

*Caractérisation du régime des perturbations naturelles de la
Réserve Faunique Papineau-Labelle.*

Rapport rédigé par :

**Philippe Nolet, M. Sc.
Sylvie Sougavinsky B. Sc.
Frédéric Doyon, ing.f., M. Sc.
Écoforesterie Consultants inc.**

Présenté aux :

INDUSTRIES JAMES MACLAREN



et

FORÊT QUÉBEC - U.G. BASSE-LIÈVRE (72)

Avril 1999

Résumé

Plusieurs auteurs ont proposé l'idée que le régime des perturbations naturelles devrait guider l'aménagement forestier. Cette idée repose sur le principe que sous un régime de perturbations naturelles quelconque, il existe une certaine récurrence de conditions environnementales dans les paysages auxquelles les organismes se seraient ajustés. Alors que pour la forêt boréale, plusieurs études au Québec ont démontré l'importance des différents types de perturbations naturelles - plus spécifiquement le feu et la tordeuse des bourgeons d'épinette -, aucune étude n'a tenté de démontrer l'importance relative des feux, des chablis et des micro-perturbations (mortalité arbre par arbre) en forêt feuillue. Cette lacune fait en sorte que les aménagistes peuvent difficilement se guider sur le régime des perturbations naturelles pour aménager la forêt feuillue. L'objectif général de cette étude était ainsi de caractériser le régime des perturbations naturelles d'un territoire en forêt feuillue, en l'occurrence la Réserve Papineau-Labelle. Les objectifs spécifiques étaient les suivants : a) identifier et délimiter les feux, et si possible les zones de chablis, ayant eu cours durant une période donnée; b) évaluer l'importance relative de chacun des grands types de perturbations ci-dessus mentionnés ou, en d'autres mots, définir le plus précisément possible le régime des perturbations du territoire; de décrire l'impact de cette importance relative sur les stratégies d'aménagement en forêt feuillue.

Deux principales sources ont été utilisées pour caractériser le régime des perturbations du territoire, les photographies aériennes anciennes (~ 1930, échelle 1 :20 000) et la banque de données d'historique des feux du ministère des Ressources naturelles. Les données de cette banque ont essentiellement servi à valider les résultats obtenus à partir des photographies aériennes anciennes. Les résultats issus de ces sources de données ont été comparés aux résultats disponibles dans la littérature scientifique. Nous estimons que le cycle pour les micro-perturbations s'établit à environ 100 ans; le cycle des feux à environ 678 ans et le cycle des chablis (zones de chablis) à environ 2 000 ans. L'importance des perturbations majeures (feux et chablis) est assez significative pour que l'on en tienne compte dans les choix des systèmes d'aménagement forestier. Ainsi, nous croyons que pour maintenir un ensemble d'écosystèmes sur le territoire représentatif de l'effet des perturbations naturelles, il est nécessaire d'utiliser l'aménagement équienné pour favoriser les écosystèmes composés d'essences intolérantes et peu tolérantes; des considérations sociales doivent par contre accompagner ce type d'aménagement. Idéalement, on devrait profiter de l'utilisation de l'aménagement équienné pour augmenter la productivité du territoire et la proportion d'essences à haute valeur ajoutée. Une proposition de recherche visant à décrire ce que serait un paysage forestier naturel est succinctement présentée.

Table des matières

RÉSUMÉ	I
TABLE DES MATIÈRES	II
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	III
1 INTRODUCTION	1
2 LES TYPES DE PERTURBATIONS ET LEURS EFFETS POTENTIELS	4
2.1 LES FEUX	4
2.2 LES CHABLIS	5
2.3 LES PERTURBATIONS LÉGÈRES	6
2.4 RÉPONSES DES ESPÈCES AUX DIFFÉRENTES PERTURBATIONS	7
3 DESCRIPTION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE	9
4 MÉTHODOLOGIE	10
5 RÉSULTATS ET DISCUSSION	16
5.1 LES FEUX	16
5.2 LES CHABLIS (ZONES DE CHABLIS):	24
5.3 LES PERTURBATIONS LÉGÈRES	27
5.4 L'IMPORTANCE RELATIVE DES PERTURBATIONS ET IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT ...	28
6 CONCLUSION ET SUGGESTIONS	34
LISTE DE RÉFÉRENCES	35
ANNEXE 1 : TABLEAU DESCRIPTIF DES RÉPONSES VÉGÉTATIVES POSSIBLES À PARTIR DES MODES DE RÉGÉNÉRATION ET AUTRES CARACTÉRISTIQUES PERTINENTES POUR LES ESSENCES PRINCIPALES DES FORÊTS FEUILLUES QUÉBÉCOISES	39

Liste des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : Tableau descriptif des réponses possibles des principales essences de la forêt feuillue québécoise à différents types de perturbations.....	8
Tableau 2: Intervalles de retour et fréquences des feux estimés selon différentes périodes	16
Tableau 3 : Nombre et fréquence moyenne de feux par période entre 1941-1998 pour le territoire d'étude.....	20
Tableau 4: Tableau récapitulatif des statistiques, retrouvées dans les articles cités, relatives aux perturbations par le feu	23
Tableau 5: Estimation de l'intervalle de retour de chablis pour l'Unité de gestion Basse-Lièvre	24
Tableau 6: Tableau récapitulatif des intervalles de retour retrouvés dans les différentes études des perturbations naturelles par le chablis en forêts feuillues.....	26

Figures

Figure 1 : Localisation du territoire d'étude : La Réserve Faunique Papineau-Labelle.....	9
Figure 2 : Photographie aérienne représentant un secteur touché par une perturbation naturelle	11
Figure 3 : Photographie aérienne représentant une zone de coupe.....	12
Figure 4 : Photographie aérienne d'une zone qui présente les caractéristiques attribuables à un secteur de coupe.....	13
Figure 5 : Photographie d'une pinède à pins blancs et rouges.....	15
Figure 6 : Localisation des feux identifiés sur le territoire à partir des photographies aériennes de 1930.....	18
Figure 7 : Localisation et sources des feux sur le territoire à l'étude pour la période 1941-1998.	19
Figure 8 : Distribution géographique des perturbations pour les forêts décidues de l'est des États-Unis.....	29
Figure 9 : Représentation schématique d'un territoire dont l'aménagement équienné est étalonné sur une période de 10 ans.....	33

1 Introduction

Plusieurs auteurs ont proposé l'idée que le régime des perturbations naturelles devrait guider l'aménagement forestier. Cette idée repose sur le principe que, sous un régime de perturbations naturelles quelconque, il existe une certaine récurrence de conditions environnementales dans les paysages auxquelles les organismes se seraient ajustés (Denslow 1980; Hunter, 1990; Roberts et Gilliam, 1995).

Hunter (1991) fait valoir qu'en forêt boréale, au Québec et au Labrador, les feux peuvent couvrir de très grandes superficies (plusieurs milliers d'hectares). Des coupes à blanc d'aussi grandes superficies peuvent être difficilement acceptées par les tenants de la conservation entre autres. L'auteur propose une approche où les coupes à blanc de superficie modérée seraient regroupées à l'intérieur de portions de terres entourées par des cours d'eau. L'auteur tente ainsi d'évaluer comment les valeurs éthiques et scientifiques peuvent être accommodées.

Runkle (1991) explique comment la théorie sur la dynamique des trouées en forêt feuillue peut être utilisée pour les aménagistes qui veulent favoriser le développement de caractéristiques de forêts anciennes à l'intérieur de jeunes forêts. Il propose quelques solutions pour mimer le régime des perturbations naturelles (gap dynamics) :

- Approximativement 1%/an de la surface aménagée devrait être ouverte, et ce, avec une coupe presque tous les ans.
- Les trouées devraient avoir une superficie de 50 à 100 m² à la hauteur de la canopée, avec quelques trouées de plus grandes superficies.
- Les nouvelles trouées devraient se retrouver occasionnellement à proximité des anciennes.

La première solution apparaît difficilement applicable de façon opérationnelle (coût de transports, blessures aux arbres). L'auteur n'explique pas s'il serait possible de regrouper les opérations (par exemple, tous les 7-8 ans). Il demeure que l'approche est intéressante dans la mesure où elle démontre qu'il est possible d'aménager pour obtenir de forêts anciennes.

Duinker et al, (1998), travaillent présentement sur un projet de planification forestière (pour 2 compagnies forestières de l'Alberta) basée sur le régime des perturbations naturelles. Ils évaluent entre autres, l'indice de qualité d'habitat d'une vingtaine d'espèces fauniques et les caractéristiques de la mosaïque forestière selon différents scénarios d'aménagement. Les résultats obtenus pour chacun de ces scénarios seront comparés à ceux obtenus sous un régime des perturbations naturelles. Par la suite, des adaptations au scénario d'aménagement privilégié seront proposées de façon à le rendre acceptable tant au niveau opérationnel qu'au niveau environnemental.

Bergeron et al. (1999) proposent une série de pratiques sylvicoles et de stratégies d'aménagement qui permettent à l'aménagement forestier de se rapprocher de la dynamique naturelle des peuplements. Parmi celles-ci, on retrouve :

- Faire varier l'intensité et la contagion spatiale des coupes afin de maintenir les espèces nécessitant des conditions diverses de lumière et des lits de germination.
- Traiter une partie des peuplements avec des coupes totales suivies d'ensemencement ou de reboisement (qui s'apparente au feu), une autre partie avec des coupes partielles ou des coupes avec protection de la régénération et des sols (qui stimulent l'évolution naturelle de peuplements surannés) et une dernière partie avec la coupe sélective afin de stimuler la dynamique forestière des peuplements anciens.
- La présentation d'un abaque permettant d'évaluer la proportion des différentes cohortes de peuplements selon le cycle des perturbations naturelles et l'âge maximal d'exploitation. Le potentiel d'application de cet abaque pour la forêt feuillue reste à confirmer.

Tous ces exemples démontrent que le régime des perturbations peut, à différents niveaux, guider l'aménagement forestier. Alors que pour la forêt boréale, plusieurs études au Québec ont démontré l'importance des différents types de perturbations naturelles - plus spécifiquement le feu et la tordeuse des bourgeons d'épinette -, aucune étude n'a tenté de démontrer l'importance relative des feux, des chablis et des micro-perturbations (mortalité arbre par arbre) en forêt feuillue. Cette lacune fait en sorte que les aménagistes peuvent difficilement se guider sur le régime des perturbations naturelles pour aménager la forêt feuillue. Étant donné la rareté des feux et des chablis en forêt feuillue, on peut être porté à croire que les micro-perturbations constituent le seul type de perturbations en forêt feuillue et, par conséquent, que les techniques d'aménagement doivent s'en inspirer impérativement. Par contre, de nombreuses études ayant été réalisées dans des forêts feuillues semblables à celles du Québec démontrent que les feux et les chablis peuvent affecter de façon significative le paysage forestier (Frissel, 1973; Lorimer, 1977; Bormann et Likens, 1979a; Wein et Moore, 1979; Whitney, 1986; Foster, 1988; Frelich et Lorimer, 1991; Loope, 1991).

L'objectif général de cette étude est ainsi de caractériser le régime des perturbations naturelles d'un territoire en forêt feuillue, en l'occurrence la Réserve Papineau-Labelle. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- identifier et délimiter les feux, et si possible les zones de chablis, ayant eu cours durant une période donnée;
- évaluer l'importance relative de chacun des grands types de perturbations ci-dessus mentionnés ou, en d'autres mots, définir le plus précisément possible le régime des perturbations du territoire;

- décrire l'impact de cette importance relative sur les stratégies d'aménagement en forêt feuillue.

Il est impossible de définir précisément l'ensemble du régime des perturbations d'un territoire à l'intérieur d'une étude portant sur une seule année. Dans le cas de la présente étude, l'accent a été mis sur le régime des feux identifiés à partir de photographies aériennes anciennes, car les feux constituent le type de perturbations pour lequel on possède le moins d'information pour les forêts feuillues du Québec. Par ailleurs, dans le but de bien évaluer l'importance relative de chacun des types de perturbations, une revue exhaustive de la littérature a été effectuée. Les résultats de cette revue auraient pu être présentés à l'intérieur d'une section à part. Toutefois, afin de faciliter la lecture du rapport, les résultats de la revue de littérature sont intégrés aux résultats obtenus à partir des photographies aériennes anciennes.

Afin d'apprécier l'impact possible des perturbations naturelles sur les pratiques d'aménagement, la prochaine section présente une courte revue de littérature sur les différents types de perturbations rencontrées en forêt feuillue et de leurs effets potentiels sur la composition forestière.

2 Les types de perturbations et leurs effets potentiels

2.1 Les feux

Il existe trois types de feux, selon le niveau auquel ils brûlent; les feux de surface, les feux de couronne, et les feux de sol.

Les feux de surface brûlent litière et humus qui se retrouvent à la surface du sol, éliminent les plantes herbacées, les arbustes et les semis et endommagent la base et les couronnes des arbres (Spurr et Barnes 1980). Le taux de mortalité des individus (arbres) dépend de toute évidence de l'intensité du feu mais également de l'espèce et de la disposition de ces racines. Un système racinaire superficiel, augmente les chances de l'arbre à être blessé par le feu comparativement aux individus dont les racines sont bien enfoncées dans le sol (ex. *Quercus rubra*) (Spurr et Barnes 1980).

Les feux de couronne proviennent de feux de surface alimentés par les accumulations de matière organique et fouettés par les vents. Ce type de feu voyage de couronne en couronne dans les peuplements denses. La plupart des individus sont tués sur leur passage (Spurr and Barnes 1980).

Les feux de sol proviennent de feux de surface ayant brûlé de grandes accumulations de matière organique recouvrant le sol minéral. Les feux de sol brûlent donc sous la surface du sol, n'ont pas de flamme et peuvent tuer la majorité des plantes dont les racines poussent dans la matière organique (Spurr et Barnes 1980). Ces feux brûlent lentement, génèrent habituellement de très hautes températures et sont généralement persistants.

Il est difficile de distinguer clairement les différentes intensités de feux à leurs effets sur la végétation, car trop de facteurs (espèces présentes, sol, topographie etc.) interagissent entre eux faisant en sorte que l'effet d'un feu sera particulier au site atteint. Il est cependant possible de faire une description générale des effets physiques. La majorité des informations suivantes ont été tirées de Spurr et Barnes 1980; dans le cas contraire, l'auteur sera cité.

Un feu de faible intensité (ex: surface léger) peut simplement diminuer les espèces arbustives et herbacées du sous-couvert et produire une réduction de la compétition entre les individus dominants et un relâchement des ressources (Dunn *et al.* 1982). Les individus dominants et co-dominants seront les premiers à tirer avantage des ressources disponibles. La quantité de litière et d'humus à la surface du sol, les débris (bois mort et autres) sont dans bien des cas brûlés eux aussi de sorte que le sol minéral est parfois mis à nu. Ceci favorise l'établissement de graines. Les graines sont souvent partiellement enterrées dans la couche de cendres favorisant ainsi la germination. On peut alors imaginer que les espèces

favorisées seront tolérantes à l'ombre puisque le couvert forestier est toujours présent. Un feu plus intense peut s'étendre jusqu'à la cime des arbres dominants et créer une ouverture du couvert forestier. Certains arbres très vulnérables (les espèces dont l'écorce est mince ou dont les racines sont en surface) seront blessés ou même éliminés. Les individus plus résistants peuvent être blessés également. Dans certains cas les blessures induites vont initier le drageonnement chez certaines espèces (ex. *Fagus grandifolia*, Burns et Honkala, 1990). On présume que les essences dont les graines sont en dormance dans le sol et celles dont les graines sont légères et facilement introduites gagneront en importance aussi. Les plus favorisées ne seront pas les espèces très intolérantes, car le couvert forestier n'est pas complètement éliminé. Les chances de survies vont aussi dépendre de la quantité de couronne atteinte.

Si le feu s'attaque gravement aux couronnes, ce seront surtout les semis présents avant perturbation qui profiteront de la luminosité produite. Il est probable que les essences les plus favorisées seront les celles qui bénéficient d'une croissance relativement rapide (Burns et Honkala 1990). Un feu exceptionnellement intense détruira tout sur son passage, y compris les racines qui autrement pourraient drageonner. Dans de tels cas, on se retrouve uniquement avec un sol minéral recouvert d'une couche de cendres. Les espèces dont les graines sont facilement dispersées par les vents et dont la croissance est rapide (pionnières) seront fort probablement les premières à coloniser l'étendue perturbée.

2.2 Les chablis

Les orages occasionnels, particulièrement les ouragans et les tornades initient aussi la succession secondaire sur de grandes superficies. Généralement, l'effet des chablis sur la végétation ressemble à l'effet produit par les feux, quant à la réponse végétative. Cependant, contrairement aux feux de surface par exemple qui détruisent les individus du sous couvert à une échelle plus importante que le couvert forestier lui même, les dommages causés par les chablis sont surtout confinés au couvert forestier. Dans les forêts où le sous-étage forestier est principalement composé d'essences tolérantes, l'effet du chablis peut simplement être de rompre le stade pionnier et de libérer le sous couvert pour former une nouvelle canopée.

Lorsqu'une zone de forêt est affectée par des vents importants, les individus les plus vulnérables sont généralement ceux de grandes taille (ex: *Pinus strobus*) (Peterson et Pickett, 1991). Ils chutent soit par rupture (du tronc ou des branches) ou par déracinement. D'une façon comme de l'autre, ces chutes ont pour effet d'ouvrir le couvert forestier et de déposer une certaine quantité de débris (troncs, branches) à la surface du sol. Le déracinement déplace les roches, perturbe le sol (inversion des couches), crée des trous et des monticules qui seront présents pour longtemps et expose les graines autrement enterrées (Peterson et Pickett, 1991). Les probabilités qu'un individu chute varie selon sa taille, l'âge et l'espèce.

La différence majeure entre les différentes intensités de chablis se fait au niveau du nombre d'individus affectés. Un chablis faible à modéré laissera les individus plus résistants debout alors qu'un chablis intense aura comme effet de racler tout le couvert forestier (Peterson et Picket, 1991).

Essayons d'imaginer alors ce qui résulte d'une forêt à la suite d'un chablis :

- individus (surtout les dominants) sont brisés ou couchés sur le sol (ouverture du couvert);
- accumulation de débris à la surface du sol (branches, troncs couchés);
- blessures chez certains individus (branches cassées, ceux sur qui un arbre est tombé);
- création de trous et monticules (déracinement),

À partir de cela, il est possible de faire certaines déductions quant aux réponses végétatives possibles :

- croissance latérale des individus restés debout (vu la diminution de la compétition);
- croissance des essences du sous couvert grâce à l'accès à la lumière; les essences les plus favorisées seront celles dont la croissance est rapide;
- production de rejets et de drageons par les individus blessés ;
- germination de certaines essences dans les trous et monticules formés (ex: *Tsuga canadensis*, Burns et Honkala, 1990).

2.3 Les perturbations légères

À la différence des perturbations majeures décrites plus haut, le succès relatif des espèces suivant une perturbation légère semble déterminé par leur densité et leur distribution en hauteur sous le couvert avant perturbation et par leur habilité à répondre à la variété d'ouvertures offertes (Runkle, 1985).

Les perturbations légères créent des petites ouvertures qui se referment habituellement rapidement. La fermeture du couvert forestier est principalement attribuée à la croissance latérale des espèces présentes autour de l'ouverture. Certaines essences peuvent réagir de façon plus agressive que d'autres, tel le chêne rouge (*Quercus rubra*, Hibbs, 1982). L'auteur, en examinant l'interaction entre la taille des trouées, la composition des espèces, leur croissance et le processus de fermeture du couvert, a démontré que parmi les essences étudiées, c'est le chêne rouge qui exhibe l'expansion latérale la plus rapide.

Cependant, si les trouées sont de taille suffisantes (supérieures à la demie hauteur des arbres - Hibbs, 1982), le processus de fermeture peut être associé à la croissance rapide des semis présents dans le sous-couvert (Dunn et al. 1982, Runkle 1982, Hibbs 1982). Le couvert forestier, étant ouvert de façon plus importante, offre un espace de croissance plus large dans lequel vont croître un mélange d'essences. Ce sont particulièrement les espèces tolérantes à l'ombre qui auront tendance à être dominantes, malgré la persistance de quelques espèces

opportunistes (Hibbs 1982, Runkle 1982). On parle donc uniquement d'un espace temporaire de croissance qui favorise les semis supprimés, mais qui permet rarement d'atteindre le couvert forestier.

Les grandes ouvertures persistent évidemment pour des périodes plus longues. Dans ce cas, les banques de graines sur place et les graines introduites gagneront une importance additionnelle dans le processus de fermeture des trouées (Dunn et al. 1982).

L'âge de l'ouverture, jumelé à sa taille, peut également venir influencer la composition des essences forestières retrouvées sur le site. Runkle (1990) a étudié 36 ouvertures dans une vieille forêt dominée par l'érable à sucre (*Acer saccharum*) et l'hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*) sur une période de 12 ans. Les espèces individuelles démontrent des réponses différentes selon les conditions des trouées. L'érable à sucre est présent dans les trouées de tout âge mais est particulièrement important dans les petites trouées. Le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*) est présent, en général, dans les trouées de toutes tailles mais est spécialement important dans les trouées plus vieilles. Le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*) est spécialement important dans les trouées larges et récentes.

2.4 Réponses des espèces aux différentes perturbations

Le tableau suivant (Tableau 1) regroupe les informations pertinentes au sujet des essences caractéristiques des forêts feuillues du Québec quant à leur capacité de résister et/ou de se régénérer après une perturbation et tente de faire un parallèle avec les effets des perturbations décrites plus haut.

La production d'un tel tableau implique une certaine subjectivité et requiert que l'on fournisse quelques explications. Plusieurs auraient pu s'attendre à ce que le pin rouge et le pin blanc reçoivent la cote «++», et ce, étant donné que les peuplements de pins sont souvent issus de feux. Toutefois leurs caractéristiques écologiques (voir Annexe 1) démontrent qu'ils ont peu de chances d'être favorisés si d'autres espèces compétitionnent avec eux. Ainsi, on pourrait dire que le pin blanc ne réagit pas mieux que l'érable à sucre au feu, c'est juste que dans certains milieux pauvres, il ne rencontre que très peu de compétition après feu. L'érable à sucre, qui est associé aux sites riches, rencontrera nécessairement beaucoup de compétition après feu. Les peupliers reçoivent la cote «+++» après feu en raison de leur capacité à produire des peuplement quasiment purs même si seulement quelques individus étaient présents avant perturbation.

Le premier fait intéressant qui ressort de ce tableau est la grande différence entre les espèces favorisées par le feu et celles favorisées par les perturbations mineures. Autre fait intéressant, il semble qu'une perturbation plus intense va favoriser une plus grande variété d'essences. On peut donc émettre l'hypothèse

que la protection contre les feux et l'absence de coupes forestières sur de grandes superficies peut mener à la disparition de certains types d'écosystèmes dans le paysage forestier. Il est donc primordial que l'on connaisse l'importance relative des différents types de perturbations afin de pouvoir guider l'aménagement forestier.

Tableau 1 : Tableau descriptif des réponses possibles des principales essences de la forêt feuillue québécoise à différents types de perturbations.

Espèce	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis (plusieurs hectares)	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Acer rubrum</i>	++	++	+
<i>Acer saccharum</i>	+	++	++
<i>Betula alleghaniensis</i>	+	+	+
<i>Betula papyrifera</i>	++	++	-
<i>Fagus grandifolia</i>	-	-	++
<i>Fraxinus americana</i>	+	+	+
<i>Pinus resinosa</i>	+*	-	-
<i>Pinus strobus</i>	+*	+	-
<i>Populus grandidentata</i>	+++	++	-
<i>Populus tremuloides</i>	+++	++	-
<i>Prunus serotina</i>	+	+	-
<i>Quercus rubra</i>	++*	+	+
<i>Tilia americana</i>	+	+	+
<i>Tsuga canadiensis</i>	-	-	++

Source : L'annexe 1 fournit les principales caractéristiques de régénération et de croissance ayant mené à l'évaluation de ces réponses.

Légende : (-) : défavorisée par la perturbation; (+) favorisée par la perturbation; (++) : hautement favorisée par la perturbations; (+++) : très hautement favorisée par la perturbation; (*) : peuplements composés de l'espèce sont habituellement issus du feu.

3 Description du territoire à l'étude

Le territoire d'étude, la Réserve Papineau-Labelle d'une superficie approximative de 162 750 ha, fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Figure 1). Il chevauchent deux unités de paysage définies par Robitaille et Saucier (1998), soit celles du Lac Poisson Blanc (22) et du Lac Simon (23). Les deux unités sont caractérisées principalement, d'une part, par des tills minces (44% et 43%) et des affleurement rocheux (20%, et 13%) et, d'autre part, des dépôts fluvio-glaciaires (16% et 18%). La température annuelle moyenne varie de 2,5 à 5 °C, le nombre de degré-jours croissance varie de 2600 à 3000 °C et la longueur de la saison de croissance est se situe autour de 180 jours. La végétation potentielle sur site mésique de milieu de pente est l'érablière à bouleau jaune ou l'érablière à tilleul. Les hauts de pente bien drainés sont colonisés par l'érablière à ostryer et les sommets par l'érablière à tilleul et hêtre. Les bas de pente sont plutôt occupés par la bétulaie jaune à sapin. Les sites xériques sont couverts par la végétation potentielle de la prucheraie à bouleau jaune et celle de la pinède à pin blanc et pin rouge (Robitaille et Saucier, 1998).

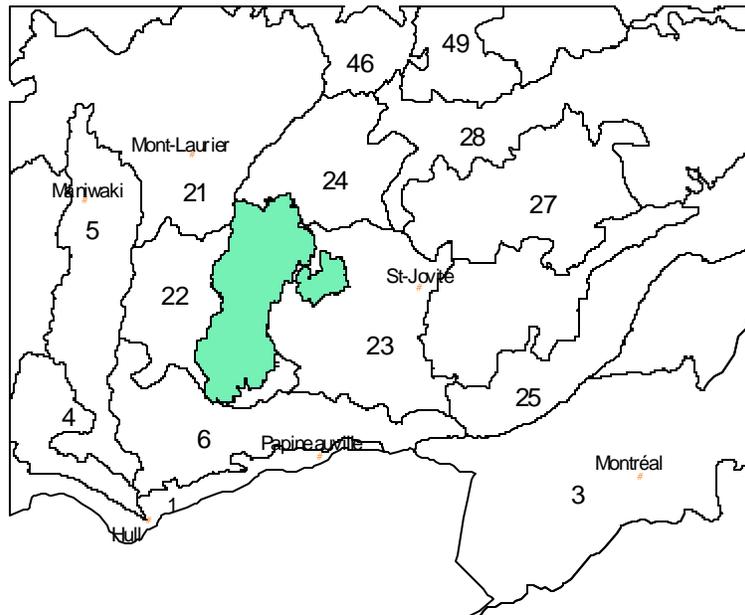


Figure 1 : Localisation du territoire d'étude : La Réserve Faunique Papineau-Labelle. Les numéros réfèrent aux unités de paysage identifiées par Robitaille et Saucier (1998).

4 Méthodologie

Deux principales sources ont été utilisées pour caractériser le régime des perturbations du territoire, les photographies aériennes anciennes et la banque de données d'historique des feux du ministère des Ressources naturelles. Les données de cette banque ont essentiellement servi à valider les résultats obtenus à partir des photographies aériennes anciennes.

Les plus anciennes photographies aériennes disponibles¹ couvrant le territoire (~1930, échelle 1:20 000 et 1950, échelle : 1 50 000) ont été examinées pour repérer et identifier les vieilles perturbations. Le travail de sélection des photos est grandement complexifiée par le fait que les lignes de vols sont souvent indépendantes les unes des autres. Ainsi, la sélection des photographies aériennes du territoire d'étude doit être effectuée de façon méticuleuse afin de s'assurer que le territoire d'étude est couvert de façon complète.

Le repérage des perturbations à l'aide de photographies aériennes prises à une échelle de 1: 20 000 est une étape relativement simple puisque les zones perturbées sont clairement perceptibles à l'œil nu. Par contre, pour les photographies aériennes datant de ~1950, ce travail a été impossible à réaliser. En effet, aucune perturbation naturelle n'a pu être clairement identifiée sur ces photographies en raison; 1) du manque de définition à l'échelle 1 : 50 000; 2) du moment où les photos ont été prises - en début de mai, alors que les essences feuillus n'ont pas de feuilles, rendant les perturbations nettement moins visibles -; 3) de l'augmentation considérable des perturbations humaines qui sont parfois difficiles de distinguer des perturbations naturelles.

Une fois la perturbation identifiée sur la photo, il faut déterminer l'origine de celle-ci (humaine, feu ou chablis). D'abord, on tente de déterminer si la perturbation est d'origine naturelle ou humaine. Les principaux critères pour ce faire sont : l'isolement de la perturbation , la présence ou non de chemins et/ou d'un cours d'eau à proximité et la superficie du site touché *i.e.* une perturbation de taille majeure suggère une origine naturelle puisqu'on effectuait pas de coupe à blanc dans les années 30, mais plutôt des coupes à diamètre-limite.

Ensuite, il faut tenter de déterminer si la perturbation origine d'un feu ou d'un chablis. Puisque la région n'est pas particulièrement affectée par les tornades et les ouragans, nous avons émis comme hypothèse que les grandes t située en hauteur sur une butte ce qui est en soit un obstacle important pour perturbations observées (plusieurs centaines d'hectares) sont d'origine de feu. Par contre, si la région

¹ Disponibles à la photothèque nationale de l'air à Ottawa.

perturbée est effectivement une zone de chablis, peu d'indices photographiques clairs permettent de la différencier d'un site brûlé.

Les photographies aériennes suivantes permettent de visualiser le type de situations auxquelles on a fait face. La première photographie (Figure 1) présente la zone perturbée comme un site isolé, et malgré qu'elle se situe près d'un cours d'eau, il ne semble pas y avoir de chemins à proximité. La photographie nous indique également (impossible de le voir ici) que la zone est une coupe. Cette perturbation a donc été classifiée comme perturbation naturelle (feu). À l'inverse, sur la seconde photographie (2), plusieurs chemins sont visibles et l'accessibilité au cours d'eau à proximité suggère qu'il s'agit bel et bien d'une coupe.



Figure 2 : Photographie aérienne représentant un secteur touché par une perturbation naturelle (zone pâle).



Figure 3 : Photographie aérienne représentant une zone de coupe (zone pâle).

Les exemples présentés plus haut sont des cas idéals, où l'interprétation est relativement simple. Or, parfois les paramètres sont confondants; une zone perturbée semble isolée, mais il y a possibilité que l'accès au site se soit fait à cheval en hiver et que les chemins ne soient plus perceptibles, ou encore que la zone soit située près des développements humains.

Ces questions nous ont amenés à effectuer quelques vérifications sur le territoire. En raison de leur inaccessibilité (ex. : ponts détruits), ce ne sont malheureusement pas toutes les perturbations pour lesquelles nous avons des interrogations qui ont pu être visitées. Toutes les perturbations de superficie considérable ont toutefois pu être visitées. Sur les sites visités, des indices de perturbations (principalement par le feu) ont été relevés, soit la présence de souches calcinées, de charbon dans le sol, soit la présence d'essences reconnues pour s'établir après feu (ex. chêne rouge *Quercus rubra*, pin blanc *Pinus strobus*, pin rouge *Pinus resinosa*). Il faut noter également que la surface totale de chacune des perturbations visitées n'a pu être sondée de façon complète étant donné les superficies importantes qu'elles couvrent.

On a constaté parfois sur le terrain qu'une perturbation, qui semblait provenir d'une coupe forestière sur photo, avait comme origine réelle le feu. Les photographies

suivantes démontrent clairement ce dernier aspect. Lorsqu'on regarde attentivement la figure 4, on perçoit clairement les routes menant au site. Il serait facile de conclure qu'on fait affaire à une coupe. Cependant la photographie suivante (figure 5), prise directement sur le site, représente une pinède, ce qui nous assure, avec la présence de charbon de bois dans le sol, qu'il s'agit au contraire d'un feu.

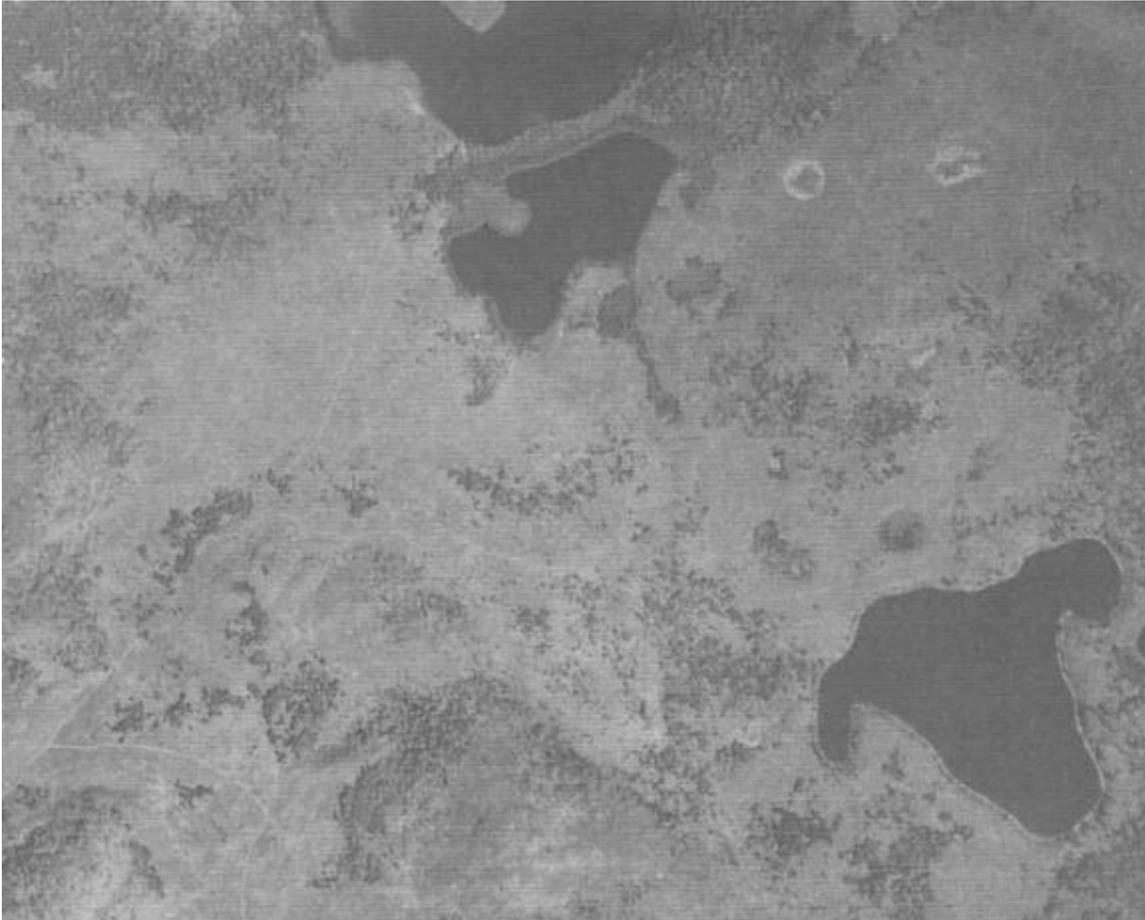


Figure 4 : Photographie aérienne d'une zone qui présente les caractéristiques attribuables à un secteur de coupe

Dans ce genre de situation, il est extrêmement difficile de conclure sur l'origine du feu. Il n'est pas impossible qu'il soit d'origine naturelle mais peut-être a-t-il été accidentellement initié par des individus. Inversement, des aires de coupe ont pu être aménagées en bordure de feux récents.

La Direction de la Protection des Forêts effectue actuellement une compilation de tous les rapports d'incendie pour le Québec. Ils ont pu reculer, à ce jour, jusqu'à 1941. Ces informations ont permis de valider certains des résultats obtenus. Bien que leur étude est loin d'être complétée, les données peuvent être utilisées pour

évaluer la fréquence des feux à certaines périodes non couvertes par les photographies aériennes.



Figure 5 : Photographie d'une pinède à pins blancs et rouges.

5 Résultats et discussion

5.1 Les feux

La figure 6 présente les perturbations répertoriées sur le territoire d'étude et à proximité de celui-ci à partir des photographies aériennes de 1930. Au total, 11 perturbations indépendantes ont été identifiées. À l'intérieur du territoire, ces perturbations atteignent une superficie totale de 2194 ha; si on calcule aussi les superficies touchées à l'extérieur du territoire, on obtient une superficie totale de 4354 ha pour les mêmes événements. La plus petite perturbation présente une superficie de 4,5 ha alors que la plus grande présente une superficie de 1951 ha, dont 866 ha à l'intérieur du territoire d'étude. Toutes ces perturbations sont, d'après nous, d'origine de feu; nous en venons à cette conclusion par la superficie des perturbations rencontrées et par les indices récoltés sur le terrain.

Le tableau 2 présente la fréquence des feux et les cycles potentiels d'après différentes périodes de perception des feux. En effet, il est difficile d'établir clairement combien d'années se sont écoulées entre la prise des photos et le moment de la perturbation; nous présentons donc 3 périodes : 10, 15 et 20 ans. Si on considère que les feux peuvent être facilement visibles sur une période de 10 ans, on obtient un intervalle de retour de 678 ans alors que si on étend cette possibilité à 20 ans, l'intervalle de retour serait plutôt de 1356 ans.

Tableau 2: Intervalles de retour et fréquences des feux estimés selon différentes périodes

Période de perception des feux (ans)	Superficie perturbée (ha)	Superficie du territoire (ha)^a	% de la superficie brûlée/an	Intervalle de retour (années)	Fréquence estimée (nb feux/an)
10	2194	148751	0,15%	678	1,1
15	2194	148751	0,10%	1017	0,7
20	2194	148751	0,07%	1356	0,55

^aSuperficie du territoire sans les lacs

Les feux issus de la compilation des rapports d'incendies de la Direction de la protection des forêts sont présentés à la figure 7. Pour les feux de la période 1941-1971, l'origine (foudre ou humaine) est inconnue. Pour les feux, de la période 1972-1998, nous ne présentons que les feux issus de la foudre. Le tableau 3 présente le nombre de feux par année et par période durant la période 1941-1998. On y remarque d'une part, que pour la période 1961-1971, la fréquence de feux était très élevée, et ce, fort probablement en raison des activités forestières sur le territoire. On y remarque aussi, que pour chacune des périodes présentées, la

fréquence de feux est toujours supérieure aux fréquences obtenues par l'analyse des photos de 1930. Cela nous amène à croire que le cycle de feux du territoire se rapprocherait de 678 ans, soit celui obtenu en considérant que les perturbations demeuraient visibles sur les photos une dizaine d'années (tableau 2).

Certains autres facteurs - que la période effective des photos - nous mènent à penser que nous avons pu sous-estimer ou surestimer le cycle de feux. Le principal facteur qui nous mène à penser que nous aurions pu surestimer le cycle réside dans le fait que le territoire se colonisait durant la période considérée; il est donc possible que certains feux ou parties de feux soient d'origine humaine. Il est impossible de distinguer si un feu est d'origine humaine ou de foudre. D'ailleurs, la plupart des études portant sur les cycles de feux en forêts feuillues rencontrent ce problème. Par contre, les feux causés par les activités humaines présentent généralement des superficies limitées (en moyenne 50 ha, pour les feux d'origine humaine et 560 ha pour les feux issus de la foudre, Service canadien des forêts, 1998). Deux facteurs nous mènent à penser à une sous-estimation du cycle des feux.

- La fréquence des feux, selon une période effective des photos de 10 ans, est toujours inférieure aux fréquences observées pour d'autres périodes;
- Certains grands feux ont été observés, et fort probablement par hasard, ils ne touchent qu'une partie du territoire. Ainsi, en agrandissant à peine le territoire d'étude, la proportion du territoire atteinte par les feux seraient presque multipliée par deux;

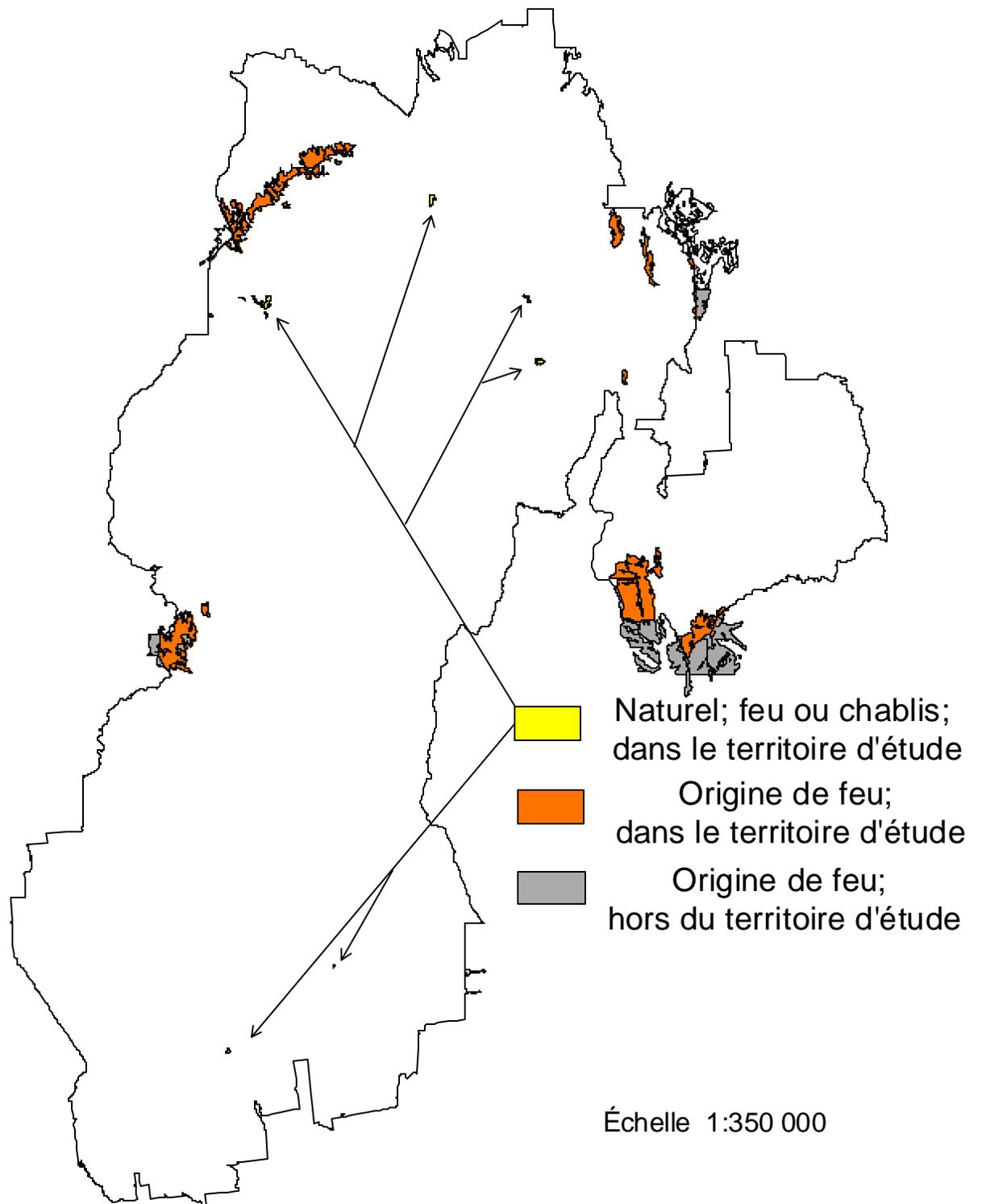


Figure 6 : Localisation des feux identifiés sur le territoire à partir des photographies aériennes de 1930

À la lumière de ces éléments, il nous apparaît fort possible qu'en utilisant un cycle de 678 ans, nous sous-estimons le cycle de feu pour la région. Étant donné que nous n'avons, pour l'instant, aucune certitude et étant donné les changements que peut impliquer ce résultat en termes de planification forestière, nous préférons demeurer prudents et considérer dans la suite de ce rapport que le cycle de feux pour le territoire à l'étude est de 678 ans.

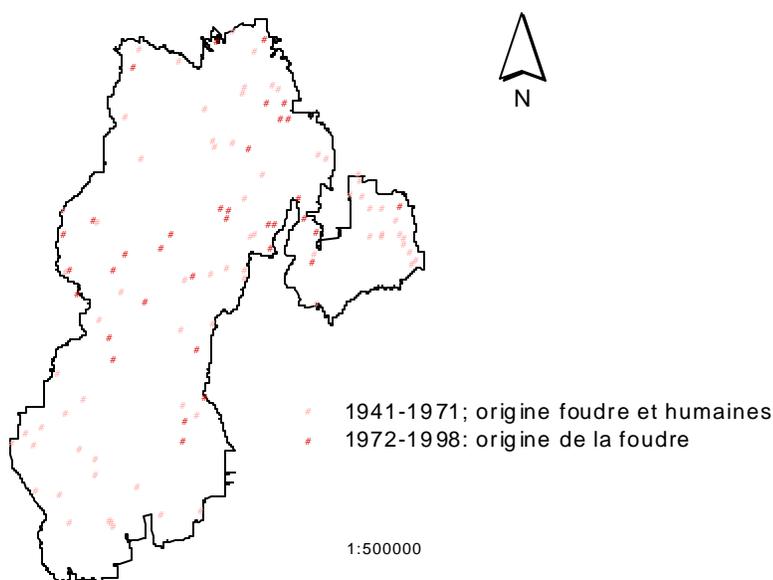


Figure 7 : Localisation et sources des feux sur le territoire à l'étude pour la période 1941-1998. Source : Rapports d'incendies de la Direction de la protection des forêts

Tableau 3 : Nombre et fréquence moyenne de feux par période entre 1941-1998 pour le territoire d'étude.

Période	Nombre de feux	Fréquence moyenne pour la période
1941-1950	14	1.4
1951-1960	12	1.2
1961-1971	45	4,1
Début de la suppression des feux		
1972-1998	35	1.3

Source : Rapports d'incendies de la direction de la protection des forêts

Il est intéressant de vérifier comment des chercheurs dans des forêts feuillues semblables à celles du Québec ont évalué le régime de feu de leur territoire d'études et à quels résultats ils sont arrivés.

Heinselman (1973) a reconstruit de façon cartographique, l'historique des feux dans les forêts vierges (jamais perturbées par l'activité humaine) du Boundary Waters Canoe Area dans le nord ouest du Minnesota. La région est caractérisée surtout par des espèces typiques de forêts boréales, mais aussi par la présence de quelques essences feuillues (*Acer rubrum*, *Quercus rubra*, *Fraxinus nigra* et autres). Plusieurs techniques ont été utilisées afin de documenter les années et les surfaces couvertes par les feux anciens dans ces forêts : la dendrochronologie, la consultation d'écrits historiques et d'anciens registres ainsi que des visites sur le terrain. L'auteur démontre que le feu est la source première de perturbation dans tous les types de forêts. Le régime de feu de la forêt dite "quasi boréale " datant d'avant la colonisation Européenne (1727-1911) consistait de feux de couronne et/ou de surface sévère avec un cycle de feu (où le temps requis pour brûler une surface égale à toute la surface considérée) d'environ 100 ans (50-200 ans). Des analyses de cicatrices de feux indiquent que tous les peuplements actuels seraient issus de feux.

Frissel (1973) a étudié l'importance des feux entre 1650 et 1922 pour le Parc National d'Itasca, à l'aide de cicatrices de feux de pin rouge. Ce parc, d'une superficie de 12 972 ha, est situé dans le nord ouest du Minnesota et est composé principalement d'espèces de pins (surtout de pin rouge) et de quelques peuplements de feuillus tolérants. Un total de 32 feux ont été identifiés variant en superficie de 242 à 13 317 ha. Pendant la période couverte, un feu est survenu en moyenne tous les 10 ans (fréquence). Cependant, l'auteur ne spécifie pas la répartition des feux par type de peuplements. Le cycle de feu a été établi à seulement 22 ans.

Lorimer (1977) basant son étude sur les informations obtenues à partir d'anciens registres gouvernementaux réalisés entre 1793-1827, dans le nord du Maine, a recensé 3 feux importants, soit deux en 1825 et un en 1803. Ces feux ont couvert une surface importante du territoire d'étude (32 000 ha, 10 000 ha et 80 000 ha respectivement). Vingt-quatre autres plus petits feux (dimensions de 0.3-3.2 km) ont été repérés. En tout, la surface totale brûlée était de 9.3 % de la distance totale sondée (1.65×10^6 ha), ce que équivalait à 132 600 ha. Cependant, les auteurs soulignent que ce total n'est pas nécessairement indicatif du régime des perturbations naturelles par le feu puisqu'ils sont survenus à un moment où les premières interventions forestières étaient possibles. De plus, des registres anciens datant des années 1800 de forêts similaires au nord du Vermont ne montraient aucune trace de feu (Siccama 1971). Lorimer estime le cycle de feu à 806 ans. Cependant, si parmi les feux répertoriés certains d'entre eux sont d'origine humaine, il souligne que ce cycle se situerait plutôt à 1923 ans.

Wein et Moore (1979) ont préparé une synthèse de l'histoire des incendies forestiers en Nouvelle Écosse à partir d'écrits anciens et de registres provinciaux des années 1915 à 1975. L'intervalle de retour à l'échelle de la province entière (535 000ha) est estimée à 1000 ans et de 2000 ans en ce qui concerne les forêts feuillues. Ceci tient compte des incendies de toute taille (100-30 000 ha). Cependant, les auteurs soulignent qu'en se référant uniquement aux cartes dressées au début du siècle, avant la mise en place de la lutte organisée, le cycle se situe plutôt aux alentours de 200 ans. Il faut noter par contre, que les sources d'ignition de ces feux ne sont pas nécessairement d'origine naturelle et que l'effet de suppression des feux n'est pas clairement défini.

Après consultation d'écrits historiques sur les perturbations dans les forêts feuillues des White Mountains en Nouvelle Angleterre puis de la documentation disponible sur les forêts de la région des Grands Lacs et des forêts feuillues du nord-est des États-Unis, Bormann et Likens (1979a), ont trouvé très peu d'indices leur permettant de croire que le feu était répandu dans la région des White Mountains avant la colonisation. Ainsi, ils considèrent le feu comme un événement plutôt rare. Pour la période actuelle, ils ont constaté, sur un territoire 405 000, que seulement 4.3 ha brûlent chaque année, dont seulement 1/3 en raison de la foudre.

Des registres gouvernementaux anciens (1830-1859) des comtés Roscommon et Crawford ont servi pour l'étude de Whitney (1986). Ce dernier a tenté de reconstruire la végétation originale de ces comtés situés au nord du Michigan et d'identifier les facteurs responsables du développement et de la maintenance des forêts de pins. La superficie de la région à l'étude était d'environ 278 000 ha. Pour la période couverte, les feux ont atteint 7.3% du territoire et atteignirent le taux d'incidence le plus élevé dans les peuplements de pins. De ces feux, 1.1% survenaient dans les forêts feuillues. L'auteur estime un intervalle de retour pour les feux de 1400 ans dans les forêts de feuillus tolérants avec pruche.

Foster (1988) a étudié la structure et la dynamique de la végétation par rapport au régime des perturbations dans la forêt ancienne du Parc National Pisgah dans le sud-ouest du New Hampshire. La végétation est caractérisée par des feuillus tolérants avec pruche. L'étude a été faite à partir de la consultation de données de différentes sources ainsi que par diverses techniques de terrain portées sur une superficie d'environ 2000 ha. Il trouva que le régime des perturbations était caractérisé par des événements locaux fréquents, tels les vents, les orages, les insectes pathogènes et le feu ainsi que par des ouragans occasionnels à grande échelle. L'auteur démontre qu'en terme de fréquence, les perturbations par le feu arrivent en deuxième lieu, mais sont en même temps les moins répandues. En tout, il a trouvé 10 feux, la majorité ayant eu lieu alors que la possibilité d'ignition par les colonisateurs européens était possible. Il note que plusieurs peuplements de pins et de pruche avaient comme origine un feu majeur survenu en 1665.

Frelich et Lorimer (1991) décrivent le régime des perturbations naturelles de 3 réserves de forêts feuillues tempérées (feuillus tolérants avec pruche) dans l'ouest du Michigan en basant leur étude sur des techniques de terrain de reconstruction de l'historique de site. Leur objectif était de calculer les cycles des perturbations naturelles de différentes intensités. Pour l'ensemble des trois réserves, ils ont trouvé des intervalles de retour pour tous les types de feux (feux de surface et de couronne confondus) de 956 ans pour la période entre 1890 et 1980 et de 522 ans pour la période de 1890 à 1930. Étant donné que pour la période 1890-1930, la fréquence de feux peut avoir été augmentée par la colonisation et que pour la période 1930—1980, la fréquence peut avoir été diminuée (suppression des feux), ils proposent que le cycle naturel des feux doit se trouver entre ces deux limites, soit ~ 740 ans. Étrangement, ils soutiennent que, de façon générale, ce qui a été trouvé est constant avec l'intervalle de retour pour le feu de 1400 ans des peuplements de feuillus tolérants avec pruche dans le nord du Michigan estimé par Whitney (1986).

Loope (1991) a examiné les différents patrons d'occurrence des feux à l'intérieure de la région de Pictured Rocks National Lakeshore (PRNL) au Michigan pendant les périodes d'avant et après colonisation. L'auteur s'est servi de sections transversales d'individus (pins rouges et pins blancs) vivants et de souches cicatrisées pour réaliser son étude. Les indices de feu sont apparus presque exclusivement sur des sols sableux et extrêmement bien drainés. Aucune trace de feu n'a été retrouvée dans les forêts de feuillus tolérants.

Le tableau 4 tente de résumer les différentes informations retrouvées dans la littérature sur les feux en forêts feuillues. On constate qu'il y a des variations importantes quant aux intervalles de retour (variant de 22 ans à 2 000 ans). On remarque également que plus la présence de peuplements résineux est élevée plus les intervalles de retour sont petits (22 ans pour les forêts de pins de Frissel, 1973; 100 ans en moyenne pour les peuplements quasi boréaux de Heinselman, 1973).

Tableau 4: Tableau récapitulatif des statistiques, retrouvées dans les articles cités, relatives aux perturbations par le feu.

Auteur (s)	Perturbation	Étendue d'un événement	Intervalle de retour	Type de forêt	Surface d'étude (ha)	Endroit
Heinselman (1973)	feu	—	50-200 ans	Quasi boréale	417	Minnesota (BWCA ¹)
Frissel (1973)	feu	242-13 317 ha	22 ans	Pins et Feuillus	12 972	Minnesota (Parc l d'Itasca)
Lorimer (1977)	Feux majeurs	10 000 - 80 000 ha	806 ans ou 1923 ans	conifère-feuillus	1 650 000	Maine
Lorimer (1977)	Feu (autres)	0.3 -3.2 km	—	conifère-feuillus	1 650 000	Maine
Bormann et Likens (1979)	feu	—	peu ou pas d'incidences	feuillus	405 000	Nouvelle Angleterre
Wein et Moore (1979)	feu	100 -30 000 ha	1000 ans	L'ensemble des peuplements	5 353 000	Nouvelle Écosse
Wein et Moore (1979)	feu	—	2000 ans	peuplements de feuillus	1 629 000	Nouvelle Écosse
Whitney (1986)	Feu	—	1400 ans	Pruche-Feuillus tolérants	278 000	Michigan
Foster (1988)	Feu	—	—	Pruche-Pin Blanc-Feuillus tolérants	2 000	New Hampshire
Frelich et Lorimer (1991)	feu	—	~750 ans	Feuillus tolérants et pruche	23 000	Michigan ouest
Loope (1991)	aucune trace de feu	—	—	conifère-feuillus	—	Michigan (PRNL ²)

¹ Bounary Waters Of Canoe Area Region

² Pictured Rocks National Lakeshore

Parmi ces études, celles de Lorimer (1977) au Maine et celles de Whitney (1986) et Frelich et Lorimer (1991) au Michigan semblent avoir été réalisées dans des forêts fort semblables à celles rencontrées au Québec, plus spécifiquement en Outaouais. Ces auteurs ont obtenu des résultats qui se rapprochent grandement de celui que nous avons obtenu. Toutefois, il demeure toujours possible qu'en raison de notre situation plus nordique et de la présence de peuplements résineux qui en découlent, il y ait plus d'incidence de feux au Québec. Par ailleurs, l'ensemble des études montrent que les registres gouvernementaux peuvent être très utiles pour l'évaluation du cycle de feux. À notre connaissance, il n'existe pas de tels registres disponibles au Québec, mais la question vaudrait la peine d'être fouillée plus en profondeur d'autant plus que les photos aériennes anciennes ne sont pas disponibles pour tous les secteurs de la forêt feuillue du Québec.

5.2 Les Chablis (zones de chablis):

À partir des photographies aériennes de 1930, nous n'avons pu distinguer clairement aucune zone de chablis. Il demeure possible que certaines petites perturbations que nous avons interprétées en tant que feu soient en fait des zones de chablis. Ces superficies demeurent peu significatives à l'échelle du territoire. Il est possible aussi que la méthode utilisée - photos aériennes anciennes - ne soit pas la meilleure pour évaluer l'intervalle de retour pour les chablis. En effet, la mauvaise qualité des photos couplée à la possibilité que les chablis ne soient évidents sur les photos que sur une courte période - en raison de la réponse rapide de la végétation – diminuent le potentiel de la méthodologie.

Nous avons par contre consulté la base de données de la contenance des cartes forestières des deuxième et troisième décennaux de l'Unité de gestion Basse-Lièvre (072) en Outaouais (cette unité touche en partie au territoire d'étude). Il est possible à partir de cette base de données d'évaluer les superficies atteintes par des chablis pour le territoire. Les résultats des requêtes dans la base de données sont présentées au tableau 5; malheureusement, les cartes forestières numérisées n'étaient pas disponibles de sorte qu'il n'est pas possible de présenter de figures. Que l'on utilise les données du 2^{ème} ou du 3^{ème} décennal, les résultats mènent à penser que l'intervalle de retour pour les chablis est très long pour la région, soit entre 3900 et 6800 ans. Ces résultats doivent être interprétés avec **grande prudence**, car les chablis représentent un type de perturbations relativement difficile à identifier par photo-interprétation. Il est intéressant de vérifier les résultats obtenus sur d'autres territoires.

Tableau 5: Estimation de l'intervalle de retour de chablis pour l'Unité de gestion Basse-Lièvre

Perturbation-Décennal	Fréquence	Superficie atteinte	Superficie du territoire forestier (ha) ¹	Proportion atteinte /an ²	Intervalle de retour (années) estimés ²
Chablis partiel (2ème)	21	123	152870	0,016	
Chablis total (2ème)	32	133	152870	0,017	
Ensemble du 2^{ème} décennal	53	256	152870	0,025	3930
Chablis partiel (3ème)	25	321	450 962	0,014	
Chablis total (3ème)	16	170	450 962	0,008	
Ensemble du 3^{ème} décennal	41	491	450 962	0,015	6822

¹ La superficie du territoire pour le 2^{ème} décennal n'inclut que la forêt publique alors que pour le troisième décennal, la forêt privée est incluse.

² La proportions atteintes/an et les intervalles de retour ont été calculées en posant comme hypothèses que les chablis n'étaient clairement présents que pour une période de 5 ans et, que les chablis partiels atteignent 50% de la superficie des peuplements.

De nombreux facteurs influencent la susceptibilité d'une forêt aux chablis :

- les espèces présentes (Spurr et Barnes 1980, Foster 1988, et autres)
- l'âge et la structure (les forêts plus âgées et plus ouvertes étant plus susceptibles (Runkle 1990)
- les caractéristiques du site (pente , profondeur du sol) (Spurr et Barnes 1980, Runkle 1985) autres)
- la physiographie de la région (Canham and Loucks 1984, Foster 1988)
- la structure de la forêt environnante (Spurr et Barnes 1980)
- les caractéristiques de la tempête en cours (Spurr et Barnes 1980, Sousa 1984)

Lorimer (1977), dont l'étude a été discutée plus haut, estime l'intervalle de retour moyen pour un chablis majeur (couvrant au moins 25 ha) à environ 1150 ans. Les individus renversés par les vents survenaient à un taux de 2.6% du territoire sondé (1.65×10^6 ha). Cependant, la majorité de ces chablis étaient confinés aux forêts de conifères, seulement quelques uns survenant dans des sites mixtes. L'auteur suggère que la majorité de ces chablis résultent probablement d'un seul gros orage survenu en 1795.

Canham et Loucks (1984) ont étudié la fréquence et l'étendue des chablis catastrophiques dans les forêts du pré-coloniales Wisconsin à l'aide d'anciens registres gouvernementaux, datant des années 1830-1873. Les peuplements de feuillus tolérants avec pruche occupent un territoire de 6 560 000 ha, dans lequel la grande majorité des zones de chablis ont été retrouvées. Quatre cent treize (413) zones de plus de 1.0 ha y ont été répertoriées, couvrant 67 775 ha au total. On estime la taille moyenne d'une zone de chablis à 93.2 ha., la plus grande étant de 3785 ha. La fréquence annuelle de chablis catastrophiques pour ces peuplements a été calculée à 51,8 zones de plus de 1.0 ha couvrant au total 4828 ha annuellement. À cette allure, cela prendrait 1210 ans pour qu'une surface égale à la grandeur de toute la région des feuillus tolérants (intervalle de retour) soit perturbée par des vents catastrophiques agissant sur des zones de forêt plus grandes que 1.0 ha. Il est important de souligner qu'il existe trois principales sources de vents violents dans l'état du Wisconsin; les orages, les tornades et des systèmes sévères de basse pression. Contrairement à ce qu'a obtenu Lorimer (1977), les chutes dues aux vents dans les forêts pré-coloniales du Wisconsin sont survenues dans tous les types de forêts. De plus, l'orientation et la distribution des chablis suggèrent que plusieurs orages indépendants et d'intensités différentes sont responsables des perturbations enregistrées.

Whitney (1986), afin de reconstruire la végétation originale de deux comtés dans le Michigan, a rapporté des perturbations par les vents allant de 0.06km à 1.2km en largeur et de 0.20km à 2.8km en longueur. Ces perturbations représentent 1.2% du territoire sondé (278 00 ha) et étaient concentrées principalement dans les forêts de feuillus tolérants avec pruche et de conifères humides, avec un intervalle de retour de 1220 ans pour le premier groupe. Ces résultats concordent avec ceux

obtenus par Canham et Loucks (1984) et ceux de Lorimer (1977) présentés plus haut.

Ce sont les vents violents, particulièrement les ouragans, qui ont eu un plus grand impact sur la végétation de la forêt ancienne Pisgah dans le New Hampshire entre 1905 et 1985 Foster (1988). Un total de douze orages historiques furent enregistrés. La forêt était continuellement en train de se réajuster aux dommages provoqués par les vents à grande échelle, d'intensités variables. L'auteur ne fournit pas d'information concernant le cycle de chablis.

Les quelques études recensées sur les intervalles de retour de chablis sont résumées au tableau 6.

Tableau 6: Tableau récapitulatif des intervalles de retour retrouvés dans les différentes études des perturbations naturelles par le chablis en forêts feuillues.

Auteur (s)	Étendue d'un événement	Intervalle de retour	Type de forêt	Endroit
Lorimer (1977)	Zone couvrant au moins 25 ha	1150 ans	Conifère-feuillus	Maine
Canham et Loucks (1984)	Zone de 93.2 ha en moyenne	1210 ans	Pruche-feuillus tolérants	Wisconsin
Whitney (1986)	—	1220 ans	Pruche-Pin Blanc-Feuillus tolérants	Michigan
Foster (1988)	—	—	Pruche-Pin Blanc-Feuillus tolérants	New Hampshire

L'ensemble des auteurs arrivent à des conclusions semblables quant à l'intervalle, soit approximativement 1200 ans. Cela signifie donc qu'en moyenne 0.08% du territoire est affecté par les chablis chaque année. Est-il possible d'évaluer à partir de ces études à quoi ressemble le régime de chablis en forêt feuillue au Québec? En théorie, si on regarde les facteurs influençant la susceptibilité au chablis (présentés plus tôt dans cette section), il est difficile d'affirmer que les caractéristiques de la forêt feuillue d'ici sont différentes de celles qui prévaut ailleurs. Il est possible par contre que les tornades soient plus fréquentes dans la région étudiée par Canham et Loucks (1984) qu'au Québec en raison de la

proximité de cet état des Grands Lacs. Les données que nous avons recueillies à cet effet vont dans ce sens. Chaque année, on compte de 3 à 6 tornades par année pour l'ensemble du Québec (585 860 km²) (Marc Gélinas, Environnement Canada, communication personnelle) alors que pour le Wisconsin (56 088 km²), le nombre moyen serait de 18 (Grazulis, 1993). Ces données doivent être interprétées avec précaution, car on ne sait pas si la définition de tornade est la même et, car la quantité de stations météorologiques par unité de surface n'est sans doute pas comparable. Il demeure tout de même fort possible que les chablis dus à des vents violents soient moins fréquents au Québec qu'au Wisconsin.

5.3 Les perturbations légères

Si les photos aériennes anciennes n'ont pu nous aider à identifier des zones de chablis, il est bien évident qu'elles ne pouvaient nous aider à identifier des perturbations légères à l'échelle d'un ou quelques arbres. D'ailleurs, on ne s'attendait pas à pouvoir le faire. La présente section est ainsi dédiée à une revue de littérature afin d'évaluer comment ce type de perturbations influence les forêts feuillues du Québec.

Bormann et Likens (1979b), dans les forêts feuillues des White Mountains en Nouvelle Angleterre, observent que des ouvertures allant d'un seul arbre à quelques individus se sont produites régulièrement. Ces auteurs n'offrent pas de résultats précis, mais soulignent toutefois que les forêts feuillues nordiques pré-coloniales pour cette région sont sujettes aux perturbations fréquentes par les vents, mais ce, à une échelle modeste.

L'étude de Lorimer (1980) avait pour but de rapporter des indices sur la fréquence et la sévérité des perturbations naturelles dans une forêt feuillue ancienne caractérisée par les essences typiques de la région des forêts décidues de l'est des États-Unis. Cette étude a été réalisée à l'aide des distributions par fréquence de diamètre, des régressions âge-diamètre, et des analyses des patrons de croissance radiale. Le régime des perturbations retrouvé est caractérisé par des perturbations plutôt légères (moins de 10% d'enlèvement du couvert forestier) distribuées en zones individuelles. Ils ont recensé 8 perturbations pour les derniers 259 ans.

Afin de caractériser le régime des perturbations d'un type de végétation, Runkle (1982) a choisi différents sites d'études, à l'intérieur de plusieurs forêts tempérées de l'est des États-Unis, où prédominaient les petites perturbations. C'est-à-dire, un régime des perturbations caractérisé par de petites trouées créées soit par la mort complète ou partielle d'un seul arbre de couvert, soit par la mort de quelques individus (jusqu'à une superficie de 2009m²). Il trouva que les perturbations à l'échelle d'un seul arbre mort représentaient une fraction significative de l'ensemble du territoire, ce qui signifie que même les plus petites perturbations apportent des

possibilités de régénération pour les espèces forestières. Le taux d'apparition des trouées était d'environ 1%/an ce qui est similaire aux taux de perturbation retrouvé dans d'autres études sur les forêts nordiques de conifères (Heinselman 1973). L'intervalle de retour fut établi à environ 100 ans, variant entre 50 et 200 ans. Il précise que l'intervalle de retour est égal à la moyenne entre l'âge moyen auquel un arbre atteint la canopée et l'âge de sa mort.

Frelich et Lorimer (1991), dans le cadre de la description du régime des perturbations naturelles de 3 réserves de forêts feuillues tempérées dans l'ouest Michigan, ont rapporté qu'environ 60% des arbres pénètrent le couvert grâce à la formation périodique de petites trouées et d'épisodes de perturbations légères retirant moins de 20% du couvert. Les auteurs soulignent que ces épisodes de destruction partielle ont une influence majeure sur l'étendue structurelle des peuplements. Les estimés des intervalles de retour par type de perturbations allaient de 69 ans pour une destruction de plus de 10 % du couvert à plus de 1500 ans pour une destruction de plus de 60% disparaissait. Les taux moyens de formation de trouées pour tous les sites considérés se situe entre 5.7% et 6.9% par dizaine d'années, ce qui signifie un intervalle de retour (tout type de perturbations confondues) entre 145 et 175 ans.

Les études présentées démontrent que les petites trouées, créées par la tombée d'un seul à plusieurs gros arbres, surviennent fréquemment dans les forêts feuillues tempérées, couvrant de 0.45-2.0% du territoire annuellement. Pour ce type de perturbations, on s'accorde généralement dans la littérature pour un cycle moyen de 1%.

Il est difficile d'identifier des facteurs précis qui feraient en sorte que l'intervalle de retour des perturbations légères serait différent de celui observé dans le nord-est américain. En effet, les essences du Québec et de cette région sont très semblables. Par contre, si les feux sont plus importants au Québec que dans cette région - ce qui reste à démontrer clairement - cela implique que les écosystèmes composés d'espèces pionnières seraient naturellement plus nombreux ici. Étant donné que le temps nécessaire à ces espèces pour atteindre la canopée et que leur longévité sont généralement plus courts, le nombre de perturbations dues à la chute d'un arbre pourrait être plus élevé ici que dans le nord-est américain. Ce sont là des hypothèses qui demeurent à vérifier.

5.4 L'importance relative des perturbations et implications pour l'aménagement

La figure 8 est tirée de Runkle 1990; elle représente une carte des perturbations retrouvées dans divers secteurs de forêts feuillues de l'est des États-Unis. L'auteur fait remarquer que plusieurs forêts, particulièrement celles localisées près du centre, se renouvellent principalement par voie de trouées. Les perturbations à grande échelle surviennent dans toute l'étendue géographique du biome mais sont plus importantes en bordure de celui-ci (les ouragans affectent davantage les forêts

près du littoral). Les feux se retrouvent surtout près des bordures des forêts décidues de l'est. L'auteur souligne que, pour la sous-région nordique de la forêt feuillue, l'importance accrue des feux peut être due à la présence plus importante des essences résineuses.



Figure 8 : Distribution géographique des perturbations pour les forêts décidues de l'est des États-Unis. F et f représentent les endroits où le feu est d'importance majeure et mineure respectivement; B et b, où les chablis sont d'importance majeure et mineure respectivement; G et g, où les trouées sont d'importance majeure et mineure respectivement. Le fait qu'un facteur soit représenté comme majeur ou mineur dépend un peu de la nature de l'étude; pour une étude qui se concentre sur un type de perturbations en particulier, la perturbation sera classifiée comme un événement majeur même si rien dans l'étude n'a spécifié à quel point cette perturbation est représentative de la région quelle occupe en général.

D'après la littérature consultée, les perturbations légères constitueraient donc le type de perturbations le plus important, en termes de superficies, soit 1 % de la forêt touchée en moyenne annuellement; il est peu probable qu'il en soit bien différent en forêt feuillue québécoise. Les feux semblent avoir une grande importance pour notre territoire ce qui concorde avec Runkle, mais les chablis, contrairement à ce qu'expliquait le même auteur, semblent être d'une importance relative faible pour notre région.

Nos résultats indiquent que 0,15% du territoire serait affecté par le feu chaque année. Pour les chablis, la présente étude ne peut rien conclure. Nous allons ainsi demeurer prudents en terme de superficie annuelle atteinte et considérer que les chablis touchent 0,05% du territoire annuellement. Cela signifie donc que pour le territoire à l'étude, les micro-perturbations occupent, en termes de superficie, cinq ($1\% / (0,15\% + 0,05\%)$) fois plus d'importance que les perturbations par le feu et le vent. Si on transpose ceci en termes d'aménagement forestier, les traitements sylvicoles qui créent des micro-perturbations (ex. : coupe de jardinage) devraient couvrir une surface terrière 5 fois plus importantes que les traitements qui créent de grandes perturbations (ex. : coupe totale, coupe progressive, etc.). Pour rapporter ceci en superficies, on peut d'abord émettre l'hypothèse que la coupe de jardinage (30% de surface terrière) ne touche que 30% de la superficie du territoire aménagé par ce système sylvicole. Par exemple, si un peuplement de 100 ha est aménagé par coupe de jardinage, c'est en réalité 30 ha de superficie qui sont directement récoltés. Pour respecter le ratio 1/5 perturbations majeures/micro-perturbations en termes de superficies d'aménagement, il faut donc multiplier par 3,33 ($100/30$) la portion aménagée par coupe de jardinage². On obtient de cette façon un rapport de $\sim 1/17$ aménagement équienne/aménagement inéquienne. Ainsi, pour un territoire de 100 000 ha, cela signifie que 5882 ha devraient être aménagés par système équienne et 94 118 ha par système inéquienne. Cette proportion (1/17) ne constitue pas une règle établie; elle reste à vérifier par des travaux plus poussés.

En termes d'aménagement forestier, il ne suffit pas de s'assurer que l'aménagement actuel d'un territoire donné respecte cette proportion aménagement équienne vs inéquienne. Il faut aussi et surtout s'assurer que les perturbations créées permettent de retrouver un paysage d'écosystèmes forestiers, en termes de quantité et d'agencement, comparable à un paysage régi par un régime des perturbations naturelles. Ce paysage naturel est possiblement affecté par les dépôts de surface. Malheureusement, les cartes numérisées des dépôts ne sont pas encore disponibles pour la région de telle sorte que l'on ne peut définir cette tendance pour le territoire. Ainsi, la présente étude, bien qu'elle jette les bases d'une telle gestion, ne permet pas de décrire un paysage forestier « naturel »; cela nécessite des études plus poussées. L'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF) projette d'ailleurs d'utiliser les résultats de la présente étude pour modéliser la croissance de la forêt (à l'aide du logiciel LANDIS – Mladenoff *et al.* 1996) sous un régime des perturbations naturelles.

En appuyant l'idée que les perturbations naturelles doivent guider l'aménagement des forêts, le présent rapport prône donc, dans une certaine mesure, le retour de l'aménagement équienne en forêt feuillue. Cette proposition est guidée par des considérations écologiques et scientifiques. **Les auteurs croient toutefois que**

² Le nombre 30 provient d'un jardinage 30%. Si on croit que le jardinage habituellement fait se rapproche plus de 35%, il faudrait donc multiplier par un facteur de 2,86 ($100/35$). On obtiendrait ainsi un rapport $\sim 1/14$ aménagement équienne vs aménagement inéquienne.

les considérations sociales et économiques doivent être aussi évaluées avant d'aller de l'avant avec l'aménagement équiennne en forêt feuillue. Cela dit, les paragraphes qui suivent concernent principalement les aspects forestiers de l'aménagement équiennne en forêt feuillue, hormis une proposition d'agencement de coupes visant à concilier les enjeux sociaux, écologiques et forestiers.

L'aménagement équiennne ne doit pas être considéré synonyme de coupe à blanc ou coupe totale. En effet, la coupe avec réserve de semenciers, la coupe par bandes ou la coupe progressive d'ensemencement représentent des types de coupes qui pourraient offrir des potentiels intéressants dans des conditions spécifiques. Il serait d'ailleurs pertinent que l'on profite de l'utilisation de l'aménagement équiennne pour augmenter la productivité du territoire et augmenter les proportions d'essences à haute valeur ajoutée, tels le pin blanc, le chêne rouge et le bouleau jaune. Voici une liste, non-exhaustive, de mesures que l'on pourrait suivre pour atteindre ces objectifs de productivité et de composition en essences.

- ⇒ Les peuplements dégradés présentant une faible qualité devraient être traités en priorité. Toutefois, on devra s'assurer a) de laisser sur le parterre de coupe des arbres semenciers de bonne qualité et/ou b) que les peuplements environnants contiennent des arbres intéressants en termes de qualité et d'essences;
- ⇒ Les sites traités devraient présenter un potentiel pour les essences dont on cherche à augmenter la proportion régionale;
- ⇒ On devrait procéder à un scarifiage du sol après coupe quand les espèces-cibles - tels le bouleau jaune et le pin blanc - le requièrent;
- ⇒ On devrait évaluer, à l'aide d'un programme de suivi à long terme, les effets réels des coupes en tentant d'identifier les facteurs qui mènent à un échec ou à une réussite en termes de régénération;
- ⇒ On devrait prévoir des activités de dégagement de compétition et/ou d'éclaircie pré-commerciale;
- ⇒ On devrait assurer un regarni, lorsque nécessaire, tout en essayant d'éviter d'y recourir;
- ⇒ Dans le cas de l'utilisation de la coupe à blanc, ce serait sans doute une erreur d'utiliser sa variante présentement utilisée en forêt résineuse, la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS). La CPRS aurait probablement pour effet de favoriser la régénération en place, la plupart du temps composée d'espèces tolérantes déjà favorisées par la coupe de jardinage. Enfin, la protection des sols (absence de scarification) aurait pour effet de diminuer le potentiel d'établissement d'essences désirées tels le pin blanc et le bouleau jaune.

Comme le présente la figure 6, les perturbations ayant affecté le territoire sont généralement de grande envergure. Cela porte à croire que le territoire est naturellement peu fragmenté. À cet égard, les coupes par parquets nouvellement instaurées dans le manuel d'aménagement forestier du Québec (MRN, 1998) sont

difficilement justifiables puisqu'elles auront inévitablement pour effet de morceler le territoire. D'ailleurs ce type de coupe, en termes de superficies, ne semble mimer aucun type de perturbations naturelles recensées sur le territoire, que ce soit les feux, les zones de chablis ou les micro-perturbations.

La littérature scientifique abonde sur la caractérisation du régime des perturbations naturelles et sur la nécessité de s'en servir comme base à l'aménagement forestier. Toutefois, cette même littérature discute peu des possibilités qui s'offrent aux aménagistes pour solutionner le problème de l'agencement des coupes. Une répartition « aléatoire » des coupes (équiennes) sur le territoire aurait sans doute un effet de fragmentation du territoire. Inversement, concentrer les aménagements équiennes, année après année sur la même portion du territoire, pourrait être perçue socialement de la même façon qu'une grande coupe à blanc. Nous proposons ici, humblement, une approche qui tente de concilier les enjeux sociaux, écologiques et forestiers.

Si pour un territoire donné, la superficie aménagée de façon équienne approche 200 ha/an, cette superficie n'a pas à être d'un seul tenant. La figure 7 présente une portion fictive de territoire 175 ha; chaque sous-section présente une superficie de ~ 25 ha. Les extrémités du territoire seraient aménagées la première année pour un total de 50 ha. Cela implique donc que d'autres territoires de coupes semblables devraient être planifiés la même année pour obtenir 200 ha/an en aménagement équienne. Nous proposons d'attendre 3 ans avant d'aménager les secteurs adjacents (an 4 à la figure 9). Cette attente permettra, d'une part de minimiser en partie l'impact visuel de la coupe et, d'autre part, de vérifier si la coupe a rencontré les objectifs de régénération. Deux autres attentes de 3 ans sont nécessaires avant de couper les autres sections (an 7 et an 10, figure 7). Bien évidemment, durant les années d'attente, d'autres secteurs doivent être prévus afin d'atteindre l'objectif de 200 ha d'aménagement équienne/an. Nous émettons donc l'**hypothèse** que cette façon de faire permettrait de diminuer l'impact visuel des coupes à blanc en raison de la croissance rapide de la régénération et de diminuer la fragmentation du territoire comparativement à des coupes d'égales superficies effectuées ici et là sur le territoire. Cette proposition s'applique principalement aux coupes dites totales et non pas à tous les types de systèmes d'aménagement inéquienne. En effet, certains systèmes telles la coupe progressive d'ensemencement ou la coupe avec réserve de semenciers intègrent déjà cette notion d'espacement des coupes dans le temps.

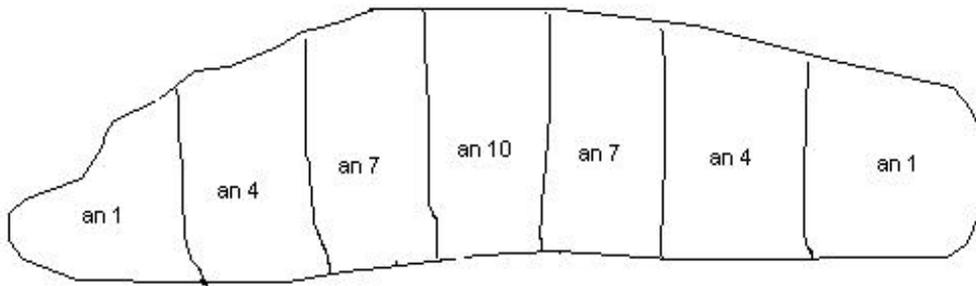


Figure 9 : Représentation schématique d'un territoire dont l'aménagement équienné est étalonné sur une période de 10 ans. Superficie du territoire de coupe = 175 ha; chaque section présente une superficie approximative de 25 ha

Finalement, il est nécessaire de spécifier que ni l'aménagement inéquienne pratiqué actuellement, ni l'aménagement équienné ne permettent de développer ou maintenir des forêts anciennes. Les gestionnaires de la forêt (MRN, Industrie, Forêt privée) devraient adopter une politique concertée à l'égard des forêts anciennes. Runkle (1991) propose une piste intéressante à cet égard (section 1). Cette approche gagnerait certainement à être testée dans les prochaines années.

6 Conclusion et suggestions

L'utilisation de photographies aériennes anciennes telle qu'utilisées dans ce rapport présente, malgré ses imperfections, un potentiel intéressant pour l'évaluation du régime des feux; son potentiel semble plus faible pour les chablis. Il existe différentes façons de préciser ou de confirmer les résultats obtenus selon cette méthodologie. L'utilisation de données d'autres périodes comme nous l'avons fait avec les rapports d'incendies constitue une de ces façons. Idéalement, chacune des perturbations serait visitée pour vérifier son contour et son âge exacts. De plus, si une deuxième série de photographies s'avère disponible et utilisable, l'incertitude, reliée à la possibilité que la période couverte par les photos ne soit pas représentative des autres périodes, diminue grandement.

Les résultats obtenus avec l'utilisation des photographies aériennes et la revue de littérature montrent que les feux auraient une influence non négligeable sur la forêt feuillue. Nous apportons comme hypothèse que les perturbations légères (trouées d'un ou plusieurs arbres) auraient une importance relative 5 fois plus grande que les perturbations sur de grandes superficies - feux et chablis combinés. Bien que cette hypothèse reste à vérifier, il demeure que l'aménagement forestier devrait s'inspirer du fait que naturellement, il se crée en forêt feuillue des perturbations sur de grandes superficies. Nous prôtons donc un retour, en partie, de l'aménagement équienné en forêt feuillue. Ce retour doit être très bien planifié tant sur les plans forestiers que sociaux.

La présente étude constitue une base intéressante pour des projets de recherche plus appliqués. À titre d'exemples, il serait fort intéressant d'utiliser le régime naturel des perturbations décrit dans la présente étude à l'intérieur du Logiciel LANDIS (Mladenoff *et al.* 1996). Ce logiciel permet de modéliser la croissance de la forêt en fonction d'un régime de perturbations et des caractéristiques écologiques des espèces afin d'obtenir différents paysages forestiers « naturels ». Ces paysages peuvent ensuite servir de base à la planification forestière. Des inventaires des superficies brûlées, des peuplements rémanents et des peuplements autour des feux permettraient d'identifier les espèces favorisées en fonction de l'intensité des feux et des sources de semenciers. Ces informations permettraient de guider l'aménagiste vers des traitements sylvicoles dont les effets se rapprocheraient plus des perturbations naturelles.

Liste de références

- ABRAMS, M.D. 1992. Fire and the development of oak forests. *Bioscience*. 42(5): 346-353.
- AHLGREN, I.F. et AHLGREN, C.E. .1960. Ecological effects of forest fires. *Botanical Review* 483-517.
- BERGERON, Y., B. HARVEY, L. LEDUC, ET S. GAUTHIER. 1999. Stratégies d'aménagement forestier qui s'inspirent de la dynamique des perturbations naturelles: considérations à l'échelle du peuplement et de la forêt. For. Chron. Vol 1.
- BORMANN, F.H. et LIKENS, G.E. 1979a. Catastrophic disturbance and the steady state in northern hardwood forests. *American Scientist*. 67: 660-669.
- BORMANN, F.H. et LIKENS, G.E. 1979b. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York. 253pp.
- BURNS, R.M. et HONKALA, B.H. 1990. Silvics of North America: 1. Conifers. Agricultural Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, forest Service, Washington, DC. 675pp.
- BURNS, R.M. et HONKALA, B.H. 1990. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agricultural Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, forest Service, Washington, DC. 877pp.
- CANHAM, C.D. et LOUCKS, O.L. 1984. Catastrophic windthrow in the presettlement forests of Wisconsin. *Ecology*. 65(3): 803-809.
- DENSLOW, J.S. 1980. Patterns of plant species diversity during succession under different disturbance regimes. *Oecologia*. 46: 18-21.
- DUINKER, P. N., F. DOYON, R. MORASH, AND L. VAN DAMME. 1997. Background and Structure: Biodiversity Assessment Project of Millar Western Industries Ltd. and Alberta Newsprint Company Ltd. BAP Report 1. Lakehead University, Thunder Bay, Ontario. 30pp.
- DUNN, C.P., GUTENSPERGEN, G. R. et DORNEY, J.R. 1983. Catastrophic wind disturbance in an old-growth hemlock-hardwood forest, Wisconsin. *Canadian Journal of Botany*. 61: 211-217.
- FOSTER, D.R. 1988. Disturbance history, community organisation and vegetation dynamics of the old-growth Pisgah forest, south-western New Hampshire, U.S.A. *Journal of Ecology*. 76: 105-134.
- FOSTER, D.R. et ZEBRYK, T.M. 1993. Long-term vegetation dynamics and disturbance history of a *Tsuga*-dominated forest in New England. *Ecology*. 74(4): 982-998.

- FRELICH, L.E. et LORIMER, C.G. 1991. Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper great lakes region. *Ecological monographs*. 61(2): 145-164.
- FRISSELL, S.S. 1973. The importance of fire as a natural ecological factor in Itasca State Park, Minnesota. 3: 397-407.
- GRAZULIS, T. P. 1993. Significant Tornadoes. 1340 p. <http://tornadoproject.com>.
- HEINSELMAN, M. L. 1973. Fire in the Virgin Forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quaternary research*. 3: 329-382.
- HIBBS, D.E. 1982. Gap dynamics in a hemlock-hardwood forest. *Canadian Journal of forest Research*. 12: 522-527.
- HUNTER, L.H. Jr. 1990. Wildlife, forests, and forestry. Principles of managing forests for biological diversity. 370p.
- HUNTER, M.L. 1993. Natural fire regimes as spatial models for managing boreal forests. *Biological conservation*. 65: 115-120.
- KRUGER, E..L. et REICH, P.B. 1997. Responses of hardwood regeneration to fire in mesic forest openings. I. Post-fire community dynamics. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 1822-1831.
- LOOPE, WALTER L. 1991. Interrelationships of fire history, land use history, and landscape pattern within Pictured Rocks National Lakeshore, Michigan. *The Canadian field-naturalist*. v 105 no 1.
- LORIMER, C.G. 1980. Age structure and disturbance history of a southern Appalachian virgin forest. *Ecology*. 61(5): 1169-1184.
- LORIMER, C.G. et FRELICH, L.E. 1994. Natural disturbance regimes in old-growth northern hardwoods; Implications for restoration efforts. *Journal of forestry*. 92(1): 33-38.
- LORIMIER C.G. 1977. The presettlement forest and natural disturbance cycle of northeastern Maine. *Ecology*. 58: 139-148.
- LORIMIER, C.G. 1989. Relative effects of small and large disturbances on temperate hardwood forest structure. *Ecology*. 70(3): 565-567.
- MLADENOFF, D.J. 1990. The relationship of the soil seed bank and understory vegetation in old-growth northern hardwood-hemlock treefall gaps. *Canadian Journal of Botany*. 68: 2714-2721.
- MLADENOFF, J. D., G. E. HOST, J. BEODER, AND T. R. CROW, 1996. LANDIS : a spatial model of forest landscape disturbance succession, and management. in GIS and Environmental Modeling : Progress and Research Issues, Goodchild M. F. et al. Ed. GIS World Inc.

- PETERSON, C. J. et PICKETT, S.T.A. 1991. Treefall and resprouting after windthrow. *Forest Ecology and Management*. 42: 205-217.
- ROBERTS, M. R. GILLIAM, F. S. 1995. Patterns and mechanisms of plant diversity in forested ecosystems; implications for forest management. *Ecological Applications*. 5(4): 969-977.
- ROBITAILLE, A. ET J.-P. SAUCIER .1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les publications du Québec. 213 p.
- RUNKLE , J.R. 1991. Gap Dynamics of old-growth eastern forests ; Management implications. *Natural Areas Journal*. 11(1): 19-25.
- RUNKLE, J.R. 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology*. 63(5): 1533-1546.
- RUNKLE, J.R. 1985. Disturbance regimes in temperate forests. Pages 17-33. dans PICKETT, S.T.A. et WHITE Éditeurs. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press inc. London. 472pp.
- RUNKLE, J.R. 1990. Gap dynamics in an Ohio *Acer-Fagus* forest and speculations on the geography of disturbance. *Canadian journal of forest research*. 20: 632-641.
- SERVICE CANADIEN DES FORÊTS. 1998. Solutions. Le bulletin du Service canadien des forêts. Automne-Hiver 1998.
- SICCAMA, T.S. 1971. Presettlement and present forest vegetation in northern Vermont with special reference to Chittenden County. *American midland naturalist*. 85: 153-172.
- SOUSA, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol.. Syst*. 15: 353-391.
- SPURR, S.H. et BARNES, B.V. 1980. Forest Ecology . The Ronald Press Co., New York. 571pp.
- WEIN, R.W. et MOORE, J.M. 1979. Fire history and recent fire rotation periods in the Nova Scotia Acadian Forest. *Canadian Journal of Forest Research*. 9: 166-178.
- WHITNEY, G.G. 1986. Relation of Michigan's presettlement pine forests to substrate and disturbance history. *Ecology*. 67(6): 1548-1559.

Annexe 1 : Tableau descriptif des réponses végétatives possibles à partir des modes de régénération et autres caractéristiques pertinentes pour les essences principales des forêts feuillues québécoises.

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Acer rubrum</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères et ailées efficacement dispersées par les vents · productivité élevée (ex: arbre de 30 cm de dhp peut produire jusqu'à 1 million de graines) · taux de germination variable · longue viabilité · production vigoureuse de rejets de souches · bourgeons en dormance présents à la base des tiges · racines en surface (dans les premiers 25 cm en surface) · crée réservoir de semis et de graines (survie ~ 4 ans) 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce tolérante, comparable à <i>Tilia americana</i> (Plus tolérante que <i>Betula alleghaniensis</i> et <i>Fraxinus americana</i>, moins que <i>Acer saccharum</i> et <i>Fagus gandifolia</i>) · semis généralement plus tolérants que les individus plus âgés · croissance rapide en bas âge mais ralentit par la suite (Plus rapide que <i>Acer saccharum</i>, <i>Fagus gandifolia</i> ou <i>Betula alleghaniensis</i>, plus lente que <i>Populus</i>, <i>Betula papyfera</i> ou <i>Fraxinus americana</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> · ++ <u>Présente avant perturbation :</u> Production vigoureuse de rejets de souche permettant à l'espèce de devenir plus important dans le peuplement après feu (1) Développement rapide des graines en réserve (1) Stimulation des bourgeons à la base des tiges (1) <u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères et abondantes) 	<ul style="list-style-type: none"> · ++ Développement rapide des graines en réserve (1) Production vigoureuse de rejets de souche Stimulation des bourgeons à la base des tiges Croissance rapide des semis (1,2) 	<ul style="list-style-type: none"> · + Espèce tolérante Croissance rapide des semis Suffisamment tolérante pour s'accroître (en nombre) suivant une perturbation légère ; ie d'autres essences n'auraient pas le temps de réagir à cause de la croissance latérale des individus du couvert forestier (1)

Annexe 1 : suite

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Acer saccharum</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères efficacement dispersées par le vent <i>i.e.</i> au moins 100 m) · productivité variable · germination des graines très élevée (95% et plus) · viabilité moyenne (moins d'une année) · production de rejets de souches · bourgeons en dormance présents à la base de la tige 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce très tolérante (comparable à <i>Fagus grandifolia</i>) · survie importante des semis supprimés · croissance lente en bas âge (attribuable à la pauvre quantité de lumière pousse à l'ombre) · réponse positive à la libération de lumière 	<ul style="list-style-type: none"> · + <p><u>Présente avant perturbation :</u> Bourgeons à la base des tiges stimulés par l'accès à la lumière (1) Production de rejets de souches par les individus blessés (1)</p> <p><u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères) Croissance rapide Haut taux de germination des graines</p>	<ul style="list-style-type: none"> · ++ <p>Réponse positive des semis supprimés, à l'augmentation de la lumière Bourgeons à la base des tiges stimulés par l'accès à la lumière (1) Production de rejets de souches par les individus blessés (1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · ++ <p>Espèce très tolérante</p>
<i>Betula alleghaniensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères dispersées par le vent (100-400 m) · productivité variable · viabilité variable · taux de germination des graines pauvre (20 %) · production moyenne de rejets de souches en bas âge · racines adaptables au milieu 	<ul style="list-style-type: none"> · tolérance intermédiaire (plus tolérant que d'autres <i>Betula</i>, mais moins tolérant que <i>Acer saccharum</i>, <i>Fagus grandifolia</i> et <i>Tsuga canadensis</i>) · croissance très lente · peu compétitif 	<ul style="list-style-type: none"> · + <p><u>Présente avant perturbation :</u> Semble avoir peu de chances de survie</p> <p><u>Absente avant perturbation :</u> Espèce pionnière après feu mais moins abondante que <i>Populus</i>, et <i>Betula papyfera</i> (1) Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères, sol perturbé,</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Production de rejets de souches (production de rejets augmente en fonction de la quantité de lumière)(1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Espèce peu tolérante</p> <p>Pauvre compétiteur avec régénération préalablement établit (1) Faible taux de germination des graines Troncs au sol</p>

	· graine requiert site perturbé (souches et monticules) et lumière pour se développer <i>i.e.</i> litière feuillus le nuit		lumière) (1,4,5,6) Croissance lente Faible taux de germination des graines		favorise l'établissement des semis
--	--	--	--	--	------------------------------------

Annexe 1 : suite

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Betula papyrifera</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères pouvant être dispersées sur de grandes distances (100 m) mais la majorité d'entre elles tombent à l'intérieur du peuplement où elles sont produites · productivité élevée · viabilité moyenne (~ 1 année) · production de rejets de souches · taux de germination variable mais supérieur sur sol minéral · racines en surface 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce intolérante · croissance rapide en bas âge mais décline avec le temps 	<ul style="list-style-type: none"> · ++ <u>Présente avant perturbation :</u> Production de rejets de souches <u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères, sol minéral disponible, lumière) Croissance rapide 	<ul style="list-style-type: none"> · ++ Production de rejets de souches Germination des graines en dormance (sol favorable) Croissance rapide 	<ul style="list-style-type: none"> · - Espèce intolérante
<i>Fagus grandifolia</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines lourdes (dispersion par la faune est restreinte) · productivité variable selon âge · taux de germination élevé sur sol minéral et litière feuillus · capacité de la graine de tomber en dormance · production vigoureuse de rejets de souches en bas âge 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce très tolérante, comparable à <i>Acer saccharum</i> · répond mal à la l'augmentation de l'intensité lumineuse libération lumineuse (semis de développent mieux sous un couvert forestier modéré que dans de grandes ouvertures · croissance lente 	<ul style="list-style-type: none"> · - <u>Présente avant perturbation :</u> Drageonnement induit par les blessures aux racines Défavorisée par intensité lumineuse trop élevée (croissance lente) (1) <u>Absente avant perturbation :</u> Semble avoir peu de chances de coloniser les lieux 	<ul style="list-style-type: none"> · - Drageonnement induit par les blessures aux racines Défavorisée par intensité lumineuse trop élevée (croissance lente) (1) 	<ul style="list-style-type: none"> · ++ Espèce très tolérante

	<ul style="list-style-type: none">· drageonne· vigoureusement· racines en surface				
--	---	--	--	--	--

Annexe 1 : suite

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Fraxinus americana</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines relativement légères (dispersées jusqu'à 140 m) · bonne productivité · capacité de la graine de tomber en dormance · production vigoureuse de rejets de souche · racines pénétrantes 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce tolérante en bas âge mais devient intolérante en vieillissant · semis peuvent survivre avec très peu de lumière mais croissance lente sous de telles conditions · croissance rapide en présence de lumière 	<ul style="list-style-type: none"> · + <p><u>Présente avant perturbation :</u> Production de rejets de souche Germination des graines en dormance</p> <p><u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères) Croissance rapide</p>	<ul style="list-style-type: none"> · ++ <p>Croissance rapide des semis présents Germination des graines en dormance Production de rejets de souche</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Espèce tolérante en bas âge</p>
<i>Pinus resinosa</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères (dispersées par les vents jusqu'à 275 m) · productivité moyenne · viabilité moyenne · taux de germination variable (requiert conditions spécifiques) · aucune reproduction végétative naturelle · racines modérément profondes 	<ul style="list-style-type: none"> · tolérance intermédiaire (comparable à <i>Prunus serotina</i>) · de très jeunes semis peuvent exister dans moins de 3 pour cent de lumière · croissance lente des individus en bas âge (surtout à l'ombre), s'accélère en vieillissant 	<ul style="list-style-type: none"> · +* <p><u>Présente avant perturbation :</u> Semble avoir peu de chances de survivre</p> <p><u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères) Germination difficile Croissance lente</p> <p>Le feu est le seul agent naturel capable de fournir la plupart des conditions requises pour la</p>	<ul style="list-style-type: none"> · - <p>Les chances que cette espèce se reproduise ailleurs qu'où il y a eu feu sont très minces (9)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · - <p>Tolérance intermédiaire</p>

			reproduction naturelle de cette espèce (9)		
--	--	--	---	--	--

Annexe 1 : suite

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Pinus strobus</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines relativement légères (dispersées par les sur une distance de 60 m à 210 m · productivité variable selon âge et milieu · meilleure germination sur sol minéral ou litière mince (10) · racines variables selon milieu 	<ul style="list-style-type: none"> · tolérance intermédiaire (peut tolérer jusqu'à 80% d'ombre) · réponse positive à une augmentation en intensité lumineuse (taux de croissance augmente avec intensité lumineuse) · croissance lente en bas âge (10 premières années) mais très rapide par la suite 	<ul style="list-style-type: none"> · +* <u>Présente avant perturbation :</u> Reconnu comme fréquent après feu Croissance rapide en présence de lumière <u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères) 	<ul style="list-style-type: none"> · + Fréquents après chablis (4) Croissance rapide en présence de lumière 	<ul style="list-style-type: none"> · - Tolérance intermédiaire
<i>Populus grandidentata</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines très légères et dispersées par les vents sur des grandes distances · productivité élevée (1.5 millions graines/arbre) · viabilité pauvre · taux de germination élevé · drageonne vigoureusement · rejets de souches et des collets racinaires sont rares mais plus fréquents que chez <i>Populus tremuloides</i> · racines en surface mais 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce très intolérante · croissance rapide les 30 premières années et diminue de façon importante par la suite · graines doivent être libérées de toute compétition · croissance des drageons est rapide également (assez pour surpasser ses compétiteurs) 	<ul style="list-style-type: none"> · +++ <u>Présente avant perturbation :</u> Drageonne vigoureusement (un peuplement tué par le feu produit entre 8000 et 60 000 tiges/ha par drageonnement (1) Croissance rapide <u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères et abondantes) Lieu libéré de la compétition Croissance rapide 	<ul style="list-style-type: none"> · + + Drageonne vigoureusement Croissance rapide 	<ul style="list-style-type: none"> · - Espèce très intolérante

	pénétrantes à la base de l'arbre ce qui lui donne un bon ancrage				
--	--	--	--	--	--

Annexe 1 : suite

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Populus tremuloides</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères dispersées sur plusieurs kilomètres · productivité élevée (~1,6 millions/arbre) · taux de germination élevée · viabilité pauvre · drageonne vigoureusement · croît sur une variété de sols mais apprécie sol minéral 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce très intolérante · croissance rapide les 20 premières années · croissance des drageons plus rapide que les semis 	<ul style="list-style-type: none"> · +++ <u>Présente avant perturbation :</u> Drageonne vigoureusement (feu stimule le drageonnement et prépare le sol pour l'établissement des semis (1)) Croissance rapide <u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement des grandes ouvertures (graines légères et abondantes) Croissance rapide 	<ul style="list-style-type: none"> · + + Drageonne vigoureusement Croissance rapide 	<ul style="list-style-type: none"> · - Espèce très intolérante
<i>Prunus serrotina</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines lourdes mais bien dispersées par la faune · productivité variable · bonne viabilité (peut créer d'importantes banques de graines) · taux de germination variable (graine requiert humidité adéquate) · production vigoureuse de rejets de souche · bourgeons en dormance présents sur 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce généralement intolérante mais tolérante en bas âge (semis survivent de 3 à 4 ans sous un couvert dense) · croissance des semis est rapide en présence de lumière (plus rapide que <i>Acer saccharum</i> et <i>Fagus gandifolia</i>) · croissance rapide des rejets de souche · pauvre compétiteur 	<ul style="list-style-type: none"> · + <u>Présente avant perturbation :</u> Production de rejets à moins que le feu soit exceptionnellement intense (1) Croissance rapide des rejets de souche <u>Absente avant perturbation :</u> Ensemencement par la faune, mais graine a besoin d'ombre pour germer (1) 	<ul style="list-style-type: none"> · + Croissance rapide des semis en présence de lumière (1) Production vigoureuse de rejets 	<ul style="list-style-type: none"> · - Espèce intolérante

	les collets racinaires · racines peu profondes				
--	---	--	--	--	--

Annexe 1 : suite

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Quercus rubra</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines lourdes dispersées sur de courtes distances par écureuils · productivité très variable · taux de germination est supérieure si la graine est en contact ou enterrée dans le sol minéral et couverte par litière feuillus · production vigoureuse de rejets de souche · bourgeons en dormance présents sur les collets racinaires · drageonne 	<ul style="list-style-type: none"> · tolérance intermédiaire (moins tolérant que <i>Acer saccharum</i>, <i>Fagus gandifolia</i> et <i>Tilia americana</i> mais plus tolérant que <i>Fraxinus americana</i> et <i>Prunus serrotina</i>) · croissance moyenne · rejets récents croient rapidement · lumière est un facteur déterminant dans la survie des semis 	<ul style="list-style-type: none"> · ++* <p><u>Présente avant perturbation :</u></p> <p>Le feu induit le drageonnement (1)</p> <p>Production vigoureuse de rejets de souche (croissance rapide de ceux-ci)</p> <p><u>Absente avant perturbation :</u></p> <p>Ensemencement possible par la faune</p> <p>Croissance moyenne</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Germination des graines (sol minéral disponible)</p> <p>Production de rejets de souche (croissance rapide de ceux-ci)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Tolérance intermédiaire</p> <p>Réponds bien aux perturbations de faible taille(7)</p> <p>Croissance latérale rapide (8)</p>
<i>Tilia americana</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines dispersées sur de courtes distances · productivité variable, souvent pauvre · capacité de la graine de tomber en dormance prononcée · taux de germination pauvre · production vigoureuse de rejets de souche · racines extensives en 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce tolérante (moins que <i>Acer saccharum</i>) · croissance rapide (semis et rejets de souche) · le développement des graines est meilleur à l'ombre mais trop d'ombre limite leur croissance et développement 	<ul style="list-style-type: none"> · + <p><u>Présente avant perturbation :</u></p> <p>Production vigoureuse et croissance rapide des rejets de souche; les rejets de souches du tilleul ont de plus grandes chances de remplacer une tige parente que l'a un semis d'<i>Acer saccharum</i> (1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Production vigoureuse et croissance rapide des rejets de souche</p>	<ul style="list-style-type: none"> · + <p>Espèce tolérante</p>

	surface	· croissance vigoureuse est improbable sous un couvert forestier dense	<u>Absente avant perturbation :</u> Semble avoir peu de chances de coloniser les lieux		
--	---------	--	--	--	--

Annexe 1 : suite et fin

Espèce	Caractéristiques influençant la régénération	Caractéristiques de croissance	Réponses possibles aux feux	Réponses possibles aux chablis	Réponses possibles aux perturbations légères
<i>Tsuga canadiensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> · graines légères mais peu dispersées (ailes petites) · productivité élevée · pauvre germination de la graine · graine facilement tuée par dessèchement (requiert taux d'humidité stable) · aucune production de rejets de souche · marcottage rare · racines fréquemment en surface mais peuvent varier selon les conditions du milieu 	<ul style="list-style-type: none"> · espèce très tolérante · croissance lente · répond bien à la libération de lumière · intensité lumineuse trop élevée résulte en une diminution de la croissance · écorce épaisse 	<p>· -</p> <p><u>Présente avant perturbation :</u> L'écorce épaisse des individus matures le protège contre les feux pas trop intenses (1) Semis très sensibles aux températures élevées et au dessèchement de la surface du sol (1)</p> <p><u>Absente avant perturbation :</u> Apprécie un sol minéral nu (si humide) Croissance lente</p>	<p>· -</p> <p>Les zones chablis trop importantes créées de grandes ouvertures et l'espèce ne supporte pas le stress en humidité qui s'y crée (9) Se régénère sur de vieilles souches (9)</p>	<p>· ++</p> <p>Espèce très tolérante</p>

(1) BURNS, R.M. et HONKALA, B.H. 1990. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agricultural Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, forest Service, Washington, DC. 877pp.

(2) FOSTER, D.R. 1988. Disturbance history, community organisation and vegetation dynamics of the old-growth Pisgah forest, south-western New Hampshire, U.S.A. *Journal of Ecology*. **76**: 105-134.

(3) KRUGER, E..L. et REICH, P.B. 1997. Responses of hardwood regeneration to fire in mesic forest openings. I. Post-fire community dynamics. *Canadian Journal of Forest Research* **27**: 1822-1831.

(4) AHLGREN, I.F. et AHLGREN, C.E. (1960) Ecological effects of forest fires. *Botanical Review*. 483-517.

(5) DUNN, C.P., GUTENSPERGEN, G. R. et DORNEY, J.R. 1983. Catastrophic wind disturbance in an old-growth hemlock-hardwood forest, Wisconsin. *Canadian Journal of Botany*. **61**: 211-217.

(6) MLADENOFF, D.J. 1990. The relationship of the soil seed bank and understory vegetation in old-growth northern hardwood-hemlock treefall gaps. *Canadian Journal of Botany*. **68**: 2714-2721.

(7) ABRAMS, M.D. 1992. Fire and the development of oak forests. *Bioscience*. **42**(5): 346-353.

(8) HIBBS, D.E. 1982. Gap dynamics in a hemlock-hardwood forest. *Canadian Journal of forest Research*. **12**: 522-527.

(9) BURNS, R.M. et HONKALA, B.H. 1990. Silvics of North America: 1. Conifers. Agricultural Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, forest Service, Washington, DC. 675pp.

(10) WENDEL ET SMITH, 1990