

**Historique des perturbations et réponse de la
végétation forestière dans l'érablière à bouleau
jaune de l'ouest au Témiscamingue au cours du
20^{ième} siècle**

Rapport technique

Préparé par

Marie-Eve Roy, M.Sc.

Frédéric Doyon, ing. f., Ph.D.

Daniel Bouffard, M.Sc.

Philippe Nolet, M.Sc.



INSTITUT QUÉBÉCOIS D'AMÉNAGEMENT
DE LA FORÊT FEUILLUE

pour

Marie-Claire Legault



Janvier 2010

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateur scientifique :

Frédéric Doyon, ing.f., Ph.D.

Équipe de rédaction :

Marie-Eve Roy, M.Sc.

Philippe Nolet, M.Sc.

Daniel Bouffard, M.Sc.

Équipe technique :

Pascal Rochon

* IQAFF : Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue

58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0

Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588

Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca

Site internet : www.iqaff.qc.ca

Suggestion pour citation :

Roy,M-E., Doyon,F., Nolet,P. et D.Bouffard. 2010. Historique des perturbations et réponse de la végétation forestière dans l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue au cours du 20^{ième} siècle. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique, 57 p. + 2 annexes.

Résumé

Historique des perturbations et réponse de la végétation forestière dans l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue au cours du 20^{ème} siècle

Cette étude dresse un bilan des perturbations naturelles ayant eu cours durant le 20^{ème} siècle dans l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue. Le premier objectif visait à identifier les perturbations ayant affecté le territoire, notamment les chablis, les feux et les épidémies d'insectes. Pour atteindre cet objectif, les perturbations naturelles furent répertoriées au début du 20^{ème} siècle à l'aide de photos aériennes anciennes et pour l'autre moitié du siècle, à l'aide des inventaires forestiers des 1^{er} et 3^{ème} inventaires forestiers décennaux. La superficie affectée et la localisation des perturbations dans le temps et l'espace furent évaluées. La superficie perturbée par les chablis a augmenté dans le temps, contrairement à la superficie affectée par les feux. Ces informations nous ont permis d'estimer l'intervalle de retour pour les chablis à 1717 ans et pour les feux à 303 ans, pour le 20^{ème} siècle dans l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue. Les feux furent localisés majoritairement dans la portion nord, contrairement aux chablis, localisés majoritairement dans la moitié sud. Le deuxième objectif visait à évaluer l'évolution du paysage forestier ayant subi des perturbations naturelles. La composition, l'âge et la densité de la végétation après chablis, ainsi que la composition forestière après feux furent analysés. En somme, les perturbations feux et chablis permettent le maintien ou l'augmentation des feuillus intolérants et à moins grande échelle des résineux, tout en diminuant les feuillus tolérants. Les chablis totaux semblent favoriser la présence d'essences tels que le bouleau blanc, l'érable rouge, l'épinette et les pins (blanc et rouges), au profit d'autres essences comme l'érable à sucre et le bouleau jaune. D'un autre côté, les chablis partiels semblent augmenter la diversité de la végétation forestière. De plus, il ressort de ces analyses l'influence du pourcentage de superficie brûlée sur la réponse de la végétation forestière aux feux. Les feux brûlant un très grand pourcentage de la superficie occasionne une légère augmentation des feuillus tolérants, d'un mélange de feuillus tolérants et intolérants et des mixtes à dominance de feuillus comparativement aux feux brûlant un pourcentage moyen. Peu d'effets des diverses perturbations (chablis et insectes) ont été observés sur la densité de la végétation, tandis que les résultats sur la structure d'âge des peuplements indiquent que les chablis totaux favorisent une structure d'âge équienne contrairement aux chablis partiels. Durant le 20^{ème} siècle, pour l'ensemble des perturbations analysées, on note une diminution de la superficie perturbée dans le temps, donc des effets probables sur la végétation comme l'augmentation des feuillus tolérants, ainsi que la diminution des essences favorisées ou dépendantes du feu. Bien que ces informations soient descriptives d'une période et non des modèles généraux, elles permettent d'avoir des données de référence sur la réponse de la végétation face aux prochaines perturbations, ainsi que des indications face aux effets potentiels des changements climatiques.

Remerciements

Nous voulons tout d'abord remercier Pascal Rochon et Régis Pouliot, pour leur support technique dans la réalisation du projet. Nous tenons également à souligner la contribution plus que significative de Srdjan Ostojic et Benoît Audet pour l'analyse et l'interprétation des photos aérienne. Nous tenons aussi à remercier Marie-Claire Legault et Éric Lavoie (Coordonnateur GIR - milieu forestier témiscamien) pour leur aide technique, logistique et professionnel apporté en cours du projet. De plus nous avons grandement apprécié l'aide de Sylvain Beulé pour la recherche et le partage d'informations reliées au territoire du Témiscamingue, ainsi que de Tembec pour l'acquisition de données. Ce projet a été financé par la Conférence régionale des Élus de l'Abitibi-Témiscamingue, la Société de développement du Témiscamingue, la SADC du Témiscamingue et le Centre local de développement du Témiscamingue.

Table des matières

Résumé	iii
Remerciements	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
1. Introduction	1
1.1 Historique général du territoire forestier	2
1.2 Description de la zone d'étude	4
1.2.1 Caractérisation de la zone d'étude en fonction du cadre de référence écologique du MRNF	6
1.2.2 Description biophysique de la zone d'étude	7
1.2.3 Régime des perturbations naturelles de la zone d'étude	7
1.2.4 Composition et structure forestières de la zone à l'étude	10
2. Méthodologie	12
2.1 Construction de la base de données géoréférencées	12
2.2. Analyse des données	12
2.2.1. Chablis	12
2.2.1.1 Détection des chablis	12
2.2.1.2 Évolution de la végétation dans les chablis	13
2.2.2. Feux	14
2.2.2.1. Détection des feux	14
2.2.2.2. Évolution de la végétation après feux	14
2.2.3. Insectes	14
2.2.4 Changement de composition, d'âge et de densité après perturbation	15
2.2.5. Intervalle de retour des perturbations	15
3. Résultats	16
3.1. Les perturbations naturelles : chablis	16
3.1.1 La détection des chablis	16
3.1.1.1 Période 1920-1946	16
3.1.1.2 Période 1958-1973	17
3.1.1.3 Période 1980-2000	18
3.1.1.4 Période 2000-2006	19
3.1.2 Composition des peuplements affectés par le chablis	20

3.1.2.1 Composition des chablis pour la période 1920-1946	20
3.1.2.2 Composition des chablis de la période 1958-1973	23
3.1.3 Densité des peuplements affectés par le chablis	25
3.1.3.1 Densité des peuplements provenant du chablis de 1942	25
3.1.3.2 Densité des peuplements provenant du chablis de la période 1958-1973	26
3.1.4 Structure d'âge des peuplements affectés par le chablis	26
3.1.4.1 Structure d'âge des peuplements provenant du chablis de 1942	26
3.1.3.2 Structure d'âge des peuplements provenant du de la période 1958-1973	26
3.1.4 Portrait global des chablis pour le 20 ^{ième} siècle	27
3.2. Les perturbations naturelles : feux	29
3.2.1 Superficies affectés par le feu pour la période avant 1946	29
3.2.2 Superficies affectés par le feu pour les périodes 1958-1973 et 1980-2000	31
3.2.3. Les données de la composition forestière dans les zones de feux d'avant 1946	32
3.2.3.1. L'effet de la présence de feu sur les sous-types de composition environ 65-85 ans après feux	32
3.2.3.2 L'effet du pourcentage de superficie brûlée sur les sous-types de compositions environ 65-85 ans après feux	34
3.3. Les perturbations naturelles : Insectes	36
3.4. Analyse comparative des perturbations entre 1905 et 2006	38
4. Discussion des résultats	42
4.1 Caractérisation temporelle et spatiale des perturbations naturelles	42
4.2 L'effet des perturbations sur la composition et la structure forestière	45
4.2.1. Composition forestière	45
4.2.2. Structure forestière	50
Conclusion	53
Références	54
Annexe 1	58
Annexe 2	61

Liste des tableaux

Tableau 1. Historique des essences exploitées et des perturbations dans la zone à l'étude de 1830 à 2007.	4
Tableau 2 Représentation de certains niveaux hiérarchiques du cadre de référence écologique du MRNF pour le territoire d'étude.	6
Tableau 3 Résumé des informations disponible concernant les perturbations naturelles : le pourcentage de territoire couvert annuellement, l'intervalle de retour, la sévérité et la répartition spatiale pour l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest.....	9
Tableau4 Végétation potentielle des différents sites selon les paysages régionaux plus au nord, au milieu et au sud de la zone à l'étude.	11
Tableau 5 Résumé de la composition, du sous-type de composition et de la densité moyenne de différentes zones forestières (un chiffre différent représente une zone différente) ainsi que la sévérité et l'années depuis le chablis.....	20
Tableau 6 Superficies (hectares) occupées par les différents types de peuplement en 2000 en fonction de leurs types de compositions en 1940.	23
Tableau 7 Pourcentage de la superficie des peuplements dans chacune des classes de densité.	25
Tableau 8 Superficies (ha) des chablis pour les périodes à l'étude.	28
Tableau 9 L'âge approximatif des principales zones de chablis (plus de 50 ha) répertoriées dans cette étude entre 1920 et 2006.	29
Tableau 10 Les intervalles de retour pour la perturbation chablis selon les différentes périodes à l'étude, ainsi que l'intervalle de retour pour toute la période à l'étude.	29
Tableau 11 Pourcentage de la superficie brûlée annuellement selon les différentes périodes à l'étude.	32
Tableau 12 La moyenne du pourcentage de la superficie occupée par chaque sous-type de composition forestière avec et sans feu, le nombre de photo sont de 2567 sans feu et de 1433 avec feu.....	33
Tableau 13 Superficies occupées par les perturbations naturelles (chablis et feux) pour les périodes avant 1946, 1958-1973, 1980-2000 dans la zone à l'étude.	40
Tableau 14 Séquence des perturbations naturelles sur le territoire l'étude selon l'estimation de l'année des perturbations et estimation du pourcentage de superficie affectée.....	42
Tableau 15. Caractéristiques (quantité et distances de germination des graines, type de reproduction végétative et réponse aux conditions de lumière) de quelques essences que l'on retrouve dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune.	47

Liste des figures

Figure 1 Localisation de la zone d'étude sise dans la région de l'Abitibi- Témiscamingue.	5
Figure 2 Sous-régions écologiques localisées dans le territoire d'étude.	5
Figure 3 Localisation de tous les chablis ayant été observés entre 1920 et 2006 dans le territoire d'étude.	17
Figure 4 Localisation des zones de chablis de la période 1958-1973	18
Figure 5 Localisation des zones de chablis de la période 1980-2000	19
Figure 6 Localisation des chablis de 2006 et de la zone de chablis de 1940 retombée en 2006	20
Figure 7 Représentation du changement des différents sous-types de composition avant le chablis (vers 1940) et après 60 ans (vers 2000) dans des zones de chablis total ou partiel.....	22
Figure 8 Représentation du changement de la présence certaines de différentes essences forestières après 60 ans dans des zones de chablis total ou partiel.	23
Figure 9 Pourcentage moyen de chaque sous-type de composition selon la présence ou non de chablis totaux pour la période 1958-1973.	24
Figure 10 Pourcentage moyen de superficie avec présence certaine d'essence dominante selon l'appellation cartographique du 3 ^{ième} décennal pour la zone totale forestière d'étude et pour la zone après les chablis totaux de la période 1958-1973.	25
Figure 11 Structure des classes d'âges des peuplements avant et 60 ans après les chablis (total et partiel) de 1942.....	26
Figure 12 Représentation des différentes classes d'âge en pourcentage des chablis de la période 1958-1973	27
Figure 13 Localisation et pourcentage de superficie affectée par les feux de la période avant 1946	30
Figure 14 La fréquence du nombre de photo avec la présence de feu selon l'année estimée des feux de la période avant 1946.	31
Figure 15 Localisation des feux de la période 1958-1973 (gauche) et de la période 1980-2000 (droite)	32
Figure 16 La moyenne du pourcentage de la superficie occupée par chaque sous-type de composition forestière avec et sans feu, les N sont de 2567 sans feu et de 1433 avec feu.....	34
Figure 17 Le nombre de photos avec des feux pour chaque classe de pourcentage de superficie brûlée pour la période avant 1946.	35
Figure 18 Pourcentage des sous-types de composition selon les classes de pourcentage de superficie brûlée 65-85 ans après le feu.....	35
Figure 19. Moyennes de pourcentage des sous-types de composition selon les classes de pourcentage de superficie brûlée, 65-85 ans après le feu	36
Figure 20 Représentation du pourcentage de la superficie affectée par la TBE selon le degré d'infestation entre 1938 et 2001.....	37
Figure 21 Densité moyenne des peuplements forestiers en %, 20-30 ans après le passage de l'épidémie de TBE de 1970-1982 selon l'intensité de l'épidémie sur le territoire. ...	37
Figure 22 Représentation du pourcentage de la superficie affectée par la livrée des forêts entre 1938 et 2001.	38

Figure 23 Représentation du pourcentage de la superficie affectée par le Diprion de Swain entre 1938 et 2001.	38
Figure 24 Pourcentage de la zone affectée par les feux, les chablis et les insectes* pour toute la période à l'étude..	41
Figure 25. Représentation schématique de la végétation dans l'érablière à bouleau jaune après A) Chablis partiel et B) chablis total, C) Feu brûlant un petit (1-20%), D) un moyen (20-80%) ou E) un grand (80-100%) pourcentage de la superficie.	51

1. Introduction

Les forêts sont des écosystèmes très dynamiques où interviennent des processus naturels complexes. Avant la colonisation, plusieurs facteurs permettaient le maintien d'un paysage forestier diversifié et dynamique dont la composition et la structure variaient temporellement et spatialement (Alvarez 2009, Barrette et Bélanger 2007, Drever et al. 2006a, Jackson et al. 2000 et Lorimer 1977). Les études historiques au Québec montrent que l'utilisation postcoloniale du territoire a grandement affecté le paysage forestier (Alvarez 2009, Barrette et Bélanger 2007, Bouffard et al. 2003, Nolet et al. 2001, Boucher 2002, Boucher et al. 2006, Simard et Bouchard 1996 et Bouchard et al. 1989). Dans le dernier siècle au Témiscamingue, on assiste à une intensification de l'utilisation du territoire de la forêt feuillue principalement due à l'exploitation forestière. Si l'on se fit aux travaux effectués sur des territoires similaires, il est probable que cette intensification ait eu un impact notable sur la forêt du Témiscamingue (Bouffard et al. 2003, Nolet et al. 2001, Doyon et Bouffard 2009b). Ces effets peuvent s'observer tant à l'égard de la composition, de la structure que de la biodiversité forestière (Doyon et Bouffard 2009a). De tels changements peuvent avoir des effets sur le bon fonctionnement des écosystèmes et sur les services que peut offrir la forêt (Hunter 1999). C'est dans ce contexte que le MRNF s'est engagé à ce que la forêt québécoise soit aménagée selon les principes de l'aménagement écosystémique. Cette approche constitue ainsi une alternative à l'aménagement forestier qui fut historiquement centré sur la production de la matière ligneuse.

La définition du MRNF pour l'aménagement écosystémique (AE) se traduit par une approche écologique appliquée à l'aménagement forestier qui vise à assurer le maintien de la biodiversité et de la viabilité de l'ensemble des écosystèmes forestiers tout en répondant à des besoins socioéconomiques dans le respect des valeurs sociales liées au milieu forestier (MRNF 2005). Une des idées maîtresse de l'AE est d'avoir une foresterie qui s'inspire des processus naturels qui affectent et contrôlent le développement de la forêt. Ainsi, il est important de connaître l'ampleur des perturbations naturelles sur le territoire ainsi que les effets de ces perturbations sur la végétation.

On s'accorde généralement dans la littérature pour dire que le régime de perturbation naturelle de l'érablière à bouleau jaune est dominé par un régime de trouées causé par la mort d'un ou quelques arbres (Doyon et Sougavinski 2002, Nolet et al. 1999, Kneeshaw et Prévost 2007). Plus récemment, d'autres études ont témoigné de l'importance de perturbations plus sévères tels le feu et les chablis (Bouchard et al. 2009, Drever et al. 2006b, Doyon et Bouffard 2008). Par exemple, Drever (2006) a démontré l'importance des perturbations plus catastrophiques de type feu sur la composition forestière dans une partie du territoire du Témiscamingue (Drever et al. 2006b). De plus on rapporte de récents épisodes de rafales de vents violents de très grande envergure, comme ceux observés en 2006 dans l'ouest du Québec et ceux de 1983 (Doyon et Bouffard 2008). On commence à reconnaître l'importance de ces perturbations naturelles plus catastrophiques tant au plan de la superficie affectée que pour le maintien de certaines essences ainsi que pour la biodiversité dans le paysage.

Le but de cette étude est de faire le portrait des perturbations naturelles ayant eu cours principalement au 20^{ème} siècle sur le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune du Témiscamingue. Plus précisément, le premier objectif est d'évaluer la superficie touchée et de localiser les différents types de perturbations (feux/chablis/insectes). Le deuxième étant de comparer l'importance relative de ces perturbations à différentes périodes. Le dernier objectif porte sur l'évaluation de la réponse de la composition et de la structure de la végétation aux perturbations naturelles de type chablis, feux et insectes. Puisque l'étude de Drever (2006b) s'était surtout penchée sur le régime des feux, l'objectif de cette étude

visé entre autre à pallier aux informations manquantes concernant les perturbations naturelles par chablis. Cependant, nous tentons aussi de faire une synthèse de l'ensemble des perturbations sur ce territoire.

1.1 Historique général du territoire forestier

Nous avons résumé au Tableau 1 les informations concernant l'historique des perturbations anthropiques et naturelles dans la zone à l'étude. Ce tableau résume, entre autres, les grands événements climatiques de la région du Témiscamingue durant le 20^{ème} siècle. L'aménagement de la forêt du Témiscamingue a commencé au cours du 19^{ème} siècle avec l'extraction de pins blancs et rouges de gros diamètres ainsi que des grosses d'épinette blanches (Vincent 1995, Drever et al. 2006b). Les marchands de bois pour le commerce du bois équarri ont alors remonté la rivière des Outaouais afin de s'approvisionner en pins au Témiscamingue.

Les débuts au Témiscamingue sont quand même limités jusqu'à la fin des années 1830, le commerce du bois prenant plus de vigueur dans la décennie 1870 (Vincent 1995). La reprise de la demande de bois équarri en Angleterre (Lower 1973) et l'épuisement des pinèdes des régions plus au sud ont en effet alors favorisé l'exploitation des concessions forestières au Témiscamingue (Vincent 1995, Gaffield 1994, Laurin 1995). Ce n'est pas avant 1874 que les concessions forestières sont assignées et que des usines de sciage s'installent définitivement (Vincent 1995). Aussi, dans les années 1880, la demande grandissante des États-Unis pour le bois d'œuvre entraîne la construction d'autres scieries au Témiscamingue. C'est aussi à cette période que la colonisation augmente, stimulée par la construction du chemin de fer (Vincent 1995). Le début de la colonisation soit entre 1870-1890 coïncide avec une augmentation des feux (Drever et al. 2006b). De plus on assiste à la naissance de plusieurs villages agricoles au Témiscamingue, jusque vers 1942 (Vincent 1995). Cependant, en 1900 c'est l'industrie forestière qui devient la principale activité économique de la région. À cette époque, près de 2 000 bûcherons s'activent dans les forêts témiscamiennes, qui regorgent encore de pins de grosseur commerciale (Riopel 2003).

On note que l'épidémie de TBE de 1910 fut très forte au Témiscamingue (Bouchard et al. 2006). Au milieu des années 1910, le secteur forestier régional effectue une transition du secteur du bois d'œuvre vers le secteur des pâtes et papiers. Ainsi, en 1917, la Riordon Pulp & Paper Company construit un moulin de pâte à papiers et une ville prend vie au pied du lac Témiscamingue, nommée Témiscaming (Riopel 2003). La Riordon déplace ses chantiers vers le secteur de Rouyn-Noranda et, plus tard, vers le parc de La Vérendrye, afin d'approvisionner son moulin de Témiscaming. De nombreux Abitibiens et Témiscamiens trouvent alors du travail dans les chantiers d'abattage des arbres et dans le flottage du bois. À la même époque, les scieries abitibiennes consolident leurs activités, profitant de la proximité du chemin de fer et du contexte de la Première Guerre mondiale (Riopel 2003).

Plusieurs informations sur l'historique des perturbations naturelles provenant de différentes études près de notre territoire d'étude, touchant en partie l'érablière à bouleau jaune confirme la présence de feux sur de grandes superficies entre 1921-1923 (Alvarez 2009, Barrette et Bélanger 2007, Bouffard et al. 2003, Nolet et al. 2001). Il est cependant difficile de relier directement les différentes activités humaines et l'augmentation des feux, vu le manque d'information et le fait que cette période coïncide avec une période d'intense sécheresse (Bergeron et al. 2006). En effet, plusieurs facteurs climatiques comme la sécheresse qui affecta tout l'est du Canada en 1923 furent liés au déclenchement des incendies majeurs de l'année 1923 (MRNQ 1981). De plus, selon un document de 1944, la cause principale des feux au Québec pour la période entre 1924 et 1941 se rattache au

brûlage des abatis en bordure des bois, cette technique étant déclarée comme responsable de 35% des feux, obligeant ainsi l'établissement de permis de brûlage d'abatis (Minville 1944). À la suite des feux de 1923, le gouvernement et les compagnies forestières mirent en place une politique de protection des forêts. Le but de cette politique fut de prévenir les incendies forestiers et surtout de les combattre. Les résultats furent probants puisque aucun incendie majeur n'a été rapporté depuis la mise en place de ce système de protection (MRNQ 1981, SOPFEU 2002). Aussi, une étude dans l'érablière à bouleau jaune démontre que très peu de feux de plus de 200 ha ont été observés depuis 1925 (Drever et al. 2006b). Cette dernière étude estime que le taux de forêts brûlées annuellement était bas il y a 150 ans, il augmente ensuite drastiquement vers les années de la colonisation 1870 à 1928 et diminue par la suite à un bas niveau de 1928-1950. On parle donc du retour du long cycle du feu depuis 1928.

À compter de 1950, l'économie forestière amorce une période de transition marquée de fortes fluctuations, selon les périodes et les secteurs de production (Laurin 1995, Vincent 1995, Gaffield 1994, MacLaren 1956). Le secteur du bois de sciage profite amplement des nouvelles mesures gouvernementales mises en place à la fin des années 1960 (Riopel 2003). Dorénavant, les scieries se voient octroyer des sources d'approvisionnement régulières, ce qui leur permet de passer au stade de la production industrielle et de devenir des producteurs majeurs à l'échelle canadienne. Cela entraîne la construction de nouvelles scieries dans la région (Riopel 2003). Ainsi depuis 1970, on parle d'intensification de la récolte de certaines essences d'arbres au Témiscamingue. Par ailleurs, le secteur des pâtes et papiers vit des hauts et des bas. On note entre autre que l'usine de la Canadian International Paper de Témiscaming, anciennement la Riodon, ferme ses portes, portant un dur coup aux travailleurs de cette ville mono-industrielle. Reprise en mains par ses anciens cadres, l'usine renaît sous le nom de Tembec. Aujourd'hui, ce groupe possède la majeure partie des industries du bois dans la région.

Pour ce qui est spécifiquement des perturbations naturelles plus récentes, on note aussi que l'épidémie de TBE de 1970 fut très forte au Témiscamingue (Bouchard et al. 2006) et deux événements de type chablis ont été recensés, soit ceux de 1983 et de 2006 (Doyon et Bouffard 2008).

Tableau 1. Historique des essences exploitées et des perturbations dans la zone à l'étude de 1830 à 2007.

Périodes	Perturbations anthropiques	Feux	Chablis	Insectes
Avant 1900	1830-1870 : Récoltes des grands pins blancs et rouges ainsi que de l'épinette rouge (pièces équarries) Début de la colonisation 1880 Début de récoltes du bois d'œuvres pour exportation aux É-U Première scieries 1890 Début du chemin de fer	Grand feu vers 1880		
1900 à 1930	Exploitation du bois de sciage 1910 Début des pâtes et papiers Mise en production d'une usine de pâte et papier (1916)	Grand feu vers 1923		
1930 à 1950		Diminution des feux		
1950 à 1970	Fluctuation de l'exploitation selon les secteurs de productions 1960 Mesure gouvernementale favorisant le bois de sciage			
1970 à 1990		Feux de plus de 384-ha en 1972	Chablis vers 1983	Épidémie de la TBE vers 1970
1990 à 2007			Chablis de 2006	

1.2 Description de la zone d'étude

Suite à un examen approfondit des différentes couches de photographies aériennes anciennes disponibles et des contraintes d'utilisation rattachées à chacune de celles-ci (décrites dans l'Annexe 1) ainsi que de l'enveloppe budgétaire existante pour la réalisation de ce projet, différents secteurs ont été choisis pour l'étude des chablis, des épidémies d'insectes et des feux. Pour l'étude des chablis et des épidémies d'insectes, le secteur choisi correspond à la Figure 1. Cependant, comme les données pour les périodes à l'étude étaient disponibles sur une superficie un peu différente pour le feu, nous avons utilisé un territoire un peu plus grand (Figure 2), délimité par les feuillettes compris dans la zone d'érablière à bouleau jaune du Témiscamingue.



Figure 1. Localisation de la zone d'étude sise dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue.

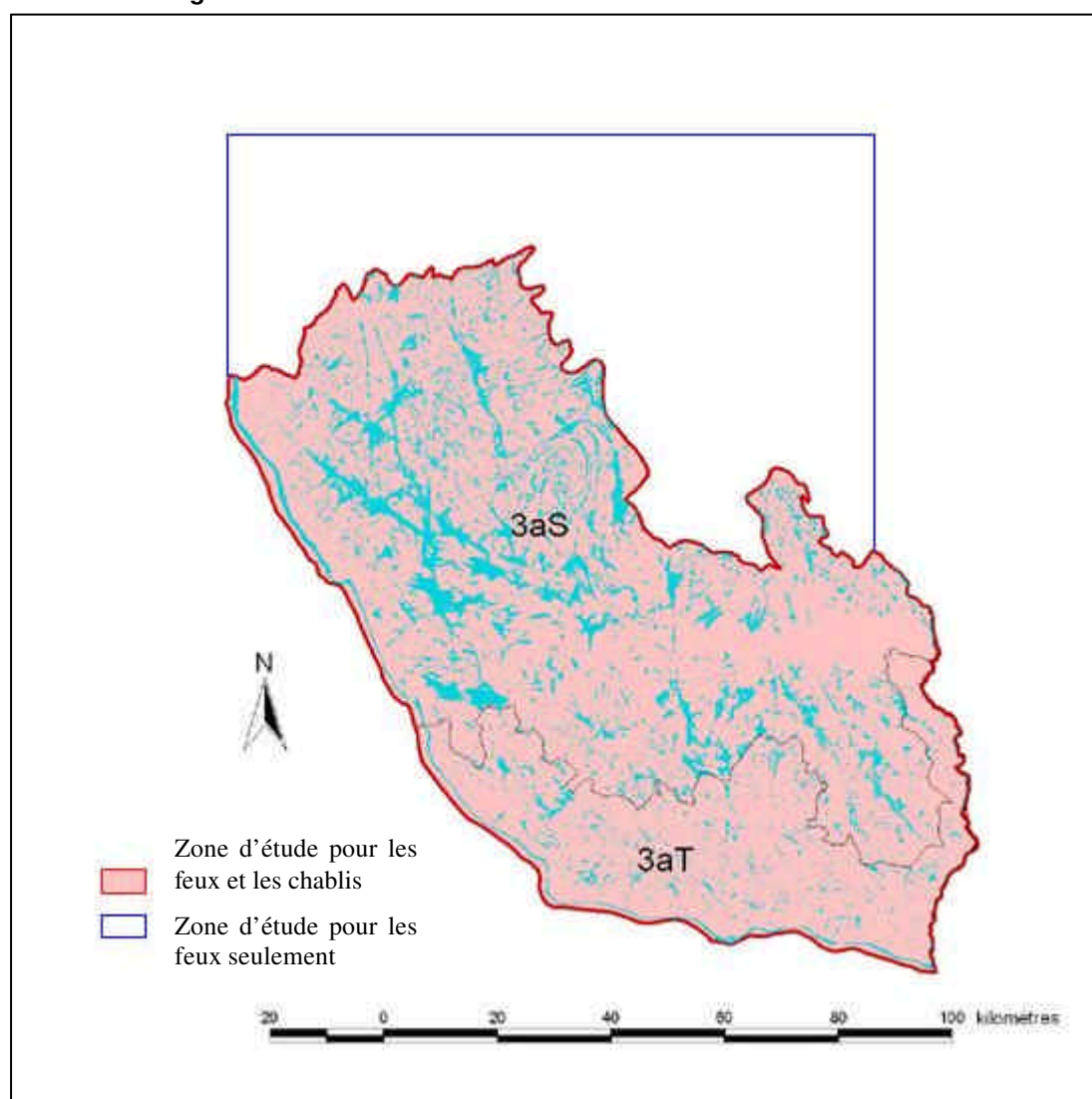


Figure 2. Zones d'études pour les chablis et les feux. 3aS et 3aT correspondent aux sous-régions écologiques.

1.2.1 Caractérisation de la zone d'étude en fonction du cadre de référence écologique du MRNF

Le territoire à l'étude est situé au sud de la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue (08) (Figure 1). La zone concernée correspond au sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest et englobe en totalité l'unité d'aménagement forestier 81-51 ainsi que la portion sud de l'UAF 81-52. La zone d'étude est entièrement localisée dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (3) (Tableau 2). Ce même territoire appartient également en sa totalité au sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest (3 ouest), ainsi qu'à un niveau hiérarchique inférieur, à la région écologique des Collines de l'Outaouais et du Témiscamingue (3a) (Saucier et al. 1998). À un niveau hiérarchique toujours plus petit, le territoire étudié touche les sous-régions écologiques des Collines du lac Saint-Patrice (3aT) et des Collines du lac Kipawa (3aS) avec respectivement 25 et 75% de la superficie totale (Figure 2). Enfin, le sous-domaine de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue englobe cinq unités de paysage régional (Lac Ostaboningué (14), Témiscamingue (15), Lac Memewin (16), Lac du pin blanc (17) et Lac Nigaut (18)) qui occupent, à l'exception de celle du Lac Nigaut, des superficies passablement similaires comprises entre 20 et 28% de la zone étudiée (Tableau 2).

Tableau 2 Représentation de certains niveaux hiérarchiques du cadre de référence écologique du MRNF pour le territoire d'étude.

Domaine		Sous-domaine		Région		Sous-région		Unité de		
bioclimatique		bioclimatique		écologique		écologique		paysage régional		
Appellation	Superficie (ha)	Appellation	Superficie (ha)	Appellation	Superficie (ha)	Appellation	Superficie (ha)	Appellation	Superficie (ha)	
3	895 966 (100%)	3 ouest	895 966 (100%)	3a	895 966 (100%)	3aS	671 373 (74.9%)	14	249 980 (27.9%)	
						3aT	224 593 (25.1%)	15	176 423 (19.7%)	
									16	208 218 (23.2%)
									17	244 969 (27.4%)
									18	16 373 (1.8%)

1.2.2 Description biophysique de la zone d'étude

Le vaste territoire à l'étude, au climat de type principalement subpolaire subhumide continentale (Robitaille et Saucier 1998), est caractérisé par un mélange de collines, de plateaux, de dépressions et de quelques massifs un peu plus élevés. L'assise rocheuse est quant à elle constituée de roches intrusives métamorphisées (gneiss) sur laquelle reposent divers types de dépôts de surface dont particulièrement ceux d'origine glaciaire. Les tills épais occupent les dépressions ou les secteurs à pente faible, alors que les tills minces occupent les coteaux et les collines (Robitaille et Saucier 1998). Quant aux affleurements rocheux, ils sont parfois abondants et situés sur les hauts sommets ou encore dans les secteurs caractérisés par un relief très accidenté. Enfin, on retrouve dans les larges vallées des dépôts fluvio-glaciaires parfois très épais, et en moindre importance du matériel glacio-lacustre. Le sous-domaine de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest est caractérisé par un climat relativement clément et de faibles précipitations qui en font un milieu relativement plus sec que son pendant de l'est. La température et les précipitations annuelles moyennes sont comprises respectivement entre 2.5 et 5.0 °C et entre 800 et 1000 mm (avec 25 % sous forme de neige), alors que la longueur de la saison de croissance se situe entre 170 et 180 jours. L'indice d'aridité, qui représente le nombre de mois avec un déficit hydrique varie de 1.25 à 2 pour les paysages plus au Nord à entre 2 et 2.25 pour ceux plus au sud (Robitaille et Saucier 1998).

1.2.3 Régime des perturbations naturelles de la zone d'étude

Le régime de perturbations naturelles de l'érablière à bouleau jaune est dominé par le régime de micro-trouées et de chablis partiels, mais les perturbations de grande envergure, comme les feux et les chablis, sont tout de même présentes (Nolet et al. 1999, Doyon 2008, Doyon et Sougavinski 2002). Le tableau 3 représente des intervalles de retour et des pourcentages de territoire couvert annuellement par les trouées, les feux et les chablis pour le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest. Il est à noter que si les données provenant de différentes études n'étaient pas disponibles pour ce sous-domaine bioclimatique, des informations plus générales ont été utilisées.

Micro-trouées

Une étude (Nolet et al. 1999) visant à caractériser le régime de perturbations naturelles de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest a été réalisée dans la réserve faunique Papineau-Labelle. Selon eux, le type de perturbation des trouées couvre de 0.45-2.0% du territoire annuellement. Pour ce type de perturbations dans les forêts feuillues tempérées, on s'accorde généralement dans la littérature pour évaluer le cycle moyen à environ 1 % (entre 0,28 % à 2,2 %), soit un intervalle d'une centaine d'années (Tableau 3) (Runkle 1982, Frelich et Lorimer 1991, Dahir et Lorimer 1996). Selon Doyon et Sougavinski (2002), on remarque également que la fréquence des trouées augmente graduellement à mesure que la forêt se trouve plus au nord.

Chablis

Les orages violents, et plus rarement les tornades avec des vents allant jusqu'à plus de 100km/h peuvent avoir des effets sur de grandes superficies. Bien que de multiples définitions soient possible (Everham et Brokaw 1996), nous distinguons ici un chablis faible à modéré (« chablis partiel » selon la nomenclature québécoise) comme un chablis qui laissera les individus plus résistants debout, ainsi qu'un chablis intense (chablis total) comme un chablis qui aura comme effet de racler tout le couvert forestier (Peterson et Pickett 1991, Peterson et Pickett 1995). La différence majeure entre les différentes intensités de chablis se fait au niveau du nombre d'individus affectés. Selon Doyon (2008), la fréquence des chablis partiel et total pour les forêts feuillues du sud du Québec varie

respectivement de 150-300 ans et de 300-1200 ans, et ce, en fonction de l'écosystème. Le tableau 3 représente différentes données relatives à la fréquence des chablis.

Feux

Comme nous pouvons le constater dans le Tableau 3, la fréquence des feux de surface varie de rare (intervalle de 500-1000 ans) à très fréquente (intervalle de 50 ans) en fonction de l'écosystème (Doyon 2008). En générale, les sites où le cycle de feu est plus court sont ceux avec des essences dominantes comme le pin et le sapin tandis que les sites dominés par l'érable à sucre ont un cycle plus long (Drever et al. 2006b, Bergeron et al. 2006). Une étude dans l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au sud du Témiscamingue estime cet intervalle de retour à près de 494 ans, soit entre 373–694 ans et probablement plus long sur les sites dominés par des feuillus (Drever et al. 2006b).

Épidémies d'insectes

Plusieurs études dans différentes régions du Québec, où l'érablière à bouleau jaune est présent, rapportent que l'insecte qui a le plus influencé la dynamique du paysage forestier est la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clemens)) (Jardon 2001, Nolet et al. 2001). Dans l'est de l'Amérique du Nord, les études dendroécologiques ont montré que les épidémies de TBE sont cycliques aux 25 à 40 ans (Boulanger et Arseneault 2004). Les effets du passage de la TBE sont relativement connus; elle peut causer la mort d'un arbre après quatre à cinq années de dommages sévères. Nous pouvons faire quelques constats comme le fait que la TBE attaque surtout les sapins et les épinettes. Les essences feuillues protégeant un peu les espèces hôtes. D'après le MRNQ (1981), la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn.) constitue le second insecte qui joua un rôle important dans la dynamique du paysage forestier de certaine région du Québec (Bouffard et al. 2003). Dans l'érablière à bouleau jaune, on note de sévères défoliations affectant les peupliers (*Populus* sp.) et le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), ainsi que de moins sévère défoliation pour l'érable à sucre (*Acer saccharum*) (Nolet et al. 2001).

Tableau 3. Résumé des informations disponibles concernant les perturbations naturelles : le pourcentage de territoire couvert annuellement, l'intervalle de retour, la sévérité et la répartition spatiale pour l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest.

Perturbations	Intervalle de retour (années)	Pourcentage du territoire couvert annuellement	Sévérité	Répartition spatiale	Références
Micro-trouées (50 à 100 m ²)	Environ 100 ans	0.45-2.0% (environ 1%)	Légère	Mortalité individuelle	Nolet <i>et al.</i> 1999 Doyon et Sougavinski 2002
Chablis partiels et totaux	Chablis totaux : Entre 1200* ans et 6800** ans selon les périodes étudiés et les études Chablis partiels et totaux : Entre 450 et 1500 ans***	Environ 0.06%	Légère (partiel) et forte (Totaux)	Liée à la topographie, la composition et la structure du peuplement	Doyon et Sougavinski 2002 * Nolet <i>et al.</i> 1999** Doyon et Bouffard 2009***
TBE	Cycle entre 25 et 40 ans		Légère	Liée à la composition (sapin baumier)	
Feux	Entre 373–694 ans* 500 à 1000 ans (variable selon le type de forêt : pin et sapin = court, bouleau jaune = moyen, érable à sucre = long)	0.07% et 0.15%	Forte	Influence de la topographie (site fluvioglaciaire)	Drever <i>et al.</i> 2006* Nolet <i>et al.</i> 1999
Livree des forêts	Épidémie au 6 à 8 ans		Sévère	Liée à la composition (érable à sucre et peuplier faux-tremble)	

1.2.4 Composition et structure forestières de la zone à l'étude

Pour la composition forestière pré-industrielle de la région écologique 3a, on estime que les espèces pionnières n'auraient occupé qu'une faible proportion du paysage, la présence des feuillus tolérants étant beaucoup plus importante (Légaré 2009, document non publié). Un régime de perturbations dominé par les micro-trouées permet de maintenir en place des espèces tolérantes à l'ombre (Barden 1981, Kneeshaw et Prévost 2007). Sous ce régime, les essences peu tolérantes à l'ombre peuvent accéder à la canopée, mais seulement en proportion pour s'y maintenir marginalement (Barden 1981). Leur présence est surtout assurée par les perturbations partielles (> 500 m² et = 5 000 m²) qui les favorisent, ainsi que par les perturbations de grande envergure (MRNF 2008). On note aussi pour la composition forestière pré-industrielle de la région écologique 3a que les peuplements de feuillus tolérants étaient majoritaires (FT, 56%), suivit des peuplements mixtes à dominance de feuillus (MF, 23%) et des peuplements mixtes à dominance de résineux (MR, 15%). Les peuplements de résineux (R) ne couvrant que 5% suivit des peuplements feuillus intolérant à 1% (Légaré 2009, document non publié).

La littérature dépeint la forêt précoloniale pour la zone 3a comme avec des peuplements de structure inéquienne à 73%, 15% de structure équiennne et 13% de structure irrégulière. Le régime de perturbations par petites trouées favorise le développement de cohortes successives d'âges différents (MRNF 2008). Une partie de cette forêt serait composée de peuplements de structures inéquienne ou irrégulière de feuillus tolérants âgés.

La végétation potentielle des différents sites (xériques, mésiques, hydriques) est un peu différente du sud au nord pour la zone d'étude (Tableau 4). Bien que l'on retrouve l'érablière à bouleau jaune et la bétulaie jaune à sapin du sud au nord, d'autres peuplements sont plus typiques en fonction de la latitude. On retrouve notamment des érablières à tilleul, des érablières à hêtre et des érablières à chêne rouge au sud, tandis que les peuplements de sapinière à bouleau blanc et érable à épis et de sapinière à érable rouge sont en plus forte proportion dans le nord (Robitaille et Saucier 1998).

Tableau4. Végétation potentielle des différents sites selon les paysages régionaux plus au nord, au milieu et au sud de la zone à l'étude.

Sites	<i>Xériques et mésiques de milieu et haut de pente</i>	Subhydrique et hydrique de bas de pente à drainage moyen et faible
Secteur plus au sud	Érablière à bouleau jaune Érablière à tilleul Pinède à pin blanc ou rouge Érablière à hêtre Érablière à chêne rouge	Sapinière à érable rouge Bétulaie jaune à sapin
Secteur médian	Érablière à bouleau jaune Bétulaie jaune à sapin	Sapinière à érable rouge
Secteur plus au nord	Érablière à bouleau jaune Sapinière à bouleau blanc et érable à épis * Sapinière à érable rouge* Pinède à pin blanc ou rouge	Sapinière à érable rouge * Bétulaie jaune à sapin Sapinière à bouleau blanc et érable à épis *

* Se retrouve en forte proportion dans toutes les positions topographiques.

2. Méthodologie

2.1 Construction de la base de données géoréférencées

Afin d'avoir le maximum d'information concernant les perturbations naturelles du 20^{ème} siècle, les données de 3 périodes différentes ont servi à la construction de la base de données: 1920-1946, 1958-1973 et 1980-2000. Il fut aussi parfois possible d'augmenter l'étendue de nos périodes et ainsi d'identifier et d'estimer l'âge de perturbations ayant eu lieu avant ou après ces dates.

Une base de données géoréférencées a été créée à partir de plusieurs couches d'informations relatives aux trois périodes susmentionnées. Les informations de la période de 1920-1946 ont été obtenues à partir de la photo-interprétation de photographies anciennes des années 1935-1936, 1938 et 1945-1946 en provenance de Photothèque nationale de l'Air du Canada (PNAC). Nous avons ainsi généré une base de données sur les feux et une pour les chablis de la période 1920-1946 grâce aux photos de 1935-1946. Il était cependant possible pour l'identification des feux de remonter jusqu'à 1905. Les photos ayant servi à la photo-interprétation ont été localisées sur leurs lignes de vol dans les feuillets papier. Les feuillets ont été scannés, numérisés et géoréférencés. Ensuite, on a généré des polygones représentant chacune des photos aériennes. Les étapes de l'orthorectification des images et de la numérisation des polygones à l'aide du logiciel Arc Gis (version 9.2) ont mené à la réalisation des bases de données de cette période.

Pour la période 1958-1973, les bases de données numériques SIFORT avec des tessels de 14 hectares (provenant du MRNF) ont été examinées afin de localiser les informations pertinentes à cette étude. Quant à la période 1980-2000, les données numérisées provenaient directement de la carte « calcul de possibilité forestière régional » qui est une version mise à jour du 3^{ème} programme de la connaissance de la ressource forestière (MRN 2000).

Enfin, il a fallu procéder à un nettoyage minutieux de toutes les bases de données des différentes périodes. Cette étape consistait à supprimer les lignes de données pour lesquelles il y avait un manque ou une incohérence au niveau de l'information entre les périodes. Ainsi, les polygones dont la superficie était égale à zéro ou encore ceux contenant des invraisemblances en termes d'âge, de densité ou de code terrain ont été éliminés.

2.2. Analyse des données

Comme les bases de données associées à chacun des types de perturbations sont différentes, nous présentons pour chacun de ces types une description détaillée des analyses des données effectuées. Par contre, nous maintenons pour chaque type de perturbation le même ordre général de présentation, soit une description des perturbations pour la période et une description, lorsque possible, de l'effet de ces perturbations sur le couvert forestier. Dans un premier temps, nous avons localisé ces perturbations et compilé les superficies affectées pour chaque période: 1920-1946, 1958-1973, 1980-2000.

2.2.1. Chablis

2.2.1.1 Détection des chablis

A) Période 1920-1946

Pour cette période, toutes les photographies aériennes de 1935-1936, 1938 et 1945-1946 ont été minutieusement scrutées afin de détecter la présence de chablis. Le critère d'avoir une superficie d'au moins 5 ha avec moins de 25% de couverture (établie par Létourneau et al. 2003 dans Bouchard et al. 2009) a été respectée pour catégoriser les chablis sur les photos aériennes. Nous avons considéré que les chablis pouvaient être observés pendant environ 15 ans, bien que certaines études établissent ce chiffre à 25 ans (Bouchard et al. 2009). Nous avons opté pour 15 ans vu la qualité un peu moindre des photos aériennes et vu que l'âge des chablis observé ne dépassait pas 15 ans dans nos données. Lorsqu'un chablis était détecté, la zone de chablis était délimitée sur les photographies puis on notait son orientation, sa forme, son âge de régénération ainsi que son intensité (partiel ou total). L'estimation de l'âge des chablis est évaluée avec l'année de la photo et l'estimation de l'âge de la régénération.

B) Période 1958-1973

Les zones de chablis ont été répertoriées en se servant de la sélection de téssels avec chablis (appellation CHT). La superficie a été mesurée en superposant les polygones forestiers du 3^{ème} décennal qui expriment le mieux la couche de téssels avec (CHT) aux informations du 1^{er} décennal.

C) Période 1980-2000

Pour cette période, les zones de chablis et leurs intensités ont été déterminées à l'aide des données actualisées du 3^e programme d'inventaire décennal et des compilations qui ont servi au calcul du PGAF entrant en vigueur en avril 2008. Nous avons ainsi pu quantifier les chablis jusqu'en 2006.

2.2.1.2 Évolution de la végétation dans les chablis

L'évolution de la végétation dans les chablis requiert des informations à différentes périodes dans les zones touchées. La densité, l'âge et la composition forestière furent évalués avant et à différentes périodes après chablis lorsque ces informations étaient disponibles.

A) Période 1920-1946

Pour la période 1920-1946, nous avons utilisées les informations sur les photos aériennes afin de faire le portrait avant perturbation. Afin d'évaluer la densité, l'âge et la composition forestière avant perturbation, nous avons assumé que le peuplement avant chablis devait correspondre approximativement au peuplement résiduel dans le chablis après perturbation. L'âge était associé à celui des plus grands arbres résiduels alors que la densité avant chablis était alors estimée en combinant les arbres résiduels et les débris ligneux distinguables au sol. Pour les chablis totaux, nous avons assumé qu'il s'agissait de peuplements similaires à ceux non affectés au pourtour du chablis. Afin d'évaluer la succession après chablis, les peuplements des zones affectées par les chablis ont été répertoriés dans les périodes subséquentes. Pour ce faire, les zones de chablis des périodes 1920-1946 ont été superposées avec les informations sur les polygones forestier du 3^{ème} décennal et à celle observée sur les photos de 1970.

B) Période 1958-1973

Vu les informations manquantes sur les peuplements avant les chablis observés au premier décennal, nous avons simplement analysé ce que sont devenues les zones de chablis 10 ans après (données du 1^{er} décennal), ainsi que 30-40 ans après (données du 3^{ème} décennal). Les zones de chablis ont été superposées avec les informations sur les polygones forestier du 3^{ème} décennal.

C) Période 1980-2000

Pour cette période, le temps après perturbations est dans ce cas-ci trop court pour pouvoir estimer les transitions successionnelles.

2.2.2. Feux

2.2.2.1. Détection des feux

A) Période 1920-1946

Le pourcentage de la superficie d'une photo affecté par le feu a été évalué ainsi que l'estimation de l'âge du feu sur toutes les photos avec feu de 1935-1946. L'âge des feux est évalué avec l'année de la photo et l'estimation de l'âge de la régénération. Le pourcentage de la superficie affectée par le feu a été évalué par rapport à la superficie total de la photo selon les classes de pourcentage de superficie brûlée: 0, 1-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, 81-90, ainsi que plus de 90. Le pourcentage de superficie brûlée dans chaque photo a été ajusté en fonction de la superficie forestière productive. Pour ce faire, le pourcentage de couvert forestier non-productif (eau, dénudé sec, dénudé humide, aulnaie) a été calculé à partir de l'information contenue dans l'inventaire forestier du 3^{ième} décennal.

B) Période 1958-1973

Les zones de feux, lors du 1^{er} décennal ont été répertoriées en notant la superficie, la location et l'âge du feu lorsque disponible. Les téssels avec brûlis (appellation BR) ont été sélectionnées. La superficie a été mesurée plus précisément en superposant les polygones forestiers du 3^{ième} décennal sur la couche de téssel avec (BR) du 1^{er} décennal.

C) Période 1980-2000

La location, l'âge et la superficie brûlée de cette période a été déterminée avec les informations contenues dans l'inventaire forestier du 3^{ième} décennal.

2.2.2.2. Évolution de la végétation après feux

A) Période 1920-1946

Pour chaque photo avec ou sans présence de feu, les appellations des peuplements selon l'information contenue dans le 3^{ième} décennal ont été reclassées dans les catégories de sous-type de composition suivantes: **FI**, **FTFI**, **FT**, **MF**, **MR** et **R** décrite à la section 2.2.4. Le pourcentage de couverture forestière de chaque sous-type de composition a été calculé pour chaque photo. Ce pourcentage a aussi été ajusté par rapport à la superficie forestière productive. Les informations sur la végétation des zones de feux proviennent des inventaires du 3^{ième} décennal.

2.2.3. Épidémies d'insectes

Pour les deux principales espèces d'insectes pouvant affecter le paysage forestier, nous avons fait l'historique de leur présences/degré d'infestation sur le territoire à l'étude entre 1938-2000. Nous avons calculé le pourcentage d'infestation de tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) (*Choristoneura fumiferana* (Clemens)) et de la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn) selon les années et l'intensité de l'infestation en se servant de 170 points couvrant notre zone d'étude. Pour la TBE pour chaque points et chaque années, les nombres 0, 1 ou 2 sont assignés selon le code suivant : 0 = absence de TBE, 1 = présence infestation légère et 2 = présence infestation modérée et grave. Ainsi un pourcentage d'infestation selon l'intensité de l'épidémie a été attribué à chaque année. Par exemple, un total de 340 représente 100% de la zone d'étude avec un degré d'infestation

de la TBE de 2. Le même exercice fut effectué pour la livrée des forêts, cependant, l'intensité de l'infestation n'était pas toujours disponible.

2.2.4 Changement de composition, d'âge et de densité après perturbation

A) Changement de composition

En ce qui concerne la composition forestière après perturbation, l'information a été traitée suivant trois niveaux hiérarchiques : - a) types de composition, - b) sous-types de composition et - c) certaines essences. La première analyse au niveau du couvert végétal a été réalisée en comparant l'évolution de la représentativité (%) des types de composition : feuillus (**F**), résineux (**R**) et les peuplements mélangés (**M**). Ces types sont subdivisés en six sous-types de composition : feuillus tolérants (**FT**), feuillus intolérants (**FI**), mélangés à dominance de résineux (**MR**), mélangés à dominance de feuillus (**MF**), un mélange de feuillus tolérant et intolérants (**FI FT & FTFI**) et résineux purs (**R**). La liste des groupements d'essences utilisés dans les appellations cartographiques de l'inventaire forestier qui sont inclus dans chacun des sous-types de composition se trouve à l'Annexe 2 (Tableau 1). Les peuplements trop jeunes pour être classés en sous-types de composition étaient classés sous la rubrique « jeunes » (**J**). Afin d'analyser la composition au niveau des essences, nous avons considéré la présence certaine d'une essence lorsque l'appellation cartographique débutait par l'abréviation de cette essence.

B) Densité

La densité des peuplements a été calculée en utilisant la valeur médiane de chacune des classes de densité : 90% pour la classe de densité A; 70% pour la classe B; 50% pour la classe C; et 32% pour la classe D. Les moyennes ont été pondérées en fonction de la superficie de chacun des peuplements forestiers présents dans la zone perturbée.

C) Age

L'âge moyen de l'ensemble des peuplements d'un secteur a été estimée en utilisant les valeurs des classes d'âge suivantes : les valeurs pour les peuplements équiennes, 105 ans pour les vieux peuplements équiennes (90 et 120 ans), 60 ans pour les jeunes peuplements irréguliers (bi-étagés), 90 ans pour les vieux peuplements irréguliers, 70 ans pour les jeunes peuplements inéquiennes et 120 ans pour les vieux peuplements inéquiennes. La moyenne de l'âge a été pondérée en fonction de la superficie de chacun des peuplements forestiers présents dans la zone perturbée.

D) Type et sévérité des perturbations

La nature des perturbations et l'étendue de celles-ci constituent les derniers aspects analysés dans cette section. Pour ce faire, les perturbations naturelles ont été classées en trois types : - a) chablis - b) feux et - c) insectes. Pour les chablis, la sévérité des perturbations a été divisée en deux catégories : partielle ou totale. Malheureusement plusieurs données sont manquantes sur la sévérité des chablis et pour la période 1958-1973 seulement les chablis totaux sont disponibles.

2.2.5. Intervalle de retour des perturbations

Pour faire le bilan, les superficies perturbées ont été compilées pour tous les types de perturbations, et ce, pour les trois périodes suivantes : a) avant 1946; b) entre 1958-1973; c) entre 1980-2000. Nous avons aussi inclus les informations de la périodes 2000 à 2007 lorsque disponibles. Pour la période avant 1946, afin d'obtenir la superficie moyenne perturbée pour le territoire, nous avons combiné le pourcentage affecté par les chablis et les feux. Pour avoir une estimation de la superficie brûlée, nous avons multiplié la superficie recouverte par les photos où le feu était présent par le pourcentage moyen de feu sur les photos, en prenant soin de ne pas recouper la superficie des photos qui se superpose sur le

territoire. Puisque le territoire pour l'étude des feux n'est pas le même que le territoire pour l'étude des chablis, nous avons utilisé les pourcentages de superficies affectées par ces perturbations afin de pouvoir les comparer.

Pour procéder à l'analyse d'intervalle de retour, nous avons considéré tous les chablis ou tous les feux observés dans toutes les périodes à l'étude. Les différents calculs ont été réalisés à l'aide des données spatialisées provenant de Arc View GIS 3.2 (ESRI 1999) et de Arc View Spatial Analyst 1.1 (ESRI 1998).

3. Résultats

3.1. Les perturbations naturelles : chablis

3.1.1 La détection des chablis

3.1.1.1 Période 1920-1946

La superficie totale des zones de chablis de la période 1920-1946 ayant été répertorié sur les photos aériennes est de 52.2 ha soit 0.0068% du territoire de référence analysé, dont 5.5 ha est de sévérité totale et 46.65 ha partielle. Les chablis répertoriés durant cette période sont localisés en 10 petites zones, les unes près des autres (Figure 3). Ce chablis est de forme régulière linéaire et sa direction est SO vers NE. Le chablis lors de la prise de photo aérienne (1945) a été évalué à un âge d'environ 2-3 ans. L'évaluation de la végétation de cette zone d'après les photos aérienne de 1970 montre que l'âge de la régénération est évalué à environ 25 ans.

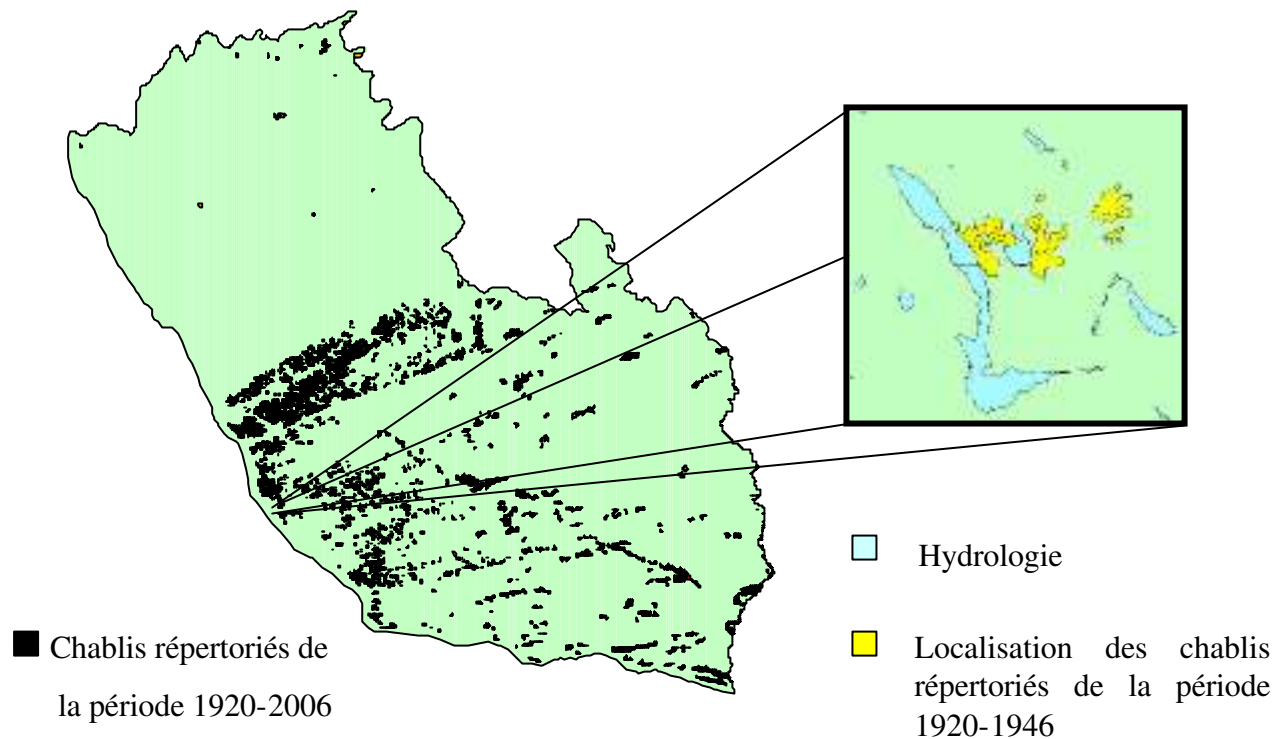


Figure 3. Localisation de tous les chablis ayant été observés entre 1920 et 2006 dans le territoire d'étude. La figure en exergue représente la zone de chablis répertoriée entre 1920 et 1946.

3.1.1.2 Période 1958-1973

21 zones de chablis ont été détectées durant la période 1958-1973, totalisant près de 781 ha, soit environ 0.1% du territoire de référence. Pour au moins 557 ha, l'année des chablis est estimée à environ 1962. Les informations manquantes sur l'année des chablis sont probablement dues au fait que les chablis étaient trop récents pour y coller une appellation d'âge de peuplements. La plupart des chablis sont plus petit que 100 ha et de forme diverses (Figure 4). Une zone un peu plus importante de chablis à une orientation SO vers NE (voir zoom de la Figure 4). On observe dans l'extrémité est-sud-est un très grand chablis de plus de 1225 ha durant cette période, mais seulement une petite portion de ce chablis se trouve incluse dans les limites de notre territoire de référence (voir extension de la Figure 4). Ce chablis date d'environ 1962. Ce chablis a une forme plutôt allongée avec une orientation principalement SO-NE. Comme les données du 1^{er} décennal ne distinguent pas la sévérité des chablis, l'analyse de la sévérité des chablis n'a pas été effectuée pour cette période.

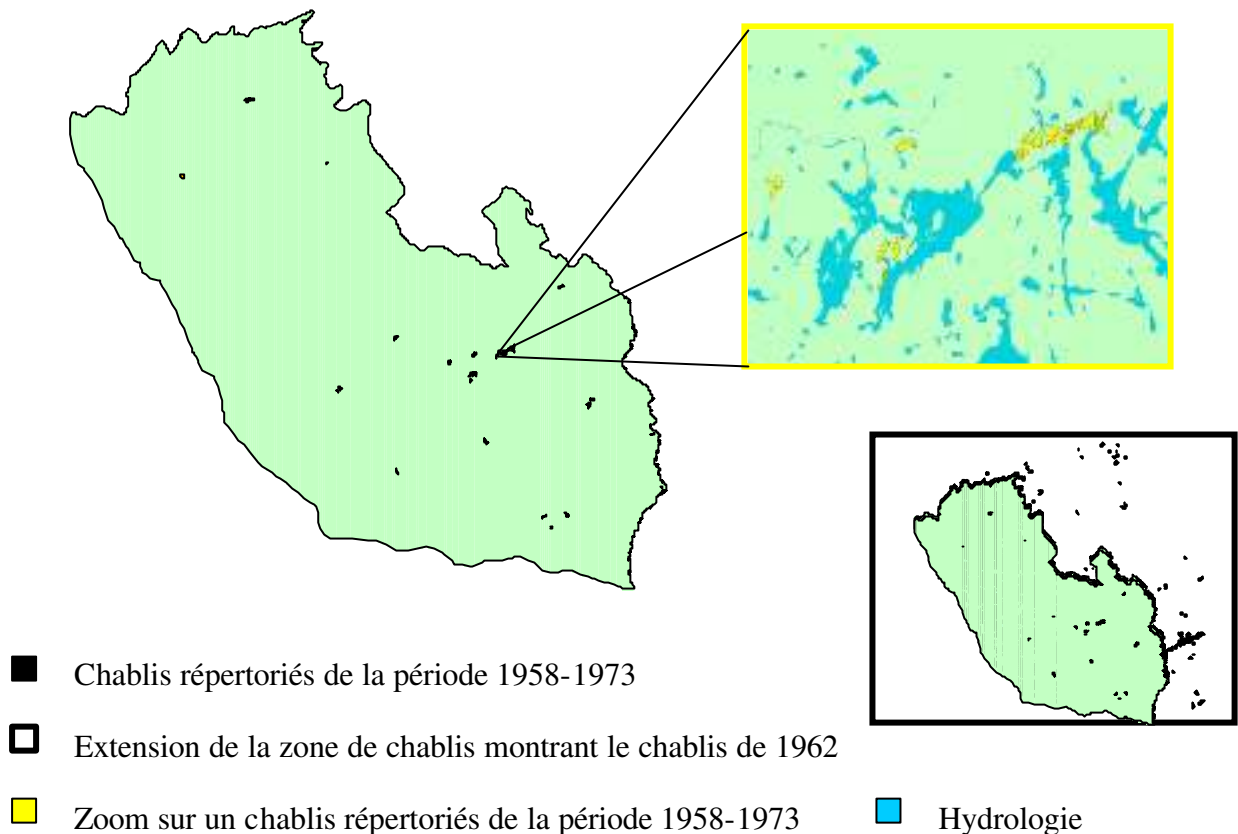


Figure 4. Localisation des zones de chablis de la période 1958-1973.

3.1.1.3 Période 1980-2000

Les zones de chablis répertoriés pour cette période proviennent principalement de deux événements distincts de chablis. Un a eu lieu en 1983 et l'autre en 2006. Nous estimons la superficie occupée par le chablis de 1983 à 3 276 ha, soit 0.43% de la zone totale à l'étude. Cette superficie inclut les 1516 ha répertoriés comme chablis pour l'année 1983, ainsi que les 1760 ha de coupes partielles (CP) de 1983-1984 ayant eu lieu autour des zones chablisées. Cet ajout des peuplements avec le code de coupes partielles (CP) en périphérie du chablis, vient du fait que ces coupes ont de fortes chances d'avoir été des coupes de récupération du chablis (communication personnelle Sylvain Beaulé, MRNF). La zone de chablis de 1983 s'étend du nord-ouest au sud-est sur une longueur de 75 km par plus de 2 km de large par endroit (Figure 5). Il y a peu d'information climatique disponible pour caractériser le chablis du 15 juillet 1983 (intensité de la tempête et étendue de l'ensemble des dégâts) étant donné l'accès limité des secteurs touchés et l'absence de stations météorologiques à proximité. Cependant, des observations sur le terrain ont confirmé que cette perturbation naturelle fut très sévère (Doyon et Bouffard 2008). Outre cette grande zone de chablis, près de 14 autres petites zones représentant 327 ha ont été recensées comme chablis total pour la période 1980-2000 (Figure 5).

■ Localisation des zones de chablis de la période 1980-2000

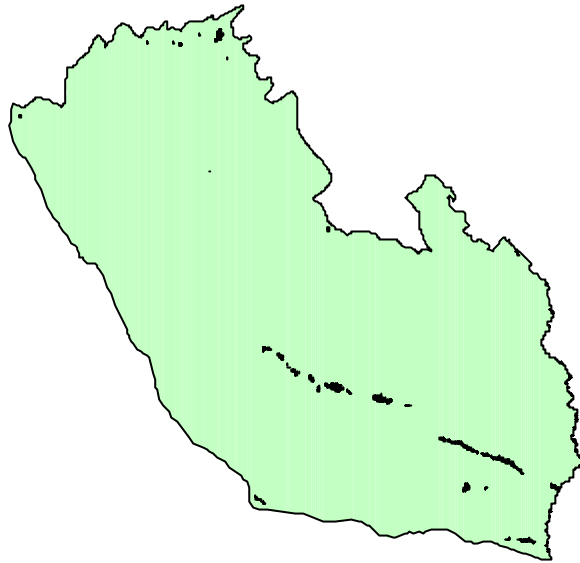


Figure 5. Localisation des zones de chablis de la période 1980-2000.

3.1.1.4 Période 2000-2006

La zone de chablis de 2006 est presque entièrement localisée dans l'unité de paysage régionale « Témiscamingue » (Robitaille et Saucier 1998). Le 17 juillet 2006, de violents orages accompagnés de bourrasques de vents allant jusqu'à 170 km/h, ont balayé le sud du Témiscamingue pendant plusieurs heures (Environnement Canada 2006). À la station météorologique du barrage Témiscamingue, des vents de 80 à 120 km/h ont été observés, mais il est fort probable que des pointes de vent supérieures à ces valeurs se soient produites dans certaines vallées étroites ainsi que sur la rive est des grands plans d'eau. En fait, l'ampleur des dégâts de ce chablis de forme rectiligne dépasse de beaucoup celle d'événements précédents. Ce chablis s'étend, à l'est de la rivière des Outaouais, sur environ 55 km du nord au sud et 45 km selon l'axe est-ouest (Figure 6). L'orientation du chablis est SO vers NE.

Au total, plus de 25 583 hectares ont été affectés, soit près de 3.3% du territoire d'étude. Nous savons que sur une superficie du chablis ayant été analysée, 3 281 ha et 2 022 ha sont composés de peuplements dont les dégâts touchent respectivement de 33 à 66% des arbres et de plus de 66% des arbres (Figure 6). Il a aussi été estimé que plus de 1670 ha de ce chablis ont été récupérés lors de coupes post-chablis.

Parmi les strates forestières non aménagées touchées par le chablis, la majorité des peuplements (68%) sont de type mélangés et 27% de type feuillus. Des données relatives aux classes d'âges et à l'estimation de volume de bois affectés dans une zone de 1172 ha sont aussi disponibles. On note l'importance de plusieurs essences soit l'érable à sucre (34 809 m³), les bouleaux jaunes (29 211 m³), les bouleaux blancs (15 099 m³) ainsi que les pins (24 589 m³) (MRNF 2007). Il est intéressant de noter que parmi les 52.2 ha du chablis de 1942, environ 19 ha de cette zone ont aussi été affectés par le chablis de 2006 dont 16.7 ha ont fait partie d'une coupe de récupération en 2006-2007 (Figure 6).

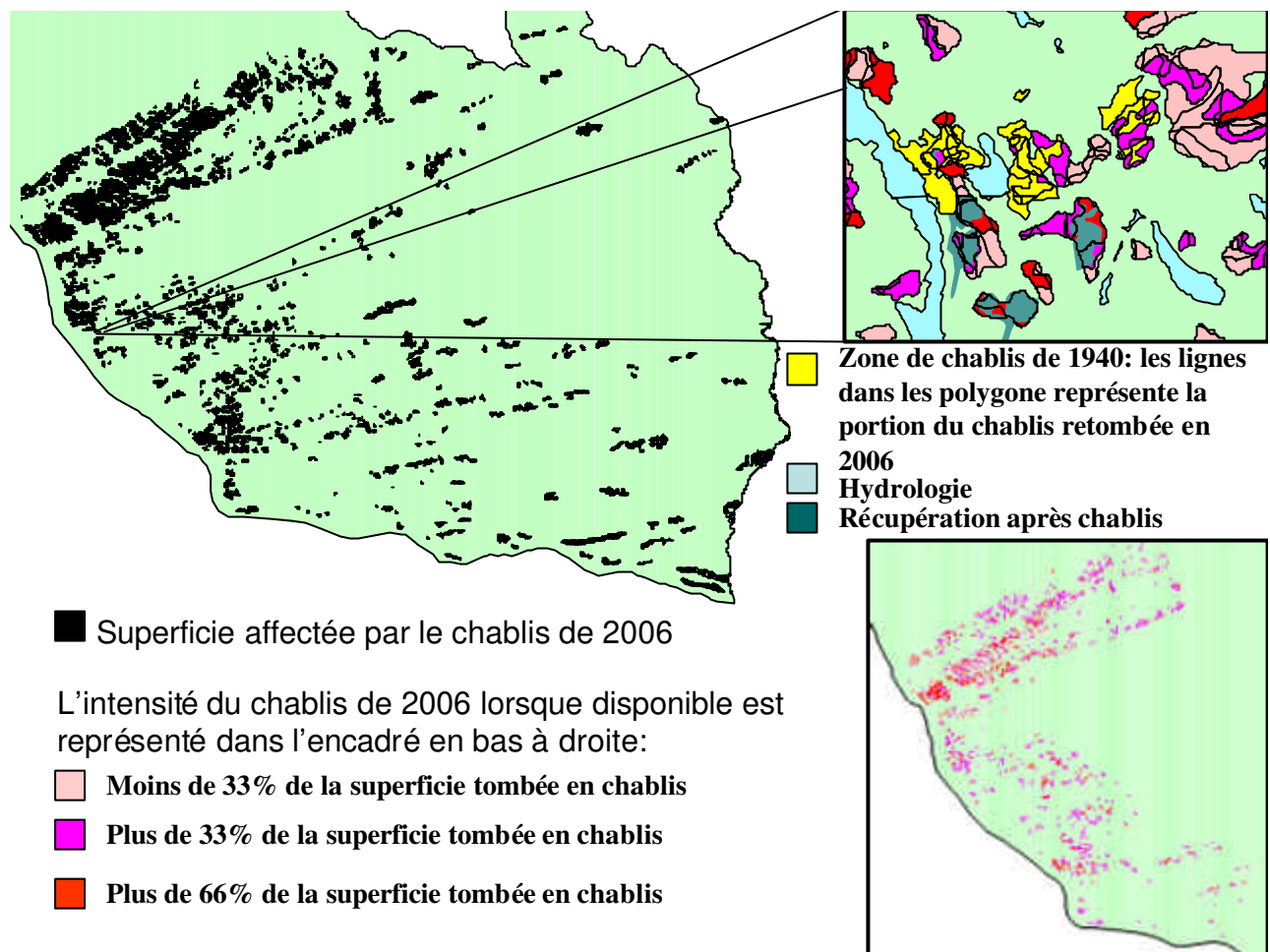


Figure 6. Localisation des chablis de 2006 et de la zone de chablis de 1940 retombés en 2006

3.1.2 Composition des peuplements affectés par le chablis

3.1.2.1 Composition des chablis pour la période 1920-1946

La zone chablisée de la période 1920-1946 était constituée de peuplements de bouleaux (**BjR** et **BbS**), mais il y avait aussi des peuplements d'éraablières avec chêne rouge sur les sommets. La description détaillée de ces zones de chablis se retrouve en Annexe 2 (Tableau 2). On estime la composition avant le chablis à 100% mixtes (Tableau 5). Plus en détails, l'analyse des sous-types de composition avant le chablis, montre que cette zone était composée de peuplements 100% mixte à dominance de feuillus (**MF**).

En 1970, soit environ 28 ans après le chablis, environ 70% des peuplements sont considérés comme principalement mixte feuillu (**MF**) et près de 30% principalement mixte résineux (**MR**) (Tableau 5). On observe donc une tendance à l'augmentation des résineux 30 ans après chablis (Tableau 5). Environ 60 ans après chablis, dans les zones de chablis totaux, les peuplements étaient encore majoritairement mixtes (63%); 50% des sous-types de composition restent mixte à dominance de feuillus (**MF**) et 13% sont maintenant considérés comme mixte à dominance de résineux (**MR**). De plus environ 37% étaient devenus des peuplements feuillus; dont 35% composée de feuillus intolérants (Figure 7). En

ce qui concerne les chablis partiels, près de 88% des peuplements sont restés mixtes; le sous-type de composition **MR** occupe plus de 40% de la superficie, la majorité (près de 48%) reste cependant le sous-type de composition **MF** (Figure 7). Les 12% restant sont partagés entre les peuplements **R** (2%), les **FT** et les **FI** (Figure 7).

Une analyse croisée permet de constater que la moitié des peuplements mixtes feuillus portent la même appellation 60 ans après la perturbation dans les chablis totaux et partiels. De plus, 28% des peuplements **MF** est devenu **MR** et environ 20% des peuplements **MF** est devenu **FI**. L'augmentation du sous-type de composition **FI** est attribuable majoritairement au chablis total tandis que l'augmentation des résineux (résineux ou mixte résineux) s'observe dans les deux types de chablis (Figure 7).

En poussant plus en détail l'analyse du changement de la composition des peuplements, on observe que les chablis estimés à l'année 1942 ont occasionné une augmentation de la diversité de la composition des peuplements (Figure 8). À noter aussi que les chablis ont permis d'augmenter la présence du pin blanc (*Pinus strobus*) et de feuillus intolérants 60 ans après chablis. Après chablis totaux, les mixtes de bouleau blanc à résineux deviennent majoritairement des bétulaies blanches alors que les bétulaies jaune à résineux deviennent des bétulaies blanches à résineux (Tableau 6). À noter l'augmentation de la présence de bouleau blanc, de feuillus intolérants purs et de pin blanc dans le cas du chablis total (Figure 8). C'est dans les zones de chablis partiels que la diversité en composition augmente le plus, passant de bétulaies jaune et blanches à résineux à une variété de composition de toutes sortes impliquant entre autre le pin blanc, les érables à sucre et rouge (*Acer rubrum*) (Tableau 6 et Figure 8).

Tableau 5. Sévérité, années depuis le chablis, composition, sous-type de composition et densité moyenne de différentes zones affectée par un chablis (un chiffre différent représente une zone différente) ainsi que de la zone totale forestière d'étude.

Zone de chablis	Sévérité du chablis	Années depuis le chablis	Composition %			Sous-type de composition %						Densité moyenne %
			F	M	R	FI	FT	FTFI	MF	MR	R	
1	partiel	avant	0	100	0	0	0	0	100	0	0	50
1	total	avant	0	100	0	0	0	0	100	0	0	66
1	Partiel et total	28				0	0	0	70	30	0	
1	partiel	60	8	90	2	4	4	0	48	42	2	73.2
1	total	60	37	63	0	36	0	0	50	14	0	83.1
2A	total	10	11	34	55							
2A	total	40				9	10	0	37	22	11	
2B	total	30-40	19	61	20	10	11	0	42	25	12	63.6
Zone totale d'étude			30	60	10	6	26	2	40	16	10	64

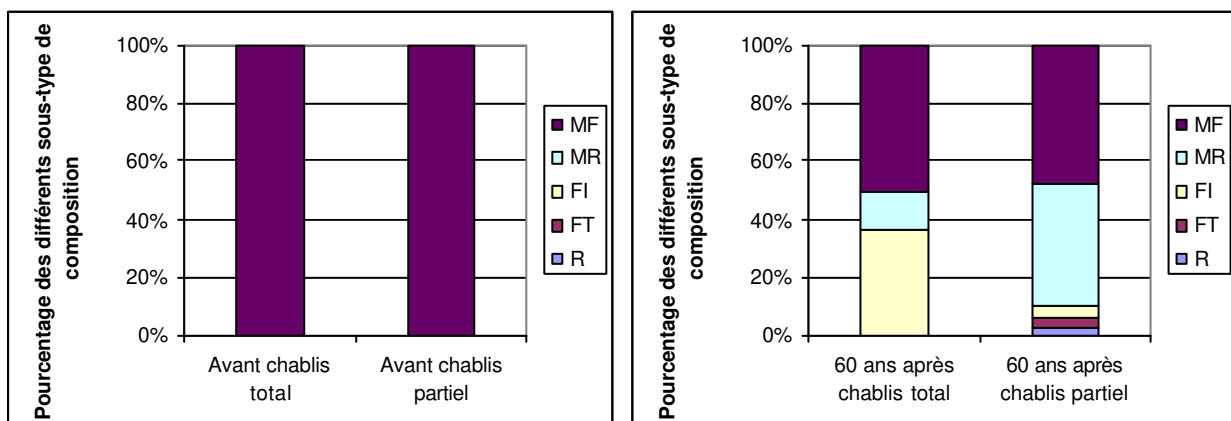


Figure 7. Représentation du changement des différents sous-types de composition avant le chablis (vers 1940) et après 60 ans (vers 2000) dans des zones de chablis total ou partiel.

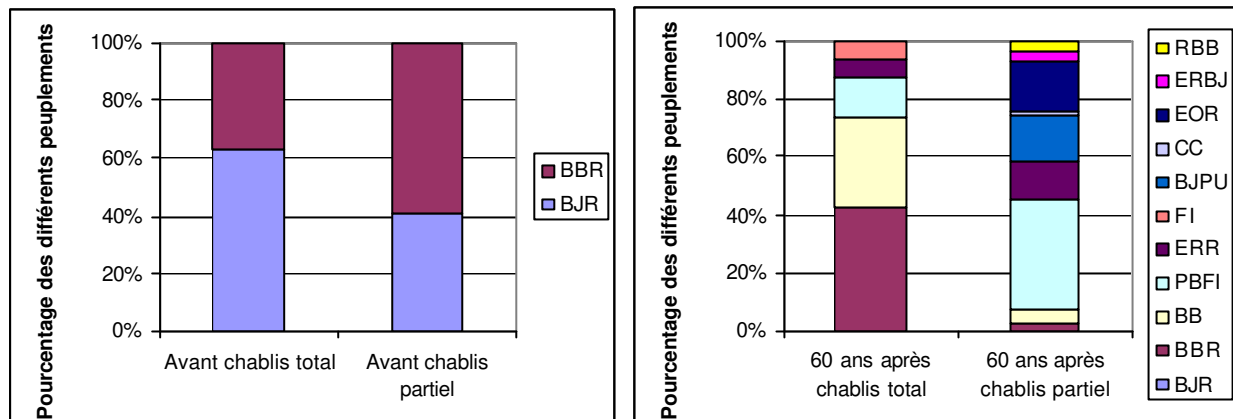


Figure 8. Représentation du changement de la présence certaine de différentes essences forestières après 60 ans dans des zones de chablis total ou partiel.

Tableau 6. Superficies (hectares) occupées par les différents types de peuplement en 2000 en fonction de leurs types de compositions en 1940.

1940		2000										
Chablis	Type	Total	BB	BBR	BJPU	CC	EOR	ERBJ	ERR	FI	PBFI	RBB
Total	BBS	1.8	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	BJR	3.8	0	2.4	0	0	0	0	0.4	0.3	0.8	0
Partiel	BBR	27.4	1.9	0	0.9	0.3	6.1	1.8	0.7	0	11.5	1.6
Partiel	BJR	19.2	0	1.2	5.8	0.4	1.0	0	5.2	0	2.0	0.8

3.1.2.2 Composition des chablis de la période 1958-1973

Pour la seconde période 1958-1973, des informations sur la composition 10 ans après chablis dans près de 557 ha ont été analysés. Ces peuplements sont composés majoritairement de résineux à 55% avec 34% de mixte et moins de 11% de feuillus (Tableau 5). Trente à quarante ans après ces chablis, le portrait de la composition est différent; on observe 61% de peuplement mixte, 19% de feuillus et 20% de résineux (Tableau 5). En somme, il y avait plus de peuplements résineux 10 ans après chablis, mais plus de peuplements mixtes 30-40 après. Nous ne pouvons cependant pas tirer plus de conclusion en raison de l'information manquante (sans appellation de composition) pour une partie des peuplements.

Si on compare les peuplements affectés par des chablis et ceux de la zone total forestière à l'étude, on peut noter que, 30-40 ans après, pour les 2 conditions, près de 60% des peuplements sont de type **M**. On observe aussi que la proportion de **MF** (40%) et de **R** (10%) demeure comparable et que le pourcentage de **FTFI** reste assez marginal dans les 2 cas (Figure 9). Cependant, dans la zone total d'étude, environ 30% des peuplements sont **F** et seulement 10% sont **R**, tandis que dans les zones 30-40 ans après chablis, 19% sont **F** et plus de 20% sont **R** (Tableau 5).

Lors de l'analyse des sous-types de composition, on observe dans les zones chablisées une proportion plus faible des **FT** (11 versus 26%) alors que la proportion des **FI** (10% versus 6%) et des **MR** (25 versus 16%) y est plus élevée. Il y donc une tendance à la diminution des feuillus et à l'augmentation des résineux 30-40 après chablis comparativement à la zone total d'étude. Les autres sous-types de composition **FI**, **FT** et **R** occupent entre 9 et 11% de la superficie forestière après chablis (Tableau 5).

Trente à quarante ans après les chablis de la période 1958-1973, on observe selon l'appellation des peuplements que le bouleau blanc est présent dans plus de 27% des peuplements, suivi de l'épinette (*Epicea sp.*) (15%), du bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) (10%), de l'érable rouge (10%), de pins blancs et rouges (*Pinus resinosa*) (10%) et d'érable à sucre (5%) (Figure 10). Bien que la proportion de **FI** ne soit que de près de 9%, on remarque la présence importante de feuillus intolérants (**BB**, **PE**) dans les zones chablisées (probablement dilué dans les sous-types de composition **MR** et **MF**). Comparativement à la zone de référence, les superficies affectées par les chablis de la période 1958-1973 montrent certaines différences quant à la présence de certaines essences forestières. On observe entre autre une plus grande importance du bouleau à papier (27% versus 9%), d'érable rouge (10% versus 2%) et d'épinette (15% versus 4%) dans les zones d'ancien chablis (Figure 10). On observe aussi une proportion plus faible d'érable à sucre (5% versus 27%) et de bouleau jaune (11% versus 20%) (Figure 10).

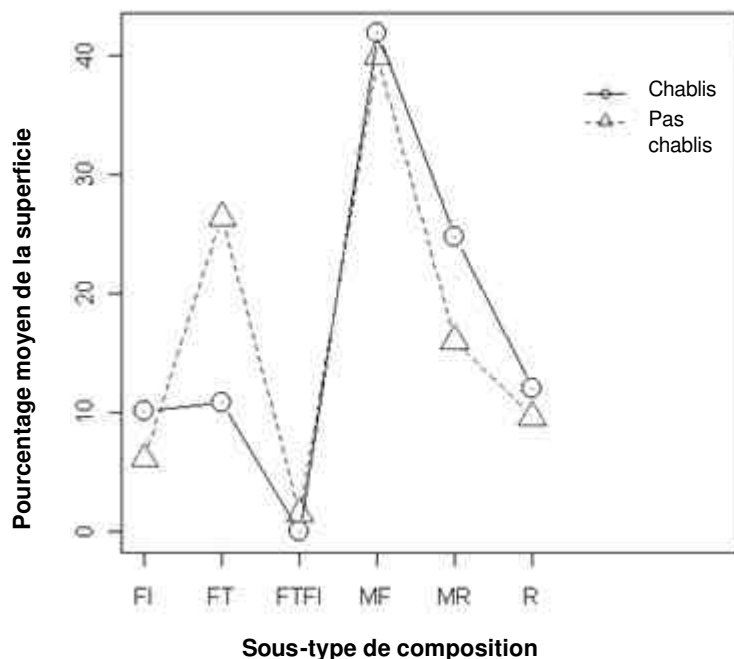


Figure 9. Pourcentage moyen de chaque sous-type de composition selon la présence ou non de chablis totaux pour la période 1958-1973.

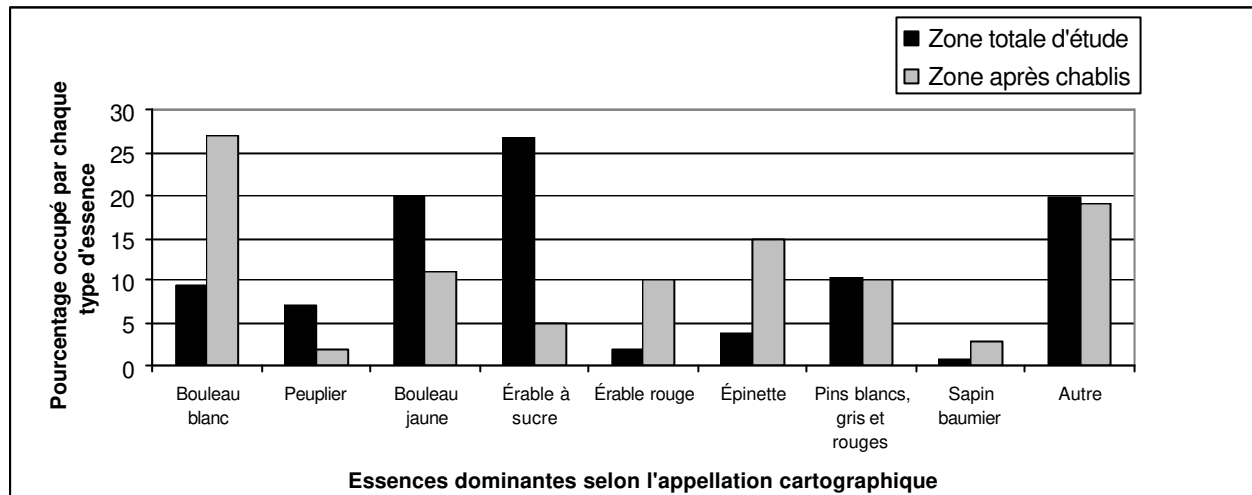


Figure 10. Pourcentage moyen de superficie avec présence certaine d'essence dominante selon l'appellation cartographique du 3^{ème} décennal pour la zone totale forestière d'étude et pour la zone 30-40 ans après les chablis totaux de la période 1958-1973.

3.1.3 Densité des peuplements affectés par le chablis

3.1.3.1 Densité des peuplements provenant du chablis de 1942

Dans les chablis totaux, la densité moyenne pondérée après approximativement 60 ans a augmenté d'environ 17% (de 66 à 83%), tandis que dans les zones affectés par les chablis partiels, l'augmentation est de 23% (de 50 à 73%) (Tableau 5). La superficie couverte par la classe de densité B et C dans les chablis totaux et uniquement C dans les chablis partiel semble avoir grandement diminuée au profit de la classe de densité A dans les chablis totaux et les classes A et B dans les chablis partiels (Tableau 7).

Tableau 7. Pourcentage de la superficie des peuplements dans chacune des classes de densité.

Zone de chablis	Sévérité du chablis	Années depuis le chablis	Pourcentage de chaque classes de densité			
			A	B	C	D
1	partiel	avant	0	0	100	0
1	total	avant	0	80	20	0
1	partiel	60	34	51	11	4
1	total	60	78	15	0	7
2 B	total	30-40	17	46	24	13
Toute la zone d'étude			13	50	31	6

3.1.3.2 Densité des peuplements provenant du chablis de la période 1958-1973

De 30 à 40 ans après chablis (chablis de la période 1958-1973), la densité moyenne pondérée des peuplements affectés dans notre zone d'étude était de 64%. Cette valeur est comparable à la densité moyenne pondérée calculée pour l'ensemble du territoire de référence qui est aussi de 64% (Tableau 5). De plus, la répartition des superficies selon les classes de densité est elle aussi comparable avec une majorité de B suivi de C, de A et finalement de D (Tableau 7). Ainsi, environ 30-40 ans après chablis, la densité des peuplements demeure semblable à la densité des autres peuplements forestiers du territoire de référence.

3.1.4 Structure d'âge des peuplements affectés par le chablis

3.1.4.1 Structure d'âge des peuplements provenant du chablis de 1942

Dans les chablis totaux de la période 1920-1946, les peuplements avant chablis étaient partagés entre une structure équiennne (53%) et inéquiennne (47%) (Figure 11). Ces peuplements sont devenu près de 60 ans plus tard majoritairement équiennne (92%) et 8% de structure irrégulière (souvent bi-étagée). Dans les chablis partiel aussi, les peuplements avant chablis étaient partagés entre une structure d'âge équiennne (66%) et inéquiennne (34%). Après chablis partiel les structures équiennne diminuent (46%) au profit de la structure d'âge inéquiennne (50%) et près de 4% deviennent de structure d'âge irrégulière.

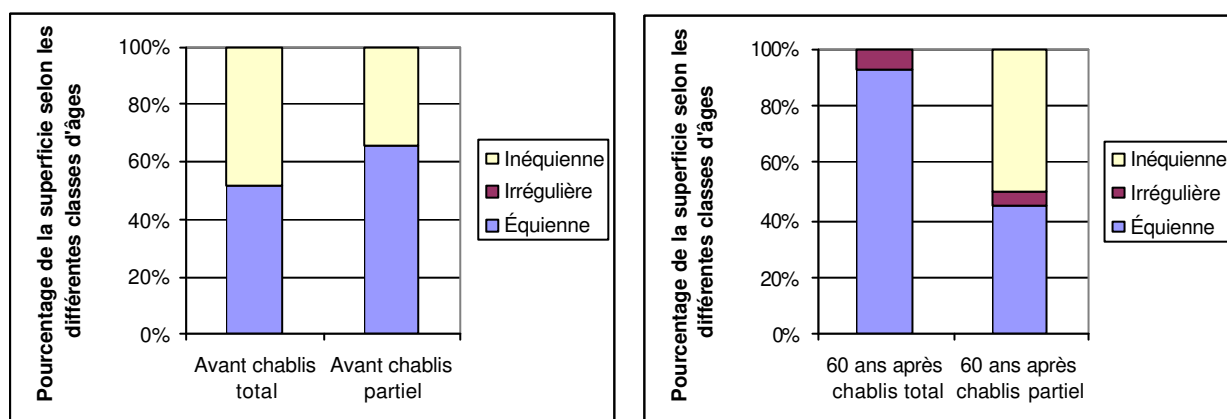


Figure 11. Structure des classes d'âges des peuplements avant et 60 ans après les chablis (total et partiel) de 1942.

3.1.3.2 Structure d'âge des peuplements provenant du de la période 1958-1973

Pour la structure d'âge équiennne, qui constitue plus de 69% de la superficie du territoire 30-40 ans après les chablis de la période 1958-1973, la moyenne d'âge des peuplements est de 36.7 ans, les classes d'âge de 30 et 50 ans étant majoritaires (Figure 12). Ce chiffre correspond bien à l'âge que devrait avoir les peuplements selon l'estimation de l'âge des chablis de cette période. La structure d'âge inéquiennne y représente près de 25% avec des peuplements majoritairement JIN et la structure d'âge irrégulière représente environ 5% des peuplements.

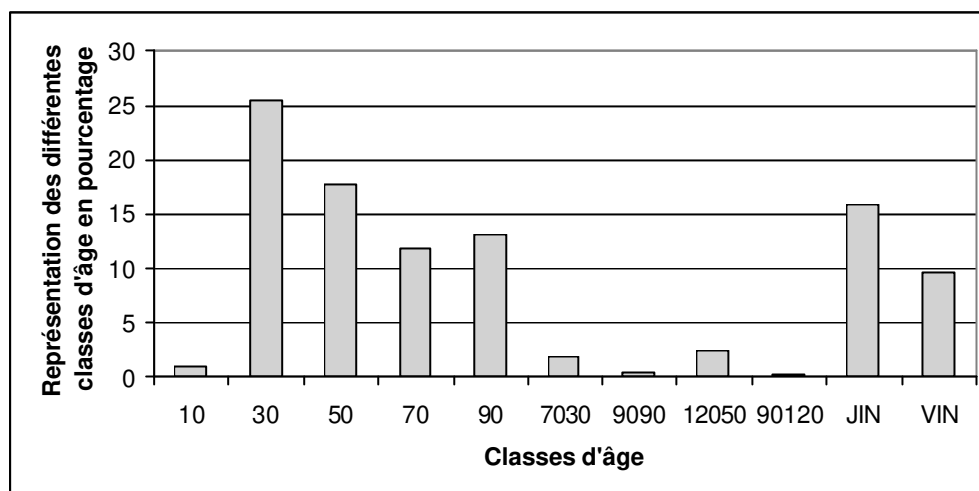


Figure 12. Représentation des différentes classes d'âge en pourcentage pour les chablis de la période 1958-1973

3.1.4 Portrait global des chablis pour le 20^{ème} siècle

Le tableau 8 synthétise les informations sur les superficies des zones touchées par les chablis, ainsi que leurs intensité, lorsque disponible, selon les différentes périodes. En somme, plus de 3.9% de la superficie forestière productive du territoire de référence (769 508 ha) a été touché par des chablis. De ce nombre, près de 30 000 ha de forêt ont été touchés par des chablis totaux ou de forte intensité. Très peu de chablis partiels ont été répertoriés dans cette étude, peut-être notamment dû à la difficulté de les détecter et au manque d'informations dans les données du 1^{er} décennal. La majorité de la superficie des chablis analysés dans cette étude est attribuable à quelques événements (Tableau 9). Il est à noter que le chablis de 2006 contribue à lui seul pour près de 85% de toutes les superficies qui ont été chablisées depuis 1920.

Cette compilation peut être utilisée pour calculer l'intervalle de retour et la superficie moyenne annuelle affectée par les chablis. Compte tenu de l'ampleur du chablis de 2006, nous avons fait l'exercice en incluant et excluant le chablis de 2006 (Tableau 10). En incluant le chablis de 2006, la superficie moyenne annuellement affectée par les chablis est de 0.058% de sur une période de 67 ans, soit un intervalle de retour de 1717 ans. La superficie moyenne annuellement affectée par les chablis diminue à 0.0096% lorsqu'on exclue le chablis de 2006 (période de 60 ans), soit un intervalle de retour de 10 407 ans.

Tableau 8. Superficies (ha) des chablis pour les périodes à l'étude.

Période	1920-1946	1958-1973	1980-2000		2000-2006
			Chablis de 1983	Autres	
Chablis total	6	781	1 516	134 193	23 913*
Chablis partiel	47	x	x		
Chablis récupéré	0	0	1 760		1 670.13
Superficie total des chablis	52	781	3 276	327	25 584
Superficie de la zone forestière d'étude	769 508	769 508	769508		
Pourcentage de la zone d'étude affecté par des chablis	0.0068%	0.10%	0.43%	0.043 %	3.32%
			Sous-total : 0.47%		
Total			3.90 %		

* Le chablis ne fut pas évalué selon la codification chablis partiel et chablis total, mais avec un code d'intensité.

Tableau 9. L'âge approximatif des principales zones de chablis (plus de 50 ha) répertoriées dans cette étude entre 1920 et 2006.

Estimation de l'année du chablis	Superficie du chablis (ha)	Année d'observation du chablis
1942	52	1945
1962	557	Inventaire du 1 ^{ier} décennal
1983	3 276	Inventaire du 3 ^e décennal
1999	134	Inventaire du 3 ^e décennal
2006	25 584	Inventaire du 3 ^e décennal (mis à jour)

Tableau 10. Les intervalles de retour pour la perturbation chablis selon les différentes périodes à l'étude, ainsi que l'intervalle de retour pour toute la période à l'étude.

Période à l'étude					1920 -1946	1920 -1946
	1920-1946	1958-1973	1980-2000	2000-2006	1958 -1973	1958 -1973
					1980 -2006	1980 -2000
Intervalle de retour (an)	383481	14778	4058	478.74	1717	10407

3.2. Les perturbations naturelles : feux

3.2.1 Superficies affectés par le feu pour la période avant 1946

La figure 13 représente la localisation des feux de la période avant 1946, ainsi que le pourcentage de superficie brûlée. Pour toutes les photos avec présence de feu (soit près de 397 404 ha), la moyenne de la superficie forestière de la photo brûlée est de 49.2%. On voit ainsi que le feu a été très actif avec une estimation de 195522.8 ha brûlés pour la période avant 1946 soit 23.7% du territoire à l'étude. Les feux sont localisés majoritairement dans la moitié plus au nord. L'âge moyen de régénération du feu sur les photos est de 21.2 ans et la fréquence du nombre de photos avec présence de feux montre que le feu fut particulièrement présent dans les années 1915 et 1925 (Figure 14).

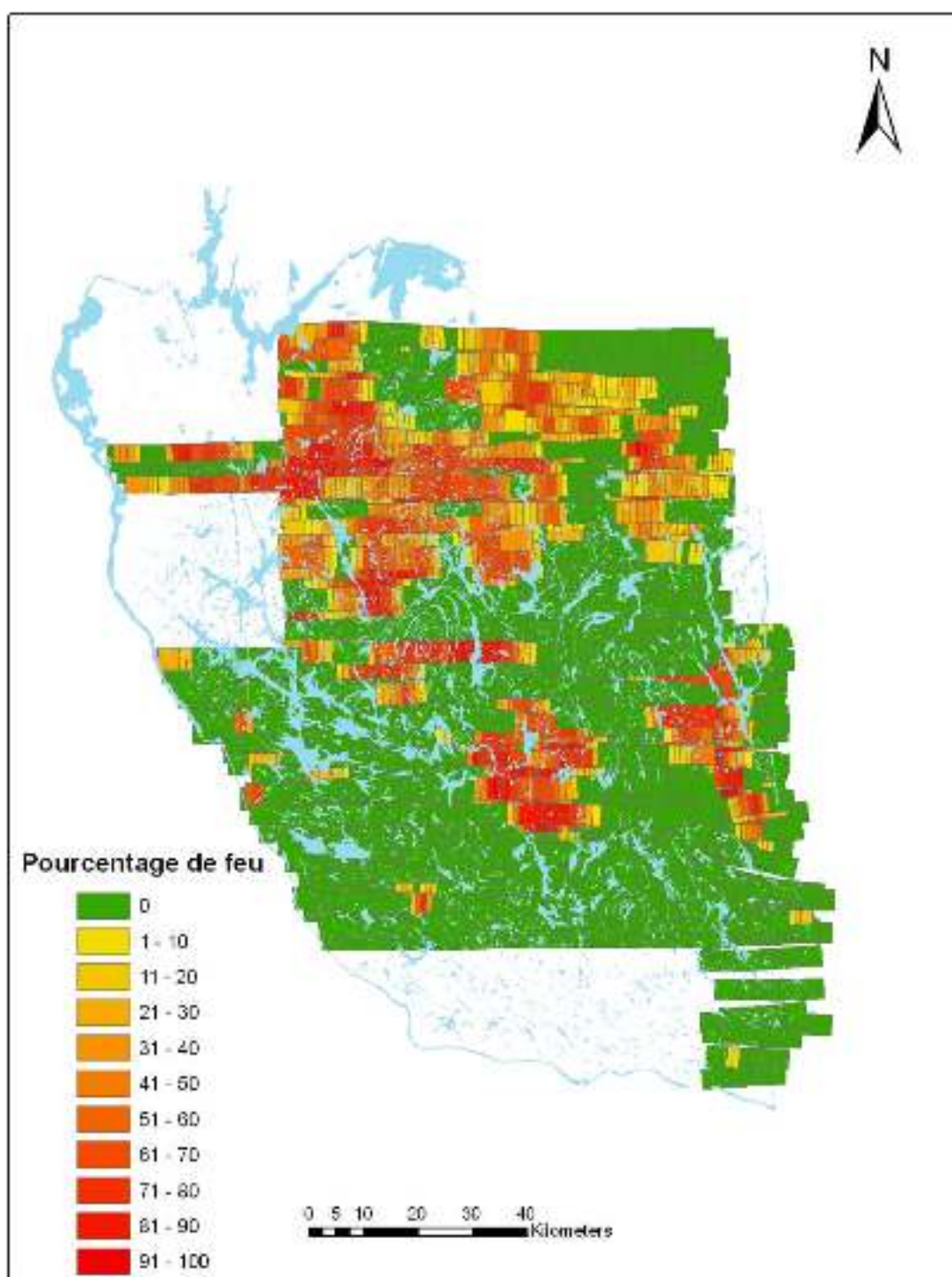


Figure 13. Localisation et pourcentage de superficie affectée par les feux entre 1905 et 1946.

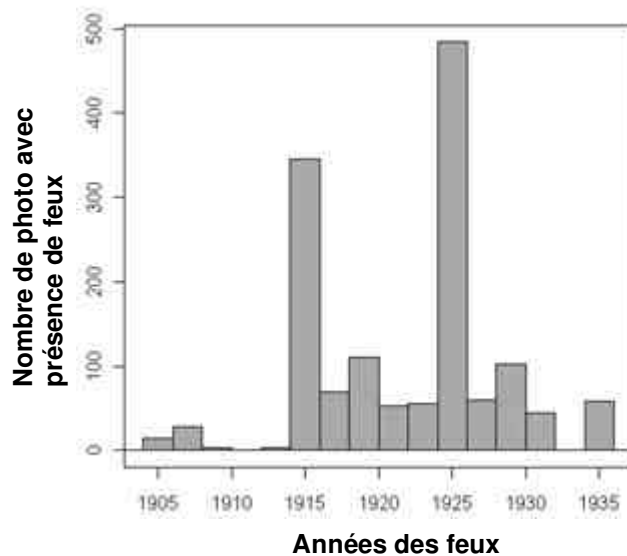


Figure 14. La fréquence du nombre de photo avec présence de feu selon l'année estimée des feux de la période avant 1946.

3.2.2 Superficies affectés par le feu pour les périodes 1958-1973 et 1980-2000

Pour les feux détectés avec l'inventaire forestier du 1^{er} décennal, on estime à 13130 le nombre d'hectare brûlés soit 1.6% du territoire. La figure 15, montre que ces feux sont majoritairement situés dans le nord de la zone à l'étude. Tandis que pour les informations de 3^{ème} décennal, seulement 2483 ha auraient brûlés soit 0.3% du territoire. Ces feux sont encore une fois localisés majoritairement dans la section nord de la zone d'étude (Figure 15).

En somme pour le 20^{ème} siècle dans l'érablière à bouleau jaune du Témiscamingue, on obtient une estimation du pourcentage de superficie brûlée annuellement de 0.33%, soit un intervalle de retour d'environ 303 ans. Si l'on exclus la première période à l'étude, on obtient un pourcentage de superficie brûlée beaucoup plus petit soit 0.054% se qui correspond à un intervalle de retour de 1852 ans. De plus, pour chacune des 3 périodes prises individuellement, le pourcentage de superficie brûlée annuellement décroît (Tableau 11).

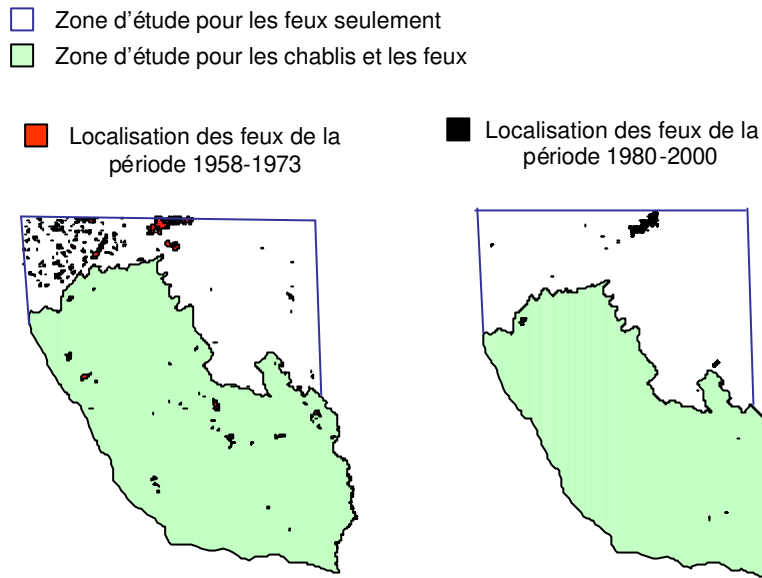


Figure 15. Localisation des feux de la période 1958-1973 (gauche) et de la période 1980-2000 (droite).

Tableau 11. Pourcentage de la superficie brûlée annuellement selon les différentes périodes à l'étude.

Période à l'étude	1905 -1946				
	1905-1946	1958-1973	1980-2000	1958 -1973	1980 -2000
Pourcentage de superficie brûlée annuellement	0.58%	0.11%	0.015%	0.054%	0.33%

3.2.3. Les données de la composition forestière dans les zones de feux d'avant 1946

3.2.3.1. L'effet de la présence de feu sur les sous-types de composition environ 65-85 ans après feux

Premièrement la différence entre la composition forestière dans les zones avec et sans feu a été analysée. Le Tableau 12 compare les moyennes avec leurs écarts type du pourcentage de la superficie occupée par chaque sous-types de composition forestière dans les photos sans feu et les photos avec feu. Il est à noter que dans tous les cas, les moyennes sont significativement différentes ($p < 0.05$) entre les sous-types de composition avec et sans feu (Tableau 12).

Il est aussi intéressant de noter que la moyenne du pourcentage pour tous les sous-types de composition des photos sans feu se situe à l'intérieur de l'écart entre la moyenne de sous-type de composition pour les zones forestières totales d'étude pour les feux et pour les chablis décrite en Annexe 2 (Tableau 3), soit: **MF** (38-40), **MR** (16-18), **FT** (15-26), **FI** (6-14), **R** (10-13) et **FTFI** (1.5-2).

Le pourcentage de superficie des sous-types de composition **FT**, **MF** et **MR** diminue avec la présence de feu (Figure 16). En contre partie, les pourcentages de superficie des sous-types de composition **FI**, **FTFI** et **R** augmentent avec la présence de feu. La moyenne de **FI** est de 8.1% sans feu et 24.7 % avec feu, tandis que la moyenne de **R** est de 12.5% sans feu et 16.2% avec feu (Figure 16). Les diminutions les plus importantes sont les **FT** qui sont de 17.1% sans feu et 7.9% avec feu et les **MF** qui sont de 41.9% avec feu et 33.6% sans feu. Cependant, le fait que la présence de feu ne prend pas en compte le pourcentage de la photo brûlée peut entraîner des biais important. Nous avons donc, par la suite, pris en considération le pourcentage de superficie brûlée par photo et non uniquement la présence de feu.

Tableau 12. La moyenne du pourcentage de la superficie occupée par chaque sous-type de composition forestière avec et sans feu environ 65-85 ans après feux. Le nombre de photo est de 2567 sans feu et de 1433 avec feu. Toutes les moyennes sont significativement différentes avec et sans feu.

Sous-type de composition	Moyenne avec feu	Moyenne sans feu
FI	24.7	8.1
FT	7.9	17.1
FTFI	2.3	1.0
MF	33.6	41.9
MR	15.3	19.4
R	16.2	12.5

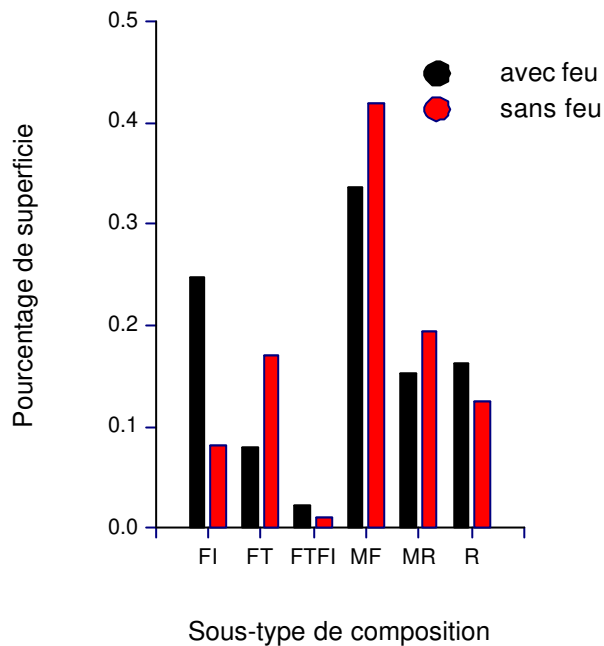


Figure 16. La moyenne du pourcentage de la superficie occupée par chaque sous-type de composition forestière avec et sans feu environ 65-85 ans après feux. Les N sont de 2567 sans feu et de 1433 avec feu.

3.2.3.2 L'effet du pourcentage de superficie brûlée sur les sous-types de compositions environ 65-85 ans après feux

Seulement 14 photos sont dans la classe de pourcentage de superficie brûlée supérieure à 90% (Figure 17), tandis que pour toutes les autres classes (sauf la classe 0) le nombre varie entre 121 et 207 (Figure 17).

On peut voir que dans toutes les classes de pourcentage de superficie brûlée, les peuplements majoritairement feuillus (incluant **MF**, **FI**, **FT**, **FTFI**) sont les sous-types de compositions majoritaires comparativement aux peuplements majoritairement résineux (**MR** et **R**) (Figure 18). Lorsque le pourcentage de superficie brûlée augmente de 0 à 30%, on observe principalement une tendance à l'augmentation des sous-types de composition : **FI** et **R** (Figure 18). Lorsque le pourcentage de superficie brûlée continue d'augmenter (de 30% à 70%), on observe une tendance à l'augmentation des sous-types de composition : **FI** et **FTFI**, puis lorsque la superficie de la superficie brûlée passe de 70% à 90% c'est les sous-types de compositions **FTFI** et **FT** qui augmentent. Finalement, lorsque le pourcentage de superficie brûlée passe de 90% à 100%, les sous-types de composition **MF** et **FTFI** répondent par une nette augmentation.

Les sous-types de compositions 65-85 ans après le feu répondent de façon différente au changement de pourcentage de superficie brûlée (Figure 18). Les figures 18 et 19 représente la réponse de chaque sous-type de composition à l'augmentation du pourcentage de superficie brûlée. En somme les **FI** montre une augmentation constante avec l'augmentation du pourcentage de feu de 0 à 70%, ainsi qu'une légère diminution de 70 à 100% (Figure 19 a). C'est presque le scénario inverse que l'on observe pour les **FT** (Figure 19 b). En ce qui concerne les **FTFI**, l'augmentation est facilement observable avec l'augmentation du pourcentage de la superficie brûlée; celle-ci ayant une allure de courbe

exponentielle (Figure 19 c). Les **MR** ont une tendance à diminuer graduellement lorsque le pourcentage de feux augmente (Figure 19 e). Tandis qu'en générale les **MF** diminuent lorsque le pourcentage de feux est entre 0 à 60%, ainsi qu'une légère augmentation entre 60 à 100% (Figure 19 d). Pour les **R**, une tendance à l'augmentation s'observe entre 0 et 30% de feu ainsi qu'une tendance à la diminution entre 30 et 100% (Figure 19 f).

En somme, on observe des diminutions de **FT**, de **MR** et de **MF** lorsque le pourcentage de superficie brûlée passe de 0% à 70%, de **R**, de **FI**, de **MF** et de **MR** lorsque le pourcentage passe de 70% à 90% et finalement de **R**, de **FI** et de **MR** lorsque le pourcentage de superficie brûlée passe de 90% à 100% (Figure 19).

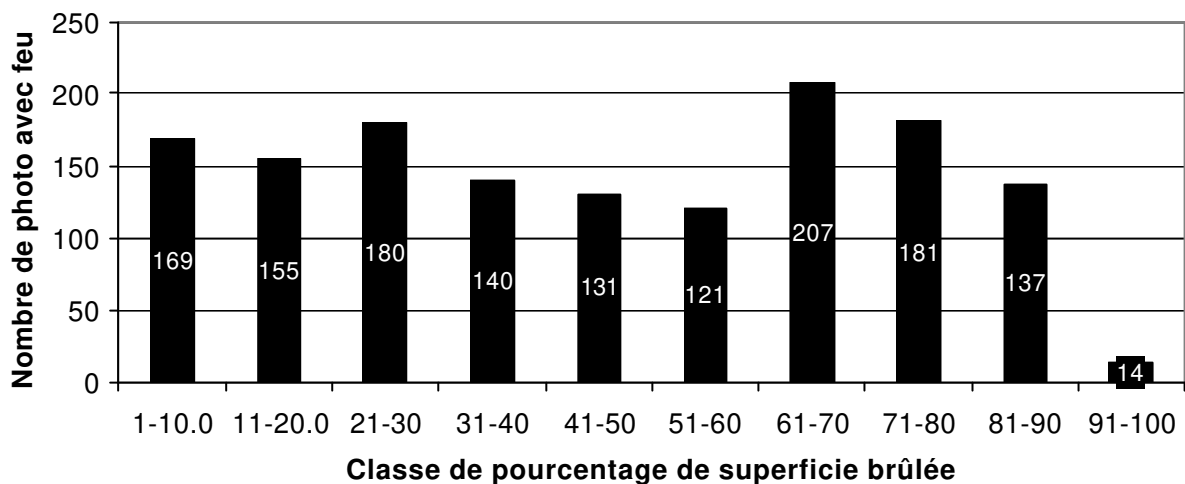


Figure 17. Le nombre de photos avec des feux pour chaque classe de pourcentage de superficie brûlée de la période avant 1946.

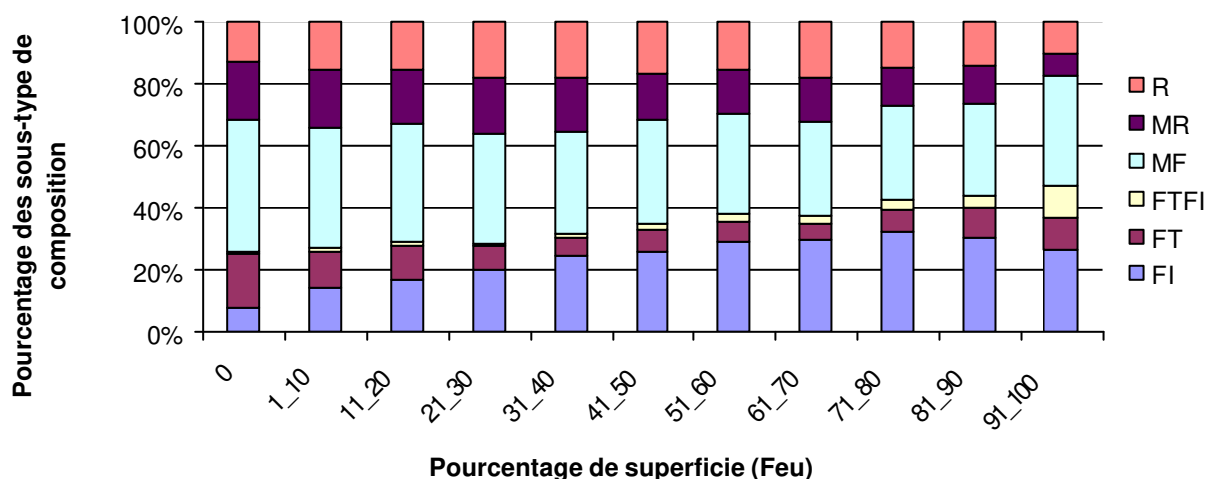


Figure 18. Pourcentage des sous-types de composition selon les classes de pourcentage de superficie brûlée, 65-85 ans après feux. Le nombre de photos dans chaque classe de pourcentage est représenté à la figure 17.

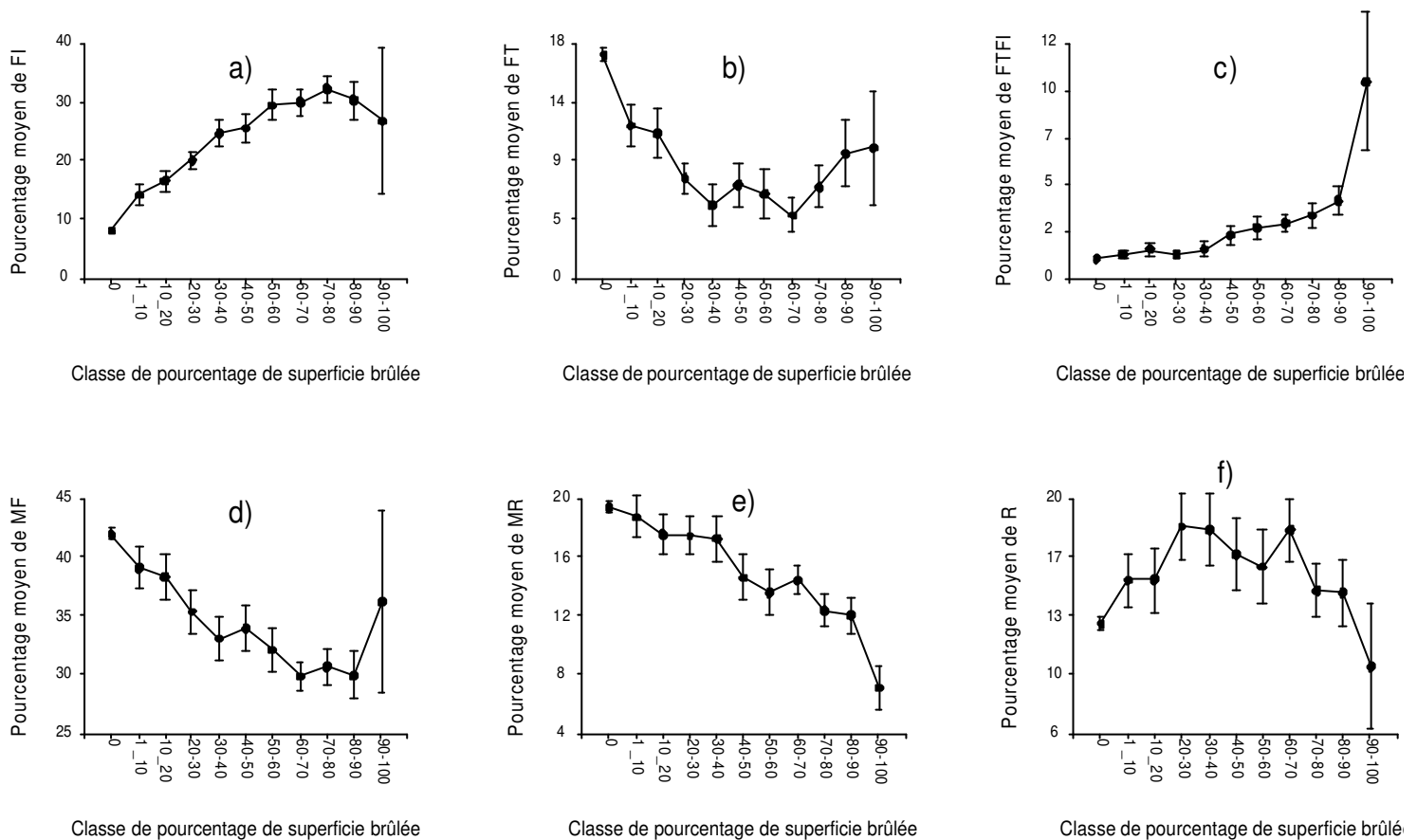


Figure 19. Moyennes de pourcentage des sous-types de composition selon les classes de pourcentage de superficie brûlée, 65-85 ans après feux. Chacune des six figures représentent un sous-type de composition différent : a) FI; b) FT; c) FTFI; d) MF; e) MR; f) R. Le nombre de photos est représenté à la figure 17.

3.3. Les perturbations naturelles : Épidémies d'insectes

Dans notre zone d'étude avec des données allant de 1938-2001, le degré d'infestation de la TBE montre 2 grandes épidémies, soit celle de 1939-1948 et celle de 1970-1982 (Figure 20). La première épidémie dura moins longtemps que la deuxième, mais le degré d'infestation sur la totalité du territoire fût plus sévère. Pour cette première épidémie, comme la totalité du territoire fut touchée de façon modérée à grave pendant une certaine période, il ne fut pas possible de faire des liens entre le changement d'intensité de l'épidémie sur la densité forestière. Dans la deuxième épidémie par contre, la superficie infestée de modérée à grave par année couvrait rarement plus de 60% du territoire. Suite à cette épidémie de tordeuse, il fut donc possible de mettre en relation l'intensité de l'épidémie avec la densité moyenne du couvert forestier environ 20-30 ans plus tard pour tout le territoire à l'étude. Lorsque l'intensité de l'épidémie est minimale soit de 0, on obtient une densité forestière de près de 68%, soit 4% de plus que la densité moyenne du territoire forestier totale à l'étude (Figure 21 et Tableau 5). La figure 21 démontre aussi la réponse de la densité forestière à l'augmentation de l'intensité relative de l'épidémie de TBE.

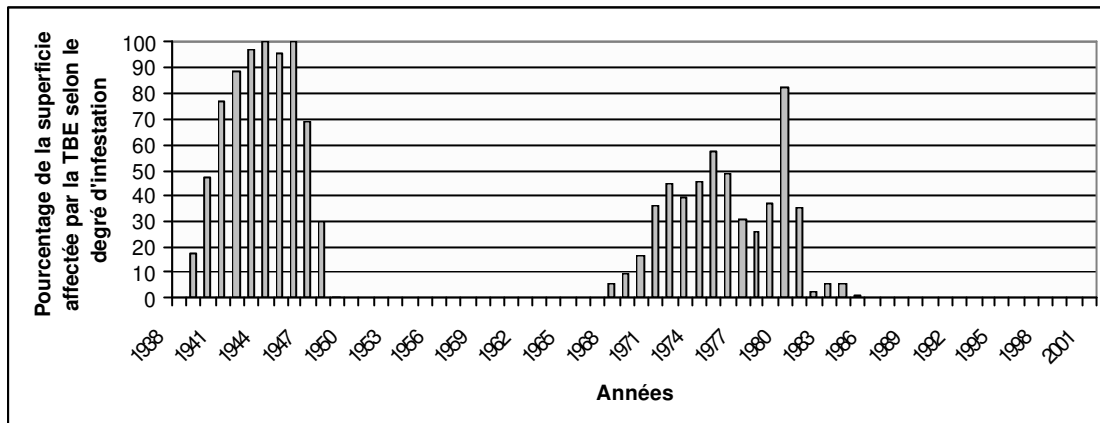


Figure 20. Représentation du pourcentage de la superficie affectée par la TBE selon le degré d'infestation entre 1938 et 2001. * Le chiffre 100 représente 100% du territoire affecté avec l'intensité maximale.

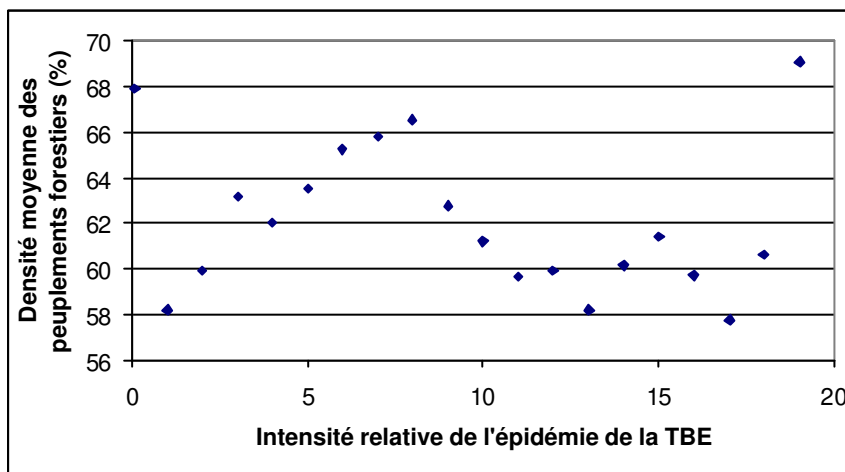


Figure 21. Densité moyenne des peuplements forestiers en % , 20-30 ans après le passage de l'épidémie de TBE de 1970-1982 selon l'intensité de l'épidémie sur le territoire. L'intensité est mesurée en additionnant pour chaque tcellles le degré d'infestation (0, 1 ou 2) pour chaque années de l'épidémie.

On note une infestation de la livrée des forêts affectant légèrement plus de 30% de la superficie du territoire de 1943-1944 (Figure 22). De plus, 2 courtes périodes d'infestation légère de plus de 60% du territoire sont répertoriées soit celle de 1951-1953 et celle de 1987-1988. Il est aussi possible d'observer quelques années uniques dont 1962 où sa présence est dans plus de 90% du territoire.

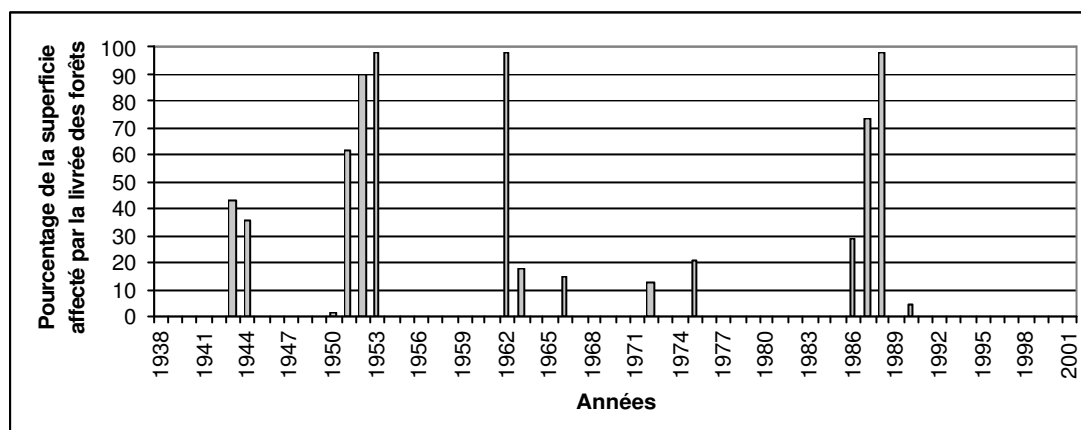


Figure 22. Représentation du pourcentage de la superficie affectée par la livrée des forêts entre 1938 et 2001.

Le diprion de Swain manifesta sa présence dans le territoire à l'étude en 1941, en 1944, en 1948 et en 1949 (Figure 23). Sa présence fût largement plus importante au cours des années 1941 et 1944.

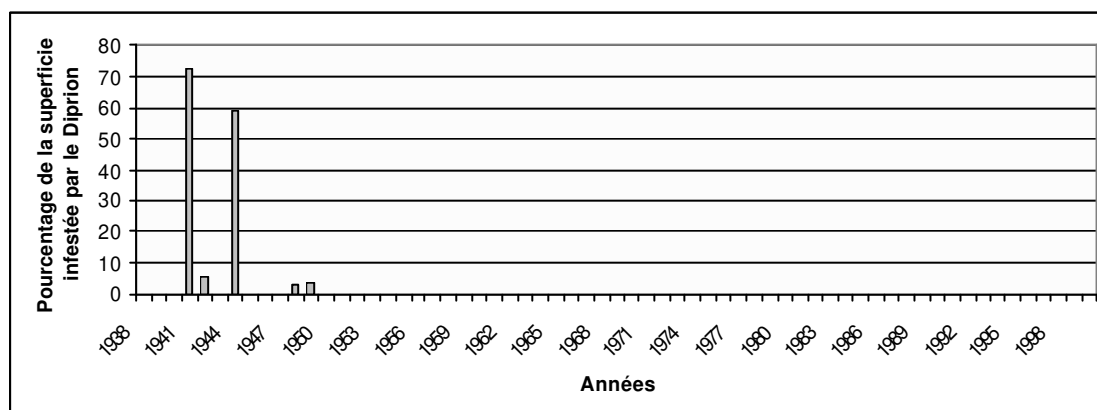


Figure 23. Représentation du pourcentage de la superficie affectée par le Diprion de Swain entre 1938 et 2001.

3.4. Analyse comparative des perturbations entre 1905 et 2006

Afin de simplifier la présentation et l'analyse des résultats sur les perturbations, celles-ci ont été subdivisées selon le type insectes, feux ou chablis et l'intensité lorsque possible (partielle ou totale). Avant 1946, on observe que la superficie moyenne perturbée pour le territoire d'étude (feux et chablis) est d'environ 195575 ha (Tableau 13) sur une superficie totale du territoire forestier de 769 508 ha pour l'étude des chablis et de 824 660.9 ha pour les feux. Ainsi pour cette période, environ 23.7% du territoire forestier a été affecté par les perturbations naturelles (feux et chablis), la presque totalité étant des perturbations d'origine feu. En ce qui concerne les chablis, ils ont été notés sur de faibles superficies. En terme d'intensité des perturbations, nous obtenons que les feux brûlent en moyenne près de 49% de la superficie forestière. De plus, la superficie des chablis totaux et partiel dans cette période est très faible.

Le pourcentage de territoire perturbée (23.7% pour la première période) diminue par la suite à seulement 1.7% soit (13911.2 ha) pour la période de 1958-1973 (Tableau 13). Durant cette période, la nette diminution de la superficie perturbée est majoritairement attribuable à la diminution du nombre d'hectares brûlés. D'un autre côté le nombre d'hectare affecté par les chablis augmente. Cependant cette faible augmentation de chablis n'arrive pas à contrebalancer la grande diminution des feux.

Pour la troisième période soit 1980-2000, 6085 ha ont été perturbée par les chablis ou les feux soit 0.77% du territoire. Les informations du chablis de 2006 indique aussi que pour la période après 2000, 25 583.59 ha soit 3.3% de la superficie ont été affectée uniquement par ce chablis (Tableau 13).

Ainsi en somme, on observe sur toute la période étudiée une superficie perturbée de 241 154.5 ha, soit environ 30 % de la superficie d'étude. De ce pourcentage, environ 26% sont attribuable aux feux et 4% au chablis. Ce ratio d'environ 14% des perturbations dû aux chablis et de 86% aux feux n'est pas stable dans le temps. Le pourcentage de la superficie affectée par les feux diminue chronologiquement avec les différentes périodes à l'étude, contrairement au pourcentage de la superficie affectée par les chablis qui augmente dans le temps (Figure 24). Si l'on examine l'origine des perturbations sur tout le territoire pour chaque période, on constate que la majorité de celles-ci sont des feux pour les périodes avant 1946 et la période 1958-1973 tandis qu'à partir de la période 1980-2000, les chablis deviennent majoritaires. Comme les informations sur le pourcentage moyen de la superficie affectée par les insectes sont disponibles pour toute la période 1938-2000 (Figure 20, Figure 22 et Figure 23), les données de la figure 24 servent uniquement d'avoir une idée de leurs présences pour les trois périodes à l'étude.

Nous avons synthétisé le patron d'apparition ainsi que l'estimation du pourcentage de la superficie affectée par les perturbations les plus importantes répertoriées dans cette étude entre le début du 20^{ème} siècle et 2006 (Tableau 14).

Tableau 13. Superficies occupées par les perturbations naturelles (chablis et feux) pour les périodes avant 1946, 1958-1973, 1980-2000 dans la zone à l'étude. Nous avons aussi ajouté la période 2000-2006 lorsque les informations étaient disponibles.

Types de perturbations	Intensité	Avant 1946 (ha)	1958- 1973 (ha)	1980- 2000 (ha)	2000- 2006 (ha)
Feu	Superficie forestière affectée par les feux	397 404	13130.0	2483.6	
	Moyenne de la superficie brûlée sur la superficie de feu	49.2%	100%	100%	
	Total	195522.8	13130	2483.6	
Chablis	Partiel	46.7			
	Total	5.5			
	Partiel et total	52.2	781.2	3603.2	25 583.6
Total chablis et feux		195575	13911.2	6084.8	
Superficie de la zone d'étude forestière pour les chablis		769 508.1	769 508.1	769 508.1	769 508.1
Superficie de la zone d'étude forestière pour les feux		824 660.9	824 660.9	824 660.9	824 660.9
Pourcentage de la zone d'étude affecté par les chablis		0.007	0.1	0.5	3.3
Pourcentage de la zone d'étude affecté par les feux		23.7	1.6	0.3	
Somme du pourcentage total des perturbations		23.7	1.7	0.8	

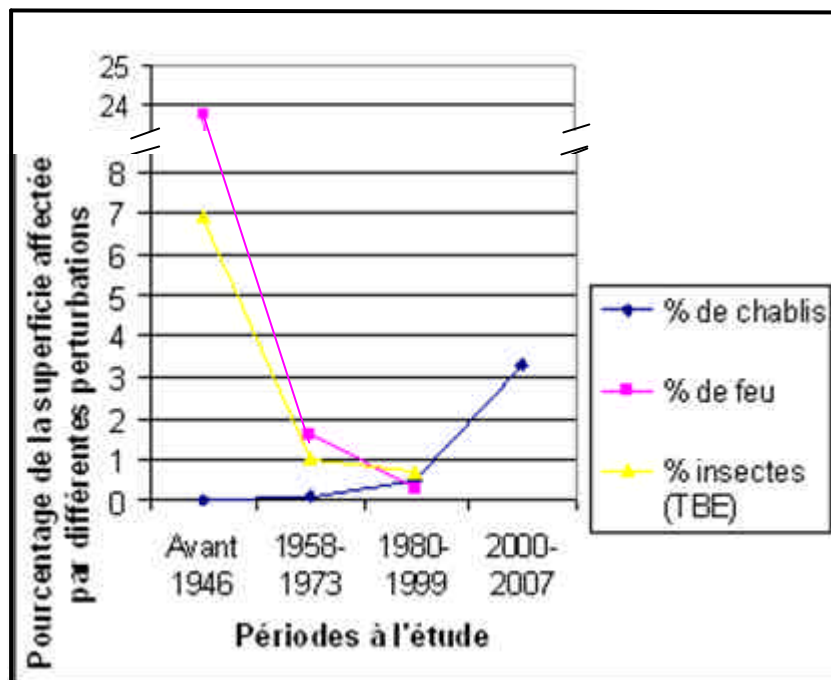


Figure 24. Pourcentage de la zone affectée par les feux, les chablis et les insectes* pour toute la période à l'étude. * A noter que pour les insectes les informations sur le pourcentage de la superficie affectée ne peuvent pas être comparées avec celles des chablis et des feux en raison du caractère sélectif de la TBE pour les sapins baumier et les épinettes. Nous avons divisé le pourcentage par 10 pour les insectes afin d'avoir une idée de la variabilité des épidémies selon les périodes à l'étude.

Tableau 14. Séquence des perturbations naturelles sur le territoire l'étude selon l'estimation de l'année des perturbations et estimation du pourcentage de superficie affectée.

Année approximative des perturbations	Type de perturbation	Pourcentage de la superficie affectée
1906-1919	TBE	?*
1915	Feu	6%
1923-1925	Feu	10%
1941-1950	TBE	70%*
1942	Chablis	0.007%
1943-1944	LDF	35%*
1943-1945	Diprion	60%*
1952-1954	LDF	75%*
1962	LDF	90%*
1963	Feu	1.6%
1962	Chablis	0.1%
1970-1982	TBE	30%*
1972	Feu	0.05%
1983	Chablis	0.4%
1986-1988	LDF	60%*
1999	Chablis	0.04%
2006	Chablis	3.3%

* Il est à noter que pour les épidémies d'insectes, les chiffres indiquent le pourcentage de la superficie où la présence de l'insecte a été détectée selon l'intensité, mais ne donne pas d'information sur les dégâts dus à cette présence.

4. Discussion des résultats

4.1 Caractérisation temporelle et spatiale des perturbations naturelles

Les feux pour la période à l'étude sont localisés majoritairement dans la portion nord, contrairement au chablis majoritairement dans la moitié sud. De plus, la superficie perturbée par les feux a diminuée dans le temps, contrairement au chablis.

En effet, d'un côté temporel, on observe une tendance à l'augmentation des chablis pour le 20^{ième} siècle (Figure 24, Tableau 8 et Tableau 13). Les intervalles de retour pour les différentes périodes à l'étude illustrent bien l'augmentation des chablis dans le temps (Tableau 10). Pour la période 1920-1946, l'intervalle de retour est très grand, soit plus de 300 000 ans. La littérature pour la première moitié du siècle semble aussi indiquer un très

faible pourcentage de superficie atteint par cette perturbation (Nolet et al. 2001, Bouffard et al. 2003). Pour la période (1980-2000), la présente étude obtient 4058 ans l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue, ce qui se rapproche de l'estimation des chablis dans une étude sur la forêt Boréale au Québec (pour une période similaire soit 1971-2000) avec un intervalle de retour d'approximativement 3900 ans (Bouchard 2009). Pour la période 1980-2000, dans le même domaine bioclimatique une étude de Nolet et al. 1999 estiment que l'intervalle de retour est un peu plus long soit 6822 ans pour les chablis (totaux et partiels). En somme cependant, il semble que pour les périodes où des valeurs sont disponibles, on note un résultat concordant avec la tendance de l'augmentation de la superficie atteinte par les chablis au cours du 20^{ème} siècle. Cette tendance se maintient avec un intervalle de retour pour la dernière période 2000-2006 beaucoup plus petit, soit 478 ans.

Cependant, dû à l'aspect stochastique des chablis catastrophiques ainsi que l'importance relative de ceux-ci, il importe de mesurer l'intervalle de retour sur une longue période afin d'avoir des chiffres représentatifs de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest. Dans ce sous-domaine bioclimatique, peu d'études ont évalué la superficie affectée par les chablis sur une assez longue période de temps pour faire des estimations générales d'intervalle de retour. Comme mentionné au tableau 3, la fréquence des chablis partiels et totaux pour les forêts feuillues du sud du Québec fut évalué à entre 450-1500 ans, et ce, en fonction de l'écosystème (Doyon et al. 2008; Doyon et Bouffard 2009). Dans la présente étude, l'intervalle de retour mesuré pour toute la période à l'étude est un peu plus élevé soit 1717 ans. Cependant, si l'on avait eu des informations concernant les chablis partiels au premier décennal, il se peut que l'intervalle de retour aurait été un peu moins élevé, entrant dans la fourchette de variation.

Plusieurs raisons peuvent expliquer cette augmentation de chablis, notamment les changements dans le climat et dans la végétation. Une analyse historique de la quantité de vents violents et de tornades pourrait nous donner des indications face à la première hypothèse. Dans une annexe sur les tornades et tempêtes importantes au Québec, on a recensé entre 1847 et 1893, rien n'a été recensé entre 1893 et 1949, 105 entre 1950-1979 et 62 de 80-96 (Environnement Canada 2006). Bien que très incomplètes, ces informations suggèrent tout de même un creux dans la période avant 1920-1946, ce qui correspond avec nos résultats. Quelques études dans les forêts précoloniales de feuillus tolérants du Wisconsin et du Michigan témoignent de la fréquence et l'étendue des chablis catastrophiques entre les années 1830-1873 et 1840-1856 respectivement (Zhang et al. 1999, Canham et Loucks 1984). Dans une de ses études, quatre cents treize zones de chablis provenant de plusieurs orages indépendants ont été répertoriées à l'aide d'anciens registres gouvernementaux (Canham et Loucks 1984). Cependant, les territoires à l'étude et le climat sont différents, le Québec comptant moins de tornades pour une plus grande superficie que le Wisconsin (Nolet et al. 1999).

La seconde hypothèse tient en compte que les coupes forestières, l'épidémie de TBE de 1906-1919, ainsi que les feux de la période 1915-1925 ont grandement influencé la superficie forestière du début du siècle, entraînant une diminution de peuplement mature pour la période 1920-1946. Outre les facteurs météorologiques, la variable qui est le plus liée avec l'occurrence des chablis a été identifiée dans certaines études notamment au Québec, comme étant la classe d'âge du peuplement (Everham et Brokaw 1996, Bouchard et al. 2009). Généralement, les arbres de grande taille et ceux dont la cime est bien développée sont les plus susceptibles au renversement (Peterson et Pickett 1991), les peuplements jeunes 25-75 ans étant moins vulnérable que les peuplements matures (Bouchard et al. 2009). D'autres études mentionnent aussi que l'âge et la structure (les forêts plus âgées et plus ouvertes étant plus susceptibles (Marks et al. 1999)) de la forêt et

de son environnement sont des facteurs importants qui influencent la susceptibilité d'une forêt au chablis (Everham et Brokaw 1996).

Pour ce qui est des feux, les principaux résultats reflètent en gros ce qui a aussi été perçu dans plusieurs autres régions du Québec soit des grands feux vers 1923 suivit d'une importante diminution pour la période après 1925 (Tableau 13, Figure 14 et Figure 24) (Bergeron et al. 2006, Bouffard et al. 2003, Doyon et Bouffard 2009 b, Drever et al. 2006 b). Nos résultats concordent aussi avec ceux d'une étude au Témiscamingue qui montre que très peu de feu de grande superficie (plus de 200 ha) ont été observé depuis 1925 (Drever 2006 b). Drever (2006b) montre que le taux forêt brûlé annuellement était bas il y a 150 ans, il augmente ensuite drastiquement vers les années de la colonisation 1870 à 1928 et l'on observerait depuis le retour du cycle long du feu; le cycle du feu pour toute cette période fut estimé à 494 ans ou environ 0.2% par années. Selon la littérature, le pourcentage de la superficie brûlée annuellement dans une zone d'érablière à bouleau jaune varie entre 0.07% à 0.15% (Tableau 3) (Nolet et al. 1999). Si l'on considère aussi tous les feux répertoriés dans la présente étude, le pourcentage de la superficie brûlée annuellement est plus élevée que le taux évalué par Drever et al. (2006) soit 0.33% ou un cycle de feu de 303 ans (Tableau 11). D'un autre côté, si l'on exclue les grands feux de la période avant 1925, on obtient un pourcentage de superficie brûlée annuellement de près de 0.05% ce qui est moins que l'écart théorique (Tableau 3), la superficie des feux la période 1980-2000 étant particulièrement faible (Tableau 11) (SOPFEU 2002). Deux des hypothèse expliquant cette différence sont l'impact des activités humaines ainsi que les fluctuations du climat.

Une étude dans le sud du Témiscamingue démontre des évidences que l'intensification des feux correspond avec la période de colonisation par les Européens (brûler des souches, chemin de fer, défriche..) et que très peu d'indices permettent de croire que le feu était aussi répandu dans la région avant la colonisation (Drever et al. 2006b, Grenier et al. 2005). De plus, par rapport au climat, on note une grande sécheresse dans la région vers 1920-1925. D'un autre côté, depuis les années 1930, le Québec possède un système de prévention, de détection et d'extinction des incendies de forêt (Minville 1944). Ainsi l'homme a eu un impact tant sur l'augmentation des feux au début du siècle que sur la diminution par la suite. Aussi, selon certains scénarios sur les changements climatiques, on note que l'augmentation graduelle de la température annuelle pourrait entraîner une augmentation des précipitations en été ce que diminue le risque de feux catastrophique dans la région (Bergeron et Archambault 1993, Forget et al. 2002, Grenier et al. 2005). Ces deux hypothèses laissent entrevoir une diminution des feux comparativement à l'époque de la forêt pré-coloniale.

Les données sur le territoire à l'étude correspondent grossièrement à la tendance générale sur la TBE, (Jardon 2001) ainsi qu'avec les dates d'épidémies majeures depuis le début du siècle dans certaine région du Québec, soit celle de 1906-1919, 1939-1956 et de 1967-1980 (Figure 20). Il est donc probable que l'épidémie de 1906-1919 ait aussi touché notre zone d'étude. Cependant, les données relatives à cette épidémie ne sont pas disponibles. Bien que la tendance soit différentes d'une région à l'autre, l'épidémie de 1939-1948 fut plus intense que celle de 1967-1980 dans l'érablière a bouleau jaune du Témiscamingue (Figure 20). Les données sur la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn) et du diprion de Swain ne font que confirmer leurs présence avec des proportions épidémiques dans l'érablière a bouleau jaune du Témiscamingue dans les mêmes années que dans d'autres régions comme la vallée de la rivière Rouge et le bassin de la Lièvre (MacLaren 1956), soit respectivement vers 1950 et vers les années 1941 (SOPFIM 2003) (Figure et Figure).

En ce qui a trait au caractère spatial des perturbations, la plus grande superficie affectée par les chablis se positionnent principalement dans la moitié sud de la zone à l'étude, pour

toute la période à l'étude (Figure 3). Cependant, les facteurs influençant la susceptibilité d'une forêt comme les espèces présentes (Everham et Brokaw 1996), les caractéristiques du site (Runkle 1985) et la physiographie de la région (Canham and Loucks 1984) n'ont pas permis de distinguer entre les secteurs plus au nord et ceux plus au sud.

Il semble que la répartition spatiale des chablis soit plutôt dépendante de quelques événements climatiques dit plus catastrophiques. En effet dans la présente étude, une grande proportion de la superficie affectée par les chablis provient de quelques événements catastrophiques notamment les chablis de 1962, de 1983 et de 2006 (Tableau 9). Il en est de même dans une étude sur les chablis en forêt boréale au Québec, qui mentionne qu'un seul de ces chablis fut responsable de plus de la moitié du territoire affecté par les chablis entre 1971 et 2000 (Bouchard et al. 2009).

L'orientation des chablis varie d'un événement à l'autre, ceux de 1962 avec des vents de l'ouest comparativement à des vents de l'est en 2006. La forme rectiligne des chablis dans le sud-ouest de la province témoigne de leurs origines de tempêtes voir de tornade (Figure 3, Figure 4, Figure 5). Plus précisément, un chablis de forme distincte et allongée est une caractéristique de tornade (Bouchard et al. 2009) et certaines tornades sévères (vents > 70 m/s) ont tendance à démontrer un chablis avec des limites relativement bien définies (Doyon et Bouffard 2008). C'est ce qu'on observe avec le chablis de 1983 ainsi que l'extension du chablis de 1962. Le chablis de 2006 avec des vents entre 80 et 120 km/h est plus étalé et provient possiblement d'une très forte tempête de vent. En somme, ces chablis de grande envergure observés plus au sud proviennent possiblement de tempête plus forte et de tornade (Figure 3, Figure 4, Figure 5 et Figure 6) tandis que dans le nord ils semblent provenir de petites tempêtes de vent et non d'événements climatiques de grande envergure vu leurs forme non-rectiligne et non étalée (Figure 4).

Pour les feux, c'est principalement la moitié plus au nord qui fût la cible de ceux-ci pour toute la période à l'étude (Figure 13 et Figure 16), mais cette tendance est encore plus facilement observable pour les périodes après 1946. Ainsi, on peut supposer que les secteurs plus au nord ont des caractéristiques les rendant plus susceptibles aux feux, contrairement à ceux du sud. L'augmentation de résineux par rapport au feuillus dans le secteur plus au nord (Tableau 4) est une explication possible de la localisation des feux. On constate avec les historiques que plus la présence de peuplements résineux notamment les pins est élevée plus la superficie affectée par les feux est grande comparativement au peuplement feuillus notamment des sites dominés par l'érable à sucre (Zhang et al. 1999, Drever et al. 2006 b).

4.2 L'effet des perturbations sur la composition et la structure forestière

4.2.1. Composition forestière

Chablis

Les résultats de l'effet des chablis sur la composition forestière nous laissent entrevoir l'importance de l'intensité des chablis. En effet dans la présente étude, il semble que les caractéristiques des chablis totaux d'assez grande superficie favorisent l'établissement des feuillus intolérants contrairement aux feuillus tolérants. Ainsi, tant 30-40 ans après chablis

totaux (comparativement à la zone d'étude) que 60 ans après chablis totaux (comparativement à la végétation présente avant la perturbation), le sous-type de composition **FI** semble favorisé (Tableau 5, Figure 7 et Figure 9). La présence certaine d'essences feuillues intolérantes comme le bouleau blanc furent notamment favorisées par la présence de chablis contrairement au bouleau jaune une essence plus tolérante (Figure 8, Figure 10). D'un autre côté, si l'on compare avec la zone totale d'étude et les zones 30-40 ans après chablis, on remarque une diminution très importante d'une essence **FT**; l'érable à sucre (Figure 10). Il est aussi à noter l'augmentation de l'érable rouge, une essence peu à moyennement tolérante (non classée **FI**). D'autres études notant aussi des augmentations importantes de l'érable rouge dans le paysage après chablis ; cette essence semblerait aussi assez résistante à ce type de perturbation (Arévalo et al. 2000).

En plus d'une augmentation de **FI** dans les zones chablisées, autant pour 30-40 ans que 60 ans après chablis totaux, on note aussi une augmentation de peuplements **MR** ou **R** (Tableau 5, Figure 7 et Figure 9). Parmi les essences résineuses dont la présence certaine démontre une augmentation après chablis totaux on retrouvent notamment le pin blanc (60 ans après), la pruche (60 ans après) ainsi que l'épinette (30-40 ans après) (Figure 8 et Figure 10). Dans la littérature à ce sujet, on note parmi les essences résineuses que l'épinette blanche et la pruche sont des essences dont les sites de germination sont favorisés lors de chablis par la création de microsites vu la quantité de débris à la superficie du sol et la création des trous et des monticules (Peterson et Pickett 1991). Cependant, cela ne veut pas dire que les chablis passés sont totalement responsables de l'augmentation observés des mixtes résineux et résineux, puisqu'il existe un biais dû au fait que les peuplements ou les essences résineuses sont plus abondantes sont plus vulnérable au chablis. Par exemple, certaines études notes que les dommages occasionnés par le vent sont plus fréquents dans les peuplements résineux récemment infestés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) (Bouffard et al. 2003).

Notre hypothèse est que les conditions engendrée par des chablis totaux de taille suffisante (i.e. très peu d'individu debout et présence de lumière) peuvent favoriser la croissance de certaines essences pionnières **FI** (ex : bouleau blanc) du sous-couvert et d'autres espèces comme le pin blanc dont la croissance est très rapide en condition de lumière (Tableau 15 et Figure 25a). Dans ce cas, la régénération des essences pionnières serait plus importante que la régénération des essences rémanentes. Cependant, on note aussi que les espèces pionnière sont plus susceptibles d'être endommagées pas les chablis (Arévalo et al. 2000), donc il est possible que leur augmentation dans le paysage ne soit pas détectable dans les premières années après chablis, malgré un bon taux de régénération, vu l'effet de la diminution des arbres matures.

Tableau 15. Caractéristiques (quantité et distances de germination des graines, type de reproduction végétative et réponse aux conditions de lumière) de quelques essences que l'on retrouve dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Informations de : Silvics of North America.

Essences	Quantité et distances de germination (m) des graines	Reproduction végétative	Réponse aux conditions de lumière
Peuplier faux-tremble (FI)	Grande quantité et très grandes distances	Rejets et drageons	Croissance très rapide
Bouleau à papier (FI)	Grande quantité et environ 100m	Rejets	Croissance très rapide
Érable rouge	Moyenne quantité et environ 100m Graines restes en vie plusieurs années	Rejets	Croissance rapide Germination en réponse à certaines longueurs d'ondes
Bouleau jaune (FT)	Moyenne quantité et environ 100m	Rejets rares	Croissance rapide
Érable à sucre (FT)	Moyenne quantité et environ 100m	Rejets	Croissance rapide
Pin blanc	Très faible quantité et environ 60m	Pas de rejet	Croissance rapide (croissance lente durant les 10 premières années si peu de lumière)

Dans le cas des petits chablis (de faible intensité) et des chablis partiels on observe que la végétation après chablis est semblable à celle avant chablis. Nos résultats suggèrent aussi une augmentation de la diversité de la composition forestière (Figure 7), tout comme dans d'autres études (Papaik et Canham 2006). Puisque le sous-bois n'est pas détruit, comme c'est le cas lors du passage d'un feu de forte intensité, le renouvellement du peuplement peut se faire plus rapidement ; les jeunes pousses en place ont moins de compétition et la perturbation du sol favorise aussi une germination importante des semences contenues dans la litière (Peterson et Picket 1991). Ainsi, ces chablis pourraient permettre aux essences au pourtour de la zone de chablis et aux tiges rémanentes, en plus de la production de rejets et de drageons par les individus blessés, de continuer de croître (Figure 25 b). Les essences opportunistes comme le bouleau blanc et le pin blanc profitant aussi de ces ouvertures. Cependant, une analyse plus approfondie de la réponse de la végétation forestière selon la sévérité des chablis aurait nécessité plus d'avoir plus de chablis détectés sur les photos aériennes pour la première moitié du siècle ou des informations plus complètes sur la sévérité des chablis dans les inventaires décennaux.

En somme, les informations sur la composition forestière dans les zones de chablis laissent entrevoir le rôle des chablis pour le maintien des essences peu ou moyennement tolérantes, de certaines essences résineuses ainsi que sur la biodiversité dans le paysage. D'autres études comparant la régénération après chablis partiel et chablis totaux (Peterson 2000) arrivent à la même conclusion que la présente étude représentée à la figure 25 a et b soit : (I) La régénération après chablis totaux favorise l'arrivée de nouvelles essences notamment des essences pionnières (ex. *Betula* spp.) (II) Après chablis partiel, la composition de la forêt est moins altérée et se compose d'un mélange entre les arbres rémanents, la régénération pré-établie qui a survécu (en plus des rejets), ainsi que quelques nouveaux arrivants notamment des essences pionnières (ex. *Betula* spp.).

A noter que nous avons décidé de ne pas analyser l'effet des chablis sur la régénération des arbres à plus court terme puisque des informations sont disponibles à ce sujet dans une zone d'étude similaire à la notre (081-22 en Abitibi-Témiscamingue). Une étude récente a étudié, entre autres, la régénération établie sur des sites du chablis de 1983 (Doyon et Bouffard 2008). Ces résultats montrent que les chablis, via la création de creux et monticules, favorisent l'établissement et la survie juvénile de la régénération notamment en bouleau jaune et en bouleau blanc et en cerisier tardif et en cerisier de pennsylvanie.

Feu

On observe des différences significatives entre la composition des superficies forestières 65-85 ans après avoir subi l'influence d'un feu et les superficies non brûlées surtout par rapport à la proportion d'essences **FT** versus les essences **FI** (Figure 16 et Tableau 12). En effet, avec la présence de feu, on note l'augmentation des sous-types de compositions avec des feuillus intolérants (**FI** et **FTFI**) ainsi qu'une augmentation un peu moins importante des résineux **R** (Figure 16). D'un autre côté, le pourcentage des **FT** diminue lorsqu'il y a présence de feu dans notre étude (Figure 16). Les informations provenant de la littérature vont dans le même sens que la présente étude et nous donne des indications face aux essences forestières possiblement impliqués dans ce changement de sous-type de composition. Par exemple, une étude au Témiscamingue note que les espèces feuillues peu ou moyennement tolérantes comme le bouleau blanc, le peuplier faux-tremble et l'érable rouge seront habituellement favorisés par un court intervalle de retour pour le feu (Drever et al. 2006 b). Pour les essences résineuses, il est connu que la régénération de certaines essences comme le pin rouge et le pin blanc sont aussi favorisées par le feu (Latremouille et al. 2008). D'autres études rapportent aussi que la proportion d'essence **FT** comme l'érable à sucre diminuait dans le paysage suite au passage du feu. Ainsi, vu la diminution du pourcentage de superficie brûlée depuis plus de 70 ans, on peut s'attendre à ce que la proportion de **FT** (notamment l'érable à sucre) ait augmenté dans le paysage contrairement aux essences favorisé ou dépendante du feu. Lors du dernier siècle dans le Québec méridionale, on note avec la réduction du nombre des feux que plusieurs espèces favorisés par le feu comme le pin rouge, le chêne rouge et le pin blanc ont vu leur représentativité diminuer dans le paysage (Nolet et al. 2001).

Lorsque le régime des feux (ex : taille, occurrence, intensité, sévérité) varie ceci entraîne des répercussions importantes sur la composition et la structure des peuplements forestiers (Bergeron et al. 2006). Il est possible que le succès relatifs des espèces à se maintenir après feu dépendra en partie de l'importance des ouvertures créées dans le couvert et par conséquent, de la lumière disponible. Les résultats de la présente étude démontrent, entre autres, que le pourcentage de superficie brûlée a une influence sur la composition forestière 65-85 ans après les feux (Figure 18 et Figure 19).

Nos résultats apportent des informations nouvelles en ce qui concerne l'influence du pourcentage de superficie brûlée sur la composition forestière dans l'érablière à bouleau jaune. Pour les peuplements feuillues (**FT**, **FI**, **FTFI**) dont les classes de pourcentage de superficie brûlée sont faible (1 à 20%) et moyenne (20 à 80%), les résultats montrent, que la proportion de **FI** augmente progressivement contrairement aux feuillus tolérants (Figure 19 a et b). Soixante-cinq à 85 ans après un feu de classe moyenne (entre 20 et 80% de superficie brûlée) on voit une augmentation de peuplement résineux (**R**) comparativement aux superficies non-brûlées (Figure 19 f). De plus, après des feux brûlant de faible et moyen pourcentage de superficie (1 à 80%), les peuplements **MR** et **MF** se comporte de façon semblables en diminuant leurs pourcentages avec l'augmentation de l'intensité des feux, augmentant ainsi la proportion de peuplement soit feuillus soit résineux (Figure 19 d et e). Ainsi, pour le dernier siècle, on observe une augmentation significative de la proportion des **FI** (8 à 30%) et des **R** (12 à 18%) dans les paysages avec des superficies

brûlées moyenne (soit entre 20 et 80%) comparativement aux superficies non-brûlée. Ces feux diminuant en même temps la proportion de **FT** (17 à 7%) et de **MF** (42 à 30%) dans le paysage.

Cependant, cette tendance ne s'applique plus sur des sites ayant subi des feux plus dévastateur. Par exemple, cette étude montre que le retour en **FT** semble meilleur lors de feux brûlant un grand (entre 80 et 100%) pourcentage de la superficie comparativement aux classes moyennes (entre 20 et 80%) (Figure 19 b). Ce phénomène concorde bien avec une petite diminution des feuillus intolérants après des feux brûlant de 80-100% de la superficie (Figure 19 a).

Nos explications de la réponse de la végétation après des feux brûlant différentes superficie se retrouvent schématiquement en figure 25 c, d et e. Puisque les feux brûlant de faible superficie (1 à 20%) sont probablement moins destructeurs, il est possible que la régénération pré-établie et les essences qui rejettent ou drageonnent (voir tableau 15) soit un peu plus favorisé par ce type de perturbation (Figure 25 c).

D'un autre côté, pour les feux brûlant un plus grand pourcentage de la superficie (ex : 20-80%), la régénération pré-établie est probablement plus faible et les conditions sont plus optimale pour la régénération des essences pionnières à fort potentiel de dissémination (Tableau 15) comme le bouleau blanc et le peuplier faux-tremble (Figure 25 d). Les essences dont la croissance et la germination sont fortement favorisées par les conditions de lumières comme le pin blanc et les essences **FI** seraient ainsi avantagées, à l'intérieur des zones de dispersion de leurs graines (Tableau 15).

Dans les sites ayant subi des feux brûlant pratiquement tout le couvert forestier, la régénération des essences pionnières est aussi favorisés par rapport à l'absence de feu, notamment dans les limites de dispersion des graines. En effet, dans une ouverture issue d'une perturbation naturelle (feu ou chablis), la distance parcourue par les graines de bouleau à papier diminue rapidement plus on s'éloigne de la lisière du peuplement non perturbé (Bouffard 2001). Pour le pin blanc aussi, les semences tombent dans un rayon environ égal à la hauteur de l'arbre-mère (Latremouille et al. 2008). D'un autre côté, les feux brûlant pratiquement tout le couvert forestier occasionne de grandes ouvertures sur le territoire (Figure 13), qui persistent probablement 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 du couvert. Les essences rémanentes isolées auront aussi un net avantage (Figure 25 e).

Nos résultats démontre que ces feux brûlant presque tout le couvert forestier, entraînent une diminution des peuplements résineux comparativement à l'absence de feu (Figure 19 f). Il se peut que les résineux comme les pins bénéficient des conditions engendré par les feux afin de bien s'établir et que certaines de leurs propriétés leur permettent de résister à ces feux (ex : écorce du pin rouge), mais que les feux les plus destructeurs brûle aussi les semenciers les plus résistant au feu défavorisant ainsi les semence qui ne se déplace pas aussi loin pour recoloniser ces sites (ex : Pin blanc) (Latremouille et al. 2008).

Bien que l'on observe des réponses assez différentes de la composition forestières après des feux brûlant presque toute la superficie, ces types de feux ne sont pas très fréquents sur notre territoire pour la période à l'étude. En effet, très peu de feu ait un pourcentage de superficie brûlée supérieur à 90% (Figure 17). Cependant, il est intéressant d'avoir de l'information sur la variation de la régénération forestière selon le pourcentage de superficie brûlée dans un contexte de changements climatiques. Les changements climatiques

pouvant affecter le pourcentage de superficie brûlée, des pourcentages plus faibles entraînerait probablement plus de peuplements mixtes (**MR**, **MF**) et de **FT** que la moyenne actuelle après feux, tandis que les pourcentages plus élevés entraîneraient plus de peuplement **FI** et **FTFI** (moins de peuplements mixtes). Ainsi, il est possible d'avoir une idée de la réponse de la végétation à ces changements grâce aux figures 18 et 19.

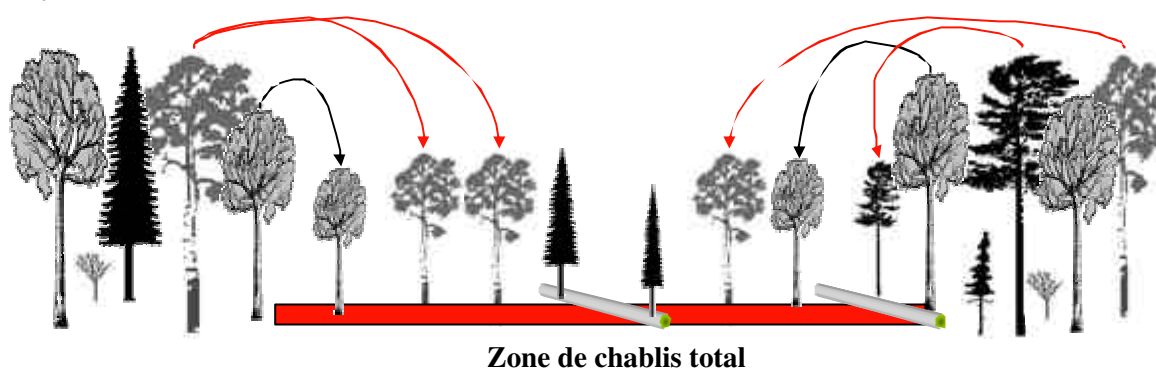
4.2.2. Structure forestière

Il ne semble pas y avoir une très grande importance des chablis sur la densité des peuplements forestiers 30-40 ans après ces perturbations. En effet, la densité était très semblable dans les zones après chablis et la zone totale d'étude, soit 64% (Tableau 5). La densité fut augmentée dans les zones 60 ans après chablis, mais il est difficile de tirer des conclusions avec des si petits effectifs. Pour ce qui est de la faible densité des peuplements juste avant le chablis de 1942 (Tableau 5), il se peut que ce soit dû aux larges superficies qui ont été traitées par des coupes à diamètre limites au début des années 1900 dans des peuplements mélangés (ex : **MF**).

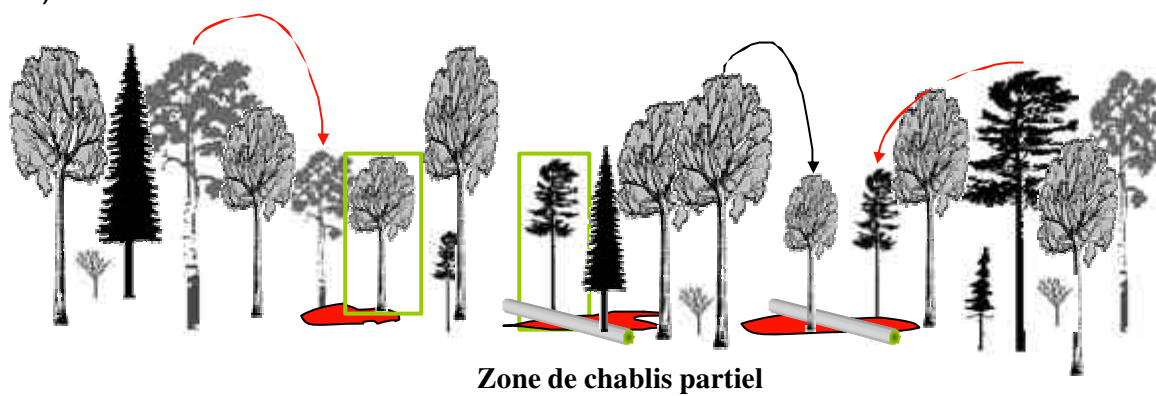
Nos résultats montrent que 60 ans après chablis totaux, la structure d'âge équiennne augmente avec 92% de la superficie, tandis que dans les chablis partiel, la structure d'âge équiennne diminue au profit de celles inéquiennes et irrégulières (Figure 11). Ainsi, nos résultats confirment que les chablis totaux vont favoriser des peuplements de mêmes âges tandis que les chablis partiels, favorisent des peuplements moins homogènes (bi-étagé ou d'âge différents). Les peuplements 30-40 ans après chablis dans notre zone d'étude étaient majoritairement équiennes bien que cette proportion soit de seulement 69%, ainsi près de 30% était tout de même représenté par des structures d'âges inéquiennes et irrégulières (Figure 12). Ces informations laissent supposer que les chablis de la période 1958-1973, bien que classifiés comme chablis totaux, pourrait aussi contenir quelques chablis partiels. En effet, vu l'absence de l'identification de chablis partiel pour la période 1958-1973, il se peut que cette catégorie fût parfois incorporée dans les chablis totaux.

Les effets du passage de la TBE sur la densité sont relativement connus, on note habituellement que les peuplements résiduels sont de faible densité. Cependant, pour notre étude, 20-30 ans après le passage de la TBE, l'intensité de l'épidémie que nous avons calculé ne permet pas de faire de corrélation avec la densité forestière (Figure 21). Ce phénomène est peut-être dû au pourcentage modéré de sapin et d'épinette sur le territoire.

A)



B)



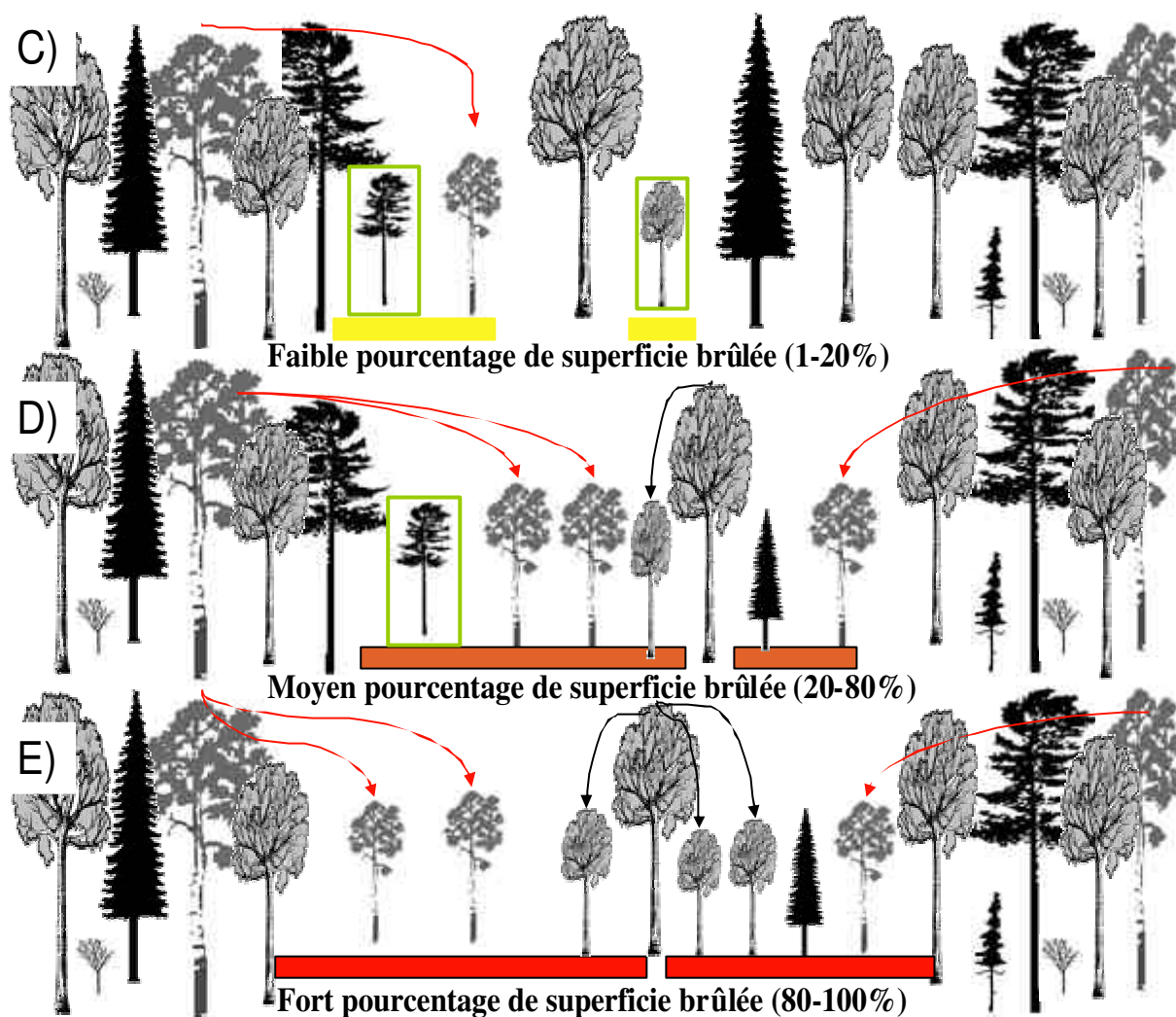
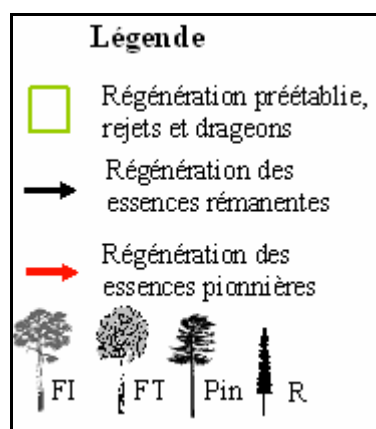


Figure 25. Représentation schématique de la végétation dans l'érablière à bouleau jaune après A) Chablis partiel et B) chablis total, ainsi qu'après C) Feu brûlant un petit (1-20%), D) un moyen (20-80%) ou E) un grand (80-100%) pourcentage de la superficie.



Conclusion

Dans un contexte où l'aménagement écosystémique prend de plus en plus d'importance, les études des régimes de perturbations naturelles améliorent notre capacité à réduire l'empreinte des activités humaines sur les écosystèmes (Hunter 1993). La présente étude permet de constater que les perturbations naturelles ont eu un impact très important sur la végétation forestière du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune du Témiscamingue. Du fait de la nature stochastique des perturbations naturelles impliquées, un intervalle de temps d'environ un siècle s'est avéré insuffisant pour avoir une idée précise du rôle que jouent les feux et les chablis dans le régime de perturbations du Témiscamingue. Les événements naturels catastrophiques comme les feux et les chablis, ont diminué au cours du 20^{ème} siècle dans l'érablière à bouleau jaune du Témiscamingue. Bien que les chablis aient augmenté en terme de superficie perturbée, cette augmentation n'est pas assez importante pour compenser la diminution des feux durant le 20^{ème} siècle.

Il devient donc très important de continuer à suivre les perturbations naturelles (chablis, feux, épidémies) lors des inventaires décennaux subséquents afin de pouvoir analyser l'évolution des perturbations ainsi que des peuplements suite à ces perturbations. Ces informations permettent en plus d'avoir des indications face aux effets des changements climatiques. Puisque le futur des régimes de perturbations naturelles est difficilement prévisible, il peut être très utile de comparer les prochaines informations avec les données historiques du siècle passé présentées dans cette étude.

Bien que très stochastiques, notre étude démontre qu'on peut néanmoins mieux comprendre le rôle de ces perturbations sur les transformations de la végétation forestière qui ont eu lieu dans ce paysage forestier lors du dernier siècle. La compréhension de la réponse de la végétation forestière aux perturbations naturelles offre une avenue très intéressante en lien avec l'aménagement écosystémique. Dans cette étude, les perturbations naturelles de type (feux/chablis) ont occasionné des changements semblables sur la composition forestière comparativement au reste de la zone totale d'étude, soit une augmentation des peuplements feuillus intolérants et des résineux ainsi qu'une diminution des peuplements feuillus tolérants. Au niveau des essences forestières, les données disponibles indiquent aussi une corrélation entre les effets du feu et des chablis soit de favoriser notamment le bouleau blanc, l'érable rouge, certaines essences résineuses ainsi que de défavoriser l'érable à sucre. L'analyse de l'intensité des perturbations donne des informations nouvelles en ce qui concerne la réponse de la végétation aux perturbations naturelles. Par exemple, nous avons pu évaluer la réponse de la composition forestière selon le pourcentage de superficie brûlée. La régénération préétablie étant favorisée par les feux brûlant un petit pourcentage et les chablis partiels, tandis que la régénération des essences pionnières étant favorisée par des feux brûlant un moyen pourcentage et les chablis totaux. La régénération des rémanents semble plus importante lors de perturbation occasionnant de grandes ouvertures avec peu de régénération pré-établie comme lors de feux brûlant un très grand pourcentage. Les chablis totaux favorisant aussi des peuplements de structure équiennne. Ces informations provenant de données historiques permettent donc d'entrevoir les effets de variables comme la taille des ouvertures, le pourcentage de superficie affectée et la quantité d'arbre laissée sur pied par les perturbations afin de favoriser différents types de réponses forestières. Ces variables, entre autres, devraient être considérées lors d'interventions sylvicoles voulant s'inspirer de ces perturbations naturelles.

Références

- Alvarez,E. 2009.** Influence d'un siècle de récolte forestière sur la forêt mélangée tempérée de la Mauricie. -172. 2009. Université Laval. Ref Type: Thesis/Dissertation.
- Arévalo,J.R., DeCoster,J.K., McAlister,S.D. et M.W.Palmer. 2000.** Changes in two Minnesota forests during 14 years following catastrophic windthrow. J. Veg. Sci. 11: 833-840.
- Barden,L.S. 1981.** Forest development in canopy gaps of diverse hardwood forest of the southern Appalachian Mountains. Oikos. 37: 205-209.
- Barrette,M. et L.Bélanger. 2007.** Historical reconstitution of the preindustrial landscape of the ecological region of the high hills of the lower Saint-Maurice. Can. J. For. Res. 37: 1147-1160.
- Bergeron,Y. et S.Archambault. 1993.** Decrease of forest fires in Québec's southern boreal zone and its relation to global warming since the end of the Little Ice Age. The Holocene 3: 255-259.
- Bergeron,Y., Cyr,D., Drever,C.R., Flannigan,M., Gauthier,S., Kneeshaw,D.D., Lauzon,E., Leduc,A., Le Goff,H., Lesieur,D. e K.Logan. 2006.** Past, current, and future fire frequencies in Quebec's commercial forests: Implications for the cumulative effects of harvesting and fire on age-class structure and natural disturbance-based management. Canadian Journal of Forest Research. 36(11):2737-2744.
- Bouchard,M., Pothier,D. et J-C.Ruel. 2009.** Stand-replacing windthrow in the boreal forests of eastern Quebec. Can. J. For. Res. 39(2): 481–487.
- Boucher,Y., Arseneault,D. et L.Sirois. 2006.** Logging-induced change (1930-2002) of a preindustrial landscape at the northern range limit of northern hardwoods, eastern Canada. Canadian Journal of Forest Research. 36 : 505-517.
- Bouffard,D. 2001.** Revue de littérature sur la caractérisation des semenciers de pin blanc, chêne rouge, bouleau jaune et bouleau à papier. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique.
- Bouffard,D. et F.Doyon. 2008.** Recherche de photographies aériennes anciennes en vue de la réalisation d'une étude sur la dynamique de la végétation forestière au cours du 20^{ème} siècle dans l'UAF 64-51. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 38 p.
- Bouffard,D., Forget,É. et F.Doyon. 2003.** Historique et dynamisme écologique de la végétation forestière de la réserve faunique Rouge-Matawin de 1930 à nos jours. (Version 1.0). Rapport scientifique. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. 113 p.
- Boulanger,Y. et D.Arseneault. 2004.** Spruce budworm outbreaks in eastern Quebec over the last 450 years. Can.J.For.Res. 34 (5):1035- 1043.
- Burns,R.M. et B.H.Honkala. 1990.** Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods. Link - srs.fs.usda.gov

- Canham, C.D. et O.L.Loucks. 1984.** Catastrophic windthrow in the presettlement forest of Wisconsin. *Ecol.* 65: 803-809.
- Canham, C.D. et P.L.Marks. 1985.** The response of woody plants to disturbance: patterns of establishment and growth. Pp. 197-217. in Pickett, S.T.A. P.S. White, (eds.), *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Orlando, FL.
- Dahir, S.E. et C.G.Lorimer. 1996.** Variation in canopy gap formation among developmental stages of northern hardwood stands. *Can. J. For. Res.*: 26, 1875-1892.
- Doyon, F. 2008.** Aménagement écosystémique de la forêt feuillue tempérée : opportunités et défis. Présentation dans le cadre du Symposium Nord-Américain sur l'aménagement écosystémique de la forêt feuillue. Gatineau, 13-15 mai 2008. Organisée par l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue.
- Doyon, F. et D.Bouffard. 2008.** Étude sur le bois mort, les microsites et la régénération après chablis catastrophiques dans les érablières du Témiscamingue. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique, 37 p.
- Doyon, F. et D.Bouffard. 2009a.** Enjeux écologiques de la forêt feuillue tempérée québécoise. Rapport scientifique. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue.
- Doyon, F. et D.Bouffard. 2009b.** Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier de l'UAF 64-51 au cours du 20^{ième} siècle. Rapport scientifique. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue.
- Doyon, F. et S.Sougavinski. 2002.** Caractérisation du régime de perturbations naturelles de la forêt feuillue du nord-est de l'Amérique du Nord. Rapport scientifique. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. 116 p.
- Drever, R., Peterson, G., Messier, C., Bergeron, Y. et M.Flannigan. 2006a.** Can forest management based on natural disturbances maintain ecological resilience? *Can.J.For.Res.* 36 (9):2285-2299.
- Drever, R., Messier, C., Bergeron, Y. et F.Doyon. 2006b.** Fires and canopy species composition in the Great St-Lawrence forest of Témiscamingue, Québec. *Forest ecology and management*. 231: 27-37.
- Everham, E.M. et N.V.L.Brokaw. 1996.** Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The botanical review*. 62 (2): 113-185.
- Forget, E., Drever, D.R. et F.Lorenzetti. 2002.** Changements climatiques : impacts sur les forêts québécoises. Revue de littérature produite par l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue pour Ouranos. 57 p.
- Frelich, L.E. et C.G.Lorimer. 1991.** Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper great lakes region. *Ecological monographs*. 61(2): 145-164.
- Gaffield, C.** Histoire de l'outaouais. (Les régions du Québec ; 6). Institut québécois de la recherche sur la culture. 1994. ISBN 2-89224-240-1, 876 p.
- Grenier, D.J. Bergeron, Y. Kneeshaw, D. et S.Gauthier. 2005.** Fire frequency for the transitional mixwood forest of Timiskaming, Québec, Canada. *Can.J.For.Res.* 35:656-666.
- Hunter, M.L. 1993.** Natural fire regimes as spatial models for managing boreal forests. *Biological Conservation* 65: 115-120.
- Hunter, M.L.H. 1999.** Maintaining biodiversity in forest ecosystems, Cambridge Univ. Press, Cambridge.

- Jackson, S.M., Pinto, F., Malcolm, J.R. et E.R. Wilson. 2000.** A comparison of pre-European settlement (1857) and current (1981–1995) forest composition in central Ontario. *Can. J. For. Res.* 30:605-612.
- Jardon, Y. 2001.** Analyses temporelles et spatiales des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec. Thèse de Doctorat, Université du Québec à Chicoutimi. 157 p.
- Kneeshaw, D.D. et M. Prévost. 2007.** Natural canopy gap disturbances and their role in maintaining mixed species forests of central Québec, Canada. *Can J For Res* 37: 1534-1544.
- Latremouille, C., Parker, W.C., McPherson, S. et F. Pinto. 2008.** Ecology and Management of Eastern White Pine in the Lake Abitibi (3E) and Lake Temagami (4E) Ecoregions of Ontario.
- Laurin, S.** Histoire des Laurentides (Les Régions du Québec, 3), Institut québécois de recherche sur la culture, Québec, 1995.
- Lorimer, C.G. 1977.** The presettlement forest and natural disturbance cycle of northeastern Maine. *Ecology* 58: 139-148.
- Lower, A.R.M. 1977.** Great Britain's Woodyard; British America and Timber Trade, 1763-1867. McGill-Queen University Press, Montreal. 1973.
- MacLaren, 1956.** Forest management plan revision of the Lievre River timber limits. Decade 1956-1966. 166 p.
- Marks, P.L., Gardescu, S. et G.E. Hitzhusen. 1999.** Windstorm damage and age structure in an old growth forest in central New York. *Northeastern Nat.* 6: 165-176.
- Minville, E. 1944.** La forêt; Étude préparée avec la collaboration de l'école de génie forestier de Québec. Éditions Fides. Montréal. 1944. 414p.
- MRN. 2000.** Norme de cartographie écoforestière. Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers. Troisième programme de connaissance de la ressource forestière. Édition provisoire. ISBN : 2-551-19159-2, 84 p.
- MRNQ. 1981.** Profil biophysique – Unité de Gestion rivière Rouge (n° 61). Volume 1.
- Nolet, P., Forget, E., Bouffard, D., et F. Doyon. 2001.** Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier du bassin de La Lievre au cours du 20^{ème} siècle. 114 p. Ripon, Qc. Canada., Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue.
- Nolet, P., Sougavinski, S. et F. Doyon. 1999.** Caractérisation du régime des perturbations naturelles de la Réserve Faunique Papineau-Labelle. Industries James MacLaren et Forêt Québec. Écoforesterie consultants.
- Papaik, M.J. et C.D. Canham. 2006.** Species resistance and community response to wind disturbance regimes in northern temperate forests. *J. Ecol.* 94: 1011-1026.
- Peterson, C.J. 2000.** Damage and recovery of tree species after two different tornadoes in the same old growth forest: a comparison of infrequent wind disturbances. *For. Ecol. Manage.* 135: 237-252.
- Peterson, C.J. et S.T.A. Pickett. 1990.** Microsite and elevational influences on early forest regeneration after catastrophic windthrow. *J. Veg. Sci.* 1: 657-662.
- Peterson, C.J. et S.T.A. Pickett. 1991.** Treefall and resprouting after windthrow. *Forest Ecology and Management.* 42: 205-217.

- Peterson, C.J. et S.T.A. Pickett. 1995.** Forest reorganization – A case study in an old-growth forest catastrophic blowdown. *Ecol.* 76: 763-774.
- Riopel, M. 2003.** Histoire, À travers le temps enr. Hudson, 25 novembre 2003.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998.** Paysages régionaux du Québec méridional. MRN, Gouvernement du Québec. Éd. Les publications du Québec. 213 p.
- 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.
- Saucier, J.-P., Bergeron, J.F., Grondin, P. et P. Robitaille. 1998.** Les régions écologiques du Québec méridional (3e version): un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec. *L'Aubelle* 124: 1-12.
- Simard, H. et A. Bouchard. 1996.** The precolonial 19th century forest of the Upper St. Lawrence Region of Quebec: a record of its exploitation and transformation through notary deeds of wood sales. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1670-1676.
- SOPFEU. 2002.** Données sur la présence de feux dans les secteurs d'étude entre 1945 et 2001.
- SOPFIM. 2003.** Données sur la présence des maladies et insectes entre 1938 et 2003.
- Vincent, O. 1995.** Histoire de l'Abitibi-Témiscamingue (Québec, Institut québécois de recherche sur la culture, coll. « Les régions du Québec », no 7, 1995), 765 p.
- Zhang, Q., Pregitzer, K.S. and D.D. Reed. 1999.** Catastrophic disturbance in the presettlement forests of the Upper Peninsula of Michigan. *Can. J. For. Res.* 29 (1):106-114.

Annexe 1

Disponibilité, caractéristiques, qualité et coûts d'acquisition des couvertures photographiques aériennes anciennes existantes

La vérification de l'existence et de la pertinence de différentes sources d'informations, particulièrement les photographies aériennes fut la première démarche (Bouffard et Doyon 2008). La reconstitution d'un paysage forestier à une période donnée ainsi que l'étude de son dynamisme dans le temps, en présence ou non d'altérations attribuables à des perturbations naturelles (feux, épidémies, chablis, etc.) sont généralement facilitées par l'utilisation de photographies aériennes prises à des intervalles réguliers et raisonnables de temps (environ 20 ans). De telles sources d'information sont à la fois relativement rares au Québec, difficiles à localiser et la plupart du temps éparpillées en différents endroits (compagnies forestières, bureaux du MRNF, universités, lieux spécialisés en archivage de documents anciens, etc.). Ce constat s'applique particulièrement bien à la portion sud de la région de l'Abitibi-Témiscamingue où la présence abondante de certaines essences feuillues, peu convoitées avant les années 1960, ainsi que l'éloignement du territoire des centres urbains, ont limité le prélèvement dans cette région au cours de la première moitié du 20^{ème} siècle, et par conséquent la réalisation d'inventaires à partir de photographies aériennes. Heureusement, il existe à la Photothèque nationale de l'Air du Canada (PNAC) différentes couvertures photographiques anciennes comprises entre les années 1935 et 1946. De plus, de nombreuses couvertures photographiques aériennes plus récentes (1960 et plus), non détaillées dans le présent rapport, sont également disponibles à la Géomathèque du Québec.

Ainsi donc, la totalité des couvertures photographiques aériennes disponibles avant 1960 a été examinée dans les différents organismes cités ci-dessus (Bouffard et Doyon 2008). Les informations recueillies sur ces couvertures telles que l'année, l'échelle et la période de prise des photos, le territoire survolé, la disponibilité et la qualité des photos ainsi que les coûts d'acquisition sont consignés au Tableau 1 (Annexe 1).

Tableau 1. Caractéristiques des différentes couvertures photographiques aériennes avant 1960 répertoriées dans le territoire d'étude.

Années	Période	Échelle	Territoire touché (Feuillet 1/50 000)	Disponibilité	Coût d'acquisition	Qualité	Remarque
1935 (Planche 1)	Fin mai	1:14 000	31-M-6 et 7	PNAC	37.50\$	Passable à bonne	Début des feuilles
1936 (Planche 1)	Mi-mai à la mi-juin	1:16 200	31-L-9,10,11, 14,15 et 16	PNAC	37.50\$	Passable à bonne	Feuilles pas toujours présentes
1938 (Planche 2)	Été	1:16 500	31-K-5,12 et 13 31-L-9 et 10	PNAC	37.50\$	Excellente qualité	-
1939 (Planche 2)	Automne tard (fin novembre)	1:26 000	31-L-7 et 8	PNAC	37.50\$	Faible à passable	Trace de glace et neige sur les photos
1945 (Planche 3)	Mi à fin septembre	1:18 000	31-M-1 et 2 31-L-9,10,11, 14,15 et 16	PNAC	14.99\$	Bonne à excellente	Formes des cimes bien évidentes
1946 (Planche 3)	Fin mai à mi-juin, mi-octobre	1:18 000	31-M-1 et 2 31-L-9,10,11, 14,15 et 16	PNAC	14.99\$	Bonne à excellente	Feuilles pas complètement présentes

Les résultats découlant de la recherche de photographies aériennes anciennes présentés au tableau 16 montrent l'existence de trois couvertures (1935-1936, 1938-1939 et 1945-1946) possédant des caractéristiques parfois très différentes les unes des autres. La couverture la plus ancienne - 1935-1936 est composée de photos de qualité variable prises de la mi-mai à la mi-juin et englobant principalement les portions sud des feuillets 31-M-6 et 7, les portions nord des feuillets 31-L-9 et 10 ainsi que la totalité des feuillets 31-L-14 et 15. Il est opportun de noter que les photos utilisables pour cette période de qualité moyenne couvrent trois bandes suffisamment larges pour recevoir potentiellement chacune un secteur d'étude. Toutefois, la période de prise de photos (absence ou début de feuillaison) constitue des contraintes non négligeables à leur utilisation. Pour la couverture subséquente, c'est-à-dire celle de 1938-1939, englobe les portions orientale (feuillets 31-k-5,12 et 13) et méridionale (feuillets 31-L-7,8,9,10 et 11) du territoire d'étude. Les photos estivales, d'excellente qualité, couvrent la portion orientale du territoire d'étude. Enfin, la période de 1945-1946 touche une vaste superficie, où la qualité et la période de prise des photos combinées à un coût d'acquisition raisonnable. Il est opportun de mentionner que les qualités des photographies aériennes des différentes couvertures étaient variables d'une ligne de vol à une autre, ainsi qu'à l'intérieur même d'une ligne de vol. Les informations concernant ce paramètre ont donc été classifiées à l'aide de traits de différentes couleurs sur des cartes en papier. Il est aussi important d'indiquer que l'évaluation de la qualité des photos a été effectuée de façon sommaire mais tout de même avec rigueur étant donné le grand nombre de clichés examinés (> 15 000). On retrouve également de nombreuses couvertures de bonne qualité, mais malheureusement prises à des périodes moins propices (absence ou début de feuillaison).

Certaines années de prises de photos ont été éliminées même si celles-ci étaient de bonne qualité et ce, suite à un écart de temps inapproprié entre deux couvertures successives. En fait, un écart trop rapproché entre les couvertures a pour conséquence d'augmenter les coûts du projet (plus grand nombre de photos à acquérir, à interpréter et à analyser), et ce sans gain réel d'information. Un écart trop grand engendre quant à lui une perte d'information et de précision au niveau du repérage et de la caractérisation des vieilles perturbations (> 20 ans). Pour ce qui est de la période de prise des photos, elle influence la précision obtenue au niveau de la caractérisation du couvert végétal, tant sur le plan de la composition que de la présence de perturbations. À titre d'exemple, des photos d'hiver, tard en automne ou tôt au printemps, où les feuilles sont absentes des arbres, rendent plus difficiles l'identification de certaines essences feuillues, et tout aussi important, le repérage et la caractérisation des perturbations partielles naturelles et anthropiques. Des problématiques similaires peuvent survenir pour des photos prises à trop petite échelle ou encore en présence d'une qualité déficiente des reproductions.

Annexe 2

Tableau 1. Liste abrégée des appellations cartographiques et des sous-types de compositions associés.

Appellation	Sous-type de composition
BB	FI
FI	FI
PE	FI
BJ	FT
ER	FT
ERBJ	FT
ERFT	FT
FT	FT
ERBB	FTFI
ERFI	FTFI
ERPE	FTFI
BBE	MF
BBPB	MF
BBPG	MF
BBPR	MF
BBR	MF
BBS	MF
BJ+C	MF
BJ+PB	MF
BJ+PR	MF
BJ+PU	MF
BJ+R	MF
BJ-C	MF
BJ-PB	MF
BJ-PB	MF
BJ-PR	MF
BJ-PU	MF
BJ-R	MF
EOR	MF
ERR	MF
FHR	MF
FIE	MF
FIPB	MF
FIPG	MF
FIPR	MF
FIR	MF
FIS	MF
FPIG	MF
FPIR	MF
FTPB	MF
FTPR	MF
FTR	MF
PEE	MF
PEPB	MF

PEPG	MF
PEPR	MF
PER	MF
PES	MF
CBJ-	MR
CBJ+	MR
EBB	MR
EFI	MR
EPE	MR
PB+BB	MR
PB+BJ	MR
PB+FI	MR
PB+FT	MR
PB+PE	MR
PB-BB	MR
PB-BJ	MR
PB-FI	MR
PB-FT	MR
PB-PE	MR
PGBB	MR
PGFI	MR
PGPE	MR
PIBF	MR
PIRF	MR
PR+BB	MR
PR+BJ	MR
PR+FI	MR
PR+FT	MR
PR+PE	MR
PR-BB	MR
PR-PE	MR
PUBJ-	MR
PUBJ+	MR
RBB	MR
RBJ-	MR
RBJ+	MR
REO	MR
RER	MR
RFH	MR
RFI	MR
RFT	MR
RPE	MR
SBB	MR
CC	R
CE	R
CPB	R
CPU	R
CS	R
EC	R
EE	R
EME	R
EPB	R

EPG	R
EPL	R
EPLPIB	R
EPLPIG	R
ES	R
MEE	R
MEME	R
MEPB	R
PBC	R
PBE	R
PBPB	R
PBPG	R
PBPR	R
PBPU	R
PBS	R
PGE	R
PGPB	R
PGPG	R
PGPR	R
PGPU	R
PIB	R
PIBEPL	R
PIG	R
PIGEPL	R
PIGPIB	R
PIR	R
PRE	R
PRPB	R
PRPG	R
PRPR	R
PRPU	R
PUC	R
PUPB	R
PUPR	R
PUPU	R
RC	R
RE	R
RME	R
RPB	R
RPG	R
RPR	R
RPU	R
RS	R
SC	R
SE	R
SPB	R
SPR	R

Tableau 2. Description des zones de chablis répertoriées entre 1920-1946.

Zone de chablis	Type de chablis	Année de détection	Superficie (ha)	Peuplement d'origine	Densité du peuplement d'origine	Age du peuplement d'origine	Hauteur du peuplement d'origine	Sous-type	Type
1	total	1945	1.119	BjR	C	90	2	MF	M
2	total	1945	2.084	BjR	B	VIN	2	MF	M
3	total	1945	0.547	BjR	B	VIN	2	MF	M
4	partiel	1945	8.636	BbS	C	JIN	3	MF	M
5	partiel	1945	3.901	BjR	C	90	2	MF	M
6	partiel	1945	7.283	BjR	C	VIN	2	MF	M
7	partiel	1945	10.804	BbR	C	50	3	MF	M
8	partiel	1945	8.052	BjR	C	90	2	MF	M
9	partiel	1945	7.983	BbS	C	70	3	MF	M
10	total	1945	1.785	BbS	B	50	3	MF	M

Tableau 3. Superficie et pourcentage de la végétation (pourcentage de sous-type de composition) dans la zone totale forestière d'étude pour les chablis et des feux, selon l'inventaire du 3^{ième} décennal.

Sous-type de composition	Zone d'étude des chablis		Zone d'étude des feux	
	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
FI	46339	6	117283	14
FT	207658	26	120851	15
FTFI	11592	2	12597	2
MF	307 095	40	317937	38
MR	123189	16	144753	18
R	73623	10	111240	13
Total forestier	769 508	100	824661	100

