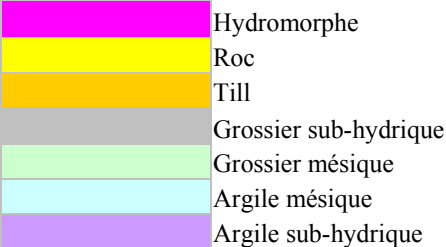
Des exemples tirés de la base de données sont présentés à l'annexe 1.

### 3.2 Analyse de la base de données

Les types de dépôt/drainage de la base de données ont été regroupés pour faciliter l'interprétation des analyses (tableau 1). Par exemple, tous les dépôts sur roc, peu importe leur drainage, sont classés dans la catégorie **Roc**, alors que les dépôts 1A et 1AR sont divisés en trois catégories selon leur type de drainage : **Till** pour les drainages de classe 2 ou 3, **Grossier sub-hydrique** pour les classes de drainage de type 4 et tous les drainages de classe 5 ont été classés en **Sol hydromorphe**. Sept classes regroupant les dépôt/drainage sont ainsi obtenues : 1) Argile mésique; 2) Argile sub-hydrique; 3) Dépôt grossier mésique; 4) Dépôt grossier sub-hydrique; 5) Sols hydromorphes; 6) Rocs; 7) Tills.

**Tableau 1** Représentation des placettes toutes essences confondues regroupées selon les types de dépôt/drainage contenus dans la base de données des strates coupées en régénération (hauteur de 7 mètres et moins), pour la région de l’Abitibi.

<b>Drainage</b>				
<b>Dépôts</b>	2	3	4	5
R	215	1		
<b>Texture moyenne</b>				
1A		761	196	
1AR		575	91	
<b>Texture grossière avec cailloux</b>				
1BF		3		
1BI				
2A		26		
2AE	10			
<b>Texture grossière sans cailloux</b>				
4GS	21	181	55	
<b>Texture fine</b>				
1AA			61	
4GA		80	2105	
4GAR			10	
<b>Sol organique</b>				
7				107



- Hydromorphe
- Roc
- Till
- Grossier sub-hydrique
- Grossier mésique
- Argile mésique
- Argile sub-hydrique

La base de données permettait de recourir à deux types d’information sur les dépôts et le drainage des placettes échantillonnées. En effet, chaque placette était accompagnée de son code de drainage ainsi que de sa classe texturale cartographique mais cette information a aussi été vérifiée sur le terrain, ce qui nous fournit deux informations parfois différentes. Pour les analyses, l’information terrain a été privilégiée car les données cartographiques sont interprétées à l’aide de photos aériennes et ainsi, certains types de dépôts s’avèrent parfois difficiles à différencier et les sols hydromorphes peuvent facilement être confondus avec les dépôts d’argiles sub-hydriques et vice-versa. Par contre, dans certains cas, lorsque l’information terrain manquait, nous avons eu recours à l’information cartographique.

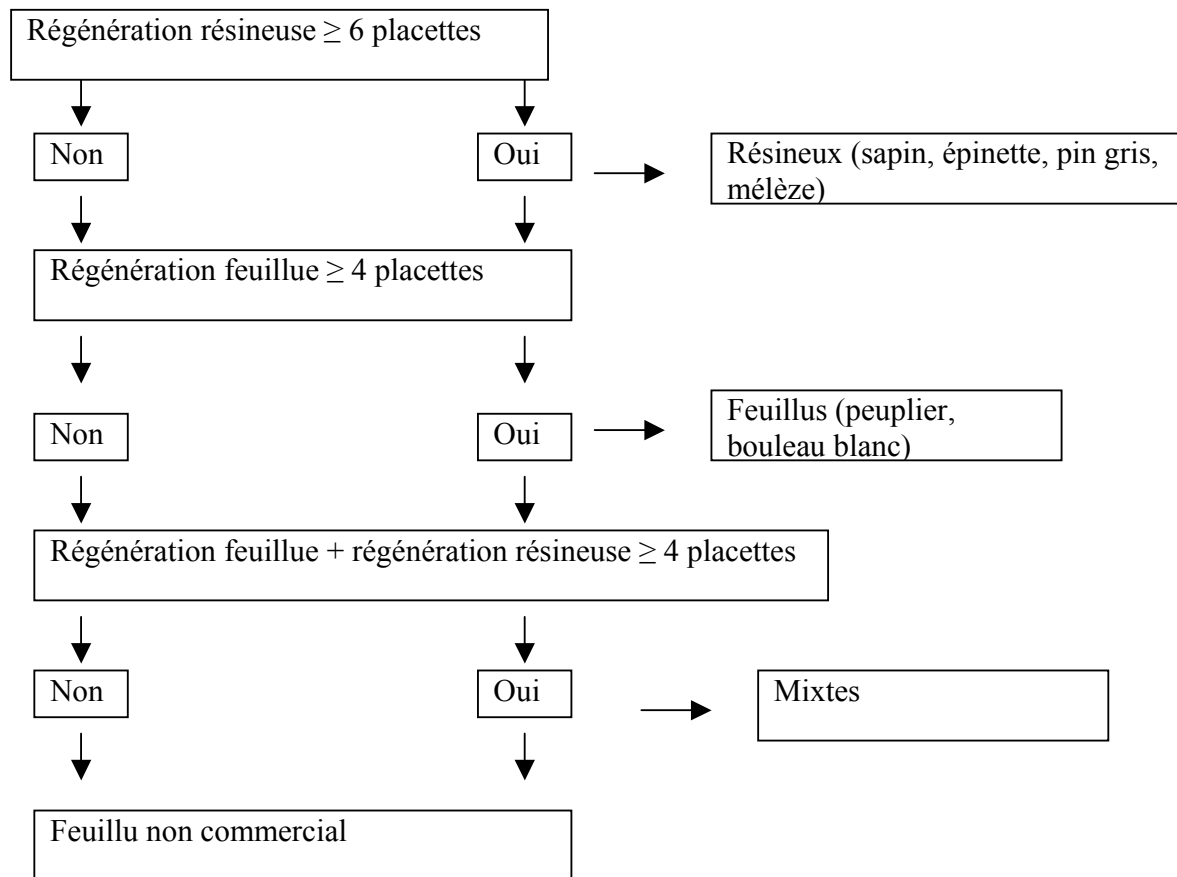
Afin de mettre en parallèle les données d'inventaire et les peuplements avant coupe, il a été nécessaire de compléter l'information de la base de données par le type de peuplement avant coupe. Pour ce faire, nous avons consulté les cartes du premier inventaire forestier sur lesquelles ont été reportées les grappes d'inventaires.

### **3.3 Analyses statistiques**

#### 3.3.1 Caractérisation de la régénération après coupe (réalisation des transitions)

Afin de caractériser la régénération après coupe, nous avons utilisé une grille décisionnelle basée sur la fréquence relative des essences après aménagement forestier. Il est alors possible de classer la régénération en quatre classes (figure 4).

À la suite de la classification de la régénération, nous avons créé des transitions. Ainsi, le départ des transitions était constitué de l'appellation des peuplements avant coupe, qui était contenue dans la base de données et, que dans certains cas, nous avons complété par les cartes du premier inventaire forestier. Quant au point d'arrivée des transitions, il a été déterminé par la classification du couvert de la régénération après coupe, obtenue à l'aide de l'information contenue dans la base de données et de la grille décisionnelle.



**Figure 4** : Grille décisionnelle pour l'appellation attribuée à la régénération

### 3.3.2 Variables explicatives utilisées dans les analyses statistiques

La base de données a été traitée de diverses façons afin d'en extraire les informations nécessaires à la vérification de nos trois hypothèses de départ. Tout d'abord, la variable **composition du peuplement avant récolte** a été contrôlée dans le modèle afin de vérifier si cette composition initiale du peuplement influence la composition après coupe de ce même peuplement (hypothèse n° 1).

Afin de vérifier en quoi certains types de sites, par leur dépôt de surface et leur type de drainage, sont plus sensibles à la conversion de leur couvert (hypothèse n° 2) et quel est l'effet des traitements sylvicoles sur l'établissement de la strate de retour (hypothèse n° 3), les variables **dépôts** et **origine** ont été insérées dans le modèle en plus de la variable **région** afin d'évaluer si la relation change d'un secteur à l'autre.

Comme il s'agit de données de fréquences, l'analyse multiple de tableaux de contingence se prêtait le mieux à l'analyse de ces données. Les tableaux de contingence ont été analysés en ajustant un modèle log-linéaire (HILO) aux données (Legendre et Legendre, 1984). Ainsi, le logarithme naturel de la fréquence attendue pour chaque cellule du tableau est estimé comme la somme de l'effet principal et de ses interactions. Comme ces variables sont des données catégoriques, les analyses ont été effectuées à l'aide de la procédure CATMOD du logiciel SAS.

Comme les données utilisées semblent démontrer statistiquement des affinités entre elles, la méthode des moindres carrés (WLS) a été privilégiée à la méthode du maximum likelihood (ML) afin d'estimer le modèle log-linéaire. La méthode des moindres carrés (WLS) a aussi été privilégiée pour sa fonction « **add cell** » qui permet d'ajouter de petites valeurs (0,5) aux cellules contenant des effectifs nuls (Allison, 1999), ce qui permet d'avoir un signal plus représentatif du poids des variables dans les modèles. Cette fonction a permis de contrer un inconvénient de la procédure CATMOD qui supprime les cellules contenant des zéros puisqu'elle considère cette situation comme étant impossible.

Trois modèles ont ainsi été réalisés afin d'évaluer les trois types d'impacts de l'aménagement forestier sur la régénération. Ces trois modèles portent sur :

- 1) Les facteurs susceptibles d'entraîner des échecs d'établissement de la régénération après aménagement forestier. Ces modèles contiennent toutes les placettes échantillonnées qui possédaient une appellation commerciale avant coupe (par exemple les transitions fnc/fnc ont été éliminées de l'analyse).

2) Les facteurs favorisant l'enfeuillage à la suite de traitements sylvicoles. Ces modèles sont constitués des placettes qui ayant une composition résineuse avant coupe, montrent des transitions vers des peuplements de peuplier (Pet) ou de peuplier mélangé avec des résineux (PetRes) ou encore vers des peuplements de bouleau blanc (bop). Ces placettes constituent le groupe cible auquel sera comparé des placettes n'ayant pas subi de conversion : groupe témoin. Pour faire partie de l'analyse, les sites devaient maintenir une vocation commerciale après coupe.

3) Sur l'effet de l'ensapinage. Pour ce modèle, une seule composition du peuplement avant récolte a été retenue. En effet, seulement les transitions des pessières vers le sapin traduisent la dynamique de l'ensapinage. Les peuplements mixtes (ainsi que les sapinières) ont été écartés de l'analyse car ces derniers présentent déjà une dynamique se rapprochant de celle de la sapinière. Les conversions retenues pour l'analyse sont donc les pessières convergeant vers le sapin (ee/ss) qui constituent le groupe cible qui sera comparé aux pessières demeurant des pessières (ee/ee) : groupe témoin.

Une sous population statistique a été constituée pour chaque modèle. Ainsi, pour le phénomène d'**enfeuillage**, la population était constituée de la population totale inventoriée dans la base de données (4102 placettes) moins les peuplements avant coupe qui étaient constitués de bouleau à papier «BOP» (92 cas), de peupliers «PET» (98 cas) et de peupliers mélangés à des résineux «PETRES» (153 cas). Comme un des objectifs de l'étude était d'évaluer l'**ensapinage** des pessières, seule la population des peuplements d'épinettes noires avant coupe (2554) a été considérée dans la population de base de ce modèle. Finalement, pour le modèle **d'échec d'établissement de la régénération**, la population totale a été considérée (4102 placettes) (tableau 2).

**Tableau 2** Peuplements constituant les populations pour l'analyse des conversions.

<b>Modèles</b>	<b>Constituants de la population</b>
Enfeuillage	Population totale (4102) - BOP (92) - PET (98) - PETRES (153)
Ensapinage	Population de pessières (2554)
Échec d'établissement	Population totale (4102)

Quatre variables constituent les trois modèles décrits plus haut. D'abord la variable **traitements** se définit comme le traitement sylvicole appliqué au peuplement. Seuls, les trois traitements les plus répandus ont été retenus pour l'analyse : les plantations (P), les coupes totales (CT) et les coupes avec protection de la régénération et des sols (CPRS). Même si elle n'est plus effectuée aussi souvent actuellement, la coupe totale a été analysée car elle représente 47 % des traitements sylvicoles des strates en régénération comparativement à 22 % pour les CPRS et 26 % pour les plantations.

La variable **dépôt** est constituée d'un regroupement de dépôt de surface et de classe de drainage (voir tableau 1). On y retrouve sept types de couplets dépôt/drainage : l'argile mésique (ArgM), l'argile sub-hydrique (ArgSh), les dépôts grossiers mésiques (GrM), les dépôts grossiers sub-hydriques (GrSh), les tills, les rocs (R) et les sols hydromorphes (Hydro).

La variable **région** correspond à la subdivision de l'Abitibi en quatre grands secteurs : Rouyn, La Sarre, Lebel-sur-Quévillon et Senneterre.

Finalement, la variable **composition du peuplement avant récolte** (comporigine) correspond à la composition du peuplement avant coupe. Trois compositions d'origine ont été retenues : les pessières noires (EE), les peuplements mixtes (Mixtes) et les sapinières (SS). Afin de répondre à la question de départ, les résultats des analyses ont été interprétés en effectuant des comparaisons sur chacune des compositions d'origine.



## 4 RÉSULTATS

### 4.1 Description de la base de données

Le tableau 3 montre que même si les coupes totales (CT) ne sont plus pratiquées et qu'elles ont été remplacées par les CPRS, elles constituaient, cependant, la principale pratique de récolte dans le secteur de l'étude.

**Tableau 3.** Représentation des différents traitements sylvicoles utilisés dans le secteur d'étude.

Traitement sylvicole	Région				Total
	La Sarre	Lebel	Rouyn	Senneterre	
CPRS	10,42	0,78	10,08	1,45	<b>22,73</b>
Coupe total (CT)	9,0	9,58	16,92	11,37	<b>46,87</b>
Ensemencement	1,06	0,58	0,77	0,97	<b>3,38</b>
Plantation	4,68	6,66	10,65	8,50	<b>30,49</b>
<b>Total</b>	<b>25,16</b>	<b>17,59</b>	<b>38,42</b>	<b>22,29</b>	

On remarque également qu'une bonne partie des coupes totales a été effectuée dans les régions de Rouyn-Noranda et de Senneterre (tableau 3).

**Tableau 4.** Composition des peuplements récoltés dans les régions d'études.

Composition des peuplements avant récolte	Région				Total
	La Sarre	Lebel	Rouyn	Senneterre	
Pessière	21,92	13,70	11,80	14,85	<b>62,26</b>
Mixte	1,12	0,10	17,63	4,19	<b>23,94</b>
Peupleraie	0,10	0,24	1,83	0,22	<b>2,39</b>
Peuplier et résineux	0,85	0,39	2,39	0,10	<b>3,73</b>
Sapinière	0,41	0,41	6,70	0,15	<b>7,68</b>
<b>Total</b>	<b>24,4</b>	<b>14,84</b>	<b>40,35</b>	<b>19,51</b>	

Le tableau 4 indique que la plus grande proportion de la forêt prélevée était occupée par les pessières, alors que la plus grande diversité de peuplements prélevés se retrouve dans la région de Rouyn.

Cette situation traduit bien les régions écologiques à partir desquelles les forêts ont été récoltées. Ainsi, les sapinières sont surtout réparties dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc ce qui correspond aux secteurs de Rouyn et de Senneterre dans notre découpage du territoire. Les pessières, proviennent surtout du nord de l’Abitibi, ce qui correspond aux secteurs de La Sarre et de Lebel-sur-Quévillon (Tableau 4).

La base de données montre que les dépôts argileux et les tills sont les dépôts les plus représentés dans la base de données (Tableau 5). On observe avec ce même tableau que les argiles sub-hydriques sont surtout situées dans les régions de Lebel-sur-Quévillon et de Rouyn-Noranda, la région de Rouyn démontre aussi le plus grand pourcentage d’argile mésique alors que les sols hydromorphes se retrouvent dans le nord de La Sarre et les tills dans la région de Senneterre.

**Tableau 5.** Représentation des types de dépôt/drainage par région.

Types de dépôts/drainages	Région				Total
	La Sarre	Lebel	Rouyn	Senneterre	
Argile mésique	5,66	1,19	11,34	0,05	<b>18,24</b>
Argile sub-hydrique	5,31	7,61	7,95	0	<b>20,87</b>
Grossier mésique	2,63	0,61	3,34	2,07	<b>8,65</b>
Grossier sub-hydrique	1,02	2,15	1,97	1,34	<b>6,48</b>
Hydromorphe	8,28	1,19	2,93	0,56	<b>12,96</b>
Roc	0,88	0,17	3,27	2,66	<b>6,98</b>
Till	0,60	2,82	9,55	12,77	<b>25,74</b>
<b>Total</b>	<b>24,38</b>	<b>15,74</b>	<b>40,35</b>	<b>19,45</b>	

La distribution des peuplements selon le type de dépôt de surface (Tableau 6), montre que la majorité des peuplements se retrouvent sur les argiles et les tills. Les pessières sont aussi bien représentées sur les sols hydromorphes.

**Tableau 6.** Description de la composition des peuplements avant la récolte selon les dépôts de surface/drainage

Types de dépôt/drainage	Composition des peuplements avant récolte					
	Pessière	Mixte	Peupleraie	Peuplier et résineux	Sapinière	Total
Argile mésique	7,99	5,58	0,76	1,12	1,90	<b>17,35</b>
Argile sub-hydrique	13,92	3,55	0,36	0,77	2,12	<b>20,72</b>
Grossier mésique	5,11	1,46	0,41	0,41	1,12	<b>8,51</b>
Grossier sub-hydrique	5,02	0,88	0,73	0,21	0,24	<b>7,08</b>
Hydromorphe	11,33	1,24	0,05	0,10	0,22	<b>12,94</b>
Roc	4,44	1,68	0,07	0,20	0,46	<b>6,85</b>
Till	14,40	7,29	0,66	0,88	1,61	<b>24,84</b>
<b>Total</b>	<b>62,21</b>	<b>21,68</b>	<b>3,04</b>	<b>3,69</b>	<b>6,55</b>	

#### 4.2 Analyses des changements de composition après récolte

La composition des peuplements avant récolte a été regroupée pour former cinq classes de peuplements avant récolte. Le même processus a été utilisé pour regrouper la composition après récolte. Ainsi, les peuplements composés de pins gris, pins gris mélangés, mélèzes, mélèzes mélangés ainsi que les peuplements de résineux ont été regroupés avec les pessières. Les peuplements mixtes sont constitués des feuillus intolérants, des feuillus intolérants mélangés, des peuplements mixtes, des bouleaux mélangés. Les peupleraies sont constituées uniquement des peupliers, alors que les peupliers/résineux contiennent les peuplements de peupliers mélangés. Finalement, les sapinières comprennent les sapinières pures et les sapinières à épinettes.

L'analyse des transitions réalisées avec la composition des peuplements avant coupe et la composition après coupe (tableau 7), nous montre que la majorité des pessières se régénère en épinettes noires (66 %). De plus, les peuplements mixtes et les sapinières semblent très sensibles à un échec d'établissement de leurs régénérations (FNC) avec une incidence respective de 28 % et 27 %. Les peuplements de peupliers faux-tremble après coupe présentent un retour en peuplier dans 49 % des cas après récolte. Les peuplements constitués

d'un mélange de peupliers et de résineux démontrent qu'à la suite des opérations sylvicoles, il est possible d'observer un retour en résineux (sapins 16 %, épinettes 34 %).

**Tableau 7** Transitions de différents types de peuplements à la suite de la coupe forestière.

<b>Composition du peuplement avant coupe</b>	<b>Composition du peuplement après coupe</b>	<b>Incidence %</b>
Pessière	Épinettes	65,98
	Feuillus non commercial (FNC)	12,92
	Peupliers	2,74
	Peupliers et résineux	3,21
	Sapins	15,15
Mixtes	Épinettes	25,62
	Feuillus non commercial (FNC)	28,43
	Peupliers	8,76
	Peupliers et résineux	4,16
	Sapins	33,03
Peupleraies	Épinettes	14,29
	Feuillus non commercial (FNC)	18,37
	Peupliers	48,98
	Peupliers et résineux	9,18
	Sapins	9,18
Peupliers et résineux	Épinettes	33,99
	Feuillus non commercial (FNC)	20,26
	Peupliers	18,30
	Peupliers et résineux	11,76
	Sapins	15,69
Sapinières	Épinettes	28,25
	Feuillus non commercial (FNC)	27,3
	Peupliers	4,76
	Peupliers et résineux	1,59
	Sapins	38,10

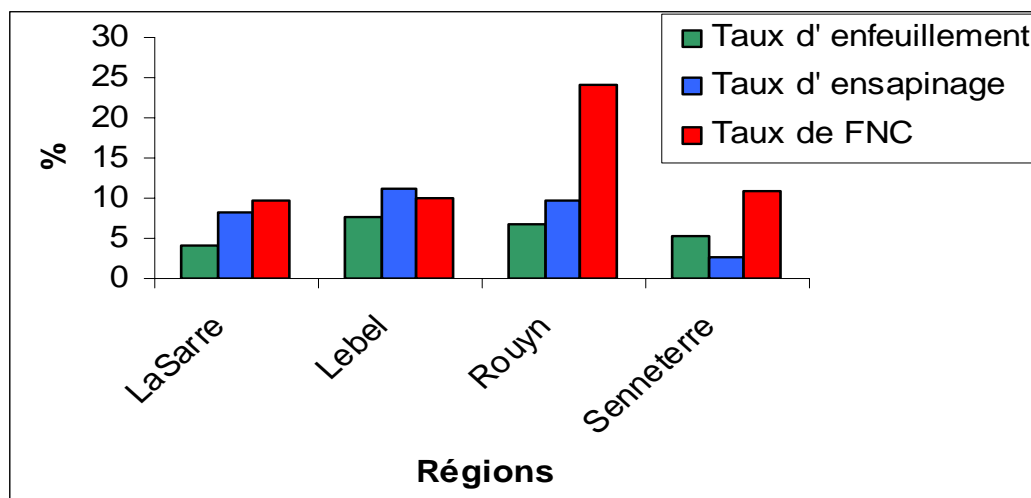
### 4.3 Classification des changements de composition à la suite de la récolte

Les transitions ont été classées en trois catégories représentant les impacts possibles de ces conversions c'est-à-dire : l'ensapinage des pessières, l'échec d'établissement de la régénération (FNC) et l'enfeuillage. On retrouve dans le tableau 8 le cheminement effectué pour déterminer les pourcentages de conversion. Ainsi, les conversions décelées dans la base de données ont été divisées par l'effectif respectif de chacun des modèles (voir section méthodologie). On observe alors que l'échec d'établissement de la régénération après coupe est l'impact le plus fréquent après aménagement avec une incidence de 18 %.

**Tableau 8** Taux de conversion des peuplements suite à l'application de traitements sylvicoles. Les conversions retenues sont l'enfeuillage, l'ensapinage et l'échec d'établissement.

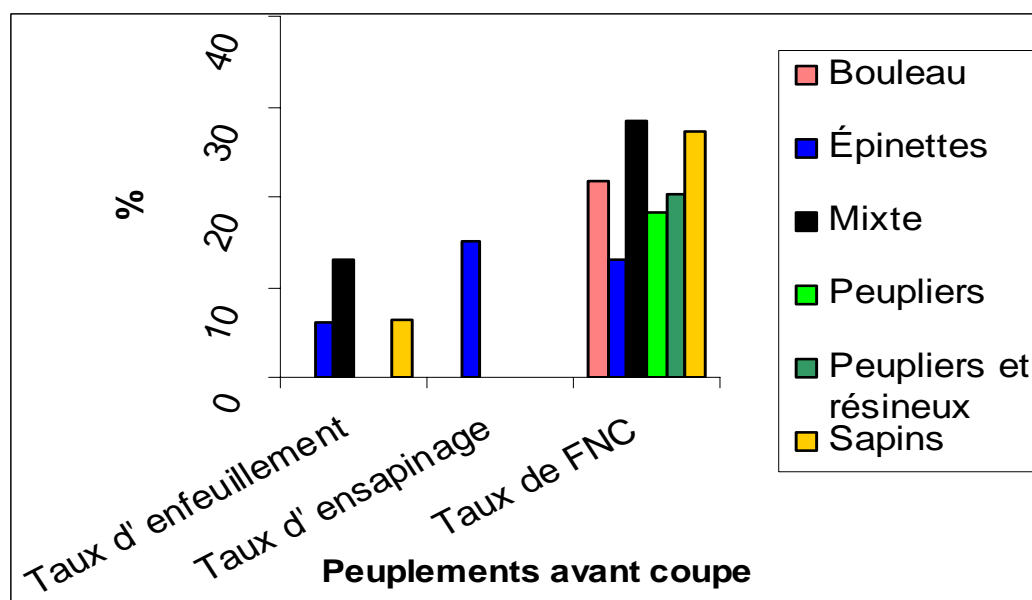
<b>Modèles</b>	<b>Cas détectés dans la base de données</b>	<b>Effectif</b>	<b>% de conversion</b>
Enfeuillage	287	3759	8 %
Ensapinage	387	2554	15 %
Échec d'établissement	738	4102	18 %

Ces conversions sont représentées par secteur à la figure 5. Cette figure montre que les secteurs de Rouyn-Noranda et de Senneterre sont les plus sensibles à un retour en strate feuillue non commerciale après coupe (FNC).



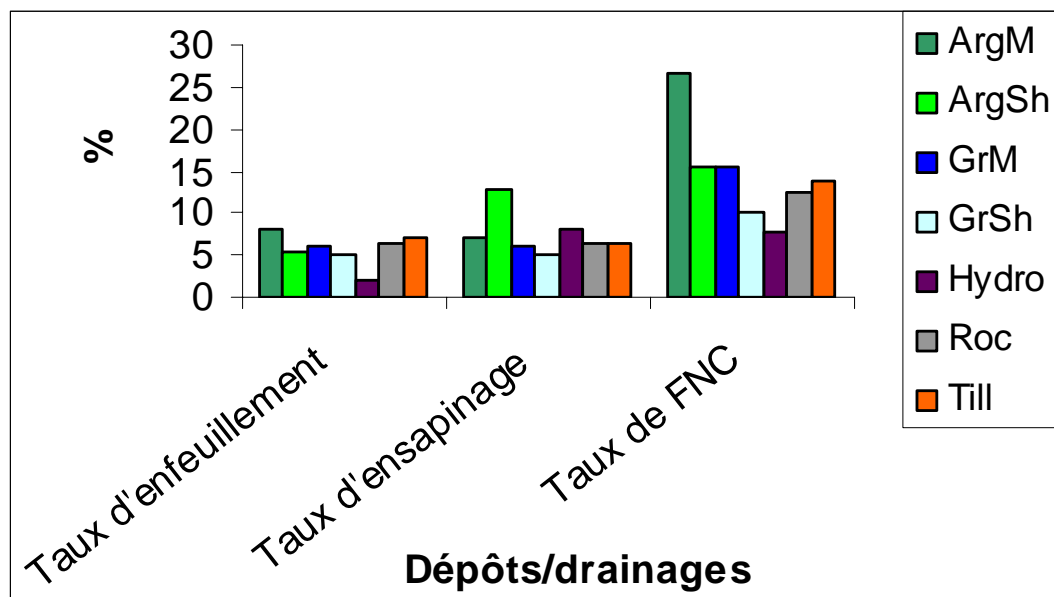
**Figure 5** Conversions des peuplements selon les grands secteurs étudiés.

Sous l'angle de la composition du peuplement avant coupe (figure 6), les peuplements mixtes semblent plus sensibles que les sapinières à l'enfeuillage à la suite des aménagements sylvicoles. Les peuplements mixtes, les sapinières et les bétulaies (BOP), démontrent les plus hauts taux de transitions après coupe vers des strates d'essences feuillues non commerciales.



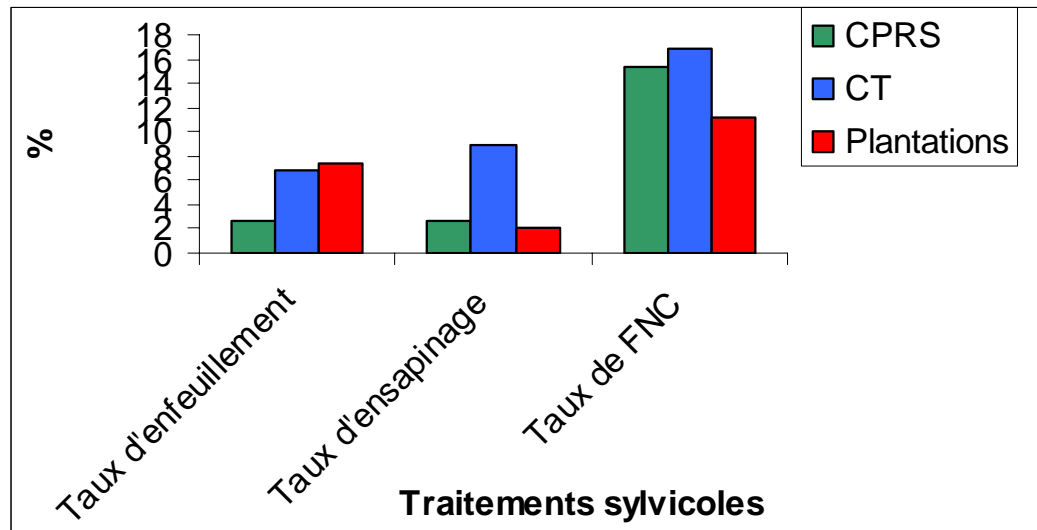
**Figure 6** Conversions selon les types de peuplements avant coupe.

La figure 7 présente la distribution des trois types de conversions selon les dépôts/ drainages. Les résultats montrent que l'enfeuillement est souvent rencontré sur l'argile mésique (ArgM), les tills ainsi que sur les sols minces (roc). Alors que les pessières susceptibles à l'ensapinage sont situées majoritairement sur les sites d'argile subhydrique. Les dépôts d'argiles mésiques seraient aussi plus propices à un retour après coupe en strates feuillues non commerciales (FNC).



**Figure 7** Conversions selon les types de dépôt drainages.

Finalement, la distribution des conversions selon les traitements sylvicoles (figure 8) indique que les plantations et les coupes totales (CT) montrent davantage d'enfeuillement alors que les coupes totales et les CPRS engendrent les taux les plus élevés de strates feuillues non commerciales (FNC). Cette figure montre aussi que « l'ensapinage » semble être plus fréquent à la suite des coupes totales.



**Figure 8** Conversions selon les traitements sylvicoles.

#### 4.4 Description des modèles statistiques

Afin de déterminer les facteurs susceptibles d'engendrer après coupe une modification dans la composition de la strate forestière prélevée, les transitions ont été analysées à l'aide de la procédure CATMOD. Pour ce faire, quatre modèles ont été réalisés en fonction des types d'effets appréhendés par les transitions après coupe.

Tout d'abord, quatre modèles généraux ont été effectués afin de bien identifier le poids de chaque variable sur les modèles.

Les valeurs des  $\chi^2$  des modèles indiquent que l'influence des variables est spécifique pour chaque type de conversion. Le tableau 9 montre que le couplet dépôt/drainage est le facteur le plus influent associé à l'échec d'établissement de la régénération (FNC). Alors que la composition du peuplement avant récolte est la variable la plus influente sur les phénomènes d'enfeuillement (tableau 10). Enfin, c'est la variable région qui possède le plus fort  $\chi^2$  dans le modèle de l'ensapinage (tableau 11).



**Tableau 9** Modèle statistique représentant l'échec d'établissement

Source	Df	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	433,44	<0,0001
Traitements sylvicoles	2	56,57	<0,0001
Dépôts	6	92,09	<0,0001
Régions	3	25,42	<0,0001
Compositions d'origine	2	14,30	0,0008
Likelihood ratio (ML)	149	237,48	<0,0001

**Tableau 10** Modèle statistique représentant l'enfeuillage

Source	Df	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	442,99	<0,0001
Traitements sylvicoles	2	25,64	<0,0001
Dépôts	6	17,11	0,0089
Régions	3	14,04	0,0028
Compositions d'origine	2	30,80	<0,0001
Likelihood ratio (ML)	149	199,75	0,0035

**Tableau 11** Modèle statistique représentant l'ensapinage\*

Source	Df	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	291,64	<0,0001
Traitements sylvicoles	2	0,00	0,9943
Dépôts	6	29,29	<0,0001
Régions	3	113,74	<0,0001
Likelihood ratio (ML)	39	53,12	0,0652

\* Seuls les peuplements d'épinettes noires ont été analysés pour ce modèle.

#### 4.5 Analyse des facteurs susceptibles d'entraîner des échecs d'établissement de la régénération après aménagement forestier

Les variables **dépôt**, **région** et **traitement sylvicole** ont été analysées dans chaque modèle, et ce, pour les trois compositions d'origines ciblées. Un premier modèle a été réalisé avec les pessières avant coupe. Un deuxième modèle a été construit avec les peuplements mixtes avant coupe. Finalement, un troisième modèle a été réalisé avec les sapinières avant coupe. Pour chaque modèle, trois graphiques sont présentés afin de montrer l'incidence et l'effectif de chaque variable.

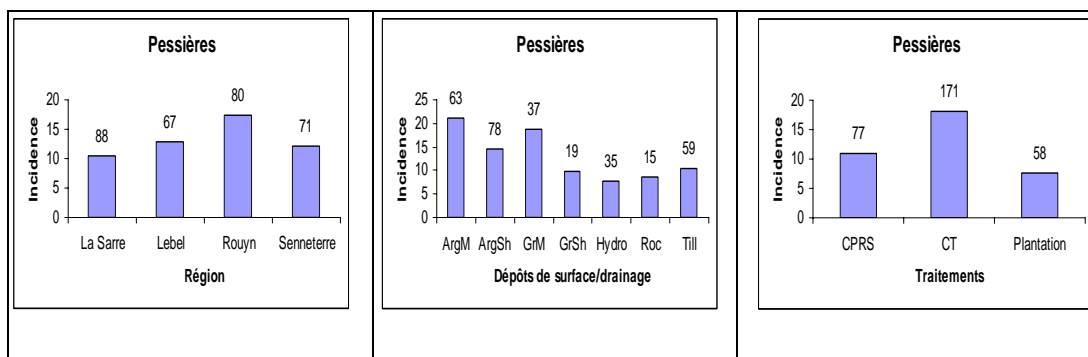
Dans tous les modèles, l'échelle représente l'incidence (le pourcentage de placettes en régénération montrant une conversion) et la valeur indiquée sur chaque bande des histogrammes représente l'effectif des placettes échantillonnées.

Les analyses statistiques générales démontrent que les sapinières sont les plus susceptibles à l'échec d'établissement de la régénération (FNC) avec une incidence de 29 %, suivent ensuite les peuplements composés d'essences mixtes (27 %). Finalement, les pessières démontrent la plus faible susceptibilité avec une incidence de 13 %.

#### 4.5.1 Susceptibilité des pessières à l'échec d'établissement

La région de Rouyn est la plus susceptible aux échecs d'établissement après coupe pour les pessières (17,43 %) (figure 9). Les pessières sur dépôts argileux mésiques (21,07 %), ainsi que sur les dépôts grossiers mésiques (18,88 %) semblent les plus sensibles à un retour après coupe en strates feuillues non commerciales. Les méthodes de récolte influencent aussi la strate de retour après coupe des pessières. Ainsi les coupes totales (CT) seraient responsables de 18,04 % des échecs d'établissement comparativement à 11 % pour les CPRS.

La distribution des  $\text{Chi}^2$  indique que le traitement sylvicole est le facteur ayant le plus de poids dans la susceptibilité des pessières à l'échec d'établissement de la régénération.



Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	28,85	<0,0001
Traitements	2	7,88	0,0194
Dépôts	6	5,70	0,4572
Régions	3	4,83	0,1850
Traitements*régions*dépôts	36	49,09	0,0717
Traitements*dépôts	10	13,15	0,2152
Dépôts*régions	14	13,58	0,4812
Traitements*régions	2	4,54	0,1031
Résidus	0	-	-

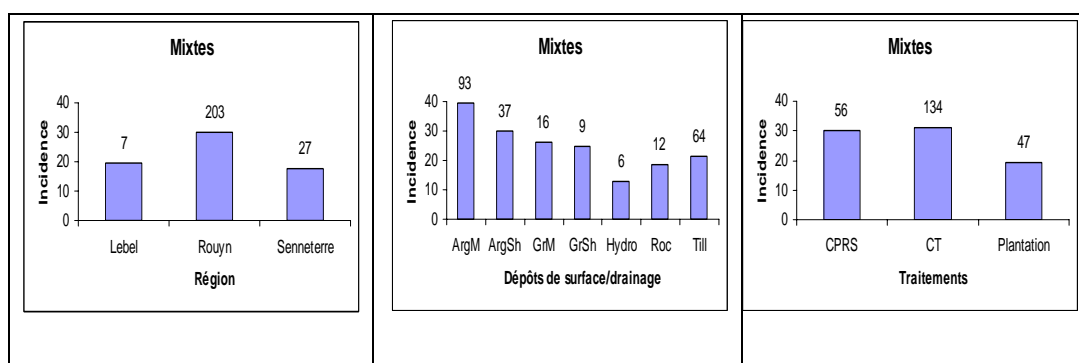
**Figure 9** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des pessières à l'échec d'établissement de la régénération après récolte forestière.

#### 4.5.2 Susceptibilité des peuplements mixtes à l'échec d'établissement

Les peuplements mixtes de la région de Rouyn semblent plus sensibles à un retour après coupe en strates feuillues non commerciales (FNC) avec une incidence de 30,21 % (figure 10), suivis de ceux de la région de Lebel avec un taux de 19,44 %. Les couplets dépôt/drainage les plus propices à un retour en FNC après coupe sont les argiles (ArgM 39,74 % et ArgSh 29,84 %), suivies des dépôts grossiers (GrM 26,23 % et GrSh 25 %). Comme pour les pessières, les peuplements mixtes récoltés par coupes totales démontrent un fort taux de régénération après coupe en strate feuillue non commerciale (31,16 %).

Le facteur qui est associé à l'échec d'établissement des peuplements mixtes après coupe est le type d'aménagement forestier effectué, suivi du type de dépôt sur lequel reposent les peuplements et finalement, la région où se situe le peuplement semble le facteur le moins influent (figure 10).

L'interaction entre les dépôts et la région est significative, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que l'on retrouve dans la région de Rouyn une grande proportion des dépôts les plus sensibles à un retour en FNC : les argiles et les dépôts grossiers.

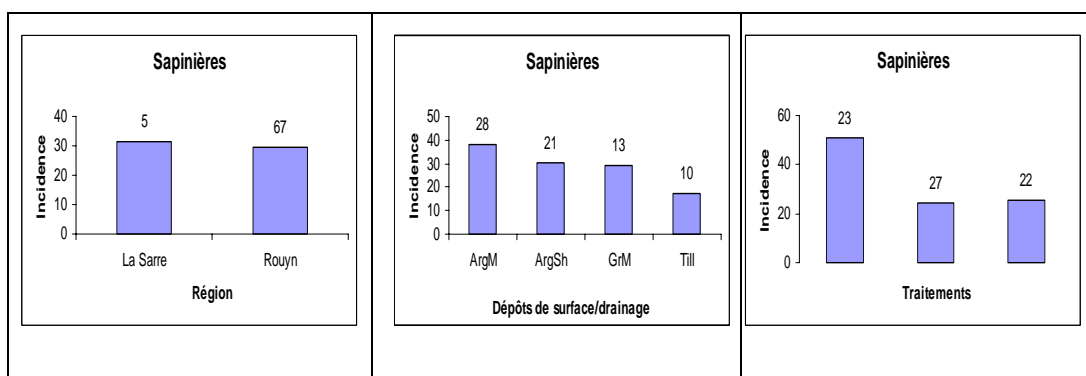


Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	1,88	0,1703
Traitements	2	21,08	<0,0001
Dépôts	6	19,22	0,0038
Régions	2	12,09	0,0024
Dépôts*régions	10	24,18	0,0071
Résidus	23	14,39	0,9152

**Figure 10** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des peuplements mixtes à l'échec d'établissement de la régénération après récolte forestière.

#### 4.5.3 Susceptibilité des sapinières à l'échec d'établissement

Les sapinières sont pour la plupart localisées dans la région de Rouyn mais l'incidence la plus élevée est dans la région de La Sarre (31,25 %). Cependant, l'effectif de la région de La Sarre est constitué de seulement cinq sapinières, alors que celui de la région de Rouyn qui est constitué de 67 sapinières démontre une incidence de 29,39 % (figure 11). Les sapinières montrent une forte susceptibilité à l'échec d'établissement sur les dépôts d'argile mésique (38,36 %), sur les dépôts d'argile sub-hydrique (30,43 %) ainsi que sur les dépôts grossiers mésiques (28,89 %). Les dépôts grossiers sub-hydriques, les rocs et les sols hydromorphes qui comportaient moins de cinq effectifs ont été éliminés de l'analyse, car leur effectif était trop faible pour les soumettre à l'analyse statistique. Contrairement aux autres types de peuplements, l'échec de l'établissement de la régénération des sapinières semble sensible aux CPRS (51,11 %) comparativement à un taux de conversion par les coupes totales (CT) de 24,11 %.



Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	23,60	<0,0001
Traitements	2	12,10	0,0024
*Dépôts	2	3,31	0,1908
Résidus	4	3,49	0,4794

\*Les dépôts ont été regroupés pour l'analyse, voir tableau 12

**Figure 11** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des sapinières à l'échec d'établissement de la régénération après récolte forestière.

Afin d'améliorer certains modèles, les dépôts ont été regroupés selon leur incidence telle que calculé par l'analyse (estimate). Cette valeur tient compte de l'effectif relatif de la variable en fonction des autres variables dans le modèle. Les regroupements des dépôts sont présentés dans le tableau 12.

**Tableau 12** Regroupement des dépôts du modèle déterminant la susceptibilité des sapinières à l'échec d'établissement de la régénération après coupe.

Regroupement	Dépôts	Estimer
Groupe 1	ArgM	0,2482
Groupe 1	ArgSh	0,2230
Groupe 2	GrM	0,1769
Groupe 3	Till	-0,6481

Les dépôts présentés au tableau 12 ont été regroupés par leur incidence « estimate » qui a été déterminée par le maximum likelihood de l'analyse. Ainsi, les dépôts d'argile mésique (ArgM) et d'argiles sub-hydrique (ArgSh) ont été regroupés ensemble (groupe 1) car leur « estimate » était semblable.

Le modèle statistique présenté à la figure 11, n'est pas significatif, ce qui peut être associé au faible effectif des sapinières qui, pour la plupart, sont concentrées dans la région de Rouyn. Le facteur le plus influent dans le modèle est le traitement sylvicole.

#### 4.6 Analyse des facteurs favorisant l'enfeuillage après opération sylvicole

Le deuxième modèle décrit l'enfeuillage après aménagement forestier. Pour ce faire, nous avons analysé les transitions problématiques qui dirigent des peuplements avec de bons potentiels résineux avant aménagement vers des peuplements qui se trouvent dominés après coupe par le peuplier et/ou par le bouleau blanc.

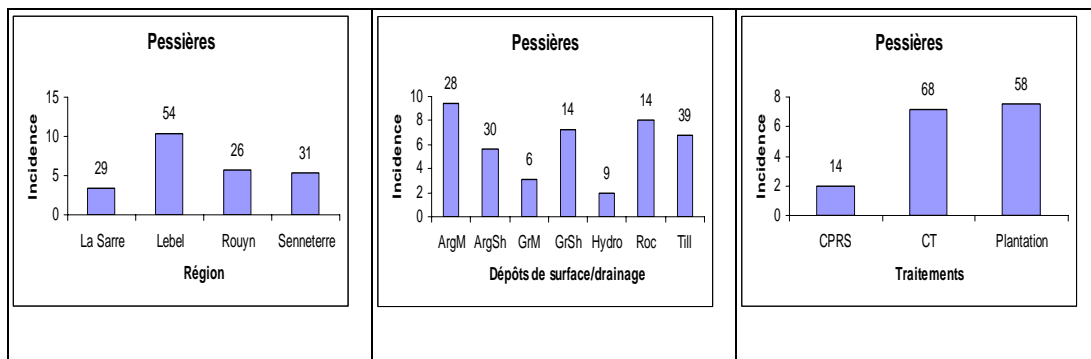
L'incidence de l'enfeuillage est plus élevée dans les peuplements mixtes (13,8 %), suivis des sapinières avec un taux d'enfeuillage après coupe de 8,1 %. Finalement, les

peuplements les moins susceptibles à l'enfeuillement sont les pessières avec une incidence de 5,8 %.

#### 4.6.1 Susceptibilité des pessières à l'enfeuillement

On observe à la figure 12 que la région de Lebel montre une forte sensibilité à l'enfeuillement de ses pessières après aménagement (10,31 %). Les dépôts de surface les plus sensibles à l'enfeuillement sont l'argile mésique (9,36 %), le roc (8 %) et les dépôts grossiers sub-hydriques (7,29 %). Les plantations dans les pessières semblent avoir le même effet que les coupes totales avec des incidences respectives de 7,53 et 7,17 %.

La distribution des  $\text{Chi}^2$  de la figure 12 indique que la variable **dépôt de surface/drainage** semble être le facteur le plus influent sur l'enfeuillement des pessières, suivi de la région et des traitements sylvicoles. Ainsi, la région et le traitement sylvicole semblent être déterminant dans la réponse à l'enfeuillement.

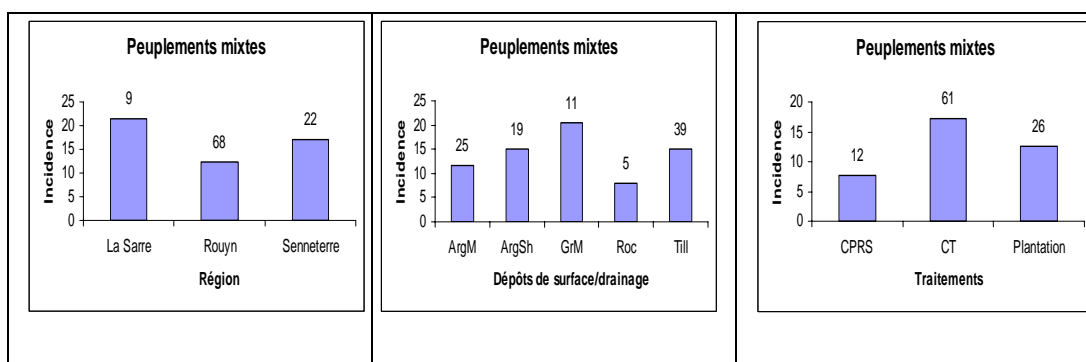


Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	463,43	<0,0001
Traitements	2	6,36	0,0417
Dépôts	6	24,77	0,0004
Régions	3	10,11	0,0176
Traitements*régions	6	20,13	0,0026
Résidus	56	37,50	0,9729

**Figure 12** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des pessières à l'enfeuillement après aménagement forestier.

#### 4.6.2 Susceptibilité des peuplements mixtes à l'enfeuillement

Le modèle effectué avec les peuplements mixtes indique que la région de La Sarre, avec seulement neuf placettes ayant subi de l'enfeuillement sur 42, semble la plus sensible à l'enfeuillement après coupe (21,43 %). Par contre, la région de Rouyn comporte 68 cas d'enfeuillement sur un effectif de 547 ce qui occasionne une incidence de 12,43 %. Les dépôts grossiers mésiques (20,37 %) semblent les plus susceptibles à l'enfeuillement, suivi des tills (15,06 %) et de l'argile sub-hydrique (14,96 %). L'analyse des types de coupe nous démontre qu'un plus fort pourcentage de sites résultant d'une coupe totale s'enfeuillent (figure 13).



Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	57,84	<0,0001
Traitements	2	9,40	0,0091
Régions	1	5,87	0,0154
Résidus	2	3,59	0,1658

**Figure 13** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des peuplements mixtes à l'enfeuillement après aménagement forestier.

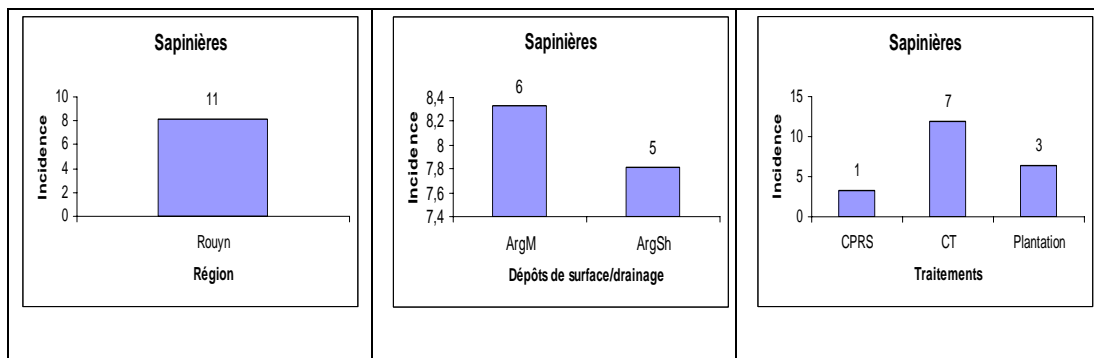
N'étant pas significatifs, les dépôts/drainage, ont été écartés de l'analyse afin d'avoir un meilleur modèle. Ainsi, le traitement sylvicole semble être le facteur le plus influent sur l'enfeuillement après coupe.



#### 4.6.3 Susceptibilité des sapinières à l'enfeuillement

Les modalités présentant des effectifs trop faibles (<5) ont été écartées du modèle statistique de l'enfeuillement des sapinières. Ainsi, seulement les sapinières de la région de Rouyn ont été analysées (figure 14). Les différents types de dépôts ont aussi été réduits pour ne conserver que les argiles qui montrent des incidences de 8,33 % pour l'argile mésique et de 7,81 % pour l'argile sub-hydrique. Ici aussi, la coupe totale semble prédisposer les sapinières à l'enfeuillement (11,86 %) comparativement à 3,3 % pour les CPRS.

Le modèle statistique de la susceptibilité des sapinières à l'enfeuillement n'est pas significatif, ce qui est sûrement lié au petit nombre de sapinières échantillonnées. Le traitement sylvicole semble tout de même le facteur le plus influent sur le modèle.



Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	49,01	0,0001
Traitements	2	1,05	0,5907
Dépôts	1	0,02	0,8887
Résidus	2	1,28	0,5264

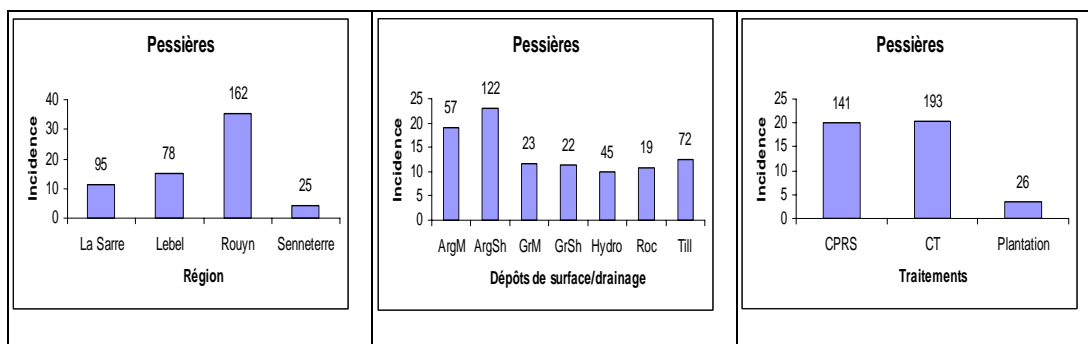
**Figure 14** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des sapinières à l'enfeuillement après aménagement forestier.

#### **4.7 Analyse des facteurs favorisant l'ensapinage après opération sylvicole**

Cette dernière analyse n'a été effectuée que pour les pessières car en peuplement mixte, le sapin est déjà établi. Les pessières montrent un taux d'ensapinage de 14,9 %.

Les facteurs favorisant l'ensapinage résument bien les conditions favorables à l'installation du sapin. Ainsi, la région de Rouyn (figure 15) qui correspond à la région où l'on retrouve la plus grande proportion de sapinières montre la plus forte incidence à l'ensapinage avec 35,29 %. De plus, les dépôts les plus sensibles à cet ensapinage sont les dépôts d'argile sub-hydrique avec un taux d'ensapinage de 23,02 % suivis des dépôts d'argiles mésiques (19,06 %) et des tills (12,61 %). Finalement, peu importe que l'on récolte les pessières par coupe totale ou par coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), le risque que le sapin s'établisse reste approximativement le même. En effet, 141 pessières sur 700 récoltées par CPRS ont montré une régénération dominée par le sapin (20,14 %), alors que 193 pessières récoltées par coupes totales sur un total de 948 montrent une incidence de 20,36 % de retour en sapin après coupe.

Suite à une analyse préalable, les traitements sylvicoles ont été écartés car ils n'étaient pas significatifs. Ainsi la région semble avoir une plus forte influence que les dépôts de surface sur l'ensapinage.



Source	DI	Chi <sup>2</sup>	Prob>Chi <sup>2</sup>
Intercepte	1	295,53	<0,0001
Dépôts	6	25,92	0,0002
Régions	3	110,37	<0,0001
Résidus	16	18,47	0,2969

**Figure 15** Représentation graphique de l'incidence des variables du modèle décrivant la susceptibilité des pessières à l'ensapinage après aménagement forestier.

## 5 DISCUSSION

Afin d'atteindre un rendement soutenu et assurer un volume d'approvisionnement spécifique aux industries, qui sont dépendantes d'un territoire, il est important de s'assurer que l'abondance et la composition des strates de régénération soient semblables à celles des peuplements récoltés (Pothier, 1996). Toutefois, certaines études font état d'une mauvaise distribution de la régénération et d'une augmentation substantielle de la proportion des espèces feuillues dans la strate de retour des peuplements résineux (Frisque *et al.*, 1978 ; Ruel, 1992b ; Pominville, 1993 ; Ruel et Huot, 1993). Ainsi, pour certains types de peuplements, la similitude des strates récoltées et régénérées, en termes de production et de composition, semble constituer un objectif d'aménagement parfois difficile à atteindre (Pothier, 1996).

Un récent rapport sur l'état des forêts québécoises 1995-1999 (MRNFP, 2002) indique que l'importance relative de la superficie des feuillus est passée de 14 à 17 % au cours des dernières décennies (1970-1990) alors que, durant cette même période, celle des peuplements mélangés s'est accrue de 26 à 31%.

Il semble que l'aménagement forestier (i.e., les coupes, les feux accidentels reliés aux opérations sylvicoles) favoriserait une augmentation de la proportion de feuillus intolérants dans certaines situations, ce qui provoque de l'enfeuilletement. Ce changement du type de couvert forestier serait plus important que les proportions qui sont observées dans les mosaïques naturelles. Ainsi, selon Fortin et Gagnon (2000), bon nombre de peuplements feuillus ou mélangés à feuillus intolérants ne constituent pas des peuplements de transition vers des peuplements résineux mais ils définissent plutôt un phénomène d'expansion des peuplements feuillus ou mélangés qui profitent largement des conditions qu'engendre l'aménagement forestier.

Les variables les plus importantes expliquant les changements dans la végétation seraient, selon Carleton et MacLellan (1994) : le mode d'exploitation (chevaux versus coupes mécanisées), l'âge des peuplements et les caractéristiques du milieu physique.

### 5.1 Influence des types de site dans les conversions après aménagement forestier

Le type de sites sur lesquels les coupes ou autres travaux sylvicoles ont cours est un facteur très important associé à la susceptibilité des forêts.

Comme le montrent nos résultats, les dépôts d'argile mésique et les dépôts grossiers mésiques sont les plus propices à l'enfeuillement. Des résultats similaires ont été obtenus par Harvey et Bergeron (1989). En effet, leur étude démontre que les argiles mésiques et subhydriques constituent les dépôts qui montrent les problèmes d'enfeuillement les plus sérieux. Grondin *et al.* (2003a) soutiennent que les sites possédant un régime nutritif de meilleure qualité sont propices à l'enfeuillement, surtout lorsque le peuplier faux-tremble est présent avant coupe. En effet, le peuplier faux-tremble montre une agressivité particulière à se propager sur les sols de texture fine (Brumelis et Carleton, 1988; Carleton et MacLellan, 1994). Ainsi, le retour à la forêt d'origine semble compromis lors de récoltes pratiquées dans les pessières noires ponctuées de peupliers faux-trembles sur des sols à texture fine (Harvey et Bergeron, 1989 ; Carleton et MacMellan, 1994 ; Grondin *et al.*, 2003b ; Fortin et Gagnon 2001).

En plus d'être susceptibles à l'enfeuillement, les sites sur argile mésique que nous avons étudiés sont les plus propices aux échecs d'établissement. Selon Harvey et Bergeron (1989), les argiles lacustres sont les sites les plus problématiques. En effet, l'étude de ces deux chercheurs démontre que ces types de dépôts sont les plus susceptibles à la compaction et aux autres impacts des coupes forestières. De plus, la régénération préétablie sur ces sites montre de très haut taux de mortalité et la compétition après coupe par les graminées, les cypéracées, les plantes herbacées et les framboisiers est plus intense sur ces sites (Harvey et Bergeron, 1987).

Selon nos résultats, les dépôts d'argiles sont les plus sensibles à l'ensapinage. L'envahissement des parterres de coupe par le sapin pourrait s'expliquer par le fait que les

dépôts d'origine glacio-lacustre offrent les conditions optimales à la croissance du sapin (Frank et Bjorkbom, 1973).

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. Ainsi, avec moins de régénération préétablie, la probabilité d'un changement de composition est plus élevée sur les dépôts fins (Harvey et Bergeron, 1989).

## **5.2 Influence des types de traitements sylvicoles sur les conversions**

Brumelis et Carleton (1988) sont d'avis que la mécanisation de la récolte forestière a pour effet d'augmenter les composantes feuillues des peuplements. Ainsi, le passage de la machinerie modifierait suffisamment les propriétés du sol pour en diminuer le rapport C/N, ce qui favoriserait la croissance des espèces pionnières.

Considérant qu'un parterre de CPRS ne comporte jamais plus de 30 % de sa superficie en sentiers de débardage, cette pratique favorise le maintien de la composition du sous-bois original qui ainsi, contribue à la régénération du peuplement futur. Alors que les coupes totales, qui entraînent une plus grande destruction de la régénération préétablie, laissent un milieu propice à la colonisation par les espèces pionnières. Comme le mentionne Ahlgren (1960), les coupes mécanisées favoriseraient les espèces possédant un mode de reproduction végétatif, comme le peuplier faux-tremble, le peuplier baumier et le bouleau blanc, qui sont déjà présentes sur le site avant la perturbation. Ce qui explique le taux élevé d'enfeuilletement engendré par les coupes totales dans notre base de données.

Nos résultats suggèrent que les coupes totales engendrent un taux élevé d'échecs d'établissement après coupe comparativement à ce qui est observé suite à la récolte par CPRS. Ces échecs d'établissement pourraient être attribuables à l'impact des coupes à blanc qui ont été exécutées sur de grandes superficies avant l'arrivée de la CPRS. Selon Pothier (1996), il est possible d'observer des difficultés dans le recrutement des semis après coupe

totale. Des études ont révélé que les coupes mécanisées conventionnelles pouvaient réduire le coefficient de distribution de la régénération préétablie dans une proportion variant de 10 à 60 % en fonction, notamment, du type de peuplement et de la station, de la densité de la régénération préétablie, du type de machinerie utilisée, des habitudes de travail des opérateurs de machinerie et de la saison de récolte (Arnott, 1968 ; Webber *et al.*, 1969 ; Frisque *et al.*, 1978 ; Froning, 1980 ; Gingras, 1990 ; Gingras *et al.*, 1991 ; Ruel, 1992b ; Pominville, 1993 ; Groot, 1995 ; McInnis et Roberts, 1994). La destruction de la régénération préétablie ne semble pas être compensée par la formation de lits de germination propices à l'établissement de nouveaux semis puisque les superficies ainsi perturbées ne représentent qu'un très faible pourcentage des aires de coupes (Arnott, 1968 ; Webber *et al.*, 1969 ; Frisque *et al.*, 1978 ; Martin, 1988).

L'échec d'établissement peut également être attribué au fait que les sites sont envahis après coupe par des espèces compétitrices qui sont plus aptes à tolérer le stress et qui s'approprient les ressources lumineuses et les éléments nutritifs (Chapin, 1980). Il est alors difficile pour une espèce arborescente exigeante de s'installer sur un de ces sites. Selon Harvey et Bergeron (1989), l'intensité de la compétition après coupe par les arbustes et les plantes herbacées semble augmenter avec la sévérité des perturbations.

Nos résultats suggèrent qu'il y a un taux d'échec d'établissement élevé dans les sapinières lors d'une récolte par CPRS comparativement aux résultats obtenus dans les coupes totales. Ces résultats semblent aller à contresens des autres études. Ils sont probablement liés au faible effectif de sapinières récoltées par CPRS en Abitibi et répertoriées dans notre base de données, ainsi qu'au fait que les premières CPRS réalisées vers la fin des années 1980 et le début des années 1990 étaient plus ou moins au point. À cette époque, plusieurs erreurs ont été commises et de ce fait, les premières CPRS pourraient ne pas être comparables à celles qui sont actuellement réalisées.

Les échecs d'établissement peuvent aussi être attribués à de trop fortes perturbations du site, car la régénération de sapins serait favorisée par de légères perturbations (Harvey et Bergeron, 1989).

### **5.3 Effet de la composition des peuplements avant coupe sur les changements de compositions après coupe.**

Plusieurs études s'entendent sur le fait que le peuplement d'origine a une importance primordiale sur la composition forestière après coupe (Brisson *et al.*, 1988 ; Bergeron *et al.*, 1998 ; Ahlgren, 1960). En plus de la composition des espèces du peuplement avant coupe, Wang et Nyland (1993) précisent que la composition de la forêt entourant le site influence également l'importance relative de chaque espèce.

Selon Pothier (1996), la composante feuillue a tendance à augmenter après coupe par rapport au peuplement original, de sorte que certains peuplements résineux évolueraient vers des peuplements mélangés, du moins si on se fie à la composition des peuplements dix ans après coupe. Cette même étude démontre la rapide progression du coefficient de distribution de la régénération des espèces feuillues commerciales et de leur position de dominance dans les placettes de régénération au cours des cinq premières années suivant la récolte. Cette régénération en espèces feuillues provient de tiges laissées sur pied lors de la récolte des peuplements. La plus haute taille de la régénération résineuse préétablie, semble donc constituer un avantage partiellement atténué par la croissance rapide du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble qui sont les espèces feuillues généralement présentes dans le groupement d'espèces à épinettes noires. Mais selon Pothier (1996), la progression de la composante feuillue semble s'arrêter à partir de la cinquième année après la coupe et la proportion de tiges résineuses dominantes tend même à s'accroître légèrement au détriment des feuillus dix ans après la coupe. Cette proportion de résineux dominants après coupe pourrait être augmentée en appliquant des mesures visant à protéger la régénération préétablie de haute taille (Pothier, 1996), comme la coupe avec protection de la haute régénération et des sols (CPHRS).

La grande susceptibilité des peuplements mixtes à l'enfeuillage après coupe dans notre étude pourrait s'expliquer par le fait que des espèces feuillues seraient déjà en place pour



recoloniser le site après la perturbation. En effet, suite à une coupe, l'occupation du territoire est souvent assurée par les espèces capables d'une importante régénération végétative, telles que le bouleau blanc, le peuplier faux-tremble et le peuplier baumier (Ahlgren, 1960). Celles-ci sont avantagées par un système racinaire déjà développé et laissé intact lors des opérations forestières. Ces espèces, qui ont de surcroît une croissance rapide, peuvent dominer et même supprimer les espèces se propageant surtout par graines. Les études de Doucet (1979) indiquent qu'une régénération en peuplier faux-tremble sera obtenue si le peuplement renferme au moins 5 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière en peuplier avant la coupe et que l'espacement entre les tiges ne dépasse pas 8 à 10 m. Ainsi, la coupe de peuplements renfermant du peuplier est fortement susceptible de conduire à la venue de drageons et ainsi augmenter son abondance relative (Maini et Horton, 1966 ; Perela, 1984). Ces résultats abondent dans le même sens que ceux de Fortin et Gagnon (2001), qui affirment que les peuplements résineux dans lesquels le volume du peuplier faux-tremble est supérieur à 5 % du volume total avant coupe font partie de la catégorie des peuplements à risque d'enfeuillement.

Le peuplier faux-tremble est un compétiteur important pour les conifères en régénération. En effet, après une coupe le peuplier envahit très rapidement le milieu (White, 1991) et la densité maximale de drageons est atteinte après deux ans (Ek et Brodie, 1975). Le peuplier profite du mélange des couches organiques et minérales occasionné par la coupe (Perala, 1972). De plus, l'augmentation de la lumière et de la chaleur occasionnée par la coupe stimule l'émergence et la croissance des drageons (Haeussler et Coates, 1986). Ces drageons demeurent dépendants du système racinaire de l'arbre mère. Ils apparaissent au cours des deux années suivant la coupe et peuvent atteindre un mètre de hauteur la seconde année (Schier et Cambell, 1978). Des études de Lees (1966) indiquent que dans une plantation âgée de moins de dix ans, le peuplier faux-tremble cause une forte compétition aux semis, principalement par l'interception de la lumière; les drageons ont également l'avantage de posséder un système racinaire établi et développé. En plus de contribuer à diminuer l'établissement des résineux intolérants à l'ombre de part sa forte densité et sa croissance rapide, la litière du peuplier faux-tremble exerce une activité allélopathique inhibitrice à l'endroit de la germination de plusieurs espèces y compris des conifères (Ahlgren et Ahlgren, 1981).

Les sapinières de notre zone d'étude présentent un taux relativement élevé d'enfeuillage après coupe, ce qui confirme les résultats de Grondin *et al.* (2003a) qui soutiennent que les peuplements les plus propices à l'enfeuillage sont : 1) Les sapinières (à bouleau blanc et à bouleau jaune) et les bétulaies jaunes résineuses; 2) Les pessières noires à sapin sur till de texture moyenne; 3) Les pessières noires sur dépôts de texture fine avec peuplier faux-tremble; 4) Les pessières noires à aulnes.

L'enfeuillage semble essentiellement lié à la récolte de peuplements mûrs d'un point de vue économique, mais relativement jeunes sur la base de la dynamique forestière. La récolte de peuplements, dans lesquels les feuillus intolérants sont encore en pleine croissance ou au tout début de leur sénescence, fait en sorte que ces derniers se régénèrent en abondance. La même situation se produit dans les sapinières de seconde venue, récoltées avant que la régénération ne soit bien établie. L'espace disponible pour la régénération feuillue est alors important. Ainsi, en encourageant les révolutions courtes, on favorise l'enfeuillage. La récolte en début de succession forestière avait pour avantage de prévenir certains problèmes, comme les dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, par contre, en récoltant à ce stade, on provoque de l'enfeuillage.

La présente étude n'a pas suivi les transitions sur une période de temps déterminé. L'inventaire a plutôt été effectué à un moment précis après coupe. Cependant, certains auteurs prétendent que l'augmentation des feuillus après coupe décline après quelques années ce qui n'implique pas nécessairement que le peuplement mature sera mixte (Pothier, 1996 ; Sarrazin, 1991 ; Ruel *et al.*, 1998). Les feuillus peuvent tout de même ralentir la croissance des résineux de façon substantielle. Pour conserver un rendement intéressant, il serait important de laisser une régénération résineuse de plus grande taille en place afin de contrer le ralentissement de croissance occasionné par les feuillus (Ruel *et al.*, 1998).

Plusieurs facteurs peuvent compromettre l'établissement de la régénération forestière. Les taux élevés d'échec d'établissement retrouvés dans les sapinières et les peuplements mixtes à l'étude pourraient être attribuables à la diminution de la densité des essences arborescentes

et/ou aux modifications apportées aux lits de germination après la coupe, ainsi qu'à l'absence de sources semencières à proximité des aires de coupes et/ou à la faible mobilité des semences (Westman, 1978). L'établissement des plantules peut également se trouver affecté par l'envahissement du site par des espèces compétitrices qui sont plus aptes à tolérer le stress et qui s'approprient les ressources lumineuses et les éléments nutritifs (Chapin, 1980).

Parmi les espèces compétitrices en forêt boréale, on retrouve, entre autres, l'érable à épis qui est adapté à vivre sous couvert (Leak, 1974 ; Sutton, 1993) et qui peut devenir dominant à la suite de la coupe et même supprimer les épinettes et le sapin (Vincent, 1965) car son feuillage étalé intercepte une grande partie du rayonnement utile à la photosynthèse (Messier et Bellefleur, 1988). Ainsi, suite à la coupe, l'érable à épis peut envahir les stations pour une période de 30 à 60 ans. Cette compétition exercée par le couvert arbustif dense ralentit la croissance des résineux (Baskerville, 1961 ; MacLean et Morgan, 1983 ; Ruel, 1992a). Le retour au peuplement d'origine est alors compromis (Archambault *et al.*, 1998). Il est aussi fréquent en Abitibi de retrouver de l'enfeuillement par l'aulne rugueux qui profite des sites hydriques riches (Grondin *et al.*, 2003 a).

L'échec d'établissement de la régénération de sapin après coupe observé dans notre étude, peut être attribuable à une trop grande perturbation des sites et à une régénération préétablie insuffisante pour assurer la relève du sapin, car comme le décrivent Prévost et Pothier (2003), le sapin baumier est réputé pour être une espèce tolérante à l'ombre et qu'une faible augmentation de l'intensité lumineuse combinée à une augmentation de la température du sol et des perturbations limitées des lits de germination sont bénéfiques pour l'établissement du sapin après coupe.

Certains auteurs attribuent la faible régénération du sapin à la présence d'une abondante compétition herbacée et arbustive. Ce phénomène serait amplifié par la présence d'une litière feuillue (feuilles de bouleau ou de peuplier), considérée comme un lit de germination trop sec pour le sapin (Morin *et al.*, 1993 ; Bergeron *et al.*, 1995).

Il est également possible d'attribuer les échecs d'établissement dans les sapinières et les peuplements mixtes à l'interaction entre plusieurs facteurs. En effet, les échecs d'établissement ne sont pas seulement attribuables aux types de peuplements mais aussi aux types de sites sur lesquels reposent ces peuplements. On peut effectivement observer dans notre étude que les sapinières et les peuplements mixtes sont situés majoritairement sur des dépôts argileux ainsi que sur des tills. Ces types de dépôts sont considérés comme étant propices aux conversions.

Nos résultats ne démontrent pas de changements de composition importants à la suite de la récolte des pessières. Ces résultats correspondent à ceux de Pothier (1996) et Frisque et Vézina (1977). En effet, la remise en production des peuplements d'épinettes noires ne pose généralement pas de problème, ces peuplements démontrant un recrutement de semis au cours des dix premières années suivant la coupe.

Pothier (1996) affirme avec son étude réalisée dans la région de Bellechasse au Québec que par rapport à la composition du peuplement original, le sapin a tendance à augmenter sa proportion dans la strate de régénération parce qu'il s'établit facilement sous le couvert du peuplement mûr. Nos analyses démontrent également qu'une proportion des pessières ont tendance à s'ensapiner.

D'autres auteurs ont observé que la proportion de sapin baumier avait tendance à augmenter au détriment des épinettes lorsque l'on comparait la composition du peuplement récolté à celle de la strate en régénération (Hatcher, 1960 ; Fye et Thomas, 1963 ; Vézina et Falardeau, 1988). Cette réserve de semis de sapins sous le couvert dominant est d'ailleurs une caractéristique importante de la stratégie de régénération de cette espèce (Hatcher, 1960; Morin, 1994) qui ne semble pas pouvoir constituer de réserve de graines au sol à cause de leur courte période de viabilité (Houle et Payette, 1991).

La pessière noire devrait normalement se renouveler sous une dynamique d'aménagement. Grondin et *al.* (2003 b) note cependant, une augmentation du sapin et du bouleau blanc. Ce phénomène semble par contre plus évident dans les paysages bien pourvus de sapin. Les

analyses statistiques de la présente étude démontrent que la variable région semble la plus influente des conditions d'ensapinage. En effet, les principaux territoires propices à l'ensapinage semblent ceux dans lesquels les strates pessières à sapins (ES) et sapinières à épinettes (SE) sont bien représentées. Le phénomène d'ensapinage dans ces strates pourrait provoquer une extension du domaine de la sapinière au détriment de celui de la pessière (Grondin *et al.*, 2003b).

Les travaux de Doucet (2000) et de Doucet *et al.* (1995) ont montré que dans les peuplements d'épinette noire, la croissance du sapin était plus rapide immédiatement après coupe. Cependant, malgré une reprise de croissance initiale plus lente, la croissance de l'épinette noire finissait par dépasser la croissance du sapin.

Finalement, Grondin *et al.* (2003b) mentionnent que les pessières à sapin pourraient faire autant l'objet d'un enfeuillage que d'un ensapinage.

#### **5.4 Interrelation entre les facteurs explicatifs (type de site, type de traitement sylvicole, composition des peuplements avant récolte et région).**

Tous les facteurs explicatifs (type de site, type de traitement sylvicole, composition des peuplements avant récolte et région) de la présente étude sont interreliés entre eux. Par exemple, on observe le plus haut taux de retour en FNC dans la région de Rouyn, ce qui s'explique par le fait que les argiles mésiques qui sont les plus susceptibles à l'enfeuillage sont très bien représentées dans cette région. Une majorité des peuplements de cette région ont aussi été récoltés par coupe totale, ce qui prédispose à un retour en FNC et finalement, les peuplements mixtes sont très bien représentés dans la région de Rouyn et ceux-ci sont les peuplements les plus sensibles à un retour en FNC.

Selon plusieurs études (Halpern 1988; Bormann et Linkens 1979; Oswald 1990), la succession forestière est influencée, suite à la perturbation, par plusieurs facteurs dont la nature et l'intensité de la perturbation.

## **5.5 Pistes de solution pour limiter les changements de compositions**

### 5.5.1 Pistes de solution afin de limiter l'ensapinage

On possède peu d'expertise sylvicole afférente au problème de l'ensapinage et d'une certaine raréfaction de l'épinette noire (Grondin *et al.*, 2003b) mais quelques solutions pourraient être envisagées : 1) Les éclaircies précommerciales peuvent être considérées comme un moyen d'avantager l'épinette noire au détriment du sapin. 2) Dans les situations où la quantité d'épinettes est insuffisante, on pourrait envisager un regarni et 3) Des éclaircies commerciales pourraient être planifiées afin de récolter en priorité le sapin, la récolte finale serait alors le moment opportun pour récolter l'épinette noire (Doucet, 2000; Doucet et Blais, 2000).

De plus, selon Vézina et Falardeau (1988), pour contrer l'ensapinage des pessières, le dégagement des jeunes épinettes de la compétition du sapin pourrait être envisageable afin d'enrayer la prépondérance du sapin dans les peuplements de sapin-épinette.

### 5.5.2 Pistes de solution afin de limiter l'enfeuillement

En Abitibi, ainsi qu'à plusieurs autres endroits au Québec, la lutte contre l'enfeuillement s'effectue principalement lors de l'éclaircie précommerciale, alors que la protection de l'épinette noire et du sapin est prioritaire (Grondin *et al.*, 2003a).

Dans les peuplements mixtes, il serait possible d'augmenter la proportion de résineux dominants dans la strate de régénération en appliquant des mesures visant à protéger la régénération préétablie de haute taille (Pothier 1996). Les travaux de Prévost et Pothier (2003), qui portaient sur l'essai de différentes intensités de coupe dans les peuplements

mixtes de peuplier et de résineux, démontrent que les meilleurs résultats pour favoriser les résineux sont les coupes qui prélèvent entre 35 et 50 % de la surface terrière qui ont pour effet de limiter la croissance et la survie des drageons de peuplier. De plus, un léger scarifiage favorisera selon les auteurs la régénération résineuse.

## CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de documenter la régénération arborescente quant à ses changements de distribution et de composition après traitements sylvicoles. À la suite de l'analyse de la base de données constituée des inventaires forestiers des strates de 7 mètres et moins de hauteur pour la région de l'Abitibi, les facteurs susceptibles d'entraîner des changements de composition peuvent être résumés comme suit :

- Les **peuplements mixtes** sont plus sensibles à l'enfeuillement après aménagement forestier, de part le fait que les essences feuillues sont déjà présentes sur le site, ce qui facilite leur retour après coupe;
- Les opérations sylvicoles réalisées sur les **argiles mésiques** sont plus susceptibles de produire des changements de composition. En effet, les sols à textures fines sont plus sensibles aux impacts des aménagements forestiers et on retrouve aussi une forte compétition occasionnée par des espèces comme le framboisier, les graminées, les cypéracées et autres plantes herbacées (Harvey et Bergeron, 1987, 1989);
- Les régions de Rouyn-Noranda et de Lebel-sur-Quévillon sont en général les plus sensibles aux conversions. Ce qui est attribuable aux types de dépôts retrouvés dans ces régions : les argiles et les tills qui sont des dépôts sensibles aux changements de composition;
- Finalement, les peuplements récoltés par **coupes totales** qui laissent le champ libre à la compétition sont plus propices aux conversions.

En résumé, le problème majeur et inquiétant est l'échec d'établissement de la régénération après coupe. Alors que l'enfeuillage n'est problématique que si le stocking de résineux n'est pas présent.

Les implications pour l'aménagement forestier seraient entre autres de : 1) développer des pratiques sylvicoles visant à redonner la vocation d'origine à des peuplements ayant subi une conversion ; 2) réaliser des plantations pour contrer la perte d'aires productives découlant de l'établissement de strates feuillues non commerciales après coupe et 3) adapter les aménagements forestiers selon la sensibilité de la composition du peuplement avant récolte et les conditions de site.



## BIBLIOGRAPHIE

- Ahlgren, C.E. 1960. Some effects of fire on reproduction and growth of vegetation in northeastern Minnesota. *Ecology* **41** (3) : 431-445.
- Ahlgren, C.E. et I.F. Ahlgren. 1981. Some effects of different forest litters on seed germination and growth. *Can. J. For. Res.* **11** : 710-714.
- Allison, P.D. 1999. Logistic regression using SAS® system : Theory and application. Cary, NC : SAS institute Inc. 288 pages.
- Anglestam, P.A. 1996. The ghost of forest past-natural disturbance regimes as a basis for reconstruction of biologically diverse forest in Europe. Pp. 287-337 *Dans* DeGraaf, R.M. and Miller, R.I. (Ed). Conservation of faunal diversity in forested landscapes. Chapman and Hall, New York, USA.
- Archambault, L., J. Morissette et M. Bernier-Cardou. Forest succession over a 20-year period following clearcutting in balsam fir-yellow birch ecosystems of eastern Québec, Canada. *For. Ecol. Manag.* **102** : 61-74.
- Arnott, J.T. 1968. Tree length wheeled-skidder logging and its effects in certain black spruce forest type in Quebec. *Pulp Pap. Mag. Can.* **69** : 103-109.
- Baskerville, G. 1961. Response of young fir and spruce to release from shrub competition. Forest Research Division. Dep. of Forestry, Canada. Tech. Note No. 98 : 5-14.
- Bergeron, J-F., P. Grondin., et J. Blouin. 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousse de l'ouest. Ministère des ressources naturelles du Québec. Direction des inventaires forestiers. 204 pages.
- Bergeron, Y. 2000. Species and stand dynamics in the mixed wood of the Quebec southern boreal forest. *Ecology* **81** : 1500-1516.
- Bergeron, Y., S. Gauthier., V. Kafka., P. Lefort., et D. Lesieur. 2001. Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest : Consequences for sustainable forestry. *Can. J. For. Res.* **31** : 384-391.
- Bergeron, Y., et B.D. Harvey. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics : an approach applied to the southern boreal mixed-wood forest of Québec. *For. Ecol. Manag.* **92** : 235-242.
- Bergeron, Y., A. Leduc, H. Morin et C. Joyal. 1995. Balsam fir mortality following the last spruce budworm outbreak in northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.* **25** : 1375-1384.
- Bergerud, A.T. et R.E. Page. 1987. Displacement and dispersion of parturient caribou at calving as antipredator tactics. *Can. J. Zool.* **65** : 1597-1606.

- Brisson, J., Y. Bergeron et A. Bouchard. 1988. Les successions secondaires sur sites mésiques dans le Haut- Saint- Laurent, Québec, Canada.. *Can. J. Bot.* **66** (6) : 1192-1203.
- Brumelis, G. et T.J. Carleton. 1988. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. I. Trees and tall shrubs. *Can. J. For. Res.* **18** : 1470-1478.
- Camiré, C. 1996. Géologie, dépôt de surface et sols forestier. *Dans* Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec (Ed). Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec. Pp : 133-279.
- Carleton, T.J et P.J. Maycock. 1978. Dynamics of the boreal forest south of James Bay. *Can. J. Bot.* **56** : 1157-1173.
- Carleton, T.J. et P. MacLellan. 1994. Woody vegetation response to fire versus clear-cutting logging : A comparative survey in the central Canadian boreal forest. *Écoscience* **1** (2) : 141-152.
- Chapin, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **11** : 233-260.
- De Bellefeuille, S. 2001. Le caribou forestier et la sylviculture. Revue de littérature et synthèse de la recherche et de l'aménagement en cours au Québec. Ministère des ressources naturelles. Direction de l'environnement forestier. 96 pages.
- Demers, D. 2002. Normes d'inventaire forestier. Placette temporaires pour les strates forestières cartographiques inférieures à 7 m de hauteur. Forêt Québec. Direction des inventaires forestiers. Québec, Ministère des ressources naturelles. 172 pages.
- Doucet, R. 1979. Méthodes de coupe et de préparation du terrain pour favoriser la régénération naturelle de quelques tremblais de l'est du Québec. *For. Chron.* **55** : 133-136.
- Doucet, R. 1986. La régénération naturelle et l'aménagement des peuplements résineux de la forêt boréale. Ministère de l'Énergie et des ressources. Québec. Direction de la recherche et du développement. Rapport interne # 269. 21 pages.
- Doucet, R. 2000. L'envahissement des parterres de coupe par le sapin est-il inévitable? L'Aubelle. Pp : 11-13.
- Doucet, R. et L. Blais. 2000. Comparative growth of balsam fir and black spruce advance regeneration after logging. *Frontiers of forest biology.* Pp : 235-239.
- Doucet, R., J. Boily et J.-C. Ruel. 1995. Caractéristiques de la régénération d'épinettes noires apte à survivre aux opération de récolte. 1-7. Ministère des Ressources naturelles. Note de recherche forestière n° 67.

- Drapeau, P., A. Leduc., J.P. Savard et Y. Bergeron. 2001. Les oiseaux forestiers, des indicateurs des changements des mosaïques forestières boréales. *Le naturaliste Canadien*. **125** : 41-47.
- Drapeau, P., A. Leduc., J.P. Savard., Y. Bergeron et W.L.Vickery. 2000. Landscape-scale disturbances and changes in bird communities of boreal mixed-wood forest. *Ecological Monographs*, **70** (3) : 423-444.
- Edenius, L. et J. Elmberg. 1996. Landscape level effects of modern forestry on bird communities in North Swedish boreal forests. *Landscape Ecology* **11** : 325-338.
- Ek, A.R. et J.D. Brodie. 1975. A preliminary analysis of short-rotation aspen management. *Can. J. For. Res.* **5** : 245-258.
- Enoksson, B., P. Anglestam et K. Larsson. 1995. Deciduous forest and resident birds: the problem of fragmentation within coniferous forest landscape. *Landscape Ecology* **10** : 267-275.
- Environnement Canada. 1993. Normales climatiques au Canada, 1961-1990. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique. Downsview, Ontario.
- Fortin, S. et R. Gagnon. 2000. Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble, en Gaspésie. Rapport de recherche dans le cadre du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, volet 1 (expérimentation). Ministère de Ressources naturelles. 68 pages.
- Fortin, S. et R. Gagnon. 2001. Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble, en Gaspésie : II expansion du tremble après perturbation. Rapport de recherche dans le cadre du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, volet 1 (expérimentation), ministère des Ressources naturelles. 87 pages.
- Frank, R.M. et J.C. Bjorkbom. 1973. A silvicultural guide for spruce-fir in the northeast. USDA Forest Service, General Technical Report NE-6. Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. 29 pages.
- Franklin, J.F., et R.T. Forman. 1987. Creating landscape patterns by forest cutting : ecological consequences and principles. *Landscape Ecology* **1** : 5-18.
- Frisque, G. 1977. Régénération naturelle de l'épinette noire. Thèse de doctorat. Faculté de foresterie et de géomatique. Université Laval. Québec.
- Frisque, G. et Vézina. 1977. Reproduction de l'épinette noire (*Picea mariana*) après coupe à blanc de superficie réduite. *Can. J. for. Res.* **7** : 648-655.

- Frisque, G., G.E. Weetman et E. Clemmer. 1978. Analyse, 10 ans après coupe de bois à pâte, des problèmes de régénération dans l'Est du Canada. Institut canadien de recherche en génie forestier (FERIC). Rapport technique RT-23.
- Froning, K. 1980. Logging hardwoods to reduce damage to white spruce understory. *Envir. Can., Can. For. Serv., North. For. Res. Cent., Inf. Rep. NOR-x-229.*
- Fye, R.E. et J.B. Thomas. 1963. Regeneration of balsam fir and spruce about fifteen years following release by spruce budworm attack. *For. Chron.* **39** : 385-397.
- Gauthier, S., A. Leduc. et Y. Bergeron. 1996. Forest dynamics modeling under natural fire cycles : a tool to define natural mosaic diversity for forest management. *Environmental Monitoring and Assessment* **39** : 417-434.
- Gingras, J.-F. 1990. Les méthodes d'exploitation favorisant la protection de la régénération : l'expérience du Québec. Institut canadien de recherche en génie forestier (FERIC). Fiche technique FT-144.
- Gingras, J.-F., D. Cormier., J.-C. Ruel et D. Pin. 1991. Étude comparative de l'impact de trois modes de débardage sur la régénération préétablie. Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC). Fiche technique FT 163.
- Grondin, P. 1996. Écologie forestière. *Dans* *Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec* (Ed). Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec. Pp.133-279.
- Grondin, P., J. Blouin et P. Racine. 1999 Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest. Ministère des ressources naturelles du Québec, Direction des inventaires forestiers. Forêt Québec. 220 pages.
- Grondin, P., L. Bélanger., V. Roy., J. Noël et D. Hotte. 2003a. Envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière (enfeuilletement). Pp. 131-174. *Dans* Grondin, P. et Cimon, A. (Coordonnateurs). Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière. Ministère de Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Direction de la recherche forestière et direction de l'environnement forestier, Québec.
- Grondin, P., J. Noël et D. Hotte. 2003b. Envahissement des parterres de coupe par le sapin en forêt boréale. Pp. 15-44. *Dans* Grondin. P. et Cimon. A. (Coordonnateurs). Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière. Ministère de Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Direction de la recherche forestière et direction de l'environnement forestier, Québec.
- Groot, A. 1995. Harvesting method affects survival of black spruce advance growth. *North. J. Appl. For.* **12** : 8-11.

- Haeussler, S. et D. Coates. 1986. Autoecological characteristics of selected species that compete with conifers in British Columbia: A literature review. B.C. Min. For., Victoria, B.C., Land Manage. Rep. No.33.180 pages.
- Harvey, B.D. et Y. Bergeron. 1987. Possibilités d'application de la classification écologique pour l'aménagement forestier dans le canton d'Hébécourt, Abitibi. Groupe de recherche en écologie forestière, Université du Québec à Montréal. Rapp. Rech. No. 1.
- Harvey, B.D. et Y. Bergeron. 1989. Site patterns of natural regeneration following clear-cutting in northwestern Quebec. *Can. J. for. Res.* **19** : 1458-1469.
- Hatcher, R.J. 1960. Development of balsam fir following a clearcut in Quebec. Dep. North. Aff. Nat. Res., For. Branch, For. Res. Div., Tech. Note 87.
- Houle, G. et S. Payette. 1991. Seed dynamics of *Abies balsamea* and *Acer saccharum* in a deciduous forest of northeastern North America. *Am. J. Bot.* **78** : 895-905.
- Leak, W.B. 1974. Some effects of forest preservation. USDA For. Serv. Res. Note NE-186.
- Lees, J.C. 1966. Release of white spruce from aspen competition in Alberta's spruce-aspen forest. Can. Dept. For., Publ. N° 1163. 16 pages
- Legendre, L. et P. Legendre. 1984. *Écologie numérique. Tome 1 : Le traitement multiple des données écologiques.* Presse de l'université du Québec, Québec, Canada. Pp. 162-218.
- MacLean, D.A. et M.G. Morgan. 1983. Long-term growth and yield response of young fir to manual and chemical release from shrub competition. *For. Chron.* **59** : 177-183.
- Maini, J.S. et K.W. Horton. 1966. Vegetative propagation of *Populus* spp. I. Influence of temperature on the formation and initial growth of aspen suckers. *Can.J.Bot.* **44** : 1183-1189.
- Martin, C.W. 1988. Soil disturbance by logging in New England. Review and management recommendations. *North. J. Appl. For.* **5** : 30-34.
- Messier, C. et P. Bellefleur. 1988. Light quantity and quality on the forest floor of pioneer and climax stages in a birch-beech-sugar maple stand. *Can. J. For. Res.* **18** : 615-622.
- Morin, H. 1994. Dynamics of balsam fir forests in relation to spruce budworm outbreaks in the Boreal zone of Quebec. *Can. J. For. Res.* **24** : 730-741.
- Morin, H., D. Laprise, et Y. Bergeron. 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region, Quebec. *Can. J. For. Res.* **23** : 1497-1506.

- MRN. 2002. Rapport sur l'état des forêts québécoises 1995-2002. Ministère des Ressources naturelles. Direction de la planification et des communications. 272 pages.
- Perela, D.A. 1972. Regeneration : biotic and silvicultural factors. Pp 67-73. *Dans Aspen Sym, Proc.*, USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., St-Paul, Minn., Gen. Tech. Rep. NC-1.
- Perela, D.A. 1984. How endemic injuries affect early growth of aspen suckers. *Can. J. For. Res.* **14** : 755-762.
- Pominville, P. 1993. Évolution quinquennale de la régénération protégée lors de récoltes par abattage manuel dans les sapinières. *For. Chron.* **69** : 569-578.
- Pothier, D. 1996. Évolution de la régénération après la coupe de peuplements récoltés selon différents procédés d'exploitation. *For. Chron.* **72** (5) : 519-527.
- Prévost, M. et D. Pothier. 2003. Partial cuts in a trembling aspen- conifer stand : effects on microenvironmental conditions and regeneration dynamics. *Can. J. For. Res.* **33** : 1-15.
- Racey G., A. Harris, L. Gerrish, T. Armstrong, J. McNicol et J. BAKER. 1999. Forest management guidelines for the conservation of woodland caribou: a landscape approach, MS draft, Thunder Bay, Ontario ministry of natural resources, Ontario. 69 pages.
- Reiger, H.A. et G.L. Baskerville. 1996. Sustainable redevelopment of regional ecosystems degraded by exploitive development. U-S-Forest-Service-General-Technical-Report-PNW.21-44.
- Ruel, J.-C. 1992a. Impact de la compétition exercée par le framboisier (*Rubus idaeus* L.) et les feuillus de lumière sur la croissance du sapin (*Abies balsamea* [L.] Mill.) en régénération. *Can. J. For. Res.* **22** : 1408-1416.
- Ruel, J.-C. 1992b. Abondance de la régénération 5 ans après la coupe à blanc mécanisée de peuplements d'épinette noire (*Picea mariana*). *Can. J. For. Res.* **22** : 1630-1638.
- Ruel, J.-C, et M. Huot. 1993. Impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette [*Choristoneura fumiferana* (Clem.)] sur la régénération des sapinières après la coupe à blanc. *For. Chron.* **69** : 163-172.
- Ruel, J.-C., F. Ouellet, R. Plusquellec et C.H. Ung. 1998. Évolution de la régénération de peuplements résineux et mélangés au cours des 30 années après coupe à blanc mécanisée. *For. Chron.* **74** (3) : 428-443.

- Samson, C., C. Dussault, R. Courtois et J.-P. Ouellet. 2002. Guide d'aménagement de l'habitat de l'orignal. Société de la faune et des parcs du Québec, Fondation de la faune du Québec et du ministère des Ressources naturelles du Québec, Sainte-Foy. 48p.
- Sarrazin, R. 1991. Dynamique de sapinières et de pessières boréales sur une période de 40 ans après la coupe. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 70 pages.
- Schier, G.A et R.B. Campbell. 1978. Aspen sucker regeneration following burning and clearcutting on two sites in the rocky Mountains. *For. Sci.* **24** : 303-308.
- Spies, T.A, W.J. Ripple et G.A. Bradshaw. 1994. Dynamics and pattern of a managed coniferous forest landscape in Oregon. *Ecological Applications* **4** : 555-568.
- Sutton, R. F. 1993. Species composition in two boreal mixedwood before and 10 years after hexazinone treatment for establishing underplanted *Picea glauca* (Moench) Voss. *For. Ecol. Manage.* **57** : 201-212.
- Vézina, P.-E. et H. Falardeau. 1988. Le développement de peuplements de conifères sur une période de 50 ans après la coupe. *For. Chron.* **64** : 329-333.
- Vincent, A. B. 1965. Growth habits of mountain maple in the Ontario clay belt. *For. Chron.* **41** : 330-344.
- Vincent, J.S et L. Hardy. 1977. L'évolution et l'extinction des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. *Géogr. Phys. Quat.* **31** (3-4) : 357-372.
- Wallin, D.O., F.J. Swanson et B. Marks. 1994. Landscape pattern response to changes in pattern generation rules : land-use legacies in forestry. *Ecological Application* **4** : 569-580.
- Wang, Z. et R.D. Nyland. 1993. Tree species richness increased by clearcutting of northern hardwoods in central New York. *For. Ecol. and Manag.* **57** : 71-84.
- Webber, B., J.T. Arnott, G.F. Weetman et G.C.R. Groom. 1969. Advance growth destruction, slash coverage and ground conditions in logging operation in eastern Canada. *Pulp Pap. Res. Ins. Can., Wood. Pap.* **8**.
- Wein, R.S. et D.A. MacLean. 1983. Fire and succession in the conifer forest of Northern North America. Pp. 374-405 *Dans* : Wein, R.W. et McLean, D.A.(Ed) *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*, Scope 18. John Wiley et sons, Chichester, New York, USA.
- Westman, W.E. 1978. Measuring the inertia and resilience of ecosystems. *Bioscience* **28** : 705-710.

White, A.S. 1991. The importance of different forms of regeneration to secondary succession in a Maine hardwood forest. *Bull. Torrey Bot. Club* **118** : 303-311.



**Annexe 1**

Exemple de données disponibles dans la base de données des inventaires forestiers des strates coupées en régénération d'une hauteur de 7 m et moins pour la région de l'Abitibi.

NoProjet	Viree	Numero de grappe	Régime hydrique	Dépôts	Pente	Peuplement pit	Vocation	Prescription
03_1997_7M	1	1	34GS	B	RBRCS301A3A	SEP		
03_1997_7M	1	2	34GS	B	RBRCS301A3A	SEP		
03_1997_7M	1	3	34GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC?
03_1997_7M	1	4	34GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC
03_1997_7M	1	5	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC
03_1997_7M	1	6	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		
03_1997_7M	2	1	34GS	A	RBRCS301A3A	SEP		
03_1997_7M	2	2	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		
03_1997_7M	2	3	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		
03_1997_7M	3	1	44GS	A	RBRCS301A3A	SEP		
03_1997_7M	3	2	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		
03_1997_7M	3	3	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC
03_1997_7M	3	4	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC
03_1997_7M	3	5	44GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC
03_1997_7M	3	6	34GS	A	RBR6301A3A	SEP		EPC
03_1997_7M	6	1	34GS	A	MCT19776101A	SEP		
03_1997_7M	6	2	34GS	B	MCT19776101A	SEP		
03_1997_7M	6	3	24GS	A	MCT19776101A	SEP		
03_1997_7M	6	4	34GA	A	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	6	5	44GA	A	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	8	1	44GS	A	MCT1975C5101	SEP		
03_1997_7M	8	2	34GA	A	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	8	3	44GA	B	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	8	4	44GA	B	MCT19816104G	SEP		
03_1997_7M	8	5	34GA	A	MCT19816104G	SEP		
03_1997_7M	8	6	44GA	A	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	8	7	54GA	A	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	8	8	54GA	A	MCT19796104G	SEP		
03_1997_7M	9	1	32BE	A	CBT19862BE2B	SEP		EPC
03_1997_7M	9	2	42BE	A	CBT19862BE2B	SEP		EPC
03_1997_7M	9	3	31A	A	MCT1980B5101	SEP		
03_1997_7M	9	4	31A	A	MCT1980B5101	SEP		
03_1997_7M	9	5	31A	B	MCT1980B5101	SEP		

#	Essence	Nombre	Recouvrement	Origine	DHP	Haut	H-5v	Age	Etat	Dégagée	Eclaircie	Extérieur
3	KAA	1	2	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
3	%AR	1	0	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
4	EPN	1	0	0	0	0.7	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
4	EPN	2	0	0	0	0.6	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
4	EPN	1	0	0	2.9	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
4	EPN	1	0	0	0	1.3	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
4	EPN	1	0	0	2.8	3.2	2.35	36.5	0.5	Non	Non	Non
4	EPN	1	0	0	2.8	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
4	EPN	1	0	0	6.3	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
4	LEG	1	1	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
4	KAA	1	10	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
4	VAM	1	1	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
4	%AR	1	0	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	EPN	4	0	0	0	0.8	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
5	EPN	4	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
5	KAA	1	30	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	VAM	1	2	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	CLS	1	45	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	%AR	1	0	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	EPN	1	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
5	KAA	1	15	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	VAM	1	1	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	CLS	1	15	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
5	%AR	1	0	0	0	0	0	0	0	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	0	0.4	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	5	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	0	0.7	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	0	0.2	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	2.6	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	1.3	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	1.4	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	7.4	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non
7	EPN	1	0	0	2.8	0	0	0.5	0.5	Non	Non	Non

Pente	Orniérage	PNuile	PGravier	PCailloux	PPierres	PBlocs	Drainage	DépotCarte	DépotRéel
5.00 A		100						3 4GS	4GS
10.00 A		100						3 4GS	4GS
2.00 A		100						3 4GS	4GS
1.00 A		100						3 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
2.00 A		100						3 4GS	4GS
3.00 L		100						4 4GS	4GS
2.00 L		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
1.00 A		100						4 4GS	4GS
2.00 A		100						3 4GS	4GS
3.00 L		100						3 4GS	4GS
4.00 L		100						2 4GS	4GS
2.00 L		100						3 4GA	4GS
3.00 L		100						4 4GA	4GA
2.00 M		100						4 4GS	4GA
1.00 A		100						4 4GS	4GA
3.00 A		85					15	3 4GA	4GA
8.00 A		100						4 4GA	4GA
7.00 A		100						4 4GA	4GA
1.00 A		100						3 4GA	4GS
2.00 L		100						4 4GA	4GA
1.00 S		100						5 4GA	4GA
1.00 M		100						5 4GA	4GA
3.00 L		100						3 2BE	2BE
3.00 A		100						4 2BE	1A
2.00 A		100						3 1A	1A
3.00 A		100						3 1A	1A
4.00 L		100						3 1A	1A

**Annexe 2**

Liste des abréviations utilisées dans le document

<b>Bop</b>		Bouleau blanc
<b>CPRS</b>		Coupe avec protection de la régénération et des sols
<b>CT</b>		Coupe totale
<b>Dépôts :</b>		
	1 A	Dépôt glaciaire: Till indifférencié (>1 m)
	1 AA	Dépôt glaciaire: Till argileux
	1 AR	Dépôt glaciaire: Till indifférencié mince (25 cm à 1 m)
	1 BF	Dépôt glaciaire: Moraine frontale
	2 A	Dépôt fluvio-glaciaires: Juxta-glaciaire
	2 AE	Dépôt fluvio-glaciaires Esker
	4 GS	Dépôt glacio-lacustre : Faciès d'eau peu profonde
	4 GA	Dépôt glacio-lacustre : Faciès d'eau profonde
	4 GAR	Dépôt glacio-lacustre : Faciès d'eau profonde d'une épaisseur entre 25 cm et 1 m
	7	Dépôt organique
	R	Substratum rocheux
<b>DHP</b>		Diamètre à hauteur de poitrine
<b>Drainages</b>		<b>Régime hydrique :</b>
	2	Sec(xérique-mésique)
	3	Frais (mésique)
	4	Humide (hydrique-mésique)
	5	Très humide (hydrique)
<b>Couplet dépôt/drainage</b>		
	ArgM	Argile mésique
	ArgSh	Argile subhydrique
	GrM	Grossier mésique
	GrSh	Grossier subhydrique
	Hydro	Hydromorphe
<b>DL</b>		Degré de liberté
<b>EE</b>		Pessière
<b>FNC</b>		Feuillus d'essences non commerciales
<b>ML</b>		Maximum likelihood
<b>MF</b>		Mixte feuillus
<b>MR</b>		Mixte résineux
<b>P</b>		Plantation
<b>Pet</b>		Peuplier faux-tremble
<b>Pet Res</b>		Peupliers et résineux
<b>Prob</b>		Probabilité
<b>Sab</b>		Sapin
<b>SS</b>		Sapinière