

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

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

PAR  
VÉRONIQUE LEMIEUX  
B. Sc. en Biologie

**DYNAMIQUE DE LA RÉGÉNÉRATION DES PINS ROUGES  
(*PINUS RESINOSA*) APRÈS FEU EN MAURICIE, QUÉBEC.**

AVRIL 2010

## RÉSUMÉ

Le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) est une espèce de l'est de l'Amérique du Nord dépendante du feu. Selon la littérature, le pin rouge a besoin de survivants pour se régénérer. Il est possible de retrouver ces survivants en comptant l'âge de tous les pins rouges d'une population, ceux-ci étant plus âgés que la date du feu. Cette recherche consiste, pour chacune des populations, à localiser les pins rouges ayant survécu à l'incendie (les semenciers survivants). Plus spécifiquement, il s'agit d'étudier la structure d'âge des pins rouges, d'inventorier la régénération et de cartographier les pins rouges afin d'analyser la distribution de la régénération en lien avec les arbres semenciers. Sur le site du lac Wapizagonke, 19 survivants ont été identifiés. De ce nombre, seulement quatre (4) avaient la taille requise pour être classés comme semenciers. Au site du lac Alphonse et au site du lac Kénogami, aucun survivant n'a été retrouvé. Pour ce qui est du site de Grandes-Piles, on a retrouvé 31 pins rouges morts et 10 survivants. Les structures d'âge montrent que le pin rouge commence à s'installer dès l'année suivant le feu. Au site de Grandes-Piles, on a pu constater que les semis s'étaient tous établis au cours de l'année suivant le feu (résultat de l'échantillonnage réalisé trois ans après le feu). Pour les sites du lac Wapizagonke, du lac Alphonse et du lac Kénogami, les inventaires de régénération ont révélé une absence de semis de pin rouge en sous-étage de ces populations matures. La cartographie et la distribution des semis selon la distance du premier semencier au site du lac Wapizagonke ont indiqué que plusieurs semenciers semblent manquants. Au site de Grandes-Piles, la carte et le graphique montrent que les pins rouges morts ont pu contribuer à la régénération. Cette recherche ouvre donc la porte vers d'autres études sur cette espèce, afin de mieux connaître certains détails de son mécanisme de régénération, dont le rôle potentiel de semencier des pins rouges tués lors du passage du feu.

## REMERCIEMENTS

Après avoir démarré une entreprise, après avoir changé de siècle et de millénaire, après avoir donné naissance à Jean-Philippe, Olivier, Érika et Simon, après avoir travaillé en foresterie, en environnement et en éducation, après avoir changé mon Mac plusieurs fois, après que mon directeur ait pris sa retraite, voici enfin l'achèvement de mon mémoire de recherche. Un grand merci à tous ceux et celles qui ont cru en moi et en ce beau projet !

Je veux en premier lieu remercier mon directeur de recherche, le Dr. Réjean Gagnon. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour son aide, pour le partage de ses connaissances, pour m'avoir guidé tout au long de ce projet, pour sa grande disponibilité, du début à la fin et pour sa grande patience. J'aimerais aussi dire un grand merci à Andrée-Anne Cyr, Jean Briand, Guillaume Perron et Germain Savard qui ont participé à l'échantillonnage et à l'analyse des données. Merci Andrée-Anne d'avoir pris part à cette aventure de musculation des bras et d'avoir partagé nos repas dignes de vrais bûcherons ! Je remercie également Julie Valcourt, Élisabeth Viens, André Pichette, Serge Lavoie, Jacques Filion, Pierre-Yves Plourde, Annie Deslauriers, Cornelia Krause, Carol Vézina, Audrey Tremblay et tous ceux et celles qui ont pu contribuer, de près ou de loin, à ce projet de recherche. Celui-ci a été rendu possible aussi grâce à la collaboration des gens du Parc national de la Mauricie. Merci à Michel Thériault et à Thierry Bouin.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |            |
|---|------------|
| <b>RÉSUMÉ</b> .....   | <i>ii</i>  |
| <b>REMERCIEMENTS</b> .....  | <i>iii</i> |
| <b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....                                   | <i>iv</i>  |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....                                    | <i>vi</i>  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....                                   | <i>vii</i> |
| <b>INTRODUCTION</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>REVUE DE LA LITTÉRATURE</b> .....                              | <b>5</b>   |
| <b>2.1. Distribution géographique du pin rouge</b> .....          | <b>6</b>   |
| <b>2.2. Reproduction du pin rouge</b> .....                       | <b>6</b>   |
| 2.2.1. Production des cônes et des graines.....                   | 7          |
| 2.2.2. Dissémination des graines.....                             | 9          |
| 2.2.3. Germination des graines et établissement des semis.....    | 11         |
| <b>2.3. Régénération naturelle du pin rouge (après feu)</b> ..... | <b>13</b>  |
| 2.3.1. Intolérant à l'ombre.....                                  | 13         |
| 2.3.2. Inflammabilité du pin rouge.....                           | 13         |
| 2.3.3. Écorce épaisse .....                                       | 14         |
| 2.3.4. Intensité et fréquence des feux.....                       | 15         |
| 2.3.5. Besoin de semenciers survivants.....                       | 16         |
| 2.3.6. Rôles du feu.....  | 17         |
| <b>SITES ÉTUDIÉS</b> .....  | <b>20</b>  |
| <b>3.1. Site du lac Wapizagonke</b> .....                         | <b>23</b>  |
| <b>3.2. Site de Grandes-Piles</b> .....                           | <b>24</b>  |
| <b>3.3. Site du lac Alphonse</b> .....                            | <b>25</b>  |
| <b>3.4. Site du lac Kénogami</b> .....                            | <b>26</b>  |
| <b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....                                 | <b>28</b>  |
| <b>4.1. Protocole d'échantillonnage</b> .....                     | <b>29</b>  |
| 4.1.1. Site du lac Wapizagonke .....                              | 29         |
| 4.1.2. Site de Grandes-Piles .....                                | 31         |
| 4.1.3. Site du lac Alphonse.....                                  | 32         |
| 4.1.4. Site du lac Kénogami .....                                 | 33         |
| <b>4.2. Traitement des données</b> .....                          | <b>33</b>  |
| 4.2.1. Détermination de l'âge des arbres .....                    | 33         |
| 4.2.2. Cartographie des pins rouges .....                         | 34         |
| 4.2.3. Les semis et la distance du premier semencier.....         | 34         |
| 4.2.3.1. Le site de Grandes-Piles.....                            | 34         |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.3.2. <i>Le site du lac Wapizagonke</i> .....  | 35        |
| 4.2.4. <i>Identification des souches et des chicots</i> .....   | 37        |
| <b>RÉSULTATS</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>5.1. Strate arborescente et régénération</b> .....   | <b>39</b> |
| <b>5.2. Structures d'âge des populations de pin rouge</b> .....   | <b>40</b> |
| <b>5.3. Le diamètre et l'âge des pins rouges</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>5.4. Hauteur des semis</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>5.5. Estimation de la maturité des pins rouges</b> .....   | <b>47</b> |
| <b>5.6. Distribution spatiale des survivants et de la régénération</b> .....                                | <b>50</b> |
| <b>5.7. Identification des souches et des chicots</b> .....   | <b>62</b> |
| <b>DISCUSSION</b> .....   | <b>64</b> |
| <b>6.1. Structure d'âge et survivants</b> .....   | <b>65</b> |
| <b>6.2. Le diamètre et l'âge des pins rouges</b> .....  | <b>68</b> |
| <b>6.3. Maturité des pins rouges</b> .....  | <b>70</b> |
| 6.3.1. <i>Diamètre à hauteur de poitrine et présence de cônes</i> .....                                     | 70        |
| 6.3.2. <i>Les survivants du site du lac Wapizagonke étaient-ils des semenciers au moment du feu ?</i> ..... | 71        |
| 6.3.3. <i>Maturité des pins rouges du site de Grandes-Piles</i> .....                                       | 72        |
| <b>6.4. Croissance en hauteur des semis de pin rouge</b> .....  | <b>73</b> |
| <b>6.5. Distribution spatiale des survivants et de la régénération</b> .....                                | <b>74</b> |
| <b>6.6. Identification des chicots du site du lac Kénogami</b> .....  | <b>80</b> |
| <b>CONCLUSION</b> .....   | <b>81</b> |
| <b>RÉFÉRENCES</b> .....   | <b>85</b> |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1. Localisation des sites d'échantillonnage.....   | 22 |
| Figure 2. Structure d'âge des pins rouges a) du site du lac Wapizagonke, b) du site de Grandes-Piles, c) du site du lac Alphonse et d) du site du lac Kénogami. ....  | 42 |
| Figure 3. Structure d'âge des pins rouges survivants du feu de 1923, au site du lac Wapizagonke.....  | 43 |
| Figure 4. Représentation de la relation entre le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et l'âge de chacun des pins rouges a) du site du lac Wapizagonke, b) du site de Grandes-Piles, c) du site du lac Alphonse et d) du site du lac Kénogami.. | 45 |
| Figure 5. Hauteur et âge des semis du site de Grandes-Piles. ....   | 46 |
| Figure 6. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : vue générale.....  | 52 |
| Figure 6.A. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone A.....  | 53 |
| Figure 6.B. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone B.....  | 54 |
| Figure 6.C. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone C. ....   | 55 |
| Figure 6.D. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone D. ....   | 56 |
| Figure 7. Cartographie des pins rouges du site de Grandes-Piles. ....   | 58 |
| Figure 7.1. Cartographie des pins rouges du site de Grandes-Piles : agrandissement.....   | 59 |
| Figure 8. Distribution des semis selon la distance du premier semencier, au site du lac Wapizagonke. ....   | 60 |
| Figure 9. Distribution des semis selon la distance du premier semencier, au site de Grandes-Piles.....  | 61 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1. Inventaire systématique de la strate arborescente au site du lac Wapizagonke.....   | 39 |
| Tableau 2. Maturité des pins rouges du site de Grandes-Piles.....  | 47 |
| Tableau 3. Diamètre à hauteur de poitrine des pins rouges en fonction de la présence des cônes, au site du lac Kénogami.....             | 48 |
| Tableau 4. Diamètre à hauteur de poitrine des pins rouges survivants au moment du passage du feu (1923), au site du lac Wapizagonke..... | 49 |
| Tableau 5. Identification anatomique des souches présentes sur le site du lac Wapizagonke.....   | 50 |
| Tableau 6. Identification anatomique des chicots présents sur le site du lac Kénogami.....   | 63 |

**CHAPITRE I**

**INTRODUCTION**



Le pin rouge est un arbre de grande importance dans la région forestière des Grands-Lacs et du Saint-Laurent (Horton & Brown 1960). La perte de superficies forestières contenant du pin rouge dans l'Est du Canada constitue une situation alarmante qui doit être rapidement solutionnée (McRae *et al.* 1994).

Comparativement à d'autres espèces commerciales, telle que l'épinette noire, peu d'études récentes portent sur la régénération naturelle du pin rouge. Plus cette espèce sera connue, plus il sera facile d'intervenir afin d'assurer la perpétuation de ses populations.

Le pin rouge est une espèce dépendante du feu (Flannigan 1993). Le feu remplit plusieurs rôles qui sont absolument nécessaires à sa régénération (ces rôles sont décrits au chapitre II). En supprimant les feux de forêt, l'homme contribue au déclin des populations de pins rouges.

Dans toutes les recherches publiées portant sur la régénération du pin rouge, on fait mention de la nécessité d'avoir des survivants pour assurer la régénération de cette espèce. Or, aucune publication portant directement sur ce sujet n'a été trouvée. La communauté scientifique prend pour acquis que les survivants sont nécessaires pour assurer la régénération du pin rouge mais personne n'a fait de recherche spécifiquement sur ce sujet afin de le prouver hors de tout doute. Cette étude a donc pour but d'analyser le rôle des semenciers survivants lors de la régénération après feu.

Théoriquement, si le pin rouge se régénère après feu, à partir de survivants, il est possible de retrouver ces survivants en calculant l'âge de tous les pins rouges d'une même population. Les survivants étant ceux qui sont plus âgés que la date du feu.

\*Une étude préliminaire a été réalisée au lac Alphonse, dans le parc national de la Mauricie, afin de trouver les survivants semenciers d'une population de pins rouges. Ce secteur a été incendié en 1923. Tous les pins rouges de ce site datent d'après 1923. Il n'a donc pas été possible de retrouver des survivants du feu de 1923.

N'ayant point trouvé de survivant au site du lac Alphonse, ce qui ne correspond pas à la littérature, il a été décidé d'approfondir le sujet et de réaliser la présente étude.

Une collaboration s'est ainsi établie entre l'auteur de la présente étude et les gens du parc national de la Mauricie. Ces derniers ont autorisé le prélèvement d'échantillons et la prise de données dans une deuxième population de pins rouges située à l'intérieur des limites du parc. Cette étude leur fournira d'ailleurs des informations supplémentaires leur permettant de bonifier leur programme de brûlage dirigé dans les forêts de pins.

Un site incendié en 1923, situé en bordure du lac Wapizagonke dans le parc national de la Mauricie, ainsi qu'un site localisé dans la municipalité de Grandes-Piles, incendié en 1995, ont ainsi été sélectionnés pour cette étude. Un site situé près du lac Kénogami a également été retenu pour des observations complémentaires sur la régénération après feu des pins rouges.

L'hypothèse de départ est que le pin rouge se régénère après feu à partir de survivants. L'objectif général consiste, pour chacun des sites d'étude, à localiser les pins rouges ayant survécu au feu (les semenciers survivants). Plus spécifiquement, les objectifs sont d'étudier la structure d'âge des pins rouges, d'inventorier la régénération et de cartographier les pins rouges afin d'analyser la nature de la distribution des semenciers et de la régénération après feu.

## CHAPITRE II

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

### ***2.1. Distribution géographique du pin rouge***

La distribution du pin rouge est limitée, il vit seulement entre 43° et 51° de latitude nord (Van Wagner 1970) et entre 60° et 95° de longitude ouest (Roberts 1985). Le pin rouge se retrouve dans la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent ainsi que dans la section sud de la forêt boréale de l'Amérique du Nord (Rowe 1972). Il pousse du Minnesota et du Manitoba jusqu'à la côte est (Van Wagner 1970). Selon Flannigan & Woodward (1994), le climat (degrés-jours et précipitations) serait un facteur critique dans la détermination de la distribution et l'abondance de cette espèce. Selon Bergeron & Brisson (1990), sa distribution dans la forêt boréale est restreinte à cause du manque de sources de graines à la suite de grands feux.

### ***2.2. Reproduction du pin rouge***

Dans la nature, le pin rouge ne se reproduit pas de façon végétative (Horton & Bedell 1960 ; Burns & Honkala 1990). Il se régénère à partir de ses graines.

### 2.2.1. Production des cônes et des graines

Les pins sont monoïques, les strobiles mâles et femelles se retrouvent sur le même arbre (Horton & Bedell 1960). La pollinisation a lieu à la fin mai ou au début juin (Lyons 1956). Elle est efficace seulement entre 30 à 60 mètres (Horton & Bedell 1960). Les cônes de pin rouge mûrissent en septembre–octobre de la deuxième année (Anonymous 1948 ; Stiell 1959). Les graines sont dispersées à partir du moment où les cônes sont mûrs, jusqu'au printemps suivant (Anonymous 1948).

Selon différents auteurs, la production des cônes et des graines, chez le pin rouge, commence vers 20 à 25 ans (Ahlgren 1976) ou vers l'âge de 20 à 60 ans (Fowells 1965). Tandis que Burns & Honkala (1990) sont plus précis et affirment que la production de graines commence vers 15 à 25 ans en milieu ouvert et entre 50 à 60 ans en milieu fermé.

Le pin rouge ne produit pas de cônes sérotineux (Fowells 1965 ; Van Wagner 1971 ; Ahlgren 1976 ; Heinselman 1978 ; Chandler *et al.* 1983 ; Carleton *et al.* 1996) ni de cônes persistants (Heinselman 1978). Le pin rouge n'emmagasine pas de réserve de graines mais les disperse à chaque année (Chandler *et al.* 1983). Les cônes de pin rouge sont facilement endommagés ou détruits par le feu (Van Wagner 1971 ; Ahlgren 1976 ; Chandler *et al.* 1983 ; Rouse 1988).

Le pin rouge est un faible producteur de graines (Anonymous 1948 ; Cayford 1964 ; Van Wagner 1971 ; Stiehl 1988 ; Bergeron & Brisson 1990 ; Sutton *et al.* 2002). La régénération des pins est reliée aux années semencières (Roberts 1989). Les bonnes années semencières surviennent aux 3 à 7 ans (Stiehl 1959 ; Roe 1964 ; Fowells 1965 ; Burns & Honkala 1990 ; Kershaw 1993).

Selon Mattson (1979), généralement moins de 20% d'une cohorte de strobiles femelles survivent jusqu'à maturité. Les insectes seraient la principale source de mortalité et responsables des fluctuations annuelles de l'abondance des cônes matures (Mattson 1979). Par contre, d'autres recherches ont démontré que le gel est un facteur majeur qui influence la production de cônes par le pin rouge, en tuant les strobiles femelles (Barras & Norris 1964 ; Schooley *et al.* 1986). Dans la même lignée, les analyses de Lester (1967) ont indiqué une association prédominante du nombre de cônes de deux ans avec la température moyenne de juillet-septembre et une association moindre de la température moyenne d'avril avec le nombre de cônes l'année de leur initiation.

La production de cônes augmente directement avec le diamètre à hauteur de poitrine (Stiehl 1971 ; Stiehl 1988 ; Sutton *et al.* 2002). Les analyses de Sutton *et al.* (2002) montrent que l'abondance des cônes du pin rouge est aussi significativement et positivement reliée à l'accroissement radial pendant les années précédant leur maturation. La production de cônes tend à augmenter avec

la taille de l'arbre (Horton & Bedell 1960). Plus les pins rouges sont grands, plus la récolte est importante (Stiell 1971). D'ailleurs, les pins rouges de moins de 12,5 centimètres (5 pouces) de diamètre ne produisent pas de cônes (Stiell 1971). En général, l'accroissement de la vigueur d'un pin rouge peut se traduire par une augmentation de la production de cônes et de graines (Roberts 1989).

Chez le pin rouge, le nombre de cônes est significativement lié à la distance de l'arbre par rapport à ses voisins (Sutton *et al.* 2002). Le nombre de cônes décroît avec l'augmentation de la densité du peuplement (Mattson 1979). Les plus hauts niveaux de production de cônes surviennent avec l'augmentation de la distance entre les arbres (Stiell 1971). Selon Duff (1949), la production de cônes est profondément influencée par l'ombre et la production maximale nécessite une exposition au plein soleil. Ainsi, les pins rouges qui croissent en milieu ouvert produisent plus de cônes par arbre (Roe 1964 ; Sims & Cambell 1970 ; Stiell 1978). Tout cela suggère que la lumière disponible joue un rôle important en influençant la production de cônes.

### 2.2.2. Dissémination des graines

Selon Cayford (1964), la dissémination annuelle des graines de pin rouge varie grandement d'une année à l'autre. Les graines sont dispersées lorsque les cônes atteignent leur maturité, soit à partir de l'automne (Carleton *et al.* 1996).



Dans la majorité des cas, la dispersion des graines est plus abondante durant l'automne (Cayford 1964). Selon Roe (1964), la moitié des graines tombe durant le premier mois (octobre) et 70% de la dispersion est complétée à la mi-décembre. La dispersion continue à un rythme lent jusqu'au mois d'août suivant (Roe 1964). Selon Cayford (1964), entre 50 et 88% des graines tombent avant la fin octobre ou le milieu de novembre. Les cônes ouvrent mieux lors de chaudes journées d'automne (Cayford 1964). Un temps froid et pluvieux peut retarder la période de dissémination maximale jusqu'au printemps suivant (Cayford 1964). Les meilleures graines sont disséminées en premier, soit durant la période de dispersion maximale (Cayford 1964 ; Roe 1964 ; Burns & Honkala 1990).

Les graines sont habituellement dispersées dans un rayon comparable à la hauteur de l'arbre semencier (Zehngraff 1945 ; Horton & Bedell 1960 ; Ahlgren 1976 ; Chapeskie *et al.* 1989). Mallik & Roberts (1994) ont observé, sur un site incendié, que 45 semis se sont établis à une distance de 1 à 2 mètres des semenciers comparativement à 28 à une distance de 2 à 3 mètres. À partir de 3 mètres, la quantité de semis a considérablement diminué (Malik & Roberts 1994). Selon Zehngraff (1945), l'efficacité des semenciers décroît rapidement au-delà de 12 mètres.

### 2.2.3. Germination des graines et établissement des semis

Les graines de pin rouge germent peu dans leur propre litière et les semis y croissent faiblement de même que dans beaucoup d'autres litières, reflétant ainsi la nécessité du sol minéral pour sa régénération naturelle (Ahlgren & Ahlgren 1981). S'il ne pleut pas assez, les graines de pin rouge peuvent demeurer en latence pendant 1 à 3 ans avant de germer (Burns & Honkala 1990). Si les conditions sont favorables, les graines de pin rouge peuvent germer durant les jours suivant la dissémination des graines (Kershaw 1993).

Les graines de pin rouge ne requièrent pas de dormance (Stiell 1978). La germination a habituellement lieu à des températures avoisinant 16°C, tard à l'automne ou tôt au printemps, lorsque les conditions sont favorables (Stiell 1978). Cette affirmation est contradictoire à celle de Burns & Honkala (1990) qui stipulent que la plupart des semis émergent lorsque la température se situe entre 21° et 30°C. Leurs résultats ont peut-être été obtenus lors d'expérimentations en cabinet de croissance. La germination est aussi possible à une température en-dessous de 15°C, le temps requis pour la germination est cependant beaucoup plus long (Flannigan & Woodward 1993).

La régénération est généralement en quantité adéquate lorsque l'intensité lumineuse atteint 20% et plus de la pleine lumière solaire (Shirley 1945). Selon Horton & Bedell (1960), l'abondance des semis augmente avec l'intensité

lumineuse, jusqu'à 100% de lumière solaire. Selon Horton & Bedell (1960), pour une germination et un établissement optimaux, le pin rouge requiert 35% d'ensoleillement.

Le pin rouge est plus communément retrouvé sur des sols sableux ou graveleux et sur les sites rocheux (McRae *et al.* 1994 ; Flannigan & Woodward 1994). Le pin rouge est commun et croît de façon satisfaisante sur des sols à fertilité faible à modérée (Flannigan & Woodward 1994). Le pin rouge est bien adapté aux stations extrêmement sèches (Horton & Brown 1960). Cependant, plus le sol est humide, meilleure est la croissance (Horton & Brown 1960).

Après l'établissement, les pins rouges ne croissent pas rapidement. Ils ont une croissance en hauteur très lente durant les cinq premières années (Chapeskie 1989). La croissance des semis augmente avec l'exposition au soleil (Fraser 1959). Elle diminue au-delà de 6 heures d'exposition quotidienne au soleil (Fraser 1959). Selon Logan (1966) dans Brown (1992), la croissance en hauteur augmente avec l'intensité lumineuse et serait optimum en pleine lumière.

### **2.3. Régénération naturelle du pin rouge (après feu)**

#### 2.3.1. Intolérant à l'ombre

Le pin rouge est intolérant à l'ombre et nécessite que le couvert forestier soit enlevé pour se régénérer (Ahlgren 1976 ; Chapeskie 1989 ; Flannigan 1993 ; Flannigan & Woodward 1993 ; McRae *et al.* 1994 ; Roberts & Mallik 1994). Parce que le pin rouge est intolérant à l'ombre, la régénération sans l'occurrence du feu est lente ou inexistante dans la zone boréale de sa distribution (Roberts & Mallik 1994).

#### 2.3.2. Inflammabilité du pin rouge

Les espèces dépendantes du feu brûlent plus facilement que les espèces non dépendantes parce que la sélection naturelle a favorisé le développement de caractéristiques qui les rendent plus inflammables (Mutch 1970). Les aiguilles du pin rouge sont extrêmement inflammables (Flannigan 1993). Le pin rouge produit les peuplements purs les plus inflammables de toutes les espèces de l'Est de l'Amérique du Nord lorsqu'il vit en peuplement dense (Van Wagner 1970). De part sa grande inflammabilité, le peuplement de pins augmente le danger d'incendie (Horton & Brown 1960). Ainsi, cette inflammabilité provoque des feux fréquents

mais d'intensité modérée, ce qui est un régime de feu idéal en termes de régénération de pin rouge (Van Wagner 1970).

### 2.3.3. Écorce épaisse

Le pin rouge a développé une écorce épaisse (Rouse 1988). Roberts & Mallik (1994) ont observé que les tiges de pin rouge matures et semi-matures étaient protégées par une écorce de 1 à 3 cm d'épaisseur. Selon Hosie (1969) dans McRae *et al.* (1994), l'épaisseur de l'écorce à la base des pins rouges est de 2 à 5 cm. Cette écorce épaisse fournit au pin rouge une protection efficace contre les feux qui tuent habituellement ses compétiteurs tolérants à l'ombre (Van Wagner 1970 ; Bergeron & Brisson 1990). Plus les pins rouges sont âgés, plus leur écorce est épaisse et plus ils sont résistants au feu (Van Wagner 1971 ; Ahlgren 1976 ; Rouse 1988). Ils résistent aux feux de surface (Heinselman 1973 ; Wright & Bailey 1982). Selon Flannigan (1993), les pins rouges matures sont capables de survivre à tous les feux exceptés les feux de cime et les feux de surface très intenses. Parce que les plus gros pins ont une plus grande surface de cambium, ils peuvent continuer à se développer même si une partie de l'arbre est morte (Rouse 1988). Cependant, après un premier feu sévère, les pins rouges survivants sont plus vulnérables face au feu suivant puisqu'une bonne portion de l'écorce est détruite (Roberts & Mallik 1994). Enfin, la grande taille des pins rouges et leur épaisse écorce permettent à certains individus de survivre aux occasionnels

feux sévères, procurant ainsi des graines pendant la période où le sol minéral est exposé et la compétition est à son minimum (Wright & Bailey 1982).

#### 2.3.4. Intensité et fréquence des feux

Selon Van Wagner (1970), plus le feu est intense, meilleure est la préparation du sol. Les feux de plus grande intensité brûlent plus de graines et de rhizomes, ce qui réduit le couvert de végétation qui s'installe rapidement suite au feu (Thomas & Wein 1984). La réduction de l'épaisseur de la couche organique favorise directement l'établissement des semis de pin rouge (Chrosiewicz 1976 dans Thomas & Wein 1984). Selon Flannigan (1993), les feux trop intenses tuent tous les pins rouges et éliminent toute chance de régénération. Selon Mallik & Roberts (1994), un feu d'intensité variant entre 400 et 600 °C procure un meilleur lit de germination pour la régénération naturelle du pin rouge, en enlevant la couche organique et en exposant le sol minéral, ce qui facilite la pénétration des racines et l'établissement des semis. D'un autre côté, les feux qui ne sont pas assez intenses ou trop espacés ne fourniront pas un environnement physique convenable pour la régénération du pin rouge (Flannigan 1993). Les feux d'intensité supérieure à modérée au cours des 50 premières années de croissance des pins rouges risquent de détruire le peuplement en entier (Van Wagner 1970). Le feu, s'il survient à un court intervalle ou s'il se produit après une coupe forestière, peut détruire tous les pins d'une population (Horton & Bedell 1960 ;

Horton & Brown 1960 ; Heinselman 1973). Finalement, la perturbation idéale pour le pin rouge est un feu de surface d'intensité modérée (Flannigan & Bergeron 1998).

#### 2.3.5. Besoin de semenciers survivants

Les espèces dépendantes du feu possèdent des adaptations qui leur permettent de survivre aux feux périodiques (Mutch 1970). Le pin rouge fait partie de celles dont le peuplement mature survit généralement suite au passage du feu (Rouse 1988). Le pin rouge a besoin de survivants pour se régénérer (Flannigan 1993 ; Heinselman 1978 ; Burns & Honkala 1990). Cette nécessité de survivants place cette espèce en désavantage compétitif par rapport aux espèces qui ont des cônes sérotineux ou semi-sérotineux ou par rapport aux espèces qui se reproduisent de façon végétative (Ahlgren 1976 ; Heinselman 1981 ; Flannigan 1993). La hauteur du pin rouge (jusqu'à 45 m) et son écorce épaisse permettent à un certain nombre de pins de survivre lors d'occasionnels feux sévères et ainsi fournir des graines sur plusieurs années où le sol minéral est exposé et la compétition à son minimum (Wright & Bailey 1982). Après un feu, le pin rouge doit reconquérir les surfaces brûlées en ensemençant à partir des arbres qui ont échappé au feu (Horton & Bedell 1960 ; Fowells 1965 ; Van Wagner 1971). L'établissement d'une communauté de pin rouge dépend de l'abondance des arbres semenciers ayant survécu et de la nature de la production de graines

durant la période après feu (Van Wagner 1971 ; Ahlgren 1976 ; Day & Woods 1977).

### 2.3.6. Rôles du feu

Avant la colonisation par les Européens, des feux périodiques d'intensité variable ont balayé les forêts de pin rouge à intervalles de 5 à 50 ans (Van Wagner 1970 ; Burgess & Methven 1977 ; Rouse 1988 ; Bergeron & Brisson 1990 ; Engstrom & Mann 1991). L'écologie du pin rouge est intimement liée au régime de feux (Rouse 1988 ; Flannigan 1993). Le pin rouge est une espèce dépendante du feu (Van Wagner 1970; Day & Woods 1977 ; Heinselman 1978 ; Bergeron & Brisson 1990; Day & Carter, 1990 ; Engstrom & Mann 1991; Flannigan 1993 ; Herr & Duchesne 1996). Le feu a donc joué un rôle majeur dans les écosystèmes forestiers nord-américains (Rouse 1988). Le pin rouge est une espèce pionnière dont l'abondance des peuplements naturels a été favorisée par les feux qui ont sévi avant que des mesures soient prises pour les supprimer (Brown 1992).

Le feu est le seul agent naturel qui est capable de satisfaire toute les conditions essentielles à la régénération du pin rouge, à l'exception de la présence de graines (Van Wagner 1970 ; Flannigan 1993).



Cette dépendance du pin rouge au feu est le résultat de plusieurs facteurs. En premier lieu, le pin rouge est une espèce intolérante à l'ombre et requiert l'élimination du couvert forestier pour se régénérer (Flannigan 1993). Le pin rouge a de la difficulté à se développer sous couvert (Van Wagner 1970). Il requiert une lumière d'intensité modérée à élevée (Fowells 1965 dans Rouse 1988; Ahlgren 1976). Le feu constitue donc un moyen naturel de satisfaire les besoins en lumière du pin rouge.

En second lieu, le pin rouge nécessite l'absence de végétation compétitive durant l'étape de régénération (Van Wagner 1970). Le feu constitue un bon agent qui élimine la végétation compétitive (Flannigan 1993 ; Douglas *et al.* 1994 ; McRae *et al.* 1994 ; Herr & Duchesne 1996).

En troisième lieu, des recherches ont montré que la germination des graines ainsi que le développement des semis de pin rouge sont faibles dans leur propre litière et dans la litière des autres espèces (Ahlgren & Ahlgren 1981). Selon l'étude de Mallik & Roberts (1994), plus la couche d'humus est épaisse, moins il y a de semis qui s'établissent. La couche d'humus semble inhiber l'établissement et la croissance des semis sur des sites non brûlés (Mallik & Roberts 1994). L'élimination de l'horizon organique et l'exposition du sol minéral sont toujours nécessaires pour obtenir un haut niveau de germination des graines et d'émergence des semis de pin rouge (Van Wagner 1970 ; Ahlgren & Ahlgren 1981 ; Rouse 1988 ; Flannigan 1993 ; Herr & Duchesne 1996). Selon Ahlgren

(1976), la germination est meilleure sur le sol minéral exposé associé avec de la mousse mince. Les feux de forêt sont un moyen naturel d'éliminer la couche supérieure du sol forestier, fournissant ainsi d'excellents lits de germination qui conviennent à la germination et à l'émergence des semis de pin rouge (Malik & Roberts 1994 ; McRae *et al.* 1994 ; Herr & Duchesne 1996). La couche de matière organique est, en effet, éliminée par un feu modéré à intense (Flannigan 1993).

Selon McRae *et al.* (1994), en absence de feu, les pins sont appelés à disparaître. En absence de feu, les forêts actuelles de pin rouge vont être remplacées par des forêts de composition très différente (Day & Woods 1977). Selon Woods & Day (1977). En absence de feu, le pin rouge et le pin gris sont remplacés par d'autres espèces telles que le sapin baumier, le pin blanc et les feuillus.

La régénération du pin rouge est donc favorisée lorsqu'il y a une coïncidence entre une abondance de semences et un incendie qui ouvre le couvert forestier, qui atténue la compétition et qui prépare le lit de germination (Horton & Brown 1960).

**CHAPITRE III**

**SITES ÉTUDIÉS**

Cette étude a été menée sur quatre sites différents. Trois d'entre eux sont situés dans la région de la Mauricie alors que le quatrième est situé dans la région du Saguenay (figure 1).

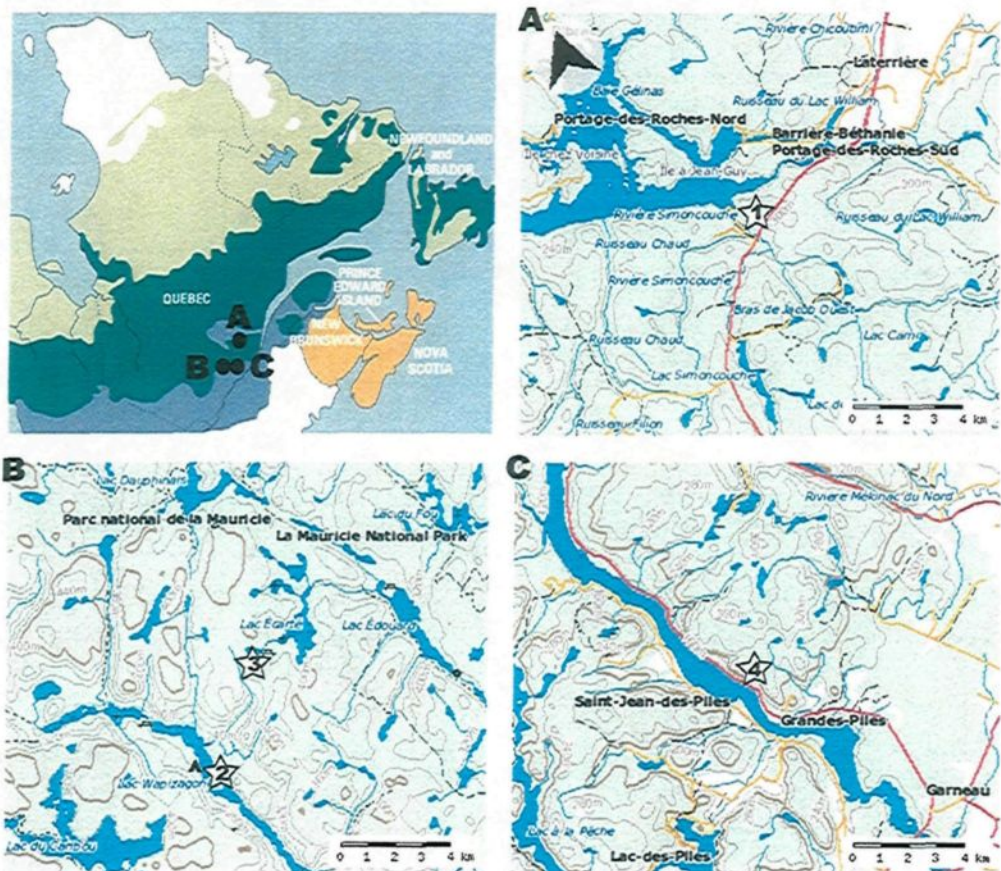
Le site du lac Alphonse a été utilisé lors de l'étude préliminaire. Ce site a été sélectionné puisqu'il est facile d'accès, parce que la population de pins rouges y est circonscrite dans un espace limité et que la date du dernier feu est connue.

Suite à l'étude préliminaire, plusieurs sites potentiels ont été visités. Deux d'entre eux ont été choisis pour réaliser l'étude. Il s'agit du site du lac Wapizagonke et de celui de Grandes-Piles.

Le site du lac Wapizagonke a été retenu parce que le pin rouge y est dominant, qu'on y retrouve une quantité importante de pins rouges matures répartis sur plus de 350 mètres de long, que la date du dernier feu est connue et qu'il est facilement accessible par le lac. Le site de Grandes-Piles, quant à lui, a été sélectionné parce qu'il a subi un feu très récemment (3 ans avant l'échantillonnage) et qu'il est accessible par la route.

Un autre site a été étudié afin d'apporter des informations complémentaires. Il s'agit du site du lac Kénogami. Ce dernier a été choisi parce qu'il a subi un feu plus récent que les sites du parc national de la Mauricie, pour sa proximité par rapport à l'Université du Québec à Chicoutimi et pour son accessibilité.

## Cartographie des sites d'échantillonnage



### LÉGENDE

- ☆ Site du lac Kénogami ( $48^{\circ}16'58''\text{N}-71^{\circ}13'20''\text{O}$ )
- ☆ Site du lac Wapizagonke ( $46^{\circ}44'35''\text{N}-73^{\circ}02'04''\text{O}$ )
- ☆ Site du lac Alphonse ( $46^{\circ}45'29''\text{N}-73^{\circ}00'12''\text{O}$ )
- ☆ Site de Grandes-Piles ( $46^{\circ}42'30''\text{N}-72^{\circ}44'00''\text{O}$ )

Figure 1. Localisation des sites d'échantillonnage.

### **3.1. Site du lac Wapizagonke**

Le site du lac Wapizagonke est localisé en bordure du lac, dans le parc national de la Mauricie (46°44'35"N-73°02'04"O). Ce secteur a brûlé en 1923 (Lalumière & Thibault 1988; Pelletier 1998). Selon la classification de Thibault (1985), ce site fait partie de la région écologique des Moyennes Laurentides de la Mauricie. La population de pin rouge est accompagnée de diverses espèces arborescentes et arbustives. Selon les observations sur le terrain, on y retrouve en ordre décroissant d'importance (en surface terrière), le pin rouge, le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), les épinettes, le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.), le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) et plusieurs autres espèces de feuillus. Les arbres croissent sur des dépôts fluvio-glaciaires (Patrimoine canadien 1997).

Le climat régional (station de Shawinigan : 46°34'N-72°45'O, altitude de 122 m) se caractérise par une température annuelle moyenne de 4,6°C, avec des moyennes mensuelles qui varient entre -12,7°C en janvier et 19,6°C en juillet. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 782,7 mm de pluie et de 250,1 cm de neige (Environnement Canada 1992).

### 3.2. Site de Grandes-Piles

Comme son nom l'indique, ce site d'étude est situé dans la municipalité de Grandes-Piles en Mauricie (46°42'30"N-72°44'00"O). Le secteur étudié a été accidentellement la proie des flammes le 4 septembre 1995 (Fortin, 1998). Ce secteur fait partie de la région écologique des Basses Laurentides de la Mauricie, qui elle, fait partie du domaine de l'érablière à bouleau jaune (Thibault 1985). Le pin rouge y est accompagné du chêne rouge (*Quercus rubra* L.), de l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) et du peuplier faux-tremble.

La population de pins rouges étudiée est située au sommet d'un escarpement rocheux. Selon Godbout (1967), ce site est situé sur le terrain Saint-Colomban. Il s'agit d'un complexe de terrains très accidentés formés de tills, où les dépôts meubles de surface sont minces, caillouteux et très acides (Godbout 1967).

Le climat de cette région (station de Saint-Tite : 46°44'N-72°34'O, altitude de 142 m) est caractérisé par une température annuelle moyenne de 3,6°C, avec des moyennes mensuelles variant entre -14,1°C en janvier et 18,6°C en juillet (Environnement Canada 1992). Les données annuelles des précipitations ne sont pas disponibles pour cette station météorologique.

### **3.3. Site du lac Alphonse**

Le site du lac Alphonse est localisé dans le parc national de la Mauricie, près du lac Alphonse, à 46°45'29"N-73°00'12"O. Ce site fait aussi partie du secteur incendié en 1923 (Lalumière & Thibault 1988; Pelletier 1998). La population de pin rouge est située dans la région écologique des Moyennes Laurentides de la Mauricie, selon Thibault (1985). Le groupement végétal est dominé par l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP), accompagnée du sapin baumier, du bouleau à papier, de l'érable rouge et du cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* L.f.), ces derniers étant présents en moins grande proportion (Lalumière & Thibault, 1988). Selon les mêmes auteurs, dans ce type de forêt on retrouve, à l'occasion, le pin blanc et le pin rouge. Un groupement de ce genre a pu être observé sur le terrain, soit une pessière noire avec, localement, une concentration de pins rouges.

La population de pins rouges est située en bordure d'un escarpement rocheux, sur une assise rocheuse (Patrimoine canadien 1997).

Le climat de ce site est semblable à celui du site du lac Wapizagonke puisque ces deux sites sont à proximité l'un de l'autre.



### **3.4. Site du lac Kénogami**

Le quatrième site est localisé près du lac Kénogami, au Saguenay, à une latitude de 48°16'58"N-71°13'20"O. Le secteur a été incendié le 15 mai et le 19 juin 1971 (Fortin 1998).

Selon la classification de Rowe (1972), ce secteur appartient à la région forestière des Grands lacs et du Saint-Laurent, section Saguenay. Selon Thibault (1985), ce secteur fait partie de la région écologique des Contreforts des Laurentides du Saguenay. L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et le merisier (*Betula alleghaniensis* Britton) poussent en petites formations dans les endroits abrités (Rowe 1972). Le pin blanc et quelques pins rouges se joignent en petits bouquets. La forêt offre tout de même un aspect essentiellement boréal ; le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier, l'épinette blanche (*Picea glauca* Moench), l'épinette noire et le sapin baumier sont communs dans plusieurs endroits (Rowe 1972).

L'aire d'étude est située sur le bord d'un escarpement rocheux. Le terrain se compose d'affleurements rocheux pouvant être recouverts de matériel meuble d'une épaisseur moyenne inférieure à 25 cm (Gouvernement du Québec 1976).

Le climat régional (station de Portage des Roches : 48°18'N-71°13'O, altitude de 165 m) est caractérisé par une température annuelle moyenne de

2,1°C. Les moyennes mensuelles varient entre -16,3°C en janvier et 17,8°C en juillet. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 703,2 mm de pluie et de 297,2 cm de neige (Environnement Canada 1992).

## **CHAPITRE IV**

### **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## **4.1. Protocole d'échantillonnage**

### 4.1.1. Site du lac Wapizagonke

Le site du lac Wapizagonke a été échantillonné durant l'été 1998, du 28 juin au 25 juillet. Les pins rouges s'étendaient sur une distance d'environ 300 mètres dans le sens nord-sud et sur 100 mètres dans l'axe est-ouest. La population de pins rouges a d'abord été circonscrite à l'aide d'un topofil. Tous les pins rouges ont été inclus, en s'assurant qu'il n'y ait aucun arbre de la même espèce à une distance de 60 mètres autour de la zone délimitée. Le choix du 60 mètres correspond au double de la hauteur maximale du pin rouge. L'aire a ensuite été divisée en carrés de cinq mètres par cinq mètres à l'aide d'une chaîne de 50 mètres et d'un topofil, pour un total de 458 carrés. Les lignes formant les carrés ont été orientées en fonction des points cardinaux, à l'aide d'une boussole, soit nord-sud et est-ouest. Tous les pins rouges, matures ou semis, ont été localisés et cartographiés sur du papier quadrillé. Chacun des pins rouges a été numéroté et échantillonné à la sonde de Pressler (lorsque la taille de l'arbre était suffisante), à 30 cm du sol ou moins. Leur diamètre à hauteur de poitrine (DHP) a ensuite été mesuré à l'aide d'un ruban circonférentiel.

Les autres espèces ont aussi été échantillonnées. De façon systématique, une ligne est-ouest de carrés (du quadrillé) et une autre nord-sud ont été utilisées pour échantillonner les autres espèces d'arbres, pour un total de 40 parcelles. Les

mêmes lignes ont aussi servi à inventorier la strate arborescente et la régénération préétablie. Un carré sur deux a servi de parcelle pour échantillonner, à la sonde de Pressler (à 30 centimètres du sol ou moins), les arbres autres que les pins rouges et inventorier la strate arborescente. Pour chacune de ces parcelles, un arbre de chacune des espèces présentes a été échantillonné et tous les arbres ont été dénombrés. Leur diamètre à hauteur de poitrine a également été mesuré.

Un carré sur quatre a servi pour l'inventaire de la régénération préétablie. Au milieu de ces carrés de cinq (5) mètres par cinq (5) mètres, une parcelle de un (1) mètre carré a été délimitée. À l'intérieur de cette parcelle, tous les semis d'espèces arborescentes ont été dénombrés et mesurés à l'aide d'une règle de 30 centimètres.

Un échantillon de bois d'une vingtaine de centimètres cubes a été prélevé sur les souches dont l'identification était incertaine. Ces échantillons ont été récoltés afin de procéder à l'identification de ces souches en laboratoire, par analyses anatomiques (Grosser 1977, Schweingruber 1982).

#### 4.1.2. Site de Grandes-Piles

L'échantillonnage du site de Grandes-Piles s'est déroulé du 19 au 22 septembre 1998. Toute la superficie de la zone ayant brûlé (75 mètres par 75 mètres) a été quadrillée. Des carrés de trois mètres par trois mètres, mesurés avec une chaîne de 50 mètres, ont été tracés à l'aide d'un topofil. Les lignes ont été orientées selon les points cardinaux, à l'aide d'une boussole. Du papier quadrillé a été utilisé pour cartographier la population de pins rouges. Les pins rouges matures, vivants et morts, ainsi que les semis de la même espèce ont donc été localisés sur le terrain et leur position notée sur le papier quadrillé.

Chacun des semis de pin rouge a été mesuré à l'aide d'une règle de 30 centimètres. L'âge de ces semis a été compté grâce aux cicatrices de bourgeon terminal, selon l'état et la disposition des aiguilles et selon les différentes teintes de la tige. Une brève description du lit de germination de chacun de ces semis a également été réalisée.

Chacun des pins rouges matures a été carotté à l'aide d'une sonde de Pressler, à 30 centimètres du sol ou moins. Leur état, mort ou vivant, a été noté. Afin de déterminer la maturité sexuelle de ces pins, on a noté la présence ou l'absence de cône(s) dans ces arbres ou au sol, à proximité de ceux-ci. Le diamètre à hauteur de poitrine a aussi été mesuré.

#### 4.1.3. Site du lac Alphonse

L'échantillonnage de ce site a eu lieu en mai 1997. La population de pins rouges a été délimitée avec un topofil. La délimitation formait ainsi un rectangle de 85 mètres par 20 mètres.

Tous les pins rouges (50) composant cette population ont été échantillonnés avec une sonde de Pressler, à 30 centimètres du sol ou moins, afin d'obtenir le plus grand nombre possible de cernes annuels de croissance. Des échantillons ont aussi été prélevés sur neuf (9) épinettes noires (ou rouges) et sur un (1) sapin baumier. Leur diamètre à hauteur de poitrine a été mesuré.

Un inventaire de la régénération à l'intérieur du site a été réalisé. Deux (2) transects ont été tracés à l'aide d'un topofil. Une parcelle d'un (1) mètre carré a été établie à tous les cinq (5) mètres, le long de chacun des transects. À l'intérieur de ces parcelles, tous les semis d'espèces arborescentes ont été dénombrés et mesurés à l'aide d'une règle de 30 centimètres. Au total, 35 parcelles ont été échantillonnées.

Plusieurs grosses souches étaient présentes sur le site. Sur celles qui étaient les moins décomposées (4), un échantillon de bois a été prélevé.

#### 4.1.4. Site du lac Kénogami

Ce site, de 300 mètres par 20 mètres, a été visité le 28 octobre 1998 pour ensuite être échantillonné les 4 et 11 novembre 1998.

Tous les pins rouges vivants se trouvant sur ce site ont été carottés à l'aide d'une sonde de Pressler, à 30 cm du sol ou moins. Leur diamètre à hauteur de poitrine a été mesuré. Un échantillon de bois a été prélevé sur 32 des chicots retrouvés sur le site. La présence ou l'absence de cônes chez les pins rouges vivants a aussi été notée.

## **4.2. Traitement des données**

### 4.2.1. Détermination de l'âge des arbres

Les échantillons (carottes) prélevés sur les pins rouges et sur les autres espèces ont d'abord été collés sur des supports de bois. Ils ont ensuite été finement sablés afin de bien voir les cernes annuels de croissance. Ces derniers ont été dénombrés à l'aide d'une loupe binoculaire (grossissement maximum 100X). La structure d'âge de chacune des populations de pin rouge a par la suite été établie.



#### 4.2.2. Cartographie des pins rouges

Les cartographies du site du lac Wapizagonke et du site de Grandes-Piles réalisées sur du papier quadrillé ont été reproduites sur support informatique. Pour ce faire, le logiciel MapInfo a été utilisé.

#### 4.2.3. Les semis et la distance du premier semencier

Dans le but d'étudier la relation entre la présence des semis et la proximité des semenciers, la distance du semencier le plus proche a été calculée pour chacun des semis (Filion 1994). Cette distance a été mesurée avec l'outil règle du logiciel MapInfo. L'outil « snap » a été utilisé afin d'obtenir le maximum de précision.

##### 4.2.3.1. Le site de Grandes-Piles

En ce qui concerne le site de Grandes-Piles, tous les pins rouges matures, morts ou vivants, ont été considérés comme des semenciers puisque des cônes ont pu être observés pour la plupart des pins.

Les mesures obtenues ont été traitées en fonction de cinq (5) classes de distance : quatre (4) classes de cinq (5) mètres (0 à 4,99 ; 5 à 9,99 ; 10 à 14,99 ; 15 à 19,99) et une cinquième de 20 mètres et plus. Les mesures ont aussi été classifiées selon l'état, mort ou vivant, de chacun des pins rouges matures. Il y a donc, pour chacune des classes de distances, un nombre de pins rouges morts et un nombre de pins rouges vivants.

#### 4.2.3.2. *Le site du lac Wapizagonke*

Les pins rouges survivants du feu de 1923 ont d'abord tous été considérés comme semenciers potentiels. Par la suite, il a été possible d'estimer quels survivants ont pu potentiellement être semenciers au moment du feu. Le critère de référence fut le diamètre de ces survivants au moment du passage du feu (1923).

Pour évaluer le diamètre des survivants, on a tout d'abord mesuré la largeur des cernes de croissances des survivants du lac Wapizagonke (pins dont la date d'installation précède la date du feu) à l'aide du système MacDENDRO™ (Guay *et al.* 1992). Par la suite, des courbes de croissance cumulative du diamètre ont été réalisées à l'aide du logiciel WinDendro. Pour les échantillons qui contenaient le cœur de l'arbre, il s'agissait de prendre le diamètre cumulatif du début de la croissance jusqu'en 1923. Le diamètre à hauteur de souche ainsi obtenu a ensuite été converti en diamètre à hauteur de poitrine à l'aide de la table de conversion

d'Alemdag & Honer (1977). Pour les échantillons qui ne contenaient pas le cœur de l'arbre, la formule suivante a été utilisée :

$$DHP_{1923} = DHP_{1998} - (DC_{1998} - DC_{1923})$$

où

$DHP_{1923}$  = diamètre à hauteur de poitrine calculé pour 1923,

$DHP_{1998}$  = diamètre à hauteur de poitrine mesuré en 1998,

$DC_{1998}$  = diamètre cumulé de tous les cernes (jusqu'en 1998) (donnée obtenue par le logiciel WinDendro),

$DC_{1923}$  = diamètre cumulé des premiers cernes de l'échantillon jusqu'au cerne 1923 (donnée obtenue par le logiciel WinDendro).

Les pins rouges qui avaient, à 1,30 mètre du sol (DHP), un diamètre inférieur à 12,5 centimètres (en 1923) n'ont pas été considérés comme des semenciers potentiels (Stiell 1971).

Dans le cas du site du lac Wapizagonke, les mesures obtenues ont été traitées selon cinq classes de distance : quatre classes de 10 mètres (0 à 9,99 ; 10 à 19,99 ; 20 à 29,99 ; 30 à 39,99) et une cinquième de 40 mètres et plus.

#### 4.2.4. Identification des souches et des chicots

Plusieurs méthodes ont été envisagées pour l'identification des échantillons de souches et de chicots. La méthode anatomique a été retenue pour sa rapidité d'exécution et sa fiabilité. Cette technique consiste à faire une coupe mince, à l'aide d'une lame de rasoir, dans le sens radial du bois. Ces coupes ont ensuite été placées sur des lames de microscope, submergées d'une goutte d'eau et recouvertes de lamelles. Ces montages ont ensuite été examinés au microscope optique.

La première observation consistait à repérer les grosses ponctuations fenestriques caractéristiques des pins (Grosser 1977). Il s'agit de fenêtres pinoïdes qui se retrouvent au lieu de rencontre des trachéïdes longitudinales et radiales (Grosser 1977). La différenciation des pins rouges et des pins blancs se situe au niveau des parois des trachéïdes aux champs de croisement. Selon Schweingruber (1982), chez le pin rouge ces trachéïdes ont des parois dentées (ondulées) alors que chez le pin blanc ces trachéïdes ont des parois lisses.

## **CHAPITRE V**

### **RÉSULTATS**

### 5.1. Strate arborescente et régénération

Un inventaire systématique de la strate arborescente a été réalisé afin d'obtenir des données quantitatives sur les espèces présentes sur le site du lac Wapizagonke (tableau 1). L'inventaire montre un mélange d'espèces de conifères et de feuillus. Les conifères sont présents en plus grande quantité que les feuillus. En ordre décroissant de surface terrière, on y retrouve le pin rouge, le sapin baumier, l'épinette, le pin blanc, le thuya occidental, le bouleau à papier et le peuplier faux-tremble.

Tableau 1. Inventaire systématique de la strate arborescente au site du lac Wapizagonke

| Espèces                           | Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha) | Nombre de tiges/ha |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| <i>Pinus resinosa</i> Ait.        | 22,29                                 | 650                |
| <i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.  | 18,91                                 | 1150               |
| <i>Picea</i> sp.                  | 10,14                                 | 660                |
| <i>Pinus Strobus</i> L.           | 5,92                                  | 140                |
| <i>Thuja occidentalis</i> L.      | 5,40                                  | 770                |
| <i>Betula papyrifera</i> Marsh.   | 2,73                                  | 210                |
| <i>Populus tremuloides</i> Michx. | 2,26                                  | 50                 |
| Toutes les espèces                | 67,65                                 | 3630               |

Un inventaire systématique de la régénération préétablie a été réalisé sur le site du lac Wapizagonke. À certains endroits sur le site, il n'y avait aucune régénération au sol (seulement un tapis d'aiguilles), alors qu'à d'autres endroits, la régénération était présente. L'espèce la plus abondante était le sapin baumier. On y retrouvait également, l'érable rouge, le pin blanc, le thuya occidental, l'érable de pensylvanie, le bouleau à papier, l'épinette et le peuplier faux-tremble. Aucun semis de pin rouge n'a été trouvé lors de cet inventaire. Cependant, en bordure de lac (côté ouest du site), là où il y a eu perturbation du sol et où la lumière est plus abondante, trois semis de pin rouge ont été observés. Aucun autre semis de pin rouge n'a été observé sur ce site.

Un inventaire systématique de la régénération préétablie a été réalisé sur le site du lac Alphonse. Les deux seules espèces retrouvées lors de cet inventaire sont le sapin baumier et l'épinette sp. Le sapin baumier représente 73 % de la régénération alors que l'épinette sp. en représente 27 %.

## ***5.2. Structures d'âge des populations de pin rouge***

Une structure d'âge des pins rouges a été réalisée pour chacun des quatre sites (figure 2). Elles comptaient 433 pins rouges au site du lac Wapizagonke ; 41 pins rouges adultes et 88 semis au site de Grandes-Piles ; 50 pins rouges au site du lac Alphonse et 47 au site du lac Kénogami. Pour chacun de ces quatre sites,

les pins rouges ont commencé à se réinstaller immédiatement au cours de l'année suivant le feu. En comparant les quatre structures d'âge, on remarque que plus le feu est récent, plus la période d'installation semble courte. C'est au site du lac Wapizagonke que l'on retrouve la plus longue période d'installation, soit durant un laps de temps de plus de 40 ans. Au site du lac Alphonse, l'installation s'est faite sur 25 ans. Au site du lac Kénogami, cette période a duré 15 ans alors qu'au site de Grandes-Piles l'installation n'aurait eu lieu que durant la première année suivant le feu.

Des survivants des feux ont été retrouvés sur le site du lac Wapizagonke (19) ainsi que sur le site de Grandes-Piles (10), puisque l'on peut voir sur la figure 2 que des pins rouges datent d'avant le feu de 1923 (au site du lac Wapizagonke) et d'avant le feu de 1995 (au site de Grandes-Piles). Aucun survivant n'a été retrouvé sur le site du lac Alphonse ni sur le site du lac Kénogami.

La structure d'âge des pins rouges survivants du site du lac Wapizagonke (figure 3) ne montre pas de regroupement précis d'installation des survivants.



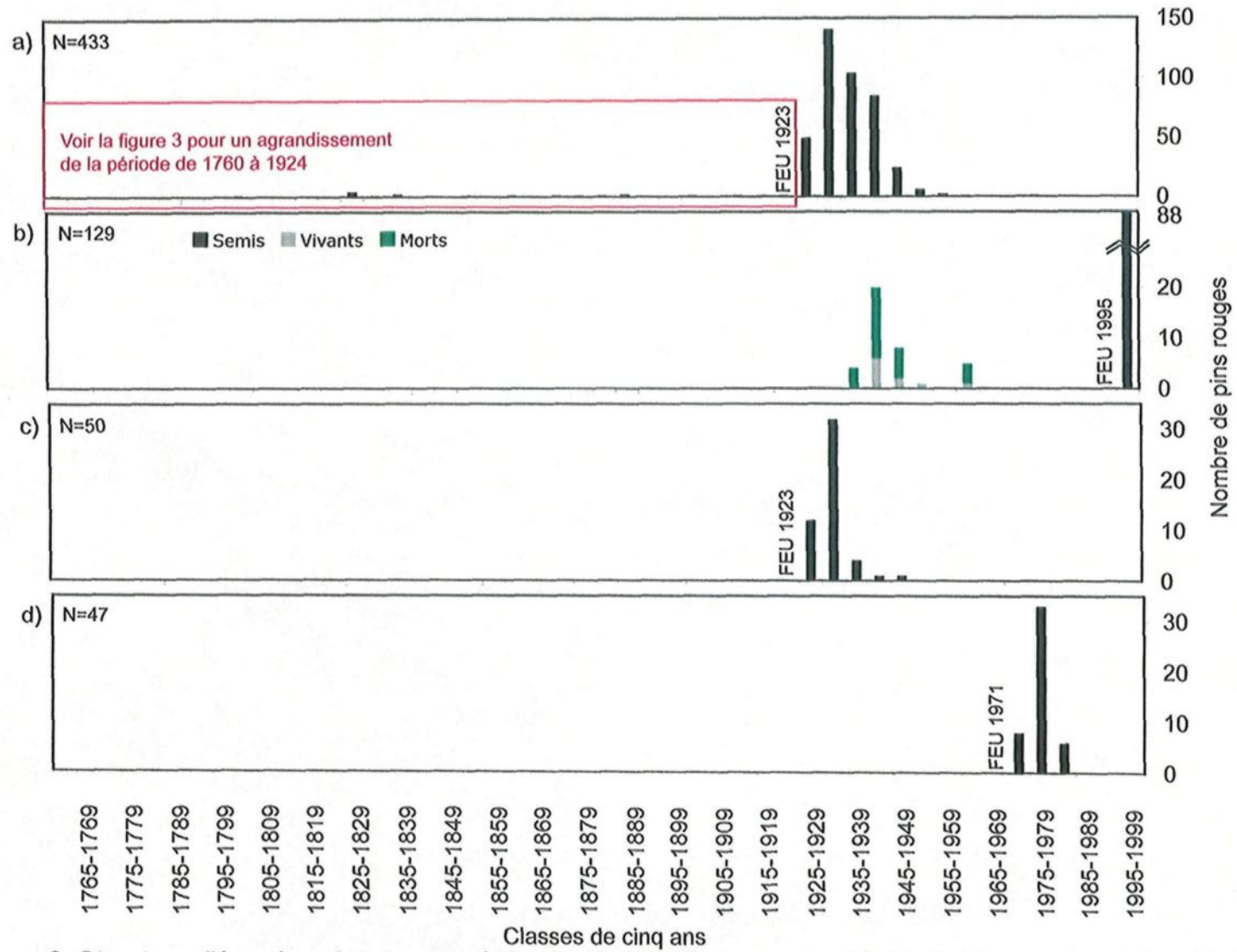


Figure 2. Structure d'âge des pins rouges **a)** du site du lac Wapizagonke, **b)** du site de Grandes-Piles, **c)** du site du lac Alphonse et **d)** du site du lac Kénogami.

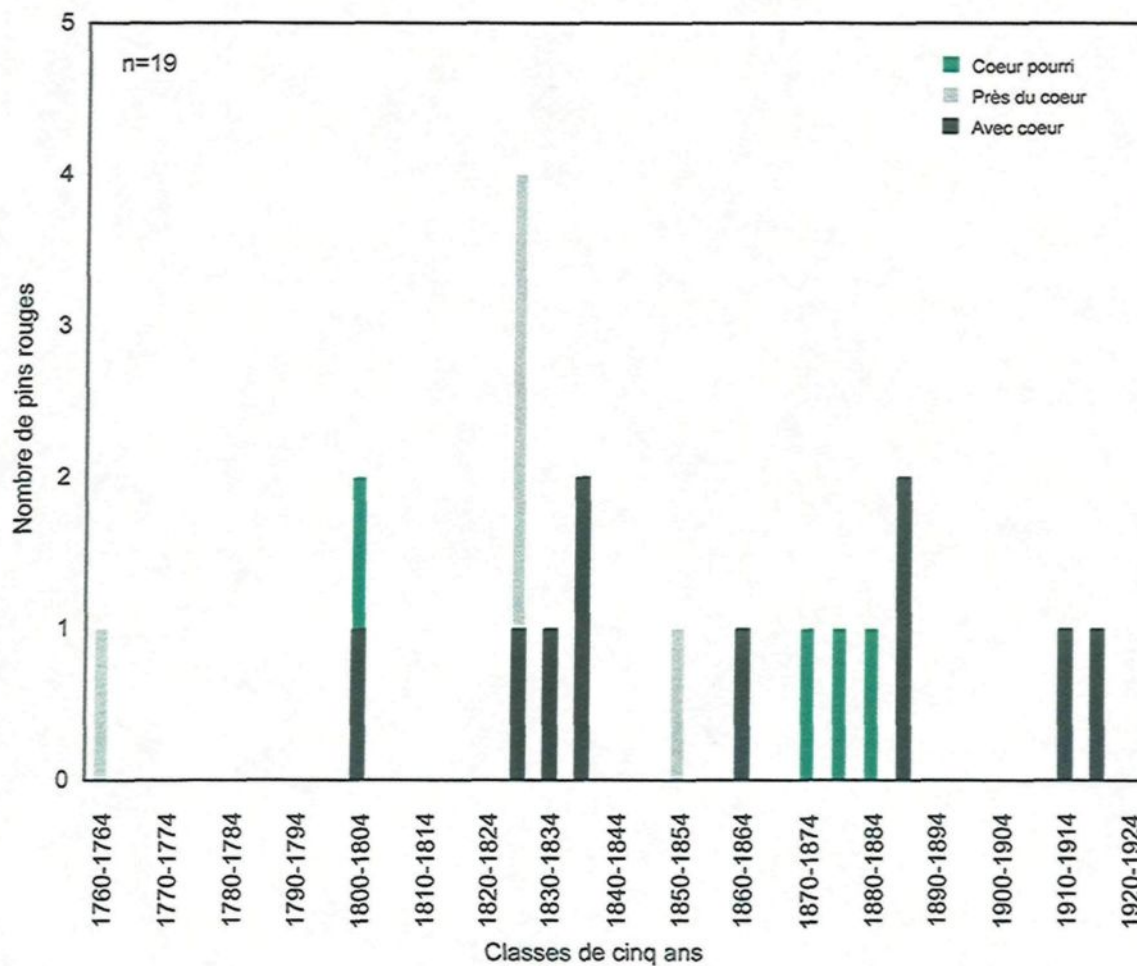


Figure 3. Structure d'âge des pins rouges survivants du feu de 1923, au site du lac Wapizagonke.

L'installation de ces survivants est étalée entre les années 1760 et les années 1910. Cependant, c'est entre 1825 et 1839 que l'on retrouve leur plus grande concentration.

Au site de Grandes-Piles, il y a eu deux périodes d'installation des pins rouges actuellement matures, soit au début des années 1960 ainsi qu'entre 1938

et 1952. Le feu de 1995 a causé la mort de 31 pins rouges alors que 10 ont survécu. Par contre, dans l'aire d'échantillonnage, aucun pin rouge survivant du feu qui aurait eu lieu avant 1938 n'a été retrouvé puisque aucun arbre de cette espèce, présent sur ce site, ne s'est installé avant 1938.

### **5.3. Le diamètre et l'âge des pins rouges**

Pour chacun des sites, un graphique du diamètre à hauteur de poitrine en fonction de l'âge de chacun des pins rouges a été fait (figure 4) afin d'analyser la relation entre l'âge et le DHP. Chez les pins rouges, pour un âge donné, le DHP est très variable.

Au site du lac Wapizagonke (figure 4.a), le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) des pins rouges âgés d'environ 65 ans varie entre cinq (5) centimètres et 45 centimètres (écart de 40 centimètres). Des variations de diamètre à hauteur de poitrine sont aussi observées chez les survivants. Parmi ces derniers, on peut remarquer un pin âgé de 111 ans, ayant un diamètre à hauteur de poitrine de 56 centimètres, et un autre âgé de 173 ans (62 ans de plus) ayant un diamètre à hauteur de poitrine de moins de 23 centimètres.

Au site de Grandes-Piles (figure 4.b), les pins rouges âgés de 54 ans ont un diamètre à hauteur de poitrine qui varie entre 14 centimètres et 33 centimètres.

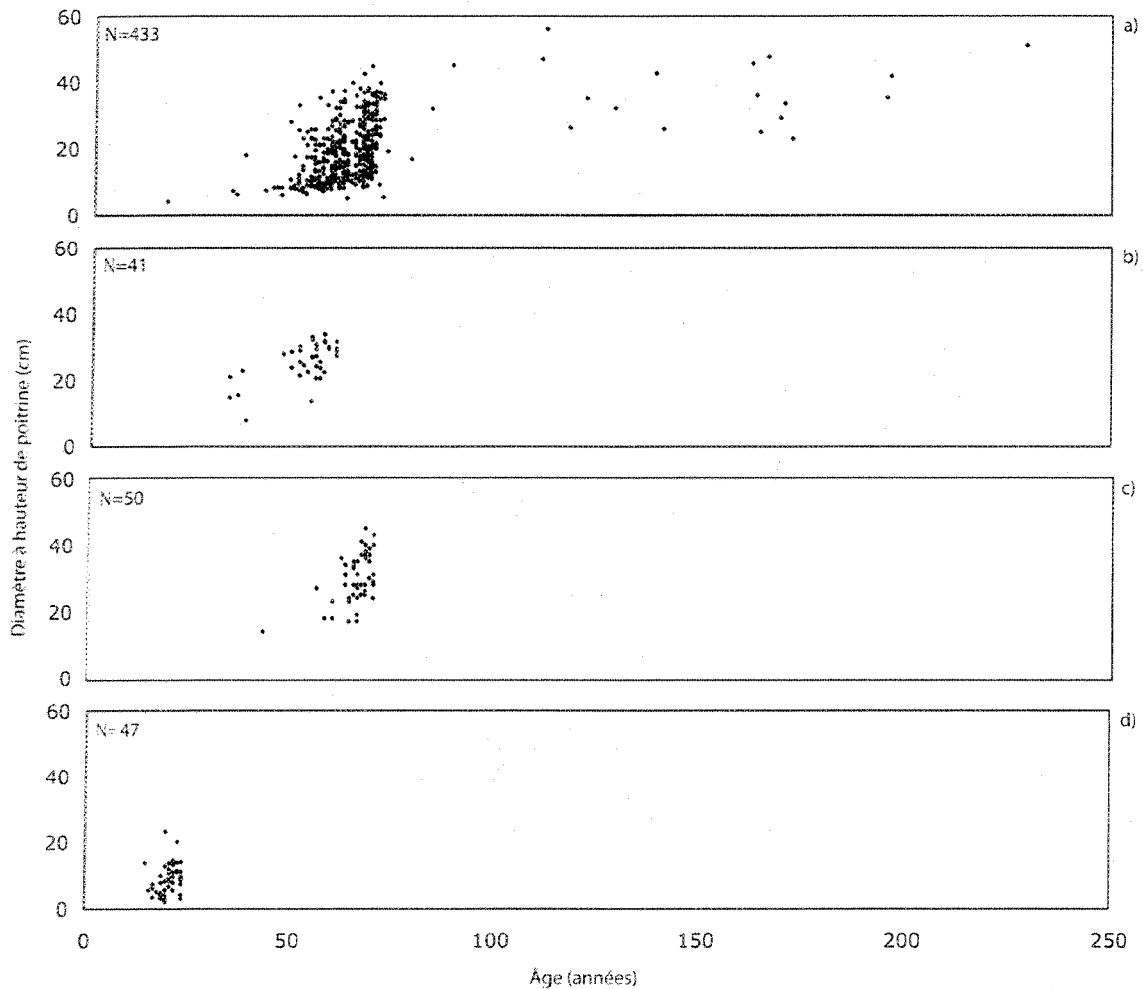


Figure 4. Représentation de la relation entre le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et l'âge de chacun des pins rouges a) du site du lac Wapizagonke, b) du site de Grandes-Piles, c) du site du lac Alphonse et d) du site du lac Kénogami.

Au site du lac Alphonse (figure 4.c), les pins rouges âgés de 68 ans ont un diamètre à hauteur de poitrine qui varie entre 25 centimètres et 45 centimètres.

Quant au site du lac Kénogami (figure 4.d), les pins rouges âgés de 20 ans ont un diamètre à hauteur de poitrine qui varie entre deux (2) centimètres et 23 centimètres.

#### 5.4. Hauteur des semis

Un graphique de la hauteur en fonction de l'âge de chacun des semis de pin rouge du site de Grandes-Piles a été tracé (figure 5). Les semis, tous âgés de trois ans, ont une hauteur qui varie entre trois (3) centimètres et 26,5 centimètres.

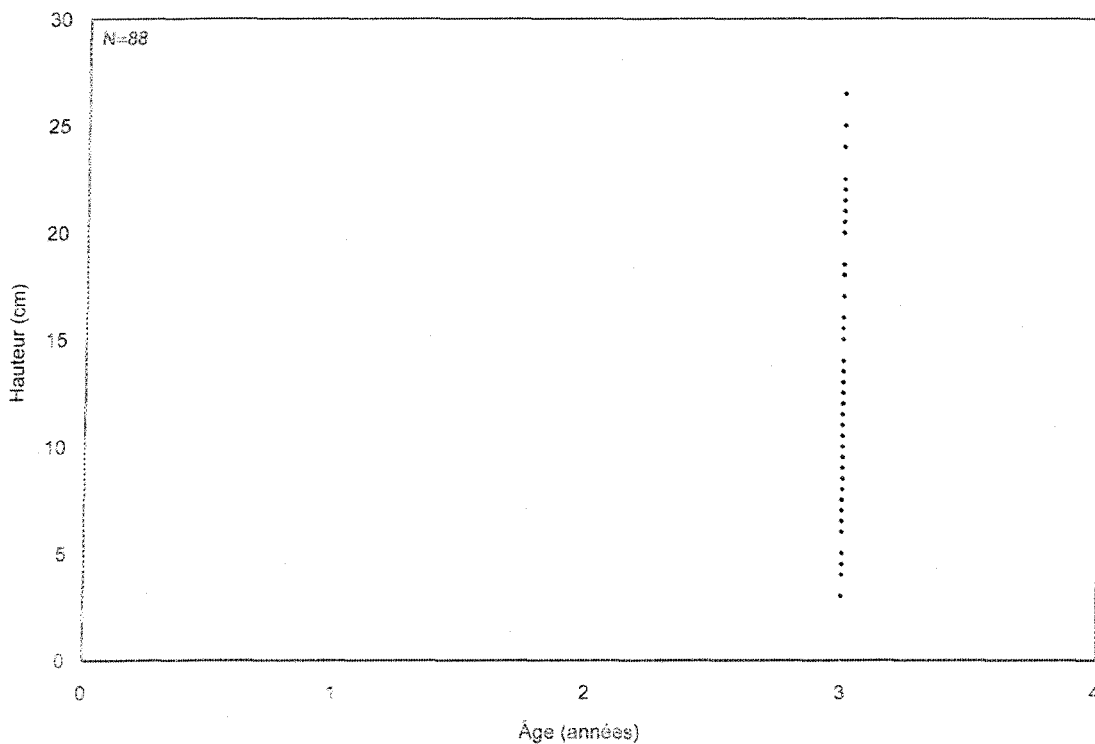


Figure 5. Hauteur et âge des semis du site de Grandes-Piles.

### 5.5. Estimation de la maturité des pins rouges

Pour chacun des pins rouges (à l'exception des semis), mort ou vivant, la présence de cônes a été notée afin d'estimer son potentiel reproducteur (tableau 2). Trente-et-un des 41 pins rouges ont immédiatement été classés parmi les matures car ils portaient des cônes.

Tableau 2. Maturité des pins rouges du site de Grandes-Piles.

| Nombre d'individus | État   | Présence de cône(s) | Maturité |
|--------------------|--------|---------------------|----------|
| 6                  | vivant | dans l'arbre        | oui      |
| 0                  | vivant | au pied de l'arbre  | ?        |
| 4                  | vivant | non observée        | ?        |
| 25                 | mort   | dans l'arbre        | oui      |
| 2                  | mort   | au pied de l'arbre  | ?        |
| 4                  | mort   | non observée        | ?        |

Le tableau 3 présente le diamètre des pins rouges ainsi que la présence ou l'absence de cônes. Les pins rouges du site du lac Kénogami, qui ont un diamètre à hauteur de poitrine de moins de 15 centimètres, ne portent pas de cône alors que ceux qui ont un diamètre de 20 centimètres et plus en ont développé.

Tableau 3. Diamètre à hauteur de poitrine des pins rouges en fonction de la présence des cônes, au site du lac Kénogami.

| Classe de DHP<br>(cm) | Nombre de PIR | Âge moyen<br>(selon échantillons) | Présence de cônes |
|-----------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------|
| 0 à 4,9               | 11            | 20                                | Non               |
| 5 à 9,9               | 18            | 21                                | Non               |
| 10 à 14,9             | 16            | 22                                | Non               |
| 15 à 19,9             | 0             | -                                 | -                 |
| 20 à 24,9             | 2             | 22                                | Oui               |

Le diamètre des pins rouges survivants du site du lac Wapizagonke, au moment du dernier feu, soit 1923, a été calculé afin d'estimer leur potentiel reproducteur. Cette étape permet de repérer les semenciers qui auraient potentiellement réensemencé le site (tableau 4). Quatre (4) des 19 survivants ont été classés «semenciers potentiels» parce que leur diamètre à hauteur de poitrine était de 12,5 cm ou plus en 1923. Les autres ont été classés survivants non-semenciers car leur diamètre à hauteur de poitrine était de moins de 12,5 centimètres en 1923.

Tableau 4. Diamètre à hauteur de poitrine des pins rouges survivants au moment du passage du feu (1923), au site du lac Wapizagonke.

| Numéro du pin rouge survivant | Diamètre à hauteur de poitrine en 1923 (cm) | Semencier potentiel en 1923 |
|-------------------------------|---|-----------------------------|
| 6                             | 7,14  | Non                         |
| 7                             | 8,82  | Non                         |
| 29                            | 10,72                                       | Non                         |
| 30                            | 10,45                                       | Non                         |
| 31                            | 7,82  | Non                         |
| 76                            | 19,53                                       | Oui                         |
| 78                            | 26,85                                       | Oui                         |
| 81                            | 1,87  | Non                         |
| 82                            | 7,20  | Non                         |
| 84                            | 4,91  | Non                         |
| 97                            | 9,36  | Non                         |
| 143                           | 9,40  | Non                         |
| 206                           | 4,65  | Non                         |
| 301                           | 6,95  | Non                         |
| 332                           | 11,80                                       | Non                         |
| 488                           | 12,48                                       | Non                         |
| 489                           | 16,88                                       | Oui                         |
| 563                           | 15,66                                       | Oui                         |
| 572                           | 2,53  | Non                         |



### 5.6. Distribution spatiale des survivants et de la régénération

Les souches retrouvées sur le site du lac Wapizagonke ont été identifiées afin de déterminer si ces arbres ont pu participer au réensemencement du site (tableau 5). La majorité des souches en question sont des pins : 18 d'entre-elles sont des pins rouges, 26 sont des pins blancs et 24 n'ont pas été identifiées à l'espèce. Huit souches de pin sp. et trois souches de pin rouge ne portaient pas de trace de feu. Ce sont seulement ces souches qui ont été cartographiées puisque l'on considère que celles portant des traces de feu ont été coupées avant le feu. Ces arbres n'ont donc pas pu participer au réensemencement du site.

Tableau 5. Identification anatomique des souches présentes sur le site du lac Wapizagonke.

| Espèce                     | Traces de feu | Nombre |
|----------------------------|---------------|--------|
| <i>Pinus resinosa</i> Ait. | oui           | 15     |
|                            | non           | 3      |
| <i>Pinus</i> sp.           | oui           | 16     |
|                            | non           | 8      |
| <i>Pinus Strobus</i> L.    | -             | 26     |
| Autres                     | -             | 4      |

La cartographie des deux générations de pin rouge du site du lac Wapizagonke a été réalisée en subdivisant les survivants en deux catégories : survivants semenciers et survivants non semenciers. La figure 6 présente une vue générale des pins rouges du site du lac Wapizagonke et la subdivision du site en quatre (4) parties. Ces quatre (4) parties sont présentées aux figures 6.A, 6.B, 6.C et 6.D.

Sur la vue générale (figure 6), on peut observer la distribution des 19 survivants et des 562 pins établis suite au passage du feu de 1923.

Dans la zone A (figure 6.A), on observe un survivant non semencier et un survivant semencier. Dans l'entourage du survivant non semencier, on ne retrouve qu'un seul pin établi après feu alors que dans le secteur du semencier, on en retrouve quatre (4) à moins de cinq (5) mètres de distance.

Un (1) survivant semencier et un survivant non semencier se trouvent dans la zone B (figure 6.B). Ces survivants sont entourés de plusieurs pins rouges qui se sont établis après le passage du feu de 1923. La concentration de pins diminue en s'éloignant des survivants.

Dans la zone C (figure 6.C), on observe trois souches de pin sp., trois survivants non semenciers ainsi que de nombreux pins rouges établis après le feu.

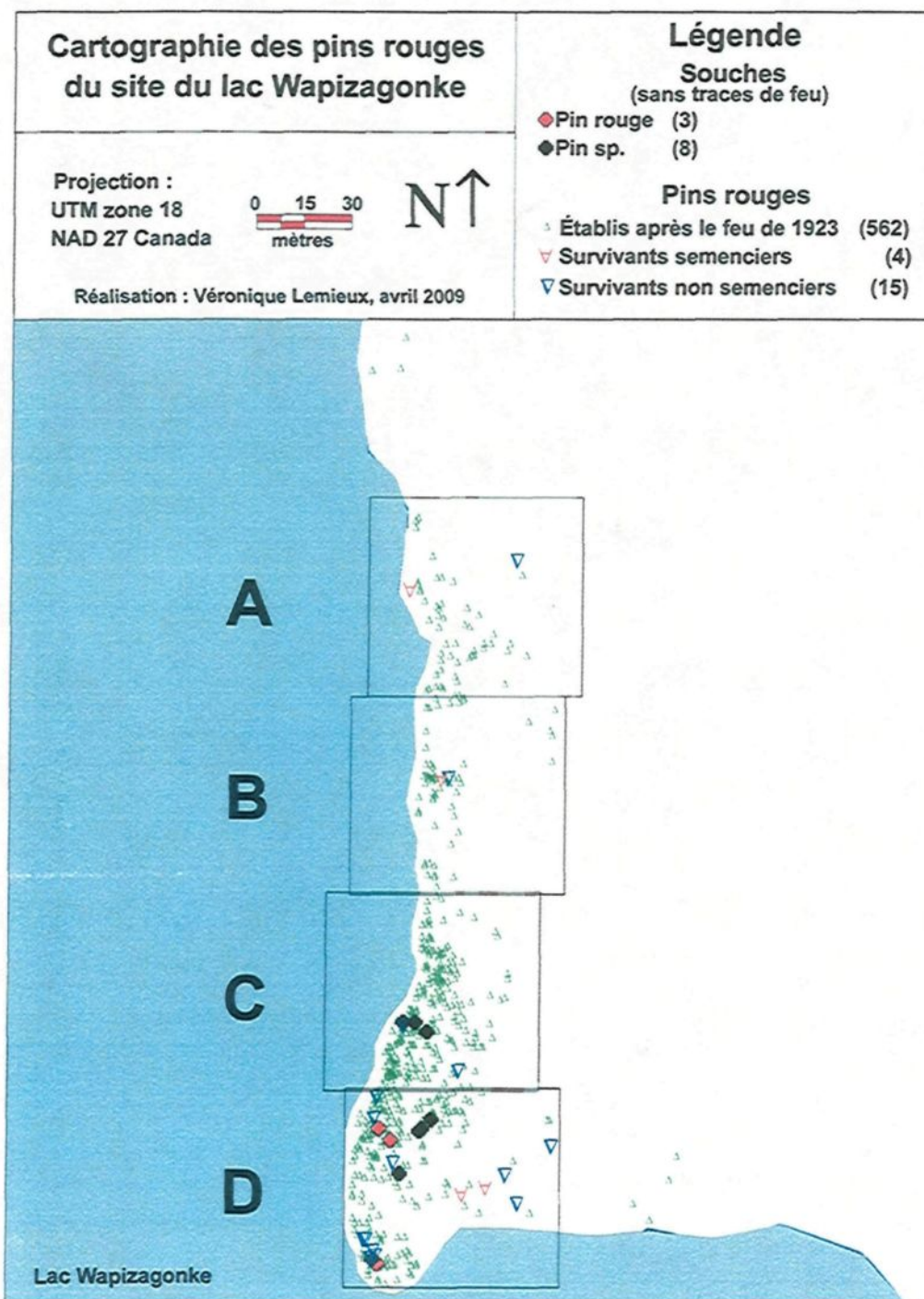


Figure 6. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : vue générale.

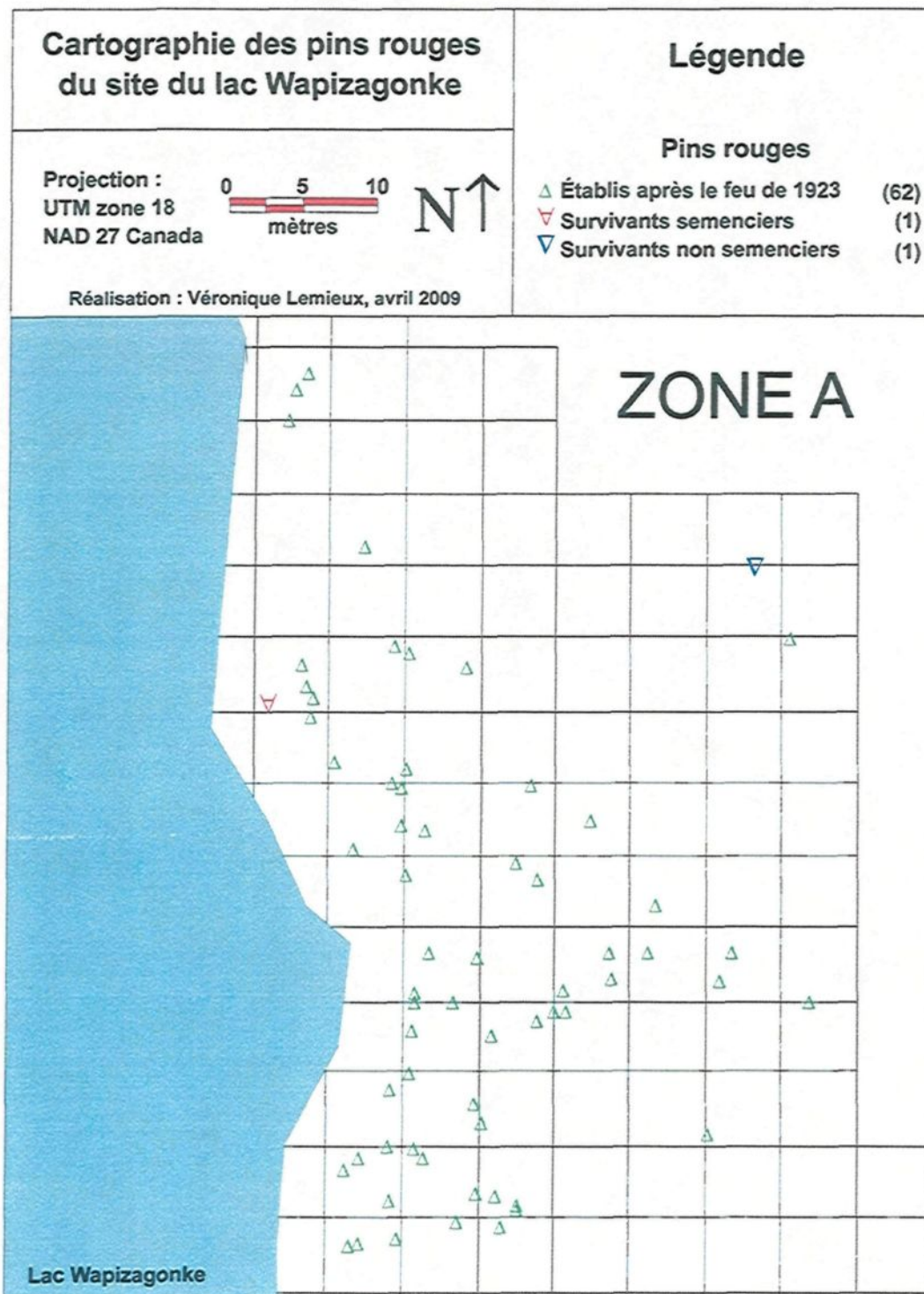


Figure 6.A. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone A.



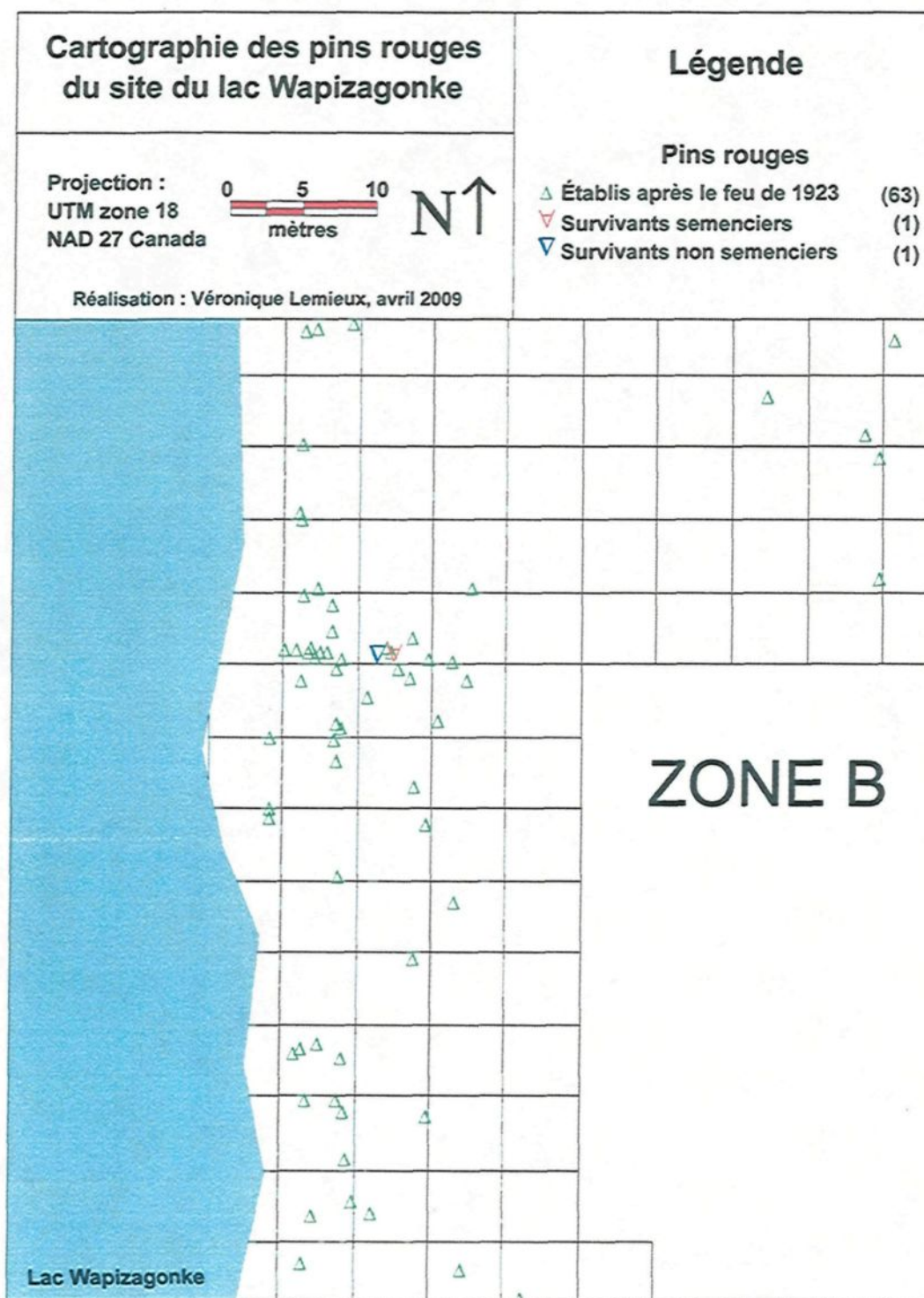


Figure 6.B. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone B.

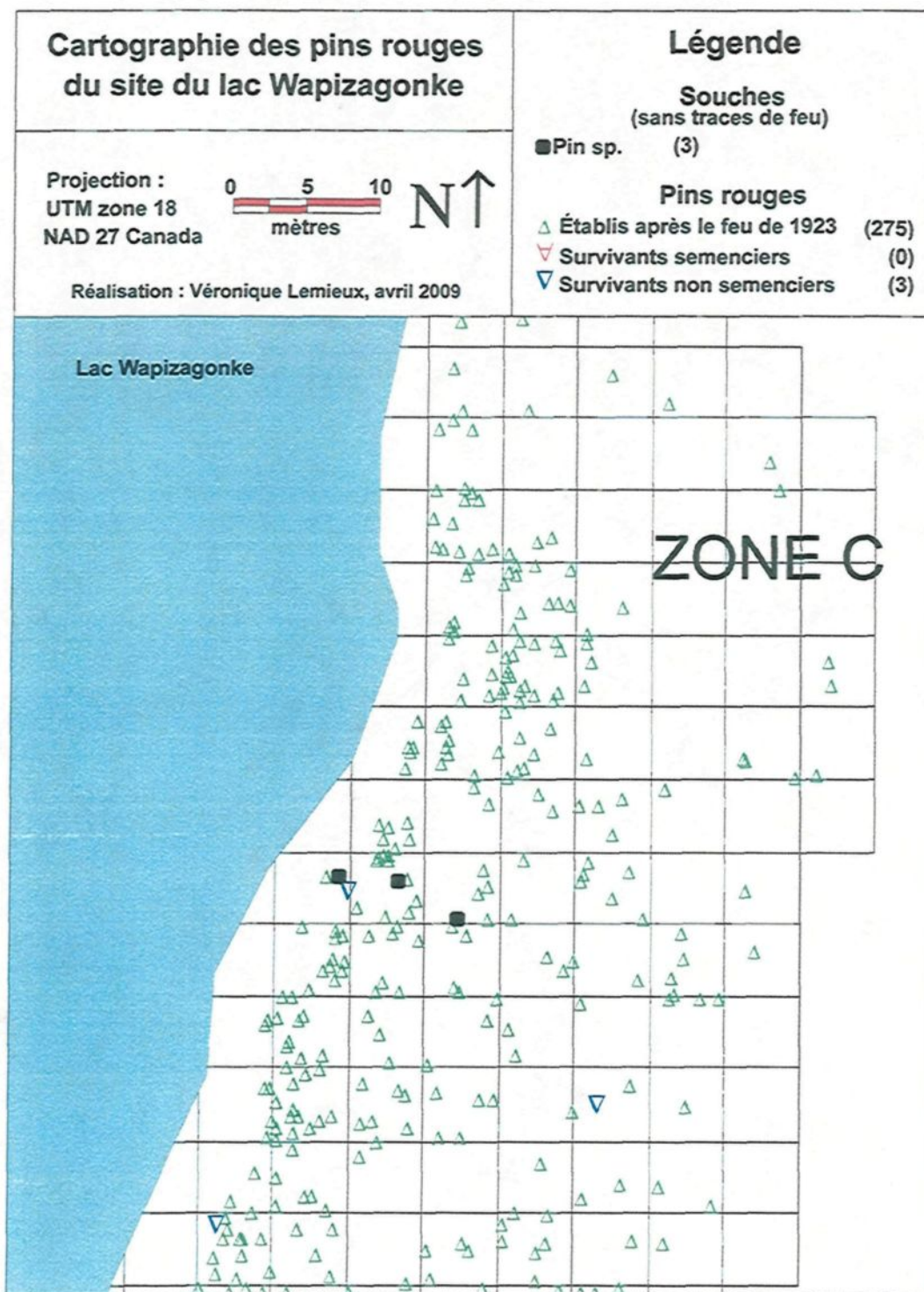


Figure 6.C. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone C.



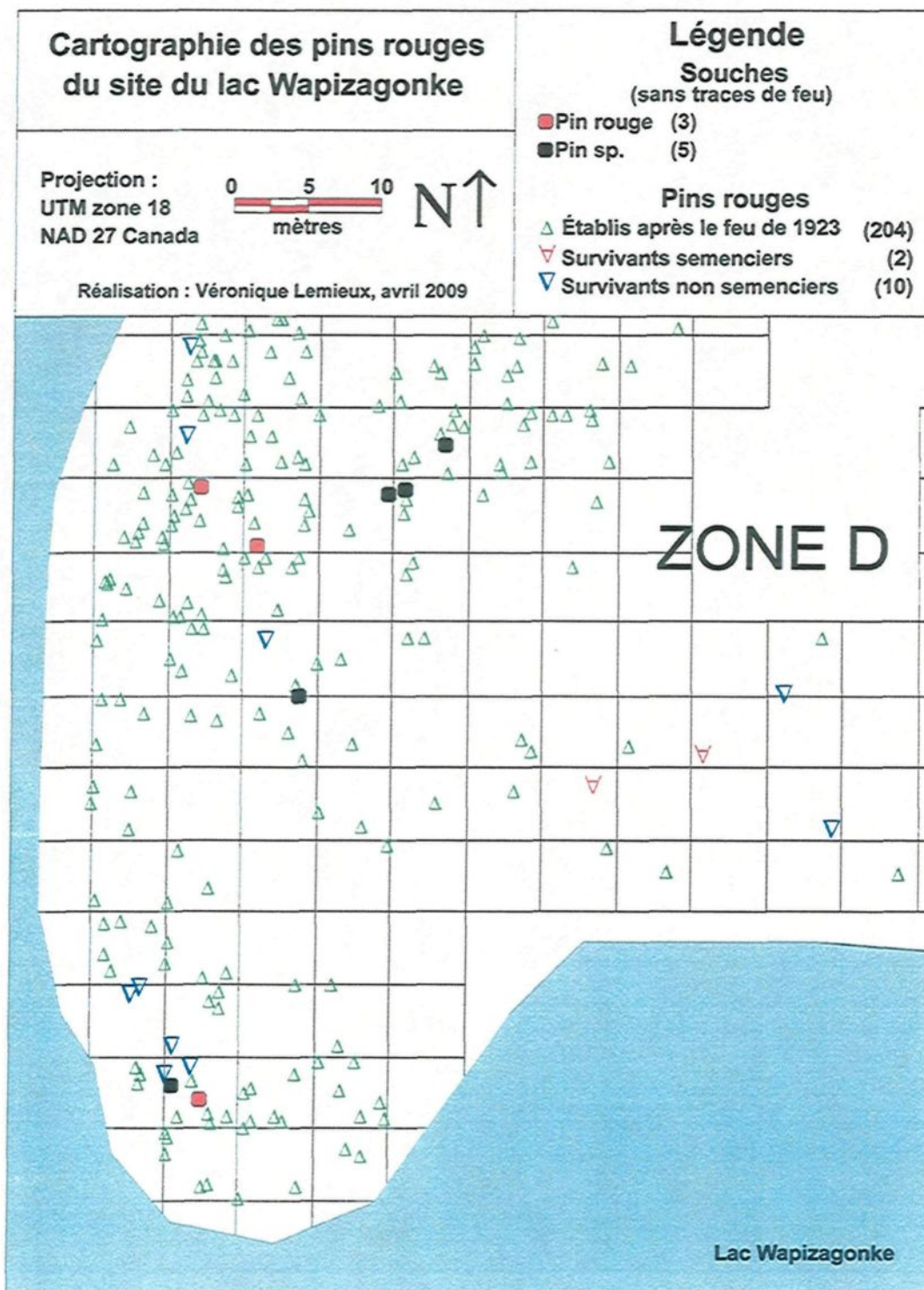


Figure 6.D. Cartographie des pins rouges du site Wapizagonke : zone D.

Ces derniers sont présents en plus grande concentration près du lac (côté ouest) et leur densité diminue en s'éloignant du lac (vers l'est).

On observe deux (2) survivants semenciers, 10 survivants non semenciers et 204 pins rouges après le feu de 1923, dans la zone D (figure 6.D). Les pins établis après le passage du feu sont encore une fois plus concentrés du côté ouest.

Au site de Grandes-Piles (figures 7 et 7.1), il est possible d'observer les 10 survivants, les 31 pins rouges matures qui sont morts suite au passage du feu et les 88 semis établis après le feu. Les pins qui ont survécu sont situés en bordure de la zone qui a brûlé alors que ceux qui ont péri sont situés en bordure et au milieu de la zone brûlée. Les semis se trouvent en bordure et au centre du site. Dans plusieurs cas, les semis sont situés à quelques mètres des pins morts et dans d'autres cas, ils sont situés près des survivants.



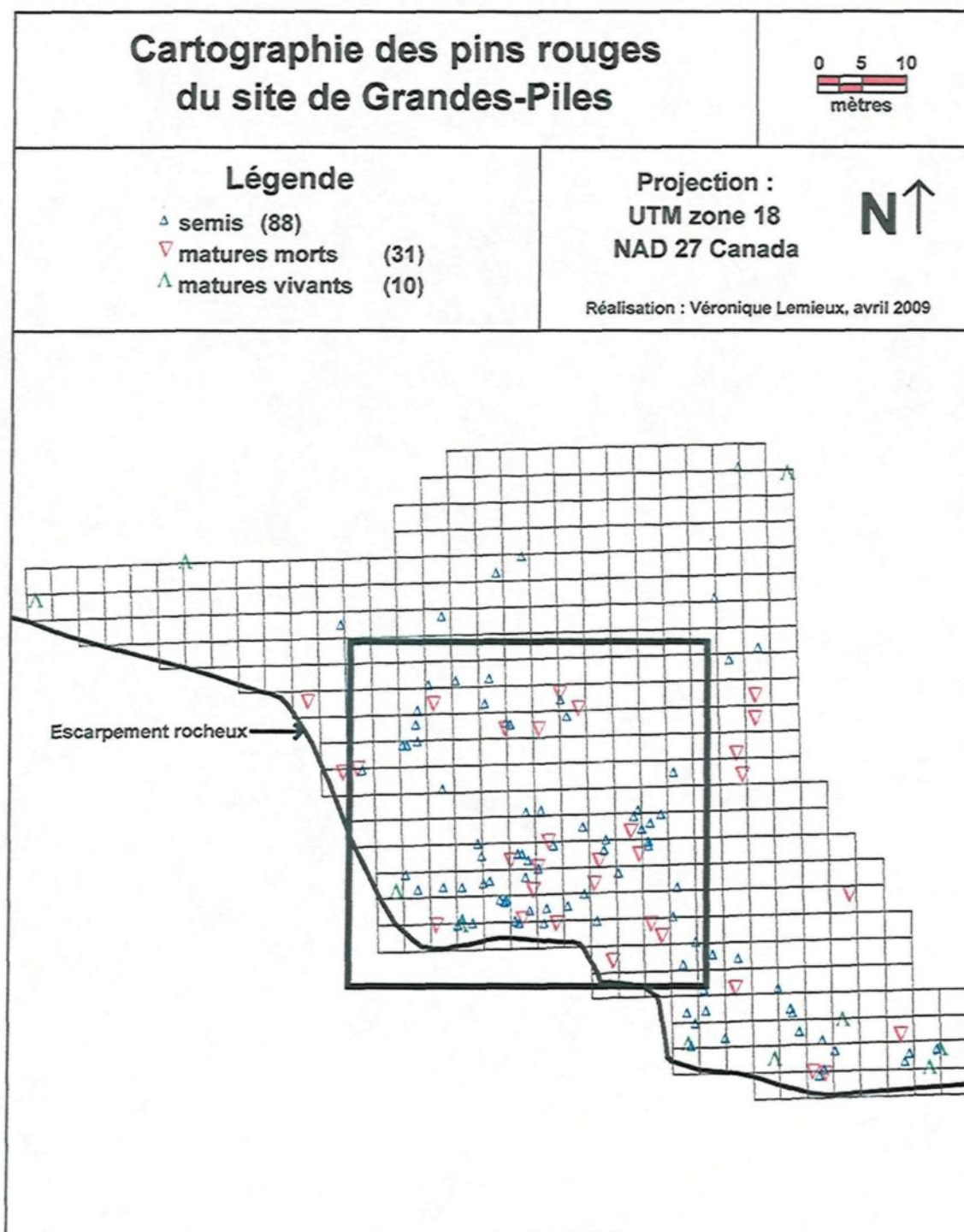


Figure 7. Cartographie des pins rouges du site de Grandes-Piles.

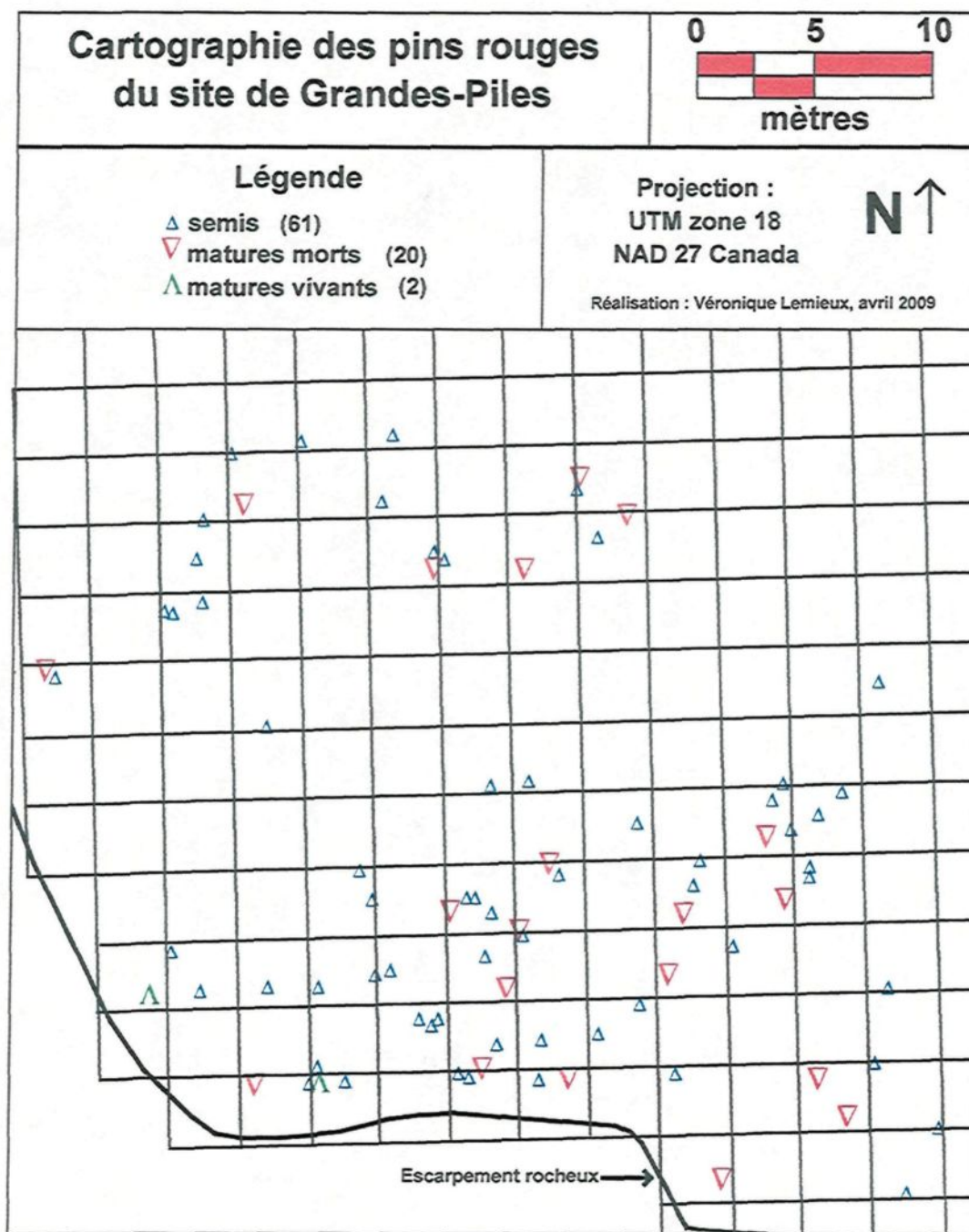


Figure 7.1. Cartographie des pins rouges du site de Grandes-Piles : agrandissement.

La figure 8 présente la distance des semis par rapport au semencier le plus près, au site du lac Wapizagonke. On y observe une augmentation du nombre de semis avec l'augmentation de la distance. Il y a plus de 250 pins rouges qui sont situés à une distance de 40 mètres ou plus d'un semencier.

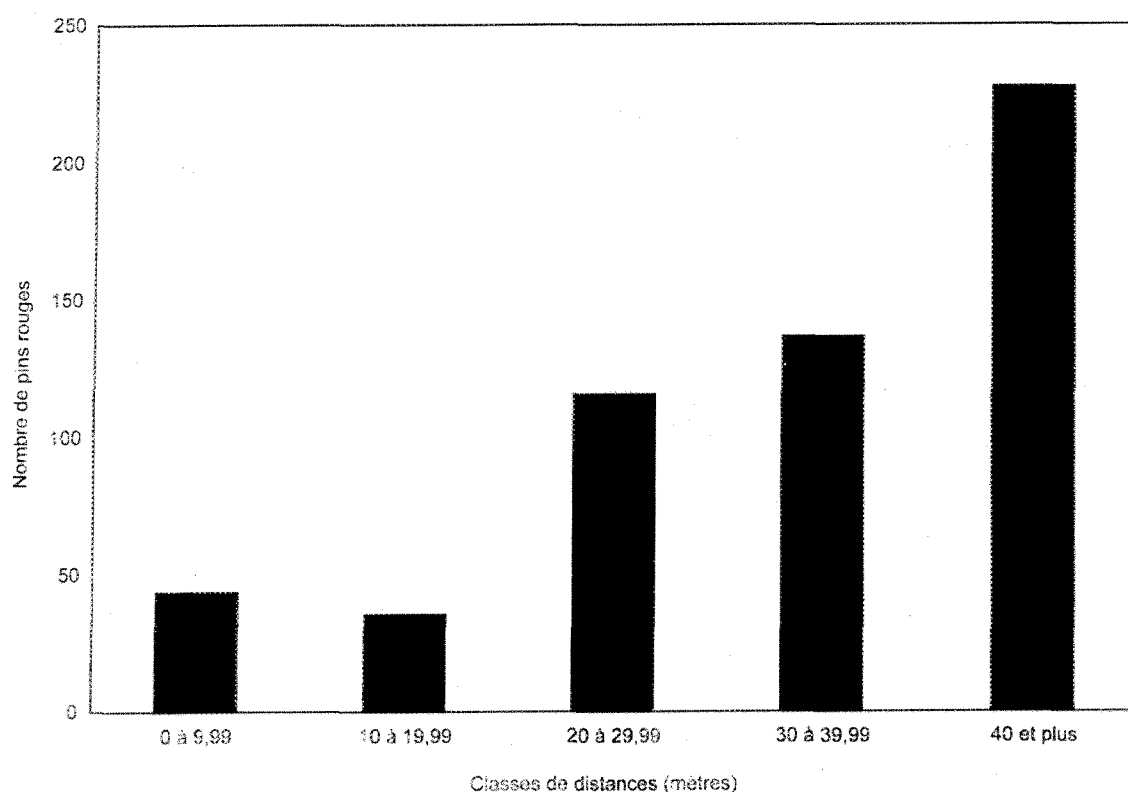


Figure 8. Distribution des semis selon la distance du premier semencier, au site du lac Wapizagonke.

La figure 9 présente la distance des semis par rapport au semencier le plus près, au site de Grandes-Piles. En considérant les morts comme étant des semenciers, on observe une diminution du nombre de semis avec l'augmentation de la distance. Plus de 65 semis sont situés à moins de cinq (5) mètres d'un pin rouge mort. En considérant les survivants comme étant des semenciers, on observe une augmentation, ensuite une diminution, suivie d'une nouvelle augmentation du nombre de semis avec l'augmentation de la distance.

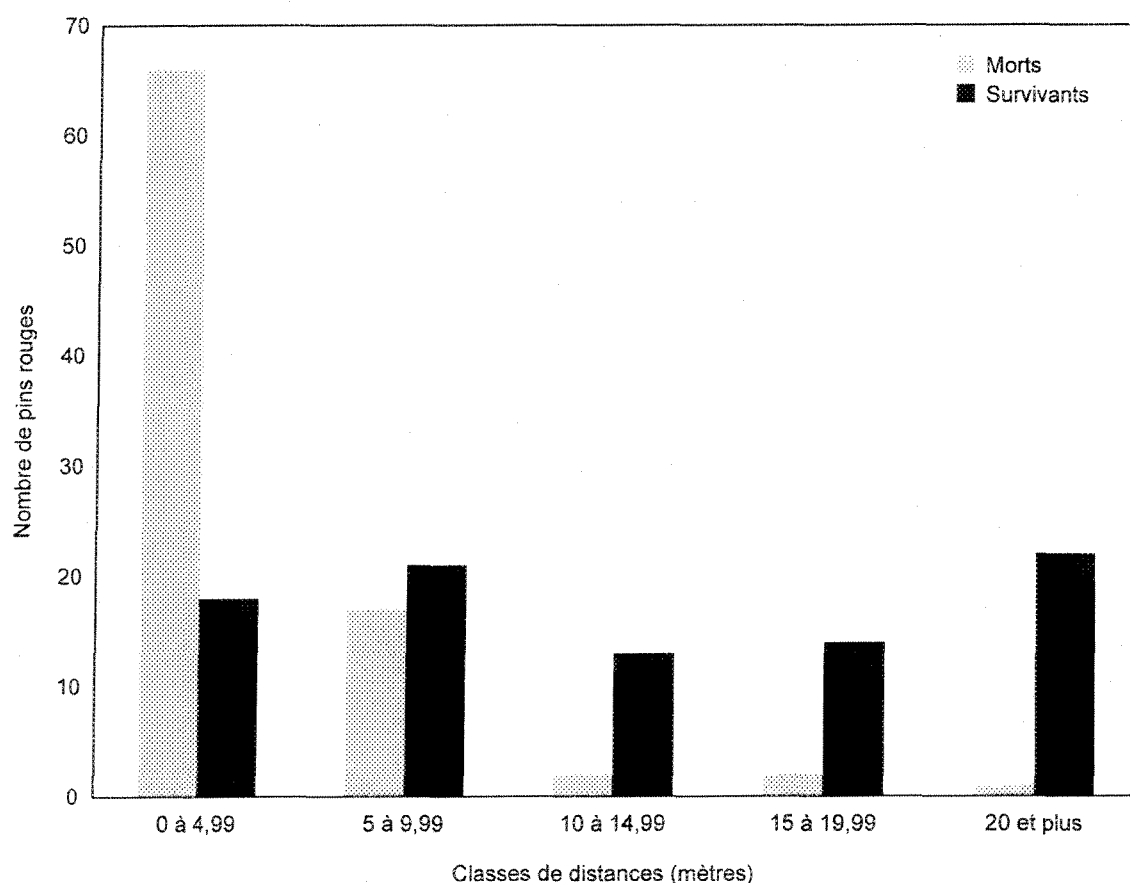


Figure 9. Distribution des semis selon la distance du premier semencier, au site de Grandes-Piles.

### **5.7. Identification des souches et des chicots**

Plusieurs souches ont été retrouvées sur le site du lac Alphonse. Quatre d'entre-elles (les moins décomposées) ont été échantillonnées pour être identifiées. Elles ont toutes été identifiées comme appartenant au genre *Pinus*. L'état des souches n'a pas permis l'identification à l'espèce. Trois d'entre-elles présentaient des traces de charbon de bois.

Lors de l'échantillonnage du site du lac Alphonse, du charbon de bois a été retrouvé dans le sol. Trois échantillons de charbon ont été récoltés afin d'être identifiés. Un des échantillons a révélé la présence de conifères alors que les deux autres ont révélé la présence de pins.

Une identification anatomique a été réalisée sur 32 des chicots présents sur le site du lac Kénogami afin de connaître les espèces qui étaient présentes avant le passage du feu (tableau 6). Parmi ces 32 échantillons, cinq (5) pins rouges et 27 pins blancs ont été identifiés. Aucune autre espèce n'a été identifiée à partir de ces échantillons.

Tableau 6. Identification anatomique des chicots présents sur le site du lac Kénogami.

| <b>Espèce</b>              | <b>Nombre</b> |
|----------------------------|---------------|
| <i>Pinus Strobus</i> L.    | 27            |
| <i>Pinus resinosa</i> Ait. | 5             |
| Autres                     | 0             |

**CHAPITRE VI**

**DISCUSSION**

### **6.1. Structure d'âge et survivants**

Les structures d'âge obtenues pour les différents sites indiquent que le pin rouge commence à se réinstaller dès les premières années suivant le feu (figure 2). Ces résultats confirment que le pin rouge est bien adapté à se régénérer rapidement suite à un feu de forêt (Van Wagner 1970; Bergeron & Brisson 1990; Engstrom & Mann 1991; Flannigan 1993).

Plus le feu est récent, plus la période d'ensemencement semble courte. Cela signifie peut-être que plus une population de pin rouge est échantillonnée tôt après un feu, moins il manque de cernes dans les échantillons. En effet, la technique d'échantillonnage à la sonde de Pressler a pour effet de sous-estimer l'âge des arbres car ils ont été échantillonnés à 30 cm du sol (pour la plupart) et non au collet de l'arbre. En effet, Takaoka (1993) a constaté qu'en prélevant les échantillons à 20 cm du sol, plusieurs cernes sont manquants. Peut-être que comme chez l'épinette noire, l'âge obtenu n'est pas l'âge véritable. Effectivement, DesRochers et Gagnon (1997) ont observé que l'âge des épinettes noires, obtenu en échantillonnant à la base de l'arbre, ne correspondait pas à l'âge réel de l'arbre. Ainsi, les pins rouges se seraient installés plus rapidement que le graphique (figure 2) ne le montre. L'âge obtenu à l'aide de cette technique est donc un âge minimum. La période d'installation des pins rouges serait surestimée à cause de cette technique.



La technique utilisée pour déterminer l'âge des semis de pin rouge au site de Grandes-Piles s'est avérée très efficace. L'âge de chaque semis a ainsi pu être établi avec précision. Selon les données obtenues, tous les semis se sont installés en 1996, soit l'année suivant le feu. Ce résultat semble indiquer une très courte période d'ensemencement après feu chez le pin rouge. Toutefois, si une étude était menée sur la période d'ensemencement du pin rouge après feu, il faudrait réétudier le site de Grandes-Piles (qui a été étudié en 1998) pour vérifier s'il y a eu ou s'il y aura d'autres années propices à l'installation des semis de pin rouge. Il serait également pertinent d'étudier d'autres sites où un feu a eu lieu récemment afin d'obtenir des données supplémentaires sur la période et les conditions d'installation du pin rouge.

Étant donné que la période d'installation est probablement plus courte que ne le montre les résultats (obtenus à la sonde de Pressler), en ne tenant compte que des pins rouges qui se sont établis après les feux de 1923, 1971 et 1995, on obtient des structures d'âge équiennes semblables à celle d'une espèce pionnière telle que le pin gris. Le pin rouge est aussi reconnu comme une espèce pionnière selon Brown (1992).

Des survivants des feux ont été trouvés sur le site du lac Wapizagonke (19) et sur le site de Grandes-Piles (10), ce qui est en accord avec la littérature (Flannigan 1993 ; Heinselman 1978 ; Burns & Honkala 1990).

Au site du lac Wapizagonke, 19 pins rouges étaient présents avant le feu de 1923. Il s'agit donc des survivants qui, selon la littérature, sont nécessaires pour réensemencer un site après le passage d'un feu (Rouse 1988; Flannigan 1993). À première vue, il semble y avoir eu plusieurs périodes d'ensemencement des survivants (figure 3). Cependant, plusieurs survivants (4) ont le cœur pourri. Il ne faut donc pas tenir compte de ceux-ci car leur âge peut être très sous-estimé. Le petit nombre de survivants n'aide pas non plus à déterminer les périodes d'installation. Il est cependant probable qu'il y ait eu un feu vers 1824 puisque plusieurs pins rouges se sont installés au cours des années subséquentes.

À Grandes-Piles, les pins rouges (matures) se sont installés entre 1938 et 1964. Ceux qui se sont établis entre 1938 et 1952 se seraient implantés suite à un feu puisque, selon Roberts & Mallik (1994), la régénération du pin rouge sans l'occurrence du feu est lente ou inexistante. Quant à ceux qui se sont établis entre 1958 et 1964, moins nombreux, ils se sont peut-être installés suite à une perturbation du sol (Kershaw 1993).

À Grandes-Piles, aucun survivant du feu qui serait survenu avant 1938 n'a été retrouvé, car aucun pin rouge présent sur ce site ne s'est installé avant 1938. Également, bien que tous les pins rouges aient été échantillonnés, aucun survivant n'a été retrouvé sur le site du lac Alphonse, ni sur le site du lac Kénogami. Les

survivants ayant donné naissance aux populations actuellement présentes sur ces sites n'ont pas été retrouvés au moment de l'échantillonnage.

Les résultats présentés aux figures 2 et 3 ne confirment donc que partiellement l'hypothèse que les survivants sont nécessaires pour assurer la régénération des pins rouges après feu (Flannigan 1993 ; Heinselman 1978 ; Burns & Honkala 1990). Étant donné la difficulté non prévue à localiser les semenciers, la méthodologie utilisée n'était pas parfaitement adéquate pour vérifier hors de tout doute l'hypothèse de départ. Comment y a-t-il pu y avoir régénération et qu'aucun survivant n'ait été retrouvé au moment de l'échantillonnage ? Plusieurs hypothèses peuvent être posées pour répondre à cette question. Premièrement, il est possible qu'il y ait eu des survivants, qu'ils aient ensemencé les sites, et qu'ils soient morts quelques années après le feu. Deuxièmement, peut-être que le feu a tué tous les pins rouges sans brûler entièrement les cônes. Ainsi, ceux-ci ont pu ouvrir à l'automne et disséminer leurs graines. Troisièmement, peut-être que les cônes de pin rouge ont une protection contre le feu. D'autres études pourraient être menées afin de vérifier ces hypothèses.

## ***6.2. Le diamètre et l'âge des pins rouges***

Pour certaines espèces, on peut utiliser le diamètre d'un arbre comme critère de référence pour estimer son âge. De cette manière, on peut repérer les

arbres qui sont plus âgés que les autres. On peut donc identifier les survivants de la génération précédente. Afin de vérifier s'il est possible de se fier à ce paramètre pour le pin rouge, le diamètre à hauteur de poitrine et l'âge de chacun des pins rouges ont été mis en relation, pour chacun des quatre sites (figure 4). Le diamètre à hauteur de poitrine des pins rouges des différents sites varie beaucoup d'un individu à l'autre. Cette grande variété de grosseurs démontre qu'il n'est pas possible d'estimer l'âge des pins rouges en se basant sur leur diamètre. Il n'est également pas possible de se fier à la dimension des pins rouges pour repérer les survivants d'un ancien feu. En effet, certains pins rouges, de part leur grand diamètre, semblaient être des survivants mais n'en étaient pas. D'autres avaient un diamètre semblable à la moyenne et le décompte subséquent des cernes de croissances a démontré qu'il s'agissait de survivants. Contrairement aux recherches de Newnham (1993), il n'est pas possible d'observer un lien direct entre le diamètre d'un pin rouge et son âge. Il s'avère donc absolument nécessaire de recourir à des méthodes plus précises comme une sonde de Pressler pour déterminer l'âge des pins rouges de même que pour localiser des survivants.

### **6.3. Maturité des pins rouges**

#### **6.3.1. Diamètre à hauteur de poitrine et présence de cônes.**

Selon la littérature, les pins rouges commencent leur production de graines vers l'âge de 20 à 25 ans en milieu ouvert et vers l'âge de 50 à 60 ans sous couvert (Woolsey & Chapman 1914 dans Horton & Bedell 1960). Les pins rouges qui croissent en milieu ouvert ont généralement une croissance plus rapide que ceux qui croissent sous couvert. La production de graines aurait donc peut-être aussi un lien avec la croissance des pins rouges. Selon les données récoltées sur le site du lac Kénogami (tableau 3), il semblerait que la production de cônes soit davantage reliée à la taille des pins rouges qu'à leur âge. En effet, les pins rouges qui ont un diamètre à hauteur de poitrine inférieur à 15 cm ne produisent pas de cône alors que les pins rouges de 20 cm et plus de diamètre en produisent. Ces derniers sont âgés de 22 ans en moyenne. Ceux qui ne produisent pas encore de cônes sont âgés, en moyenne, entre 20 et 22 ans. L'âge peut sembler avoir aussi une influence sur la production de cônes. Cependant, si l'âge des pins de 0 à 14,9 cm de diamètre semble augmenter avec la taille, c'est probablement parce que les cernes manquants sont plus nombreux chez les petits pins (voir section 6.4). Ces pins auraient sensiblement tous le même âge. Ainsi, le diamètre serait plus influent que l'âge sur la production des cônes et des graines. Par ailleurs, les analyses de Sutton *et al.* (2002) montrent que l'abondance des cônes par arbre est

significativement et positivement corrélée au diamètre à hauteur de poitrine, ainsi qu'à l'accroissement radial pendant les années précédant la maturation des cônes.

### 6.3.2. Les survivants du site du lac Wapizagonke étaient-ils des semenciers au moment du feu ?

Le fait qu'un arbre survive à un feu ne lui confère pas automatiquement la capacité d'ensemencer. Encore faut-il qu'il soit mature et qu'il porte des cônes contenant des graines viables. Dans la présente étude, on a tenu compte du diamètre des pins, plutôt que de l'âge, pour déterminer quels survivants étaient des semenciers au moment du feu (en 1923), car selon les données recueillies au site du lac Kénogami et les recherches de Sutton *et al.* (2002), le diamètre serait un meilleur indicateur du potentiel de production de cônes que l'âge (tableau 3). Le diamètre des survivants au moment du feu (1923) a donc été calculé afin d'identifier les semenciers potentiels (tableau 4). Seulement quatre (4) survivants sur 19 ont été classés parmi les semenciers. Les 15 autres ont été estimés trop petits pour produire des graines. Comment se fait-il qu'on ait retrouvé seulement quatre (4) survivants semenciers et que 562 pins rouges se soient établis après le feu ? Il manque fort probablement des semenciers. L'hypothèse de départ n'est donc vérifiée qu'en partie. Il est possible que les autres survivants semenciers

soient morts après avoir réensemencé le site et qu'ils se soient ensuite décomposés. Ceci est plausible puisqu'on a pu observer, sur ce site, des monticules ayant la forme de troncs d'arbres couchés au sol, décomposés et recouverts de matière organique. Ceux-ci pourraient correspondre aux semenciers manquants. Par contre, ces débris ligneux n'ont pas été identifiés. D'autres études seraient donc nécessaires afin de vérifier exactement ce qui se passe suite à un feu.

### 6.3.3. Maturité des pins rouges du site de Grandes-Piles

La présence de cônes a été étudiée afin d'estimer le potentiel reproducteur des pins (tableau 2). En sachant quels pins étaient matures (aptés à produire des graines) au moment du feu, on peut plus facilement établir des liens entre les semenciers et les semis. Des cônes ont été aperçus dans 29 des 39 pins (morts ou vivants), qui ont été immédiatement classés comme semenciers. Chez certains pins vivants, aucun cône n'a été noté, mais cela ne signifie pas qu'il n'y en avait pas. La densité des aiguilles ainsi que la hauteur des pins a pu empêcher la détection des cônes. Il est fort probable que des cônes étaient aussi présents dans ces pins. Chez quelques pins morts, aucun cône n'a été aperçu. Il est possible que ces arbres aient été matures, que le feu ait brûlé les cônes et que le temps les ait fait tomber. Il se peut aussi que le feu ait été assez intense pour brûler complètement les cônes de certains pins. D'ailleurs, les cônes retrouvés

dans les pins morts, où le feu a probablement été plus intense, étaient peu nombreux. De plus, des cônes ont été trouvés au pied de deux (2) pins morts. À la lumière de ces observations, il a été considéré que cette population était mature au moment du feu (1995).

#### **6.4. Croissance en hauteur des semis de pin rouge**

Le graphique de la hauteur des semis en fonction de leur âge (figure 5) montre une grande variation de hauteur pour des semis tous âgés de trois ans. Leur hauteur varie entre 3 cm et 26,5 cm. Cette variabilité dans la hauteur démontre qu'il peut manquer plusieurs cernes lorsque les pins rouges sont échantillonnés à la sonde de Pressler, à 30 cm du sol. Le nombre de cernes peut être plus ou moins important d'un pin à l'autre, dépendamment de la croissance juvénile de chacun. Le semis de 3 cm, s'il maintient le même taux annuel de croissance (moyenne de 1 cm par année), devrait atteindre 30 cm après 30 ans, alors que celui qui mesure 26,5 cm (croissance moyenne de 8,8 cm par année) devrait y arriver en 4 ans. Ainsi, dans le futur, si ce semis de 3 cm venait à être échantillonné à la sonde de Pressler (à 30 cm du sol), il manquerait probablement une trentaine de cernes de croissance. Certains échantillons de pin rouge peuvent donc avoir de plus nombreux cernes manquants. De plus, comme chez le pin gris, en échantillonnant le pin rouge à la base, on n'obtient pas l'âge réel de l'arbre. En effet, selon Fortin (2004), l'âge obtenu au niveau du sol chez le pin gris peut être



légèrement inférieur à l'âge réel de l'arbre, dû au développement excentrique des racines latérales. Ces pins rouges seraient ainsi plus âgés que le montrent les échantillons. Ils pourraient donc être décalés de plusieurs classes dans les structures d'âges. Ainsi, il serait encore plus facile de démontrer que les peuplements de pins rouges sont équiennes.

#### **6.5. Distribution spatiale des survivants et de la régénération**

Les inventaires de la régénération du site du lac Alphonse et du site du lac Kénogami n'ont révélé la présence d'aucun semis de pin rouge. Cela va dans le même sens que les recherches d'Engstrom & Mann (1991) qui ont observé que même si le pin rouge domine le couvert forestier, il ne domine pas le sous-couvert dans aucun des peuplements étudiés. L'absence de semis serait due au fait que le pin rouge est une espèce dépendante du feu (Van Wagner 1970; Day & Woods 1977 ; Heinselman 1978 ; Bergeron & Brisson 1990; Day & Carter, 1990 ; Engstrom & Mann 1991; Flannigan 1993 ; Herr & Duchesne 1996). Étant donné qu'une seule génération de pins rouges vivants se trouvait sur ces deux sites, il s'est avéré inutile d'y réaliser une cartographie.

La majorité des souches présentes sur le site du lac Wapizagonke sont des pins (tableau 5). Parmi ces pins, 18 pins rouges et 26 pins blancs ont été identifiés. Les 24 autres souches de pins n'ont pas été identifiées à l'espèce, soit

à cause de leur état de décomposition, soit parce qu'elles ont été identifiées directement sur le terrain à partir de l'écorce et que cette identification a pu être erronée. En effet, au site du lac Kénogami, les chicots qui portaient encore de l'écorce ont aussi été identifiés sur le terrain, en plus du prélèvement pour l'identification anatomique. Or, la méthode d'identification visuelle, à partir de l'écorce, ne s'est pas avérée assez précise pour une identification à l'espèce puisque les résultats étaient parfois en contradiction avec les résultats obtenus avec la méthode anatomique. Au site du lac Wapizagonke, la majorité des souches de pin rouge ainsi que la moitié des souches de pin sp. portaient des traces de feu. Ces pins auraient donc été coupés avant le passage du feu de 1923, puisque du bois humide ne peut pas brûler et porter de telles traces de feu. Ces 31 souches ne peuvent donc pas avoir influé sur la régénération établie suite au feu de 1923. Les trois souches de pin rouge et les huit souches de pin sp., sur lesquelles aucune trace de feu n'a été observée, ont possiblement été coupées après l'incendie de 1923 et ont peut-être joué un rôle dans la régénération. Ces souches ont donc été ajoutées à la cartographie des pins rouges du site du lac Wapizagonke.

Sur la figure 6, on peut voir que les souches et les survivants sont plus nombreux sur la pointe de terre, près du lac (parties C et D) que dans les autres parties du site. Cette partie du site est presque à moitié entourée d'eau, il est possible que l'humidité du sol ait joué un rôle dans la protection de ces pins lors du passage du feu.

Dans la zone A (figure 6.A), on observe que le survivant semencier est entouré de plusieurs pins rouges. Cependant, ces pins ne sont pas distribués de façon contagieuse par rapport à ce semencier (Filion & Morin 1996). Quatre (4) pins sont à moins de cinq (5) mètres du semencier alors que d'autres, en concentration toute aussi importante, sont à plus de 30 mètres. Tous ces pins n'ont probablement pas été engendrés par le survivant semencier car selon Zehngraff (1945), l'efficacité des semenciers de pin rouge décroît rapidement au-delà de 12 mètres. Il manquerait donc des semenciers survivants dans la zone A.

Dans la zone B (figure 6.B), la distribution contagieuse typique (Filion & Morin 1996) est bien représentée. Il est étonnant de remarquer la proximité de la régénération par rapport au semencier. Les pins sont presque tous situés dans un rayon de huit (8) mètres autour du semencier. Au-delà de cette zone, ils sont beaucoup moins nombreux. La régénération provenant de ce semencier ne semble pas être distribuée à plus d'une vingtaine de mètres. Ce qui est semblable à la littérature (Zehngraff 1945).

Dans la zone C (figure 6.C), s'il s'agit bien de trois (3) souches de pin rouge et si elles ont bel et bien été coupées après 1923, elles ont possiblement eu une influence sur la régénération. Ce qui expliquerait la présence de pins autour de ces souches. Par contre, on retrouve de nombreux pins rouges établis après le passage du feu de 1923, près desquels il n'y a ni souche, ni semencier. Tout

comme dans la zone A, il manquerait des semenciers dans la zone C. Avec le temps, peut-être que les pins qui ont réensemencé ce site sont morts et se sont décomposés. C'est ce qui expliquerait ces agglomérations de pins rouges sans semencier. Toutefois, la distribution de ces pins semble avoir un lien avec la présence du lac. En effet, les pins sont très nombreux en bordure du lac et de moins en moins nombreux lorsque l'on s'éloigne du rivage. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que le pin rouge est intolérant à l'ombre (Flannigan 1993). Un plus grand nombre de pins auraient ainsi pu survivre en bordure du lac puisque la lumière y est normalement plus disponible. Les études d'Horton & Bedell (1960) qui ont démontré que l'abondance des semis augmente avec l'intensité lumineuse, jusqu'à 100% de la lumière solaire, expliquent aussi le phénomène observé.

Dans la zone D (figure 6.D), très peu de pins se sont installés à proximité des deux (2) survivants semenciers. Le feu n'a peut-être pas été assez intense dans ce secteur pour éliminer la couche organique et exposer le sol minéral, nécessaire pour la régénération du pin rouge (Flannigan 1993; Douglas *et al.* 1994). Les autres conditions nécessaires à l'établissement des pins rouges, telles que l'élimination du couvert végétal et la réduction des espèces compétitrices (Flannigan 1993; Douglas *et al.* 1994), n'ont probablement pas été engendrées par le feu dans ce secteur. En ce qui concerne les souches de pin rouge, elles sont probablement liées à la régénération qui les entoure. Quant aux souches de pin sp., il est aussi possible, s'il s'agit de souches de pin rouge, qu'elles aient eu une influence sur la régénération de ce site.

Dans l'ensemble, au site du lac Wapizagonke, il n'est pas possible de prédire la présence de la régénération selon l'emplacement des semenciers, ni l'inverse. Plusieurs semenciers potentiels sont très peu entourés de régénération et de nombreux pins établis après feu (1923) ne sont pas situés à proximité d'un semencier. Ceci laisse croire que des semenciers auraient disparu puisque de nombreux pins sont situés loin des semenciers. La distance, qui peut aller jusqu'à plus de 60 mètres, est beaucoup trop grande selon les recherches de Zehngraff (1945). De nombreux semenciers sont introuvables. Encore une fois, on peut dire que l'hypothèse de départ n'est qu'en partie vérifiée.

En analysant quantitativement la cartographie du site du lac Wapizagonke (figure 8), on observe que plus on s'éloigne des semenciers, plus on rencontre de régénération. Ceci vient à l'encontre de l'étude réalisée par Mallik & Roberts (1994) qui ont observé un nombre décroissant de semis de la zone de un (1) à trois (3) mètres à la zone de plus de trois (3) mètres des semenciers. Ces résultats, contraires à la littérature, viennent appuyer l'hypothèse stipulant que des semenciers auraient disparu entre la date du feu et la date de l'échantillonnage

Au site de Grandes-Piles (figure 9), quand les survivants sont considérés comme étant des semenciers, on n'observe pas un nombre décroissant de semis en s'éloignant d'un semencier. Lorsque les pins morts sont considérés comme étant des semenciers, le nombre de semis de pins rouges diminue avec

l'augmentation de la distance. Cela correspond à la théorie qui dit que les semis sont plus nombreux près des semenciers et de moins en moins nombreux en s'éloignant (Mallik & Roberts 1994). On peut observer sur ce graphique que les semis se font plus rares au-delà de 10 mètres d'un pin rouge mort. Ce qui correspond à la littérature. Ainsi, puisque le graphique correspond à la théorie, on peut considérer que les pins rouges morts ont eu un rôle à jouer dans la régénération des pins rouges au site de Grandes-Piles. Comment cela a-t-il pu se produire ? Étant donné que le feu a eu lieu au mois de septembre, il est permis de penser que les pins rouges morts portaient des cônes mûrs au moment du feu. Il est probable que les graines n'aient pas toutes été brûlées et qu'elles aient été disséminées après le passage du feu. Ainsi, sur ce site, les résultats indiquent que même sans la présence des 10 survivants, le pin rouge aurait pu se régénérer.

Après avoir déterminé que la population de pins rouges (excepté les semis) de Grandes-Piles est mature, tous les pins ont été cartographiés (figures 7 et 7.1). Cette carte montre que plusieurs pins ont survécu en bordure de la zone brûlée. Le feu y a probablement été moins intense. Ce qui ne serait pas le cas au centre du brûlis puisque aucun pin n'y a survécu. Plusieurs semis sont situés à proximité des survivants alors que de nombreux autres sont situés très près des pins morts. L'analyse visuelle de cette cartographie donne l'impression que les semis pourraient provenir des pins morts. En effet, de nombreux semis sont situés à moins de 12 mètres d'un pin mort alors qu'ils sont beaucoup plus loin d'un survivant. Le feu s'étant produit au mois de septembre, les cônes étaient

probablement mûrs au moment du feu et il est possible que les graines n'aient pas toutes été brûlées. La présence de graines viables jumelée à la présence de lits de germination adéquats (sol minéral exposé) expliqueraient la présence de semis aux pieds des pins rouges morts. La moins grande quantité de semis à proximité des survivants peut être attribuée au fait que ces survivants sont situés en bordure de la zone brûlée. Le feu a probablement été moins intense dans sa périphérie et a donc créé des lits de germination moins bons qu'au centre du brûlis.

#### ***6.6. Identification des chicots du site du lac Kénogami***

Parmi les 32 échantillons de bois prélevés sur les chicots, cinq (5) pins rouges et 27 pins blancs ont été identifiés (tableau 6). Aucune autre espèce n'a été identifiée. L'identification des pins rouges et des pins blancs confirme leur présence avant le passage du feu de 1971. Selon ces résultats, les pins blancs étaient cinq (5) fois plus nombreux que les pins rouges, avant le passage du feu. Lors de l'étude de ce site, aucun survivant de pin blanc ni de pin rouge n'a été retrouvé. Le pin blanc ne s'est pas régénéré alors que le pin rouge, moins présent avant le feu, s'est reproduit.

## CONCLUSION



Les résultats de cette étude démontrent que le pin rouge est apte à se régénérer suite au passage d'un feu. Le pin rouge commence à se réinstaller dès l'année suivant le feu. Plus le feu est récent, plus la période d'ensemencement observée est courte. Cela indiquerait que plus la population est jeune, plus il est facile d'obtenir un âge précis des pins rouges. Il y aurait donc moins de cernes manquants lorsque l'on échantillonne des populations plus jeunes. De plus, la taille des semis du site de Grandes-Piles démontre qu'il peut manquer un plus ou moins grand nombre de cernes lorsque l'on échantillonne les pins rouges à 30 cm du sol. Ainsi, plus une population est âgée plus il est difficile d'obtenir l'âge réel des arbres. Ce phénomène a aussi été observé chez les populations d'épinettes noires (DesRochers & Gagnon 1997) et de pins gris installés après feu (Fortin 2004).

Les cartes de distribution des pins rouges ainsi que l'étude de la distance entre les semis et les semenciers ont montré que la distance de dissémination des graines de pin rouge est probablement très courte. En effet, sur le site de Grandes-Piles, la majorité des semis se sont installés à moins de six (6) mètres d'un semencier. Ainsi, la distribution observée a l'apparence visuelle d'une distribution contagieuse. La distribution des semis selon la distance du premier semencier a aussi démontré que, sur le site de Gandes-Piles, les pins rouges morts ont joué un rôle dans le réensemencement du site. Ainsi, il est possible que les pins rouges aient la possibilité de disséminer des graines après leur mort, tel

qu'il a déjà été observé chez le pin blanc (McRae 1998). C'est ce qui pourrait expliquer que certains sites ne présentent pas de survivants.

L'étude de la distribution des semis selon la distance du premier semencier a également montré que, sur le site du lac Wapizagonke, plusieurs des semenciers qui auraient ensemencé le site suite au feu de 1923 sont actuellement introuvables. Sur les sites du lac Alphonse et du lac Kénogami, des semenciers sont aussi introuvables car aucun survivant n'a été identifié.

Pourquoi manque-t-il autant de survivants sur les quatre (4) sites étudiés ? Outre la possibilité que les pins rouges puissent contribuer à la régénération même s'ils sont morts, peut-être qu'ils ont survécu et qu'ils sont morts quelques années après le feu. Cette explication est plausible mais ne peut pas expliquer en totalité les 31 pins rouges morts au site de Grandes-Piles, à peine trois (3) ans après le feu. On pourrait aussi penser que les pins rouges sont morts et que des graines ont pu être transportées par des animaux. Cela est plausible mais cette méthode de dispersion ne pourrait pas expliquer à elle-seule la présence d'un aussi grand nombre de pins rouges, entre autres, sur le site du lac Wapizagonke.

À la lumière de l'analyse des résultats obtenus, on peut dire que l'hypothèse de départ, qui stipule que le pin rouge se régénère après feu à partir de survivants, n'est vérifiée qu'en partie mais que la méthodologie employée n'était pas adéquate pour la vérifier hors de tout doute. Cette hypothèse devrait faire l'objet d'autres

études afin de vérifier la possibilité de régénération des pins rouges après feu sans survivant.

Ainsi, il serait très pertinent d'étudier des populations de pin rouge ayant brûlées et ne présentant aucun survivant. Une étude pourrait débuter l'année du feu et des suivis pourraient être effectués après un an, deux ans, trois ans, quatre ans, cinq ans, 10 ans et 15 ans. Il serait aussi intéressant d'investiguer au niveau de la sérotinité des cônes de pin rouge. L'éventuelle découverte d'un certain niveau de sérotinité pourrait expliquer la régénération du pin rouge en l'absence de survivant après feu, comme chez le pin gris et l'épinette noire. Également, il serait utile de faire une étude dendrochronologique des souches de pin rouge pour avoir l'âge exact des spécimens. Les structures d'âge seraient ainsi beaucoup plus précises, donc près de la réalité.

## RÉFÉRENCES

Ahlgren, C.E. & Ahlgren, I.F. 1981. Some effects of different forest litters on seed germination and growth. *Canadian Journal of Forest Research* **11**: 710-714.

Ahlgren, C.E. 1976. Regeneration of red pine and white pine following wildfire and logging in northeastern Minnesota. *Journal of Forestry* **74**(5): 135-140.

Alemdag, I.S. & Honer, T.G. 1977. Metric relationships between breast-height and stump diameters for eleven tree species from Eastern and Central Canada. Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Information Report FMR-X-49M. 62 p.

Anonymous. 1948. Form-class volume tables. Canadian Department of Mines and Resources, Dominion Forest Service Ottawa, Ontario, 2<sup>nd</sup> edition. 261 p.

Barras, S.J. & Norris, D.M., JR. 1964. Effect of a late may freeze on red pine ovulate cone development. *Forestry Research Notes*, University of Wisconsin, College of Agriculture, No. 115. 3 p.

Bergeron, Y. & Brisson, J. 1990. Fire regime in red pine stands at the northern limit of the species' range. *Ecology* **71**(4): 1352-1364.

Brown, J.-L. 1992. Principes et normes d'aménagement des peuplements naturels de pin blanc et de pin rouge proposés pour le Québec. Direction de la recherche, Québec. Note de recherche forestière No. 46. 10 p.

Burgess, D.M. & Methven, I.R. 1977. The historical interaction of fire, logging and pine: a case study at Chalk River, Ontario. Petawawa Forest Experiment Station, Information Report PS-X-66. 18 p.

Burns, R.M. & Honkala B.H. 1990. Silvics of North America trees. 1. Conifers. Agriculture Handbook. USDA Forest Service, Washington, D.C. 654 p.

Carleton, T.J., Maycock, P.F., Arnup, R. & Gordon, A.M. 1996. *In situ* regeneration of *Pinus strobus* and *P. resinosa* in the Great Lakes forest communities of Canada. *Journal of Vegetation Science* 7: 431-444.

Cayford, J.H. 1964. Red pine seedfall in southeastern Manitoba. *The Forestry Chronicle* 40(1): 78-85.

Chandler, G., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. & Williams D. 1983. Fire in forestry, volume 1. Forest fire behavior and effects. Wiley-Interscience, John Wiley & sons, New York. 450 p.

Chapeskie, D.J., Galley, D.F., Mihell, J.R., Quinn, N.W. & Struik, H.H. 1989. A silvicultural guide for the white pine and red pine working groups in Ontario. Ministry of Natural Resources, Ontario. 102 p.

Chrosciewicz, Z. 1976. Burning of black spruce regeneration on a lowland cutover site in southeastern Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research* **6**: 179-186  
dans Thomas, P.A., & Wein, R.W. 1985. The influence of shelter and the hypothetical effect of fire severity on the postfire establishment of conifers from seed. *Canadian Journal of Forest Research* **15**: 148-155.

Day, R.J. & Carter J.V. 1990. Stand structure and successional development of the white and red pine communities in the Temagami forest. Ministry of Natural Resources, Ontario. 203 p.

Day, R.J. & Woods, G.T. 1977. The role of wildfire in the ecology of jack and red pine forest in Quetico Provincial Park. Ontario Ministry of Natural Resources, Fire Ecology Study Report No 5. 79 p.

DesRochers, A. & Gagnon, R. 1997. Is ring count at ground level a good estimation of black spruce age? *Canadian Journal of Forest Research* **27**: 1263–1267.

Duff, G.H. 1949. Red pine seed production. University of Toronto. 10 p.

Engstrom, F.B. & Mann, D.H. 1991. Fire ecology of red pine (*Pinus resinosa*) in northern Vermont, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research* **21**: 882-889.

Environnement Canada. 1992. Sommaire météorologique mensuel, janvier-décembre 1992. Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Ottawa, Ontario.

Filion, J. & Morin, H. 1996. Distribution spatiale de la régénération de l'épinette noire 8 ans après un feu en forêt boréale (Québec). *Canadian Journal of Forest Research* **26**: 601-610.

Filion, J. 1994. Distribution spatiale de la régénération d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) 8 ans après un feu de forêt. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 72 p.

Flannigan, M.D & Woodward, F.I. 1993. A laboratory study of the effect of temperature on red pine seed germination. *Forest Ecology and Management* **62**: 145-156.

Flannigan, M.D & Woodward, F.I. 1994. Red pine abundance: current climatic control and responses to future warming. *Canadian Journal of Forest Research* **24**: 1166-1175.



Flannigan, M.D. & Bergeron, Y. 1998. Possible role of disturbance in shaping the northern distribution of *Pinus resinosa*. *Journal of Vegetation Science* **9**: 477-482.

Flannigan, M.D. 1993. Fire regime and the abundance of red pine. *International Journal of Wildland Fire* **3**(4): 241-247.

Fortin, J. 1998. Communication personnelle. Direction de la conservation des forêts, ministère des Ressources naturelles du Québec.

Fortin, M.-N. 2004. Étude descriptive des relations de croissance entre la tige, la racine pivotante et les racines horizontales chez le pin gris (*Pinus banksiana*) dans la région du Lac Saint-Jean, Québec. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 78 p.

Fowells, H.A. 1965. Silvics of forest trees of the United States. Agriculture Handbook. Washington, DC : U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 762 p. dans Rouse, C. 1988. Fire effects in northeastern forests: red pine. North Central Forest Experiment Station, Minnesota, USA. 10 p.

Fowler, D.P. 1965. Effects of inbreeding in red pine, *Pinus resinosa* Ait. IV. Comparison with other northeastern pinus species. *Silvae Genetica* **14**(3): 76-81.

Fraser, J.W. 1959. The effect of sunlight on the germination and early growth of jack pine and red pine. Department of Northern Affairs and National Resources, Canada, Technical Note No. 71. 7 p.

Godbout, G. 1967. Étude pédologique des comtés de Champlain et de Lavolette. Ministère de l'agriculture et de la colonisation du Québec, division des sols, service de la recherche. 72 p.

Gouvernement du Québec. 1976. Carte de dépôts de surface, document de travail. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec.

Grosser, D. 1977. Die Hölzer Mitteleuropas. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New-York. 208 p.

Guay, R., Gagnon, R., and Morin, H. 1992. A new automatic and interactive tree ring measurement system based on a line scan camera. The Forestry Chronicle 68: 138-141.

Heinselman, M.L. 1973. Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. Journal of Quaternary Research 3(3): 329-382.

Heinselman M. L. 1978. Fire intensity and frequency as factors in the distribution and structure of northern ecosystems. Proceedings of the conference Fire regimes and ecosystem properties. 57 p.

Heinselman M. L. 1981. Fire and succession in the conifer forests of northern North America. dans Forest succession: concepts and application. Edited by D.C. West, H.H. Shugart, and D. Botkin. Springer-Verlag, New York. P. 374-405.

Herr, D.G., & Duchesne, L.C. 1996. Effects of organic horizon removal, ash, watering regime, and shading on red pine seedling emergence. Canadian Journal of Forest Research **26**: 422-427.

Horton, K.W. & Bedell, G.H.D. 1960. White and red pine. Ecology, silviculture and management. Department of Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch, Ottawa. Bulletin 124. 173 p.

Horton, K.W. & Brown W.G.E. 1960. Écologie du pin blanc et du pin rouge dans la région forestière des Grands lacs et du Saint-Laurent. Division des recherches sylvicoles, Canada. Mémoire technique No. 88. 27 p.

Hosie, R.C. 1969. Native trees of Canada. Department of Fisheries and Forests, Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario. 293 p.

Kershaw, H.M. 1993. Early successional processes of eastern white pine and red pine in the Great Lakes-St. Lawrence forest. Report/Forest fragmentation and biodiversity project, no 8, Ontario Ministry of Natural Resources, Canada. 50 p.

Lalumière, R. & Thibault M. 1988. Les forêts du parc national de la Mauricie, au Québec. Les presses de l'Université Laval, Québec. 495 p.

Lalumière, R. 1979. Les forêts du parc national de la Mauricie, carte de la végétation actuelle.

Lester, D.T. 1967. Variation in cone production of Red Pine in relation to weather. Canadian Journal of Botany **45**(9): 1683-1691.

Logan, K.T. 1966. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. II. Red pine, white pine, jack pine and eastern larch. Ottawa, Ontario. Canada Department of Forestry. Publication No. 1160.

Lyons, L.A. 1956. The seed production capacity and efficiency of red pine cones (*Pinus resinosa* Ait.). Canadian Journal of Botany **34**(1): 27-36.

Mallik, A.U. & Roberts, B.A. 1994. Natural regeneration of *Pinus resinosa* on burned and unburned sites in Newfoundland. Journal of Vegetation Science **5**: 179-186.

Mattson, W.J., JR. 1979. Red pine cone: distribution within trees and methods for sampling. *Canadian Journal of Forest Research* **9**: 257-262.

McRae, D.J., Lynham, T.J. & Frech, R.J. 1994. Understory prescribed burning in red pine and white pine. *The Forestry Chronicle* **70**(4): 395-401.

McRae, D.J. 1998. Communication personnelle. Chercheur, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Ontario, Canada.

Mutch, R.W. 1970. Wildland fires and ecosystems – A hypothesis. *Ecology* **51**: 1046-1051.

Newnham, R.M. 1993. Twenty-five years' growth in a young red pine stand. *The Forestry Chronicle* **69**(1): 57-63.

Patrimoine canadien. 1997. Les types écologiques, parc national de la Mauricie. Parcs Canada, service de la conservation des ressources naturelles, région de Québec.

Pelletier, H. 1998. Plan de conservation des écosystèmes terrestres, parc national de la Mauricie. Parcs Canada, Québec. 320 p.

Roberts, B.A. & Mallik, A.U. 1994. Responses of *Pinus resinosa* in Newfoundland to wildfire. *Journal of Vegetation Science* **5**: 187-196.

Roberts, B.A. 1985. Distribution and extent of *Pinus resinosa* Ait. in Newfoundland. *Rhodora* **87**(851): 341-356.

Roberts, B.A. 1989. Natural reproduction of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) in Newfoundland. Forestry Canada, information report N-X-273. 36 p.

Roe, E.I. 1964. Heavy crop of Red Pine cones yields many thousands of good seeds. Research Note, Lake State Forest Experiment Station LS-36. 4 p.

Rouse, C. 1988. Fire effects in northeastern forests: red pine. North Central Forest Experiment Station, Minnesota, USA. 10 p.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Environnement Canada, Service Canadien des Forêts, Ottawa, publication No. 1300F.

Schooley, H.O., Winston, D.A., Macnaughton, R.L. & Anderson, M.L. 1986. Frost killing of red pine female flowers. *Forestry Chronicle* **62**(3): 140-142.

Schweingruber, F.H. 1982. Anatomie microscopique du bois. F. Flück-Wirth. Internationale Buchhandlung für Botanik und Naturwissenschaften. 226 p.

Shirley, H.L. 1945. Reproduction of upland conifers as affected by root competition and light. *American Midland Naturalist* **33**: 537-612.

Simon, J.-P., Bergeron, Y. & Gagnon, D. 1986. Isozyme uniformity in populations of red pine (*Pinus resinosa*) in the Abitibi Region, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* **16**: 1133-1135.

Sims, H. R., and G. D. Campbell. 1970. Red pine seedfall in a southeastern Manitoba stand. Department of Fisheries and Forests, Canadian Forestry Service Publication 1267. Ottawa, Ontario. 8 p.

Stiell, W.M. 1959. Seeding and planting red and white pine. Department of Northern Affairs and National Resources, Canada, Technical Note No. 80. 17 p.

Stiell, W.M. 1971. Comparative cone production in young red pine planted at different spacings. Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Publication No. 1306. 8 p.

Stiell, W.M. 1978. Characteristics of eastern white pine and red pine. Pages 7-50 dans Cameron, D.A. (Compiler) White and Red Pine Symposium. Department of the Environment, Canadian Forestry Service. Sault Ste. Marie, Ontario. Symposium Proceedings O-P-6 178 p.

Stiell, W.M. 1988. Consistency of cone production in individual red pine. *The Forestry Chronicle* **64**(6): 480-484.

Sutton, A., Staniforth, R. & Tardif J. 2002. Reproductive ecology and allometry of red pine (*Pinus resinosa*) at the northwestern limit of its distribution range in Manitoba, Canada. *Canadian Journal of Botany* **80**: 482-493.

Takaoka, S. 1993. The effect of missing rings on stand-age estimation of even-aged forests in the northern Hokkaido, Japan. *Ecological Research* **8**: 341-347.

Thibault, M. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional ; deuxième approximation. Ministère de l'énergie et des Ressources, Service de la Cartographie, Québec.

Thomas, P.A., & Wein, R.W. 1985. The influence of shelter and the hypothetical effect of fire severity on the postfire establishment of conifers from seed. *Canadian Journal of Forest Research* **15**: 148-155.

Van Wagner, C.E. 1970. Fire and red pine. dans 10th Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference. Tall Timbers Research Station. P. 211-219



Van Wagner, C.E. 1971. Duff consumption by fire in eastern pine stands. Canadian Journal of Forest Research 2: 34-39.

Woods, G.T. & Day, R.J. 1977. A summary of the fire ecology study of Quetico Provincial Park. Ontario Ministry of Natural Resources, Fire Ecology Study Report No 8. 39 p.

Woolsey, T.S. Jr. & Chapman, H.H. 1914. Norway pine in the Lake States. U.S. Department of Agriculture Bulletin. 139. dans Horton, K.W. & Bedell, G.H.D. 1960. White and red pine. Ecology, silviculture and management. Department of Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch, Ottawa. Bulletin 124. 173 p.

Wright, H.A. & Bailey, A.W. 1982. Fire ecology. Wiley-Interscience, John Wiley & sons, New York. 501 p.

Zehngraff, P.J. 1945. Effective seeding range of Red pine. Lake state Forest Experiment Station, Technical Note No. 228. 1 p.