

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES**

**par**

**Jacques Fillon**

**DISTRIBUTION SPATIALE DE LA RÉGÉNÉRATION  
D'ÉPINETTE NOIRE (*Picea mariana* (Mill.) BSP)  
8 ANS APRÈS UN FEU DE FORÊT**

**MARS 1994**



### Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## **RÉSUMÉ**

La distribution spatiale des semis d'épinette noire 8 ans après un feu de forêt a été étudiée à l'aide d'une grille de quadrats contigus dans trois peuplements de densité différente. Les caractéristiques des microsites et la position relative des arbres semenciers environnants furent relevées pour chaque semis. La densité de la régénération installée après le feu décroît avec l'ouverture du peuplement. Les semis présentent une distribution spatiale dite contagieuse que l'on associe, à l'aide d'un test de "Mantel partiel", à la présence d'un arbre semencier dans un rayon de deux mètres et moins. Les semis sont surtout associés aux microsites de forme concave, colonisés par la sphaigne ou le polytric, mais pas aux humus calcinés. Les semis se retrouvent sur des matières organiques ayant une épaisseur variant de 10 à 20 centimètres. L'épaisseur de la matière organique ainsi que les lits de germination ne sont pas reliés à la présence immédiate d'un arbre semencier et l'agglomération des semis au pied des arbres s'explique plutôt par un ensemencement massif sur une courte distance, à la suite de l'ouverture rapide des cônes après le feu. La qualité du lit de germination pour la survie des semis au pied des arbres serait un facteur à considérer en deuxième lieu, après la disponibilité des semences.

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à manifester toute ma gratitude à l'égard de mon directeur de recherche, le docteur Hubert Morin, pour son écoute attentive, ses pertinents conseils et l'attitude positive qu'il a su démontrer à toutes les étapes de mes travaux. Je remercie aussi son proche collaborateur, le docteur Réjean Gagnon pour sa disponibilité de tous les instants et son appui sans limites à cette recherche.

La prise des données sur le terrain ainsi que leurs traitements au laboratoire ne furent possible que grâce à la minutieuse et enthousiaste collaboration de messieurs Steven Bouchard et Germain Savard. Je remercie également madame Hélène St-Pierre qui, à la suite de la réalisation d'un travail similaire, m'a facilité l'accès à ses notes personnelles et a discuté ouvertement avec moi du sujet.

Je voudrais remercier aussi l'ensemble des professionnel(le)s de recherche, étudiants et étudiantes aux études graduées et stagiaires qui oeuvrent au laboratoire d'écologie végétale de l'Université du Québec à Chicoutimi, pour l'esprit d'entraide qu'ils ou elles démontrent. Celui-ci s'est avéré un atout important pour l'avancement constant de ces travaux. Je désire aussi remercier monsieur Philippe Jalbert de la firme Enviro-Stat qui, lors d'un stage dans son entreprise, m'a initié aux statistiques spatiales. En dernier lieu je remercie sincèrement mon amie Stéphanie pour ses patients encouragements tout au long de mes études de maîtrise.

Ces travaux furent possibles grâce à l'appui logistique de la compagnie Donohue-St-Félicien ainsi qu'au support financier du Ministère des Ressources Naturelles du Québec et du Consortium de Recherche sur la Forêt Boréale Commerciale.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |      |
|---|------|
| RÉSUMÉ.....   | ii   |
| REMERCIEMENTS.....  | iii  |
| TABLE DES MATIÈRES.....   | v    |
| LISTE DES TABLEAUX.....   | viii |
| LISTE DES FIGURES.....  | ix   |
| <br>  |      |
| 1. INTRODUCTION.....  | 2    |
| <br>  |      |
| 2. RÉGION ÉTUDIÉE.....  | 7    |
| <br>  |      |
| 3. MÉTHODE.....   | 11   |
| 3.1. CHOIX DES PEUPEMENTS.....  | 11   |
| 3.2. PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE.....   | 12   |
| 3.3. TRAITEMENT DES DONNÉES.....  | 14   |
| 3.3.1. Les semis et la distance du premier semencier.....   | 14   |
| 3.3.1.1. Calcul de la distance d'un semis au premier<br>semencier.....  | 14   |
| 3.3.1.2. Comparaison de la fréquence du nombre de<br>semis entre les classes de distance du premier<br>semencier..... | 15   |
| 3.3.1.3. Détection de l'autocorrélation spatiale et la<br>dimension de la contagion.....                              | 16   |
| 3.3.1.4. Le contrôle de l'autocorrélation spatiale.....   | 18   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.2. Les semis et les microsites.....  | 21        |
| 3.3.3. Le microsite et la distance du premier semencier.....                                     | 22        |
| 3.3.3.1. La possibilité moyenne pondérée de semis de<br>chaque quadrat.....                      | 23        |
| 3.3.3.2. L'épaisseur moyenne pondérée de la matière<br>organique de chaque quadrat.....          | 24        |
| <b>4. RÉSULTATS.....</b>   | <b>26</b> |
| 4.1. INVENTAIRE 8 ANS APRÈS LE FEU DE 1983 .....   | 26        |
| 4.2. LES SEMIS ET LA DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER.....  | 28        |
| 4.2.1. Distribution des semis en fonction de la distance du<br>premier semencier.....            | 28        |
| 4.2.2. Détection de l'autocorrélation spatiale et dimension<br>de la contagion.....              | 34        |
| 4.2.3. Le test de Mantel partiel.....  | 36        |
| 4.2.4. Relation entre le nombre de semis par quadrat et sa<br>distance du premier semencier..... | 37        |
| 4.3. LES SEMIS ET LES MICROSITES .....   | 39        |
| 4.3.1. Les lits de germination .....   | 39        |
| 4.3.1.1. Leur importance.....  | 39        |
| 4.3.1.2. L'épaisseur de la matière organique.....  | 40        |
| 4.3.2. Distribution des semis sur les différents microsites.....                                 | 42        |
| 4.3.2.1. Fréquence d'apparition des semis selon le relief<br>des microsites.....                 | 42        |
| 4.3.2.2. Fréquence d'apparition des semis selon les lits de<br>germination.....                  | 44        |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.3. Comparaison de la fréquence des semis selon les lits<br>de germination.....                                | 4 5 |
| 4.4. CARACTÉRISTIQUES DES MICROSITES EN FONCTION DE LA<br>DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER.....                      | 4 6 |
| 4.4.1. Possibilité moyenne pondérée de semis selon la<br>composition du lit de germination.....                   | 4 7 |
| 4.4.1.1. Le site dense.....   | 4 7 |
| 4.4.1.2. Le site intermédiaire.....   | 4 7 |
| 4.4.1.3. Le site ouvert.....  | 4 9 |
| 4.4.2. Épaisseur moyenne pondérée de la matière<br>organique selon la composition des lits de<br>germination..... | 4 9 |
| 5. DISCUSSION.....  | 5 2 |
| 5.1. LES SEMIS ET LA DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER.....   | 5 2 |
| 5.2. LES SEMIS ET LES MICROSITES.....   | 5 6 |
| 5.3. LES MICROSITES ET LA DISTANCE DU PREMIER<br>SEMENCIER.....   | 5 9 |
| 5.4. MODÈLE D'INSTALLATION DE L'ÉPINETTE NOIRE À LA<br>BASE DES ARBRES.....                                       | 6 1 |
| 6. BIBLIOGRAPHIE.....   | 6 7 |



**LISTE DES TABLEAUX**

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1: Caractéristiques générales des peuplements étudiés lors de l'inventaire en août 1991.....  | 27 |
| Tableau 2: Comparaison du nombre de semis observés par classe de distance d'un semencier, à une fréquence théorique établie en fonction d'une répartition uniforme des semis sur la surface: résultats de test "G" suivis d'un test de contraste..... | 34 |
| Tableau 3: Résultats des tests de Mantel partiel vérifiant l'existence d'une relation linéaire entre le nombre de semis par quadrat et la distance du premier semencier.....  | 37 |
| Tableau 4: Surface (%) d'occupation des divers lits de germination.....   | 40 |
| Tableau 5: Statistiques descriptives concernant l'épaisseur moyenne de la matière organique des lits de germination.....  | 41 |
| Tableau 6: Densité de semis par lit de germination selon les sites et classement des lits à la suite de tests "G" et de contraste.....  | 46 |

## LISTE DES FIGURES

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figure 1:  | Localisation du feu de juin 1983.....   | 8  |
| Figure 2:  | Cartographie des semis, des semenciers et des lits<br>de germination du site dense.....   | 29 |
| Figure 3:  | Cartographie des semis, des semenciers et des lits<br>de germination du site intermédiaire.....   | 30 |
| Figure 4:  | Cartographie des semis, des semenciers et des lits<br>de germination du site ouvert.....  | 31 |
| Figure 5:  | Distribution des semis selon la distance du premier<br>semencier.....   | 32 |
| Figure 6:  | Corrélogramme de l'indice I de Moran.....   | 35 |
| Figure 7:  | Distribution des quadrats en fonction de leur<br>nombre de semis et de leur distance au premier<br>semencier.....                                 | 38 |
| Figure 8:  | Distribution des semis en fonction des lits de<br>germination et du relief des microsites.....  | 43 |
| Figure 9:  | Distribution des quadrats en fonction de leur<br>possibilité moyenne pondérée et de leur distance<br>au premier semencier.....                    | 48 |
| Figure 10: | Distribution des quadrats en fonction de leur<br>épaisseur moyenne pondérée de matière organique<br>et de leur distance au premier semencier..... | 50 |

**CHAPITRE 1**

**INTRODUCTION**

## 1. INTRODUCTION

On reconnaît actuellement le rôle primordial qu'ont joué depuis toujours les feux de forêt dans la composition en essence des écosystèmes boréaux. Dans la forêt boréale québécoise, la fréquence des feux oscillerait entre 75 et 150 ans (Gagnon 1988). Ceux-ci sont généralement allumés par la foudre, et à la faveur de périodes particulièrement sèches, ils peuvent devenir incontrôlables et consumer de grandes superficies forestières (Anonyme 1990). Malgré des méthodes de détection et de combat modernes, il y a encore des pertes de matière ligneuse dues aux feux. Par ailleurs, on doit s'assurer de la remise en production des espaces brûlés afin de maintenir la possibilité forestière du territoire.

L'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) est l'essence commerciale la plus importante au Québec, et elle se retrouve principalement dans la zone de la forêt boréale. L'étude de la régénération après feu de l'épinette noire permettra de mieux orienter les interventions sylvicoles. L'épinette noire est reconnue, de l'Alaska à Terre-Neuve, comme une espèce qui se régénère bien après un feu. St-Pierre *et al.* (1992) mentionnent que 95% des semis recensés cinq ans après un feu s'étaient installés dans les trois premières années. Cette régénération provenait exclusivement de graines; la régénération préétablie ayant été détruite par le feu. Chez l'épinette noire, les semences peuvent être dispersées annuellement ou conservées dans des cônes semi-sérotineux situés au sommet des

arbres. C'est cette dernière caractéristique qui permet à l'épinette noire de se maintenir dans la forêt boréale, malgré le passage fréquent des feux.

Même s'il y a des semences, il faut convenir de l'importance du lit de germination pour assurer la germination et la survie des semis. Les caractéristiques hydriques et thermiques peuvent varier considérablement d'un microsite à l'autre et favoriser ou non l'installation des végétaux. Les conditions après feu sont souvent extrêmes. La capacité de rétention en eau de la litière brûlée peut être très faible et compromettre ainsi la germination (LeBaron 1944, Lutz 1956, Arnott 1973, Viereck 1973, Winston 1973). Les températures des surfaces calcinées peuvent être extrêmes et même létales pour de jeunes plantules (LeBaron 1944, Viereck et Dyrness 1979, Thomas et Wein 1985).

Le sol minéral représenterait un microsite adéquat pour la germination et la survie de l'épinette noire. Certains auteurs mentionnent que la réduction de la matière organique favorise la survie des plantules en permettant aux systèmes racinaires faiblement développés d'absorber facilement l'eau dans l'horizon minéral frais (LeBaron 1944, Lutz 1956, Nickerson 1958, Viereck 1973, Ahlgren 1974, Van Wagner 1988). Lutz (1956), Rowe (1970), Rowe et Scotter (1973) ainsi que Van Wagner (1983) mentionnent qu'à la suite d'un feu, il peut y avoir une réduction plus prononcée de la matière organique au pied des arbres. La base des arbres serait protégée de la pluie par les branches, tout en étant une zone d'accumulation de

débris inflammables. La conjugaison de ces deux caractéristiques entraînerait un feu plus intense à cet endroit, réduisant ainsi fortement la matière organique (Lutz 1956).

Plusieurs chercheurs (Nickerson 1958, Rowe 1970, Van Wagner 1988, St-Pierre *et al.* 1991), en étudiant la régénération après feu, ont observé une concentration des semis à la base des arbres. St-Pierre *et al.* (1991), à l'aide d'un coefficient de corrélation de point (Scherrer 1984), associent les semis d'épinette noire et de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) à la présence des arbres adultes situés à moins d'un mètre. Ces observations suggèrent que les semis ont tendance à s'installer au pied des arbres, principalement à cause d'une réduction de la matière organique.

Le présent travail cherche à évaluer comment le phénomène d'agglomération des semis au pied des arbres influence la régénération de peuplements de différentes densités. L'hypothèse de base se définit ainsi: comme la quantité de semences est en relation avec le nombre de tiges, que les semis ont tendance à s'installer au pied des arbres, alors un peuplement d'une certaine densité devrait se reproduire en un peuplement d'une densité similaire, en autant que le peuplement est en âge de se reproduire et qu'il existe des microsites favorisant la germination et la survie des semis. Cette hypothèse sera vérifiée pour trois peuplements de densité distincte. La distribution spatiale de la régénération en relation avec le voisinage immédiat des arbres semenciers sera étudiée. Ce travail permettra de mieux

comprendre les facteurs qui régissent l'installation de l'épinette noire à la base des arbres après un feu de forêt.

L'analyse de la distribution spatiale de certaines populations présente des contraintes statistiques particulières. La distribution naturellement regroupée des semis, démontrée par St-Pierre *et al.*(1991), induit des corrélations entre les points d'échantillonnage. Ces corrélations sont fonction de la position, les uns par rapport aux autres, des points d'échantillonnage, ainsi que du type de distribution spatiale qui caractérise la population étudiée. Lorsque ce phénomène est présent, on dit qu'il y a autocorrélation spatiale. Lorsqu'il y a une autocorrélation spatiale dans les données, il y a automatiquement une perte d'indépendance entre les échantillons et il devient inadéquat d'utiliser des tests comme l'analyse de variance, l'analyse de corrélation, ou d'autres tests qui exigent cette indépendance (Dutilleul et Legendre 1992).

Ce travail utilise l'indice "I de Moran" pour détecter la présence d'autocorrélation spatiale et évaluer la dimension de la contagion des semis. L'application d'un test de "Mantel partiel" permet d'évaluer si la densité des semis est dépendante de la distance d'un arbre adulte en réintroduisant l'indépendance dans les données par des permutations aléatoires de la position des points d'échantillonnage. Ces méthodes statistiques, récemment utilisées dans les études de répartition spatiale des populations, sont suggérées entre autres par Legendre et Fortin (1989) ainsi que Dessaint (1991).

## **CHAPITRE 2**

### **RÉGION ÉTUDIÉE**



## 2. RÉGION ÉTUDIÉE

Les sites étudiés sont localisés sur un territoire de près de 450 km<sup>2</sup> qui a subi un feu intense, du 23 au 30 juin 1983 (figure 1). Ce brûlis est situé au nord-ouest du lac St-Jean (Québec, Canada), au nord de la réserve faunique Ashuapmushaun, soit entre 49°23' et 49°43' de latitude nord et entre 73°35' et 73°05' de longitude. La régénération des peuplements mixtes de pin gris et d'épinette noire de ce brûlis a déjà été étudiée par St-Pierre *et al.* (1992,1991).

Ce secteur fait partie de la région forestière B.1b-Chibougamau-Natashquan, tel que définie par Rowe (1972) et de la région 12b tel que définie par Thibault (1985). Le relief est formé de collines d'environ 400 à 500 mètres d'altitude, réparties de part et d'autre des vallées des rivières du Chef et Nestaocano. Les vallées, situées à une altitude approximative de 320 mètres, sont caractérisées par des dépôts fluvio-glaciaires sablonneux, tandis que les plateaux plus élevés sont formés de dépôts fluvio-glaciaires plus grossiers qui côtoient les tills minces des montagnes. Les fonds de vallées sont occupés par des peuplements de pin gris et d'épinette noire, tandis que sur les pentes environnantes s'ajoutent des peuplements souvent purs de tremble (*Populus tremuloïdes* Michx.) ou de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.). En s'éloignant de la vallée, dans les zones plus montagneuses, on rencontre sur les sites bien drainés, en association avec l'épinette noire, le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.)

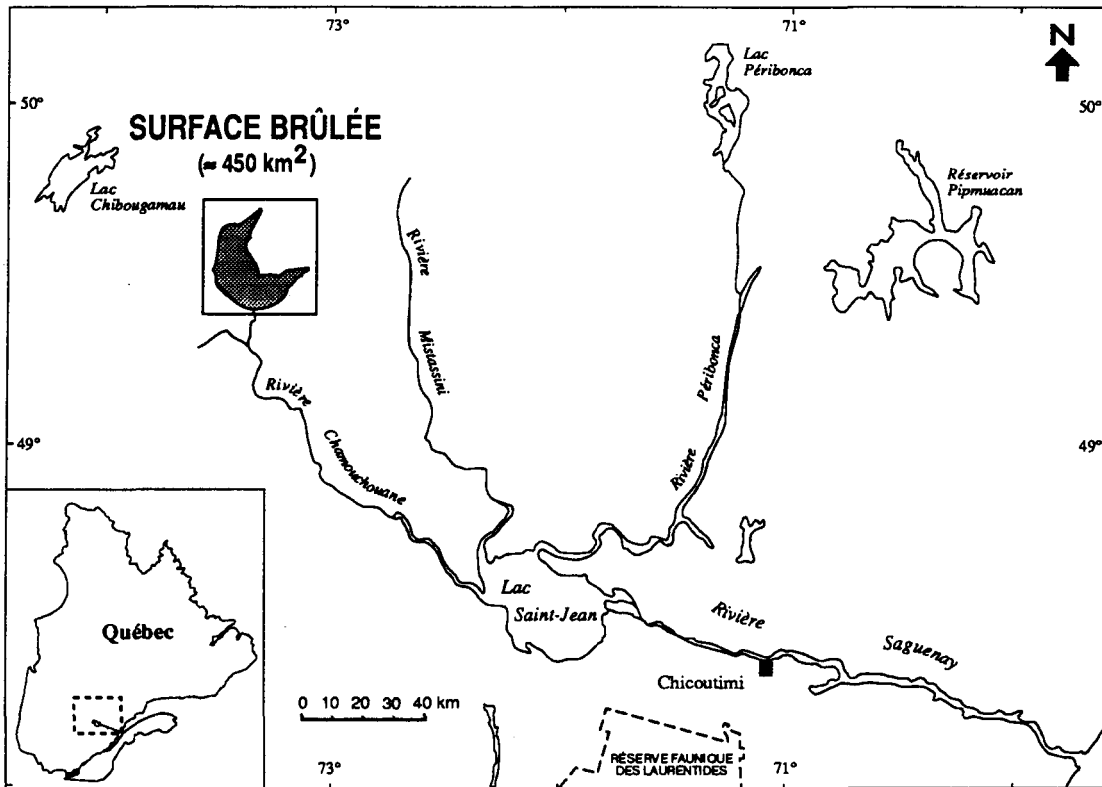


Figure 1: Localisation du feu de juin 1983.

Mill.). Dans les bas fonds mal drainés on retrouve, associé à l'épinette noire et au sapin, le mélèze (*Larix laricina* (Du Roi) Koch).

Le climat de cette région (stations de Chibougamau: 49°46' N. - 74°32' O. et 48°20' N. - 71°0' O., altitude de 387,1 m et 159,0 m), pour les dix dernières années suivant le feu (1983 à 1992), se caractérise par une température moyenne annuelle se situant autour de -0,7°C, avec des moyennes mensuelles variant de -19,4°C en janvier à 15,8°C en juillet. Les précipitations sont réparties tout au cours de l'année avec une moyenne annuelle de 65,1 cm sous forme de pluie et de 356,6 cm sous forme de neige (Environnement Canada 1992).

## **CHAPITRE 3**

### **MÉTHODE**

### **3. MÉTHODE**

#### **3.1. CHOIX DES PEUPEMENTS**

Pour vérifier l'hypothèse et étudier la distribution spatiale de la régénération après feu, trois peuplements de densité distincte furent recherchés. Ceux-ci devaient être accessibles, constitués presque exclusivement d'épinette noire et en âge de se reproduire par graines. La date du feu d'origine de ces peuplements devait être connue et ceux-ci devaient avoir été tués par le feu de 1983.

Pour localiser ces peuplements, deux éditions de cartes forestières du Ministère des Forêts du Québec furent consultées: celle de 1971, réalisée avant le feu de 1983, et celle réalisée après, en 1984. Dans un premier temps, la densité des peuplements fut caractérisée à l'aide de la classification des densités du Ministère des Forêts du Québec (Anonyme 1984). Après le feu de 1983, des opérations forestières ont eu lieu afin de récupérer rapidement les bois brûlés, modifiant ainsi l'information des cartes. Des visites du brûlis ont permis de valider la banque de peuplements potentiels, de localiser de nouveaux peuplements et de vérifier l'accessibilité. La récolte de cicatrices de feu et le compte des cernes annuels formés après la blessure ont permis d'établir la date du feu d'origine (Schweingruber 1989). Les trois peuplements choisis furent dénommés site dense, site intermédiaire et site ouvert.

### 3.2. PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage s'est fait du 12 au 23 août 1991, soit 8 années après le feu de 1983. La parcelle utilisée pour représenter les peuplements était de forme rectangulaire et d'une dimension permettant d'inclure une cinquantaine d'arbres. La localisation de la parcelle dans le peuplement s'est fait de manière à englober autant les îlots d'arbres que les trouées. La parcelle du site dense mesurait dix mètres par vingt mètres, celle du site intermédiaire vingt mètres par vingt mètres et celle du site ouvert vingt mètres par trente mètres. Pour chaque arbre inclus dans une parcelle, nous avons identifié l'espèce et mesuré son diamètre à une hauteur de 1,3 mètre (DHP). À l'aide de la présence de brûlures sur le tronc, il fut établi si l'arbre était mort ou vivant au moment du feu de 1983 (Day et Woods 1979). Les arbres furent positionnés à l'intérieur de la parcelle à l'aide de deux axes orthogonaux, parallèles aux côtés de la parcelle.

À l'intérieur de chaque parcelle, une sous-parcelle fut implantée afin d'étudier la régénération. La dimension de cette sous-parcelle fut ajustée d'un site à l'autre pour inclure une centaine de semis d'épinette noire. Cette sous-parcelle, de forme rectangulaire, était positionnée dans la parcelle de façon à ce qu'elle chevauche autant des îlots d'arbres que des trouées, tout en étant parallèle à la parcelle et à au moins deux mètres de ses limites. Les sous-parcelles des sites dense et intermédiaire mesuraient deux mètres par dix mètres, tandis que pour le site ouvert, elle mesurait douze mètres par vingt mètres.

Ces sous-parcelles permettaient de relever des données associées aux semis, aux lits de germination et à l'épaisseur de la matière organique. La totalité de la surface des sous-parcelles fut divisée en quadrats contigus de cinquante centimètres par cinquante centimètres. Les quadrats furent positionnés sur le terrain en se référant, à l'aide d'une équerre optique, aux axes orthogonaux de la parcelle. Ils furent par la suite marqués au sol à l'aide de fiches.

Pour observer la composition des lits de germination, les arbustes, composés principalement d'éricacés, furent éliminés à l'aide de sécateurs. Une grille représentant les quadrats a permis de cartographier les lits de germination. Dans tous les quadrats, pour chaque lit de germination, l'épaisseur de la matière organique au-dessus du sol minéral fut mesurée sur un échantillon d'humus extrait à l'aide d'une sonde pédologique. Sur le site ouvert, vu l'apparente uniformité des composantes du lit de germination et la dimension de la sous-parcelle, le relevé cartographique ne fut fait que pour une bande de deux mètres par vingt mètres située approximativement au centre de la sous-parcelle. Dans ce cas, la mesure de l'épaisseur de la matière organique s'est faite pour des rectangles d'un mètre par deux mètres qui couvraient la largeur de la bande. Après avoir effectué les relevés associés aux lits de germination, chaque semis fut numéroté et positionné en fonction des axes orthogonaux de la parcelle. Pour chaque semis, le microsite qui l'entourait, soit près de 100 cm<sup>2</sup>, fut caractérisé par son type de lit de germination et par son microrelief selon quatre catégories: concave, plat, en pente, ou convexe. Puisque

l'échantillonnage était destructif, les opérations décrites ci-dessus furent effectuées successivement, pour des groupes de huit quadrats, soit 2 mètres par 1 mètre à la fois. Cette méthode a permis de progresser tout le long de la sous-parcelle sans perturber le milieu avant la prise de données.

### **3.3. TRAITEMENT DES DONNÉES**

#### **3.3.1. Les semis et la distance du premier semencier**

##### *3.3.1.1. Calcul de la distance d'un semis au premier semencier*

Pour étudier la relation qui existe entre les semis et la proximité des semenciers, la distance du semencier le plus proche fut calculée pour chaque semis. Puisqu'il était impossible de savoir, 8 ans après feu, si tel ou tel arbre était réellement un semencier, tous les arbres ayant, à 1,3 mètre au-dessus du sol (DHP), un diamètre de neuf centimètres et plus, furent considérés comme des semenciers. La cartographie du site ouvert montrait des agglomérations de semis à la base d'arbres ayant un diamètre légèrement inférieur à 9 cm. Vu le peu d'arbres sur ce site, la limite fut abaissée à huit centimètres.

L'évaluation de la distance entre un semis et son plus proche semencier s'est faite à l'aide du théorème de Pythagore appliqué aux coordonnées des arbres et des semis. L'observation des distances au semencier le plus proche suggérait de traiter les données en fonction de cinq classes de distance, quatre classes de cinquante centimètres et une cinquième de deux mètres et plus.



### *3.3.1.2. Comparaison de la fréquence du nombre de semis entre les classes de distance du premier semencier*

Afin d'évaluer si la quantité de semis différait significativement d'une classe de distance à une autre, la distribution observée fut comparée à une distribution théorique, qui supposait une répartition uniforme des semis, peu importe la distance. En forêt, la disponibilité des surfaces en fonction de la distance d'un semencier est différente selon la densité des peuplements. Dans un peuplement dense, les surfaces seront proches des nombreux semenciers, tandis que dans un peuplement ouvert, c'est la situation inverse, on y retrouve plus de surfaces éloignées.

Pour établir la fréquence théorique, les quadrats de cinquante centimètres par cinquante centimètres furent utilisés comme unité de sondage. La distance d'un quadrat au premier semencier fut calculée comme précédemment, en utilisant cette fois les coordonnées de son centroïde. Les quadrats furent classés selon les classes de distances définies plus haut et par la suite, la surface disponible par classe de distance fut évaluée à l'aide du nombre de quadrats par classe. Dès lors, il était possible d'établir la distribution théorique du nombre de semis, qui supposait une distribution uniforme de ceux-ci, peu importe la distance des quadrats au premier semencier. Les fréquences théoriques de semis correspondaient au nombre total de semis dans la sous-parcelle multiplié par le pourcentage de surface occupée par chaque classe de distance.

Pour établir la distribution observée, le total des semis fut comptabilisé pour tous les quadrats et ventilé par classe de distance. Afin de comparer les observations terrains à la distribution théorique, un test "G" (Sokal et Rohlf 1981) fut réalisé. Pour établir de quelles classes provenaient les différences entre les distributions théoriques et observées, un test de contraste fut réalisé (Scherrer 1984). Ce test, utilisant une approximation normale, calcule un intervalle de confiance pour la valeur observée. Cet intervalle de confiance est établi à l'aide du nombre d'observations, des probabilités associées à chaque classe, et d'un seuil d'erreur de 0,05. Si la valeur théorique excède cet intervalle, on considère significative sa différence par rapport à la valeur observée. Il est ainsi possible de statuer, pour chaque classe, si la valeur observée est significativement supérieure, égale ou inférieure à la valeur théorique escomptée.

### *3.3.1.3. Détection de l'autocorrélation spatiale et la dimension de la contagion*

Les populations végétales forment souvent, sur l'espace qu'elles occupent, des groupes caractéristiques. Ces regroupements d'individus peuvent induire, d'un point d'échantillonnage à l'autre, une corrélation dans les valeurs d'une variable; c'est ce que l'on appelle l'autocorrélation spatiale. La présence d'autocorrélation spatiale rend difficile l'application de méthodes statistiques qui ont comme prérequis l'indépendance entre les échantillons. Le nombre de degrés de liberté que l'on possède est difficile à évaluer puisque les échantillons sont liés. Les résultats des tests statistiques

paramétriques, en présence d'autocorrélation spatiale sont généralement peu fiables.

Afin de vérifier si les semis possédaient une structure spatiale dite contagieuse qui aurait induit une autocorrélation dans le nombre de semis par quadrat, l'indice "I de Moran" fut calculé tel que suggéré par Legendre et Fortin (1989) et Dessaint (1991). L'indice "I de Moran" est un coefficient de corrélation linéaire similaire au coefficient de Pearson. Après avoir établi la distance entre chaque paire de quadrats, on calcule successivement, pour des classes de distances prédéterminées, l'indice "I de Moran". En représentant graphiquement les valeurs de "I" en fonction de ces classes de distances, on obtient un corrélogramme. Celui-ci indique si, pour telle ou telle classe de distance, les données sont significativement corrélées. L'interprétation détaillée des corrélogrammes est décrite par Legendre et Fortin (1989). Cette méthode a la particularité de permettre l'évaluation sur le corrélogramme de la dimension de la structure contagieuse des semis.

L'indice "I de Moran" se définit comme suit:

$$I(d) = [N \sum_i \sum_j w_{ij} (y_i - y_{moy})(y_j - y_{moy})] / [W \sum_i (y_i - y_{moy})^2]$$

$I(d)$  est le "I de Moran", calculé pour la classe de distance  $d$ .  $N$  est le nombre total de quadrats.  $w_{ij}$  est un poids introduit dans l'équation; il prend la valeur 1 ou 0, selon que les quadrats  $i$  et  $j$  font partie ou non de la classe de distance que l'on calcule.  $y_i$  et  $y_j$  sont

les valeurs des quadrats  $i$  et  $j$  et  $y_{moy}$  la moyenne des valeurs de tous les quadrats.  $W$  est la somme des poids pour ce calcul de  $I(d)$ .

Le calcul des corrélogrammes fut effectué à l'aide du programme AutoCorrélation 3.03 inclus dans le progiciel "R" de Legendre et Vaudor (1991). Pour la sous-parcelle de 240 mètres carrés du site ouvert, représentée par 960 quadrats de 0,25 mètre carré, la matrice de distance entre les quadrats était trop volumineuse et les données furent remaniées pour des quadrats de 1 mètre par 1 mètre. Le nombre de classes de distance utilisées pour les sites dense et intermédiaire était de dix afin d'avoir un intervalle de classe d'approximativement un mètre (0,96177 m), tandis que pour le site ouvert, onze classes furent utilisées avec un intervalle de près de deux mètres (1,99586 m). La probabilité d'erreur des corrélogrammes fut fixée à 0,05.

#### *3.3.1.4. Le contrôle de l'autocorrélation spatiale*

Dans ce travail, on cherche à établir s'il existe une relation entre le nombre de semis par quadrat et la distance du centroïdes du quadrat au premier semencier. En présence d'autocorrélation spatiale dans les données, il devient délicat de vérifier l'existence d'une relation entre deux variables puisqu'elle peut être due à une structure contagieuse plutôt qu'à un réel lien entre les variables. Afin de confirmer cette relation, les données furent soumises à un test de "Mantel partiel" (Legendre et Fortin 1989). Le test de "Mantel partiel" permet, en présence d'autocorrélation spatiale, de vérifier s'il persiste une

relation linéaire entre deux variables lorsqu'on contrôle celle due à une structure spatiale particulière.

Pour réaliser un test de "Mantel partiel" les données doivent être compilées dans des matrices sous forme de coefficients de distance. Les coefficients de distance furent obtenus par le calcul de la distance euclidienne (D01) entre les valeurs de chaque paire de quadrats (Legendre et Legendre 1984). La distance euclidienne se calcule ainsi:

$$D01 = \sqrt{(X_i - X_j)^2}$$

D01 étant la distance euclidienne,  $X_i$  et  $X_j$  étant la valeur de la variable  $X$  dans les quadrats  $i$  et  $j$ . Les matrices du site dense et intermédiaire ont une dimension de 80 par 80 (80 quadrats de 0,25 m<sup>2</sup>) et celles du site ouvert sont de 240 par 240 (données remaniées pour 240 quadrats de 1 mètre<sup>2</sup>)

Trois matrices par site sont calculées. Une matrice des valeurs de D01 est établie à l'aide des coordonnées des quadrats. Elle représente une matrice de distance réelle entre les centroïdes de chaque paire de quadrats et décrit l'espace échantillonné. Deux autres matrices sont établies à l'aide 1) du nombre de semis par quadrat et 2) de la distance du premier semencier. Elles représentent la différence absolue entre les données d'un quadrat à l'autre.

Pour éliminer l'effet de la structure spatiale dans les matrices des deux variables concernées, on établit les relations linéaires qui les lient à la matrice de distance entre les quadrats. Autrement dit, on établit les relations linéaires qui définissent le phénomène

d'autocorrélation spatiale. Après avoir déterminé ces deux relations linéaires, on calcule leurs résidus et l'on vérifie à l'aide d'un test de "Mantel simple" s'il persiste une relation entre les matrices de ceux-ci.

Lors du test de "Mantel simple", on quantifie la situation réelle qui prévaut entre deux matrices à l'aide du calcul d'une valeur unique appelé "z" de Mantel (1967). En permutant de façon aléatoire les cellules des matrices on peut obtenir une valeur de "z" due au hasard. À la suite de multiples permutations aléatoires et du calcul successif de "z", on génère une série de valeurs aléatoires. En positionnant le "z" réel sur la courbe des valeurs aléatoires, on évalue la probabilité qu'il soit significativement différent des valeurs acquises par l'effet du hasard et donc témoin d'une relation particulière entre les variables.

La valeur "z de Mantel (1967)" est la sommation des produits des cellules correspondantes de chaque matrice, soit:

$$z = \sum_i \sum_j X_{ij} * Y_{ij}$$

pour  $i \neq j$

Les matrices sont identifiées par X et Y,  $i$  et  $j$  représentent leurs lignes et leurs colonnes. Les valeurs des coefficients de distance (D01) inclus dans la cellule  $ij$  sont donc identifiées par  $X_{ij}$  et  $Y_{ij}$ .

Les tests de "Mantel partiels" ont été réalisés avec le programme Mantel et son option "Smouse, Long et Sokal (1986)" incluse dans le progiciel "R" de Legendre et Vaudor (1991). Les matrices "A" et "B", demandées par le programme, correspondent aux valeurs D01 des variables "nombre de semis" et "distance du premier semencier",

tandis que la matrice "C" contient les distances entre les quadrats. Le nombre de permutations utilisées pour établir les courbes des valeurs aléatoires de "z" fut de 250.

### 3.3.2. Les semis et les microsites

Puisque les lits de germination n'occupaient pas tous la même surface, on ne peut évaluer leur performance par l'observation des histogrammes de fréquence. L'importance des divers lits de germination fut donc évaluée pour chaque quadrat. La mesure des surfaces s'est faite à l'aide d'une image numérisée du relevé cartographique et d'un planimètre inclus dans le logiciel Canvas 3.0™ (1990). Pour comparer le nombre de semis par lit, tout en considérant leur surface, les fréquences observées furent comparées, à l'aide de tests "G" suivies de tests de contraste, aux fréquences théoriques que l'on obtiendrait si les semis étaient répartis également sur le site, sans égard aux types de lits de germination.

Les fréquences observées étaient très éloignées de la distribution théorique et lors du test de contraste, on assistait à un effet d'entraînement des meilleurs lits sur le classement des lits inférieurs. La grande quantité de semis, associée à un lit beaucoup plus performant que les autres, rendait la distribution théorique hors d'atteinte pour les autres lits. Ceci induisait automatiquement un classement d'infériorité de ces lits par rapport à la distribution théorique. L'objectif de ces tests était de classer les lits entre eux, et non par rapport à une distribution théorique. Alors, à la suite des

premiers tests "G" et de contraste, les quantités de semis et les surfaces associées au lit classé supérieur furent retirées. Avec les données des lits résiduels, une autre fréquence théorique, supposant encore l'égalité du nombre de semis par unité de surface, fut recalculée et les tests "G" et de contraste refaits. Cette routine fut exécutée jusqu'à la comparaison finale des derniers lits. Le résultat global de cette élimination fut interprété comme le classement final des lits entre eux. Puisque nous avons des tests en série, le facteur de correction de Bonferonni, tel que définie par Oden (1984), dans Legendre et Vaudor (1991), fut appliqué au niveau de probabilité de chaque test "G". Ce facteur de correction divise la marge d'erreur de chaque test par le nombre de tests exécutés en série et permet de maintenir un risque global d'erreur de 0,05.

Une analyse de variance a permis de vérifier s'il y avait des différences significatives entre les moyennes de l'épaisseur de la matière organique des lits de germination. Ces analyses de variance furent calculées à l'aide du logiciel Statview II™ (1987). Le test PLSD (Protected Least Significant Difference) inclus dans le logiciel a permis d'établir quels lits étaient significativement différents.

### **3.3.3. Le microsite et la distance du premier semencier**

Si l'installation des semis est favorisée par certains lits de germination ou niveau d'épaisseur de matière organique et que l'on cherche à expliquer leur proximité à certains semenciers, il faut vérifier si ces caractéristiques prédisposantes ne se retrouvent pas



elles aussi prioritairement au pied des arbres. Deux indices permettant de caractériser, pour chaque quadrat, la composition des lits de germination et l'épaisseur de la matière organique, furent calculés. La relation de ces indices avec la distance des semenciers fut observée sur des graphiques.

### 3.3.3.1. La possibilité moyenne pondérée de semis de chaque quadrat

Un premier indice, la possibilité moyenne pondérée de semis ( $P_{pond}$ ), cherche à évaluer si les quadrats proches des arbres possèdent une composition de lits de germination plus favorable à la présence des semis que les quadrats éloignés. Pour caractériser la composition des lits de germination de chaque quadrat, la surface occupée par chaque lit de germination d'un quadrat fut pondérée par la densité moyenne de semis que le lit avait obtenu sur l'ensemble de la sous-parcelle (ou du site). Ainsi, chaque quadrat obtient une nouvelle variable spécifique à sa composition en lit de germination, appelée la possibilité moyenne pondérée qui se définit comme suit:

$$P_{pond} = \sum_i \%Squad_i * D_{moy_i}$$

$\%Squad_i$  représente le pourcentage de surface du lit de germination  $i$  par rapport à la surface totale du quadrat.  $D_{moy_i}$  représente la densité moyenne de semis (nombre par mètre carré) obtenue pour le lit  $i$  sur le site concerné. La sommation du produit, pour tous les lits cartographiés sur ce quadrat, donne  $P_{pond}$ , soit un nombre moyen potentiel de semis au mètre carré, basé sur la

composition en lit de germination du quadrat et sur les rendements moyens des lits.

### 3.3.3.2. *L'épaisseur moyenne pondérée de la matière organique de chaque quadrat*

Un deuxième indice, l'épaisseur moyenne pondérée de la matière organique (*Épond*), cherche à évaluer si les quadrats proches des arbres ont subi, lors du feu, une réduction plus prononcée de leur matière organique. Les valeurs d'épaisseur de matière organique étaient obtenues par des mesures ponctuelles associées aux lits de germination, et il est apparu logique, pour établir cette nouvelle variable, de les pondérer par le pourcentage de surface qu'occupait, dans un quadrat, le lit d'origine. L'épaisseur moyenne pondérée de la matière organique (*Épond*) se calcule ainsi:

$$\text{Épond} = \sum_i \%Sprod_i * \text{É}_i$$

$\%Sprod_i$  représente le pourcentage de surface occupé par le lit de germination  $i$ , par rapport au total des surfaces du quadrat qui ont fait l'objet d'une mesure de l'épaisseur de la matière organique.  $\text{É}_i$  représente l'épaisseur de la matière organique (cm) mesurée pour le lit  $i$ . La sommation des produits, pour tous les lits du quadrat représente l'épaisseur moyenne pondérée exprimée en centimètres.

## **CHAPITRE 4**

### **RÉSULTATS**

#### 4. RÉSULTATS

Les trois peuplements retenus se distinguent par leur densité spécifique: le peuplement dense avait 2400 tiges commerciales (DHP  $\geq$  9 cm) à l'hectare, le peuplement intermédiaire avait 1025 tiges à l'hectare, et le peuplement ouvert en avait 450. Les cicatrices de feu récoltées ont permis d'établir que le peuplement dense s'est installé à la suite d'un feu survenu en 1870, tandis que les deux autres se sont installés après un feu ayant eu lieu en 1915. Les arbres de ces peuplements étaient porteurs de masses de cônes dans leur cime et étaient aptes à se reproduire par graines lors du feu de 1983.

##### 4.1. INVENTAIRE 8 ANS APRÈS LE FEU DE 1983

Les caractéristiques générales des peuplements sont présentées au tableau 1. Le peuplement dense est localisé sur les flancs d'une montagne et occupe un till mince avec un bon drainage (Robitaille 1988). Les deux autres peuplements occupent des dépôts fluvio-glaciaires à drainage très rapide. Au moment de l'échantillonnage, à la fin du mois d'août 1991, la strate herbacée (moins de 1 mètre de hauteur) de ces trois peuplements était composée surtout de *Vaccinium ssp* et de *Kalmia angustifolia*. On retrouvait aussi du *Ledum groenlandicum*, de l'*Epilobium angustifolium*, du *Coptis groenlandica*, du *Chiogenes hispidula* et du *Cornus canadensis*. Suite au passage du feu de 1983, le nombre de semis d'épinette noire installé dans les sous-parcelles au moment de notre inventaire était de 1042 pour le site dense, de 102 pour le site intermédiaire et de 69

Tableau 1: Caractéristiques générales des peuplements étudiés lors de l'inventaire en août 1991.

|  | SITES             |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
|  | DENSE             | INTERMÉDIAIRE     | OUVERT            |
| <b>DIVERS</b>                              |                   |                   |                   |
| feu d'origine                              | 1870              | 1915              | 1915              |
| lieu topographique                         | flanc de montagne | plaine d'épandage | plaine d'épandage |
| pente                                      | 12%               | 1%                | 2%                |
| exposition                                 | nord              | nord-ouest        | nord-ouest        |
| dépôt de surface                           | till              | fluvio-glaciaire  | fluvio-glaciaire  |
| drainage*                                  | bon               | très rapide       | très rapide       |
| <b>STRATE ARBOR. (% des tiges ≥ 9cm)</b>   |                   |                   |                   |
| Épinette noire                             | 96                | 100               | 90                |
| Pin gris                                   | 4                 | absent            | absent            |
| Bouleau à papier                           | absent            | absent            | 10                |
| <b>PRODUCTIVITÉ DE L'ÉPINETTE NOIRE</b>    |                   |                   |                   |
| tiges/ha ≥1cm                              | 2750              | 1500              | 1250              |
| tiges/ha ≥9cm                              | 2400              | 1025              | 450               |
| indice de site**                           | II                | II                | III               |
| surface terrière m <sup>2</sup> /ha        | 39,5              | 19,2              | 7,3               |
| volume m <sup>3</sup> /ha                  | 224               | 79                | 22                |
| <b>RÉGÉNÉRATION APRÈS FEU (nbr/ha)</b>     |                   |                   |                   |
| Épinette noire                             | 521 000           | 51 000            | 2 875             |
| Pin gris                                   | 5 000             | absent            | absent            |
| Bouleau à papier                           | 48 000            | 2 000             | absent            |
| Peuplier faux-tremble                      | 2 500             | 1 000             | absent            |
| Saule                                      | absent            | 4 500             | absent            |
| Cerisier                                   | absent            | 3 000             | absent            |
| <b>STRATE HERBACÉE (% de recouvrement)</b> |                   |                   |                   |
| Vaccinium ssp.                             | 45                | 43,8              | 43,8              |
| Kalmia angustifolia                        | 45                | 5,0               | 27                |
| Ledum groenlandicum                        | 12,5              | 2,8               | 11                |
| Epilobium angustifolium                    | - de 1 %          | - de 1 %          | absent            |
| Coptis groenlandica                        | - de 1 %          | absent            | absent            |
| Chiogenes hispidula                        | - de 1 %          | - de 1 %          | absent            |
| Cornus canadensis                          | absent            | 3,8               | - de 1 %          |

**Note:** \* Selon les normes d'inventaire écologique du Ministère des Forêts du Québec (1988).

\*\* Selon les normes de production du manuel d'aménagement forestier du Ministère des Forêts du Québec (1987).

pour le site ouvert, soit 521 000, 51 000 et 2 875 semis à l'hectare. Lorsqu'on établit le ratio "nombre de semis par tige commerciale" on constate que celui-ci diminue aussi avec l'ouverture du peuplement. Le ratio est de 217,1 semis par tige pour le site dense, de 49,8 pour le site intermédiaire et de 6,4 pour le site ouvert. Les relevés cartographiques des semis, des semenciers et des lits de germination, pour les trois sites, sont présentés aux figures 2, 3 et 4.

## **4.2. LES SEMIS ET LA DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER**

### **4.2.1. Distribution des semis en fonction de la distance du premier semencier**

La figure 5 présente, pour les trois sites, l'histogramme de fréquence (%) des semis en fonction de leur distance du premier semencier. Sur ces histogrammes, on constate une concentration des semis dans les trois premières classes, soit dans un rayon d'un mètre et demi autour des arbres. Sur le site dense, on observe un comportement différent. Dans les cinquante premiers centimètres, on retrouve un faible pourcentage de semis comparativement aux deux autres sites. Après un mètre cinquante, pour tous les sites, la décroissance du nombre de semis est rapide.

Le tableau 2 présente les détails associés au test "G" et au test de contraste qui permettent de comparer les fréquences obtenues en fonction de la classe de distance du premier semencier. Dans un premier temps, on remarque que l'importance des surfaces par classe de distance varie en fonction de la densité des peuplements. Pour le

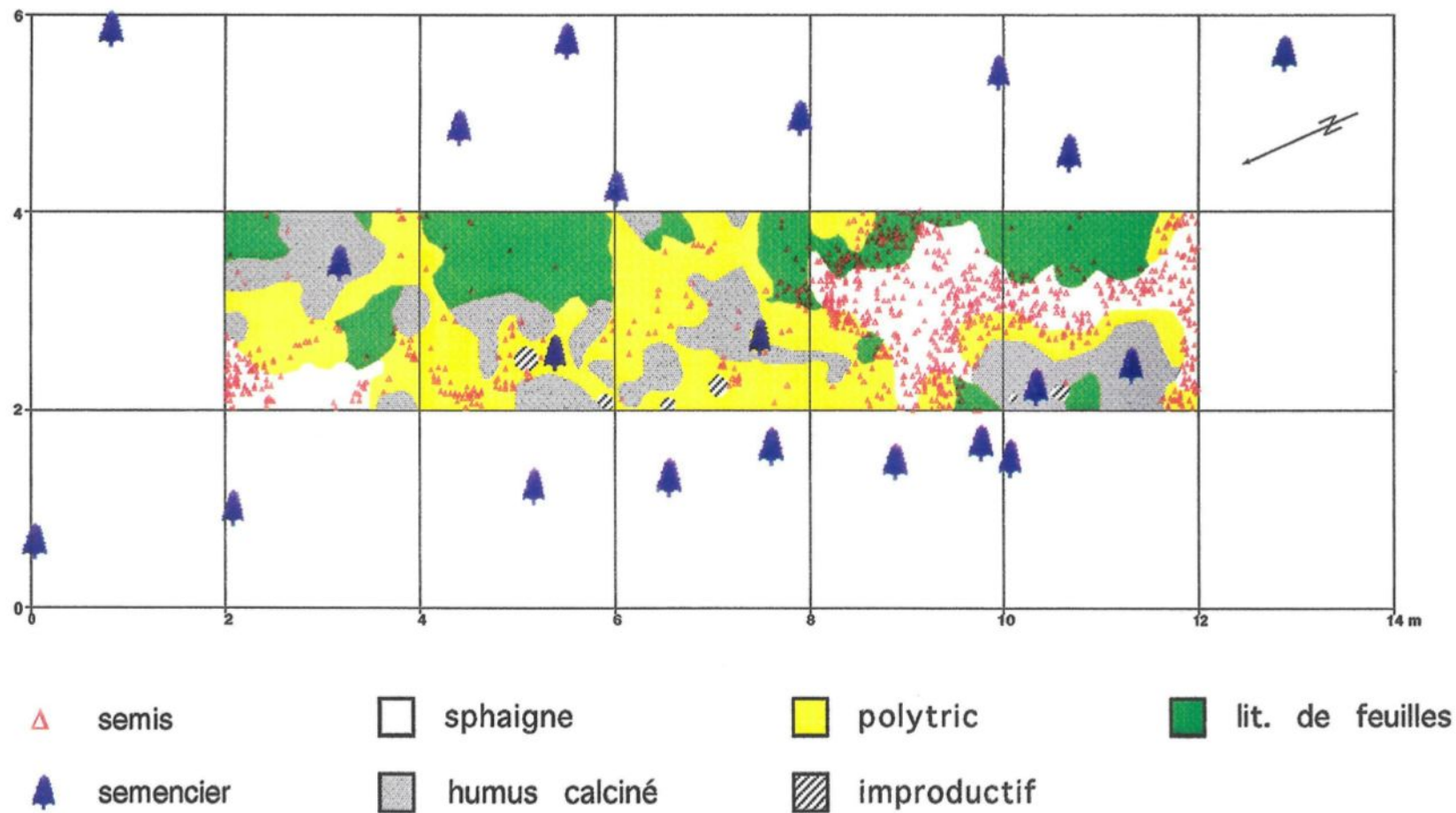


Figure 2: Cartographie des semis, des semenciers et des lits de germination du site dense

Note: La sous-parcelle avec un pourtour de 2 mètres

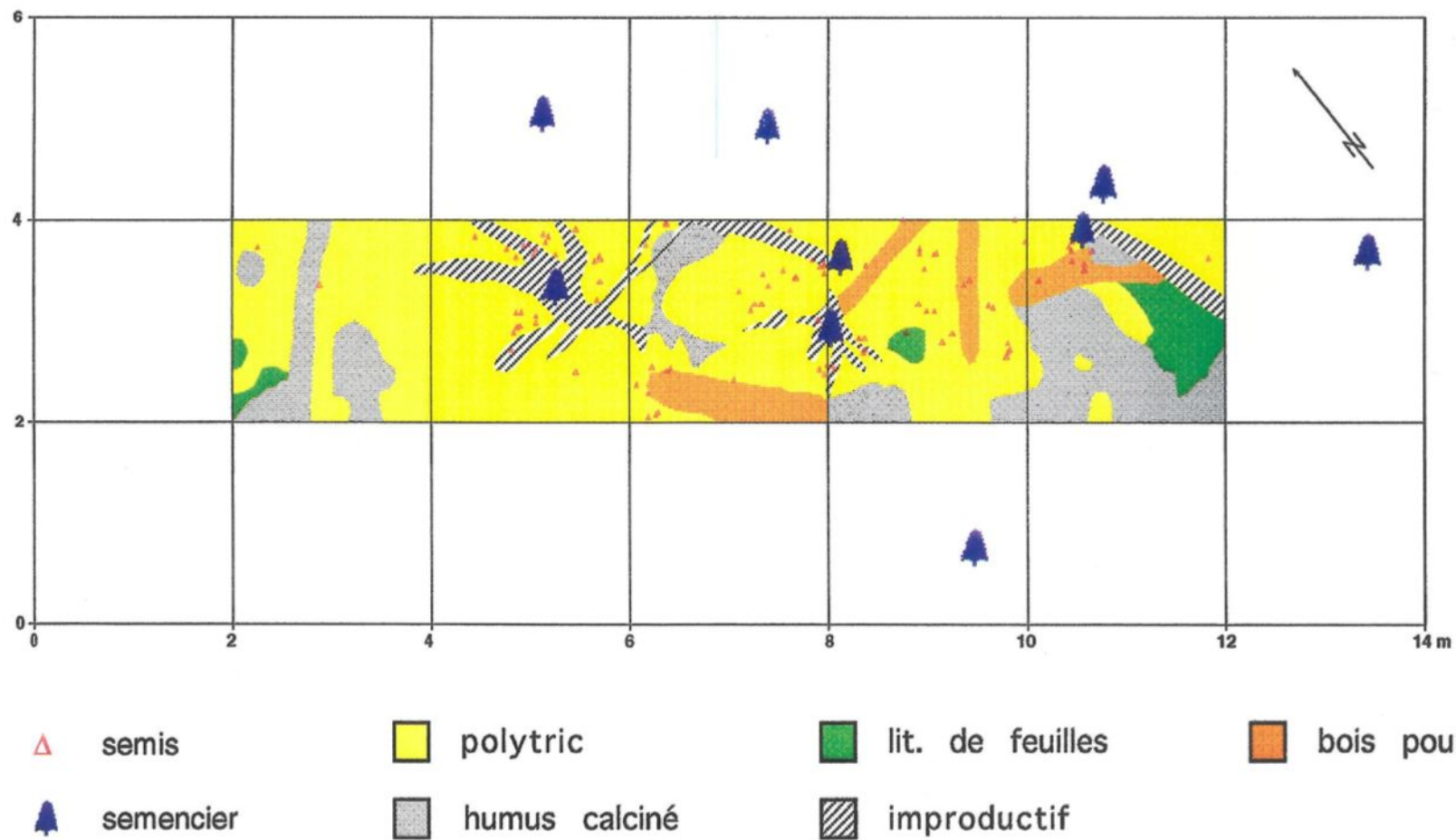


Figure 3: Cartographie des semis, des semenciers et des lits de germination du site intermédiaire

Note: La sous-parcelle avec un pourtour de 2 mètres



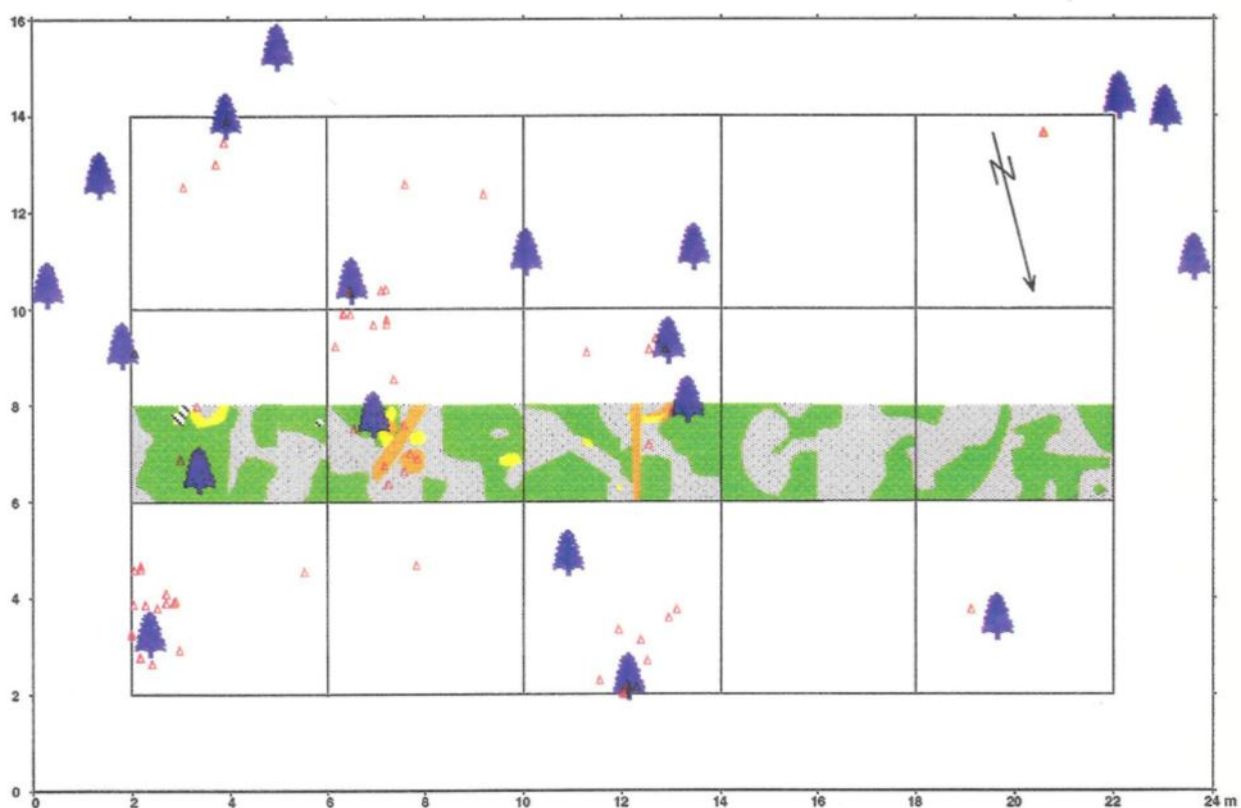


Figure 4: Cartographie des semis, des semenciers et des lits de germination du site ouvert

Note: La sous-parcelle avec un pourtour de 2 mètres et la bande associée aux lits de germination.

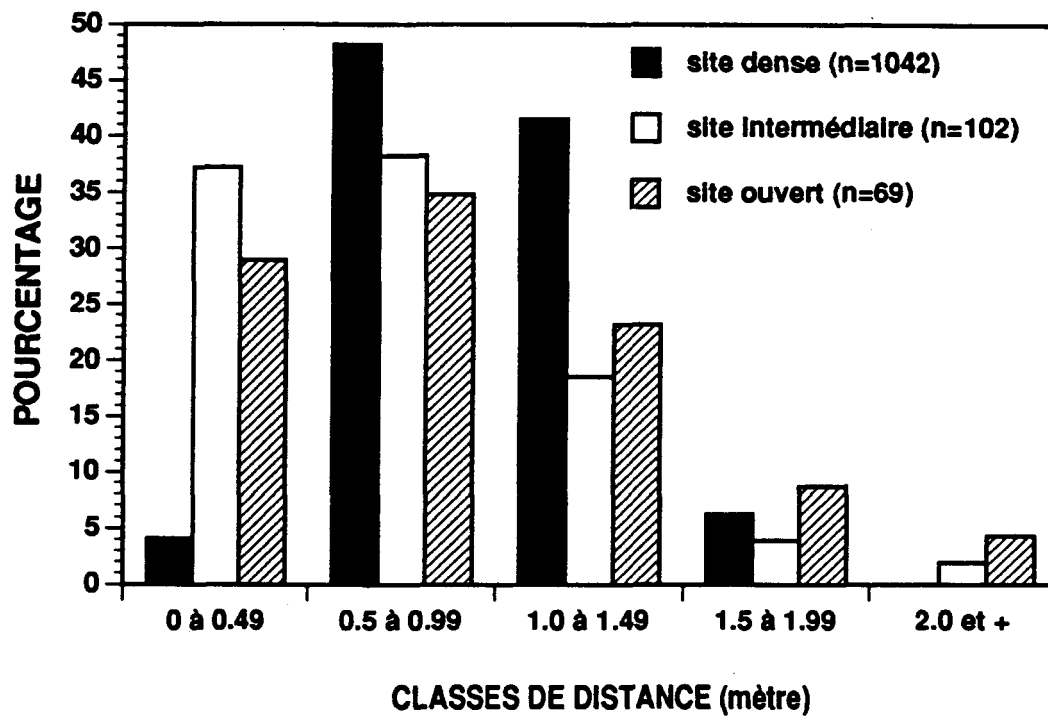


Figure 5: Distribution des semis selon la distance du premier semencier.

site dense, 98,25% de la surface se trouve à moins de un mètre cinquante d'un arbre, pour le site intermédiaire c'est 68,75% de la surface, tandis que pour le site ouvert c'est seulement 30,9% de la surface. On note aussi, pour le site ouvert, que plus de 50% de la surface se localise à deux mètres et plus d'un semencier.

Les G ajustés, comparés aux valeurs de Chi carré à 3 et 4 degrés de liberté, avec un niveau de probabilité de 0,05, indiquent que les fréquences observées s'éloignent d'une fréquence théorique qui supposerait une distribution uniforme des semis, peu importe la distance du premier semencier. Pour les sites intermédiaire et ouvert, les résultats des tests de contraste présentent trois résultats: 1) la première classe de distance reçoit significativement plus de semis 2) les classes entre un et deux mètres ont une juste part des semis 3) la classe de deux mètres et plus a significativement moins de semis pour la surface qu'elle occupe. Sur le site dense, le résultat du classement par le test de contraste est différent. Le manque de semis dans les cinquante premiers centimètres a entraîné un classement significativement inférieur par rapport à la fréquence théorique. Dans les autres classes, malgré une tendance des fréquences observées à suivre la fréquence théorique, le test de contraste indique que les classes les plus éloignées ont reçu significativement plus de semis.

Tableau 2: Comparaison du nombre de semis observé par classe de distance d'un semencier, à une fréquence théorique établie en fonction d'une répartition uniforme des semis sur la surface: résultats de test "G" suivi d'un test de contraste.

| SITES                       | CLASSES DE DISTANCE (mètre) |            |          |            |           |
|-----------------------------|-----------------------------|------------|----------|------------|-----------|
|                             | 0 à 0,49                    | 0,5 à 0,99 | 1 à 1,49 | 1,5 à 1,99 | 2 et plus |
| <b>DENSE (n=1042)</b>       |                             |            |          |            |           |
| % de surface                | 16,25                       | 52,5       | 30       | 1,25       |           |
| fréq. théorique             | 169,3                       | 547        | 312,7    | 13         |           |
| fréq. observée              | 24                          | 528        | 456      | 34         |           |
| G ajusté: 278,16            | -                           | =          | +        | +          |           |
| <b>INTERMÉDIAIRE(n=102)</b> |                             |            |          |            |           |
| % de surface                | 12,5                        | 26,25      | 30       | 15         | 16,25     |
| fréq. théorique             | 12,7                        | 26,8       | 30,6     | 15,3       | 16,6      |
| fréq. observée              | 35                          | 34         | 25       | 6          | 2         |
| G ajusté: 56,57             | +                           | =          | =        | =          | -         |
| <b>OUVERT (n=69)</b>        |                             |            |          |            |           |
| % de surface                | 3,8                         | 11,3       | 15,8     | 18,3       | 50,8      |
| fréq. théorique             | 2,6                         | 7,8        | 10,9     | 12,6       | 35,1      |
| fréq. observée              | 23                          | 18         | 19       | 6          | 3         |
| G ajusté: 56,57             | +                           | +          | =        | =          | -         |

**Note:** Chi carré  $p \leq 0,05$  et  $4 dl = 9,49$ ,  $3 dl = 7,81$ . Suite à un test de contraste avec un seuil de probabilité de 5%, +, = et - expriment le fait que la fréquence observée s'est avérée significativement supérieure, égale ou inférieure à la fréquence théorique.

#### 4.2.2. Détection de l'autocorrélation spatiale et dimension de la contagion

Les trois corrélogrammes de l'indice "I de Moran" sont présentés à la figure 6. Les premières classes de distance présentent des résultats fiables; les classes éloignées, sous-représentées en paires de quadrats,

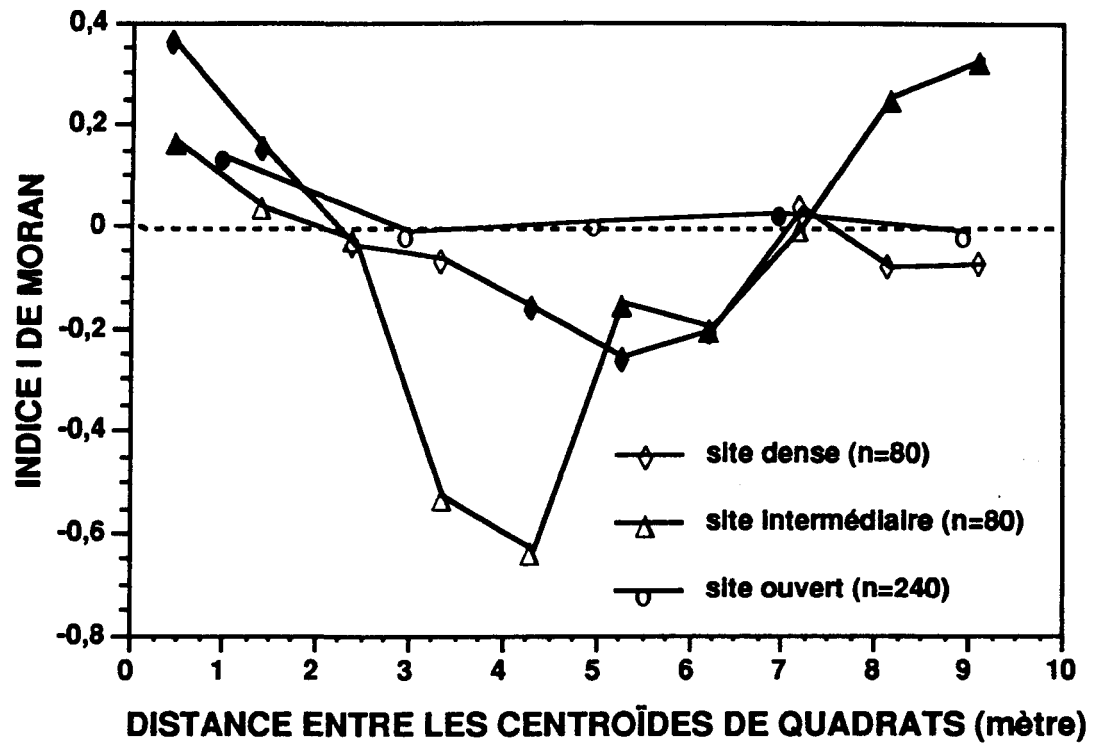


Figure 6: Corrélogrammes de l'indice I de Moran.

**Note:** les symboles noirs représentent les classes de distance où l'autocorrélation est significative ( $p \leq 0,05$ ).  $n$  indique le nombre de quadrats par site impliqués dans les corrélogrammes.

sont moins précises. La tendance des courbes à redevenir positivement et significativement corrélées dans les régions éloignées pourrait suggérer un phénomène de vague dans la distribution spatiale. Par contre, les courbes ne se comportent pas de façon similaire dans ces zones et il apparaît hasardeux d'avancer une interprétation biologique.

Dans les zones rapprochées, les corrélogrammes ont le même comportement. Ils témoignent tous de la présence d'une autocorrélation positive significative ( $p \leq 0,05$ ) dans les données. Ceci confirme aussi la présence d'une structure contagieuse chez les semis. La première intersection du tracé d'un corrélogramme avec le niveau "I de Moran" égale à zéro suggère que le rayon de la contagion soit la distance correspondante sur l'abscisse. La dimension de la structure contagieuse des semis est pour le site dense de 2,83 mètres de rayon, de 2,66 mètres pour le site intermédiaire et de 3,5 mètres pour le site ouvert.

#### **4.2.3. Le test de Mantel partiel**

Les résultats des tests de "Mantel partiels" sont présentés au tableau 3. On retrouve dans ce tableau le nombre de permutations qui ont induit un "z" supérieur et un "z" inférieur, par rapport au "z" réel. On y trouve aussi la probabilité que le "z" réel soit différent des résultats obtenus à la suite des permutations aléatoires. Ainsi, pour les sites intermédiaire et ouvert, le test suggère qu'en plus du phénomène d'autocorrélation présent dans nos données, il persiste une relation

linéaire qui lie le nombre de semis par quadrat à sa distance du premier semencier. Pour le site dense, le test n'a pas détecté de relation significative. Les valeurs des "z" aléatoires étaient distribuées d'une manière non significative de part et d'autre de la valeur du "z" réel.

Tableau 3: Résultats des tests de Mantel partiel vérifiant l'existence d'une relation linéaire entre le nombre de semis par quadrat et la distance du premier semencier.

| SITES         | NOMBRE DE PERMUTATIONS |   |     |          |
|---------------|------------------------|---|-----|----------|
|               | >                      | = | <   | p        |
| Dense         | 37                     | 1 | 213 | 0,15139  |
| Intermédiaire | 9                      | 1 | 241 | 0,00398* |
| Ouvert        | 250                    | 1 | 0   | 0,00398* |

**Note :** \* test significatif pour  $p \leq 0,05$ . L'aspect contrôlé du test est l'autocorrélation due à la répartition spatiale des quadrats. Les descripteurs sont des distances euclidiennes pour toutes les matrices. Les symboles >, = et < indiquent le nombre de valeurs théoriques de "z", après 250 permutations aléatoires, qui furent plus petites, égales ou plus grandes que la valeur réelle. Site dense et intermédiaire, 80 quadrats de  $0,25\text{m}^2$ ; site ouvert, 240 quadrats de  $1\text{m}^2$ .

#### 4.2.4. Relation entre le nombre de semis par quadrat et sa distance du premier semencier

La figure 7 présente, pour les divers sites, la distribution des quadrats en fonction de leur quantité de semis et de leur distance du premier semencier. Ces graphiques sont en accord avec les histogrammes de fréquence de la figure 5, avec les résultats des tests "G", et ceux des tests de contraste effectués précédemment. De plus, ils suggèrent qu'il n'y a pas une corrélation directe entre la distance d'un

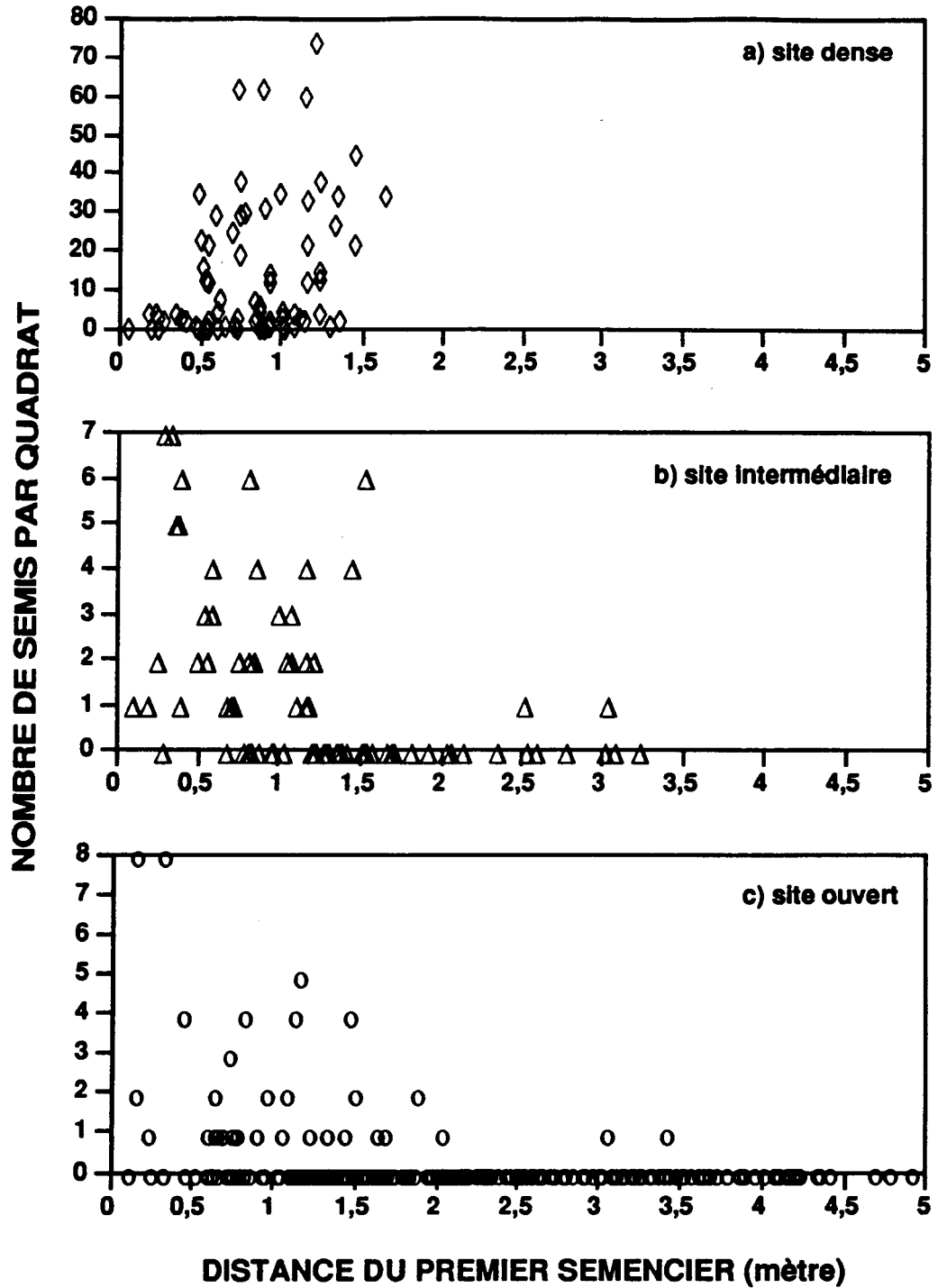


Figure 7: Distribution des quadrats en fonction de leur nombre de semis et de leur distance au premier semencier.

Note: Les sites dense et intermédiaire ont 80 quadrats de  $0,25\text{m}^2$  tandis que le site ouvert présente 240 quadrats de  $1\text{mètre}^2$ .



quadrat et le nombre de semis que l'on y retrouve. Sur les sites intermédiaire et ouvert on retrouve plusieurs quadrats, dans le premier mètre et demi, ayant peu ou pas de semis. Par contre, à cette distance, la probabilité d'avoir plusieurs semis est plus élevée que sur les surfaces éloignées. Pour le site dense, on note encore la faible probabilité d'obtenir des semis dans les cinquante premiers centimètres; par la suite, il y a peu de différence en fonction de la distance. L'absence d'effectif empêche de juger de la situation dans les classes éloignées.

### **4.3. LES SEMIS ET LES MICROSITES**

#### **4.3.1. Les lits de germination**

##### *4.3.1.1. Leur importance*

La litière des sous-parcelles se divise en deux catégories: les surfaces potentiellement productives et les surfaces improductives, comme les pierres, le bois des racines et les quelques troncs couchés au sol à la suite du feu de 1983. Les surfaces improductives représentent un faible pourcentage de la surface totale. Ces surfaces occupent 2,2% pour le site dense, 6,7% pour le site intermédiaire, et 0,4% pour le site ouvert (tableau 4). Les lits identifiés productifs sont des surfaces occupées par de la sphaigne, du polytric, des litières de feuilles, du bois pourri et des humus encore calcinés, colonisés par de minuscules lichens.

Tableau 4: Surface (%) d'occupation des divers lits de germination.

| LITS DE GERMINATION    | SITES  |               |        |
|------------------------|--------|---------------|--------|
|                        | DENSE  | INTERMÉDIAIRE | OUVERT |
| Productif              | 97,8   | 93,3          | 99,6   |
| Improductif            | 2,2    | 6,7           | 0,4    |
| <b>LITS PRODUCTIFS</b> |        |               |        |
| Sphaigne               | 19,0   | absent        | absent |
| Polytric               | 37,0   | 65,5          | 1,3    |
| Litière de feuille     | 23,0   | 7,6           | 50,2   |
| Bois pourri            | absent | 8,1           | 2,5    |
| Humus calciné          | 21,0   | 18,8          | 46,0   |

La sphaigne est présente seulement sur le site dense. Sur les sites intermédiaire et ouvert, on retrouve des bois en décomposition qui proviennent de la chute des arbres tués lors du feu de 1915. Les humus calcinés occupent, pour tous les sites, une surface importante: 21,0% pour le site dense, 18,8% pour le site intermédiaire et jusqu'à 46% pour le site ouvert. Sur le site ouvert, seulement 1,3% de la surface totale est colonisée par le polytric.

#### 4.3.1.2. L'épaisseur de la matière organique

Pour tous les sites, les analyses de variance suggèrent qu'il existe des différences significatives ( $p \leq 0,05$ ) entre les moyennes de l'épaisseur de la matière organique d'un lit de germination à l'autre (tableau 5). Le pourcentage de la variance expliqué par les moyennes est de 6,67% pour le site dense, de 7,79% pour le site intermédiaire et de 33,75% pour le site ouvert. Les écarts-types, additionnés ou soustraits aux moyennes, permettent des chevauchements entre les valeurs associées à chaque lit de germination. Ceci exprime la faible

capacité des moyennes à expliquer la grande variabilité dans les mesures d'épaisseur de matière organique.

Tableau 5: Statistiques descriptives concernant l'épaisseur moyenne de la matière organique des lits de germination.

| SITES  | LITS DE GERMINATION      | NB | MOY   | ÉCART-TYPE |
|--|--------------------------|----|-------|------------|
| <b>DENSE</b><br>p**=0,0205<br>R2***=6,67%    | Sphaigne (ab)*           | 24 | 23,75 | 4,48       |
|  | Polytric (a)             | 47 | 23,68 | 6,7        |
|  | Litière de feuilles (a)  | 32 | 21,84 | 5,06       |
|  | Humus calciné (b)        | 42 | 27,1  | 10,26      |
| <b>INTERMÉDIAIRE</b><br>p=0,0203<br>R2=7,79% | Polytric (a)             | 74 | 9,87  | 4,33       |
|  | Litière de feuilles (ab) | 7  | 10    | 3,79       |
|  | Humus calciné (b)        | 18 | 13,1  | 4,26       |
| <b>OUVERT</b><br>p=0,0001<br>R2=33,75%       | Polytric (a)             | 4  | 8,75  | 1,5        |
|  | Litière de feuilles (b)  | 22 | 16    | 5,01       |
|  | Humus calciné (a)        | 23 | 10,26 | 3,85       |

**Note:** \* (a) => groupe ayant par rapport au groupe (b) une différence significative avec un seuil de probabilité de 0,05 à la suite d'un test de PLSD. (ab) => aucune différence significative avec le groupe (a) ou (b).  
 \*\* p => probabilité d'une différence significative entre les moyennes suite à une analyse de variance.  
 \*\*\* R<sup>2</sup> exprime le pourcentage de la somme des carrés des écarts due aux moyennes.

La matière organique au-dessus du sol minéral est plus épaisse sur le site dense que sur les autres sites, avec des moyennes variant de 21,84 cm pour la litière de feuille, à 27,1 cm pour les humus calcinés. Sur les sites intermédiaire et ouvert les épaisseurs moyennes varient de 8,75 cm pour le polytric du site ouvert, à 13,1 cm pour les humus calcinés du site intermédiaire.

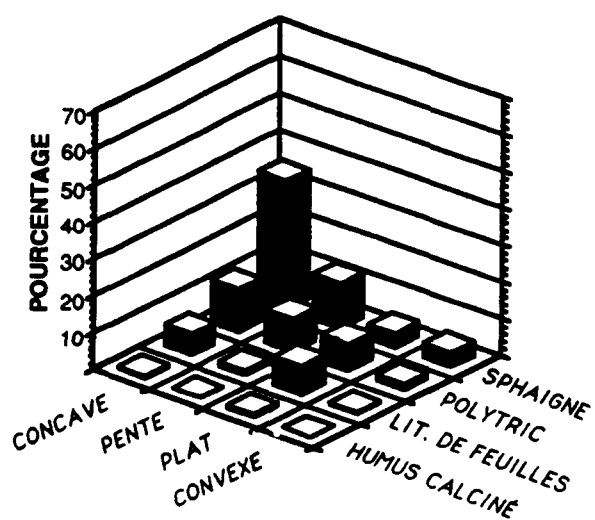
Sur le site dense, le test de PLSD a détecté deux groupes significativement différents ( $p \leq 0,05$ ), soit un premier formé du polytric et des litières de feuilles, et un deuxième composé des humus calcinés. Le test PLSD n'a pu dissocier la sphaigne de ces deux derniers groupes. Sur le site intermédiaire, des différences significatives ( $p \leq 0,05$ ) sont apparues entre le polytric et les humus calcinés, tandis qu'il était impossible de discriminer la litière de feuilles de ces deux derniers lits. Sur le site ouvert, le polytric et les humus calcinés ont des moyennes semblables, tandis que la litière de feuilles a une épaisseur de matière organique significativement supérieure aux deux lits précédents.

#### **4.3.2. Distribution des semis sur les différents microsites**

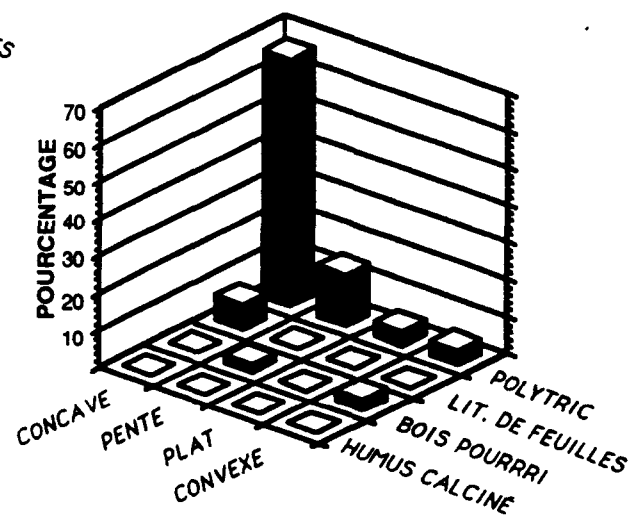
La figure 8 présente, pour chaque site, les histogrammes de fréquence du pourcentage de semis en fonction des microsites relevés à leur base. Globalement, on observe que les semis sont favorisés par un microrelief de forme concave colonisé par une mousse, soit de type sphaigne ou polytric.

##### *4.3.2.1. Fréquence d'apparition des semis selon le relief des microsites*

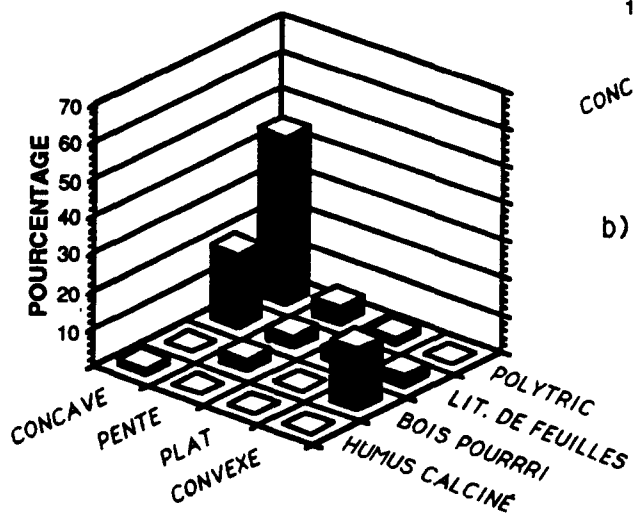
La majorité des semis se retrouve sur des microsites de forme concave. Ces microsites abritent 52,5% des semis pour le site dense, 73,6% des semis pour le site intermédiaire et 66,7% des semis pour le site ouvert. Les microsites plats et en pente, sont nettement moins



a) site dense (n=1042)



b) site intermédiaire (n=102)



c) site ouvert (n=69)

Figure 8: Distribution des semis en fonction des lits de germination et du relief des microsites

productifs que les concaves. Sur le site dense, ils sont occupés respectivement par 22,2% et 19,5% des semis. Sur les sites intermédiaire et ouvert, les microsites en pente ont 15,7% et 10,1% des semis. Ceux-ci surpassent les microsites plats qui n'ont que 4,4% et 3,9% des semis respectivement. Les microsites convexes du site dense supportent 5,8% des semis. Ceux des sites intermédiaire et ouvert, formés principalement par des souches et des troncs en décomposition, supportent respectivement 6,8% et 18,8% des semis.

#### 4.3.2.2. *Fréquence d'apparition des semis selon les lits de germination*

La majorité des semis sont associés à une mousse, soit la sphaigne ou le polytric. La sphaigne favorise un plus grand nombre de semis que le polytric. Sur le site dense, 54,7% des semis étaient sur la sphaigne et 29,4% sur le polytric. Pour les sites intermédiaire et ouvert, où la sphaigne est absente, c'est la mousse polytric qui supporte le plus grand nombre de semis, soit 88,2% et 49,3% respectivement. Sur le site dense, les litières de feuilles, formées de feuilles d'éricacés et de bouleaux, supportent 14,7% des semis. Aux sites intermédiaire et ouvert, la litière de feuilles, formée presque exclusivement de feuilles d'éricacés, abritent respectivement 6,9% et 27,5% des semis. Sur ces sites, les bois pourris supportent 4,9% et 18,8% des semis. On constate ici une association des microsites de forme convexe, avec les lits de germination formés par les structures de bois en décomposition. Les humus calcinés s'avèrent des lits peu

productifs. Ils abritent moins de 2% des semis sur les sites dense et ouvert, et aucun semis sur le site intermédiaire.

#### **4.3.3. Comparaison de la fréquence des semis selon les lits de germination**

Les fréquences observées selon les lits de germination furent comparées par des tests "G" et des tests de contraste en série, à des distributions théoriques basées sur une répartition égale des semis sur la surface, peu importe le lit de germination. La fréquence d'apparition des semis, lorsqu'associée à la surface disponible, permet d'évaluer la densité moyenne de semis sur chaque lit de germination. Le classement final, obtenu à la suite des tests "G" et des tests de contraste, peut être associé à la densité, et il permet alors de spécifier si la densité d'un lit de germination est significativement supérieure ou inférieure à un autre lit. Le tableau 6 présente les densités de semis au mètre carré pour chaque lit, ainsi que leur classement les uns par rapport aux autres.

La sphaigne s'avère le meilleur lit avec une densité de 153,6 semis au mètre carré, suivie de loin par le polytric qui avait une densité variant, selon les sites, de 7,37 à 42,3 semis par mètre carré. Sur le site intermédiaire, le bois pourri s'avère un lit équivalent à la litière de feuilles. Par contre, sur le site ouvert, il est supérieur à cette dernière. Alors que les humus calcinés ont une densité de 3,2 semis au mètre carré sur le site dense, à l'échelle de la cartographie, ils s'avèrent improductifs aux sites intermédiaire et ouvert.

Tableau 6: Densité de semis par lit de germination selon les sites et classement des lits à la suite de tests "G" et de contraste.

| SITES         | LITS DE GERMINATION |          |                |                        |                  |
|---------------|---------------------|----------|----------------|------------------------|------------------|
|               | SPHAIGNE            | POLYTRIC | BOIS<br>POURRI | LITIÈRE DE<br>FEUILLES | HUMUS<br>CALCINÉ |
| Dense         | 153,6 >             | 42,3 >   |                | 33,8 >                 | 3,2              |
| Intermédiaire |                     | 7,37 >   | 3,31 =         | 2,54 >                 | 0                |
| Ouvert        |                     | 10,9 >   | 2,2 >          | 0,2 >                  | 0                |

**Note:** La densité est exprimée en nombre de semis par mètre carré. Les symboles >, = ou < signifient que les densités sont significativement supérieures, égales ou inférieures les unes par rapport aux autres. Les résultats sont globalement significatifs à un niveau  $p \leq 0,05$ .

#### 4.4. CARACTÉRISTIQUES DES MICROSITES EN FONCTION DE LA DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER

On a démontré que les semis se trouvent dans un espace restreint autour des arbres semenciers et de plus qu'ils favorisent certains types de lits de germination. Si on veut expliquer les phénomènes qui régissent l'agglomération des semis à la base des arbres, il faut vérifier si les microsites favorables sont uniquement concentrés à cet endroit, et donc potentiellement responsables de l'agglomération des semis. À cette fin, les figures 9 et 10 présentent la distribution des quadrats en fonction de la distance du premier semencier et des indices représentant la composition des lits de germination et l'épaisseur de la matière organique.



#### **4.4.1. Possibilité moyenne pondérée de semis selon la composition du lit de germination**

##### *4.4.1.1. Le site dense*

Sur le site dense, on note une tendance linéaire positive de la possibilité moyenne pondérée en fonction de la distance du premier semencier. Cette distribution suggère que les lits de germination soient moins favorables dans les cinquante premiers centimètres et qu'en s'éloignant des arbres, ils tendent à s'améliorer. On note aussi, passé les cinquante premiers centimètres, un groupe de quadrats dans le haut du graphique qui se distingue par des possibilités moyennes pondérées de 90 semis et plus par mètre carré. Ceux-ci représentent les quadrats qui ont un fort pourcentage de sphaignes.

##### *4.4.1.2. Le site intermédiaire*

Sur le site intermédiaire, la situation est bien différente. Aucune relation ne semble exister entre la qualité des lits de germination et la distance du premier semencier. Jusqu'à deux mètres, il y a assez de quadrats pour bien juger la situation. Malgré une baisse des effectifs dans les zones éloignées, on peut encore croire à l'absence d'une telle relation.

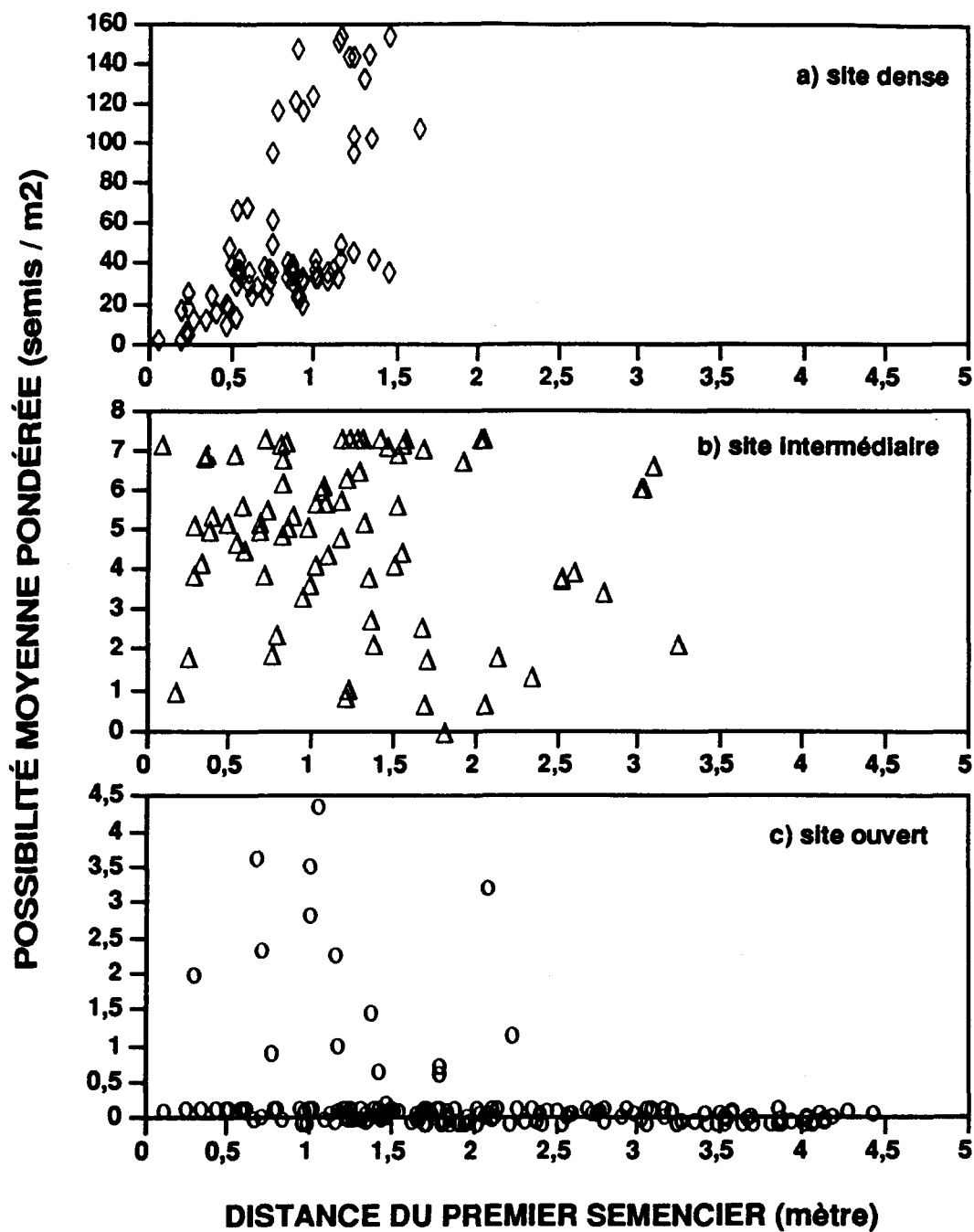


Figure 9: Distribution des quadrats en fonction de leur possibilité moyenne pondérée et de leur distance au premier semencier.

**Note:** Les sites dense et intermédiaire ont 80 quadrats de 0,25 mètre<sup>2</sup>, tandis que le site ouvert présente 240 quadrats de 1 mètre<sup>2</sup>. La pondération tient compte de la composition du lit de germination de chaque quadrat.

#### *4.4.1.3. Le site ouvert*

La distribution de la possibilité moyenne pondérée montre bien la faible capacité des lits de germination en place à assurer la survie des semis. Par contre, on observe quand même des quadrats plus productifs que les autres jusqu'à deux mètres cinquante. La possibilité moyenne pondérée des quadrats éloignés de plus de deux mètres cinquante témoigne de la forte composition en éricacés et en humus brûlés.

#### **4.4.2. Épaisseur moyenne pondérée de la matière organique selon la composition des lits de germination**

La figure 10 présente la distribution des quadrats en fonction de l'épaisseur moyenne pondérée de la matière organique et de la distance au premier arbre. Pour le site dense, on obtient un nuage de point presque circulaire, tandis que pour les deux autres sites, la relation est linéaire et de pente presque nulle. Ces deux types de distributions suggèrent qu'il n'y a pas de baisse notable de l'épaisseur de la matière organique en fonction de la proximité des arbres.

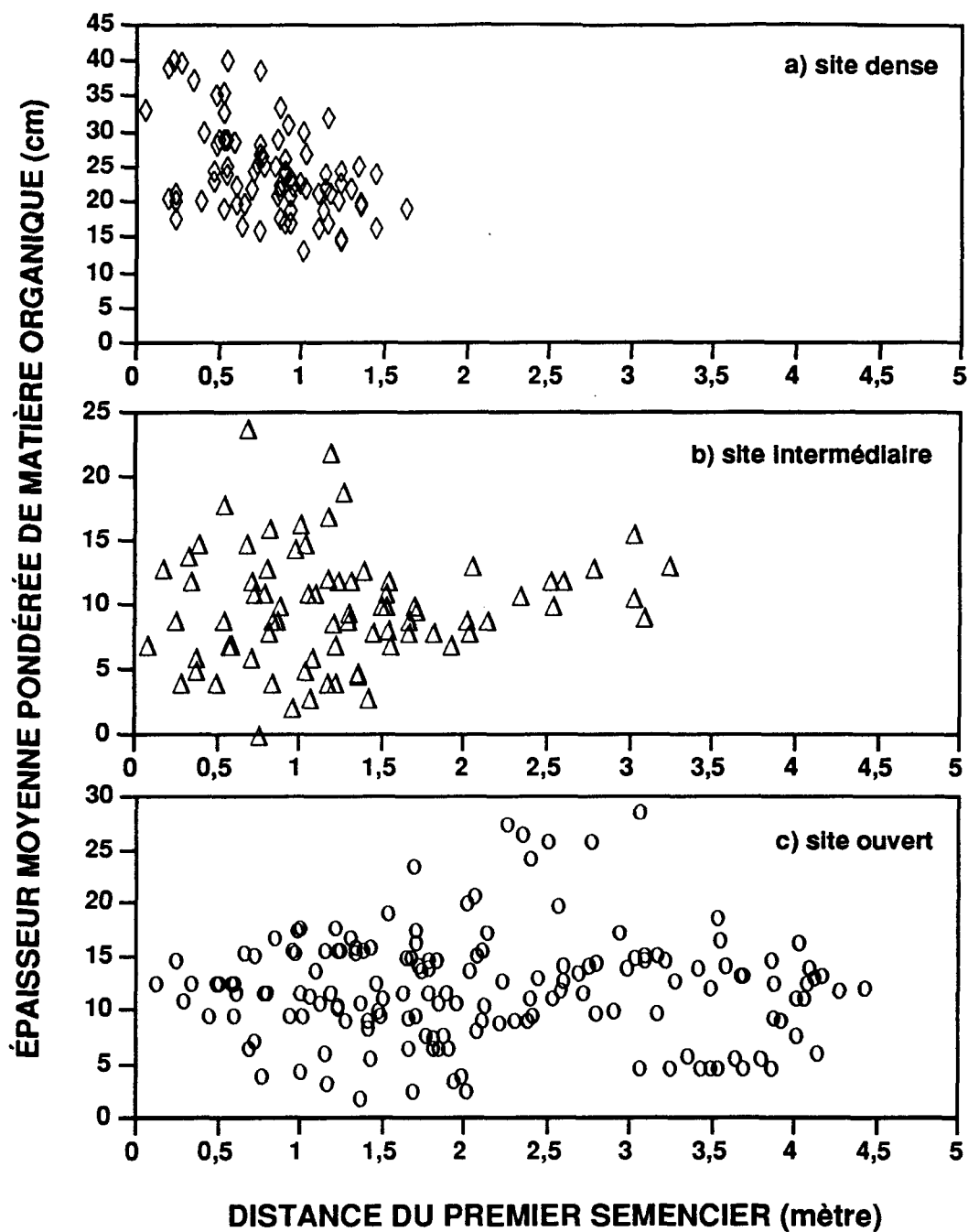


Figure 10: Distribution des quadrats en fonction de leur épaisseur moyenne pondérée de matière organique et de leur distance au premier semencier.

**Note:** Les sites dense et intermédiaire ont 80 quadrats de 0,25 mètre<sup>2</sup>, tandis que le site ouvert présente 240 quadrats de 1 mètre<sup>2</sup>. La pondération tient compte de la composition du lit de germination de chaque quadrat.

**CHAPITRE 5**

**DISCUSSION**

## **5. DISCUSSION**

Les résultats de ce travail appuient l'hypothèse de départ. Un peuplement d'épinette noire tué par le feu aura un taux de régénération en fonction de sa densité. La quantité de semis à l'hectare baisse progressivement avec l'ouverture du peuplement. Le ratio du nombre de semis par semencier suit également cette tendance. Si l'on ne tient pas compte de la variabilité du nombre de semences par arbre, ce phénomène suggère que les conditions d'installation et de survie se détériorent avec l'ouverture du peuplement. L'ouverture du peuplement augmente l'exposition au soleil. St-Pierre *et al.* (1992) suggèrent qu'une plus forte densité de tiges debout crée un certain ombrage qui rafraîchit la surface du sol, favorisant ainsi la germination et la survie. Un peuplement ouvert est plus exposé au vent et dans cette situation, des dépôts à nappe phréatique profonde peuvent devenir susceptibles à la sécheresse. Thomas et Wein (1984) ont démontré une augmentation de l'installation de l'épinette noire lorsque les conditions d'assèchement étaient réduites par des ombrières ou des végétaux.

### **5.1. LES SEMIS ET LA DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER**

Les données recueillies lors de ce travail appuient les observations faites en forêt boréale par Nickerson (1958), Rowe (1970), Van Wagner (1988) et St-Pierre *et al.* (1991), en ce qui concerne l'agglomération de la régénération autour des arbres adultes après un feu (figures 3 et 4). Pour d'autres écosystèmes, Briggs et Gibson

(1992) ainsi que Ne'eman *et al.* (1992) ont aussi observé des relations spatiales particulières reliant la régénération après feu aux adultes semenciers.

Les distributions de fréquence des semis en fonction de la distance du premier semencier, les tests "G" ainsi que les tests de contraste, confirment le phénomène d'association des semis aux arbres adultes que St-Pierre *et al.* (1991) avaient démontré à l'aide d'un coefficient de corrélation de point (Scherrer 1984). Ce travail, par le calcul de la distance entre les semis et le premier semencier, permet de préciser et de décrire cette relation.

Sur les histogrammes de fréquence (figure 5) des sites intermédiaire et ouvert, où la répartition des lits de germination est indépendante de la présence des arbres (figures 3, 4, 9b et 9c), on peut observer la décroissance du nombre de semis avec l'augmentation de la distance. Ce résultat est confirmé par les tests "G" et de contraste. Par contre, le site dense présente une distribution nettement différente, explicable par l'organisation spatiale particulière des lits de germination. La possibilité moyenne pondéré du site dense (figure 9a) indique que les cinquante premiers centimètres échantillonnés sont moins productifs. La cartographie des lits de germination de ce site (figure 2) quant à elle, montre la présence de plages d'humus calciné dans l'environnement immédiat de plusieurs arbres. Ceci affecte directement cette classe de distance puisque les humus calcinés sont reconnus dans ce travail comme des microsites peu productifs. Les fréquences élevées dans les deux classes suivantes

(figure 5) sont aussi attribuables, en partie, à la composition du lit de germination. En observant la possibilité moyenne pondérée (figure 9a), on remarque deux groupes de quadrats. L'un avec un potentiel très élevé, associé à la sphaigne, et un deuxième groupe avec un niveau beaucoup plus bas, associé au polytric et à la litière de feuilles. Ces deux groupes de quadrats font contrepoids, ce qui entraîne un résultat d'égalité à la suite du test de contraste (tableau 2). Les classes résiduelles éloignées sont représentées par une majorité de quadrats avec une possibilité moyenne pondérée attribuable à une forte proportion de sphaigne. Dans l'ensemble, malgré des différences que l'on peut expliquer par la composition du lit de germination, les trois distributions de fréquence de la figure 5 suggèrent une réduction du nombre de semis avec la distance du semencier. Pour les trois sites, plus de 90% des semis étaient à moins de deux mètres. Passé cette limite, on ne retrouve que très peu de semis.

Les corrélogrammes de l'indice "I de Moran" (figure 6) suggèrent qu'il y ait une autocorrélation significative dans le nombre de semis par quadrat pour une distance approximative de un mètre cinquante entre les quadrats. Cette autocorrélation suggère la présence d'une structure contagieuse chez les semis. St-Pierre *et al.* (1991) avaient obtenu un résultat similaire en utilisant un coefficient de distribution (Greig-Smith 1983). Le corrélogramme a l'avantage de préciser la dimension de cette contagion. A cette fin, il est intéressant de voir comment les résultats sont similaires pour les trois sites, et comment ils appuient l'interprétation des distributions de fréquence.



L'utilisation de quadrats de 1 mètre par 1 mètre sur le site ouvert réduit la précision du corrélogramme pour ce site et c'est pourquoi il montre une dimension de contagion légèrement supérieure à celle obtenue pour les deux autres sites.

Le test de "Mantel partiel" joue un rôle important en confirmant l'association des semis aux semenciers. Comme le démontre l'indice "I de Moran", ou le coefficient de distribution utilisé par St-Pierre *et al.* (1991), les semis ont une distribution contagieuse. Alors, la question suivante se pose: l'association des semis avec les arbres est-elle un artéfact parce que de grandes quantités de semis ayant une structure contagieuse se retrouvent arbitrairement au pied des arbres, ou la structure contagieuse est-elle une conséquence de la présence des arbres? La distribution de fréquence, le test "G", le test de contraste ou la corrélation de point ne peuvent répondre à cette question. Le test de "Mantel partiel", en contrôlant la relation d'autocorrélation spatiale, permet de répondre à cette question. Pour les sites intermédiaire et ouvert, au-delà de l'autocorrélation spatiale, une relation linéaire significative est présente entre le nombre de semis et la distance du premier semencier (tableau 3). Sur le site dense, le test de "Mantel partiel" ne détecte pas de relation linéaire, malgré la présence d'une autocorrélation significative mise en lumière par l'indice "I de Moran". Sur ce site, la structure contagieuse des semis est due à leur affinité avec des lits de germination comme la sphaigne et le polytric, plutôt qu'à la distance des semenciers (figure 2).

Sur le site dense, l'absence de relation linéaire en fonction de la présence des arbres suggère que les semis puissent être distribués au hasard sous le peuplement sans la contrainte due à la distance des semenciers. Ceci apparaît plausible sans être en contradiction avec les résultats des deux autres sites. En effet, la presque totalité de la surface du peuplement dense est incluse dans la zone favorable d'influence des semenciers et il est normal que les zones éloignées défavorables ne puissent se manifester, sans pour autant que la contrainte de la distance soit inexistante.

La répartition spatiale de la régénération de l'épinette noire après feu est donc associée à la distance du premier semencier et les protocoles d'échantillonnage, lors d'inventaire de régénération après feu, doivent tenir compte de ce phénomène. Ce type particulier de répartition, s'il n'est pas considéré, peut augmenter la variance dans les données et affecter d'une manière non négligeable la précision des mesures de densité (Dessaint 1991).

## **5.2. LES SEMIS ET LES MICROSITES**

La différence entre les lits de germination des divers sites se situait plus au niveau de leur représentativité que de leur diversité. Les seules différences dans la composition se situaient au niveau de la sphaigne sur le site dense plus humide, et au niveau des bois en décomposition sur les deux autres sites (tableau 4). La planimétrie a montré, pour tous les sites, que la proportion des surfaces qui constitue normalement un obstacle à la régénération était négligeable.

Par contre, après un feu, la proportion des surfaces rendues improductives par des humus encore calcinés, peut être assez importante.

Les semis, après feu, se sont en partie associés à des microsites colonisés par la mousse polytric. Ce résultat est similaire à celui de Linteau (1957), suite à l'exposition du sol minéral, lors de l'installation de routes. *Polytrichum juniperinum* et *Polytrichum piliferum* sont reconnus parmi les premiers colonisateurs de brûlis et ils ont un rôle à jouer dans la réduction de l'érosion (Lutz 1956, Scotter 1964, Rowe et Scotter 1973, Viereck et Dyrness 1979, Heinselman 1981, Stickney 1986). La forte association des semis avec la sphaigne, sur le site dense, est aussi confirmée par Arnott (1973) et Frisque (1977). L'importance de l'humidité, pour les semis d'épinette noire, fait l'unanimité dans la littérature (LeBaron 1944, Place 1955, Lutz 1956, Arnott 1973, Viereck 1973, Winston 1973, Frisque 1977, Ahlgren et Ahlgren 1981, Arnup *et al.* 1988). La sphaigne témoigne bien de la disponibilité en eau (Place 1955, Frisque 1977). Sur le site dense, elle colonisait une légère dépression et a permis la survie de près de trois fois plus de semis au mètre carré que le polytric et la litière de feuilles. Sur le site ouvert, qui était très sec, on observe une association importante du nombre de semis avec le polytric, qui n'occupait pourtant que 1,3% de la surface productive. La fréquence élevée de semis sur des microsites de forme concaves, colonisés par des mousses, montre bien l'importance d'un niveau minimal d'humidité pour assurer la germination et la survie des semis. La

présence de semis sur le bois pourri témoigne aussi de ce besoin essentiel. Le bois en décomposition accumule l'eau en profondeur (LeBaron 1944, Bedell 1948 cité dans Lutz 1956, Place 1955, Vincent 1965 cité dans Winston 1973, Rowe 1970, Arnott 1973) et les semis récoltés sur ceux-ci avaient leurs racines développées dans l'axe des bois en décomposition.

Sur les humus encore calcinés, huit ans après le feu, seul de minuscules lichens semblent vouloir s'installer. Ce végétal témoigne de conditions extrêmes de sécheresse et de température (Frisque 1977). Le mauvais taux de survie des semis sur les surfaces calcinées fut déjà mentionné dans la littérature (LeBaron 1944, Place 1955, Richardson 1974, Heinselman 1981, Thomas et Wein 1984). Ces surfaces peuvent voir leur température s'élever considérablement et provoquer une forte mortalité chez les jeunes semis nouvellement germés (Heinselman 1965). LeBaron (1944) a noté que la température de ces surfaces pouvait s'élever quotidiennement à 120°F (48,9°C) ou 140°F (60°C) et occasionnellement jusqu'à 150°F (65,6°C) ou 160°F (71,1°C). Viereck et Dyrness (1979) ont obtenu des résultats similaires en Alaska. Arnott (1973) mentionne que la limite létale pour de jeunes plantules serait entre 120°F (48,9°C) et 140°F (60°C). Ces surfaces calcinées se dessèchent rapidement (Lutz 1956, Place 1955, Arnott 1973, Viereck et Dyrness 1979) et le faible développement racinaire des plantules d'épinette noire la rend susceptible à la sécheresse (Nickerson 1958, Jarvis 1966, Arnott 1973, Winston 1973, Thomas et Wein 1985, Arnup *et al.* 1988). LeBaron (1944) mentionne

qu'après une première année de croissance, les systèmes racinaires de plantules d'épinette noire n'ont pénétré que de 2,5 pouces (6,35 cm) dans le sol, et favorisé plutôt un développement horizontal.

Les tests "G" et de contraste successifs ont permis de classer les lits de germination en tenant compte, non seulement du nombre de semis que l'on y retrouvait, mais aussi de la surface occupée par chaque lit de germination. Le classement final montre la supériorité des mousses par rapport aux autres lits de germination, ainsi que l'improductivité des humus encore calcinés. Chez les mousses, la sphaigne s'est avérée supérieure au polytric. Ce classement est compatible avec les résultats et interprétations d'autres auteurs (Place 1955, Heinselman 1965, Vincent 1965 cité dans Winston 1973, Richardson 1970, Johnston 1972, Arnott 1973, Frisque 1977). Les lits relevés lors de l'échantillonnage n'étaient pas ceux qui prévalaient lors de l'installation des semis suite au feu de 1983. Ceci suggère que les conditions initiales, qui furent favorables au développement des mousses, et dans une moindre mesure à celui des éricacés, le furent aussi pour les semis d'épinette noire.

### **5.3. LES MICROSITES ET LA DISTANCE DU PREMIER SEMENCIER**

Les résultats de cette étude et de plusieurs autres (Nickerson 1958, Rowe 1970, Van Wagner 1988, St-Pierre *et al* 1991) démontrent que les semis d'épinette noire sont principalement implantés à la base des arbres adultes tués par le feu. Comme ces semis sont aussi

associés à certains microsites, il devient nécessaire de vérifier si ces microsites sont aussi associés à cet environnement.

La possibilité moyenne pondérée de semis et l'épaisseur moyenne pondérée de la matière organique sont deux variables synthétiques qui ont l'avantage de considérer pour chaque quadrat la composition des divers lits de germination. La distribution spatiale de la possibilité moyenne pondérée sur le site dense fut déjà discutée à la section 5.1. Outre les spécificités de ce site, on n'observe pas de structure spatiale des lits de germination dépendante de la présence des arbres.

Lutz (1956), Rowe (1970), Rowe et Scotter (1973) et Van Wagner (1983) ont observé une baisse prononcée de la matière organique à la base des arbres. Certains auteurs (LeBaron 1944, Lutz 1956, Nickerson 1958, Viereck 1973, Viereck et Dyrness 1979, Van Wagner 1988) mentionnent que la réduction de la matière organique favorise l'installation de jeunes semis. La pénétration des racines jusqu'au sol minéral protégerait les plantules contre l'assèchement rapide des matières organiques. Cet avantage serait plus marqué pour le pin gris que pour l'épinette noire. Par opposition à l'épinette noire, le pin gris développe un système racinaire en profondeur qui lui permet de profiter rapidement de la fraîcheur de l'horizon minéral (LeBaron 1944, Winston 1973, Thomas et Wein 1985). Ces interprétations suggèrent que la réduction de la matière organique puisse être responsable de l'agglomération des semis près des arbres. La distribution des épaisseurs moyennes pondérées de la matière organique (figure 10) ne montre pas de tendance en fonction de la

distance d'un arbre. Selon ce résultat, une réduction de la matière organique n'aurait donc pas ici favorisé l'agglomération des semis à la base des arbres. Dans le cas de l'épinette noire, on reconnaît que la réduction de la matière organique par le feu n'est pas un prérequis à son installation. La germination peut se faire sur matière organique épaisse, si l'apport en eau est suffisant (Viereck 1973, Viereck et Dyrness 1979). Sur les sites étudiés, c'est cette situation qui prévalait et les taux de germination et de survie dépendaient principalement du degré d'humidité que les lits ont offert. Ceci est conforme aux situations observées par Viereck et Dyrness (1979) en Alaska et par Van Wagner et Methven (1978) dans la région de Chibougamau, au Québec. Nos résultats montrent que l'agglomération des semis à la base des arbres, dans un peuplement d'épinette noire, n'est pas uniquement la résultante d'une qualité supérieure des microsites à cet endroit.

#### **5.4. MODÈLE D'INSTALLATION DE L'ÉPINETTE NOIRE À LA BASE DES ARBRES**

Ces travaux permettent de mieux comprendre le succès de la régénération et d'identifier les facteurs qui pourraient y faire échec. La régénération à la base des arbres, dans un rayon approximatif de deux mètres, est un succès. Par contre, les zones entre les îlots d'arbres semblent avoir des problèmes de régénération. Eriksson et Ehrlén (1992) identifient deux facteurs qui contrôlent le recrutement dans une population végétale: la disponibilité des semences et la

présence de microsites adéquats. Puisque les lits de germination favorables ne semblent pas répartis uniquement au pied des arbres, on peut s'interroger sur la disponibilité des semences dans les zones éloignées.

Les courbes de dispersion des semences d'épinette noire en fonction de la distance des semenciers, comme celles présentées par Frisque (1977) ou McEwen (1971), sont établies à partir de semences qui proviennent d'arbres vivants, où l'ouverture des cônes semi-sérotineux est contrôlée par les conditions météorologiques. Haavisto *et al.* (1988) expliquent qu'en nature, l'humidification et le dessèchement des cônes provoquent leur ouverture. La semence peut être libérée seulement si l'écaille est entièrement ouverte. Ce détail joue un rôle important pour le maintien à long terme des semences dans les cônes. La pluie de graines, dans un peuplement vivant, s'étend sur toute l'année, avec un maximum aux mois d'avril et de mai (Haavisto 1978).

La situation après feu est bien différente de celle qui existe dans les peuplements vivants. Nickerson (1958) mentionne qu'immédiatement après un feu, un coup sec sur les arbres semenciers entraîne un déluge de graines en provenance des cônes fraîchement ouverts par la chaleur du feu. Wilton (1963) démontre que l'ensemencement après feu se fait massivement dans les soixante premiers jours, que la pluie de graines est maximale durant les dix premiers, et que les graines qui tombent en premier, sont celles possédant le pourcentage de viabilité le plus élevé. Viereck et Dyrness



(1979) ont observé, dans un peuplement ayant subi un feu intense, une pluie de graines viables significativement supérieure (4 fois plus) à celle enregistrée dans un peuplement vivant et ce, pour une période d'un an débutant près de soixante jours après le feu. Ils attribuent ce résultat à une ouverture plus complète d'un plus grand nombre de cônes. Fraser (1976) mentionne qu'une fois au sol, les semences d'épinette noire maintiennent leur viabilité durant 10 à 16 mois seulement. Thomas et Wein (1985) suggèrent que cette possibilité de reporter la germination, permet à l'épinette noire d'attendre des conditions d'installation plus favorables.

Greene et Johnson (1990) présentent un modèle balistique de base qui détermine la distance de chute d'une semence. La distance de chute se calcule ainsi:

$$X = H * U / V$$

X est la distance horizontale de chute, H la hauteur d'où la graine est libérée, U la vitesse horizontale du vent et V la vitesse constante de chute. Frisque (1977) mentionne que les graines qui voyagent le plus loin sont les plus légères et les moins viables. Aucune courbe de distribution des semences d'épinette noire après un feu n'est connue.

Le feu entraîne une situation particulière qui permet de croire à une distribution de graines sur une courte distance. La pluie de graines après feu est massive, les cônes sont donc beaucoup plus ouverts que dans un peuplement vivant. La dissémination des semences est facilitée et ne nécessite donc pas des vents très forts. La

réduction de la vitesse du vent, dans le modèle de Greene et Johnson (1990), induit une réduction de la distance. Si les graines les plus viables sont les plus lourdes, comme on peut le déduire des propos de Frisque (1977), leur vitesse constante de chute augmentera, réduisant aussi la distance de dissémination. Après feu, on assiste aussi à la chute d'une certaine quantité de cônes directement au sol. Les chocs occasionnés par leur chute dans la canopée et au contact du sol, libèrent des semences. Dans de telles situations, la hauteur de chute est réduite et même nulle lors du choc au sol. Une hauteur de chute réduite entraîne, encore une fois, une plus petite distance de dissémination. Ceci suggère donc qu'après feu, l'agglomération des semis au pied des arbres est due en partie à une chute plus concentrée des graines viables au pied des arbres. Pour les peuplements d'épinette noire, l'importance du lit de germination serait un facteur à considérer dans un deuxième temps.

La décroissance du nombre de semis en fonction de la distance sur les sites intermédiaire et ouvert serait une conséquence d'un ensemencement sur courte distance à la suite du feu. Dans le peuplement dense, les distances entre les arbres adultes sont très réduites et permettent la juxtaposition des aires d'ensemencement, annulant ainsi la décroissance du nombre de semis en fonction de la distance. La faible quantité de semis au pied des arbres sur ce même site est, par contre, un exemple de limitation par le microsite.

Des travaux ultérieurs devront considérer la distribution spatiale des semences d'épinette noire afin de mieux comprendre la tendance

des peuplements à conserver leur densité à la suite d'un feu de forêt. Si ce phénomène influence peu la répartition spatiale de la régénération dans les peuplements denses, il peut avoir toute son importance dans la régénération des peuplements ouverts de la forêt boréale.

**CHAPITRE 6**

**BIBLIOGRAPHIE**

## **6. BIBLIOGRAPHIE**

- Ahlgren, C.E. 1974. Effect of fires on temperate forests: North central United States. *Dans* Fires and ecosystems. Kozlowski. T.T., Academic Press, New York, pp.195-219
- Ahlgren, C.E. et Ahlgren, I.F. 1981. Some effects of different forest litters on seed germination and growth. *Can. J. For. Res.* **11**: 710-714
- Anonyme, 1984. Normes d'inventaires forestier. Min. Éner. Res., Gouv. du Qué., 178p
- Anonyme, 1987. Manuel d'aménagement forestier. 1<sup>ière</sup> Éd. provisoire, Min. Éner. Res., Gouv. du Qué., 207p
- Anonyme, 1990. Une partie du Québec a brûlé! *Le Papetier*, **26**(2), juin 1990: 3-5
- Arnott, J.T. 1973. Germination and seedling establishment. *Dans*: Direct seeding Symposium. Éditeur: Cayford, J.H., Can. Dep. Envir., Can. For. Serv., Publ. n°1339: 55-66
- Arnup, R., Campbell, B., Raper, R., Squires, M., Virgo, K., Wearn, V. et White, R. 1988. A silvicultural guide to the spruce working group in Ontario. Min. Nat. Res., Gov. of Ont., Science and Tech. Series, 4, 99p
- Briggs, J.M. et Gibson, D.J. 1992. Effect of fire on tree spatial patterns in a tallgrass prairie landscape. *Bull. Torrey Bot. Club* **119**(3): 300-307
- Canvas™ 3.0, 1990. Deneba System Inc., Miami, FL., logiciel
- Day, R.J. et Woods, G.T. 1977. The role of wildfire in the ecology of jack and red pine forest in Quetico Provincial Park. Min. Nat. Res., Gov. of Ont. Fire Ecol. Stud. Rep 5, 79p

- Dessaint, F. 1991. La répartition spatiale du stock semencier: comparaison de techniques statistiques. *Weed Research* 31: 41-48
- Dutilleul, P. et Legendre, P. 1992. Lack of robustness in two tests of normality against autocorrelation in sample data. *J. Statist. Comput. Simul.*, 42: 79-91
- Environnement Canada, 1992. Sommaire météorologique mensuel, Chibougamau-Chapais, Serv. Envir. Atmos., Gouv. du Can., janvier-décembre 1992
- Eriksson, O. et Ehrlén, J. 1992. Seed and microsite limitation of recruitment in plant populations. *Oecologia*, 91: 360-364
- Fraser, J.W. 1976. Viability of black spruce seed in or on a boreal forest seedbed. *For Chron.* 52: 229-231
- Frisque, G. 1977. Régénération naturelle de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). Thèse de doctorat, Université Laval, Ste-Foy, Québec, 546p
- Gagnon, R. 1988. La dynamique naturelle des peuplements équiennes d'épinette noire. *Dans: Les mécanismes de régénération naturelle de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement.* Ordre des Ing. For., *Conférence: Chicoutimi, Qué.* 18-19 août
- Greene, D.F. et Johnson, E.A. 1990. The dispersal of winged fruits and seeds differing in autorotative behaviour. *Can. J. Bot.* 68: 2693-2697
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. 3e Éd. University of California Press, Brekeley, CA.
- Haavisto, V.F. 1978. Lowland black spruce seedfall: viable seedfall peak in mid-april. *For. Chron.* 54: 213-215

- Haavisto, V.F., Fleming, R.L. et Skeates, D.A. 1988. Potential and actual yields of seed from black spruce cones. *For. Chron.* **64**: 32-34
- Heinselman, M.L. 1965. Black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). *Dans: Sylvics of forest tree of the United States.* Éditeur: Fowells, H.A., USDA, Agric. Handb. n°271: 288-298
- Heinselman, M.L. 1981. Fire and succession in the conifer forests of Northern North America. *Dans: Forest succession, concepts and application.* Éditeur: West, D.C., Shugart, H.H. et Botkin, D.B., Springer-Verlag, New York, pp.374-406
- Jarvis, J.M. 1966. Seeding white spruce, black spruce, and jack pine on burned seedbeds in Manitoba. *Can. Dep. For., Publ.1166*: 1-6
- Johnston, W.F. 1972. Seeding black spruce on brushy lowland succesfull if vegetation density kept low. *USDA For. Serv., Res. Note NC-139*, 4p
- LeBaron, R.K. 1944. Influence of controllable environmental condition on regeneration of jack pine and black spruce. *J. Agric. Res.* **68**(3): 97-119
- Legendre, L. et Legendre P. 1984. Écologie numérique. Tome 1. Le traitement multiple des données écologiques. Les Presses de l'Université du Québec, Québec, 260p
- Legendre, L. et Legendre, P. 1984. Écologie numérique. Tome 2. La structure des données écologiques. Les Presses de l'Université du Québec, Québec, 247p
- Legendre, P. et Fortin, M.J. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* **80**: 107-138
- Legendre, P. et Vaudor, A. 1991. Le progiciel R - Analyse multidimensionnelle, analyse spatiale. Département de sciences biologiques, Université de Montréal, 144p

- Linteau, A. 1957. Black spruce reproduction on disturbed soil conditions. Dep. North. Affairs and Nat. Res., Gov. of Can. Tech. note n°54, 14p
- Lutz, H.J. 1956. Ecological effects of fires in the interior of Alaska. USDA. Tech. Bull. n°1133, 115p
- McEwen, J.K. 1971. Aerial dispersion of black spruce seed. For. Chron. 47: 161-162
- Ne'eman, G., Lahav, H. et Izhaki, I. 1992. Spatial pattern of seedlings 1 year after fire in a Mediterranean pine forest. *Oecologia* 91: 365-370
- Nickerson, D.E. 1958. Studies of regeneration on burnt forest land in Newfoundland. Newfoundland Res. Comm., Publ. n°1: 11-18
- Place, I.C.M. 1955. The influence of seed-bed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. Min. North. Affairs and Nat. Res., Bull. n°117, 87p
- Richardson, J. 1970. Broadcast seeding black spruce on a burned cutover. Dep. Fish. For., Serv. For. Can., Publ. n°1272, 13p
- Richardson, J. 1974. A comparaisn of two direct seeding techniques on scarified and unscarified ground. Newfoundland For. Res. Centre, Inf. Rep. N-X-107, 23p
- Robitaille, A. 1988. Cartographie des districts écologiques: normes et techniques. Min. Éner. Res., Gouv. du Qué., 109p
- Rowe, J.S. 1970. Spruce and fire in northwestern Canada and Alaska. Proc. 10th Annu. Tall Timbers Fire Ecol. *Conférence*: Frédériciton N.B., 20-21 août, 10: 245-254
- Rowe, J.S. 1972. Les Régions forestières du Canada. Min. Envir., Serv. Can. For., Publ. n°1300F, 172p



- Rowe, J.S. et Scotter, G.W. 1973. Fire in the boreal forest. *Quaternary Research*, 3: 444-464
- Scherrer, B. 1984. *Biostatistique*. Gaëtan Morin, Chicoutimi, Québec, 850p
- Schweingruber, F.H. 1989. *Tree rings; basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hollande, 276p
- Scotter, G.W. 1964. Effects of forest fires on the winter range of barren-ground caribou in northern Saskatchewan. *Can. Wildlife Serv., Wildlife. Manag. Bull., Series 1, n°18*, 108p
- Sokal, R.R. et Rohlf F.J. 1981. *Biometry*. 2e Éd., Freeman, W.H. et Cie, New York, 859p
- St-Pierre, H., Gagnon, R. et Bellefleur, P. 1991. Distribution spatiale de la régénération après feu de l'épinette noire et du pin gris dans la forêt boréale, Réserve faunique Ashuapmushuan, Québec. *Can. J. Bot.* 69: 717-721
- St-Pierre, H., Gagnon, R. et Bellefleur, P. 1992. Régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du pin gris (*Pinus banksiana*) dans la forêt boréale, Québec. *Can. J. For. Res.* 22(4): 474-481
- StatView™ II 1987. The solution for data analysis and présentation graphics. Abacus Concepts inc., Berkeley, CA, logiciel
- Stickney, P.F. 1986. First decade plant succession following the Sundance forest fire, northern Idaho. USDA, For. Serv., Intermountain Res. Stat., Ogden, UT 84401, Gen. Tech. Rep. INT-197, 26p
- Thibault, M. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional, Serv. de la carto., Min. Éner. Res., Gouv. du Qué. carte

- Thomas, P.A., et Wein, R.W. 1984. The influence of shelter and the hypothetical effect of fire severity on the postfire establishment of conifers from seed. *Can. J. For. Res.* 15: 148-155
- Thomas, P.A., et Wein, R.W. 1985. Delayed emergence of four conifer species on postfire seedbeds in eastern Canada. *Can. J. For. Res.* 15: 727-729
- Van Wagner, C.E. 1983. Fire behaviour in Northern Conifer Forests and Shrublands. *Dans: The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems.* Éditeur: Wein, R.W. et MacLean, D.A., pp.65-80
- Van Wagner, C.E. 1988. Fire in the boreal forest. Notes for Lectures at Université du Québec à Chicoutimi, November 11, 1988, 3p
- Van Wagner, C.E. et Methven, I.R. 1978. First observations of regeneration and development following fire in northern Quebec. *Can. For. Ser., Progress report*, 11p
- Viereck, L.A. 1973. Wildfire in the taiga of Alaska. *Quat. Res.* 3: 465-495
- Viereck, L.A. et Dyrness, C.T. 1979. Ecological effects of the Wickersham Dome fire near Fairbanks, Alaska. USDA For. Serv., Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Gen. Tech. Rep. PNW-90, 71p
- Wilton, W.C. 1963. Black spruce seedfall immediately following fire. *For. Chron.* 39(4): 477-478
- Winston, D.A. 1973. A comparative autecological study of black spruce, jack pine, lodgepole pine, and hybrid pine for direct seeding in northern Ontario. Thèse de maîtrise, Michigan State University, East Lansing, MI., 81p