

**VALUATION DE LA RÉGÉNÉRATION
DANS LE TERRITOIRE DÉTRUIT PAR
LE FEU N° 325 DE L'ÉTÉ 2002**



Rapport final

**EFFET DE L'ÂGE DES PEUPLEMENTS ET DE LA RÉCOLTE APRÈS FEU SUR LE
COEFFICIENT DE DISTRIBUTION ET LA DENSITÉ DE LA RÉGÉNÉRATION**

Par

**Damien Côté, biologiste
Direction régionale du Saguenay – Lac-Saint-Jean**

**Et
Denis Walsh, biologiste
Université du Québec à Chicoutimi**

Février 2008

NOTE AU LECTEUR

Ce rapport reprend en partie les informations colligées dans le premier rapport d'étape intitulé : « Effet de l'âge des peuplements et de la récolte après feu sur le coefficient de distribution et la densité de régénération » rédigé par M. Damien Côté, biologiste, de la Direction régionale du Saguenay–Lac-Saint-Jean du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. Dans ce rapport final, des analyses statistiques plus poussées ont été réalisées sur les données déjà présentées mais aussi sur des données de terrain qui ont été prises durant la saison d'inventaire 2005 mais qui n'ont pas été traitées dans le rapport d'étape no 1.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier M. Gervais Rheault pour sa collaboration à l'organisation du projet, ainsi que M^{me} Chantal Dubuc, MM. Claude Fréchette, David Pichette, Pierre-Luc Fortin, Martin Gagnon, Mathieu Poirier et Philippe Morneau pour la cueillette des informations sur le terrain.

L'auteur tient également à remercier M^{me} Nathalie Fantin pour la compilation des résultats, MM. Germain Savard et Réjean Gagnon qui ont bien voulu réviser ce manuscrit.

RÉSUMÉ

Au cours de l'automne 2005, le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Direction régionale du Saguenay–Lac-Saint-Jean, a réalisé un inventaire de régénération pour évaluer l'effet de la récolte et de l'âge des peuplements avant feu sur le coefficient de distribution et la densité de la régénération après perturbation, dans les peuplements dominés par l'épinette noire.

L'inventaire a été réalisé dans un territoire forestier d'environ 5 000 hectares situé à environ 200 km au nord-est de Chibougamau, ayant subi un incendie forestier au cours de l'été 2002.

Au total, 159 grappes de micro placettes ont été établies, réparties uniformément dans deux niveaux de perturbation, brûlé sans récolte et brûlé avec récolte. Dans chacun des niveaux de perturbation, les placettes étaient réparties dans quatre groupes d'âge des peuplements avant feu, soit 50, 70, 90 et 120 ans.

L'analyse des résultats de l'inventaire nous permet de constater une déficience du coefficient de la distribution de la régénération dans toutes les catégories inventoriées, le maximum observé étant de 47 %, toutes essences confondues, dans les peuplements brûlés et récoltés de 90 ans. On note également une tendance à l'amélioration du coefficient de distribution dans les peuplements brûlés et récoltés, par rapport aux peuplements brûlés non récoltés. Finalement, on remarque une tendance à l'augmentation du coefficient de distribution en fonction de l'âge. Les analyses statistiques n'indiquent toutefois pas de différence significative.

En fonction des résultats observés, il semble évident que la majorité des peuplements issus de cette perturbation présenteront une faible densité si aucun traitement sylvicole n'est réalisé pour en assurer la régénération adéquate.

TABLE DES MATIÈRES

Note au lecteur	1
Remerciements.....	2
Résumé.....	3
Table des matières.....	4
Liste des tableaux.....	5
Liste des figures	6
Introduction.....	7
Méthodologie	8
Territoire d'étude	8
Coefficient de distribution et densité de la régénération	9
Densité et surface terrière des tiges commerciales de DHP de 10 cm ou plus	9
Analyses statistiques	10
Résultats.....	10
Densité et surface terrière des peuplements.....	10
Coefficient de distribution de la régénération.....	11
Densité de la régénération.....	15
Composition initiale des peuplements et régénération après feu.....	18
Discussion.....	22
Conclusion	24
Références.....	25
Annexe 1 : Classes d'intensité du feu.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Répartition des grappes de placettes d'échantillonnage pour le calcul du coefficient de distribution et de la densité de la régénération en fonction des classes d'âge des peuplements et de leur récolte ou non après feu.....	10
Tableau 2. Analyse de variance de la densité et de la surface terrière des tiges commerciales des peuplements échantillonnés.....	12
Tableau 3. Moyennes de la densité et de la surface terrière des tiges commerciales des peuplements échantillonnés.....	12
Tableau 4. Analyse multivariée (MANOVA) du coefficient de distribution des semis d'épinette noire, de pin gris et du sapin baumier.....	15
Tableau 5. Analyse de variance (ANOVA) du coefficient de distribution du bouleau à papier.....	15
Tableau 6. Coefficient de distribution moyen de la régénération résineuse et feuillu en fonction de la récolte après feu et des classes d'âge des peuplements.....	16
Tableau 7. Tests du khi-deux comparant le pourcentage de peuplement régénérés (C.D. $\geq 60\%$) à ceux non régénérés (C.D. $< 60\%$) entre les peuplements récoltés ou non et des classes d'âge des peuplements.....	16
Tableau 8. Analyse multivariée (MANOVA) de la densité des semis d'épinette noire, de pin gris et du sapin baumier.....	18
Tableau 9. Tableau 5. Analyse de variance (ANOVA) de la densité de la régénération en bouleau à papier.....	19
Tableau 10. Densité moyenne de la régénération résineuse et feuillue en fonction de la récolte après feu et des classes d'âge des peuplements.....	19
Tableau 11. Analyses de variance (ANOVA) de l'effet du potentiel semencier sur le coefficient de distribution et la densité de la régénération en résineux; moyenne \pm erreur-type.	22
Tableau 12. Analyses de variance (ANOVA) de l'effet de l'intensité des feux sur le coefficient de distribution et la densité de la régénération en résineux; moyenne \pm erreur-type.....	23

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation de la zone d'échantillonnage.....	9
Figure 2. Coefficient de distribution des semis des différentes espèces dans les peuplements récoltés et non récoltés.....	13
Figure 3. Coefficient de distribution des résineux et des feuillus en fonction de l'âge des peuplements.....	14
Figure 4. Pourcentage de peuplements adéquatement régénérés (C.D. $\geq 60\%$) en fonction de la récolte ou non du peuplement après feu (A) et de leur classe d'âge (B).	16
Figure 5. Densité de la régénération résineuse et feuillue en fonction de la récolte après feu.....	17
Figure 6. Densités de la régénération en résineux ou en feuillus en fonction de l'âge des peuplements.	18
Figure 7. Relation entre le coefficient de distribution des semis d'épinette noire et la densité ou la surface terrière des peuplements. La zone ombrée correspond à l'intervalle de confiance à 95%.....	20
Figure 8. Relation entre le coefficient de distribution des semis de pin gris et la densité ou la surface terrière des peuplements. La zone ombrée correspond à l'intervalle de confiance à 95%.....	21
Figure 9. Relation entre la densité des semis de pin gris et la densité ou la surface terrière des peuplements. La zone ombrée correspond à l'intervalle de confiance à 95%.....	22

INTRODUCTION

Le territoire forestier des régions du Saguenay—Lac-Saint-Jean, de la Côte-Nord, de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec est dominé par la présence de grands massifs d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP). La présence de ces massifs est en fait la résultante de l'écologie de ces milieux où le feu est le facteur naturel le plus important dans le renouvellement de ces forêts.

De façon générale, on considère que l'épinette noire est une espèce bien adaptée à ce genre de perturbation. Dans des conditions idéales, la régénération de cette espèce s'établit massivement et rapidement après le passage d'un feu (Gagnon et Morin, 2001, Saint-Pierre, 1989, Saint-Pierre *et al.* 1991).

Malheureusement, les conditions n'étant pas toujours idéales, il arrive que l'on observe une déficience au niveau de la régénération de cette espèce, pour différentes raisons (Gagnon et Morin 2001, Lavoie et Sirois, 1998). Cette déficience de régénération peut conduire à un changement de composition du couvert forestier ou à une diminution de la densité du couvert, voire sa disparition (Côté, 2003 et 2004, Gagnon et Morin 2001, Lavoie et Sirois, 1998).

Au cours des dernières années, les régions mentionnées plus haut ont été touchées par des épisodes importants d'incendies forestiers. Le Saguenay—Lac-Saint-Jean Chibougamau/Chapais (Région 02-MRNF) ayant été particulièrement touché au cours des années 2002 et 2005. L'état actuel des connaissances sur la régénération après feu de l'épinette noire, nous indique qu'une partie des territoires dévastés par les incendies ne se régénérera pas ou présentera des déficiences de régénération si aucune intervention sylvicole n'est réalisée.

Dans le but de préciser les facteurs influençant l'établissement de la régénération et d'évaluer l'ampleur du problème, nous avons réalisé au cours de l'automne 2005, un inventaire de régénération sur une portion de territoire affectée par les feux de 2002. On considère que trois ans après le passage d'un incendie forestier, la majorité de la régénération est déjà installée (Gagnon et Morin, 2001, Saint-Pierre, 1989, Saint-Pierre *et al.* 1991). Plus spécifiquement, l'échantillonnage visait à évaluer l'effet des classes d'âge (cartographie forestière), et de la récolte sur la densité et la distribution de la régénération. En plus des objectifs précédents, nous avons recueilli de l'information sur la qualité des lits de germination, la disponibilité des semences au moment du feu, la surface terrière du peuplement initial et la densité du peuplement avant feu, de manière à pouvoir ultérieurement préciser l'analyse.

Les résultats de cette analyse devraient nous permettre de mieux planifier les activités sylvicoles à réaliser dans les secteurs incendiés, de manière à assurer une gestion durable du patrimoine forestier et, du même coup, assurer le maintien de la diversité biologique qui y est associée.

MÉTHODOLOGIE

Territoire d'étude

Le territoire étudié est situé dans une zone brûlée au cours de l'été 2002, à environ 200 km à vol d'oiseau au nord-est de Chibougamau. Plus précisément, la zone d'échantillonnage, d'une superficie d'environ 5 000 ha, est située entre le Lac-à-l'eau-Froide et le Lac-Témiskamie (figure 1). Certains de ces peuplements ont fait l'objet de récolte après feu au cours de l'automne 2002 et de l'hiver 2003. L'échantillonnage a été réalisé de manière à cibler les peuplements dominés par l'épinette noire et à répartir les grappes d'échantillonnage dans chacune des classes d'âge de l'inventaire (50, 70, 90 et 120 ans). Les strates échantillonnées se dénombrent ainsi : 3 EBB, 118 EE, 1 EME, 22 EPG et 15 ES.

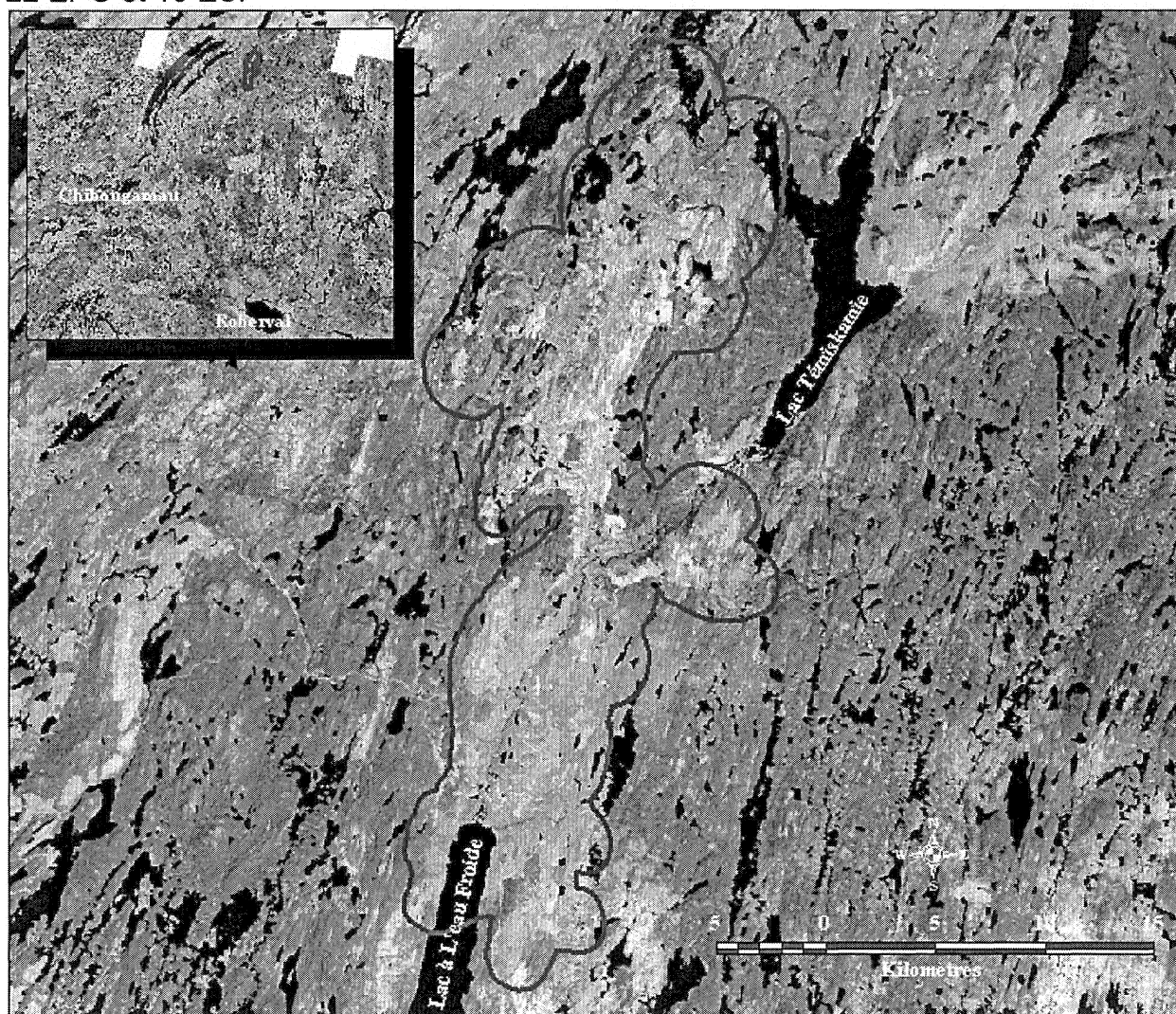


Figure 1. Localisation de la zone d'échantillonnage.

Coefficient de distribution et densité de la régénération

L'inventaire de la régénération a été réalisé en utilisant un plan de sondage par grappes de 10 placettes de 1,13 m de rayon équidistantes de 5 m (Ordre des Ingénieurs Forestiers du Québec, 1996). Le plan de sondage total a été préparé sur la base d'une grappe par 8 ha mais l'échantillonnage n'a été réalisé que sur 25 % des grappes pour un total de 159 grappes. Le coefficient de distribution (C.D.) a été calculé en pourcentage de placettes dans chaque grappe où on note la présence d'au moins un semis d'une essence commerciale. La densité de la régénération (nombre de semis par ha et par espèce) a été évaluée uniquement sur trois placettes de chaque grappe. Une évaluation de la qualité des lits de germination a été réalisée pour chacune des micro placettes établies, selon les quatre classes suivantes : M = Minéral; O = Organique; A = Autre; N = Non observé ou ne s'applique pas

L'échantillonnage a été précédé d'une pré stratification du territoire, de manière à cibler les peuplements dominés par l'épinette noire et à répartir les grappes d'échantillonnage dans chacune des classes d'âge de l'inventaire (50, 70, 90 et 120 ans). En plus de la division par classes d'âge, un deuxième niveau de stratification visant à évaluer l'effet de la récolte après feu a été réalisé. Ainsi, une première série de grappes couvrant les classes d'âge susmentionnées a été établie dans des peuplements ayant fait l'objet de récolte après feu, au cours de l'automne 2002 et de l'hiver 2003. Une deuxième série de grappes a été établie en périphérie des zones de récolte, dans des peuplements équivalents mais n'ayant pas fait l'objet de récolte après feu. Le tableau 1 montre la répartition des grappes entre peuplements récoltés ou non et leur classe d'âge.

Tableau 1. Répartition des grappes de placettes d'échantillonnage pour le calcul du coefficient de distribution et de la densité de la régénération en fonction des classes d'âge des peuplements et de leur récolte ou non après feu.

	50 ans	70 ans	90 ans	120 ans	Total
Non récolté	21	19	22	13	75
Récolté	20	21	22	21	84

Densité et surface terrière des tiges commerciales de DHP de 10 cm ou plus

Des informations sur le peuplement antérieur ont été recueillies par l'établissement de placettes circulaires de 11,28 m de rayon dans les secteurs récoltés ou de placette à rayon variable (prisme facteur 2) dans les secteurs non récoltés pour déterminer la densité et la surface terrière du peuplement avant feu. Une évaluation des gaules était également réalisée dans une sous placette de 3,57 m de rayon située au centre de la placette principale¹. Le potentiel semencier avant feu (peuplements non récoltés) a été évalué en estimant l'abondance de cônes en quatre classes : 1 = Absence de cônes; 2 = Quelques cônes sur quelques tiges; 3 = Petites masses de cônes sur la majorité des dominants; 4 = Grosse masse de cônes sur la majorité des tiges; N = Non observé ou ne s'applique pas. Lorsqu'une placette échantillon ou une grappe prévue au plan

¹ Ces données non pas été traités dans le présent rapport.

d'échantillonnage ne correspondait pas à l'élément recherché (type de peuplement, récolte, etc.) celle-ci était remplacée par une grappe résiduelle au plan de sondage total et correspondant aux spécifications. L'intensité du feu a été évaluée en six classes. La description de ces classes est présentée en annexe.

Analyses statistiques

Les coefficients de distribution moyen de la régénération en épinette noire, pin gris et sapin baumier des peuplements récoltés ou non et des différentes classes d'âge ont été comparés entre eux en utilisant une analyse multivariée (MANOVA) comprenant les facteurs récolte, âge et l'interaction récolte x âge. Les coefficients de distribution de la régénération en bouleau blanc (essence qui représente la grande majorité de la régénération feuillu) ont été comparés en utilisant une analyse de variance (ANOVA).

Le coefficient de distribution de la régénération de toutes les espèces a été divisé en deux groupes : peuplements adéquatement régénérés (C.D. $\geq 60\%$) et peuplement non régénérés (C.D. $< 60\%$). Les fréquences de ces deux classes ont été comparées en utilisant un test de Khi-deux pour évaluer les effets de la récolte ainsi que de l'âge des peuplements.

Les densités moyennes (semis/ha) de la régénération en épinette noire, pin gris et sapin baumier des peuplements récoltés ou non et des différentes classes d'âge ont été comparés entre eux en utilisant une analyse multivariée (MANOVA) comprenant les facteurs récolte, âge et l'interaction récolte x âge. Les valeurs de densité ont été transformées (racine carrée) avant l'analyse pour respecter la normalité et réduire l'impact des valeurs extrêmes (Tabachnick et Fidell, 2001). Les densités de la régénération en bouleau blanc ont été comparées par une analyse de variance (ANOVA) après transformations (racine carrée).

Des régressions linéaires ont été utilisées pour examiner les relations entre le coefficient de distribution et la densité des semis d'épinette noire ou de pin gris et la densité et la surface terrière en épinette noire ou pin gris des peuplements récoltés ou non. L'effet de l'abondance de cônes ainsi que l'intensité du feu sur le C.D. et la densité de la régénération en résineux ont été étudiés par l'analyse de variance. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel JMP® 07 (SAS Institute Inc., 2007). Les différences entre les moyennes sont jugées significativement différentes à $P \leq 0,05$.

RÉSULTATS

Densité et surface terrière des peuplements

L'analyse de variance du tableau 2 montre une différence significative ($P < 0,0001$) de la surface terrière en épinette noire entre les sites récoltés et ceux non récoltés. En moyenne, la surface terrière en épinette noire était de 14 m²/ha dans les sites non

récoltés comparativement à 22 m²/ha dans les sites qui ont été récoltés après feu. Dans le cas du pin gris, les différences ne sont pas significatives pour ces deux facteurs. Comme les autres espèces sont absentes de certaine combinaison récolte x âge, les analyses de variance n'ont pu être réalisées. Les peuplements étaient composés principalement d'épinettes noires et dans une moindre mesure de pins gris et de sapins baumiers (Tableau 3). Le mélèze laricin n'est présent que dans un seul peuplement non récolté âgé de 120 ans. Les peuplements qui ont été récoltés avaient une plus forte composante en feuillus comparativement aux peuplements non récoltés, le bouleau blanc en particulier dont la surface terrière pouvait atteindre 11 m²/ha dans certain cas (Tableau 3).

Tableau 2. Analyse de variance de la densité et de la surface terrière des tiges commerciales des peuplements échantillonnés.

Source	Épinette noire					Pin gris				
	d.l.	Densité		Surface terrière		d.l.	Densité		Surface terrière	
		F	P	F	P		F	P	F	P
Récolte	1	0,702	0,4036	20,686	<,0001	1	0,079	0,7807	0,211	0,6505
Âge	3	0,632	0,5958	1,228	0,3020	3	1,251	0,3144	1,630	0,2098
Récolte x Âge	3	0,225	0,8787	0,469	0,7043	3	0,141	0,9343	0,259	0,8540
Erreur	144					30				

Note : d.l., degré de liberté; F, rapport de F; P, probabilité.

Tableau 3. Moyennes de la densité et de la surface terrière des tiges commerciales des peuplements échantillonnés.

Récolte après feu	Espèce	Classes d'âge							
		50 ans		70 ans		90 ans		120 ans	
		Densité (tiges/ha)	S.T. (m ² /ha)	Densité (tiges/ha)	S.T. (m ² /ha)	Densité (tiges/ha)	S.T. (m ² /ha)	Densité (tiges/ha)	S.T. (m ² /ha)
Non récolté	EPN	1010	12	933	14	963	15	997	15
	PIG	43	1	256	5	323	8	445	10
	SAB	-	-	-	-	470	8	249	6
	MEL	-	-	-	-	-	-	119	6
	BOP	-	-	-	-	838	10	-	-
	PET	-	-	38	2	-	-	-	-
Récolté	EPN	1246	22	1021	18	969	25	951	22
	PIG	110	4	406	7	400	8	308	8
	SAB	-	-	158	3	128	2	145	3
	MEL	-	-	-	-	-	-	-	-
	BOP	163	3	131	1	335	6	700	11
	PET	75	1	25	1	-	-	50	1

Note : S.T., surface terrière; EPN, épinette noire; PIG, pin gris; SAB, sapin baumier; MEL, mélèze laricin; BOP, bouleau à papier; PET, peuplier faux-tremble.

Coefficient de distribution de la régénération

La régénération résineuse est principalement composée d'épinette noire et dans une moindre mesure de pin gris (Figure 2). La présence de sapin baumier n'est qu'épisodique dans certains peuplements qui ont été récoltés après feu. La présence

de feuillus est aussi marginale dans ces peuplements. La distribution du C.D. de la régénération résineuse diffère entre les peuplements non récoltés et récoltés. Dans ce dernier cas, la valeur médiane est plus élevée (40% comparativement à 30%) et les quantiles > 60% sont plus nombreux (Figure 2).

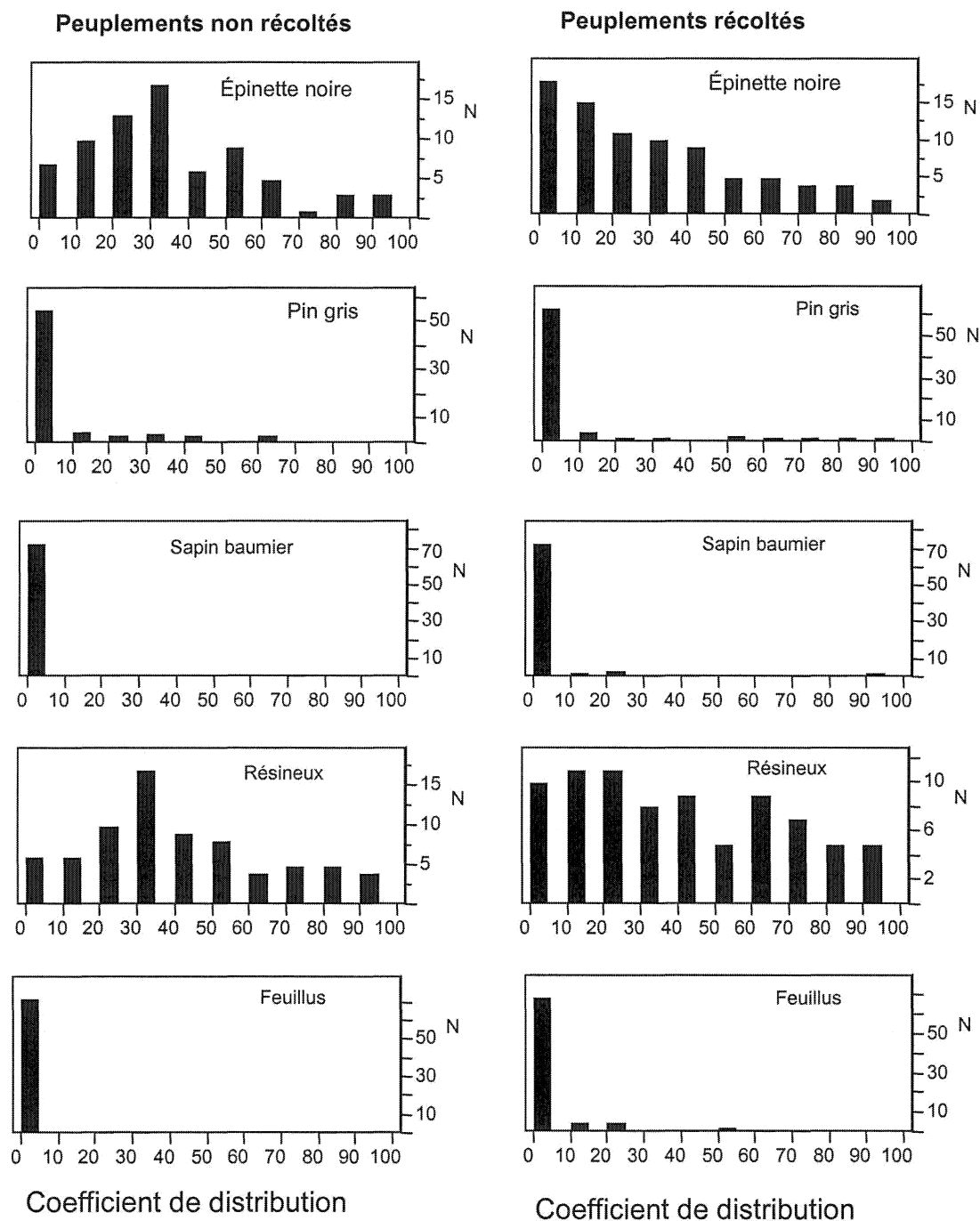


Figure 2. Coefficient de distribution des semis des différentes espèces dans les peuplements non récoltés et récoltés.

La figure 3 présente les coefficients de distribution de la régénération en résineux et en feuillus en fonction de l'âge des peuplements. Dans le cas des résineux, le C.D. médian est à peu près le même pour toutes les classes d'âge, soit 40-50%. Le pourcentage de peuplements où la régénération est absente (C.D. = 0%) est plus élevé pour les classes d'âge 50 et 70 ans, soit 10% des peuplements comparativement à seulement 2,5% pour les classes d'âge 90-120 ans. La présence de feuillus est marginale dans toutes les classes d'âge.

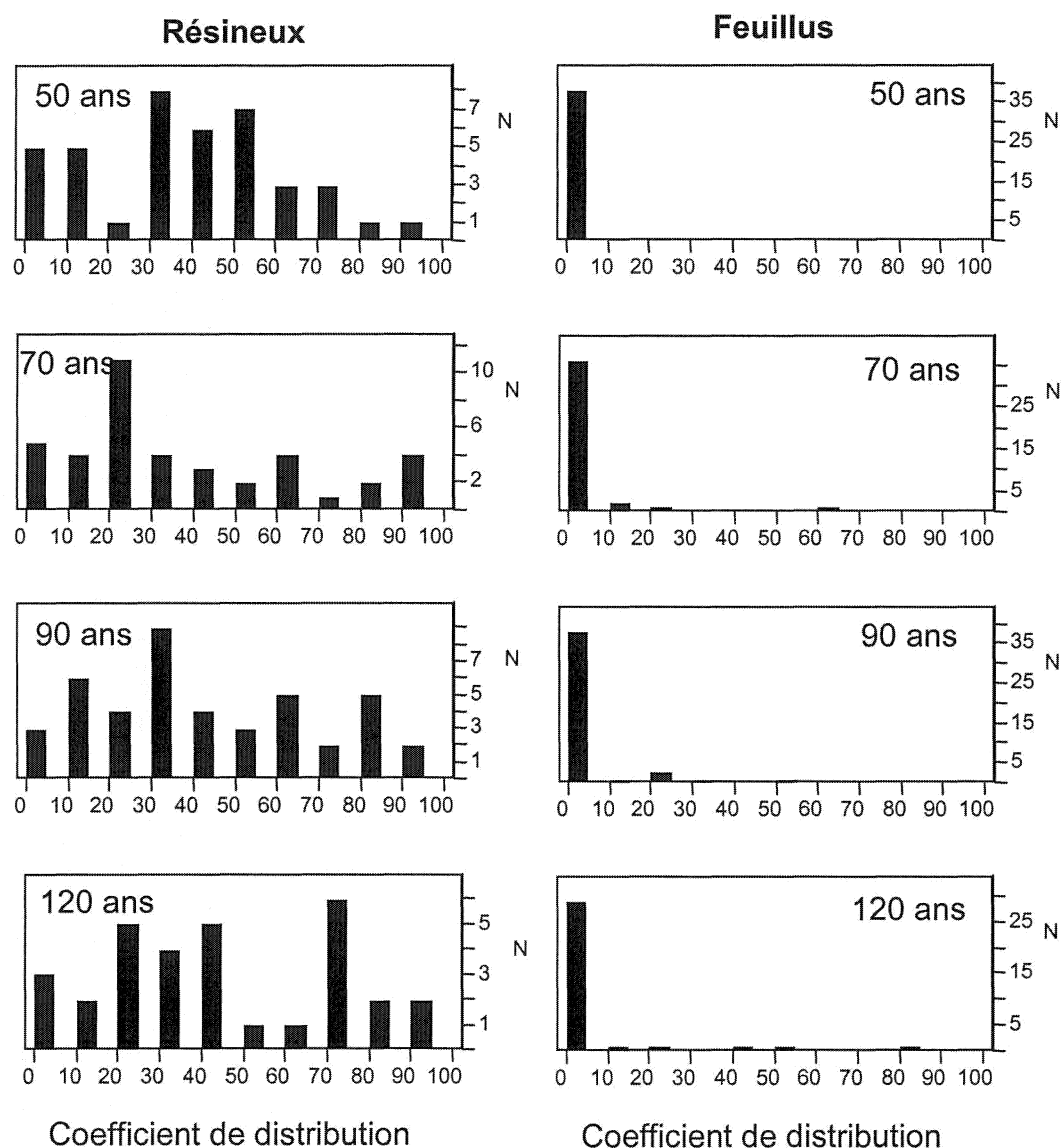


Figure 3. Coefficient de distribution des résineux et des feuillus en fonction de l'âge des peuplements.

L'analyse multivariée ne montre pas de différences significatives des C.D. moyens pour l'épinette noire, le pin gris et le sapin baumier (Tableau 4). L'analyse de variance ne montre pas non plus de différences significative des C.D. moyens de la régénération en bouleau à papier (Tableau 5).

Tableau 4. Analyse multivariée (MANOVA) du coefficient de distribution des semis d'épinette noire, de pin gris et du sapin baumier.

Source	d.l. num	d.l. dén.	Wilks' Lambda	F	P
Récolte	3	149	0,0486	2,4125	0,0691
Âge	9	362,78	0,9077	1,6362	0,1033
Récolte x Âge	9	362,78	0,9734	0,4491	0,9076

Note : d.l.num = degrés de liberté au numérateur; d.l.dén. = degrés de liberté au dénumérateur.

Tableau 5. Analyse de variance (ANOVA) du coefficient de distribution du bouleau à papier.

Source	d.l.	F	P
Récolte	1	1,95	0,1649
Âge	3	0,74	0,5284
Récolte x Âge	3	0,83	0,4815
Erreur	151		

De façon générale, la compilation des résultats de l'inventaire nous permet de constater un faible coefficient de distribution de la régénération dans toutes les catégories échantillonnées, le coefficient maximal observé étant de 53 % (pour toutes les espèces) dans la classe d'âge 120 ans dans les secteurs n'ayant pas fait l'objet de récolte alors que la moyenne, tout âges confondus, est de 40 % (Tableau 6). Pour ce qui est des aires brûlées et récoltées, le coefficient de distribution moyen, tout âges confondus est de 43 % avec un maximum de 47 % pour la classe d'âge 90 ans.

Les valeurs du coefficient de distribution ont été regroupées en deux classes puisque de façon générale, on considère que le niveau de régénération est adéquat lorsque le coefficient de distribution est supérieur ou égal à 60% (MRNFP, 2003). L'analyse statistique montre une différence significative ($P = 0,0119$) entre les peuplements non récoltés et ceux récoltés après feu (Tableau 7); 20% des peuplements non récoltés sont suffisamment régénérés comparativement à 38% des peuplements qui ont été récoltés après feu (Figure 4A). L'âge des peuplements n'a pas d'influence significative ($P = 0,1829$) sur le pourcentage de peuplements suffisamment régénérés (Tableau 7, Figure 4B).

Tableau 6. Coefficient de distribution moyen de la régénération résineuse et feuillu en fonction de la récolte après feu et des classes d'âge des peuplements.

Classes d'âge	Brûlé avec récolte				Brûlé sans récolte			
	Résineux		Feuillus	Total	Résineux		Feuillus	Total
	N	C.D. (%)	C.D. (%)	C.D. (%)	N	C.D. (%)	C.D. (%)	C.D. (%)
50	20	37 ± 25	5 ± 16	40 ± 27	21	40 ± 26	0 ± 0	40 ± 26
70	21	38 ± 32	5 ± 14	38 ± 32	19	34 ± 25	0 ± 0	34 ± 25
90	22	45 ± 29	5 ± 12	47 ± 29	22	39 ± 27	1 ± 6	39 ± 27
120	21	45 ± 35	5 ± 14	46 ± 36	13	51 ± 24	8 ± 22	53 ± 28
Moyenne		41	5	43		41	2	41

Tableau 7. Tests du khi-deux comparant le pourcentage de peuplement régénérés (C.D. $\geq 60\%$) à ceux non régénérés (C.D. $< 60\%$) entre les peuplements récoltés ou non et des classes d'âge des peuplements.

Source	d.l.	Khi-deux	P
Récolte	1	6,325	0,0119
Classe d'âge	3	4,852	0,1829

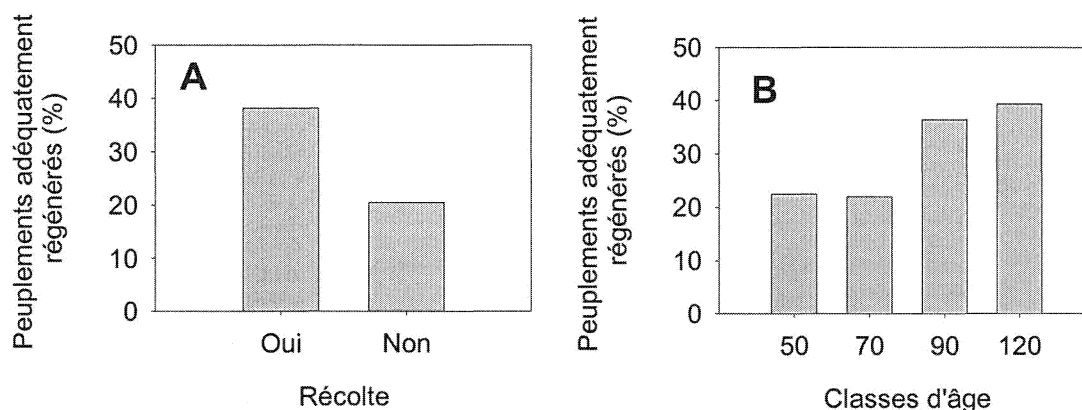


Figure 4. Pourcentage de peuplements adéquatement régénérés (C.D. $\geq 60\%$) en fonction de la récolte ou non du peuplement après feu (A) et de leur classe d'âge (B).

Densité de la régénération

La figure 5 montre l'impact de la récolte après feu sur la densité de la régénération. Les essences ont été regroupées en deux groupes, résineux et feuillus. Dans les peuplements non récoltés, la régénération résineuse est absente dans 10% des parcelles tandis que 25% des peuplements qui ont été récoltés n'ont aucune régénération résineuse. Les feuillus sont absents dans 90% des peuplements non récoltés et dans 75% des peuplements récoltés après feu.

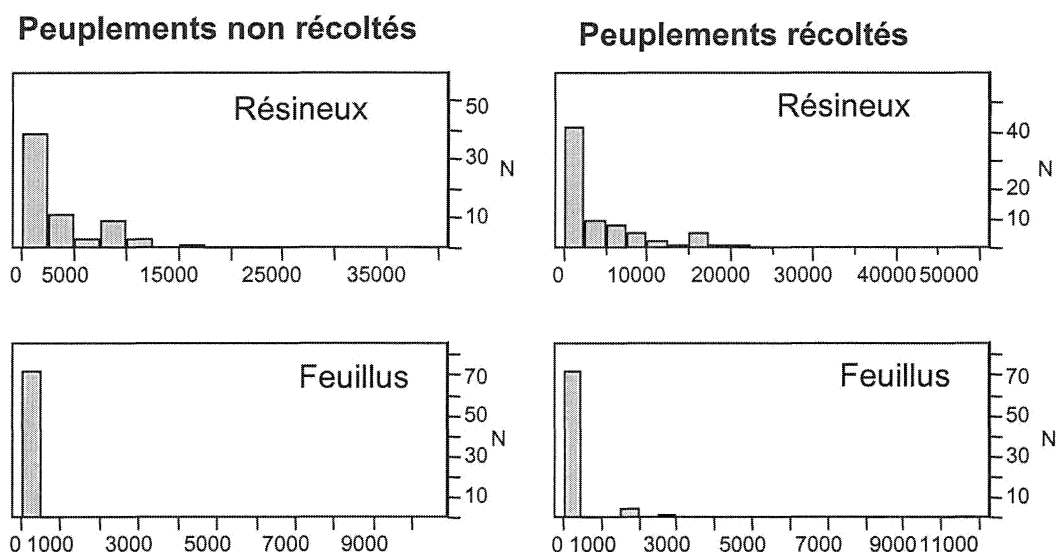


Figure 5. Densité de la régénération résineuse et feuillue en fonction de la récolte après feu.

La figure 6 montre la distribution des valeurs de densité de la régénération en résineux et en feuillus en fonction des classes d'âge des peuplements. Dans le cas de la régénération résineuse, les distributions sont assez semblables et montrent une grande étendue de valeurs, les densités de la régénération résineuse variant de 0 à 47 700 semis/ha. Cependant, le nombre de parcelles où la régénération est absente sont plus importantes dans les peuplements plus jeunes; 25% des parcelles 50 et 70 ans n'ont aucune régénération comparativement 10% pour les peuplements de 90 et 120 ans (Figure 6). Les valeurs médianes augmentent avec l'âge des peuplements passant de 800 semis/ha dans les peuplements de 50 ans à 3 330 semis/ha dans les peuplements de 120 ans. La régénération en feuillu est absente dans 75 à 90% des parcelles échantillonnées (Figure 6).

L'analyse multivariée ne montre pas d'effet significatif de la récolte ($P = 0,1621$) ni de l'âge des peuplements ($P = 0,2232$) sur la densité de la régénération en résineux (Tableau 8). De même, ces deux facteurs n'influencent pas significativement la régénération en feuillus (Tableau 9). Les densités moyennes sont présentées au tableau 10. La densité moyenne de la régénération résineuse est de 4 577 semis/ha dans les peuplements brûlés sans récolte et de 5 357 semis/ha avec récolte. L'augmentation de la densité de la régénération en résineux avec l'âge du peuplement n'est visible que dans les peuplements qui ont été récoltés après feu, la densité des peuplements de 120 ans étant trois fois plus élevée comparativement aux peuplements de 50 ans (Tableau 10). La très grande variabilité des valeurs de densité explique le fait qu'on ne peut pas déceler de différences significatives entre les différentes catégories.

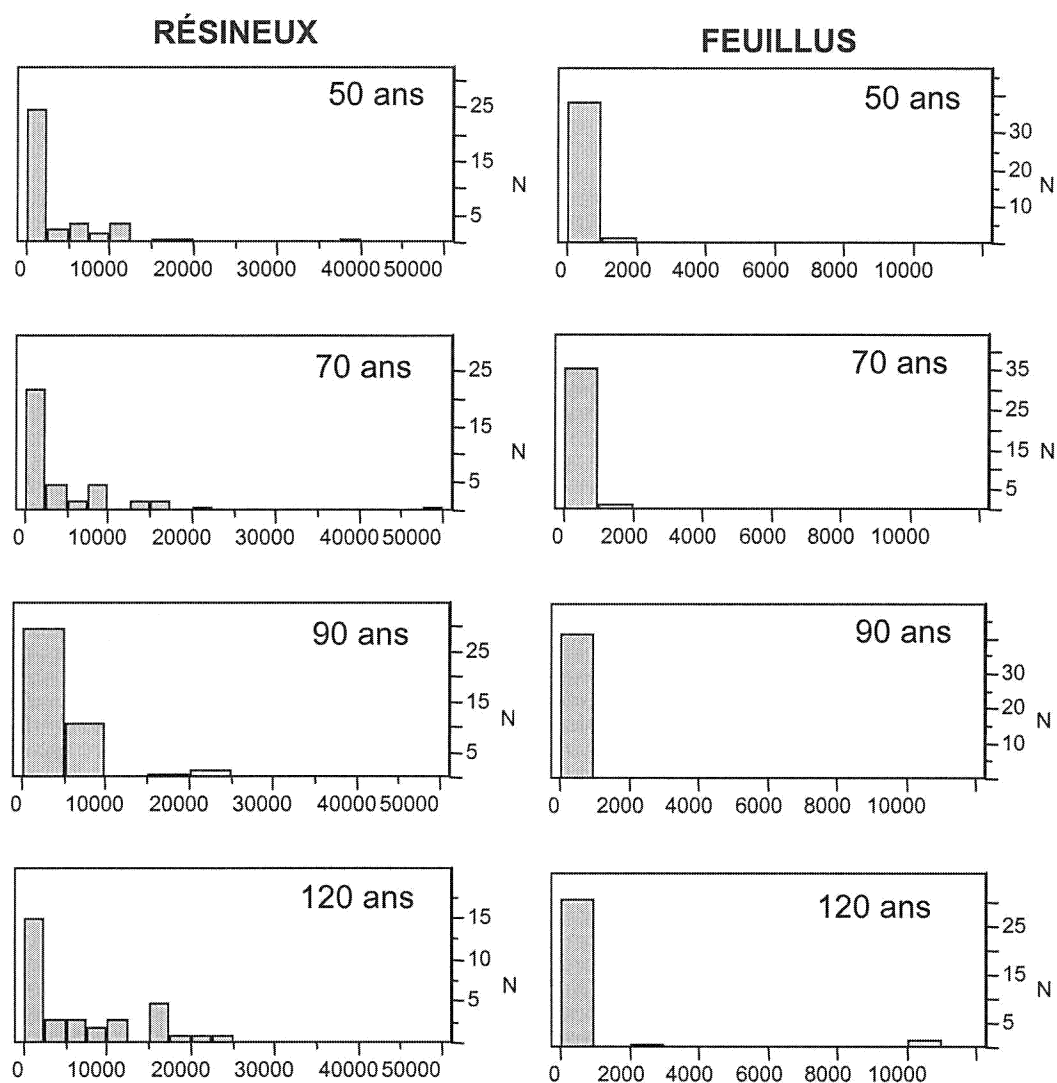


Figure 6. Densité de la régénération en résineux ou en feuillus en fonction de l'âge des peuplements.

Tableau 8. Analyse multivariée (MANOVA) de la densité des semis d'épinette noire, de pin gris et du sapin baumier.

Source	d.l. num.	d.l. dén.	Wilks' Lambda	F	P
Récolte	3	149	0,0349	1,7357	0,1621
Âge	9	362,78	0,924	1,3229	0,2232
Récolte x Âge	9	362,78	0,9605	0,6724	0,7340

Tableau 9. Tableau 5. Analyse de variance (ANOVA) de la densité de la régénération en bouleau à papier.

Source	d.l.	F	P
Récolte	1	0,0261	0,8718
Âge	3	0,9717	0,4078
Récolte x Âge	3	1,2522	0,2930
Erreur	151		

Tableau 10. Densité moyenne de la régénération résineuse et feuillue en fonction de la récolte après feu et des classes d'âge des peuplements.

		Brûlé avec récolte			Brûlé sans récolte		
		Résineux	Feuillus	Total	Résineux	Feuillus	Total
Classes d'âge	N	Densité (semis/ha)	Densité (semis/ha)	Densité (semis/ha)	N	Densité (semis/ha)	Densité (semis/ha)
50	20	2417 ± 3606	167 ± 513	2583 ± 3524	21	5913 ± 9249	0 ± 0
70	21	6706 ± 10997	675 ± 1893	7381 ± 12611	19	3465 ± 5040	0 ± 0
90	22	4811 ± 5400	606 ± 2317	5417 ± 6330	22	3788 ± 5325	0 ± 0
120	21	7381 ± 8487	595 ± 2223	7976 ± 8853	13	5385 ± 4914	833 ± 2764
Moyenne		5329	511	5839		4638	208
							4846

Composition initiale des peuplements et régénération après feu

La figure 7 montre les droites de régression entre la régénération après feu en épinette noire et la composition avant feu des peuplements. Seule, la relation entre le coefficient de distribution de la régénération en épinette noire et la surface terrière des peuplements récoltés est significative ($P = 0,01$); le C.D. augmente très légèrement en fonction de la surface terrière du peuplement. Les relations entre la densité de la régénération en épinette noire et la surface terrière ou la densité des peuplements ont aussi été étudiées mais aucune régression ne s'est avérée significative (résultats non présentés).

Dans le cas du pin gris, le coefficient de distribution de la régénération varie positivement en fonction de la surface terrière du peuplement qui ont été récoltés après feu ($P = 0,03$; Figure 8). La densité de la régénération en pin gris augmente linéairement en fonction de la densité ou de la surface terrière des peuplements qui ont été récoltés après feu ($P = 0,03$; Figure 9).

L'estimation de la disponibilité des semences selon quatre classes d'abondance de cônes n'a pas permis de trouver d'effet significatif ($P = 0,1372$) sur le coefficient de distribution ni la densité des semis (Tableau 11). De même, l'intensité de feux n'a pas eu d'effet significatif ($P = 0,8401$) sur ces deux variables (Tableau 12). L'évaluation de la qualité des lits de germination dans les microplacettes a montré que 99% des lits de germinations étaient de type organique.

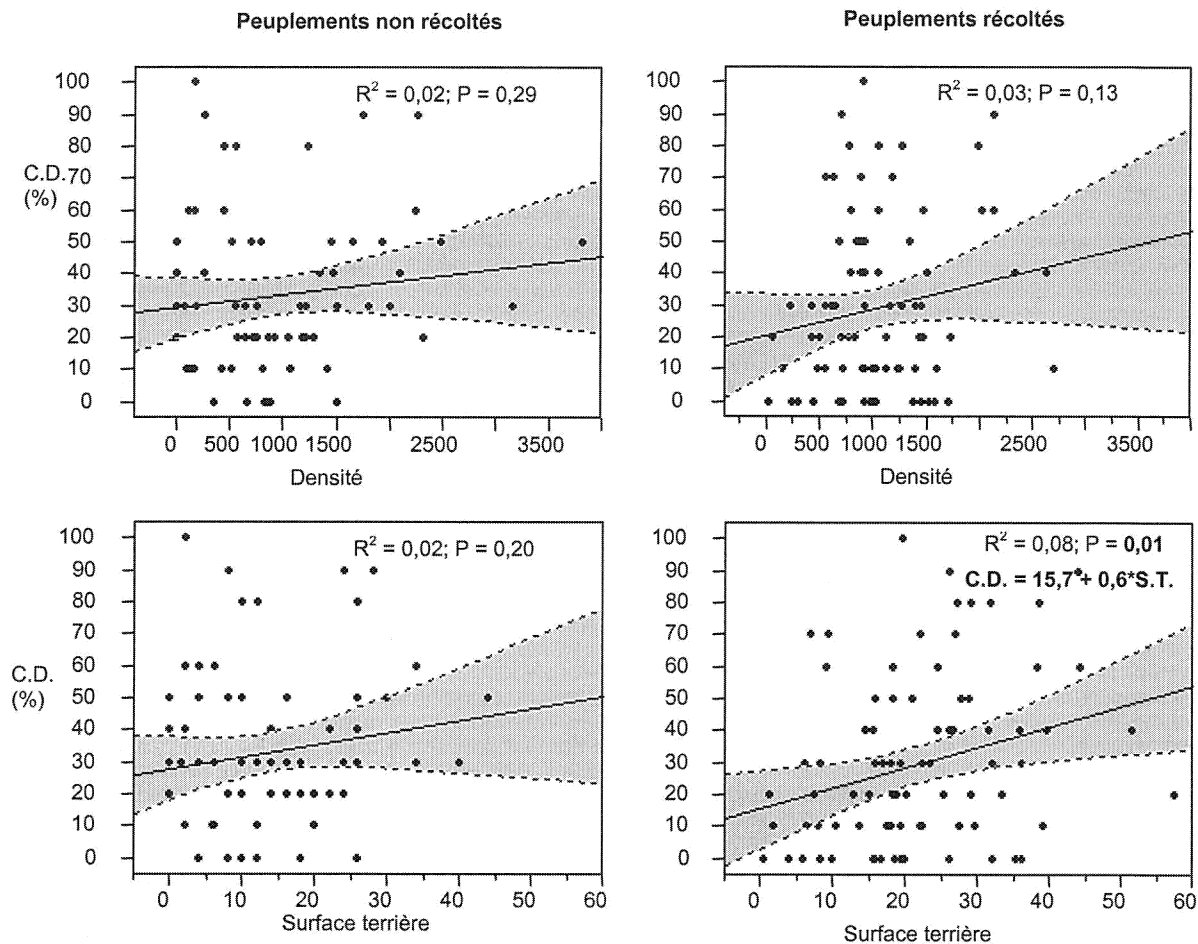


Figure 7. Relation entre le coefficient de distribution des semis d'épinette noire et la densité ou la surface terrière des peuplements. La zone ombrée correspond à l'intervalle de confiance à 95%.

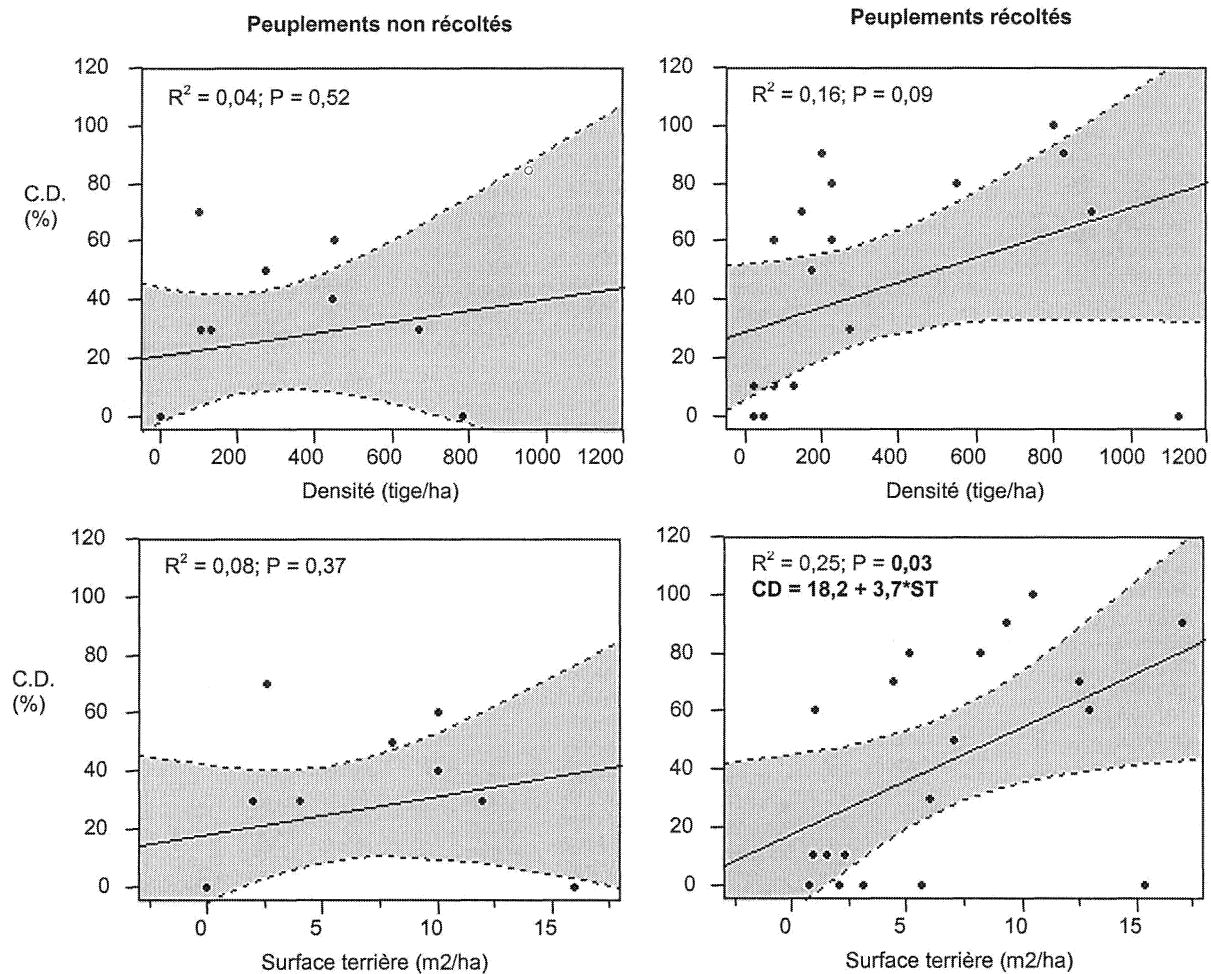


Figure 8. Relation entre le coefficient de distribution des semis de pin gris et la densité ou la surface terrière des peuplements. La zone ombrée correspond à l'intervalle de confiance à 95%.

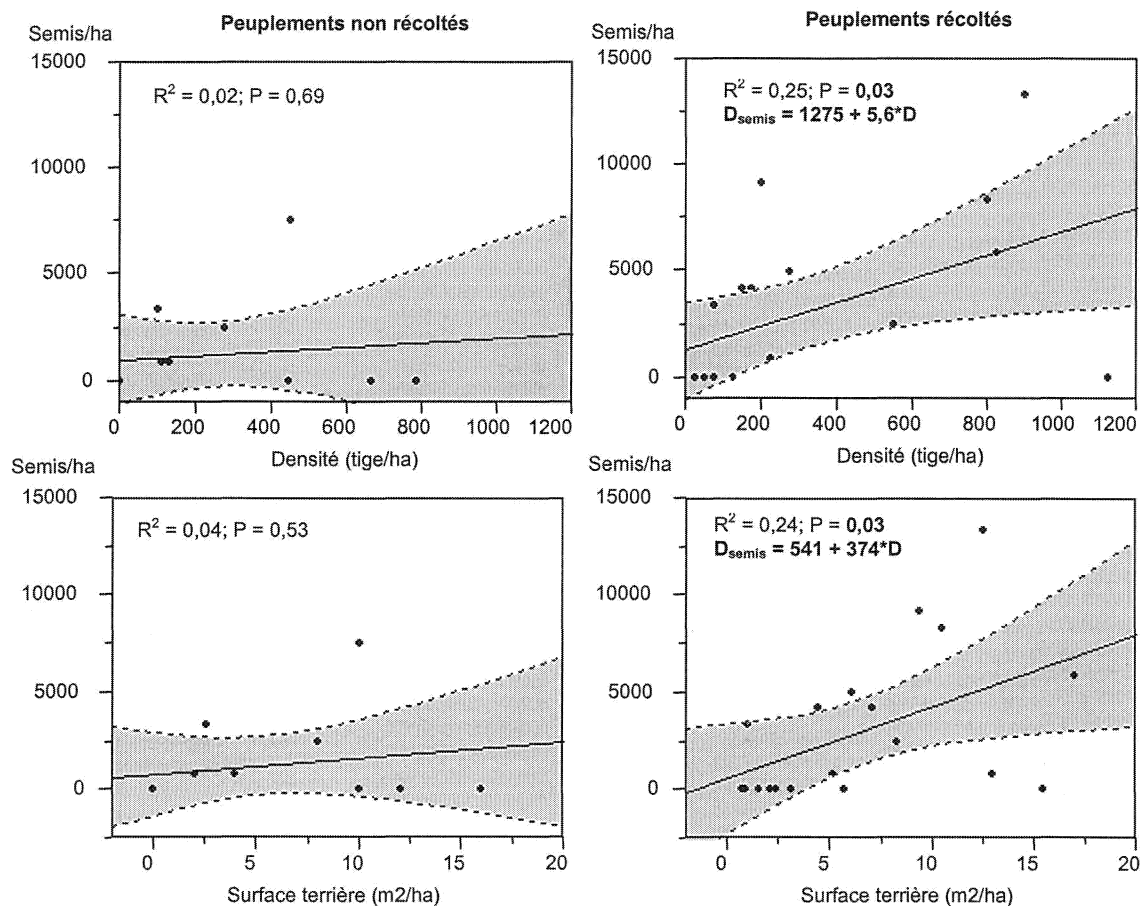


Figure 9. Relation entre la densité des semis de pin gris et la densité ou la surface terrière des peuplements. La zone ombrée correspond à l'intervalle de confiance à 95%.

Tableau 11. Analyses de variance (ANOVA) de l'effet du potentiel semencier sur le coefficient de distribution et la densité de la régénération en résineux; moyenne \pm erreur-type.

Source	d.l.	C.D.		Densité	
		F	P	F	P
Potentiel semencier	3	0,4917	0,6888	1,8819	0,1372
Erreur	104				

Catégorie	n	C.D. (%)	Densité (semis/ha)
Classe 1	7	24 \pm 9	4286 \pm 2499
Classe 2	39	34 \pm 4	5748 \pm 1059
Classe 3	29	30 \pm 5	1925 \pm 1228
Classe 4	33	28 \pm 4	3737 \pm 1151
Moyenne		30 \pm 6	4012 \pm 1484

Note : 1 = cône absent; 2 = quelques cônes sur quelques tiges; 3 = petites masses de cônes sur la majorité des dominants; 4 = grosse masse de cônes sur la majorité des tiges.

Tableau 12. Analyses de variance (ANOVA) de l'effet de l'intensité des feux sur le coefficient de distribution et la densité de la régénération en résineux; moyenne \pm erreur-type.

Source	d.l.	C.D.		Densité	
		F	P	F	P
Intensité du feu	4	0,4237	0,7914	0,3551	0,8401
Erreur	142				

Catégorie	n	C.D. (%)	Densité (semis/ha)
Classe V	2	35 \pm 20	1250 \pm 5004
Classe V1	67	38 \pm 3	4353 \pm 865
Classe 1V	15	43 \pm 7	6056 \pm 1827
Classe 2	61	42 \pm 4	5137 \pm 906
Classe 3	2	60 \pm 20	5833 \pm 5004
Moyenne		41 \pm 11	4830 \pm 2721

DISCUSSION

Les données d'échantillonnage recueillies dans les 159 grappes de micro parcelles montrent que la régénération est inadéquate pour assurer la venue de peuplement forestier fermé dominé par l'épinette noire. La dynamique naturelle de cette espèce est contrôlé presque entièrement par le feu, lequel provoque non seulement l'ouverture de ses cônes sérotineux, mais brûle aussi le sol forestier donnant ainsi des conditions favorables à l'établissement (germination, installation et croissance) des semis. L'inventaire a été réalisé ici trois ans après le passage du feu soit une période suffisante pour que la majorité des graines tombées au sol aient eu le temps de germer. Environ 95% des semis s'installent dans une courte période de temps, soit un à cinq ans après feu (St-Pierre *et al.*, 1992; Sirois, 1995). Lavoie et Sirois (1998) ont observé que le recrutement initial après feu de l'épinette noire et du pin gris varie atteint entre 56 % et 93% les trois premières années après feu. On peut donc prédire que ces peuplements denses qui ont brûlé évolueront vers des peuplements ouverts de type pessières à lichen.

Dans le domaine de la pessière fermée, de telles formations ouvertes se construisent naturellement suite à un régime de feux catastrophiques successifs associé à des épidémies d'insectes dans des peuplements fermés d'épinette noire (Payette *et al.*, 2000). Ou bien, le processus d'ouverture apparaît aussi lorsque les perturbations successives touchent un peuplement où la majorité des individus n'ont pas atteint leur maturité sexuelle (Gagnon *et al.*, 1999). Dans tous les cas, le nombre de tige par unité de surface diminue considérablement d'une perturbation à l'autre (Côté, 2004). Ces deux mécanismes ne jouent pas de rôles dans les mécanismes de régénération des peuplements étudiés; nous ne sommes pas en période épidémique et la majorité des peuplements appartenaient aux classes d'âge 50 ans et plus.

La densité initiale de semenciers ne semble pas être en cause pour expliquer la faible densité de la régénération. St-Pierre *et al.* (1991, 1992) ont mesuré une densité de régénération entre 13 000 et 23 000 semis/ha pour des peuplements dont la densité initiale avant feu variait de 1 300 à 1 500 tiges/ha. Dans les peuplements étudiés, la densité initiale en épinette noire variait autour de 1 000 tiges/ha tandis que la densité moyenne de la régénération ne dépassait pas 8 000 semis/ha (tableau 1 et 10). En plus, 98% des arbres portaient des cônes et dans 57% des cas, ceux-ci étaient abondants ou du moins présents sur la majorité des dominants (tableau 11).

Nous avons pu mettre en relation le fait que le coefficient de distribution de la régénération en épinette noire et en pin gris augmente linéairement avec la surface terrière des peuplements avant feu (Figures 7 et 8). Dans le cas de l'épinette noire, cette relation même si elle est statistiquement significative, n'explique qu'une très faible partie de la variation ($R^2 = 0,08$; Figure 7). Dans le cas du pin gris, cette relation est plus forte ($R^2 = 0,25$; Figure 8) et dans les deux cas, cette relation n'est significative que pour les peuplements récoltés après feu. Il faut noter cependant que la surface terrière moyenne en épinette noire des peuplements récoltés est significativement plus grande que celle des peuplements non récoltés, 13,6 m²/ha comparativement à 22,9 m²/ha (Tableau 2 et 3). Ces différences peuvent causer un biais qui est difficile à évaluer.

Dans le cas du feu no 325, les coupes de récupération ont favorisé la régénération en résineux, 38 % des peuplements récoltés sont suffisamment régénérés comparativement à 20 % seulement dans les peuplements non récoltés (Figure 4). Il est important de mentionner que la récolte des peuplements affectés par cet incendie a été réalisée en hiver. Une récolte en période estivale, en raison d'un niveau de perturbation du sol plus important, entraînerait possiblement une accentuation de ce phénomène en augmentant les surfaces occupées par le sol minéral. D'après Purdon *et al.* (2002), les coupes de récupération estivale ont pour effet d'exposer effectivement le sol minéral, mais ce dernier n'est pas davantage utilisé comme lit de germination, la récolte de bois réduisant la qualité de ces lits qui présentent des carences probablement reliées aux conditions d'humidité et de température du sol.

Le sol minéral est considéré comme un lit de germination favorable à l'installation de l'épinette noire et du pin gris même s'il est peu abondant (Jayen *et al.*, 2006). Filion et Morin (1996) ont observé que les semis d'épinette noire installés après feu sont surtout associés aux microsites colonisés par la sphaigne ou le polytrichum mais pas aux humus calcinés. Dans l'inventaire du feu no 325, les relevés sur la nature des microsites dans les parcelles d'échantillonnage n'étaient pas assez détaillés pour expliquer les variations dans la densité de la régénération, notamment l'épaisseur de la matière organique. St-Pierre *et al.* (1991) ont montré que la présence des semis après feu est fortement corrélée avec l'épaisseur de la matière organique après feu; la densité des semis d'épinette noire est très faible lorsque l'épaisseur de la matière organique résiduelle au sol dépasse 2 cm, 4 dans le cas du pin gris. La longueur de l'hypocotyle est proportionnel à la masse de la graine ce qui favorise le pin gris qui peut échapper à la dessiccation estivale (Greene *et al.*, 1999). Les semis se regroupent autour de la base des arbres brûlés, là où la matière organique est la plus mince (Greene *et al.*,

2007; Filion et Morin, 1996). Greene *et al.* (2007) explique ce patron de dispersion par le fait que la perte d'énergie en chaleur latente autour des arbres cause une augmentation de la consommation de la couche organique autour des troncs.

Ni le coefficient de distribution ou la densité de la régénération ne semble corrélés avec la variabilité de l'intensité du feu no 325 (Tableau 12). Jayen *et al.* (2006) ont montré que le succès de la régénération de l'épinette noire et du pin gris est supérieur dans les surface où le feu est sévère; les feux très sévères résultent en une forte densité de régénération en épinette noire et en pin gris et une réduction de l'épaisseur de la matière organique exposant le sol minéral, résultant en une amélioration des lits de germination. Des méthodes paléo écologiques ont montré que les peuplements qui tirent leur origine de feux peu sévère sont caractérisés par une faible régénération et une canopée ouverte tout au long de la succession (Lecomte, M. Simard, et Y. Bergeron, 2006)

CONCLUSION

L'analyse des résultats de l'inventaire réalisé dans le cadre de ce projet nous a permis de constater que la grande majorité des peuplements affectés par cet incendie présentent une déficience de régénération, peu importe les classes d'âge ou le niveau de perturbation. À cet effet, on considère généralement la régénération comme adéquate lorsque le coefficient de distribution est supérieur ou égal à 60 %.

Même si les analyses statistiques ne révèlent pas de différence significative, on observe une légère augmentation du coefficient de distribution et une augmentation plus marquée de la densité des essences résineuses lorsqu'une récolte est réalisée après le passage du feu. Il est également plausible de penser que cet effet serait amplifié si la récolte avait été réalisée en l'absence de couvert nival, une récolte estivale entraînant une plus grande perturbation du sol et par conséquent une augmentation de la proportion de lits de germination propices.

À la lumière des résultats obtenus, il nous apparaît évident que la grande majorité des peuplements résultants de cette perturbation présenteront une déficience en termes de densité et de coefficient de distribution si aucune intervention sylvicole n'est réalisée.

Les résultats observés nous permettent également d'anticiper une problématique similaire pour les territoires ayant subi des incendies au cours de l'été 2005, ces feux ayant sévi dans des conditions écologiques et climatiques similaires et à celles qui prévalaient lors des feux de 2002.

En plus des éléments susmentionnés, il appert que le fait de pratiquer la récolte dans les superficies dévastées par les incendies permet de développer les accès et de diminuer la quantité de déchets ligneux sur le terrain, facilitant ainsi la remise en production de ces milieux. En plus, nos données montrent une augmentation légère mais significative du pourcentage de peuplements adéquatement régénérés suite à la récolte après feu. Le développement des accès rendra également possible la remise

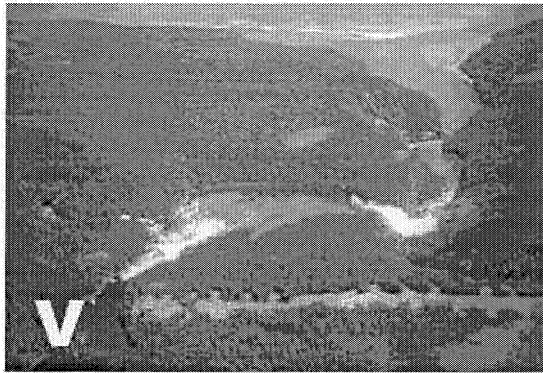
en production des peuplements jeunes ayant été dévastés par le feu, peuplements pour lesquels les chances de régénération sont à peu près nulles.

RÉFÉRENCES

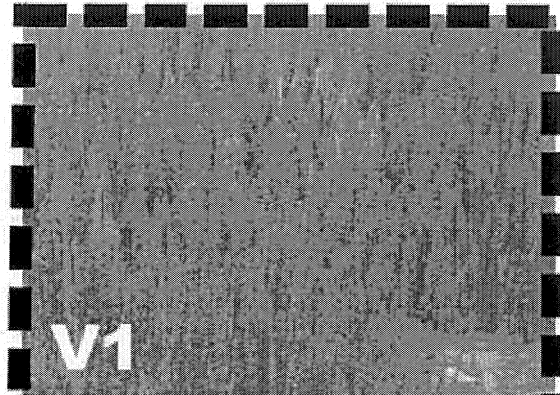
- Côté, D., 2003. Expansion des milieux ouverts à lichens dans le domaine de la pessière à mousses, p. 175 à 190. *Dans* : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière, P. Grondin et A. Cimon, éditeurs. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier.
- Côté, D., 2004. Mise en place d'une pessière à cladonies dans le domaine des forêts fermées d'épinette noire (*Picea mariana*) et potentiel pour la production forestière. Chicoutimi, Mémoire de Maîtrise, UQAC. 106 P.
- Filion, J., et H. Morin 1996. Distribution spatiale de la régénération de l'épinette noire 8 ans après feu en forêt boréale (Québec). *Canadian Journal of Forest Research* 26 : 601-610.
- Gagnon, R. Morin, H. Lord, D. Krause, C. Potvin, J. Savard, G. Cloutier, S. 1999. Nouvelles connaissances sur la dynamique naturelle des forêts d'épinette noire au Québec L'Aubelle, 10 :13,22.
- Gagnon, R. et H. Morin, 2001. Les forêts d'épinette noire du Québec : dynamique, perturbations et biodiversité. *Le Naturaliste Canadien*. 125-3 : 26-35.
- Greene, D.F., J.C. Zasada, L. Sirois, D. Kneeshaw, H. Morin, I. Charron, et M.-J. Simard 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 824-839..
- Greene, D.F., S.E. Macdonald, S. Haeussier, S. Domenicano, J. Noel, K. Jayen, I. Charron, S. Gauthier, S. Hunt., E.T. Gielau, Y. Bergeron, et L. Swift 2007. The reduction of organic-layer depth by wildfire in the North American boreal forest and its effect on tree recruitment by seed. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 1012-1023.
- Jayen, K., A. Leduc, et Y. Bergeron 2006. Effect of fire severity on regeneration success in the boreal forest of northwest Québec, Canada. *Écoscience* 13(2): 143-151.
- Lavoie, L. et L. Sirois, 1998. Vegetation changes caused by recent fires in the northern boreal forest of eastern Canada. *J. Veg. Sci.* 9 : 483-492.
- Lecomte, N., M. Simard, et Y. Bergeron 2006. Effects of fire severity and initial tree composition on structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada *Écoscience* 13(2) 152-163.
- MRNFP, 2003. Manuel d'aménagement forestier, 4^e édition. Gouvernement du Québec.

- Ordre des Ingénieurs Forestiers du Québec 1996. Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec.
- Purdon, M., J. Noel, A. Nappi, P. Drapeau, B. Harvey, S. Brais, Y. Bergeron, S. Gauthier, et D. Greene. 2002. L'impact des coupes de récupération après feu en forêt boréale: leçons d'Abitibi. Chaire AFD, 4^{ème} Note de recherche. 8 p.
- SAS Institute Inc. 2007. Statistics and graphics guide. SAS Campus Drive. Cary, NC 27513.
- Sirois, L. 1995. Initial phase of postfire forest regeneration in two lichen woodlands of northern Quebec. *Écoscience* 2: 177-183.
- St-Pierre, H., 1989. Régénération après feu du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et de l'épinette noire (*Picea mariana* Mill. BSP) dans la forêt boréale, Lac Desautels, réserve faunique Ashuapmushuan, Québec. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 52 p.
- St-Pierre, H., R. Gagnon, et P. Bellefleur, 1991. Distribution spatiale de la régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du pin gris (*Pinus banksiana*) dans la forêt boréale, Réserve faunique Ashuapmushuan, Québec. *Can. J. Bot.* 69 : 717-721.
- St-Pierre, H., R. Gagnon, et P. Bellefleur 1992. Régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du pin gris (*Pinus banksiana*) dans la forêt boréale, Québec. *Canadian Journal of Forest Research* 22 : 474-481.
- Tabachnick, B.G., et L.S. Fidell 2001. Using multivariate statistics, Fourth Edition. Allyn and Bacon, Boston.

ANNEXE 1 : CLASSES D'INTENSITÉ DU FEU.



Arbres verts (pas touchés par le feu)

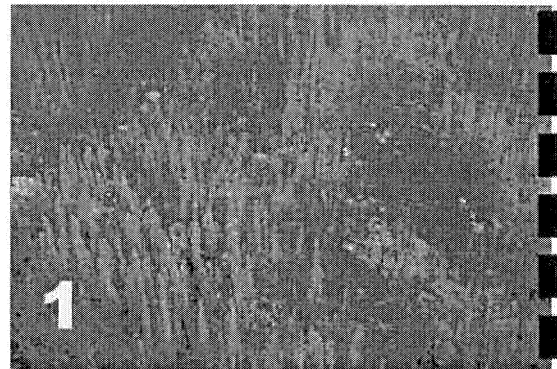


Mélange d'arbres verts et d'arbres avec la cime rougie.
Les arbres verts sont plus nombreux.

RÉCUPÉRABLE



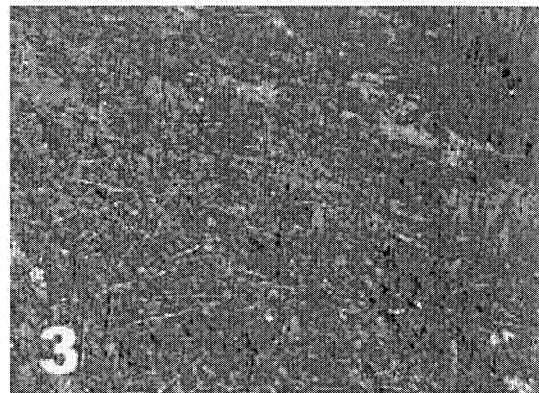
Mélange d'arbres avec la cime rougie et d'arbres verts. Les arbres avec la cime rougie sont plus nombreux.



Arbres avec la cime rougie (feu de cime) et généralement moins de 25% de châblis.



Arbres noircis avec cime brûlée et généralement moins de 40% de châblis.



Arbres noircis avec la cime brûlée et généralement plus de 40% de châblis.
Souvent l'écorce est décollée.
Aucune récupération à prévoir dans cette classe.