

CHAPITRE I

LITS DE GERMINATION APRÈS FEU ET COUPE DE RÉCUPÉRATION

1.1 INTRODUCTION

En zone boréale nord, on observe généralement une accumulation de matière organique au sol avec le vieillissement des peuplements, ce qui a pour effet de créer des conditions difficiles pour l'établissement par graines, notamment des espèces arborescentes (Bonan et Shugart 1989). Une épaisse couche organique est effectivement reconnue comme étant un mauvais lit de germination pour les graines dispersées (Rowe et Scotter 1973, Chrosciewicz 1974, Thomas et Wein 1985*b*, Zasada *et al.* 1987, Schimmel et Granström 1996). Selon Bonan et Shugart (1989), une couche de mousse de plus de 5 à 8 cm d'épaisseur pourrait même empêcher la régénération, notamment à cause de mauvaises relations d'humidités (Farrar et Fraser 1953, Zasada *et al.* 1983, Thomas et Wein 1985*c*), soit une trop grande rapidité de rétention d'eau et de sécheresse ainsi qu'un fort potentiel hydrique, ce qui diminuerait globalement la stabilité de la disponibilité en eau. La présence de sphaignes et de mousses hypnacées nuirait aussi à la croissance des semis à cause d'une faible disponibilité des éléments nutritifs (Bonan et Shugart 1989) et de la croissance des mousses elles-mêmes qui font ombrage et engouffrent les semis (Bonan et Shugart 1989, Groot 1996). L'établissement d'une couche de lichen dans les peuplements résineux âgés pourrait aussi constituer une barrière physique à la croissance des racines des semis, réduisant notamment la germination et la croissance de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP; Morneau et Payette 1989, Sirois et Payette 1989). La présence d'une couche de litière inhiberait la germination et la croissance (Ahlgren

et Ahlgren 1960). De plus, une compétition pour les ressources (Jäderlund *et al.* 1997) ainsi que la possibilité de certains effets allélopathiques (Mallik 1989) par les éricacées pourraient empêcher la régénération par graines.

Le passage du feu dans de tels écosystèmes permet alors à la fois d'ouvrir les cônes des espèces sérotineuses et de créer des lits de germination qui seront favorables à l'installation de la régénération (Black et Bliss 1980). Les incendies qui se déclarent en forêt boréale sont généralement de forte intensité et qualifiés de feux de couronne (Van Wagner 1983). Cependant, lors d'un feu donné, la combustion ne se fera pas avec la même sévérité dans toute l'aire incendiée. La matière organique au sol va agir comme isolant à la pénétration de la chaleur durant le feu (Mallik et Gimingham 1985) et être consumée par rayonnement à des degrés variables suite au passage du front (Methven *et al.* 1975, Weber *et al.* 1987). Cette variabilité de combustion pourra être influencée par la température initiale du sol, le type de végétation brûlée et la quantité de combustibles (Ahlgren et Ahlgren 1960, Wells *et al.* 1979, Ohmann et Grigal 1981), la température du feu (Zasada *et al.* 1987) ainsi que par l'humidité du sol (Van Wagner 1972, Frandsen 1987, Weber *et al.* 1987). La saison d'incendie pourra aussi entrer en ligne de compte : au printemps, les sols sont généralement plus frais et plus humides, ce qui peut freiner sur la combustion (Ohmann et Grigal 1981). La microtopographie ainsi que les caractéristiques du vent pourront également faire varier l'intensité de l'incendie dans l'espace et dans le temps.

Les types de substrats retrouvés après feu ainsi que l'épaisseur résiduelle de couverture morte peuvent différer grandement sur de petites distances (Methven *et al.* 1975, Zasada *et al.* 1987, Zasada *et al.* 1992). La diversité de sites potentiels peut ainsi permettre une diversité de niches de régénération pour les espèces (Grubb 1977). Malgré cela, il existe des différences entre l'efficacité de germination et de survie sur différents substrats car les espèces ne possèdent pas toutes la même habileté à utiliser la panoplie de substrats disponibles (Zasada *et al.* 1983, Ohlson et Zackrisson 1992).

L'environnement des microsites à l'échelle de quelques centimètres peut en effet déterminer la germination et la croissance des individus, et ce facteur pourrait gouverner les changements en composition dans les communautés végétales (Harper 1977).

Le degré de combustion de la couche organique serait un bon indicateur des impacts biologiques du feu au sol (Van Wagner 1983) et la variabilité de cette combustion pourrait être un facteur important dans les processus de colonisation après feu (Rowe 1983, Johnson 1992, Schimmel et Granström 1996). Schimmel et Granström (1996) ont révélé, pour les espèces à dispersion de graines, une relation positive directe entre la profondeur brûlée et le succès initial d'établissement. Cette réduction de la profondeur de la couverture morte par le feu serait essentielle à la régénération avec succès de plusieurs espèces, dont le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.; Chrosciewicz 1974, Abrams et Dickmann 1982, Payette 1992). L'épinette noire aurait également un meilleur établissement et une meilleure croissance sur des sites brûlés modérément à sévèrement (Zasada *et al.* 1992). En réduisant l'épaisseur de matière organique, les semis se retrouvent alors plus près d'un approvisionnement constant en eau par les couches organiques inférieures mieux décomposées et le sol minéral sous-jacent, ce qui augmente leur chance de survie (Ahlgren et Ahlgren 1960, Chrosciewicz 1974, Thomas et Wein 1985*b*). Les conditions d'humidité au sol constitueraient de ce fait un facteur déterminant pour la germination et la croissance des semis (Foster 1985, Thomas et Wein 1985*c*, Kenkel 1986).

La coupe de récupération des bois incendiés, par le passage de la machinerie, provoque une seconde perturbation, notamment au niveau du sol. L'éventualité d'une seconde réduction de l'épaisseur de la matière organique résiduelle et d'une plus forte exposition du sol minéral pourrait améliorer les conditions des lits de germination. Cependant, l'orniérage et le compactage possibles des sentiers de débardage pourraient également provoquer des impacts négatifs sur la productivité des sols, notamment des

argiles (Brais et Camiré 1998). Aussi, l'exposition directe des parterres de coupe pourrait emmener un stress hydrique important, le sol ayant déjà été noirci par le feu, assécher la sphaigne et nuire à la reprise forestière (Vincent 1965).

À la suite d'un feu de printemps en zone boréale nord au Québec, nous avons voulu évaluer les lits de germination disponibles et utilisés par la régénération résineuse en pin gris et en épinette noire. La caractérisation des substrats a été réalisée dans 36 parcelles non récupérées réparties selon 3 compositions de peuplements (feuillu, mixte, résineux) et selon 3 sévérités de feu (léger, modéré, sévère). Selon la littérature, les semis de résineux devraient s'installer sur des lits de germination caractérisés par une faible épaisseur de couverture morte résiduelle, les lits de sol minéral et de sol organique mince (Oh) étant préférés. De même, ces semis devraient tendre à s'installer à proximité des troncs, où il y aurait une meilleure combustion du sol, ainsi qu'aux endroits moins ombragés (Kiil 1970, Thomas et Wein 1985*a*). Parallèlement, une caractérisation des substrats disponibles et utilisés a été réalisée dans 24 parcelles installées dans les coupes de récupération adjacentes aux secteurs non récupérés. On a ainsi pu évaluer l'impact de cette deuxième perturbation sur la disponibilité des substrats et comparer l'utilisation des lits de germination entre les deux perturbations.

1.2 TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le territoire soutenant les sites d'étude est situé près de Val-Paradis (figure 1.1), au nord-ouest du Québec, dans la région de l'Abitibi. Val-Paradis (49°09'N – 79°17'O) est une petite municipalité d'environ 350 habitants qui fait partie de la Municipalité de la Baie-James. Elle se situe à près de 50 km au nord de La Sarre et à environ 15 km à l'est de la frontière ontarienne.

Le socle rocheux sous-jacent fait partie de la province tectonique du Lac-Supérieur du bouclier canadien. Il est formé en grande partie de roches magmatiques intrusives, soit de tonalites, granodiorites et trondhjémites gneissiques (MER 1984). On retrouve également quelques intrusions ultrabasiques et basiques de gabbro et diorites ainsi que quelques roches magmatiques effusives constituées de métavolcanites basiques (métabasaltes et filons-couches gabbroïques; MER 1984). Les principaux dépôts de surface de la région à l'étude se composent de till indifférencié. Le substratum rocheux, recouvert d'une couche de till de moins de 25 cm, affleure également en de nombreux endroits, les sols étant généralement minces dans le secteur. On y retrouve aussi quelques zones de dépôts glacio-lacustres de faciès d'eau profonde, soit des zones argileuses. Des luvisols se retrouvent sur la plupart des bas plateaux tandis que des podzols se développent sur les substrats sablonneux (Groupe de travail sur les écorégions 1989). Finalement, on retrouve des gleysols de même que des sols organiques dans quelques dépressions mal drainées.

Le secteur d'étude se situe dans la zone éoclimatique du boréal moyen humide (Groupe de travail sur les écorégions 1989). La station météorologique la plus près se trouve à La Sarre (48°47'N – 79°13'O), à une altitude de 244 mètres. Les normales de température enregistrées entre 1961 et 1991 ont été de -17,9°C en janvier et de 16,8°C en juillet (Environnement Canada 1993). Les précipitations sont de l'ordre de 856,8 mm par année dont 215,9 mm de neige et 640,1 mm de pluie (Environnement Canada 1993). Entre 1951 et 1980, on y a compté une moyenne de 64 jours sans gel par année, bien que le gel puisse survenir occasionnellement pendant la saison de croissance (Anonyme 1982).

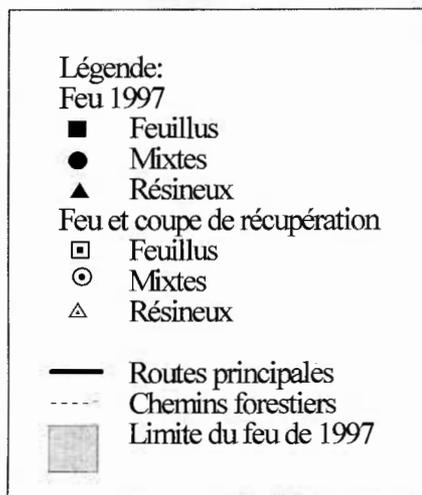
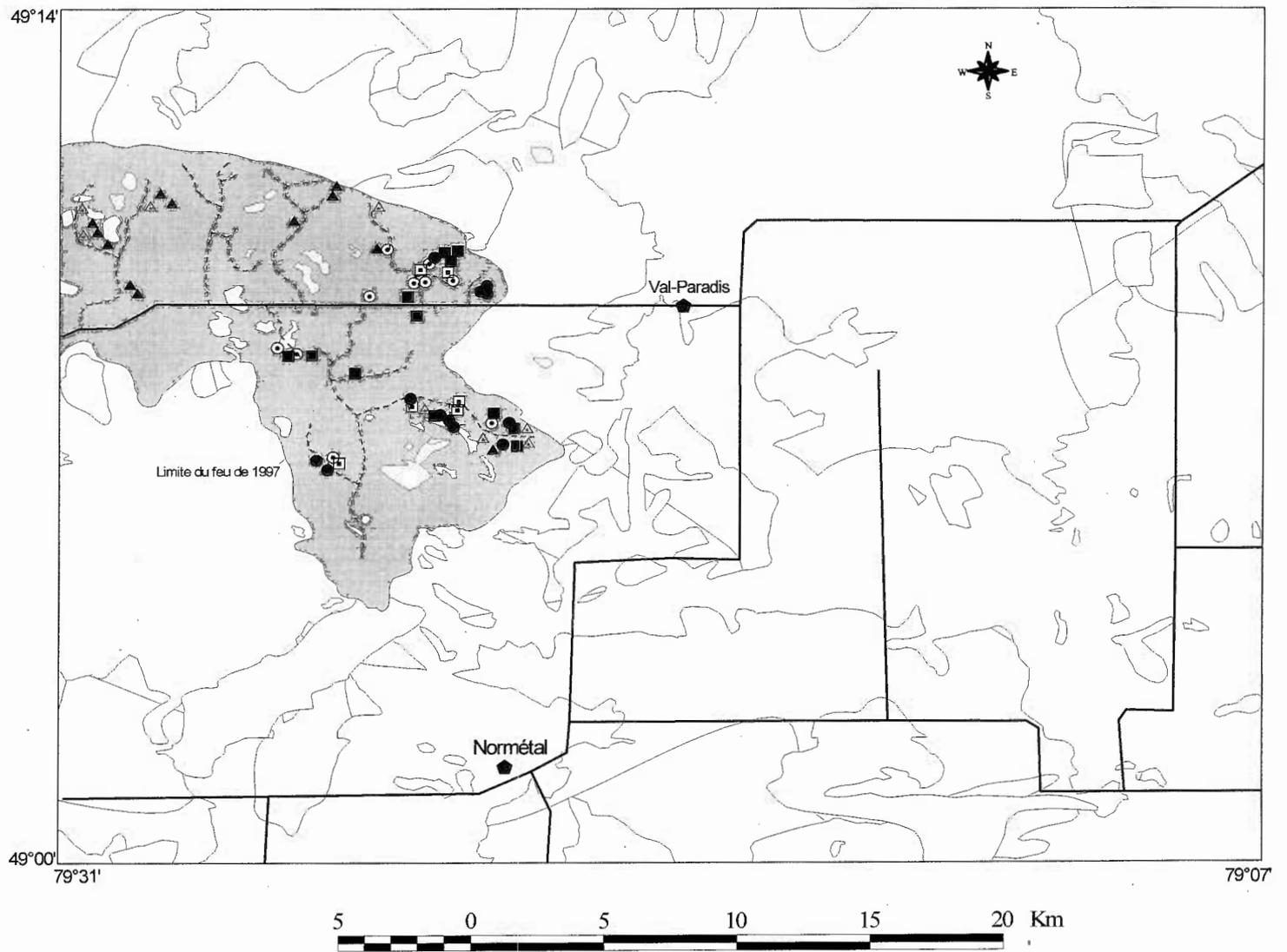


Figure 1.1 Localisation du secteur d'étude et des sites d'échantillonnage de Val-Paradis

Le secteur de Val-Paradis se trouve à l'intérieur du domaine bioclimatique de la sous-zone boréale supérieure, dans le sous-domaine de l'ouest de la pessière noire à mousses (Grondin 1996). À la latitude du territoire à l'étude croissent principalement des forêts dominées par l'épinette noire et le pin gris. On y retrouve aussi des peuplements mixtes de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), de peuplier baumier (*Populus balsamifera* L.), de bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh), d'épinette noire et d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss.), avec à l'occasion quelques individus de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.). Finalement, de nombreuses zones dénudées et semi-dénudées humides peuvent s'observer dans les dépressions, où se côtoient sphaignes, éricacées et arbustes. La dynamique des peuplements du territoire est associée surtout au régime des feux, au climat ainsi qu'aux caractéristiques des forêts avant feu (Grondin 1996). Les peuplements de l'ensemble du territoire à l'étude étaient issus de feux ayant brûlé entre 1910 et 1930 (Kafka *et al.*, carte non publiée). Les peuplements utilisés pour la présente étude avaient majoritairement entre 65 et 85 ans (voir annexe 1).

Une première perturbation a été le feu, qui a été allumé par la foudre le 9 juin 1997 et a été en activité pendant 38 jours. Les 4 premiers jours de l'incendie plus intenses, ont contribué à la presque totalité de l'étendue du feu. Cet incendie d'envergure a brûlé 12 557 hectares (~126 km²) de forêt au Québec et 670 hectares (~7 km²) en Ontario. Le feu, qualifié de feu de couronne, s'est étendu au Québec de 49°02' à 49°12' de latitude nord et de 79°21' à 79°31' de longitude ouest, soit jusqu'à la frontière ontarienne (figure 1.1). Puisqu'il s'agissait d'un feu de printemps, le sol forestier était encore gelé ou assez humide à maints endroits, ce qui a pu affecter la combustion à ce niveau.

L'aménagement forestier de ce territoire est effectué par deux compagnies régionales, Les Industries Norbord et Tembec-Groupe des produits forestiers, toutes deux de La Sarre. Le secteur au nord du rang X-I de Val-Paradis est de ce fait concédé par le

gouvernement du Québec à la compagnie Norbord, Tembec aménageant pour sa part le secteur au sud du même rang. Des chemins d'accès étaient présents et certaines coupes avaient déjà été effectuées avant l'incendie de 1997, suivies de plantations datant de 1990 (Norbord) et de 1991-1992 (Tembec).

Suite au feu, des coupes de récupération du bois brûlé ont été réalisées sur la presque totalité du territoire. En cas de désastre naturel, l'article 79 de la *Loi sur forêts* du gouvernement du Québec prévoit la préparation et la mise en application d'un plan spécial d'aménagement en vue d'assurer la récupération des bois. Pratiquement toutes les billes pouvant être récupérées l'ont été à l'été et à l'automne 1997 afin d'éviter le plus possible l'infestation des résineux incendiés par les larves du longicorne noir (*Monochamus scutellatus* [Say]). Des volumes de 315 600 m³ et 241 000 m³ de bois ont été récupérés par les compagnies Tembec et Norbord, respectivement. Seules les zones plus humides ou trop abruptes n'ont pas été récoltées. Des parcelles de forêt brûlée ont également été conservées pour l'UQAT-UQÀM en collaboration avec les compagnies forestières et le Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Deux techniques de coupe ont été utilisées par les compagnies forestières : la compagnie Tembec a effectué de la coupe par arbre entier avec ébranchage en bordure du chemin et mise en andain des résidus tandis que Norbord a fait de la coupe par tige, avec ébranchage sur le parterre de coupe, et donc aucune mise en andain.

1.3 MÉTHODOLOGIE

Tout de suite après le feu, soit à l'été 1997, 36 parcelles d'environ 1 hectare chacune (voir annexe 1 et figure 1.1) ont été sélectionnées avant même que ne débute la coupe de récupération. La sélection a été faite directement sur le terrain et à l'aide de cartes forestières (Ministère des Ressources naturelles du Québec). Les 36 sites ont été

répartis de façon à obtenir 12 sites de chacune des compositions forestières avant feu (feuillu, mixte et résineux). La composition devait refléter la dominance du peuplement. Les sites tels qu'installés l'année du feu n'ont cependant pas tous été retrouvés les années subséquentes, certains ayant été coupés. Une attention a été portée afin de relocaliser ces sites et de conserver le patron d'échantillonnage.

Les parcelles ont été sélectionnées de façon à minimiser le plus possible les variables autres que celles étudiées. Les arbres dominants des sites devaient être matures, les sites le plus possible mésiques, plats, avec une bonne épaisseur de sol forestier. On a ainsi minimisé les effets des variables reliées à l'âge, au régime hydrique, à l'orientation, le degré, et l'exposition des pentes ainsi qu'aux sols minces. Il importait de diminuer le plus possible l'effet de ces variables qui pourraient entrer en ligne de compte dans le processus de régénération forestière.

À l'intérieur de chaque hectare conservé, un quadrat de 20 mètres par 20 mètres (400 m²) a été installé. Les quadrats ont été orientés vers le nord. Vingt-quatre quadrats de même dimension ont aussi été installés, en 1998, dans les coupes de récupération adjacentes aux parcelles non récupérées (voir annexe 1 et figure 1.1). Ces derniers ont également été répartis selon les 3 compositions forestières décrites précédemment ainsi qu'entre les deux secteurs de coupe. Les mêmes critères de sélection ont été utilisés afin de minimiser l'effet possible des différentes variables environnementales.

Au centre de chaque quadrat installé, à la fois dans les parcelles non récupérées et dans les coupes, un transect de 30 mètres de longueur a été tracé, orienté vers le nord avec 5 mètres d'excédent de chaque côté du quadrat. L'épaisseur de la matière organique résiduelle (horizons F et H) a été mesurée à tous les mètres sous ce transect (31 points témoins). L'utilisation de l'épaisseur résiduelle, pouvant influencer le succès d'établissement selon les caractéristiques du substrat, serait en effet préférable à

l'épaisseur brûlée, souvent utilisée (Chrosciewicz 1974). On y a aussi identifié le type de lit de germination sous-jacent (tableau 1.1), noté la présence ou l'absence d'ombrage direct du point d'échantillonnage et mesuré la distance séparant ce point du tronc d'arbre, ou de la souche, le plus près. Le long du transect et jusqu'à 50 cm de chaque côté (1 m dans les sites récupérés) lorsque nécessaire à cause d'une trop faible régénération, la position de tous les semis et rejets végétatifs a été notée, avec l'espèce et l'âge du semis ou du rejet de même que l'épaisseur résiduelle de matière organique au pied de ce dernier. Finalement, la caractéristique du lit de germination, la présence d'ombrage de même que la distance du tronc ou de la souche la plus proche ont été pris en note.

Tableau 1.1 Caractéristiques des types de lit de germination identifiés

Lit de germination	Caractéristiques
Bois	Débris ligneux au sol, en décomposition et pénétrable par les racines des plantules
Oh (organique mince)	Substrat organique bien décomposé, noir, ou fibreux mince, de moins de 10 cm
Of (organique épais)	Substrat organique en décomposition, dans lequel on distingue les composantes fibreuses; généralement assez épais (plus de 10 cm)
Mousse	Mousse verte croissant sur l'humus mince ou sur le sol minéral exposé (généralement <i>Polytrichum</i>)
Minéral	Sol minéral exposé
Sphaigne	Mousse de sphaigne morte ou en reprise lente, de couleur beige

Les pourcentages de représentativité des divers lits de germination après les deux perturbations ont été évalués puis comparés par des tests de χ^2 (Scherrer 1984). Selon Prévost (1997), la réceptivité d'un substrat pourrait être calculée par une méthode d'analyse des ratios en divisant la proportion de semis sur un type de substrat par le

pourcentage de couvert de ce type. Comme les principales espèces se reproduisant par graine dans le secteur de Val-Paradis sont l'épinette noire (epn) et le pin gris (pig), seules ces deux espèces ont servi pour les analyses. Les résidus du χ^2 ont été calculés pour différentes situations afin de représenter les préférences éventuelles d'établissement des semis résineux selon les lits de germination. La fréquence théorique, plutôt que déterminée par probabilités, a été déterminée en multipliant le pourcentage de représentativité du substrat en question pour la situation évaluée (obtenue par les points témoins) par le nombre de semis total échantillonné pour cette même situation. Par exemple, si pour les parcelles feuillues, 50% des points témoins étaient de l'organique fibreux et que 100 semis avaient été échantillonnés pour cette situation, on s'attendait à 50 semis croissant sur l'organique fibreux. Cette proportion théorique a alors été comparée à celle obtenue réellement.

Des tests de χ^2 ont également été élaborés à chaque fois afin de vérifier la signification de ces préférences potentielles. Des comparaisons de moyennes sur les données en rang ont été utilisées pour tester les épaisseurs de matière organique résiduelle de même que les distances entre les semis et les arbres/souches résiduels. Finalement, d'autres comparaisons de fréquences (χ^2) ont servi afin d'évaluer l'ombrage des microsites.

1.4 RÉSULTATS

1.4.1 Effet du feu sur les lits de germination

Globalement, les substrats les plus présents suite au passage du feu de 1997 (figure 1.2), et donc potentiellement disponibles pour la germination, étaient les substrats organiques, fibreux (à près de 50%) et humiques (incluant fibreux mince; ~ 25%). L'épaisseur moyenne de matière organique résiduelle pour l'ensemble du territoire

incendié et récupéré était de $9,1 \pm 6,9$ cm. Cette disponibilité en substrats variait cependant quelque peu selon la composition des peuplements (figure 1.2). Ce sont les compositions feuillue et résineuse qui différaient le plus : moins de bois et de substrats organiques minces mais plus de substrats organiques fibreux et de sphaigne sous les résineux alors que le contraire est observé en zone feuillue. Le substrat minéral, par contre, était plus représenté sous couvert mixte que sous les autres compositions.

Cette abondance marquée des lits organiques ne reflète cependant pas les préférences d'utilisation des substrats (figure 1.3), calculées à l'aide de résidus du khi carré. Globalement, les semis de résineux (pin gris et épinette noire) se sont installés préférentiellement sur la mousse, avec une tendance vers l'établissement sur sphaigne. Cette tendance s'est révélée significative dans les parcelles mixtes (figure 1.3), alors que l'utilisation plus forte de la mousse était significative pour les compositions feuillue et résineuse. L'analyse par composition a également fait ressortir une préférence pour le substrat minéral sous couvert résineux, alors qu'une contre-préférence se présente pour ce même substrat sous couvert mixte.

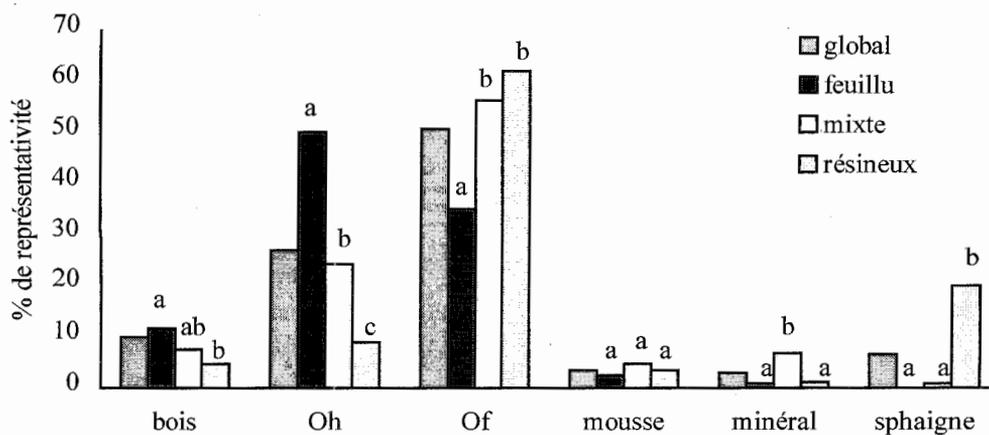


Figure 1.2 Pourcentages de représentativité des lits de germination suite au feu de Val-Paradis, globalement et par composition (χ^2 , $p < 0,05$, comparaison entre les compositions, les lettres différentes indiquent des différences significatives)

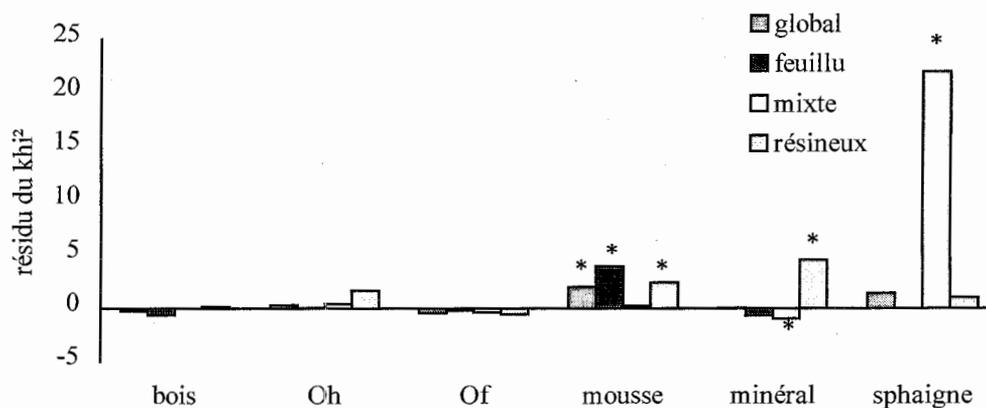


Figure 1.3 Résidus du χ^2 présentant les préférences d'établissement des semis d'épinette noire et de pin gris pour les divers substrats disponibles après feu, globalement et par composition; les barres surmontées d'un astérisque présentent des différences significatives entre les fréquences attendues et obtenues (χ^2 , $p < 0,05$)

Nous sommes donc à même de constater qu'il existait des différences dans la disponibilité et l'utilisation des substrats selon la composition des peuplements. Aussi, pour l'analyse de l'effet de la sévérité de l'incendie sur la disponibilité et l'utilisation des lits de germination, l'approche par composition a été retenue.

L'organique mince présentait toujours une plus forte importance comparativement à l'organique épais sous couvert feuillu et les lits de sphaigne étaient absents (figure 1.4). Les semis d'épinette noire et de pin gris s'installaient encore une fois préférablement sur la mousse, malgré sa très faible représentativité (figure 1.5).

En peuplement mixte, une plus grande quantité de sol minéral était présente sous feu léger que sous feu modéré ou sévère (figure 1.6). Cette plus forte présence de minéral ne se traduisait cependant pas par une préférence d'établissement. Seule la sphaigne sous feu léger, bien que faiblement représentée, était utilisée préférablement (figure 1.7).

Finalement, la zone résineuse se caractérisait par une plus forte présence de sphaigne ainsi qu'une moins grande proportion de substrat fibreux sous feu léger alors que le feu modéré présentait tout à fait le contraire (figure 1.8). Le feu sévère présentait également, tout comme dans le cas du modéré, une moins grande proportion de sphaigne que ce que l'on s'attendait d'avoir. Les préférences des semis pour les divers lits de germination ont semblé beaucoup plus affectées par la sévérité de l'incendie. Sous feu léger, on a dénoté une préférence significative des semis pour le substrat organique mince (Oh) et non pour la sphaigne (figure 1.9), bien que cette dernière ait été bien représentée. Sous feu modéré, la mousse était privilégiée. Et sous feu sévère, plusieurs lits de germination seraient bien utilisés, et ce malgré leur disponibilité plutôt faible : la mousse, le minéral et la sphaigne.

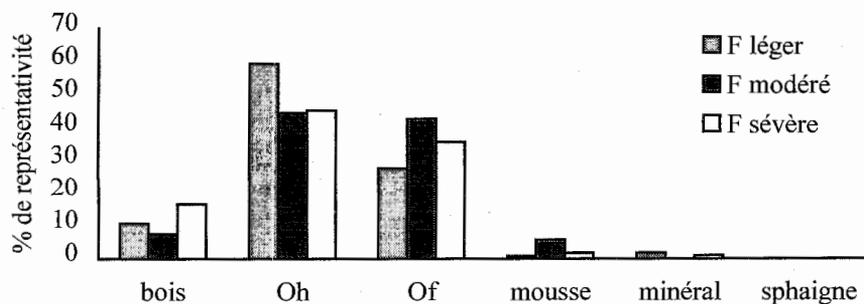


Figure 1.4 Pourcentage de représentativité des lits de germination sous couvert feuillu en fonction de la sévérité de l'incendie (χ^2 , $p < 0,05$, aucune distinction significative entre les sévérités)

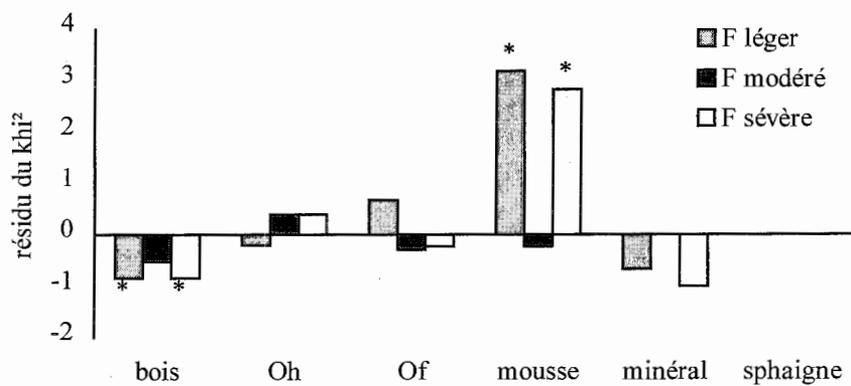


Figure 1.5 Résidus du χ^2 (préférences d'établissement des semis de résineux) pour les sites feuillus, par composition (* χ^2 , $p < 0,05$)

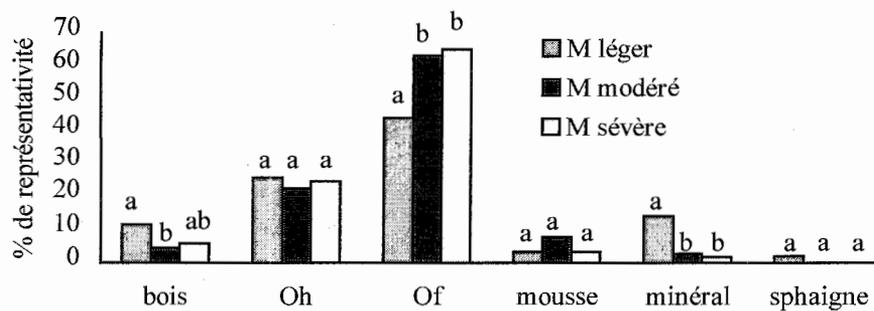


Figure 1.6 Pourcentages de représentativité des lits de germination sous couvert mixte en fonction de la sévérité de l'incendie (χ^2 , $p < 0,05$)

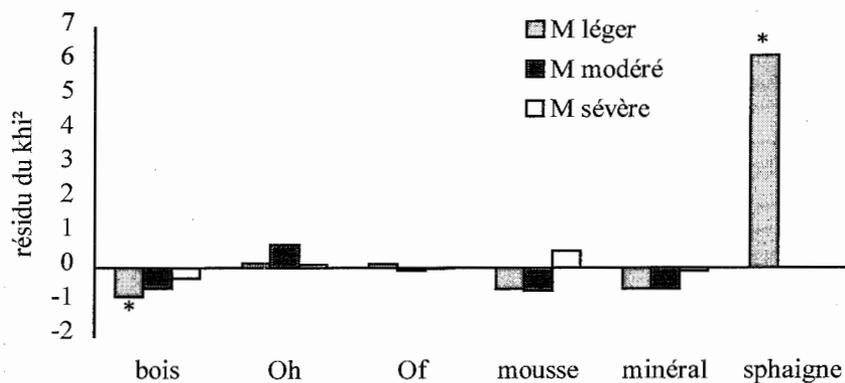


Figure 1.7 Résidus du χ^2 (préférences d'établissement des semis de résineux) pour les sites mixtes, par composition (χ^2 , $p < 0,05$)

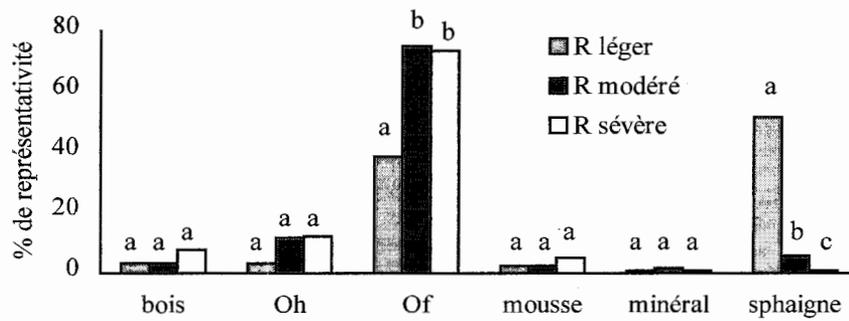


Figure 1.8 Pourcentages de représentativité des lits de germination sous couvert résineux en fonction de la sévérité de l'incendie (χ^2 , $p < 0,05$)

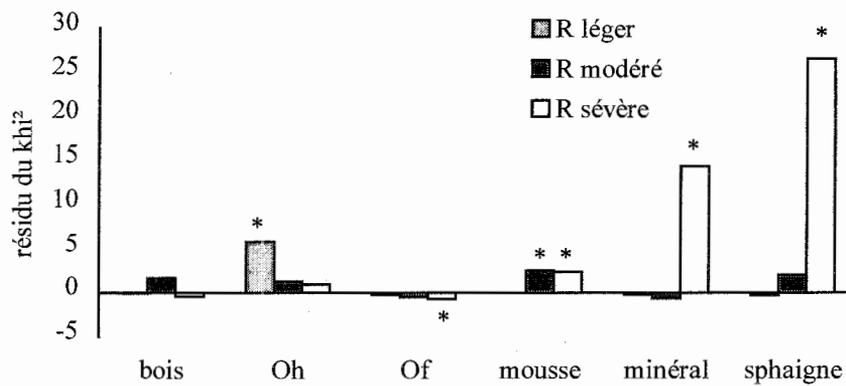


Figure 1.9 Résidus du χ^2 (préférences d'établissement des semis de résineux) pour les sites résineux, par composition (* χ^2 , $p < 0,05$)

1.4.2 Effet du feu et de la coupe de récupération sur les lits de germination

Tout comme dans le cas du feu, les lits les plus représentés dans les coupes étaient les lits organiques fibreux et humiques (figure 1.10). La coupe de récupération présentait par contre significativement plus de substrat minéral ($\chi^2= 715,0$ $p<0,05$) que les parcelles non récupérées. Aussi, on retrouvait plus de lits de sphaigne ($\chi^2= 53,6$ $p<0,05$) et de bois mou ($\chi^2= 33,8$ $p<0,05$) dans les parcelles simplement brûlées qu'après feu suivi d'une coupe de récupération. La comparaison des épaisseurs résiduelles de matière organique entre les deux perturbations a révélé un épaisseur supérieure ($F=51,1$, $p=0,0001$) au niveau du feu ($10,1\pm 7,2$ cm) que de la coupe de récupération ($7,8\pm 6,2$ cm). Finalement, la compilation des données d'ombrage (présence ou absence) a indiqué que les lits de germination disponibles étaient plus ombragés après feu (53,8 %) qu'après feu suivi d'une coupe de récupération (10,8 %; $\chi^2= 277,1$ $p<0,05$).

Les résultats concernant l'établissement des semis toutes essences confondues (figure 1.11) démontrent que la préférence pour les mousses était effective pour la coupe aussi bien que pour le feu et qu'il n'y avait donc pas de différence à ce niveau entre les perturbations.

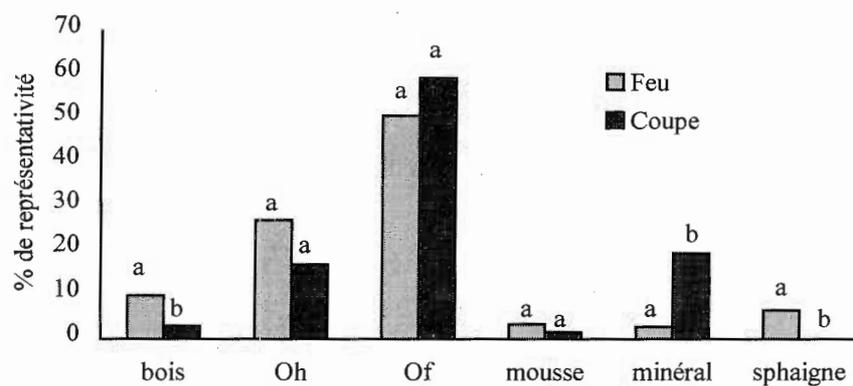


Figure 1.10 Pourcentage de représentativité des lits de germination selon le type de perturbation (χ^2 , $p < 0,05$, les lettres différentes représentent des différences significatives)

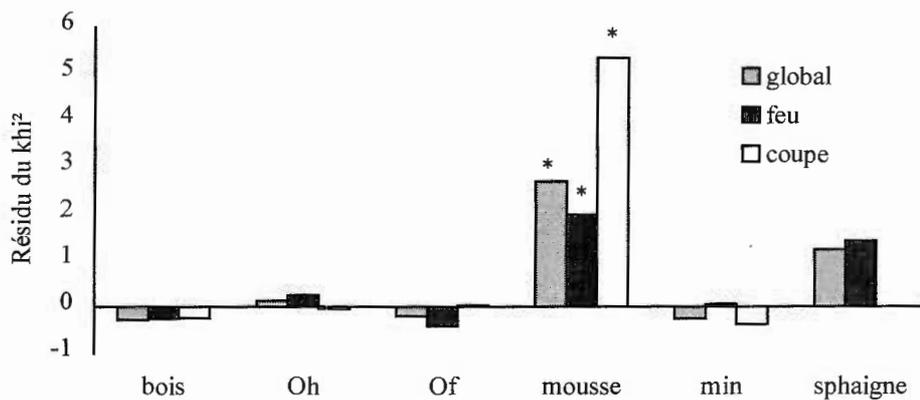


Figure 1.11 Résidus du χ^2 (préférences d'établissement des semis de résineux) globalement et par perturbation; les barres surmontées d'un astérisque présentent des différences significatives entre les fréquences attendues et obtenues (* χ^2 , $p < 0,05$)

1.4.3 Préférences des espèces et autres caractéristiques des substrats

L'observation des préférences possibles d'établissement par espèce révèle que la mousse serait un bon substrat pour les deux espèces mais que la sphaigne ne serait significativement préférée que par l'épinette noire (figure 1.12). Aussi, en effectuant des analyses pour chacune des perturbations, on a remarqué que cette utilisation préférentielle de la sphaigne par l'épinette ne se dessinait que dans les parcelles non récupérées. L'épinette noire aurait également tendance à s'installer sur sol minéral dans le secteur non coupé.

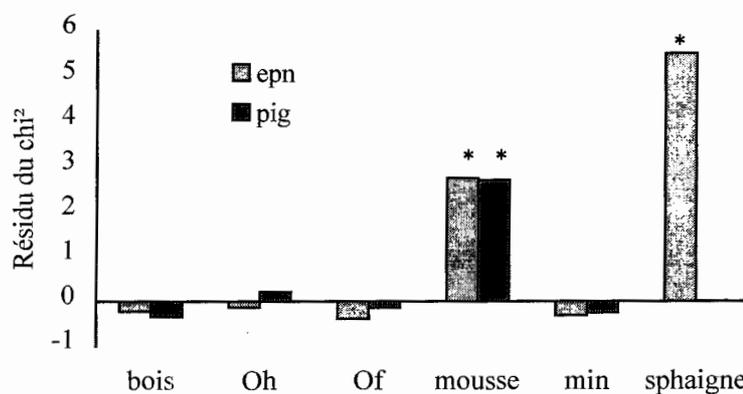


Figure 1.12 Résidus du χ^2 par espèce pour l'ensemble du territoire de Val-Paradis (* χ^2 , $p < 0,05$)

Suite au feu de printemps de Val-Paradis, la régénération résineuse s'est installée sur des substrats plus épais que la moyenne des épaisseurs de matière organique résiduelle disponibles (figure 1.13). Cependant, une analyse par composition a révélé que, sous sites résineux, les semis avaient plutôt tendance à s'installer sur des lits d'épaisseur comparable à la moyenne ($F=0,64$ $p=0,4$). Finalement, à la fois après feu et coupe de récupération, les analyses par espèce indiquent que les semis d'épinette noire s'installeraient sur des lits de germination plus épais comparativement à ceux utilisés par le pin gris (figure 1.14).

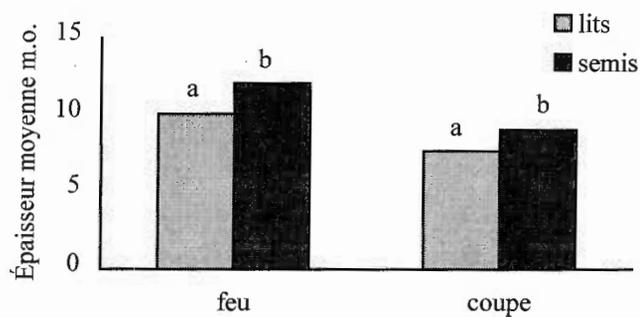


Figure 1.13 Épaisseur moyenne de matière organique résiduelle après feu et feu suivi d'une coupe de récupération (les 'lits' représentent les points témoins aléatoires; les lettres différentes indiquent des différences significatives entre lits et semis, Ttest (lsd), $p=0,05$)

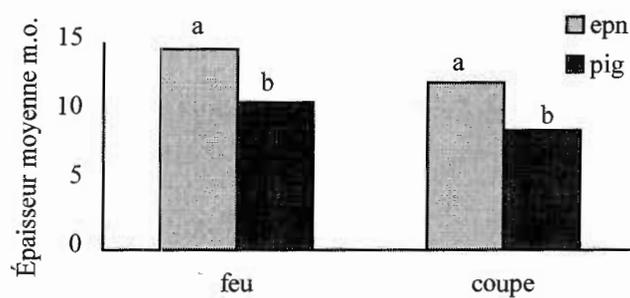


Figure 1.14 Épaisseur moyenne de matière organique résiduelle après feu et feu suivi d'une coupe de récupération, par espèce (les lettres différentes indiquent des différences significatives entre epn et pig, Ttest (lsd), $p=0,05$)

Suite aux deux perturbations, les semis résineux ont semblé s'établir plus près des souches et des arbres résiduels comparativement à la moyenne des points témoins (figure 1.15). L'analyse par composition indique cependant que ce fait est plus marquée dans les sites feuillus ($F=34,06$ $p=0,0001$), alors que les sites mixtes et résineux ne présentent pas cette installation proximale des semis. Aucune relation entre la distance des souches et l'épaisseur moyenne de matière organique n'a pu être observée, et ce pour les deux perturbations. Comparant les perturbations, il en ressort que les semis autant que les points aléatoires sont globalement plus éloignés des souches dans les coupes que dans le feu ($F=58,65$ $p=0,0001$ (semis); $F=23,24$ $p=0,0001$ (lits)). Par espèce, les comparaisons de moyennes indiquent que les semis d'épinette noire et de pin gris s'installeraient à des distances semblables des souches ou arbres résiduels.

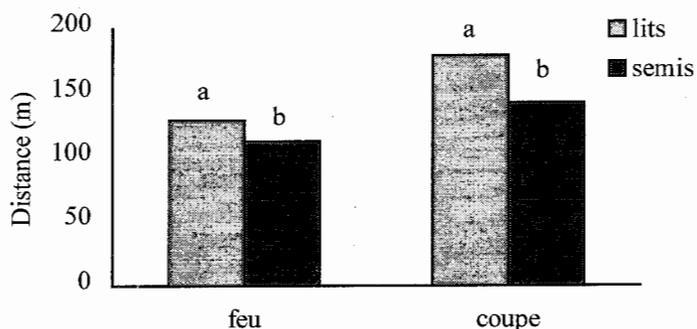


Figure 1.15 Distance moyenne (m) des souches ou arbres résiduels selon la perturbation (les 'lits' représentent les points témoins aléatoires; Ttest (lsd), $p=0,05$)

Finalement, la régénération résineuse de Val-Paradis aurait eu tendance à s'installer sur des substrats aussi ombragés que la moyenne des points aléatoires, et ce à la fois dans les sites récupérés et non récupérés, pour les deux espèces (figure 1.16). Seule la comparaison de l'ombrage des semis entre le feu et la coupe s'est révélée significative ($\chi^2, p < 0,05$). Les semis du feu étaient plus ombragés que ceux de la coupe, résultats conséquent avec celui que les substrats du feu étaient globalement plus ombragés que ceux de la coupe.

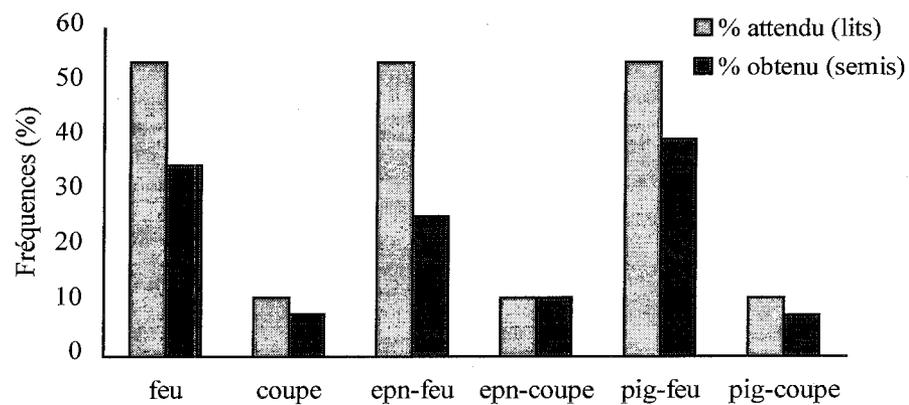


Figure 1.16 Fréquences relatives d'ombrage des semis résineux après feu et coupe de récupération, globalement et par espèce (aucune différence lit-semis significative)

1.5 DISCUSSION

1.5.1 Variabilité et disponibilité des substrats

Les feux de printemps ont de particulier qu'ils se produisent alors que le sol forestier contient de grandes quantités d'eau suite à la fonte récente des neiges et que le gel peut toujours être présent en certains endroits, à des profondeurs variables. Ainsi, des conditions de sécheresse en surface peuvent mener à l'ignition et à la propagation d'un incendie forestier qui sera sévère au niveau de la canopée, mais avec une combustion restreinte par l'humidité au niveau du sol (Van Wagner 1972, Wells *et al.* 1979, Ohmann et Grigal 1981, Frandsen 1987, Weber *et al.* 1987). Il pourrait alors en résulter moins d'exposition du sol minéral et de plus grandes épaisseurs résiduelles de matière organique. C'est ce qui, effectivement, se serait produit lors du feu de Val-Paradis. En moyenne, seulement 3 % de minéral exposé était disponible après feu, variant d'environ 1 % d'exposition sous sites feuillus et résineux à environ 7 % sous sites mixtes. En comparaison, Brais (1998), pour un feu d'été ayant eu lieu en 1995 en Abitibi, a obtenu des expositions de sol minéral de 10 % sous feu léger/modéré et de 66 % sous feu sévère.

Le substrat organique, fibreux et humique, présentait la plus grande disponibilité suite au feu de Val-Paradis. Malgré le fait que le minéral soit un bon substrat, son exposition ne serait pas requise pour assurer la régénération forestière. Les études de Cayford et McRae (1983) ont démontré qu'un mélange de minéral et d'organique (<2,5 cm) peut procurer des conditions idéales pour la germination. L'épaisseur résiduelle de matière organique au sol aurait cependant une importance dans le processus de régénération. Chrosciewicz (1974) a obtenu de très faibles établissements de pin gris sur des épaisseurs organiques supérieures à 8,9 cm. Il mentionne que la qualité des lits de germination produits par le feu peut être indiquée par l'épaisseur moyenne de matière organique résiduelle. Le feu de Val-Paradis a

laissé une épaisseur moyenne de sol organique de $10,1 \pm 7,2$ cm. La très grande variabilité dans les valeurs obtenues pourrait par contre être un effet d'un feu de printemps, bien que les conditions après tout feu soient généralement caractérisées par une certaine variabilité (Ahlgren et Ahlgren 1960, Methven *et al.* 1975, Weber *et al.* 1987, Brais *et al.* 1999). Le feu de printemps agit sur un sol forestier avec des caractéristiques pouvant être plus variables au niveau de l'humidité et de la température (délais de dégel dus à l'exposition des microsites, etc.) que plus tard en saison estivale.

Des différences de représentativité des substrats selon la composition des peuplements ont été observées, les compositions feuillue et résineuse différant le plus. Des observations sur le terrain ont permis de constater qu'il existe en effet des différences dans la texture et la composition des substrats organiques retrouvés sous feuillus et sous résineux, par exemple. La nature même de la litière engendrée par ces peuplements, la végétation de sous-bois associée et les conditions abiotiques au sol peuvent en grande partie expliquer ces différences. La productivité différentielle des peuplements et les taux de décomposition différents font en sorte que les sols organiques sous couvert feuillu sont généralement plus minces et moins fibreux que sous couvert mixte ou résineux (Jones et DeByle 1985).

La coupe de récupération de l'été et de l'automne qui ont suivi le feu a eu pour effet d'augmenter la quantité de sol minéral exposé, devenu alors disponible pour la germination des graines. Combinée à une diminution significative de l'épaisseur de matière organique, alors de $7,8 \pm 6,2$ cm en moyenne, la coupe pourrait avoir eu pour effet d'augmenter la quantité de bons lits de germination et avoir eu un impact sur la quantité globale de régénération. Or, l'étude de cette régénération (chapitre II) révèle que, 3 ans après perturbations, la densité et la distribution des semis résineux dans les coupes n'étaient globalement pas différentes de celles du secteur non récupéré. Le fait que les coupes aient eu lieu en grande partie à l'été risque d'avoir eu des impacts au

niveau de la qualité du minéral exposé, notamment dans les zones argileuses. Les opérations d'été peuvent causer des dommages aux sols organique et minéral humides (Jeglum 1990). L'orniérage et le compactage des substrats peuvent avoir diminué la disponibilité réelle du substrat minéral dans les coupes, n'augmentant pas de ce fait la quantité globale de bons substrats. Aussi, le fait d'enlever la matière ligneuse du parterre forestier a diminué l'ombrage au sol. Les débris ligneux, par l'ombrage qu'ils procurent, augmenteraient la survie des semis, souvent même plus efficacement que l'ombrage créé par la végétation (Gray et Spies 1997). Le bouleversement au niveau du sol a aussi pu entraver la reprise des arbustes, et diminuer temporairement l'ombrage par cette végétation. Les substrats alors plus exposés ont pu subir plus d'évaporation et de sécheresse (Vincent 1965). Combinées, ces conditions pourraient faire en sorte d'annuler l'effet bénéfique possible de l'augmentation de la quantité de minéral exposé et de la diminution de l'épaisseur organique résiduelle, les ratios d'établissement étant généralement moindres sur sites secs (Foster 1985, Fleming et Mossa 1994).

1.5.2 Substrats d'établissement de la régénération résineuse

La principale constatation, considérant l'ensemble du territoire incendié, est l'installation préférentielle des semis de résineux sur les substrats de mousse. Les mousses pionnières s'installant sur le sol minéral exposé ou sur une mince épaisseur de sol organique, comme celles du genre *Polytrichum*, sont souvent citées comme présentant un bon substrat, notamment pour l'épinette noire (Vincent 1965, Jeglum 1990). Les mousses semblent créer des microsites abrités et stables en humidité à cause de la conduction de l'eau à la base des feuilles et de la surface réduite d'évaporation (Fleming et Mossa 1994). De plus, le rhizome dense du *Polytrichum* lierait le sol et réduirait la susceptibilité au gel (Fleming et Mossa 1994). À proximité du sol minéral, les microhabitats créés par ces mousses combindraient donc les qualités

de stabilité des deux substrats. Une question peut toutefois naître de ce constat : la colonisation des sites se fait-elle simultanément par les semis et les mousses ou est-ce que ces dernières s'installent en premier? La colonisation des microsites pourrait en effet se faire simultanément tout simplement parce que le substrat sous-jacent en est un de qualité. D'un autre côté, la mousse, en colonisant les microsites en premier lieu, pourrait améliorer un endroit déjà de qualité, ce qui favoriserait d'autant plus l'installation des semis. Les observations de Lavoie (2000, données non publiées) semblent indiquer que les semis s'installeraient en premier sur les sites, et donc que ce sont les qualités du sol minéral qui primeraient.

Le cas de la sphaigne en tant que lit de germination préférentiel est mentionné dans plusieurs études (Jarvis et Cayford 1961, Vincent 1965, Chrosciewicz 1976, Fleming et Mossa 1994, Jeglum 1987, 1990). Sa nature hygroscopique lui permettrait de retenir de grandes quantités d'eau, peu importe le substrat sous-jacent (Fleming et Mossa 1994). Une meilleure circulation d'eau peut toutefois mener à un assèchement plus rapide si les substrats ne sont pas suffisamment humidifiés et ombragés (Vincent 1965) et ils peuvent s'assécher rapidement dans le cas de mortalité de la sphaigne de surface. L'absence de lits de sphaigne dans la coupe de récupération pourrait être due à ce phénomène. Le passage de la machinerie en terrain tourbeux a tout d'abord pour effet de retourner les couches organiques et d'exposer les couches plus profondes, mortes, tout en compactant les substrats. La sphaigne ainsi exposée a pu sécher et a alors été identifiée, lors des relevés, comme substrat fibreux. Ce lit potentiel de germination est considéré très aride et hostile à l'établissement des semis (Chrosciewicz 1974).

Dans les parcelles non récupérées du feu de Val-Paradis, la préférence pour les lits de sphaigne serait significative pour les sites mixtes seulement. L'absence de préférence pour ce type de substrat dans les parcelles résineuses pourrait s'expliquer par une intensité de feu plus grande sous résineux (C. Hely, données non publiées). De ce fait,

il a pu en résulter une plus grande mortalité de la sphaigne sous résineux et la création d'une croûte sèche en surface réduisant les échanges d'eau et rendant les substrats inhospitaliers.

Les préférences d'établissement sont ressorties plus fortement sous feu sévère que sous feu modéré et léger. La notion d'intensité de feu peut ici entrer en ligne de compte. Les intensités d'incendie telles que calculées par Christelle Hely (données non publiées) ont démontré que, pour une classe de sévérité donnée, l'intensité était variable selon la composition. Ainsi, un feu qualifié de « sévère » était de moins forte intensité sous couvert feuillu que résineux et il en était de même pour les autres sévérités. Une plus grande intensité d'incendie en zone résineuse pourrait être à l'origine de ces résultats, par la libération plus grande de graines suite à l'ouverture des cônes sérotineux plutôt que par la création de meilleurs lits de germination. Une disponibilité massive de semences a pu permettre la saturation des substrats et assurer l'observation des meilleurs endroits pour la germination et la survie des graines. D'autres variables environnementales, comme les conditions d'humidité et d'ensoleillement au niveau des microsites créés sous les divers peuplements, pourraient aussi avoir joué un rôle dans les résultats obtenus.

L'analyse par espèce a révélé que l'installation préférentielle sur sphaigne était significative seulement pour l'épinette noire. À croissance lente (Fowells 1965, Black et Bliss 1980, Carleton 1982, Jeglum 1990, St-Pierre *et al.* 1992), notamment en période juvénile, l'épinette nécessite des microsites plus stables en termes d'humidité (Duchesne et Sirois 1995, Thomas et Wein 1985a) et de température (Black et Bliss 1980). Ces conditions, fournies par les lits ombragés de sphaigne à croissance lente, feraient en sorte que l'épinette se régénère bien à ces endroits (Jarvis et Cayford 1961). L'épinette noire pourrait également tolérer des milieux très pauvres ainsi que de faibles températures (Jeglum 1990), conditions souvent retrouvées en tourbière de sphaigne. Le pin gris, qui nécessite également de bonnes conditions d'humidité pour

la germination et une croissance de qualité (Farrar et Fraser 1953, Cayford *et al.* 1967, Duchesne et Sirois 1995) même s'il tolère bien les environnements relativement secs (Cayford et McRae 1983), pourrait donc potentiellement s'installer sur la sphaigne. La pauvreté du milieu de croissance, à cause de la disponibilité limitée des éléments nutritifs (Fleming et Mossa 1994) et de la croissance de la sphaigne elle-même (Ohlson et Zackrisson 1992), pourrait limiter la croissance rapide des pins mais affecterait moins celle plus lente des épinettes. Le pin gris serait également sensible à la présence de manganèse soluble que l'on retrouverait dans les accumulations importantes de matière organique au sol alors que ces conditions n'affecteraient pas l'épinette noire (Lafond 1966). Des études plus approfondies sur les conditions abiotiques après feu en terrain tourbeux et leurs impacts sur la régénération forestière pourraient éclaircir le phénomène.

Les substrats de sol minéral sont reconnus comme d'excellents lits de germination et de croissance (Jarvis et Cayford 1961, Vincent 1965, Cayford *et al.* 1967, Chrosciewicz 1974, Jeglum 1990, Duchesne et Sirois 1995, Sirois 1995). Suite au feu de printemps de Val-Paradis, peu de sol minéral a été exposé, et la préférence d'installation sur ce type de substrat ne se dessinait qu'au niveau des sites résineux brûlés sévèrement, même au sol. Malgré la faible représentativité du sol minéral après feu dans ces parcelles, il semble avoir été utilisé de façon préférentielle par les semis, appuyant ainsi l'hypothèse de qualité de ce substrat pour la germination et l'établissement. La contre-préférence d'installation sur minéral dans les sites mixtes, présentant pourtant un peu plus de minéral exposé que les sites résineux, pourrait avoir été influencée par la désignation des lits de mousse. En effet, tel que mentionné, les mousses pionnières étaient, la plupart du temps, associées à de faibles épaisseurs de matière organique et au sol minéral. Ainsi, les semis croissant dans la mousse se développaient également sur le substrat minéral sous-jacent.

1.5.3 Autres facteurs susceptibles d'affecter l'établissement

L'épaisseur résiduelle de matière organique serait un facteur important pour le succès de la régénération après feu, les semis utilisant généralement des substrats plus minces que la moyenne (Chrosciewicz 1974, Zasada *et al.* 1983, Thomas et Wein 1985*b*, St-Pierre *et al.* 1991, Duchesne et Sirois 1995). Pour le secteur de Val-Paradis, les résultats indiquent par contre une utilisation de substrats globalement plus épais que la moyenne. Les épaisseurs résiduelles de matière organique assez élevées ainsi que l'utilisation de la sphaigne par l'épinette noire pourraient expliquer ces résultats. Aussi, Farrar et Fraser (1953) ont obtenu de bons résultats de germination sur substrat organique humidifié et concluent que le facteur limitant la germination sur ces substrats serait les mauvaises conditions d'humidité. Dans les parcelles non récupérées, l'ombrage créé par les arbres en place et la régénération arbustive et herbacée pourraient contribuer à créer des microsites de qualité pour l'établissement des semis, même sur substrat organique. Les semis se sont effectivement installés sur des substrats moins épais dans les parterres de coupe, où moins d'ombrage et plus de sécheresse ont dû restreindre les semis à la proximité du sol minéral plus stable en humidité et température. Finalement, la comparaison des épaisseurs sous pin gris et épinette noire révèle la plus grande abondance d'épinettes sur les substrats plus épais. L'utilisation de la sphaigne comme lit de germination dans les parcelles non récupérées pourrait avoir amené ces résultats. De par sa croissance rapide, le pin gris serait en mesure d'utiliser les lits plus exposés mais plus minces, et d'atteindre le sol minéral avant de souffrir de dessiccation, qu'il tolère mieux que l'épinette (Thomas et Wein 1985*a*, Thomas et Wein 1985*b*, Cayford et McRae 1983). Le système racinaire du pin gris s'allonge entre 12-25 cm la première saison de croissance comparativement à 2-5 cm dans le cas de l'épinette noire (Fowells 1965). En développant un plus grand réseau racinaire, le pin gris sera alors en mesure d'exploiter un plus grand volume de sol, ce qui augmentera ses capacités de résistance au stress hydrique (Thomas et Wein 1985*c*).

La présence des arbres pourrait allonger le temps de résidence du feu à un même endroit, avec pour conséquence une plus grande combustion du sol autour de ces derniers. Ce phénomène n'a cependant pas été constaté à Val-Paradis, puisque aucune relation entre la distance des souches et l'épaisseur résiduelle de matière organique n'a été observée. L'effet du feu de printemps, ayant moins d'impacts au niveau du sol, pourrait de nouveau être en cause.

Un abri des rayons solaires directs serait bénéfique à l'établissement des semis. Le pin gris, qualifié d'intolérant à l'ombre (Vincent 1965), nécessiterait cependant moins d'abri que l'épinette noire. Les résultats d'ombrage ne révèlent pas de préférence d'installation sur des microsites plus ombragés que la moyenne, mais plutôt une installation sur des substrats aussi ombragés que la moyenne. Les résultats semblent cependant indiquer une tendance vers l'installation des semis des coupes dans des endroits plus ombragés, si on prend en considération la probabilité d'un ombrage déjà moindre dans les coupes.

1.6 CONCLUSION

Les résultats obtenus viennent une fois de plus illustrer la très grande variabilité des impacts du feu sur les écosystèmes boréaux, notamment au niveau du sol sur l'épaisseur de matière organique consommée ainsi que les types de lits de germination exposés. Un feu de printemps pourrait avoir des effets d'autant plus variables du fait de l'humidité différentielle des microsites. Aussi, cette plus grande humidité des sols comparativement aux conditions d'été aurait eu comme effet de laisser une bonne épaisseur de matière organique résiduelle après feu et d'exposer peu de sol minéral. La coupe de récupération, effectuée l'été de l'incendie, a engendré une plus grande exposition du sol minéral ainsi qu'une réduction plus importante de l'épaisseur de

matière organique au sol. Cependant, malgré ces effets potentiellement bénéfiques au niveau des substrats, le sol minéral n'a pas été utilisé de façon plus importante dans les coupes de récupération. L'aridité des substrats et la perte des semenciers par la coupe pourraient être en cause dans ce résultat. L'extraction de la matière ligneuse ainsi que la perturbation du sol pouvant avoir affecté les banques de graines ainsi que les rhizomes des espèces arbustives et herbacées ont pu contribuer à une plus grande exposition du sol et donc à une évaporation supérieure.

Les lits de germination utilisés de façon préférentielle par les semis d'épinette noire étaient les mousses pionnières (*Polytrichum*) ainsi que les sphaignes humides. Les semis de pin gris se sont pour leur part installés de façon préférentielle sur les mousses pionnières. L'humidité aurait joué un rôle primordial dans l'établissement des semis, ces derniers s'installant sur les types de substrats les plus susceptibles de fournir une stabilité en eau.

Contrastant avec nos hypothèses, l'établissement des semis ne s'est pas fait de façon préférentielle sur des épaisseurs moindres de matière organique résiduelle, près des troncs ou en des endroits ombragés. L'impact plus modéré du feu de printemps au niveau du sol est probablement en cause. L'effet modéré du feu au sol n'a pas permis non plus de percevoir un effet des troncs sur la combustion de l'horizon organique. Les conditions créées suite aux perturbations de Val-Paradis seraient plus favorables aux espèces de lumière comme le pin gris et le peuplier faux-tremble qu'aux espèces tolérantes telle l'épinette noire. La régénération semble effectivement se diriger vers une augmentation de la représentativité des deux premières espèces, au détriment de l'épinette noire (chapitre II).