PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES – VOLET 1

RAPPORT FINAL

Implantation d'un dispositif de comparaison de différents procédés de régénération pour le bouleau jaune et les épinettes pour les peuplements mixtes à dominance feuillue

(Réserve faunique Mastigouche – AC. 41-02)

Présenté à :

Jean-Marc Guay, ing.f.
Ministère des Ressources naturelles du Québec
Unité de gestion du Bas-St-Maurice

et

Luc Richard, ing.f.
Pierre Breton, ing.f.
Gérard Crête et fils inc.
et
Jean-François Desbiens, ing.f.
Léon Bélanger, ing.f.
Kruger inc.

Par :

Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Tadek Rycabel, ing.f., M.Sc.

CERFO
Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Juillet1999

© CERFO 99-05

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures ii
Liste des tableaux ii
Bénéficiaires du projet iii
Partenaires du projet iii
Remerciements iv
Résumé v
Introduction vi

Chapitre 1 - Revue de littérature 1

Chapitre 2 - Localisation et description du peuplement étudié 2

Chapitre 3 - Choix des secteurs, traitements étudiés et plan du dispositif 4

Chapitre 4 - Procédés de régénération 6
4.1 Jardinage par petites trouées 6
4.2 Jardinage par grandes trouées 7
4.3 Parquets 9
4.4 Parquets avec semenciers 10
4.5 Coupe progressive d'ensemencement par trouées 11

Chapitre 5 - Extrait de l'étude de productivité 13

Conclusion 15
Références 16

Annexe 1 - Localisation du dispositif d'expérimentation
Annexe 2 - Revue de littérature sur l'épinette blanche

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Localisation du dispositif au nord-est de la réserve de Mastigouche (AC. 41-02).....3

Figure 2 Plan du dispositif.....5

Figure 3 Présentation schématique montrant la capacité relative de différentes espèces d'atteindre la dominance 5 ans après la création d'ouvertures de différentes grandeurs dans la forêt feuillue (adapté de Bormann et Likens, 1979). 8

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Données dendrométriques.....2

Tableau 2 Nombre de tiges non marchandes à l'hectare.....2

Tableau 3 Distribution de la régénération préétablie 2

BÉNÉFICIAIRES DU PROJET

- Gérard Crête et Fils inc.
  - *M. Luc Richard, ing.f.*
  - *M. Pierre Breton, tech.f.*

- Kruger inc.
  - *M. Léon Bélanger, ing.f.*
  - *M. Jean-François Desbiens, ing.f.*
  - *M. Jocelyn Loiselle, ing.f., M.Sc.*

PARTENAIRES DU PROJET

- Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO)
  - *M. Guy Lessard, ing.f., M.Sc.*
  - *M. Donald Blouin, ing.f., M.Sc.*
  - *M. Tadek Rycabel, ing.f., M.Sc.*

- Ministère des Ressources naturelles du Québec
  - *M. Marc-André Bernier, tech.f.*
  - *M. Jean-Claude Drolet, ing.f.*

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette recherche a été possible grâce à la collaboration et à l'engagement financier de la compagnie Gérard Crête et fils inc. Spécialement, nous voulons remercier Messieurs Luc Richard, Pierre Breton et Pierre Paquin, représentants de la compagnie qui ont tous contribué à la planification et au bon déroulement de prise des mesures sur le terrain. Nous désirons également remercier Messieurs Jean-François Desbiens et Louis Vachon de la compagnie Kruger inc. pour la recherche des secteurs d'étude.

Deuxièmement, nous désirons remercier le personnel du MRN, qui a appuyé la demande et permis de mettre sur pied un dispositif sur des méthodes de coupes favorisant la régénération des espèces peu tolérantes à l'ombre. Messieurs Jean-Marc Guay, Georges Blais, Réal Paris, Marc-André Bernier et Jean-Claude Drolet méritent d'être mentionnés ici.

Enfin, nous remercions M. Martin Côté, stagiaire, pour sa collaboration tout au long du projet, Mme Annie Lelièvre pour le traitement de texte et Mme Claire Demers pour la révision de ce rapport.

RÉSUMÉ

Dans les domaines de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune, les peuplements forestiers mixtes possèdent souvent une structure et une qualité qui soulèvent plusieurs interrogations quant aux régimes et traitements sylvicoles à utiliser. En effet, plusieurs tiges rémanentes subsistent après coupe, entraînant à la fois un volume résiduel à dominance de pâte (qui poursuit sa croissance) et une obstruction à l'implantation d'un nouveau peuplement et à la possibilité d'éducation de celui-ci.

Dans ce contexte, le projet consiste à :

- Installer dans un peuplement mixte à dominance feuillue, un dispositif permettant d'évaluer à court terme quels devraient être les meilleurs traitements et régimes sylvicoles pour la reconstruction de peuplements de qualité en favorisant la régénération en épinette et en bouleau jaune et en contrôlant les essences en compétition.
- Amorcer une base comparative pour les effets réels en vue du calcul de possibilité.
- Servir de démonstration pour la réalisation pratique de ces nouveaux traitements.

Le dispositif couvre 27 ha et a été divisé en 3 répétitions après s'être assuré de l'homogénéité du secteur. Six traitements ont été choisis et distribués aléatoirement : le jardinage par petites trouées, le jardinage avec grandes trouées, les parquets, les parquets avec semenciers, la coupe progressive par trouées et les témoins.

Deux revues de littérature ont été réalisées dans le cadre de cette étude, soit l'une sur la régénération de l'épinette blanche et l'autre sur l'utilisation des trouées dans différents systèmes sylvicoles. Elles sont disponibles sur l'Internet à l'adresse www.cerfo.qc.ca.

INTRODUCTION

Dans les domaines de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune, les peuplements forestiers mixtes possèdent souvent une structure et une qualité qui soulèvent plusieurs interrogations quant aux régimes et traitements sylvicoles à utiliser. En effet, plusieurs tiges rémanentes subsistent après coupe, entraînant à la fois un volume résiduel à dominance de pâte (qui poursuit sa croissance) et une obstruction à l'implantation d'un nouveau peuplement et à la possibilité d'éducation de celui-ci. Les conséquences sont importantes en terme de possibilité forestière puisque la reconstitution des volumes en bois d'œuvre est particulièrement retardée dans cette nouvelle forme d'arrérage.

Préoccupés par ces questions, plusieurs décideurs recherchent de nouvelles méthodes (pour le Québec) pour régénérer, diminuer la possibilité en pâte et augmenter celle de bois d'œuvre. Le comité du manuel d'aménagement forestier propose de nouvelles alternatives comme le jardinage par trouées ou le système par parquets. D'autre part, des chercheurs comme Michel Huot, Zoran Majcen ou Richard Zarnovican soulignent l'intérêt de considérer également la coupe progressive pour la restauration de peuplements de qualité. Le système de coupe progressive est reconnu depuis longtemps en Amérique du nord pour son efficacité à régénérer les feuillus tolérants (Leffelman et Hawley, 1925). Des essais à Duchesnay et à Rimouski ont d'ailleurs donné des résultats spectaculaires pour la régénération de bouleau jaune. Parallèlement, on retrouve également certains essais réussis de coupe avec semenciers.

Chapitre 1
REVUE DE LITTÉRATURE

Afin de documenter et guider les différents choix effectués dans le dispositif, trois sujets nécessitaient une revue de la documentation scientifique disponible : la régénération du bouleau jaune, la régénération de l'épinette blanche et, de façon plus générale, l'utilisation des trouées en foresterie. Le troisième sujet devenait nécessaire étant donné l'intérêt actuel pour ce genre de pratique, représentant effectivement une alternative à explorer.

Dans le premier cas, la revue de littérature avait déjà été effectuée dans le cadre d'un autre projet de recherche dans l'Estrie (Lessard et Blouin, 1998). La revue de littérature est disponible sur le site WEB du CERFO (www.cerfo.qc.ca).

La revue de littérature sur l'épinette blanche est placée à l'annexe 2 du présent travail.

Quant à la revue de littérature sur les trouées, elle a été produite et envoyée pour deux formations continues dans le journal L'AUBELLE de l'Ordre des ingénieurs forestiers. La première partie portant sur la problématique, l'écologie des trouées et les techniques d'établissement d'une trouée est parue dans le no 128, cours numéro 39, janvier, février et mars 1999. La seconde partie portant sur les systèmes sylvicoles utilisant les trouées et des études de cas pour le bouleau jaune, chêne rouge, le pin blanc et l'épinette noire devrait paraître dans le numéro 41, juillet, août et septembre 1999.

Chapitre 2
LOCALISATION ET DESCRIPTION DU PEUPLEMENT ÉTUDIÉ

Le peuplement étudié est à dominance feuillue (entre 50 et 75 % de feuillus) et situé dans le secteur du Lac Marcotte de la Réserve de Mastigouche (figure 1). Le dispositif est constitué des aires d'intervention 1214-016, de la partie sud de 1214-009 et de la partie nord de 1214-021 (annexe 1). Le dispositif d'une superficie de 27 ha est situé sur les types écologiques les plus communs de la région, soit FE32 et MJ22.

Un échantillonnage intensif de 96 points de prisme (facteur 2) a été effectué pour faire la description complète du dispositif (tableau 1). À chacun des points de prisme, une grappe de 8 parcelles a également été installée et identifiée de façon semi-permanente pour qualifier les gaules (tableau 2) et la régénération préétablie (tableau 3) et servir de référence pour les suivis dans le temps.

Tableau 1 Données dendrométriques

Surface terrière	23,4 m^2
Volume moyen	160 m^3/ha
Nb tiges marchandes	582 ti./ha
Diamètre moyen	26,7 cm
Structure	Inéquienne

% feuillus	63 %
% bouleau jaune	33 %
% vigueur 1	33 %
% résineux	37 %
% épinette	21 %

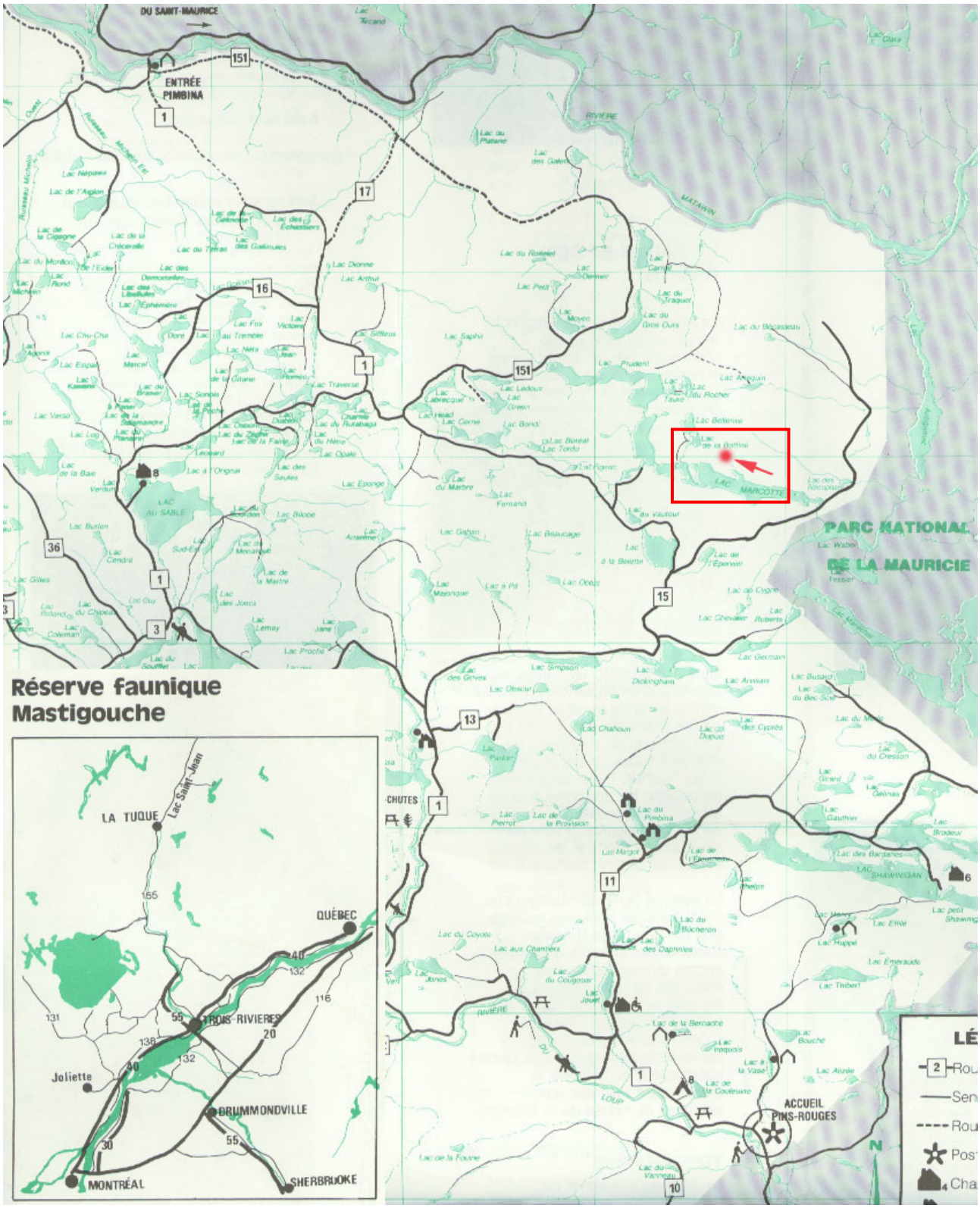
Tableau 2 Nombre de tiges non marchandes à l'hectare

BOP	BOJ	ERR	ERS	ERP	SAB	THO	**Total**
118	94	576	497	469	642	73	**2 483**

Tableau 3 Distribution de la régénération préétablie

BOP 1 %	BOJ 23 %	ERR 77 %	ERS 65 %
SAB 39 %	EPR 18 %	THO 7 %	
COC 8 %	ERE 63 %	ERP 45 %	VIA 9 %

Figure 1 Localisation du dispositif au nord-est de la réserve de Mastigouche (AC. 41-02)



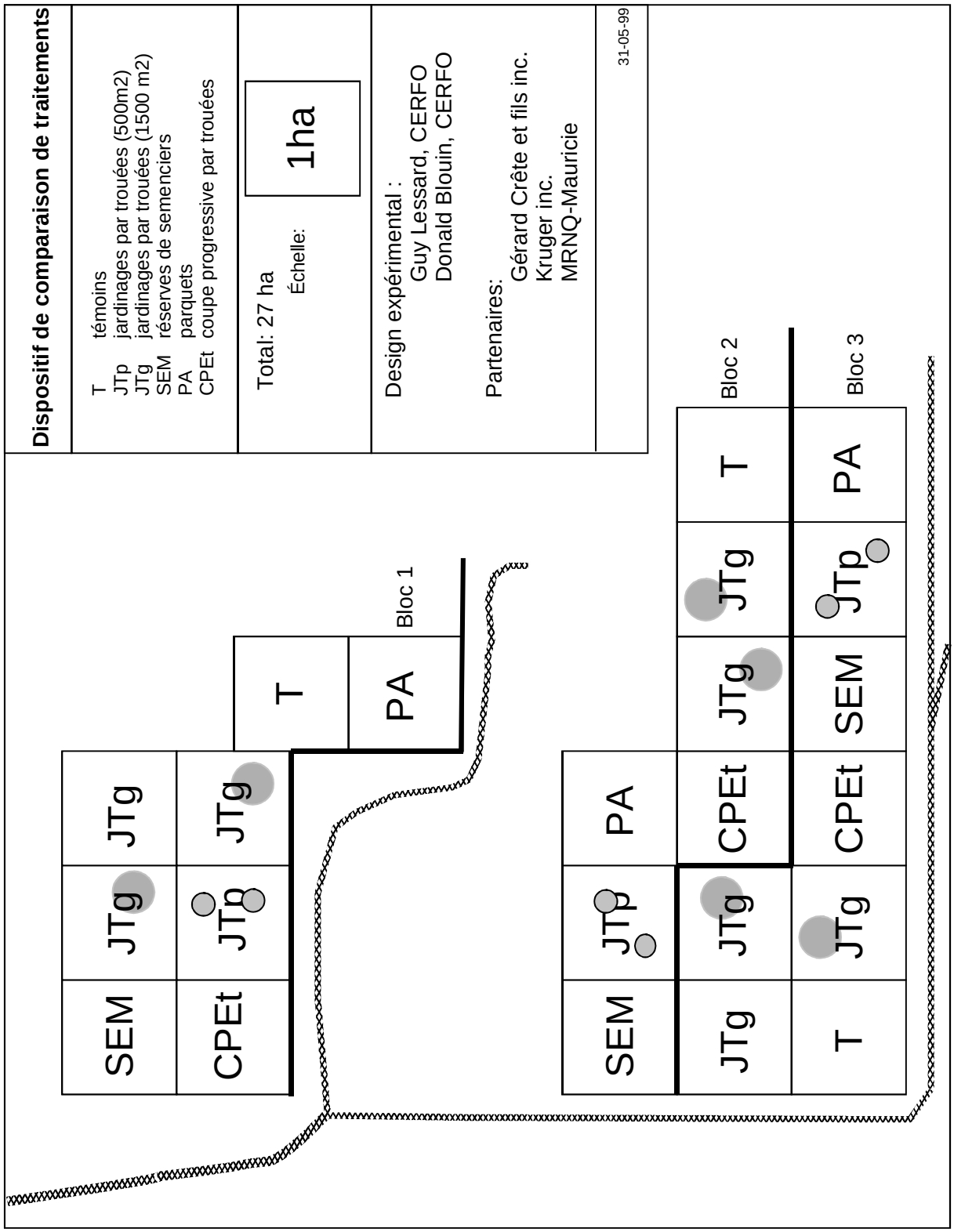
Chapitre 3
CHOIX DES SECTEURS, TRAITEMENTS ÉTUDIÉS ET PLAN DU DISPOSITIF

Suite aux discussions avec les divers intervenants, les traitements retenus sont :

- Témoin (sans intervention)
- Coupe de jardinage par petites trouées (1H) (objectif de structure inéquienne)
- Coupe de jardinage par grandes trouées (2H) (objectif de structure inéquienne)
- Coupe progressive d'ensemencement par trouées (objectif de structure équienne)
- Coupe avec réserve de semenciers (1 ha) (objectif de structure équienne)
- Coupe par parquets (1 ha) (objectif de structure équienne)

Le choix des secteurs a été fait à partir des données d'inventaire disponibles et validé par un échantillonnage préliminaire. Après s'être assuré de l'homogénéité du dispositif, les caractéristiques du terrain (haut, milieu et bas de pente) de même que les caractéristiques dendrométriques du peuplement (DHP moyen) ont servi à subdiviser le dispositif en trois blocs servant de répétitions pour chacun des traitements. L'utilisation de blocs vise à augmenter l'uniformité à l'intérieur de ceux-ci et distribuer les différences entre eux en vue d'analyses statistiques valables. L'établissement de la structure exacte du peuplement étudié (4 parcelles à l'hectare) et l'état de la régénération nous ont guidés dans le choix final des traitements à comparer en accord avec les représentants régionaux du ministère des Ressources naturelles. Les traitements et les témoins ont été distribués aléatoirement à l'intérieur des répétitions en ayant pour seule contrainte de ne pas avoir 2 parquets adjacents (figure 2). La méthodologie, les résultats, les discussions et les études de temps et mouvement ont été présentés dans le rapport de Rycabel *et al.* (1999). L'exécution des travaux a fait l'objet d'une étude de rendement et de productivité. Un inventaire du bois sur pied après coupe a été effectué afin de valider les prescriptions. Un échantillonnage de la régénération un an après coupe (automne 99) sera effectué pour vérifier l'impact des interventions. Un suivi à 3 ans et 7 ans devra également être effectué afin de mesurer les effets réels des traitements.

Figure 2 Plan du dispositif



Chapitre 4
PROCÉDÉ DE RÉGÉNÉRATION

4.1 Jardinage par petites trouées

- Régime d'aménagement : inéquienne
- Grandeur des trouées prescrite : 500 m^2
- % prélèvement total prescrit : 35 % Trouées : 10 %
  Par pied d'Arbre : 25 %
- % prélèvement obtenu : 40 %
- Positionnement des trouées : endroit avec moins de vigueur
- Productivité : moyenne (14,1 min/m^3.p)

Questions

- Quels critères devrait-on utiliser pour positionner les trouées ?
- Exemple : Vigueur, libérer la régénération, installer la régénération, systématique

Réponse préliminaire

Dans ce régime sylvicole, les secteurs de moindre vigueur devraient être priorisés de façon à maximiser la production de bois d'œuvre. Si les peupliers sont présents, leur récolte pourrait être retardée de façon à limiter le drageonnement. Certains préconisent une répartition systématique pour faciliter les suivis.

- Est-ce que l'intensité d'échantillonnage de 1 parcelle par 4 ha est suffisante pour localiser les trouées ?

Réponse préliminaire

Cent répétitions de six échantillons pris au hasard parmi les parcelles du dispositif de 27 ha ont permis d'observer une variabilité très forte de la surface terrière pour cette intensité d'échantillonnage. Cette intensité permet probablement peu de précision sur les proportions d'essences et de la vigueur. La localisation des trouées pourrait se faire en même temps que le martelage ou dans un second passage suite à un martelage autour de 20 %.

4.2 Jardinage par grandes trouées

- Régime d'aménagement : inéquienne
- Grandeur des trouées prescrite : 1500 m^2
- % prélèvement total prescrit : 35 % Trouées : 10 %
  Par pied d'Arbre : 25 %
- % prélèvement obtenu : 40 %
- Positionnement des trouées : endroit avec moins de vigueur
- Productivité : élevée (11,4 min/m^3.p)

Questions

- Devrait-on envisager de faire de l'éducation dans les trouées (localisation au GPS) ?

Réponse préliminaire

Certains industriels voient peu de problème à suivre l'évaluation grâce au GPS. Plus que l'éducation, l'aménagiste devrait d'abord s'intéresser à l'installation d'une régénération très abondante dans les espèces désirées.

- Devrait-on envisager de faire du regarni dans les trouées ?

Réponse préliminaire

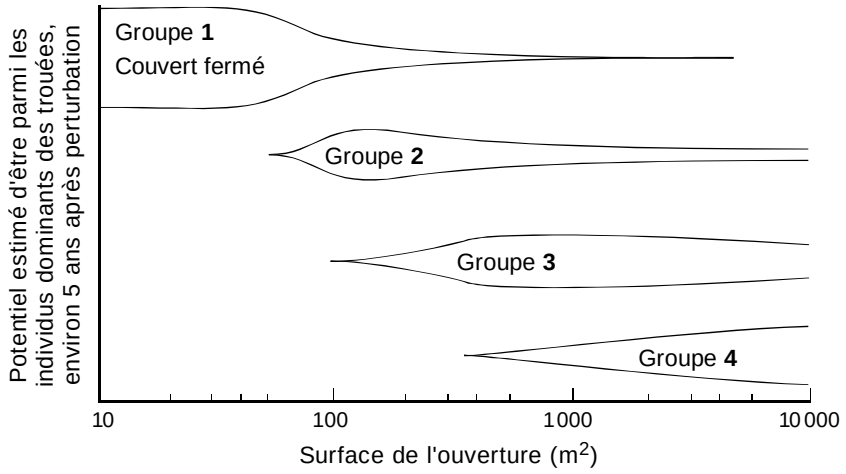
Peut-être en épinette ou encore en pin blanc.

- Dimension des trouées ?

Réponse préliminaire

Si l'on en juge au graphique de la figure 3, les petites trouées limitent l'envahissement des feuillus intolérants. Par contre, la croissance pourrait être meilleure dans les grandes trouées, deux fois la hauteur des arbres (2-H).

Figure 3 Présentation schématique montrant la capacité relative de différentes espèces d'atteindre la dominance 5 ans après la création d'ouvertures de différentes grandeurs dans la forêt feuillue (adapté de Bormann et Likens, 1979).



Le groupe 1 représente la fermeture du couvert par la cime des arbres en bordure des trouées.

Les groupes 2-3-4 représentent la régénération et les semis installés dans les trouées.

Le groupe 2 est composé des espèces tolérantes à l'ombre et inclut le hêtre, l'érable à sucre, la pruche, l'épinette rouge et le sapin baumier.

Le groupe 3, les espèces de tolérance moyenne, inclut l'érable rouge, l'érable de Pennsylvanie, le bouleau jaune et le frêne.

Le groupe 4, les espèces intolérantes, inclut le bouleau blanc, le bouleau gris, le peuplier à grandes dents et le peuplier faux-tremble.

Extrait de : Lessard *et al.* 1999. L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec. Formation continue, cours no. 39, Encart de l'Aubelle, No 128, Janvier-Février-Mars 1999.

4.3 Parquets

- Régime d'aménagement : équienne
- Dimension : 1 hectare
- Prélèvement : total
- Productivité : moyenne (12,8 min/m^3.p)

Questions

- Où devrait-on positionner les andains ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Cet aspect est discuté dans l'article de l'Aubelle.

- Devrait-on faire de la scarification ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Cet aspect est discuté dans l'article de l'Aubelle.

- Quelles sont les chances d'installation de l'épinette ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Moyenne à bonne, l'exposition est-sud, le sol est scarifié, des semenciers sont à proximité et l'année semencière est bonne.

- Devrait-on s'attendre à d'importants problèmes de compétition ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Probablement avec l'érable à épis.

4.4 Parquets avec semenciers

- Régime d'aménagement : équienne
- Dimension : 1 hectare
- Prélèvement : total avec conservation d'approximativement : 25 semenciers de bouleau jaune
  12 semenciers d'épinette
- Productivité : moyenne (14,9 min/m^3.p)

Questions

- Devrait-on laisser des bouquets de semenciers résineux pour diminuer l'incidence des chablis ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Déjà des chablis ont été observés dans certains secteurs, alors que d'autres secteurs ne sont pas affectés. La position exposée du premier secteur ainsi que l'épaisseur plus faible du sol seraient probablement en cause, d'après les indications de Ruel (1992). Le regroupement des semenciers dans les secteurs sensibles serait peut-être à favoriser, quoique la conformité du peuplement présente peu de bouquets d'épinette par exemple.

- Quand devrait-on récolter les semenciers ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Deux ou trois tendances existent : récolter dès l'installation, conserver les semenciers pour allonger la période d'ensemencement et contrôler quelque peu les variations de température au sol (protection) ou la luminosité (contrôle partiel de la compétition).

4.5 Coupe progressive d'ensemencement par trouées

- Régime d'aménagement : équienne
- Problématique de la structure irrégulière empêchant la réalisation de CPE classique
- Grandeur des trouées prescrite : 500 m^2
- % prélèvement prescrit : 45 %
- % prélèvement obtenu : 51 %
- Positionnement des trouées : systématique
- Productivité : faible (16,9 min/m^3.p)

Questions

- Quels critères devrait-on utiliser pour positionner les trouées, diffèrent-ils du jardinage ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Probablement puisque l'objectif premier est d'installer la régénération. Le critère sera les secteurs pour régénérer plutôt.

- Localisation des sentiers de débardage versus les trouées ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Cet aspect est discuté dans l'article de l'Aubelle (Lessard et al. 1999).

- Scarification dans les trouées ?

> **Réponse préliminaire**
>
> Probablement, pour créer les conditions idéales de mélangés organiques-minérales décrites dans la littérature.

- Devrait-on faire moins de trouées plus grandes ?

Réponse préliminaire

Nous référons aux discussions sur la grandeur des trouées pour le jardinage.

- Devrait-on combiner un prélèvement par trouées et par pied d'arbre ?

Réponse préliminaire

Oui, si la régénération n'est pas présente sous couvert.

- Devrait-on faire une coupe d'éclaircie avant la coupe finale ?

Réponse préliminaire

Ça dépend du stade de développement et de la capacité du peuplement à en profiter.

- Quand devrait-on faire la prochaine intervention ?

Réponse préliminaire

Selon les espèces. Le bouleau jaune, moyennement tolérant à l'ombre, dès la formation du gaulis profitera de la suppression du couvert résiduel.

Chapitre 5
EXTRAIT DE L'ÉTUDE DE PRODUCTIVITÉ

Les résultats de l'étude de productivité font l'objet d'un rapport indépendant (Rycabel *et al*., 1999 – CERFO 99-04). On ne présente ici qu'un sommaire des résultats obtenus.

- Modèle de comparaison

$$\text{PROD (min/m}^3\text{.p)} = 32{,}27 + 1{,}94(T_1) + 0{,}0088(\text{DISTANCE}) - 0{,}042(\text{VOL_HA}) - 14{,}95(\text{VOL_BIL}) - 3{,}06(\text{VOL_VOY}) + 2{,}35(\text{VOL_BIL*VOL_VOY})$$

$$(R^2_{aj}=0{,}63\ ;\ \hat{\sigma}=3{,}13)$$

Traitement	Base de 160 m³/ha
JTg	14,4
PA	14,4
JTp	14,4
SEM	14,4
CPE	16,4

- Modèle de prédiction

$$\text{PROD (min/m}^3\text{.p)} = 24{,}8+2{,}0(T_1)-3{,}45(T_2)-0{,}84(T_3)-2{,}05(T_4)-0{,}062(\text{vol/ha})$$

$$(R^2_{aj}=0{,}13\ ;\quad \hat{\sigma}=4{,}76 \text{ pour 1 voyage})$$

$$(\hat{\sigma}=1{,}18 \text{ pour un grand nombre de voyages})$$

Traitement	Volume m³/ha	Productivité Min/m³.p	Volume m³/ha	Productivité Min/m³.p	Volume m³/ha	Productivité Min/m³.p
JTg	220	7,7	160	11,4	120	13,9
PA	220	9,1	160	12,8	120	15,3
JTp	220	10,3	160	14,1	120	16,5
SEM	220	11,2	160	14,9	120	17,4
CPE	220	13,2	160	16,9	120	19,4

Les variables T_1 à T_4 prennent les valeurs 0 ou 1 selon la règle suivante :

$T_1 = 1$ si le traitement est CPEt et 0 sinon

$T_2 = 1$ si le traitement est JTg et 0 sinon

$T_3 = 1$ si le traitement est JTp et 0 sinon

$T_4 = 1$ si le traitement est PA et 0 sinon

Lorsque les variables T_1 à T_4 prennent les valeurs 0 le traitement est SEM.

- Dans les modèles prédictif et général, la productivité des opérations de récolte fut plus faible dans la coupe progressive d'ensemencement par trouées, parce que :
  - Complexité des opérations
  - Manque d'expérience des travailleurs
  - Volume moyen prélevé plus faible (trouées systématiques avec le biais de conserver des semenciers en bordure)

- Dans le modèle prédictif, la productivité des opérations de récolte fut plus élevée dans le jardinage par grandes trouées :
  - Souvent des grosses tiges
    (vigueur faible III et IV)
  - Opération simplifiée par la grandeur des trouées
  - Si le critère : secteurs moins régénérés
    - La productivité pourrait changer selon ce qui sera prélevé

CONCLUSION

L'installation du dispositif de comparaison de procédés de régénération a permis d'étudier différentes problématiques reliées à l'exécution de traitements moins conventionnels au Québec. On retrouve notamment, les critères de localisation des trouées, la répartition des trouées, l'organisation des sentiers de débardage, la problématique du diagnostic sylvicole dans les forêts à structure irrégulière, le conflit potentiel lors du martelage entre le maintien des semenciers et la rentabilité des opérations de récolte, la préparation de terrain sous couvert et dans les trouées, la nécessité ou non d'éliminer les gaules et l'intérêt potentiel à compléter avec la régénération artificielle d'épinettes. Ainsi, lors d'une visite avec les partenaires et lors de la visite avec les membres du groupe sur la forêt mixte, plusieurs hypothèses et commentaires sur les problèmes soulevés ont permis de développer l'argumentation sur les différentes alternatives.

Déjà, les observations visuelles de la germination de bouleau jaune et d'épinette blanche laissent entrevoir d'importantes différences entre les traitements. Le suivi prévu pour l'été 1999 et les années futures est essentiel pour vérifier la survie et la croissance des semis.

RÉFÉRENCES

BLOUIN, D. et G. LESSARD, 1999. Comparaison de l'installation de la régénération naturelle de bouleau jaune dans une érablière à bouleau jaune de l'Estrie suite à divers procédés de régénération. Centre d'enseignement et de recherche de Sainte-Foy inc. (CERFO). RAPPORT 99-06. 31 p.

BORMANN, F.H. and G.E. LIKENS, 1979. Pattern and process in a forested ecosystem : disturbance, development and the steady state based on the Hubbard Brook ecosystem study. Springer-Verlay, New York, 253 p.

LEFFELMAN, L.J. and R.C. HAWLEY, 1925. Studies of connecticut hardwoods : the treatment of advanced growth arising as a result of thinnings and shelterwood cuttings. Yale Univ., School For. Bull. 15, 16 p.

LESSARD, G. et al., 1999. L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec. OIFQ, Encart de l'Aubelle No. 128, Cours No. 39.

LESSARD, G. et D. BLOUIN, 1998. Étude comparative de différents traitements sylvicoles favorisant le développement du bouleau jaune. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). 72 p., 7 annexes

RUEL, J.-C., 1992. La sylviculture face au risque de chablis. OIFQ, Aubelle No. 88, Cours No. 23.

RYCABEL, T., BLOUIN,.D. et G. LESSARD, 1999. Productivité de cinq traitements sylvicoles favorisant le développement du bouleau jaune et des épinettes en forêt mélangée, en Mauricie. Centre d'enseignement et de recherche de Sainte-Foy inc. (CERFO). RAPPORT 99-04. 39 p., 3 annexes.

ANNEXE I

Localisation du dispositif d'expérimentation

GÉRARD CRÊTE & FILS INC.

LACS, FLEUVES, RIVIÈRES & ÎLES
RUISSEAU PERMANENT
RUISSEAU INTERMITTENT
RUISSEAU INDÉFINI
PEUPLEMENT FORESTIER
PARCELLAIRE
LIGNE DU CAAF

AFFECTATION DES TERRES (RÉCOLTE: 0%)
AFFECTATION DES TERRES (RÉCOLTE: 33%)

PAIF
BANDE DE 30 MÈTRES
BANDE DE 60 MÈTRES
XXXX RÉCOLTE DU 1/3 DES TIGES
0000 ABSENCE DE RÉCOLTE DU 1/3 DES TIGES

CPR, CPRS, CPRS14, CPRSDL, CHE, CT, PSR
CDL, DLD
CEA, CJ, CPJ, CAM, CDV
CPE, CRS
ETR, CPC, CPF, ECM, ECR, ECF, CB, CTR, CD, RML
CR, CRBOB, CRPEU, CPRSp, CPRSb

AIRE COMMUNE: 041-02

PERSONNE DÉSIGNÉE: G. CRÊTE ET FILS INC.

BÉNÉFICIAIRES:

G. CRÊTE ET FILS INC. (div. Saint-Séverin)	245
G. CRÊTE ET FILS INC. (div. Saint-Rock)	244
G. CRÊTE ET FILS INC. (div. Pequin)	243
G. CRÊTE ET FILS INC. (div. La Turque)	349
INDUSTRIES JOHN LEWIS LTÉE.	265
MALETTE QUÉBEC INC. (div. panneaux)	258
MULTIGRADE INC. (div. décroûtage)	255
TRAIT. SOUS PRESSION L.D. LTÉE	026
L.H. PLANTE ET FILS INC.	254
SCIERIE DAVELUYVILLE INC.	247
LES INDUST. MANUF. MÉGANTIC INC.	226
SCIERIE DESROCHES ET FRÈRES INC.	315
COOP. DES TRAV. DE LA SCIERIE JOS ST-AMANT	248
DOMTAR INC. (div. des produits for. Sud-Est du Québec)	225
LES LATTES DULAC & FILS INC.	311
LE SPÉCIALISTE DU BARDEAU DE CÈDRE INC.	355
ADÉLARD GOYETTE ET FILS LÉE	228
CONCORD-BURY INC.	283

A.C.: 041-02 PAIF 1998-1999

LAC MARCOTTE
'FEUILLET: 31I14SE'
CARTE #3 (MISE A JOUR)
08 May 98
1:20000

RÉALISÉ PAR: Produits forestiers Kruger inc.

ANNEXE 2

Revue de littérature sur la régénération de l'épinette blanche

REVUE DE LITTÉRATURE SUR LA RÉGÉNÉRATION
NATURELLE DE L'ÉPINETTE BLANCHE
***Picea glauca* (Moench) Voss**

I. AUTÉCOLOGIE DE L'ÉPINETTE BLANCHE

I-1 Aire de distribution et climat

L'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) évolue en Amérique du Nord selon une distribution transcontinentale (**Zasada et Gregory 1969; Nienstaedt et Zasada 1990**). Elle correspond à l'espèce arborescente la plus répandue au Canada après le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) (**Stiell 1980**). Sa limite septentrionale avoisine la toundra et elle pousse à la frontière arctique des arbres (**Dobbs 1972; Farrar 1996**). Présente d'un océan à l'autre (**Dobbs 1972**) et dans toutes les régions forestières du Canada, sauf sur la côte du Pacifique et la région des feuillus dans l'extrême sud de l'Ontario (**Stiell 1980; Farrar 1996**), on la trouve à l'ouest à Terre-Neuve et au Labrador jusqu'aux limites des arbres de la Baie d'Hudson, puis elle traverse le Canada par les Territoires du Nord-Ouest et du Yukon (rejoint presque l'Océan Arctique à la latitude 69° Nord du district du Mackenzie aux États-Unis) (**Dobbs 1972; Nienstaedt et Zasada 1990**). En Alaska, l'épinette blanche atteint la mer de Béring à la Baie de Norton et le Golf de l'Alaska à l'Île de Cook (**Nienstaedt et Zasada 1990**). Rendue en Colombie-Britannique, l'espèce s'arrête à 100 m de l'Océan Pacifique à la hauteur de la Vallée Skeena où elle est remplacée par l'épinette de Sitka (*Picea sitkensis* (Bong.) Carrière) (**Nienstaedt et Zasada 1990**). De là, elle s'étend par le sud de la Colombie-Britannique et se dirige vers l'est par l'Alberta et le Manitoba jusqu'au Lac Winnipeg, puis elle descend aux États-Unis par le Nord du Minnesota et du Wisconsin, jusqu'au centre du Michigan et au nord-est de New-York et du Maine (**Dobbs 1972; Nienstaedt et Zasada 1990**). L'épinette blanche croît à partir du niveau de la mer et s'arrête environ à l'altitude de 1 520 m (**Nienstaedt et Zasaka 1990**).

De par son étendue, l'espèce se développe sous une très large variété de climats qui peuvent être extrêmes (-54 °C à 34 °C) (**Zasada et Gregory 1969; Nienstaedt et Zasada 1990; Lavoie 1995**). La saison de croissance de l'épinette blanche peut atteindre 180 jours dans le Maine alors que dans les parties plus nordiques du Canada, elle ne se rendra qu'à 20 jours. En moyenne, la croissance dure au-delà de 60 jours (**Niensteadt et Zasada 1990**).

Plus près de la région de Québec (dans la région écoclimatique des Moyennes-Laurentides-de-la-Jacques-Cartier), le climat de type boréal perhumide est associé au domaine écoclimatique de la sapinière à bouleau blanc (avec une certaine proportion d'épinettes blanches), sous une température moyenne annuelle de 0,3 °C. Les précipitations annuelles totalisent une moyenne de 1 416 mm, dont le tiers tombe sous forme de neige (**Côté et Bélanger 1991**).

I-2 Conditions édaphiques

Une très grande variété de sols convient à l'épinette blanche **(Cauboue 1988; Nienstaed et Zasada 1990; Farrar 1996).** Cependant **Nienstaed et Zasada (1990)** ajoutent que pour obtenir un développement optimal, elle est généralement plus exigeante que les autres espèces conifériennes. Les auteurs ajoutent que plus on monte vers le nord, plus le nombre de sites pouvant accueillir l'espèce devient limité et que pour atteindre des conditions de croissance optimale, la fertilité des sols doit être supérieure aux autres conifères.

On la trouve sur des dépôts d'origine glaciaire, lacustre, marine et alluviale **(Nienstaedt et Zasada 1990)**. Le substrat correspond aux ères géologiques Précambrienne à Cénozoïque et il s'est établi sur une grande variété de formations rocheuses, incluant les granites, les gneisses, les roches sédimentaires, les ardoises, les schistes, les argiles schisteuses et les conglomérats, de roches basiques à acides **(Dobbs 1972; Nienstaed et Zasada 1990).**

Par contre, pour **Cauboue (1988),** les textures extrêmement fines (A-Lo) et les textures grossières (sable grossier) sont moins appropriées. **Harvey (1989)** mentionne que l'épinette blanche se régénère mieux sur les dépôts argileux que sur les dépôts grossiers. Il ajoute que sur les dépôts grossiers et fins bien à imparfaitement drainés, cette régénération est surtout constituée de sapin baumier (97 %). **Nienstaed et Zasada (1990)** rapportent que les podzols sont prédominants mais l'épinette blanche pousse aussi sur des brunisols, des luvisols, des gleysols que des régosols. Par exemple, dans la station de la forêt Montmorency -- forêt expérimentale et d'enseignement de l'Université Laval (sapinière à bouleau blanc comprenant l'épinette blanche), le matériau meuble dominant est constitué d'un till épais dérivé de roches cristallines **(Côté et Bélanger 1991).** À partir de ce dépôt se développent surtout des podzols ferro-humiques orthiques, lesquels constituent le type de sol prépondérant sur les sites mésiques **(Côté et Bélanger 1991).** Ces sols se caractérisent par un horizon B à texture de loam sableux, alors que l'horizon C est plutôt un sable loameux **(Côté et Bélanger 1991).**

L'espèce tolère un très grand registre de pH : l'optimum serait entre 4,0 et 6,0 avec une limite à 7,0 **(Dobbs 1972).** Ce dernier spécifie que le meilleur pH se situe entre 4,0 et 5,0. Des symptômes de décoloration ont été observés sur des sols au pH d'environ 8,3. Il ajoute qu'un sol neutre ou alcalin favorise la présence de champignons**. Cauboue (1988)** mentionne que malgré sa plasticité, l'épinette blanche requiert un sol fertile, riche en potassium (K) et en phosphore (P), avec une préférence pour les sols calcaires. Plus spécifiquement, les sols de la forêt subalpine en Alberta sont généralement dérivés du matériel parental très concentré en calcaire **(Crossley 1952).** L'essence est plus exigeante dans sa demande de nutriments que l'épinette rouge ou noire **(Dobbs 1972).** Ce dernier a aussi trouvé que les effets d'une déficience en potassium étaient plus importants sur l'épinette blanche que sur plusieurs autres conifères étudiés. Il ajoute qu'il y a de bonnes raisons de supposer que la fertilité des sols est souvent réduite par nos principales méthodes de préparation du site et du lit de germination.

Les sites où les feuillus sont mélangés avec l'épinette blanche possèdent une couche de mousse peu profonde et discontinue **(Nienstaed et Zasada 1990).** Cette couche est un important compétiteur pour les nutriments mais un isolant très efficace, diminuant ainsi la température du système racinaire; dans le Grand Nord, les températures au sol peuvent atteindre une température si basse que le permafrost est maintenu **(Nienstaed et Zasada 1990).**

D'autres facteurs édaphiques doivent être considérés avec attention tels que la profondeur de la nappe phréatique et la perméabilité **(Nienstaed et Zasada 1990).** Ainsi, le développement de l'espèce est régulé par les inondations et la composition du site **(Nienstaed et Zasada 1990).** Le drainage semble déterminant pour l'épinette blanche : les informations phytosociologiques révèlent que cette essence préfère les sols bien et modérément bien drainés (drainages 2 et 3) **(Cauboue 1988).** Cependant, elle peut parfois s'accommoder d'un drainage imparfait. Les sites où le drainage est excessif sont à proscrire, tout comme ceux où il est trop insuffisant (drainage 5 et 6). Dans les dépressions fraîches et mal drainées, les risques de gel sont plus élevés **(Cauboue 1988).**

I-3 Nature du peuplement (associations)

Région de l'est

Dans la région de l'est de l'Amérique du Nord, on ne trouve que peu de peuplements purs d'épinette blanche et ils sont naturellement mêlés à divers feuillus et d'autres conifères **(Lafond 1966; Sutton 1973; Stiell 1980 ; Thibault, 1985 ; Cauboue 1988; Nienstaed et Zasada 1990; Côté et Bélanger 1991, Raymond 1998).** Quand le phénomène se produit, les conditions de mises en place sont particulières telles que des terrains qui ont été défrichés et pâturés avant d'être abandonnés dans l'aire climatique du bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) **(Lafond 1966)**. Les peuplements sont aussi confinés à des champs abandonnés en Nouvelle-Angleterre et dans l'est du Canada **(Sutton 1973; Nienstaed et Zasada 1990; Farrar 1996),** dans les provinces maritimes et ce, jusqu'à la limite de la barrière naturelle de brouillard plus au nord au Québec et au Labrador (**Nienstaed et Zasada 1990)**. L'épinette blanche possède de plus grandes exigences minérales que les autres espèces coniférienne et cette caractéristique l'oblige à se développer au Québec sur des sols calcaires (basiques) constitués d'argiles limoneuses ayant une haute capacité d'échange et une grande quantité d'éléments nutritifs assimilables **(Lafond 1966)**. De plus, on trouve des peuplements purs d'épinette blanche et des peuplements mixtes où l'épinette blanche est dominante, là où elle est associée à l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), au bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), au peuplier tremble (*Populus tremuloides* Michx.), à l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et au sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) **(Lafond 1966; Nienstaed et Zasada 1990)**. Le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.) et l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) sont quelquefois inclus dans les peuplements **(Lafond 1966; Nienstaedt et Zasada (1990).**

Sutton (1973) et Nienstaedt et Zasada (1990) mentionnent qu'en plus des dernières espèces énoncées, s'ajoutent différentes associations forestières de l'épinette blanche en peuplements mixtes :

Région de la forêt boréale :

- Pin gris (*Pinus divaricata* (Ait.) Dum.)
- Peuplier baumier (*Populus balsamifera* L.)
- Mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch)

Région de la forêt nordique :

- Pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.)
- Pin blanc (*Pinus strobus* L.)
- Pruche - bouleau jaune (*Tsuga canadensis* (L.) Carr. - *Betula alleghaniensis*)
- Érable à sucre - hêtre - bouleau jaune (*Acer saccharum - Fagus grandifolia* Ehrh - *Betula alleghaniensis*)
- Épinette rouge - bouleau jaune (*Picea rubens - Betula allheganiensis*)
- Épinette rouge (*Picea rubens*)
- Épinette rouge - sapin baumier (*Picea rubens - Abies balsamea*)
- Thuya occidental (*Thuya occidentalis* L.)
- Frêne noir - orme américain - érable rouge (*Fraxinus nigra* Marsh. - *Ulmus americana* L. - *Acer rubrum* L.)

Dans trois de ces associations (peuplier, bouleau à papier et pin rouge), l'épinette blanche prend de plus en plus d'importance à mesure que le peuplement évolue et que les espèces tolérantes disparaissent **(Nienstaed et Zasada 1990).**

Plus spécifiquement, dans le domaine écoclimatique de la sapinière à bouleau blanc **(Thibault 1985)** à la forêt Montmorency au Québec, le sapin constitue presque la totalité de la régénération résineuse préétablie et les épinettes blanche et noire représentent moins de 2 % au total **(Côté et Bélanger 1991).** Ce ratio d'une épinette pour 49 sapins est beaucoup plus faible que le ratio de 1 :19 retrouvé dans les sapinières vierges **(Côté et Bélanger 1991**) et les sapinières de seconde venue **(Hatcher 1960).** Pour **Thibault (1985),** l'épinette blanche est connue comme étant la principale espèce compagne résineuse de la sapinière à bouleau blanc, alors que le sapin baumier en constitue la composante majeure. Connaissant des difficultés de reproduction sous couvert, l'épinette blanche ne représente effectivement qu'une petite proportion du volume de la sapinière **(Raymond 1998)** où les densités et les coefficients de distribution de la régénération préétablie de l'espèce sont habituellement faibles **(Jablanczy 1967; Harvey et Bergeron 1989; Niesnstead et Zasada 1990).**

Au nord du Québec, les régions boisées de lichen (*Cladonia* sp.) et les forêts de mousses à hypnacées comprenant le bouleau nain *(Betula* sp.*)* sont fréquentes avec les communautés d'épinettes blanches **(Nienstaedt et Zasada 1990).**

Région de l'ouest

Dans l'ouest, l'épinette blanche correspond au peuplement d'épinette blanche pure **(Sutton 1973; Stiell 1980; Nienstaed et Zasada 1990).** En Alaska et dans les Territoires du Nord-Ouest, les peuplements purs sont confinés aux abords des cours d'eau, des zones inondables, des terrasses, vers le côté sud et plus chaud des sites surélevés et sur diverses stations dans le centre de la Saskatchewan et dans l'ouest du Manitoba **(Sutton 1973; Stiell 1980; Nienstaed et Zasada 1990).**

En Alaska, les essences associées incluent le bouleau à papier, le peuplier tremble, l'épinette noire et le peuplier baumier **(Nienstaed et Zasada 1990)**. Dans l'ouest canadien, le sapin de l'ouest *(Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.*)*, le sapin baumier, le sapin de douglas *(Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco*)*, le pin gris *(Pinus divaricata)* et le pin tordu *(Pinus contorta* Dougl. Var. *latifolia* Engelm.) correspondent à d'importantes associations **(Nienstaed et Zasada 1990).**

I-4 Prédateurs, ennemis et perturbations naturelles

Il y a très peu de problèmes d'insectes et de maladies associés à l'épinette blanche **(Richardson 1970; Franck et Bjorkbom 1973; Sutton 1973)**, contrairement au sapin baumier qui est toujours plus sensible **(Frank et Bjorkbom 1973),** probablement parce qu'il est très rare de la trouver en monoculture **(Richardson 1970; Sutton 1973)**.

Malgré tout, certains insectes peuvent endommager sérieusement différents stages de l'épinette blanche et les plus préjudiciables sont la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.), le diprion européen de l'épinette (*Diprion hercyniae* Htg.) et un coléoptère (*Dendroctonus piceaperda* Hopk.) dans l'Est **(Sutton 1973).** Les dommages subis aux racines par le vers blanc, la larve de *Phyllophaga* spp. peuvent souvent causer de graves dommages au système racinaire **(Sutton 1973).**

Les maladies importantes pour l'épinette sont la putréfaction blanche de boucle (*red ring rot*) (*Fomes pini*) qui pénètre par les branches mortes et la putréfaction rouge-brun du bout (*Polyporus schweinitzii*) qui s'infiltre surtout par les blessures basales **(Frank et Bjorkbom 1973).** Habituellement, ces maladies sont confinées dans des peuplements matures et les arbres sains et vigoureux sont beaucoup moins susceptibles d'en être affectés **(Frank et Bjorkbom 1973).**

La plus grande perte de semences d'épinette blanche est causée par les petits prédateurs rongeurs comme la souris à patte blanche (*Peromyscus maniculatus* (Wagner)), l'écureuil roux *(Tamiasciurus hudsonicus* (Erxleben)), le campagnol à dos rond (*Clethrionomys gapperi* (Vigors)) et les oiseaux et insectes qui les consomment **(Wagg 1964; Dobbs 1972; Sutton 1973)** mais chaque année peut varier grandement **(Dobbs 1972)**. De 45 à 90 % des semences peuvent être détruites avant d'avoir la chance de germer **(Dobbs 1972)**. Ainsi, lorsque l'ensemencement direct se fait à l'automne, la perte peut être de 60 à 75 % alors que si c'est fait durant le printemps, elle sera de 45 à 55 % **(Dobbs 1972)**.

Niensteaedt et Zasada (1990) rapportent une étude démontrant qu'en captivité, ces petits animaux peuvent manger jusqu'à 2 000 graines d'épinette blanche par jour. Durant l'hiver, les souris sont les prédateurs causant la plus grande perte de semences en Colombie-Britannique **(Dobbs 1972).** Cependant, **Wagg (1964**) a remarqué en Alberta et dans les Territoires du Nord-Ouest que l'établissement de peuplements d'épinette blanche n'est pas perturbé par ces facteurs limitants, malgré le fait que des dommages aient été observés sur des semis et des cônes. Les semis sont rarement broutés par la souris (*Alces alces* L.) ou par le cerf (*Odocoileus virginianus* Zimm.), mais le lièvre (*Lepus americanus* (Erxleben)) peut causer de graves dommages, particulièrement dans les aires broussailleuses et celles coupées à blanc **(Wagg 1964; Dobbs 1972; Sutton 1973; Stiell 1981).** Les semis sont aussi piétinés par les wapitis et le bétail, surtout sur les sillons, lors de la préparation de terrain **(Dobbs 1972).** Durant l'hiver, au Manitoba, ces wapitis provoquent une mortalité importante des semis **(Waldron 1969).** Les dangers sont amplifiés par la petitesse de la semence et des jeunes semis **(Sutton 1973). Place (1955)** rapporte qu'une fine couche d'aiguilles recouvrant le sol minéral donne une protection supplémentaire pour les semences contre les rongeurs, les oiseaux et des températures élevées.

À cause de leur enracinement superficiel, de la faible épaisseur de l'écorce et des aiguilles facilement inflammables, les épinettes de tous âges sont facilement tuées par le feu **(Frank et Bjorkbom 1973)**. De plus, le système racinaire peu profond les rend susceptibles au chablis **(Frank et Bjorkbom 1973)**. Les dommages peuvent être réduits en laissant une bande d'arbres le long des bordures où se dirige le vent **(Frank et Bjorkbom 1973)**. La profondeur minimale requise devrait correspondre à la moitié de la hauteur des arbres récoltés **(Frank et Bjorkbom 1973)**. En Colombie-Britannique (centre-nord), sur tous les sites étudiés, à cause de l'enracinement peu profond des semis d'épinettes blanches, la sécheresse est la principale cause de mortalité durant la première saison de croissance **(Eis 1967).** Les gels tardifs printaniers tuent souvent le jeune feuillage de l'épinette blanche ainsi que les gels d'été, bien que moins fréquemment pour ces derniers **(Sutton 1973).** La sensibilité au froid peut être influencée par l'humidité du sol, le contenu en acides aminés de la cellule et la fertilité du sol **(Sutton 1973).**

Pour **Sutton (1973),** la déficience en éléments minéraux représente le problème majeur affectant l'épinette blanche. **Heiderg et White (1951), MacArthur (1959), Paine (1960)** et d'autres ont pu constater des effets positifs après différents traitements améliorant cette déficience **(*in* Sutton 1973).**

I-5 Production de semences et dispersion

La grosseur des semences d'épinette blanche varie selon les auteurs. **Dobbs (1972**) divise les semences d'épinette blanche en trois dimensions : petites (<1,41 mm), moyennes (1,41 à 1,59 mm) et larges (>1,59 mm). **Pour Sutton (1973)**, la semence est allongée, avec environ 3 mm de longueur. Pour **Farrar (1976),** les graines varient de 2 à 4 mm de longueur et avec les ailes, elles atteignent 4 à 8 mm.

Elles possèdent une dormance qui a besoin de stratification dans un endroit froid et humide, durant 60 à 90 jours -- sauf la variété *albertiana* qui ne possède pas de dormance **(Sutton 1973).** Dans certaines situations, les semences de l'épinette blanche gardent leur dormance la première année et germent la seconde année, mais une stratification prolongée (14 mois ou plus) réduit la germination **(Dobbs 1972).**

Le début de la production de semences diffère selon la situation géographique de l'épinette blanche **(Dobbs 1972)**. Des cônes et des semences ont été observés sur des épinettes blanches aussi jeunes que 4 ans (**Nienstaedt et Zasada 1990)**, 10 ans (**Dobbs 1972)** et 14 ans dans le Minnesota (**Sutton 1973**) alors que des semences viables ont été obtenues sur des arbres de 13 ans (**Dobbs 1972). Niensteadt et Zasada (1990)** ont même observé une importante production de semences sur des arbres de 10 à 15 ans. Cependant, normalement, l'épinette blanche commence une production abondante de semences vers 20-30 ans **(Richardson 1970; Dobbs 1972; Frank et Bjorkbom 1973; Nienstaedt et Zasada 1990)** et elle atteint son optimum à 60 ans **(Richardson 1970; Dobbs 1972).** Dans les forêts mélangées, une floraison abondante débute entre 45 et 60 ans alors qu'à des latitudes plus nordiques, la production de semences est retardée et moins fréquente **(Dobbs 1972).** En Alaska, des cônes ont été observés sur des arbres de plus de 170 ans **(Dobbs 1972).**

Les meilleures semences se produisent surtout durant les années de grande production qui surviennent à des intervalles de 2 à 6 ans, avec de faibles productions entre ces intervalles **(Richardson 1970; Dobbs 1972; Sutton 1973; Nienstaedt et Zasada 1990).** L'alternance des mauvaises années semencières avec les bonnes peut résulter des déficiences en hydrates de carbone **(Nienstaedt et Zasada 1990)**. De plus, des températures chaudes et sèches aident à la production et à la dissémination, contrairement au froid, à l'humidité et à l'ennuagement **(Dobbs 1972; Nienstaedt et Zasada 1990**).

Le nombre de semences par livre varie entre 142 000 et 398 000 (315 500 et 884 400 par kg) **(Place 1955; Sutton 1973)**. Le nombre total de semences par cône varie de manière significative selon l'arbre et la région : de 32 à 140 ont été rapportées par **Sutton (1973) et Nienstaedt et Zasada (1990)**. Par contre, les semences de la base et du haut du cône ne sont pas viables et seulement la partie centrale des cônes est potentiellement fertile rendant ainsi le nombre relativement faible : en moyenne, 12 à 92 semences sont viables par cône **(Sutton 1973; Nienstaedt et Zasada 1990)**. **Frank et Bjorkbom (1973)** affirment que très peu de semences viables sont conservées sur le sol forestier pour plus d'un an, contrairement à **Sutton (1973)** qui soutient qu'elles restent viables durant au moins 10 ans**.** Ce dernier auteur rapporte qu'en **1952**, au Minnesota, **Roe** a observé sur un arbre vieux de 75 ans, 11 900 cônes contenant 271 000 semences viables. Il ajoute qu'à Riding Montain, au Manitoba, il a été trouvé 5,9 livres de semences par acre (6,65 kg de semences par ha) (1,5 million de semences) entre le début d'août et la fin novembre 1961 **(Sutton 1973).**

Dobbs (1972) mentionne qu'au nord-est du Minnesota, les premiers cônes d'épinettes blanches ouvrent entre le 5 et le 17 septembre. En Alaska, proche de Fairbanks, l'ouverture de cônes se produit vers le 20 août, suivie rapidement par la dispersion des semis **(Dobbs 1972). Waldron (1965), Richardson (1970), Sutton (1973) et Raymond (1998)** s'accordent à dire qu'un petit nombre de semences d'épinettes blanches est dispersé en août et que la plupart des graines tombent en septembre. La dispersion peut se poursuivre pendant l'automne et l'hiver, allant jusqu'au début du printemps **(Sutton 1973; Waldron 1965; Raymond 1998).** La viabilité des semences dispersées hâtivement et tardivement est plus faible que celles qui sont tombées pendant la période de pointe (septembre) **(Waldron 1965; Dobbs 1976).**

Le vent est le principal facteur de dispersion des semences d'épinettes blanches **(Richardson 1970; Dobbs 1972; Nienstaedt et Zasada 1990).** La manière et la distance de la dispersion des semences dépendent de la hauteur de l'arbre, du poids des semences, de la force du vent et des autres conditions environnementales présentes au moment de la dispersion **(Dobbs 1972; Nienstaedt et Zasada 1990).** Il a déjà été observé des semences dispersées jusqu'à 330 pieds (99 m) **(Dobbs 1972).** Cependant, la turbulence du vent et la convection des courants peuvent transporter des semences jusqu'à 1 000 pieds (300 m) et même plus **(U.S.D.A. 1965 *in* Richardson 1970; Dobbs 1972).**

Les semences de l'épinette blanche sont beaucoup plus sensibles à des températures élevées que les semences de l'épinette noire (*Picea mariana*), du pin gris (*Pinus divaricata*) et du pin rouge (*Pinus resinosa*) **(Dobbs 1972).** Si les températures atteignent 120 F (49,3 °C) pour 70 heures ou 150 F (61,6 °C) pour une courte période, les semences meurent **(Dobbs 1972).** Plus l'humidité est forte, plus les effets de hautes températures sont nocifs **(Dobbs 1972).**

Frank et Bjorkbom (1973) ont réuni plusieurs données sylvicoles comparant la tolérance à l'ombre, le taux de croissance, la fréquence d'une bonne production de cônes et la dispersion des semences de l'épinette blanche, du sapin baumier, de l'épinette noire et de l'épinette rouge.

Tableau I.1 Quelques caractéristiques sylvicoles du sapin baumier et des épinettes noire, blanche et rouge (**Frank et Bjorkbom 1973)**

Espèce	Tolérance à l'ombre	Taux de croissance	Fréquence de bons cônes (années)	Dispersion des semences (pieds)
Sapin baumier	Très tolérant	Vite	2 à 4	100
Épinette noire	Tolérant	Lent à moyen	4	100
Épinette blanche	Tolérant	Vite	2 à 6	300
Épinette rouge	Tolérant à très tolérant	Moyen	3 à 8	200

I-6 Lit de germination et germination

La germination et le lit de germination de l'épinette blanche sont sûrement les sujets les plus étudiés dans la littérature trouvée pour la mise en place de cette essence.

Selon **Delong (1996)** et plusieurs autres auteurs, l'épinette blanche possède des exigences particulières en ce qui a trait au lit de germination pour la germination et son établissement. L'humidité est le facteur influençant le plus les conditions du lit de germination et le taux de survie des jeunes semis **(Richardson 1970; Dobbs 1972; Frank et Bjorkbom 1973).** L'influence externe affectant le plus le lit de germination est la température **(Dobbs 1972).** La luminosité, la température ambiante, l'humidité relative, le vent et les précipitations ont tous des effets importants **(Dobbs 1972).** Ces facteurs sont modifiés par l'épaisseur du feuillage, les ouvertures, l'ombrage, la profondeur de l'eau de surface et la compétition des autres végétaux **(Dobbs 1972).**

Presque tous les auteurs rencontrés s'accordent à dire que le sol minéral correspond à un excellent lit de germination pour l'épinette blanche **(Place 1955; Lees 1970; Richardson 1970; Dobbs 1972; Frank et Borkbom 1973; Kabzems et Lousier 1992; Lavoie 1995; Timoney et Robinson 1996; Delong *et al.* 1997; Raymond 1998). Dobbs (1972)** a pu ressortir au-delà de 30 études qui indiquent que le sol minéral est supérieur au sol organique comme lit de germination pour l'épinette blanche.

Plusieurs raisons expliquent que le sol minéral représente un très bon lit de germination : il permet une bonne capacité d'infiltration et d'aération et il enrobe bien la semence, assurant ainsi un contact étroit avec une petite épaisseur d'humidité **(Place 1955).** Cette humidité plus stable permet aux racines de se développer plus rapidement **(Delong *et al.* 1997)**. La semence s'imbibant d'eau à la surface du sol, la capillarité fait venir une nouvelle pellicule d'humidité **(Place 1955; Frank et Bjorkbom 1973). Dobbs (1972)** ajoute que le sol minéral procure effectivement une source d'humidité plus stable que les lits de germination organique car ces derniers sèchent plus rapidement après quelques jours sans pluie, particulièrement quand ils sont exposés aux radiations directes du soleil. Finalement, le sol se réchauffe plus vite que les horizons organiques et il offre très peu de résistance mécanique lors de la germination **(Place 1955; Frank et Bjorkbom 1973).**

La germination sur un sol minéral apparaît habituellement en juin ou juillet **(Dobbs 1972).** Sur des sites de Riding Montain au Manitoba, 90 % de la germination a été faite sur un sol minéral non perturbé à la mi-août alors que pour la même période, sur un sol minéral brûlé, seulement 18 % des semences avaient germé **(Dobbs 1972).** Un retard d'un mois et demi doit être prévu pour les sites brûlés **(Dobbs 1972).** Selon **Crossley (1949 et 1952 *in* Place 1955**), le taux de germination et de survie des semis est supérieur lorsque le sol minéral est dénudé et compacté sur les sols loameux d'Alberta, même s'il y a de grandes pertes dues au gel pour les deux ou trois premières années**.** Dans le Maine, **Moore (1926) et Baldwin (1934)** ont trouvé qu'une petite couverture d'aiguilles par-dessus les semences améliorait la germination sur le sol minéral **(*in* Place 1955).**

Deux scénarios d'établissement sont possibles lorsque l'épinette blanche est associée au peuplier baumier et qu'elle est en présence de feu **(Kabzems et Lousier 1992)**. Ces scénarios dépendent de l'intensité du feu, des caractéristiques du site et d'une source de semences. Un feu relativement sévère créant un lit de germination sur sol minéral permet à l'épinette blanche de s'établir à partir des semences pendant que le peuplier tremble est régénéré par les rejets des racines **(Kabzems et Lousier 1992)**. Un second modèle se passe en présence d'un feu moins sévère qui ne crée pas de sol minéral susceptible d'établir l'épinette blanche **(Kabzems et Lousier 1992)**. Vingt ans après la perturbation et même jusqu'à 50 ans, quand la végétation compétitive est moins forte et que des microsites seront disponibles, l'épinette blanche commencera à s'établir d'elle-même sous le peuplier tremble **(Kabzems et Lousier 1992)**.

Cependant, le sol minéral convient moins bien au développement des semis qu'à la germination des semences. **Robertson (1935) et Parker (1952)** ont tous deux trouvé que dix ans après un ensemencement, l'épinette blanche était deux fois plus grande sur des terres en friche brûlées, tout comme sur le sable fin **(*in* Place 1955).**

Les billes en décomposition sont considérées comme un aussi bon substrat que le sol minéral pour favoriser l'établissement de l'épinette blanche **(Lees 1970; Dobbs 1972; Kabzems et Louisier 1992; Timoney et Robinson 1996; Delong *et al*. 1997). Lees (1970)** précise que pour la germination, le sol minéral constitue le milieu le plus propice en terrain scarifié, alors que pour les terrains laissés intacts (ou sous une cime épaisse selon **Timoney et Robinson (1996)),** le bois pourri représente le meilleur site. Une abondante germination est habituellement attribuée à une humidité favorable qui se trouve sur le bois **(Place 1955; Delong *et al*. 1997). Westveld (1931 *in* Place 1955)** a remarqué que le bois pourri a tendance à devenir trop sec dans les ouvertures. **LeBarron (1945 *in* Place 1955)** a suggéré que le bois pourri retient l'eau à cause de sa structure et de sa forme et qu'une fois désagrégé, il pouvait être comparé à de l'humus ordinaire. En fait, peu de racines provenant d'autres semences se trouvent sur le bois pourri, comparativement à l'humus qui en contient beaucoup, ce qui donne à penser que la rétention en eau y est plus élevée **(Place 1955). Dobbs (1972)** spécifie que les billes en décomposition gardent un taux d'humidité beaucoup plus longtemps que l'humus dans des conditions de sécheresse. **Pour Delong *et al*. (1997)**, plusieurs autres raisons expliquent le succès des billes en décomposition comme lits de germination pour l'épinette blanche : premièrement, les billes surélevées reçoivent plus de lumière que le sol assombri par le feuillage de la végétation herbacée. Deuxièmement, la hauteur permet aussi à l'épinette blanche de ne pas subir l'épaisseur de la litière des feuillus, car les semis arrivent difficilement à percer une litière épaisse (**Delong *et al*. 1997**). De plus, cette élévation permet de capter plus de chaleur comparativement aux semences situées au sol (**Delong *et al*. 1997**). Finalement, la structure poreuse des billes en décomposition facilite l'enracinement des semis (**Delong *et al*. 1997**).

Les buttes et les parcelles exposées au sol minéral sont souvent produites par le vent, les dégâts causés par les animaux et les feux de forêt **(Dobbs 1972; Delong *et al*. 1997).** Parallèlement, ces différents lits de germination peuvent être

obtenus par une préparation adéquate du site pour aider à l'établissement des semis d'épinette blanche **(Delong *et al.* 1997).**

Pour Delong *et al.* (1997), les microsites d'éboulement et le sol normal de la forêt correspondent aux lits de germinations les moins performants alors que pour **Frank et Bjorkbom (1973),** ce sont les sites herbeux qui font les moins bons lits de germination, à cause de la compétition sévère. La litière profonde et l'humus sont aussi des lits de germination pauvres car ils s'assèchent plus rapidement et deviennent plus chauds que le sol minéral **(Richardson 1970; Frank et Bjorkbom 1973)**. En terrains bas et humides, la régénération est souvent mauvaise car les graines et les semis sont noyés et ils sont plus susceptibles de subir l'effet nocif du gel **(Place 1955; Lees 1970; Richardson 1970). Moore (1926 *in* Place 1955)** a observé que des sols un peu sableux devenaient trop secs.

La composition de la litière est très importante, que ce soit sous résineux purs, sous forêt mixte ou sous forêt feuillue **(Place 1955).** Les aiguilles courtes de l'épinette et du sapin font de meilleurs lits de germination, plus que ne le feraient les longues aiguilles du pin blanc et du pin rouge et les feuilles du peuplier tremble et du bouleau à papier **(Place 1955; Alghren 1981)**. **Murphy (1917 *in* Place 1955)** a remarqué que l'épinette s'établit moins facilement sur ses propres aiguilles que sur celles du sapin qui se décomposent plus facilement. **Kittredge et Gevorkiantz (1929 *in* Place 1955), tout comme Koroleff (1954, voir encadré plus bas)** suggèrent que les feuilles plates formant une masse compacte n'aident pas à la germination des petites semences telles que celles de l'épinette blanche car elles sont situées sous la masse et sont alors privées d'oxygène. Comme la dissémination des semences de l'épinette blanche se déroule avant que les feuilles d'automne ne tombent, il est possible que cette hypothèse soit bonne **(Place 1955)**.

En **1954, Koroleff** produit un long plaidoyé contre les accumulations de litière feuillue qui représentent une cause majeure de l'échec de régénération des peuplements mélangés. En résumé, la litière feuillue causerait préjudice à la régénération de cinq façons :

1. Les graines n'arrivent pas à germer sur les feuilles ou entre celles-ci;
2. Les recrues n'arrivent pas à s'établir sur la litière feuillue car leurs racines ne peuvent percer la couche de feuilles efficacement;
3. Les recrues n'arrivent pas à s'établir car elles sont prisonnières des couches de feuilles;
4. Les semis sont endommagés et affaiblis par la litière feuilllue en subissant des blessures mécaniques, un ombrage excessif ou un étouffement;
5. Les semis sont écrasés par le poids des feuilles qui s'accumulent sur eux. La présence de litière feuillue contribue à augmenter la proportion de sapin dans la régénération résineuse du peuplement car l'épinette blanche est plus délicate et est la première touchée par ces effets néfastes. La litière feuillue joue un rôle important dans le processus d'invasion des feuillus dans les peuplements mélangés, en favorisant la régénération feuillue au détriment de la régénération résineuse.

Comme la régénération de l'épinette blanche est souvent un processus graduel, influencé par la production de semences et par les conditions du lit de germination, une inspection de la régénération trois ans après la préparation du site devrait être considérée pour déterminer le potentiel du site **(Packee 1990).** S'il n'y a pas assez de semis, alors la régénération artificielle devrait être prise en considération **(Packee 1990).** Finalement, après 5 saisons de croissance, une dernière vérification devrait avoir lieu car le niveau de croissance des conifères se fait très rapidement soit cinq ans après avoir été perturbé. Par la suite, il se stabilise **(Packee 1990).**

I-7 Survie initiale des semis

Malgré que les semis d'épinette et du sapin soient semblables sur plusieurs aspects, l'épinette est plus faible, plus fragile et croît plus lentement durant la période d'établissement **(Koroleff 1954; Frank et Bjorkbom 1973).** Le nom de semis peut être donné lorsque l'épinette atteint 1 pouce (entre 20 et 28 mm) avec 3 à 8 cotylédons **(Dobbs 1972).** Le nombre de cotylédons est lié à la dimension de la semence. Le système racinaire est fin, peu abondant et en moyenne long de deux pouces (ne dépasse pas 3 pouces) **(Dobbs 1972).** Pour **Packee (1990),** il existe trois stades distincts lors du développement du semis d'épinette blanche. Le premier stade correspond à la semence germée de moins de 2 à 3 semaines **(Packee 1990)**. Aucun semis à ce stade n'est présent l'automne suivant la germination **(Packee 1990)**. Le second stade est caractérisé par une croissance lente, une absence de branche et une activité cambiale intermittente **(Packee 1990)**. Ce stade se prolonge durant 2 à 3 ans sur un sol minéral sous de bonnes conditions de lumière, 4 à 5 ans sur un site rempli de pantes compétitrices et 10 ans ou plus sur un tapis de mousse sous une forêt mature **(Packee 1990)**. Lors du troisième stade, la croissance se fait plus rapidement, avec une dominance apicale distincte, une production de cernes annuels régulière et une extension du système racinaire **(Packee 1990)**. Ce stade est le seul à pouvoir compétitionner avec la végétation concurrente **(Jacblanczy et Baskerville 1969 *in* Packee 1990).**

Les semences qui ont survécu aux rigueurs de l'hiver et aux attaques des prédateurs vont germer au printemps ou en été, en autant que la température (environ 55 à 75 F -- 12,7 à 23,8 C) et l'humidité soient adéquates **(Dobbs 1972).** L'époque de la germination a un rapport important avec la survie des semis **(Dobbs 1972)**. Ainsi, à Riding Montain au Manitoba, des semences germées en juin et juillet ont connu un taux de mortalité plus élevé que celles germées en août **(Dobbs 1972)**. Cependant, les pertes liées au gel du mois d'août étaient si élevées qu'au printemps suivant, leur nombre était beaucoup plus faible que celles germées en juin et même après quatre saisons de croissance, les semis germés en juin étaient beaucoup plus nombreux que ceux germés en juillet et encore plus nombreux par rapport à ceux germés en août **(Dobbs 1972)**. **Gilmour (1966)** note qu'il y a avantage à ensemencer au printemps des sites d'épinette blanche qui ont été scarifiés en hiver. Il ajoute que la régénération en épinette blanche est bonne après une forte production de cônes et lorsque le sol est perturbé en hiver par des travaux sylvicoles.

Après la germination, les semis sont particulièrement sensibles à un excès de chaleur au sol qui peut occasionner une coupure au niveau de la tige -- le cortex est tué à une température de 130F (54,4 °C) **(Dobbs 1972).** Le manque

d'ombre durant le milieu de la journée, la couleur foncée du sol et un sol sec sont des facteurs qui augmentent les effets négatifs causés par une forte chaleur **(Dobbs 1972).**

La survie des recrues dépend fortement de leur croissance initiale et plus particulièrement de leur taux de pénétration racinaire **(Dobbs 1972).** En effet, les racines des recrues doivent atteindre un apport d'eau stable dans le sol avant que les conditions climatiques estivales n'assèchent trop la surface **(Dobbs 1972)**. La hauteur de l'eau de surface peut avoir une influence importante dans l'établissement du semis, dans sa survie et sa croissance **(Dobbs 1972).** L'optimum de cette hauteur augmente avec l'âge du semis et le contenu en argile du sol **(Dobbs 1972).** Par contre, une humidité trop importante cause une mortalité aux jeunes semis, particulièrement ceux âgés d'un an qui ne tolèrent pas d'immersion prolongée (3 jours et demi à 14 jours) alors que ceux de deux ans sont déjà plus tolérants **(Dobbs 1972).** Un excès en eau prive les racines des semis d'oxygène et peut les faire pourrir, occasionnant sur les semis des lenticelles hypertrophiées appelées "racines verruqueuses" **(Dobbs 1972).**

Les gels tardifs et hâtifs causent une mortalité importante chez les semis, ce qui arrive plus fréquemment dans les dépressions et sur les aires d'ouverture des coupes **(Dobbs 1972).** Trois conditions peuvent aggraver les problèmes de gel : les sols déficients en matière organique avec un drainage très pauvre, une absence de litière et un fort gel lors de l'absence de la neige **(Dobbs 1972).**

I-8 Compétition

Une définition générale des mécanismes de la compétition inclut la prolifération des racines et l'exploitation du sol, le développement des rejets provenant de l'espace occupé, l'interception des radiations solaires et de la précipitation, et les effets nuisibles des autres plantes comme la sécrétion de substances toxiques ou l'asphyxie des semis par la litière **(Dobbs 1972).** Un grand nombre d'auteurs rencontrés s'accordent à dire que la végétation compétitrice est la cause principale du retard dans le développement de l'épinette blanche et même une cause de mortalité importante **(Eis 1967; Waldron 1969; Lees 1970; Dobbs 1972; Frank et Bjorkbom 1973; Hannah 1988; Raymond 1998). Dobbs (1972)** a même recensé 37 études faisant mention de ce cas. Lors des coupes totales, les plus grands compétiteurs des semis sont les fougères de l'aigle, les framboisiers et les rejets de feuillus qui croissent densément **(Frank et Bjorkbom 1973).** C'est lors de sa germination, la survie de ses semis et sa croissance que l'épinette blanche subit la forte compétition des bryophites, des herbes, des arbustes, des autres arbres et de leurs rejets pour l'utilisation de l'eau, des nutriments, de la lumière et de l'espace **(Dobbs 1972).** La reproduction végétative et la croissance initiale rapide donnent à plusieurs arbustes et feuillus un avantage considérable par rapport à leur compétiteurs conifériens **(Dobbs 1972).** Par contre, avec le temps, les conifères, avec leur plus grande stature et leur longévité supérieure, supplantent les autres végétaux **(Dobbs 1972).**

Schmidt (1961 *in* Dobbs 1972), Prochnau (1963 *in* Dobbs 1972), Eis (1967); Sims et Mueller-Dombois (1968) et Lees (1970) ont remarqué une mortalité importante de semis d'épinettes blanches sur des sites humides après une première saison de croissance, lors d'un envahissement important de broussailles et d'un fort gel. Une bonne croissance ne peut survenir que lorsque la compétition avec les broussailles est faible **(Dobbs 1972).** Cependant**, Sims et Mueller-Dombois (1968)** spécifient que sur des sites très humides, les semis d'épinette blanche développent un système racinaire latéral à la surface du sol leur permettant de compétitionner plus efficacement avec les autres végétaux, contrairement à ceux qui se développent sur un site où l'eau est située en profondeur. Par la suite, une fois que le semis a eu accès facilement à l'eau, il peut atteindre une profondeur qui lui permet de bien s'ancrer et d'utilliser l'eau de la nappe phréatique toujours disponible **(Sims et Mueller-Dombois 1968).**

Dans les sapinières, le développement initial du sapin baumier est plus rapide que l'épinette blanche à cause, entre autres, des différentes dimensions spécifiques des semences : le sapin baumier contient 60 000 semences à la livre (133 000 semences au kg) alors que l'épinette blanche en contient 240 000 (532 000 semences au kg) **(Place 1955).** Pour établir une comparaison, l'élongation des racines du sapin baumier sur 10 jours est de 1,87 pouces (4,7 cm) alors que pour l'épinette blanche, elle est de 1,26 pouces (3,15 cm) **(Dobbs 1972).** Cette comparaison permet de constater l'habileté du sapin baumier à s'établir sur un lit de germination organique, excluant ainsi la régénération en épinette **(Dobbs 1972).**

Pour Jarvis *et al.* (1966 *in* Dobbs 1972), les effets de la compétition sont difficiles à quantifier. Ils ont pu voir que 52 % des semis d'épinette blanche âgés de 2 à 3 ans poussant sur un lit de germination scarifié au Parc National de Riding Montain (Manitoba) sont morts autant des effets de la compétition des végétaux que de l'étouffement dû au feuillage du peuplier tremble.

Sutton (1971 *in* Dobbs 1972) a trouvé qu'après sept années de croissance, 36 % des plantations d'épinettes blanches sur des parcelles désherbées étaient plus grandes que celles qui subissaient l'influence des mauvaises herbes. De plus, il a noté une interaction entre le contrôle des mauvaises herbes et le type de sol. Le désherbage est particulièrement bénéfique pour les sols sableux peu fertiles **(Sutton 1971 *in* Dobbs 1972)**. Pour **Ackerman (1957 *in* Dobbs 1972) et Frank et Bjorkbom (1973),** le sapin et l'épinette blanche peuvent survivre plusieurs années à l'étouffement et cette dernière essence accroie sa germination et son taux de survie lors d'un dégagement sur un bon site.

Les grandes accumulations de litière feuillue nuisent aussi à l'établissement des semis résineux en faisant obstacle à la pénétration des racines dans le sol et en écrasant les jeunes pousses pendant l'hiver **(Koroleff 1954, Holt *et al.* 1965, Waldron 1969, Côté et Bélanger 1991 et DeLong *et al.* 1997).**

I-9 **Lumière** (voir tableau I-1)

Dobbs (1972) définie la tolérance comme l'habileté d'une essence à survivre sous beaucoup d'ombre. **Place (1955)** ouvre cette définition à l'habileté à survivre malgré une importante couverture et une compétition intense au niveau racinaire. L'épinette blanche est considérée comme une espèce tolérante **(Richardson 1970; Dobbs 1972; Frank et Bjrobom 1973)** alors que le sapin baumier serait une espèce très tolérante **(Dobbs 1972; Frank et Bjrobom 1973)**. **Stiell (1981),** considère plutôt l'épinette blanche comme une essence de tolérance intermédiaire à l'ombre puisqu'elle survit mieux et se développe plus rapidement à découvert.

La tolérance simple se trouve à être compliquée par le fait qu'il y ait variation selon l'âge et le site : les jeunes arbres tendent à être plus tolérants que les vieux et les arbres qui croissent sur des sols fertiles et sous un climat plus doux démontrent plus de tolérance que ceux qui croissent sous un environnement plus rude **(Dobbs 1972).**

Il est difficile de séparer les effets de l'intensité lumineuse, de la température et de la compétition sur la germination et la survie initiale des semis **(Dobbs 1972).** Ce dernier a recencé douze études démontrant que l'établissement de l'épinette blanche se faisait mieux sur des sites partiellement ombragés que sur ceux ouverts. Dans plusieurs cas, l'augmentation de la chaleur et la sécheresse ont provoqué une forte baisse des résultats et une mortalité **(Dobbs 1972). Farrar (1996)** mentionne qu'effectivement, les semis d'épinette blanche tolèrent bien l'ombre et qu'après avoir été en position dominée, ils reprennent une croissance vigoureuse lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Cependant, même si l'épinette blanche tolère bien l'ombre, elle connaît des difficultés de reproduction sous couvert et de ce fait, constitue une faible proportion du volume de la sapinière **(Harvey et Bergeron 1989; Nienstaedt et Zasada 1990; Raymond 1998).** Effectivement, trop d'ombre peut avoir un effet nuisible et il est certain que la lumière aide à la germination de l'épinette blanche **(Dobbs 1972). Waldron (1966 *in* Dobbs)** attribue un plus fort taux de survie de semis d'épinette blanche sous 15 % de couvert de peuplier tremble que sous 55 % de couverture. Ces données sont assez semblables à celles obtenues par **Vézina et Peck (1964 *in* Frank et Bjorkbom 1973)** : initialement, la lumière nécessaire pour l'établissement du jeune semis ne semble pas devoir excéder 10 % de la lumière totale. Ces chiffres sont inversés lors de la croissance en hauteur des semis: **Eis (1967)** a demontré que le taux de croissance en hauteur des semis sous 60 % de lumière est deux fois plus important que sous 20 % de lumière. Plus le semis se développe, plus il lui est nécessaire de recevoir au moins 50 % de lumière **(Frank et Bjorkbom 1973).** Ainsi, si durant deux à trois ans, les jeunes semis sont soumis à un couvert fortement ombragé (aussi peu que 12 % de lumière), ils meurent **(Place 1955).** Après une étude répartie sur 9 ans, **Logan (1969)** a aussi trouvé que la croissance maximale de l'épinette blanche est plus importante sous 45 à 100 % (presque sans distinction) de luminosité.

II. TRAVAUX SYLVICOLES

II-1 Approches sylvicoles et régénération

Dans les peuplements de sapinière où le sapin est sensible aux insectes et aux maladies, l'objectif devrait être de diminuer la proportion de sapin pour avantager l'épinette **(Frank et Bjorkbom 1973).** Y arriver peut être difficile car le sapin tend à accroître sa proportion dans les peuplements de seconde venue **(Frank et Bjorkbom 1973; Bélanger *et al.* 1989).** En général, l'épinette peut être soutenue dans un ratio à peu près égal au sapin mais seulement si une source de semences d'épinettes est maintenue **(Frank et Bjorkbom 1973).**

Dans son mémoire de maîtrise, **Raymond (1998)** décrit très bien la situation des peuplements de sapinières à bouleau blanc et la régénération en épinette blanche lors des années 1950-1960 et aujourd'hui. Ainsi, la régénération préétablie d'épinette blanche dans les années '50 et '60 était abondante **(Hatcher 1960, Webb 1961, McArthur 1963, Holt *et al.* 1965 et Vézina et Paillé 1969, Raymond 1998),** contrairement à celle d'aujourd'hui et particulièrement dans les sapinières de seconde venue après coupe, malgré la protection de la régénération et des sols (CPRS) lors des coupes **(Bélanger *et al.* 1989).** Ces derniers ont réalisé une étude à la forêt Montmorency qui révèle que près de 50 % des surfaces exploitées entre 1975 et 1983 n'ont pas été suffisament régénérées. De plus, cette diminution est plus importante dans les sapinières riches qui représentent pourtant les stations les plus productives du territoire **(Côté 1989).** En 1997, il a fallu faire des plantations d'épinettes blanches à la forêt Montmorency, travaux forts coûteux, pour maintenir des peuplements non régénérés **(Raymond 1998).** Pour ce dernier auteur, la proportion d'épinette blanche dans la sapinière à bouleau blanc est en diminution. Elle a pu constater que dans les inventaires forestiers de la forêt Montmorency, la proportion du volume sur pied en épinette blanche est aujourd'hui inférieure à ce qui est mentionné dans **Vézina et Paillé (1969).** Pourtant, il serait fort avantageux d'augmenter la présence d'épinettes blanches dans nos sapinières, non seulement pour garder sa spécificité écologique mais aussi pour diminuer la vulnérabilité des peuplements aux attaques de la tordeuse de bourgeons d'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) **(MacLean 1984 ; Gagnon et Chabot 1989 ; Raymond 1998).** De plus, dans l'industrie forestière, les propriétés physico-mécaniques de l'épinette blanche sont considérées plus intéressantes que celles du sapin **(Jessome 1977).**

La diminution de la régénération de l'épinette blanche dans les sapinières riches serait liée à la disparition de billes en décomposition et la récolte des peuplements plus jeunes **(Raymond 1998).** Ainsi, la régénération dans les sapinières de seconde venue devient problématique lorsque la coupe se fait vers 45 ou 50 ans **(Marchand 1989; Côté et Bélanger 1991).** D'autres auteurs se sont pourtant préoccupés de ce phénomène bien avant **(Hatcher 1969; Vézina 1971).** L'augmentation du pourcentage de sapin baumier dans les sapinières à bouleau blanc est accentuée par l'usage de la coupe totale et de la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), surtout lorsqu'on sait que la régénération préétablie du sapin est généralement plus abondante et se fait beaucoup plus facilement que celle de l'épinette blanche **(Hatcher 1960, Frisque *et al.* 1978).**

II-2 Préparation de terrain

En préparant le terrain, on privilégie un environnement favorable à la germination des graines, à l'établissement des semis et à leur croissance **(Lavoie 1995). Fox *et al.* (1984)** ont effectivement remarqué qu'en Alaska, les sites d'épinettes blanches n'arrivaient pas à se régénérer naturellement. L'exposition du sol minéral permet ainsi aux épinettes de mieux se régénérer à cause des températures et de l'humidité plus favorables **(Frank et Bjorkbom 1973)**. Lors des opérations de récolte, les coupes d'été devraient être privilégiées pour exposer le sol minéral et améliorer la croissance des semis d'épinette blanche **(Frank et Bjorkbom 1973; Hannah 1988).** La coupe finale devrait avoir lieu durant l'hiver de manière à protéger les semis **(Hannah 1988).** Toutefois, très peu de sol minéral est exposé durant les opérations de récolte, sauf dans les sentiers de débardage **(Frank et Bjorkbom 1973)**. De plus, les sites où il y a accumulation de déchets de coupe sont considérés comme les moins favorables pour le développement d'une nouvelle régénération et pour la survie des semis **(Frank et Putman 1972; Raymond 1998).** Ces déchets causent d'importantes mortalités pour les semis, probablement parce que l'humidité et la lumière ne pénètrent plus le sol **(Frank et Putman 1972).**

L'opération de scarification apporte plusieurs éléments de solution face à ces difficultés : ainsi, scarifier le sol crée des conditions avantageuses pour le lit de germination et l'établissement et la survie des semis de l'épinette blanche **(Place 1955; Quaite 1956; Frank et Bjorkbom 1973; Zasada 1990)** grâce au bouleversement de la matière organique **(Place 1955),** favorisant ainsi la mise en place rapide de l'épinette blanche sur les surfaces déboisées et la régénération lors des coupes progressives **(Place 1955; Lees 1963 ; Wagg 1964 ; Hughes 1967 ; Waldron 1969 ; Lees 1970 ; Fox *et al.* 1984 ; Packee 1990 ; Zasada 1990).**

Les effets de cette opération sont assez importants puisque **Lees (1963)** et **Packee (1990)** rapportent que le coefficient de distribution, la densité des semis et leur hauteur sont plus performants sur des lits de germination scarifiés que sur ceux qui ne l'ont pas été. De plus, lors d'une étude faite sur les effets de la scarification sur les semis résineux, **Hughes (1967)** a noté 10 fois plus de semis dans les bandes scarifiées que dans les bandes témoins. Cependant, après 4 à 6 années de croissance, les effets de la scarification sur horizons minéraux diminuent fortement **(Lees 1963; Lees 1970; Packee 1990).**

Frank et Bjorkbom (1973) mentionnent que la scarification devrait être faite avec une bonne profondeur de manière à mélanger les 2 à 3 premiers pouces (5 à 7,5 cm) du sol minéral et de l'humus. Des auteurs rapportent qu'il est préférable de scarifier durant les bonnes années semencières **(Quaite 1956; Lees 1963).** Si **Packee (1990)** n'a noté aucun problème d'érosion dans les parcelles scarifiées, **Quaite (1956)** a cependant observé que l'opération ne donne pas de très bons résultats sur les sites très humides**.**

La végétation compétitrice faisant de grands torts à la mise en place de l'épinette blanche, son éradication peut améliorer le taux de survie des semis **(Hughes 1967; Lavoie 1995; Packee 1990).** Par contre, trois ans après ce traitement, des sites stiués en Colombie-Britannique ne répondent plus favorablement à la régénération de l'épinette blanche **(Hughes 1967; Dobbs 1972).**

La croissance des semis d'épinette blanche est plus grande sur les superficies ayant subi une préparation de terrain par brûlage dirigé **(Wagg 1964).** Cependant, cette opération n'est pas toujours favorable à l'épinette blanche car la régénération et la survie des semis sont réduites sur ces superficies **(Wagg 1964; Dobbs 1972).** De plus, **Dobbs (1972)** a remarqué que la scarification par lames et le brûlage dirigé utilisés en Colombie-Britannique diminuent la fertilité des sols et ces carences en éléments nutritifs augmentent le taux de mortalité de l'épinette blanche.

II-3 Coupes totales

Le Gouvernement du Québec (1992) définie ainsi la coupe à blanc : coupe dans un peuplement de la totalité des arbres commercialisables ayant atteint les diamètres d'utilisation prévus. **Lavoie (1995)** ajoute qu'il y a une distinction à faire entre la coupe à blanc avec ou sans protection de la régénération et des sols (CPRS) car beaucoup d'études utilisées proviennent de l'époque où les CPRS ne se faisaient pas sur une grande échelle ou même avant que cette technique ne soit reconnue.

Des auteurs rapportent que lors des coupes, une bonne régénération des peuplements a un rapport direct avec le procédé d'exploitation **(Doucet 1988; Harvey 1989; Ruel 1989).** La régénération résineuse dans les sapinières de l'est du Canada étant déjà présente avant la coupe à blanc des peuplements **(Hatcher 1960, Frisque *et al.* 1978),** elle est très sensible aux effets des coupes et le principal problème de la régénération de l'épinette blanche dans les sapinières à bouleau blanc est justement lié à la destruction de la régénération préétablie après l'exploitation manuelle et mécanisée par coupe à blanc par arbres entiers **(Doucet 1988; Harvey 1989; Holt *et al.* 1965)**. Pourtant, par le passé, on a souvent utilisé la coupe totale comme moyen de récolte des peuplements murs de structure équienne **(Laflèche, 1998),** malgré le fait que dans les peuplements résineux, la proportion de sapin baumier augmente après une coupe à blanc **(Hatcher 1960, Holt *et al.* 1965)** et que l'épinette blanche se régénère mieux s'il n'y a pas eu de coupe totale (Alaska et forêt boréale canadiennne) **(Zasada 1990).** Pour ce dernier auteur, il est malheureux que ce dernier fait ait souvent été oublié.

Le succès de la régénération des peuplements en épinette blanche dépend aussi de l'état initial des lits de germination après coupe (**Fox *et al*. 1984)**. Ce succès est plus important si la coupe est faite par abattage directionnel avec utilisation de sentiers de débardage espacés **(Pominville 1993)**. Si la régénération est naturellement déficiente, la coupe totale n'a pas autant d'effets néfastes que sur les bonnes stations **(Ruel 1992).**

Une des raisons expliquant la mortalité importante des semis résineux lors des coupes totales est liée à l'enracinement superficiel des semis : l'ouverture radiale du couvert entraîne leur perte (**Jablanczy 1967 *in* Raymond 1998). Dobbs (1976)** mentionne qu'au nord de la Colombie-Britannique, une étude a démontré que la distance entre les arbres semenciers et les endroits à régénérer avaient un effet sur le nombre de semences atteignant le sol. Ainsi, pour une coupe à blanc par bandes d'une largeur de 200 mètres et une coupe à blanc de 400 ha, le nombre de semences d'épinettes blanches ayant atteint le sol diminuait à mesure que l'on s'avancait dans le terrain et ce, jusqu'à 100 mètres **(Dobbs 1976).** Pour la coupe par bande, 20 % des graines présentes sur les arbres semenciers se sont retrouvées au centre du couloir alors qu'à 300 mètres, il n'en restait plus que 3 % **(Dobbs 1976). Hughes (1967)** a démontré, dans des peuplements mixtes surannés au nord-ouest de l'Ontario, que des bandes dépassant 200 mètres étaient trop larges pour qu'un nombre de semences d'épinette et de sapin dispersées soit satisfaisant mais qu'une largeur de 120 mètres était convenable.

Lavoie (1995) mentionne que plusieurs auteurs observent qu'après une coupe à blanc, les peuplements purs d'épinettes blanches se transforment en pleuplements mixtes. Elle ajoute qu'il a été démontré au Manitoba et en Saskatchewan que la plupart des peuplements de conifères situés sur des sols allant du loam limoneux au loam sablo-argileux, en passant par loam argileux ayant subi une coupe à blanc par bandes orientées est-ouest et associés à une préparation de terrain, n'avaient pas obtenu une bonne régénération en épinette blanche et qu'ils avaient été convertis en peuplements mixtes. Cependant, avec le temps, de tels peuplements peuvent possiblement évoluer vers des peuplements d'épinette blanche **(Lavoie 1995).**

Raymond (1998) mentionne une étude réalisée au centre de l'Alaska dans des peuplements d'épinette blanche sur loam limoneux ayant subi des coupes à blanc et progressives et démontrant que l'effet combiné de plusieurs traitements et événements naturels avantagent la présence de l'épinette blanche. Ces résultats semblent résulter d'une bonne année semencière, de petites superficies affectées par les coupes et de la préparation du terrain. Étonnamment, même sur les sites non scarifiés, la régénération en épinette blanche était bonne, laissant croire que d'autres études sont nécessaires pour connaître les phénomènes agissant sur les peuplements d'épinettes blanches sur sols organiques .

II-3 Coupes progressives

Raymond (1998) a produit une revue de littérature très riche au sujet des procédés de régénération par coupes progressives et plusieurs autres auteurs ont fait des études pour connaître davantage les effets et les meilleurs techniques des coupes progressives. Cependant, rares sont les études faites sur ce système dans les forêts québécoises **(Raymond 1998)** mais le procédé a été utilisé dans le nord-est des États-Unis, au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse, dans les États des Grands-Lacs et en Europe continentale **(Hannah 1988).**

Un très grand nombre d'auteurs recommandent le système de régénération par coupes progressives lorsque le but visé est d'obtenir une régénération naturelle d'épinettes blanches **(Lees 1963; Vézina et Paillé 1969; Waldron 1969; Lees 1970; Frank et Bjorkbom 1973; Baldwin 1977; Childs et Flint 1987, Crcha *et al*. 1987, Youngblood 1990; Lavoie 1995; Raymond 1998)**.

Ce procédé de régénération possède plusieurs avantages :

1. Les peuplements équiennes sont régénérés par la source des semences des arbres résiduels **(Lees 1990; Hannah 1988, Doucet *et al*. 1996);**

2. Les sols et les semis sont protégés de la chaleur par les arbres restants en créant un ombrage partiel **(Holbo *et al*. 1985, Childs et Flint 1987, Lees 1990; Hannah, Doucet *et al*. 1996)** et en réduisant le stress hydrique subi par les semis **(Childs et Flint 1987);**

3. La composition du peuplement est contrôlée et la production est de qualité **(Baldwin 1977);**

4. Une ouverture du couvert est permise : ainsi, la régénération résineuse est suffisante et elle diminue la venue des feuillus intolérants **(Baldwin 1977.).** De plus, la quantité de lumière au sol étant supérieure, le processus de décomposition de la matière organique se fait plus rapidement et permet d'obtenir un lit de germination optimal en libérant les éléments nutritifs dans le sol **(Holt *et al*. 1965; Raymond 1998);**

5. Les arbres résiduels augmentent significativement en volume **(Baldwin 1977);**

6. La période d'attente est éliminée et la longueur de la révolution est raccourcie **(Raymond 1998);**

7. La création d'un paysage forestier acceptable est favorisée **(Raymond 1998);**

8. L'utilisation des pesticides en forêt est diminuée **(MRN 1994).**

Par contre, le principal problème occasionné par ce système concerne le sapin baumier présent dans la régénération issue de coupes progressives : il devient un fort compétiteur avec les autres espèces, dont l'épinette blanche; c'est pourquoi l'utilisation de mesures sylvicoles supplémentaires devient obligatoire **(Raymond 1998).**

Pour arriver à un système de régénération adéquat de l'épinette blanche par coupes progressives en forêt résineuse boréale, quatre types de coupes sont mentionnés **(Raymond 1998) :**

1. Coupe préparatoire
2. Coupe d'ensemencement
3. Coupe secondaire
4. Coupe finale

Le tableau suivant présente une synthèse des différents systèmes de régénération par coupes progressives trouvés dans la littérature :

Tableau II.1 Système de régénération par coupes progressives trouvés dans la littérature en forêt résineuse boréale **(Raymond 1998).**

Référence	Type de peuplement	Type de coupe			
		Préparatoire	Ensemencement	Secondaire	Finale
Jablanczy 1967	Épinette blanche	OUI	OUI	OUI	OUI
Baldwin 1977	Épinette et sapin baumier	NON	OUI	NON	OUI
Hannah 1988	Résineux	OUI	OUI	Facultatif	OUI
Doucet *et al.* 1996	Général	NON	OUI	Facultatif	OUI

La coupe préparatoire est rarement utilisée à moins que le peuplement soit très dense ou que le sol contienne beaucoup de matière organique**.** Cette dernière spécifie que 25 % du volume est récolté à la coupe d'ensemencement si l'on y a fait une coupe préparatoire, alors que 30 % est enlevé si aucune coupe préparatoire n'a été effectuée auparavant. La coupe préparatoire est répartie uniformément dans le peupelement alors qu'on coupe des bandes de largeur équivalente à la hauteur du peuplement dans la coupe d'ensemencement **(Raymond 1998).**

La coupe d'ensemencement vise à favoriser la fructification et à obtenir un éclairement au sol propice à la germination et à l'établissement des espèces désirées dans le futur peuplement **(Doucet *et al.* 1996).** Dix ans avant la récolte de la sapinière, on procède à la coupe d'ensemencement, c'est-à-dire vers 45 et 50 ans **(Holt *et al.* 1965 ; Raymond 1998).** Si la régénération est insuffisante 4 ans après la coupe d'ensemencement, une autre coupe est effectuée dans les bandes non coupées **(Raymond 1998).** Les coupes secondaires permettent de faire profiter de la lumière aux semis en récoltant les grands arbres, de récolter les semenciers affaiblis ou endommagés et de poursuivre l'installation des semis aux endroits où elle tarde **(Doucet *et al.* 1996).** Ces deux dernières coupes devraient être faites durant l'été de manière à retourner le sol **(Baldwin 1977, Hannah, 1988).**

La coupe finale d'un système de régénération par coupes progressives est particulièrement semblable à la coupe avec protection de la régénération (CPR) qui a été fréquemment utilisée au Québec **(Holt *et al.* 1965, Vézina et Paillé 1969, Nyland 1996, Smith *et al.* 1997).** Par contre, aucun auteur ne s'accorde pour donner un moment préférentiel à la coupe finale **(Raymond 1998)** mais l'hiver est souvent conseillé car la neige protège les jeunes semis **(Waldron 1969, Hannah 1988).**

Habituellement, on ne procède qu'à deux étapes du système de régénération par coupes progressives, c'est-à-dire la coupe d'ensemencement et la coupe finale**.** Les volumes récoltés sont variables mais souvent, ils ne dépassent pas 30 % car au-delà de ce chiffre, les risques de chablis deviennent importants. Lors de l'ouverture du peuplement, il est important de connaître la situation topographique et l'exposition des vents **(Raymond 1998**). Pour diminuer ces risques, **Zasada (1990)** suggère de conserver les arbres dominants et codominants vigoureux comme semenciers.

Raymond (1998) a relevé 7 auteurs donnant les mesures des surfaces terrières prélevées au moment de la coupe d'ensemencement :

Tableau 11.2 Surfaces terrières prélevées au moment de la coupe d'ensemencement **(Raymond 1998)**

Référence	Surface terrière prélevée (%)	Remarques
WESTVELD 1953	33-50	Uniforme
HATCHER 1961	<40	Lors d'une coupe partielle
JABLANCZY 1967	20-30	
CORRIVEAU 1971	25-30	Lors d'une coupe partielle
FRANK ET BJORKBOM 1973	30-50	Uniforme
BALDWIN 1977	40	
HANNAH 1988	30	

Scott Paper Company a régénéré plusieurs peuplements d'épinettes rouges/sapins en utilisant trois coupes progressives **(Hannah 1988).** À la première coupe, ils ont ôté 20 à 30 % du volume et quatre ans plus tard, pour la seconde coupe, 60 % du peuplement initial a été supprimé**.** La coupe finale a été faite quand les semis d'épinettes et de sapins ont atteint 5 à 10 pouces de hauteur**.** Le restant a été retiré en 5 à 10 ans, après une bonne année semencière **(Hannah 1988).**

Voici quelques suggestions pour permettre à l'épinette blanche de mieux s'établir lors de la coupe finale :

- La faire lorsqu'il y a un nombre suffisant de semis bien établis de 2 à 3 ans **(Waldron 1966; Baldwin 1977)** car ces derniers sont plus sensibles au soleil et au vent **(Baldwin 1977);**
- Les semis doivent avoir atteint un minimum de 18 cm et l'optimum est de 30 cm **(Bladwin 1977);**
- Les tiges de petites tailles (<30 cm) survivent mieux aux exploitations conventionnelles (l'est du Canada) **(Hatcher 1964; Frank et Putnam 1972**) et se développent plus rapidement que les sujets plus âgés et plus gros **(Hatcher 1964);**
- Si les semis sont encore en phase juvénile, des problèmes peuvent survenir, même si un peuplement comporte un coefficient de distribution et une densité de régénération suffisants **(Marchand 1989);**
- À l'approche de la maturité, la coupe favorisera l'épinette blanche, surtout si les arbres sont récoltés sur au moins trois fois la distance du diamètre de la cime de l'arbre qui est ôté **Frank et Bjorkbom (1973);**
- Lors des coupes par bandes, il ne faut pas dépasser 200 m de largeur (correspondant à une fois et demie la hauteur des arbres) et les faire rapprochées pour aider à la survie des semis **(Frank et Putnam 1972);**
- Il faut planter si la régénération naturelle est déficiente **(Lees 1963; Hughes 1967; Zasada 1990)**. Il est bon de se rappeler que les semis d'épinettes blanches ne réagissent pas toujours bien à l'ombre **(Raymond 1998).**

BIBLIOGRAPHIE

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.

BALDWIN, C. 1977. Regeneration following shelterwood cutting in a New Brunswick softwood stand. Canada Forestry Service, Dep. of fisheries and environment. 23 p.

BÉLANGER, L., P. BOULIANE et M. PINEAU. 1989. Problématique de la sapinière boréale de seconde venue : l'expérience de la forêt Montmorency, la forêt d'enseignement de l'université Laval. Dép. Sciences forestières, Fac. Foresterie et Géomatique, Univ. Laval. Colloque sur la sapinière boréale et son aménagement. 14 p.

BERTRAND, V. et H. BOLGHARI. 1970. L'effet d'une coupe d'éclaircie dans un peuplement dense d'épinette et de sapin baumier âgé de 45 ans au sud-est du Québec. Ministère des terres et forêts, Service de la recherche, Gouv. du Québec, 20 p.

BURNS, R.M. et B. HONKALA 1990. Silvics of North America. USDA, Washington, DC, Forest Service, Agriculture Handbook 654. Vol. 1. Conifers, p. 203-226.

CAUBOUE, M. *et al.* 1988. Choix des essences résineuses. Le reboisement au Québec. CERFO, MER, p. 26.

CÔTÉ, S. et L. BÉLANGER. 1991. Variations de la régénération préétablie dans les sapinières boréales en fonction de leurs caractéristiques écologiques. J. Can. Rech. For. vol. 21, N° 12, p. 1779-1795.

CROSSLEY, D.I. 1952. White spruce reproduction resulting from various methods of forest soil scarification. Dep. of resources and development, Canada. Silvicultural research note N° 102, 18 p.

DELONG, H.B., V.J. LIEFFERS and P.V. BLENIS. 1997. Microsite effects on first-year establishment and overwinter survival of white spruce in aspen-dominated boreal mixedwoods. Can. J. For. Res. 27: 1452-1457.

DOBBS, R.C. 1972. Regeneration of white and engelmann spruce. Canadian Forestry Service. A literature review from special reference to the British Columbia interior.

DOUCET, R. 1980. Régénération après coupe par bandes dans deux pessières de la station forestière de Parke. MER, Service de la recherche forestière, Gouv. du Québec, 24 p.

DOUCET, R. 1988. La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels au Québec. The Forestry Chronicle, avril, p. 116-120.

FOX, J.D. et al. 1984. Monte Carlo simulation of white spruce regeneration after logging in interior Alaska. Can. J. For. Res. 14: 617-622.

FRANK, R.M. et E.L. PUTNAM. 1972. Seedling Survival in Spruce-Fir After Mechanical Tree Harvesting in Strips. Northeastern Forest experiment station, Upper Darby, PA. USDA Forest Service Research paper NE-224, 16 p.

FRANK, R.M. and J.C. BJORKBOM. 1973. A Silvicultural Guide for spruce-fir in the Northeast. USDA, Forest Service General Techn. 29 p.

EIS, S. 1967. Establishment and early development of white spruce in the interior of British Colombia. For. Chronicle, june. p. 174-177.

FARRAR, J.L. 1996. Les arbres du Canada. Service canadien des forêts. 3 p.

GILMOUR, J.G. 1966. Winter Scarification and White Spruce Regeneration, Saskatchewan. For. Chronicle, 42 (2): 167-174.

HANNAH, P.R. 1988. The Shelterwood Method in Northeastern Forest Types : A Literature Review. Department of Forestry, School of Natural Resources, University of Vermont, Burlington, VT 05405, p. 70-77.

HARVEY, B. 1989. La régénération après coupe dans les sapinières sur les sites argileux de l'Abitibi. Unité de recherche et de développement forestier de l'Abitibi-Témiscamingue, U.Q.A.T. Fac. Foresterie et Géodésie, Univ. Laval, 21 p.

HATCHER, R.J. 1960. Croissance du sapin baumier après une coupe rase dans le Québec. Ministère du Nord canadien et des Ressources nationales, Dir. des forêts, Div. recherches sylvicoles, Mém. N° 87, 24 p.

HETT, M et O.L LOUCKS. 1968. Application of life-table analyses to tree seedlings in Quetico provincial Park. 4 p.

KABZEMS, R. et J.D. LOUSIER. 1992. Regeneration, Growth and Development of *Picea glauca* under *Populus* spp. Canopy in the Boreal White and Black Spruce Zone. Canada-British Columbia Partnership Agreement on Forest Resource Develpment FRDA II, B.C., 35 p.

KOROLEFF, A. 1988. Leaf litter as a killer. Director of Woodlands research, Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal. J. of Forestry 52 : 178-182.

LAVOIE, N. 1995. La régénération naturelle de l'épinette blanche à travers le Canada et l'Alaska. Fac. Foresterie et Géomatique, Univ. Laval, 30 p.

LEES, J.C. 1963. Partial Cutting with Scarification in Alberta Spruce-Aspen Stand. p. 5-18.

LEES, J.C. 1970. Natural regeneration of white spruce under spruce-aspen shelterwood, B-18a forest section, Alberta, 14 p.

LOGAN, K.T. 1969. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. IV. Black Spruce, White Spruce, Balsam Fir and Eastern White Cedar. Dep. of fisheries and forestry, Canadian Forestry Service publication, N° 1256, 12 p.

MACLEAN, D.A. 1984. Effect of Spruce Budworm Outbreaks on the Productivity and Stability of Balsam Fir Forests. The Forestry Chronicle, N° 60, p. 273-279

MACLEAN, D.W. 1960. Some Aspects of the Aspen-Birch-Spruce-Fir Type in Ontario. Dep. of Forestry, Forest Research Division, Technical notes N° 94, 20 p.

PACKEE, E.C. 1990. White Spruce Regeneration on a Blade-Scarified Alaskan Loess Soil. Agriculture and Forestry Experiment Station. Univ. Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK. p. 121-123.

PLACE, I.C.M. 1955. The Influence of Seed-Bed Conditions on the Regeneration of Spruce and Balsam Fir. Department of Northern Affairs and National Resources, Forestry Research Division, Forestry Branch Bulletin N° 117, 87 p.

PLAMONDON, A.P. et M.M. GRANDTNER. 1975. Microclimat estival d'une sapinière à hylocomium de la forêt Montmorency. Fac. Foresterie et Géodésie, Univ. Laval, p. 73-87.

POMINVILLE, P. 1993. Évolution quinquennale de la régénération protégée lors de récoltes par abattage manuel dans les sapinières. The Forestry Chronicle, octobre, vol. 69, N° 5, p. 569-578.

QUAITE, J. 1956. Survival of White Spruce Seedlings Resulting from Scarification in a Partially Cut Mixedwood Stand. Department of Northern Affairs an National Resources. Forestry Research Division, Technical note N° 44, 8 p.

RAYMOND, P. 1998. Efficacité du système de régénération par coupes progressives dans les sapinières boréales riches : résultats cinq ans après la coupe d'ensemencement. Dép. Sciences du bois et de la forêt, Fac. Foresterie et Géomatique, Univ. Laval, 188 p.

RICHARDSON, J. 1970. A Program for the Development of Regeneration Research in Newfoundland. Canadian Forestry Service, Dep. of Fisheries and Forestry, St-John's, Neufoundland, 6 p.

RUEL, J.C. 1989. Importance de la régénération préexistante dans les forêts publiques du Québec. Service de la recherche appliquée, MER, p. 345-359

RUEL, J.C. 1992. Impact de l'exploitation forestière mécanisée sur la régénération naturelle. Dép. Sciences forestières, Fac. Foresterie et Géomatique, Univ. Laval, 30 p.

SIMS, H.P. et D. MUELLER-DOMBOIS. 1968. Effect of Grass Competition and Depth to Water Table on Height Growth of Coniferous Tree Seedlings. Dep. of Forestry and Rural Development, Manitoba-Saskatchewan Region, Winnipeg. Ecology, vol. 21, N° 4: 597-603.

SUTTON, R.F. 1973. Silvics of white spruce [*Picea glauca* (Moench) Voss]. Dep. of fisheries and industry, Canada, 57 p.

TIMONEY, K.P. et A.L. ROBINSON. 1996. Old-growth white spruce and balsam poplar forests of the Peace River Lowlands, Wood Buffalo National Park, Canada : development, structure and diversity. Forest Ecology and Management, p. 179-196.

VEZINA, P.-E. et G. PAILLÉ. 1969. Aménagement intensif des sapinières mûres et surannées à la forêt Montmorency. Univ. Laval, 47 p.

VINCENT, A.B. 1959. Reproduction du sapin baumier et de l'épinette blanche dans le bassin hydrographique de la Rivière Verte. Ministère du Nord canadien et des Ressources nationales. Div. Rech. sylvicoles, Mém. technique N° 40, 29 p.

WALDRON, R.M. 1965. Cone production and seedfall in a mature white spruce stand. Forestry Chronicle, p. 316-327.

YANG, R.C. 1989. Growth Response of White Spruce to Release from Trembling Aspen. Northern Forestry Centre, Forestry Canada, Manitoba, 24 p.

YOUNGBLOOD, A. 1990. Effect of shelterwood removal methods on established regeneration in an Alaska white spruce stand. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Institute of Northern Forestry, Fairbanks, AK 99775-5500, USA, p.1378-1381.

ZASADA, J.C. 1972. Guidelines for Obtaining Natural Regeneration of White Spruce (*Picea glauca* (Moench Voss) in Alaska. Pacific Northwest Forest and Range Experimentation Stat. USDA, Portland, Oregon, 16 p.

ZASADA, J.C. 1990. An Alaskan perspective on regeneration of white spruce. Forestry Sciences Laboratory, USDA Forest Service, Corvallis, Oregon. Forest Industry Lecturer, Forestry Program, Fac. Agriculture and Forestry, Univ. Alberta, 43 p.

ZASADA, J.C. et R.A. GREGORY. 1969. Regeneration of White Spruce (*Picea glauca* (Moench Voss) with Reference to Interior Alaska. A Literature Review. USDA Forest Service Research Paper, Pacific Northwest Forest and Range Experimentation Station. Juneau, Alaska, 37 p.

ANNEXE 3

Photos

Peuplement avant le traitement

Jardinage par trouées

Coupe progressive par trouées

Coupe par parquet. Au fond, l'andain de résidus de coupe

Coupe par parquet avec semenciers

RÉCOLTE DE BOIS, DÉBARDAGE