
Aménagement écosystémique III : Mise en œuvre
FOR-7026-Z

MODULE 2

Les paysages forestiers naturels et leur variabilité

Pierre-Luc Couillard et Pierre Grondin
Rédaction

Louis Bélanger
Professeur(e) responsable

Édition septembre 2011

© Université Laval

Introduction

L'aménagement écosystémique repose sur les attributs des paysages naturels (peu ou pas modifiés par les activités anthropiques) et leur comparaison avec les paysages aménagés. En mesurant les écarts entre les deux types de paysages, les aménagistes sont en mesure d'identifier des enjeux (les écarts les plus importants) et de proposer des solutions sylvicoles visant à atténuer les écarts. De prime abord, ce concept paraît relativement simple, mais la description des paysages naturels en regard de leurs divers attributs (structure, composition...) est l'une des étapes les plus complexes du processus de mise en œuvre de l'aménagement écosystémique. Dans les territoires vierges, le paysage actuel correspond au paysage naturel, de sorte que ce dernier peut être décrit aisément. Par contre, plusieurs paysages aménagés ont été si altérés (exploitations agricole et forestière) qu'il est difficile d'en décrire les attributs naturels. Pour reconstituer le portrait naturel de ces paysages, il faut recourir à diverses sources d'information, à l'exemple d'anciennes photographies aériennes. Le défi consiste également à décrire des paysages en constante évolution, c'est-à-dire qui changent dans le temps et dans l'espace en fonction du climat, des perturbations naturelles, des perturbations anthropiques et du milieu physique. Le paysage actuel, naturel ou aménagé, présente donc un état parmi d'autres. L'étendue de ces états, dans l'espace et dans le temps, constitue la variabilité naturelle (Landres et al. 1999, Swetnam et al. 1999, Wong et Iversson, 2004). L'aménagement écosystémique consiste à maintenir les paysages à l'intérieur de leur variabilité naturelle de manière à ce que les espèces végétales et animales formant la biodiversité puissent trouver les habitats essentiels à leur maintien. Les espèces se sont adaptées à la variabilité inhérente aux paysages naturels et leur chance de survie est réduite lorsque ces derniers sont placés dans des conditions inconnues. Le but de l'aménagement écosystémique n'est donc pas de s'inspirer du paysage naturel d'une région à un moment donné de son histoire, mais plutôt de comprendre comment ce paysage a évolué dans le temps et dans l'espace et d'éviter que le paysage aménagé se situe hors de cette variabilité naturelle historique (*natural range of variability*) ou de son état d'équilibre. Une application concrète de ce concept est présentée pour l'Abitibi par Cyr et al. (2009).



Cyr, D., Y. Bergeron, S. Gauthier et C. Carcaillet. 2009. Forest management is driving the eastern part of North American boreal forest outside its natural range of variability. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:519-524.

Objectifs

Au terme de ce module vous serez en mesure :

- D'expliquer les notions de paysage naturel, état de référence, variabilité naturelle et unité homogène de végétation;
- d'apprécier les forces et les limites des sources d'information utilisées afin de décrire les attributs des paysages naturels et leurs états de références;
- d'identifier certains éléments méthodologiques utilisés afin de caractériser les paysages forestiers naturels en regard de leur variabilité spatiale et temporelle.

Table des matières

1.	NOTIONS RELATIVES A LA CARACTERISATION DES PAYSAGES NATURELS.....	1
1.1	PAYSAGE NATUREL	1
1.2	ÉTAT DE REFERENCE	2
1.3	VARIABILITE NATURELLE	2
1.4	LE CADRE ECOLOGIQUE D'ANALYSE DES UNITES HOMOGENES	4
2.	DESCRIPTION DES ATTRIBUTS DES PAYSAGES NATURELS	11
2.1	STRUCTURE D'AGE	14
2.2	COMPOSITION VEGETALES	17
2.3	ORGANISATION SPATIALE.....	24
2.4	STRUCTURE INTERNE DES PEUPEMENTS.....	26
2.5	MILIEUX HUMIDES ET RIVERAINS	28
3.	PAYSAGES FORESTIERS NATURELS ET VARIABILITE SPATIALE	30
3.1	STRUCTURES D'AGES	30
3.2	COMPOSITION ET STRUCTURE INTERNE.....	35
4.	PAYSAGES FORESTIERS NATURELS ET VARIABILITE TEMPORELLE.....	44
4.1	COMPOSITION FORESTIERE	45
4.2	REGIMES DE PERTURBATION NATURELLE	46
	4.2.1 <i>Les charbons de bois</i>	46
	4.2.2 <i>Les macrorestes d'insectes</i>	48
	CONCLUSION	49

Liste des tableaux

TABLEAU 1. NOMENCLATURE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION (3 PREMIERS NIVEAUX).....	10
TABLEAU 2 SOURCES D'INFORMATION UTILISEES AFIN DE DECRIRE LES ATTRIBUTS DES PAYSAGES NATURELS PAR GRAND TERRITOIRE D'APPLICATION.....	13

Liste des figures

FIGURE 1. REPARTITION DES COUPES DANS LE QUEBEC MERIDIONAL EN 2003 (GRONDIN ET AL. 2007A).	2
FIGURE 2. REPRESENTATION DU CONCEPT DE VARIABILITE NATURELLE DES PAYSAGES.	3
FIGURE 3. REPRESENTATION DU CONCEPT D'INTEGRATION DES FACTEURS ECOLOGIQUES PRONE PAR LES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION.	4
FIGURE 4. COMPARAISON DES UNITES HOMOGENES ROËT (PESSIERE NOIRE A MOUSSES DE L'OUEST) ET REËM (PESSIERE NOIRE A MOUSSES DE L'EST) EN REGARD DE LA VEGETATION, DU MILIEU PHYSIQUE, DES PERTURBATIONS NATURELLES ET DU CLIMAT. 8	8
FIGURE 5. CARTE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION (NIVEAU HIERARCHIQUE 3).	9
FIGURE 6. REPARTITION ET DENSITE DES PLACETTES-TEMPORAIRES. PLUS LA COULEUR EST FONCEE, PLUS LA DENSITE EST ELEVEE.	15
FIGURE 7. EXEMPLE D'UNE PORTION D'UNE CARTE DU PREMIER PROGRAMME D'INVENTAIRE DECENNAL (NORD DU LAC SAINT-JEAN). ON APERÇOIT UNE VIREE D'INVENTAIRE (576V-172) LE LONG DE LAQUELLE PLUSIEURS PLACETTES TEMPORAIRES ONT ETE REALISEES.....	16
FIGURE 8. FICHE D'INVENTAIRE UTILISEE PAR LA COMPAGNIE PRICE BROTHER'S EN 1925 POUR INVENTORIER LA CONCESSION «SOUTH KENOGAMI». POUR CHAQUE SECTION DE DEUX CHAINES (~ 40M), LES TIGES DE PLUS DE TROIS POUCES (~ 7,6 CM) ETAIENT DENOMBREES PAR ESSENCE ET PAR CLASSE DE DIAMETRE DE 2 POUCES (~ 5 CM) (A). ENSUITE, UN GROUPEMENT D'ESPECE ET UN STADE DE MATURETE ETAIENT ATTRIBUES AU PEUPEMENT FORESTIER (B) (DELISLE-BOULIANNE ET AL. 2011).	19
FIGURE 9. PORTION D'UNE ANCIENNE CARTE FORESTIERE DE LA CONCESSION PRICE LOCALISEE DANS LA RESERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES (GRAND LAC PIKAUBA).	20
FIGURE 10. ANCIENNE PHOTOGRAPHIE AERIENNE (MAI 1950) LOCALISEE DANS LA RESERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES (SECTEUR DU LAC JACQUES-CARTIER).....	21
FIGURE 11. EXTRAIT D'UN CARNET D'ARPENTAGE DU CANTON DE RIPON (OUTAOUAIS) EN 1866 PAR JOHN JOHNSTON. GREFFE DE L'ARPEUTEUR GENERAL DU QUEBEC, CARNET SUITE ALPHA NUMERIQUE R055.	23
FIGURE 12. COMPARAISON D'UN TERRITOIRE (SUD-EST DU LAC MISTASSINI) RELATIVEMENT AUX FEUX NATURELS (A) AINSI QU'AUX FEUX ET AUX COUPES FORESTIERES (B) (PERRON ET AL. 2008). L'AGGLOMERATION DES FEUX ET DES COUPES REHAUSSE SENSIBLEMENT LA PROPORTION DE JEUNES FORETS.	25
FIGURE 13. SAPINIERE VIERGE DE LA RESERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES	27
FIGURE 14. EXEMPLES DE TYPES DE MILIEUX HUMIDES CONSIDERES PAR LE MRNF DANS LE CADRE DE LA CARTOGRAPHIE DU 4ER PROGRAMME D'INVENTAIRE DECENNAL.....	29
FIGURE 15. STRUCTURE D'AGES DES PAYSAGES D'UNE PORTION DE L'ABITIBI TELLE QUE REVELEE PAR LES PLACETTES TEMPORAIRES DU MRNF.....	31
FIGURE 16. STRUCTURE D'AGES DES PAYSAGES D'UNE PORTION DE L'ABITIBI TELLE QUE REVELEE PAR LA CARTE DE L'ORIGINE DES PEUPEMENTS (GAUTHIER ET AL. 1998).	32

FIGURE 17. STRUCTURE D’AGE THEORIQUE DES FORETS D’UNE PORTION DE L’ABITIBI TELLE QUE REVELEE PAR LE MODELE DE VAN WAGNER (GRONDIN ET AL. 2010). 34

FIGURE 18. COMPARAISON DE LA STRUCTURE D’AGE THEORIQUE DES FORETS D’UNE PORTION DE L’ABITIBI ET D’UNE PORTION DE LA COTE-NORD (GRONDIN ET AL. 2010). 34

FIGURE 19. COMPARAISON ENTRE LA STRUCTURE D’AGE ESTIME (ISSU D’UNE MODELISATION) DU PAYSAGE NATUREL ET LA STRUCTURE D’AGE ACTUELLE DES PAYSAGES AMENAGES DE L’ABITIBI. ON NOTE UN ECART IMPORTANT DANS LES VIEUX PEUPELEMENTS AINSI QUE DANS LES PEUPELEMENTS EN REGENERATION. IL S’AGIT DE DEUX ENJEUX (GRONDIN ET AL. 2010). 35

FIGURE 20. DYNAMIQUE FORESTIERE EN LIENS AVEC DES CHANGEMENTS DANS LE MILIEU PHYSIQUE, LES PERTURBATIONS NATURELLES ET LE CLIMAT. NOUS PROPOSONS UNE APPROCHE DE CARACTÉRISATION DES PAYSAGES BASÉE SUR LES NOTIONS DE TOPOSÉQUENCE ET DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE INHÉRENTE À SES DIVERSES PORTIONS. 38

FIGURE 21. DYNAMIQUE FORESTIERE DE LA PESSIERE NOIRE A MOUSSES DE L’OUEST (GAUTHIER ET AL. 2010). 39

FIGURE 22. DYNAMIQUE FORESTIERE DEFINIE SUR LA BASE DE L’ANALYSE DES STRUCTURES DE TAILLE ET DES MACRORESTES D’ESPECES FORESTIERES (EXEMPLE DE LA SAPINIÈRE À BOULEAU BLANC DE LA RÉSERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES; COUILLARD, 2011). 40

FIGURE 23. MODELISATION DE LA DYNAMIQUE FORESTIERE DE LA VEGETATION POTENTIELLE DE LA SAPINIÈRE A BOULEAU BLANC. 41

FIGURE 24. INTÉGRATION DE LA DISTRIBUTION THEORIQUE DES SUPERFICIES PAR CLASSE D’AGE ET DE LA MODELISATION DE LA COMPOSITION FORESTIERE. 43

FIGURE 25. COMPARAISON DE LA COMPOSITION FORESTIERE ESTIMEE ET ACTUELLE D’UNE PORTION DE LA FORET BOREALE DE L’OUEST. LA COMPARAISON PORTE SUR LA VEGETATION POTENTIELLE DE LA SAPINIÈRE A BOULEAU BLANC. 43

FIGURE 26. VARIATIONS OBSERVEES DANS LES PROPORTIONS DE POLLEN POUR LE BOULEAU BLANC AINSI QUE LE SAPIN ET LES EPINETTES DANS LA RESERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES (COLPRON-TREMBLAY ET LAVOIE, 2010). LE BOULEAU PERD DE L’IMPORTANCE EN RAISON DE LA FAIBLE FREQUENCE DES FEUX. DU MEME COUP, LA PROPORTION DE SAPIN ET D’EPINETTES AUGMENTE DANS LES PAYSAGES. 46

FIGURE 27. HISTORIQUE A LONG TERME DES FEUX DANS LES HAUTES ALTITUDES DE LA RESERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES. 47

1. Notions relatives à la caractérisation des paysages naturels

Afin d'atteindre notre premier objectif, il convient de présenter certaines notions qui concernent la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique.

1.1 Paysage naturel

Les documents relatifs à l'aménagement écosystémique proposent que les écosystèmes et leur biodiversité soient abordés selon divers niveaux de perception : les espèces, les communautés (peuplement forestier) et les paysages (Lertzman et Fall, 1998). De façon très générale, le **paysage** désigne «*une portion de territoire perçue par un observateur et dont les divers attributs ou descripteurs résultent de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations*» (Partoune, 2004). Plus spécifiquement, le paysage considéré en aménagement écosystémique est le paysage forestier composé autant d'éléments abiotiques (ex. le dépôt de surface) que biotiques (la végétation). Le paysage naturel est composé de forêts n'ayant pas subi de transformations significatives résultant de l'exploitation industrielle à grande échelle. Ces mosaïques forestières et leurs attributs sont en équilibre avec les processus écologiques naturels à la base de leur maintien, notamment les feux et les épidémies d'insectes. Les termes préindustriel, précolonial, primaire, originel et vierge sont utilisés en synonymie avec le paysage naturel. Par contre, plusieurs documents (ex. SADF, s.d.) proposent l'emploi de forêt plutôt que paysage. Le terme paysage est favorisé dans ce module parce que nous croyons qu'il rend mieux les concepts et les objectifs véhiculés par l'aménagement écosystémique qui propose notamment de s'élever au dessus de la forêt (regroupement d'arbres dont le recouvrement des tiges est supérieur à 10%) afin de percevoir et de décrire une mosaïque de peuplements que l'on doit aménager comme un tout. En d'autres termes, le paysage est l'objet central de l'aménagement écosystémique. Par ailleurs, les paysages d'une portion importante du Québec méridional ont été l'objet d'activités anthropiques depuis plusieurs décennies (Figure 1). Ces paysages aménagés diffèrent des paysages naturels. Les notions du degré de naturalité ou du degré d'altération sont utilisées afin de caractériser l'importance de l'écart entre les deux types de paysages. Plus le niveau d'altération d'un paysage forestier aménagé est élevé, plus il diffère du paysage forestier naturel. Diminuer le niveau d'altération d'un paysage peut être considéré comme un objectif tactique de l'aménagement écosystémique alors que le maintien de la biodiversité des espèces, des communautés et des écosystèmes en est l'objectif biologique.

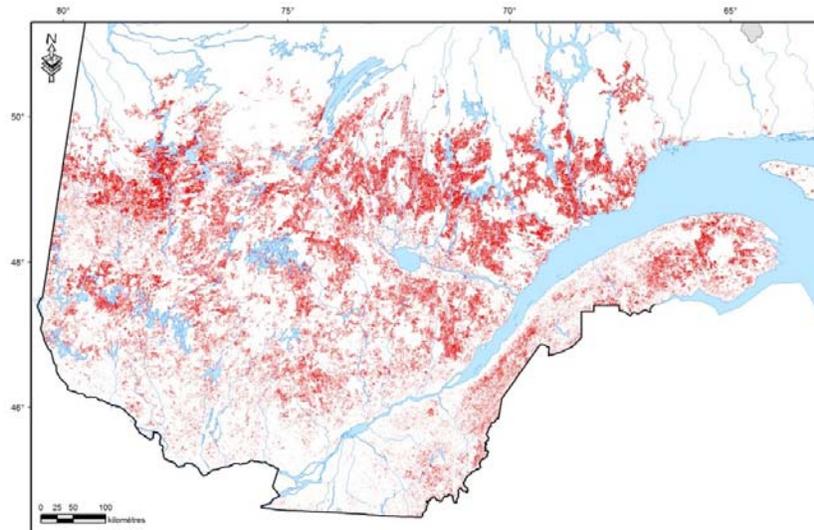


Figure 1. Répartition des coupes dans le Québec méridional en 2003 (Grondin et al. 2007a).

1.2 État de référence

Afin d'identifier les enjeux écologiques et d'élaborer des cibles d'aménagement écosystémique, le ministère des Ressources naturelles et de la faune (MRNF) a conçu un registre des états de référence, où sont consignées la structure d'âges (c'est-à-dire l'abondance relative de différentes classes d'âges) et la composition des paysages forestiers naturels. Ces attributs sont définis sur la base de valeurs moyennes. Les connaissances actuelles ne permettent pas d'estimer avec précision la variabilité naturelle à l'aide de bornes minimale et maximale (Boucher *et al.* 2009 a, b, 2011). Nous vous invitons à lire l'avis de recherche de Boucher et al. (2009b) qui présente les concepts relatifs aux états de référence.



Boucher, Y., P. Grondin et M. Barrette, 2009b. Les forêts préindustrielles : un état de référence pour l'aménagement durable des forêts. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 17. 2 p.

1.3 Variabilité naturelle

L'état naturel des paysages a varié aux cours des derniers millénaires sous l'effet des changements de climats et de perturbations naturelles. Plus spécifiquement, la **variabilité naturelle (*historical range of variability*)** est définie comme « l'ensemble des états (attributs) et des processus écologiques qui caractérisent les paysages forestiers d'un territoire en regard de

deux échelles de perception : l'espace (dimension spatiale) et le temps (dimension temporelle ou historique) (Wong et Iversson, 2004)» (Figure 2). À l'échelle spatiale, la variabilité doit être définie dans une région aux caractéristiques similaires en regard du climat, des perturbations naturelles et des milieux physiques. La diversité des perturbations naturelles (années d'origine, fréquence, superficie et intensité), jumelée aux conditions changeantes des milieux physiques qui se s'échelonnent le long de la toposéquence, caractérisent la variabilité naturelle spatiale d'un paysage (Lertzman et Fall 1998). À l'échelle temporelle, la variabilité naturelle doit également être abordée par territoire. L'hypothèse est que chacune des régions forestières possède une variabilité spatiale et temporelle spécifique, traduite par des éléments de la dynamique forestière (Wong et Iversson 2004). L'article de Wong et Iversson est recommandé comme lecture complémentaire.



Wong, C. et K. Iversson. 2004. Range of natural variability: Applying the concept to forest management in central British Columbia. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 4 : 1-14

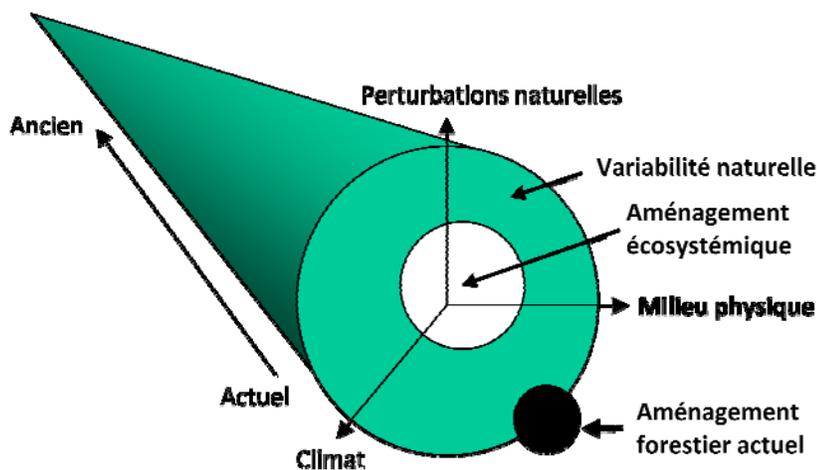
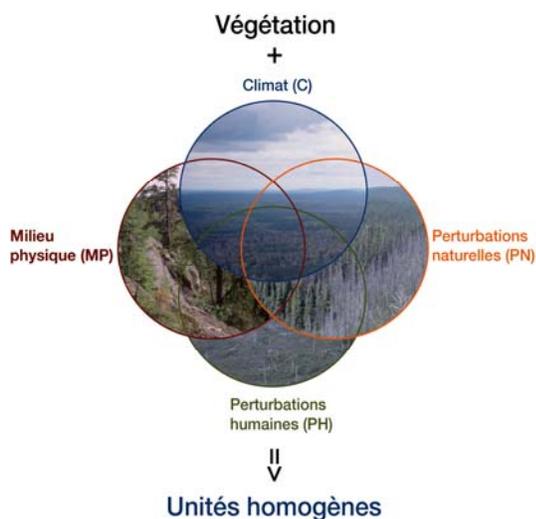


Figure 2. Représentation du concept de variabilité naturelle des paysages.

Deux niveaux de perception sont considérés : le niveau spatial défini par la diversité de la végétation telle qu'exprimée par les variations du climat, des perturbations naturelles, des perturbations humaines et du milieu physique et le niveau temporel ou historique défini par les changements à long terme de ces mêmes facteurs.

L'étude de la variabilité naturelle spatiale et temporelle montre que les paysages naturels sont dynamiques. Des changements risquent de se produire à nouveau dans un contexte de

changements climatiques et d'affecter la biodiversité. Devant cette grande variabilité et l'incertitude à prédire les états futurs des paysages, est-il justifié d'insister sur la description des paysages naturels et, du même coup, poursuivre nos démarches vers la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique ? Pour répondre à cette question, il faut retourner aux racines même du concept d'aménagement écosystémique, dont le but premier est de maintenir la biodiversité des écosystèmes. Le paysage naturel de référence sur lequel on tente d'appuyer notre aménagement forestier est un moyen pour y parvenir. La variabilité naturelle ne doit pas être un obstacle à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique. Au contraire, on doit l'utiliser afin de définir des balises, ou encore des marges de manœuvre, pour la mettre en application. Ainsi, les connaissances éventuelles sur la variabilité naturelle (spatiale et temporelle) permettront une mise en œuvre encore mieux justifiée et adaptée aux incertitudes soulevées par les changements climatiques. Dans plusieurs cas, des choix ou des réflexions d'aménagement devront être faites parmi les divers états caractérisant la variabilité naturelle. Lequel choisir ? Y en a-t-il de meilleurs que d'autres ? Tels sont les défis que devront relever les aménagistes.



1.4 Le cadre écologique d'analyse des unités homogènes

Pour la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique, le MRNF utilise le cadre écologique de référence des **unités homogènes**. Ce cadre repose sur l'idée que les changements qui s'opèrent dans les paysages du Québec méridional sont conséquents à des modifications qui surviennent autant dans le climat, le milieu physique et les perturbations (naturelles et anthropiques) (Figure 3).

Figure 3. Représentation du concept d'intégration des facteurs écologiques prôné par les unités homogènes de végétation.



Une **unité homogène de végétation** correspond à une portion de territoire dotée de caractéristiques similaires sur le plan de la végétation (actuelle et potentielle) et de ses variables explicatives (Grondin et al. 2007a).

Le passage d'une unité homogène à une autre est accompagné de modifications qui surviennent dans plusieurs familles de facteurs. Par exemple, la transition de la forêt résineuse de l'Ouest à la forêt résineuse de l'Est est intimement liée à des changements qui surviennent simultanément dans le climat, le régime de perturbations naturelles et le milieu physique (Figure 4). Chacune des unités homogènes possède une variabilité naturelle qui lui est propre et qui se distingue de celle de ses voisines.

Le système de classification des unités homogènes est complémentaire au système en vigueur au MRNF (Saucier et al. 2009). Les unités homogènes tirent leur originalité des éléments suivants :

- une prise en compte plus détaillée des connaissances sur les perturbations naturelles accumulées au cours des 30 dernières années par le MRNF;
- la considération des perturbations humaines qui permet de cibler, par exemple, les territoires soumis à d'importants changements de composition au cours de la colonisation;
- une approche basée sur les méthodes de l'écologie numérique qui permettent notamment de définir les gradients écologiques (latitudinal, longitudinal, altitudinal);
- un concept qui reconnaît à la fois les champs d'expertise propres aux écologistes des perturbations naturelles et à ceux de la classification écologique (importance du milieu physique);

Les unités homogènes ont été délimitées à partir d'analyses effectuées sur les districts écologiques (cellule territoriale d'environ 250 km²) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Les districts ont, à l'origine, été caractérisés par des variables permanentes du milieu physique (Robitaille et Saucier 1998 ; Saucier *et al.* 2009). Aux fins de la détermination des unités homogènes, la description des districts écologiques a été bonifiée par l'ajout d'un ensemble de variables (ex. : température moyenne annuelle) regroupées en familles de facteurs (ex. climat). L'information utilisée afin de décrire les districts provient principalement des divers programmes de cartographies forestières réalisées par le MRNF depuis le début des années

1970 ainsi que les placettes temporaires d'inventaire dendrométrique associées à ces programmes.

Les analyses effectuées simultanément sur les districts définis par leur végétation et leurs variables explicatives ont montré que les changements de végétation s'effectuent le long des gradients écologiques latitudinal, longitudinal et altitudinal en réaction à des modifications simultanées du climat, des perturbations naturelles et du milieu physique. Les districts écologiques qui se répartissent le long des gradients écologiques et ont été rassemblés pour former une hiérarchie d'unités homogènes. Cinq niveaux hiérarchiques définissent le système et chacun d'eux présente des territoires de plus en plus finement découpés. Le premier niveau segmente le territoire en trois entités : la forêt feuillue (dominance d'érable à sucre et de bouleau jaune), la forêt mélangée (dominance de sapin, de bouleau jaune, de bouleau blanc et de peuplier faux-tremble) et la forêt résineuse ou coniférienne (dominance d'épinette noire). Le gradient latitudinal joue un rôle important dans cette stratification. Au second niveau, la forêt mélangée ainsi que la forêt résineuse sont segmentées principalement sur la base du gradient longitudinal qui répond notamment à une augmentation des précipitations (de l'ouest vers l'est), du relief et de la fréquence des feux. Le niveau 3 subdivise plus finement le territoire. C'est à ce niveau, par exemple, que la forêt mélangée à bouleau jaune se distingue de celle à bouleau blanc. Le niveau 3 est celui retenu pour la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique. Ce niveau subdivise le Québec méridional en 17 unités homogènes (Figure 5; Tableau 1; Grondin *et al.* 2007a).



Photo : Grand feu survenu en 2005 dans la région de Chibougamau

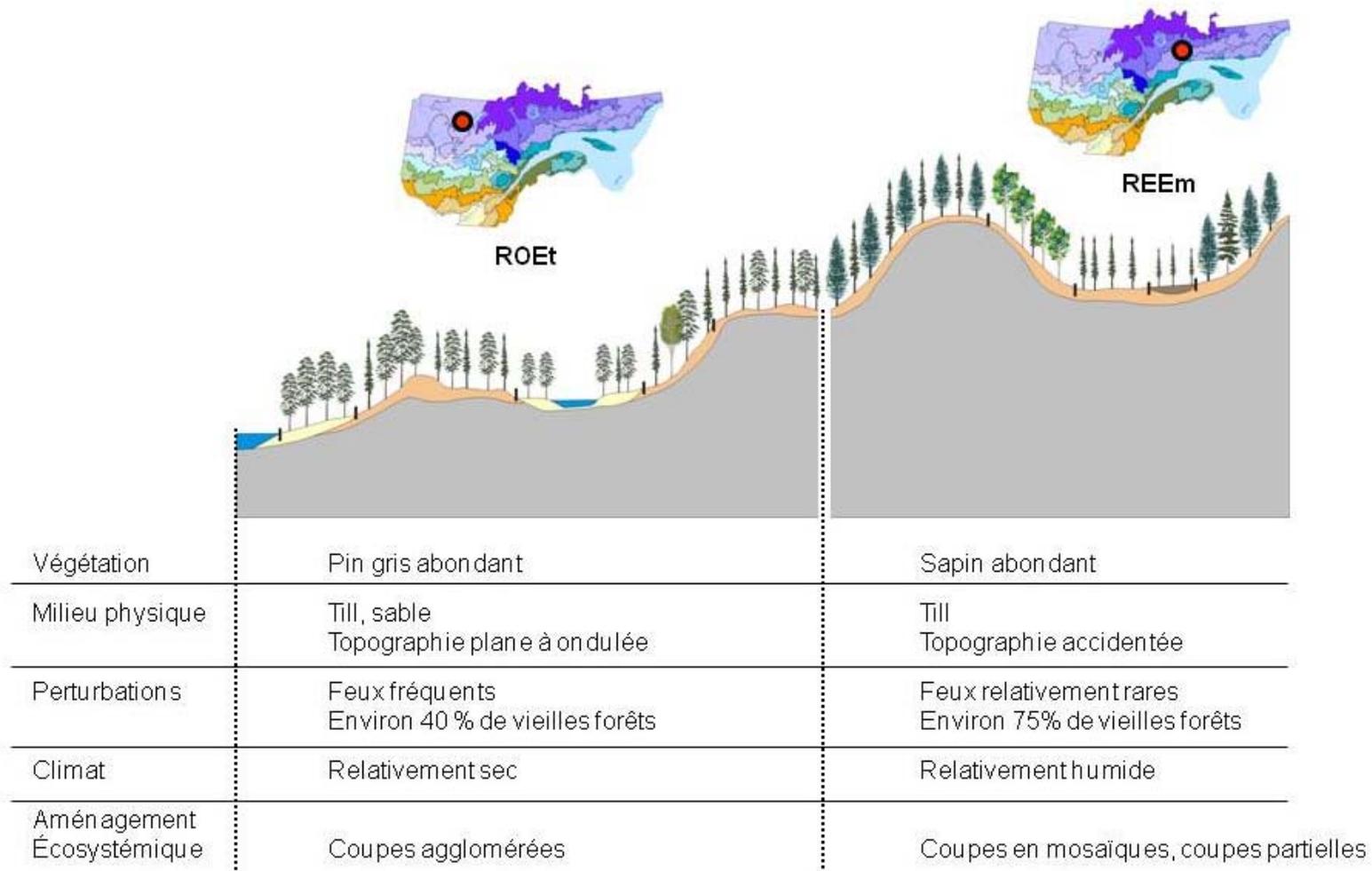


Figure 4. Comparaison des unités homogènes ROEt (pessière noire à mousses de l’Ouest) et REEm (pessière noire à mousses de l’Est) en regard de la végétation, du milieu physique, des perturbations naturelles et du climat.

Dans un contexte d’aménagement écosystémique, les différences entre ces deux régions se traduisent par des pratiques sylvicoles spécifiques.

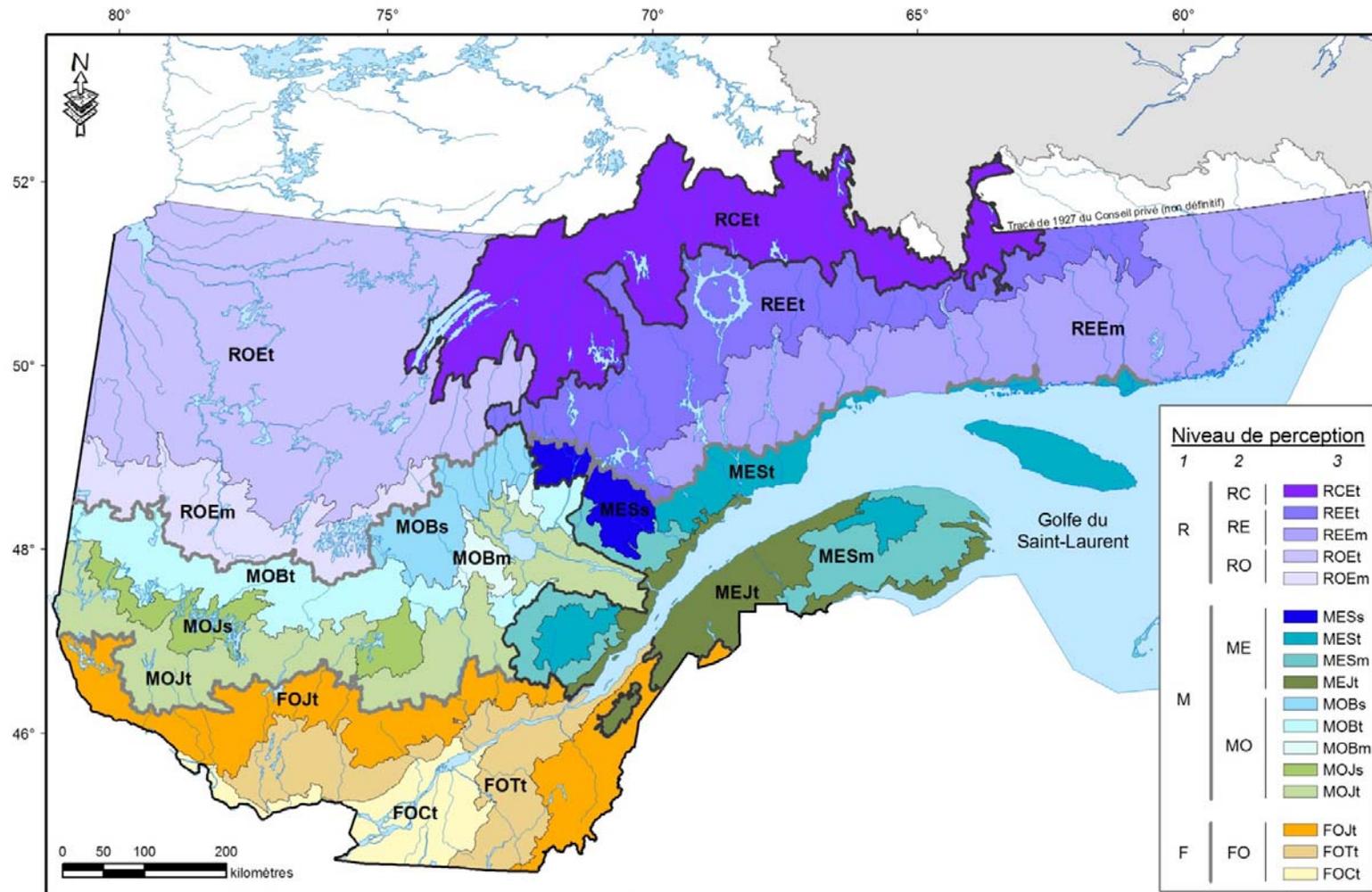


Figure 5. Carte des unités homogènes de végétation (niveau hiérarchique 3).

Tableau I. Nomenclature des unités homogènes de végétation (3 premiers niveaux)

Niveau de perception			
1^{er}	2^e	3^e (nom)	3^e (code)
Forêt résineuse (R)	Centre (RC)	à épinette noire typique	RCeT
	Est (RE)	à épinette noire et sapin typique	REeT
		à épinette noire et sapin méridionale	REEm
	Ouest (RO)	à épinette noire et pin gris typique	ROeT
		à épinette noire et pin gris méridionale	ROEm
	Forêt mélangée (M)	Est (ME)	à sapin et bouleau blanc septentrionale
à sapin et bouleau blanc typique			MESt
à sapin et bouleau blanc méridionale			MESm
à sapin et bouleau jaune typique			MEJt
Ouest (MO)		à bouleau blanc et sapin septentrionale	MOBs
		à bouleau blanc et sapin typique	MOBt
		à bouleau blanc et sapin méridionale	MOBm
		à bouleau blanc, sapin et bouleau jaune septentrionale	MOJs
		à bouleau blanc, sapin et bouleau jaune typique	MOJt
Forêt feuillus (F)	Ouest (FO)	à érable à sucre et bouleau jaune typique	FOJt
		à érable à sucre et tilleul typique	FOTt
		à érable à sucre et caryer cordiforme typique	FOCt

2. Description des attributs des paysages naturels

Le cadre d'analyse des unités homogènes de végétation est utilisé afin de décrire les principaux attributs des paysages naturels. Cette étape est cruciale puisqu'elle permettra, en fin d'analyse, de quantifier les écarts avec les paysages aménagés et d'identifier des enjeux écologiques. Ces enjeux feront ensuite l'objet d'une analyse lors de laquelle des solutions d'aménagement seront élaborées pour atténuer leurs impacts. Quelques attributs ont été reconnus à l'échelle nationale et définis dans la Stratégie d'aménagement durable des forêts (SADF, s.d.). Ces attributs sont :

- la structure d'âge;
- la composition végétale
- l'organisation spatiale des peuplements;
- la structure interne des peuplements;
- les milieux humides et riverains.

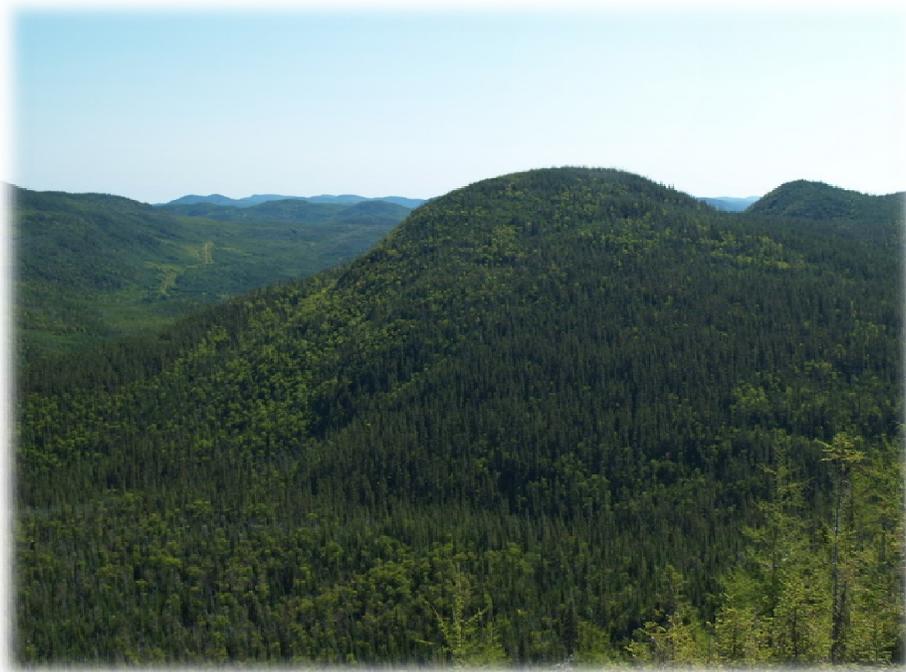


Photo : Paysage des hautes altitudes de la réserve faunique des Laurentides.

Neuf sources d'information sont utilisées pour documenter les attributs des paysages (niveau spatial). Il s'agit :

- des programmes d'inventaires décennaux du MRNF (les placettes-échantillons et les cartes forestières);
- du système d'information par tesselle (SIFORT);
- des anciens inventaires forestiers;
- des anciennes cartes forestières;
- des anciennes photographies aériennes;
- des ventes de bois enregistrées dans les actes notariés;
- des carnets d'arpentage;
- des images satellitaires;
- des paysages et peuplements vierges.

Une même source d'information peut être utilisée pour décrire plusieurs attributs des paysages naturels (Tableau 2). En raison des activités anthropiques, l'utilisation de ces sources variera selon les territoires. Les données provenant des cartes des programmes décennaux ainsi que le système d'information par tesselle (SIFORT) seront employées dans les paysages boréaux peu affectés par les activités anthropiques. En forêt mélangé, des sources de données historiques comme les anciens inventaires forestiers, les anciennes cartes et photographies aériennes seront privilégiés. En forêt feuillue, où l'altération des forêts est importante, la reconstitution de la composition des paysages forestiers pourra être réalisée à partir des actes notariés de vente de bois et des carnets d'arpentage. Enfin, certains attributs relatifs à la dendrochronologie et à la paléoécologie permettent de définir la variabilité temporelle des paysages naturels. Ces derniers sont abordés dans la dernière section du module.

La description des paysages naturels (niveau spatial) repose principalement sur :

- le guide pour la description des principaux enjeux écologiques dans les plans régionaux de développement intégré des ressources et du territoire (Varady-Szabo *et al.* 2008);

- le guide d'élaboration de la forêt préindustrielle comme paysage naturel de référence (Pinna *et al.* 2009);
- le document d'intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré (Bouchard *et al.* 2010).

Tableau 2 Sources d'information utilisées afin de décrire les attributs des paysages naturels par grand territoire d'application (R : forêt résineuse ; M : mélangée et F : feuillue).

Sources d'informations	Enjeux			
	Structure d'âge	Organisation spatiale	Composition	Structure interne
Programmes d'inventaires décennaux du MRNF (cartes et placettes-échantillons)	R	R	R	R
Système d'information forestière par tesselle (SIFORT)	R	R	R	-
Anciens inventaires forestiers	R, M	R, M	R, M	R, M
Anciennes cartes forestières	R, M	R, M	R, M	R, M
Anciennes photographies aériennes	-	R, M	R, M	R, M
Ventes de bois enregistrées dans les actes notariés	-	-	F	-
Carnets d'arpentage	-	-	F, M	-
Images satellitaires	-	R	-	-
Paysages et peuplements vierges	-	-	R, M, F	R, M, F

L'utilisation simultanée de plusieurs sources de données s'avère un excellent moyen de décrire les paysages et de valider les résultats. Tel processus se nomme « triangulation », par analogie à la triangulation utilisée en mathématiques. La triangulation des méthodes qualitatives fait référence à la combinaison de méthodes et de résultats provenant de sources diverses et présentant des limitations variées. La triangulation permet :

- d'éliminer ou réduire les biais de l'étude;
- d'améliorer la compréhension du phénomène étudié;
- de rassurer les chercheurs et les aménagistes quant aux résultats obtenus.

2.1 Structure d'âge

La structure d'âges des paysages correspond à la proportion relative des diverses classes d'âges. Afin de quantifier la structure d'âges, le MRNF suggère l'utilisation de stades de développement (Bouchard *et al.* 2010). Les stades de développement représentent des regroupements de classes d'âge qui sont particulièrement cruciales du point de vue des communautés biologiques et de leur dynamique. Ces stades se succèdent, en fonction de la maturation, de la sénescence des arbres et du temps écoulé depuis la dernière perturbation majeure.



Stade de régénération : Le stade de régénération est associé aux superficies récemment perturbées. Dans des conditions naturelles, l'abondance de peuplements en régénération est déterminée par les perturbations naturelles comme les feux, les épidémies d'insecte et les chablis sévères. En forêt aménagée, le taux de coupe totale devient un élément déterminant pour l'abondance de ce stade. Le stade de régénération est généralement associé aux espèces pionnières et aux forêts de moins de 20 ans.

Stade intermédiaire : Le stade intermédiaire à un couvert forestier ayant atteint une certaine hauteur. Il revêt une importance du point de vue des préoccupations sociales ainsi que pour certaines espèces fauniques ou floristiques. Ce stade est généralement représenté par des forêts âgées entre 40 et 100 ans.

Stade vieux : Un peuplement commence à atteindre le stade vieux lorsqu'il commence à acquérir certaines caractéristiques comme une structure verticale diversifiée, des arbres vivants de fortes dimensions et du bois mort de forte dimension et à divers degré de décomposition. On assume que ces caractéristiques sont atteintes à partir d'un certain temps à la suite d'une perturbation grave. Ces forêts correspondent surtout aux peuplements âgés de plus de 100 ans.

La structure d'âges d'un paysage peut être décrite à l'aide de plusieurs sources d'informations (Tableau 2). On insiste ici sur la première source utilisée afin de décrire les paysages naturels, soit : les programmes d'inventaires décennaux et les cartes forestières du MRNF.

Source 1

Les programmes d'inventaires du MRNF (les placettes-échantillons et les cartes forestières)

Depuis les années 1970, le MRNF procède à des inventaires périodiques des forêts du Québec méridional dans le cadre de programmes d'inventaire décennal. À ce jour, trois programmes d'inventaires décennaux ont été complétés. Le premier a été réalisé au cours de la décennie 1970, le second dans la décennie 80 et le troisième au cours de la décennie 90. Le 4e programme est en cours depuis 2003 et devrait être complété en 2018. Au cours de ces programmes, des milliers de placettes-échantillons ont été établies (Figure 6). Les placettes-échantillons temporaires, visitées qu'une seule fois, fournissent des renseignements sur le diamètre des arbres (structure de diamètre), l'âge de quelques individus, les caractéristiques stationnelles (ex. drainage) et l'origine des peuplements. Par ailleurs, les placettes-échantillons permanentes recèlent sensiblement les mêmes informations que les placettes temporaires. Ces placettes sont visitées à chaque programme et permettent ainsi de suivre la croissance et l'évolution des forêts (MRNF, 2009).

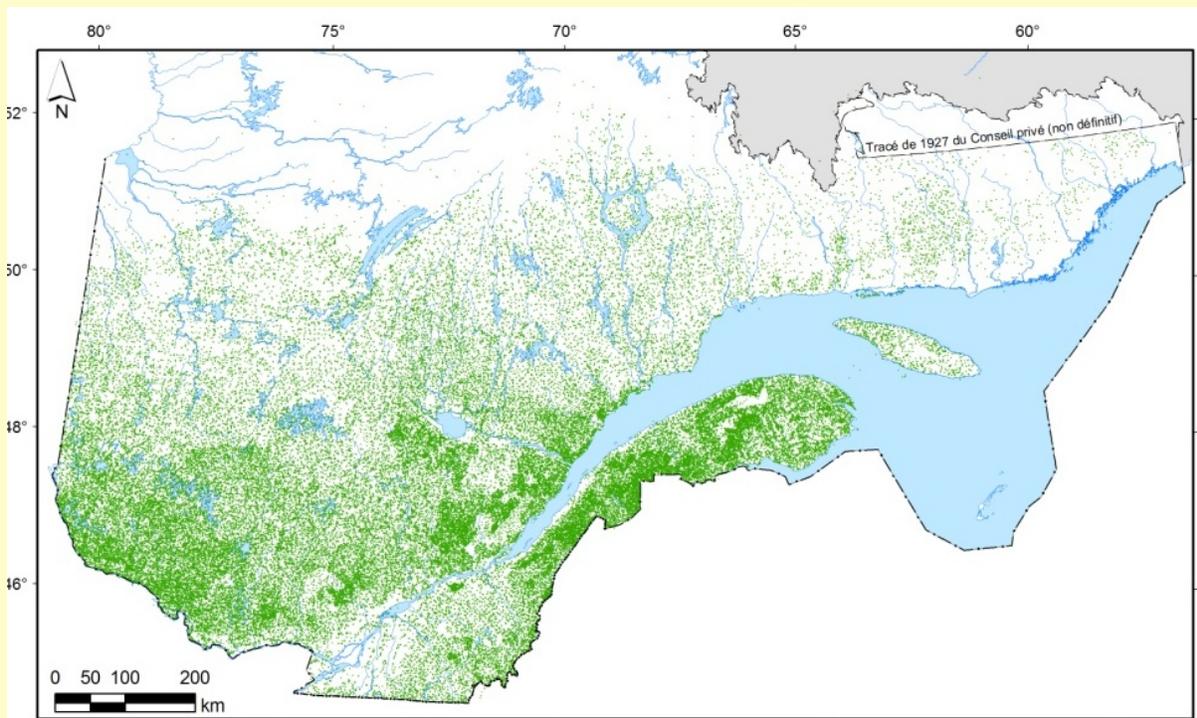


Figure 6. Répartition et densité des placettes-temporaires. Plus la couleur est foncée, plus la densité est élevée.

Source 1 (suite)

En plus des placettes-échantillons, chacun des programmes d'inventaires forestiers est accompagné d'une couverture cartographique à l'échelle 1 : 20 000 (Figure 7). Les cartes sont produites par interprétation de photographies aériennes couvrant l'ensemble du Québec méridional. Les cartes 1er et du 2e programme d'inventaire forestier sont disponibles en format papier où en image numérisées. Chacun des polygones (peuplement forestier) est décrit selon le type de couvert forestier, le groupement d'essences, l'origine et l'année d'origine du peuplement, la densité et la hauteur des peuplements, les perturbations et leur année d'occurrence, les classes d'âge, les classes de pente, les dépôts de surface, les classes de drainage et les types écologiques.

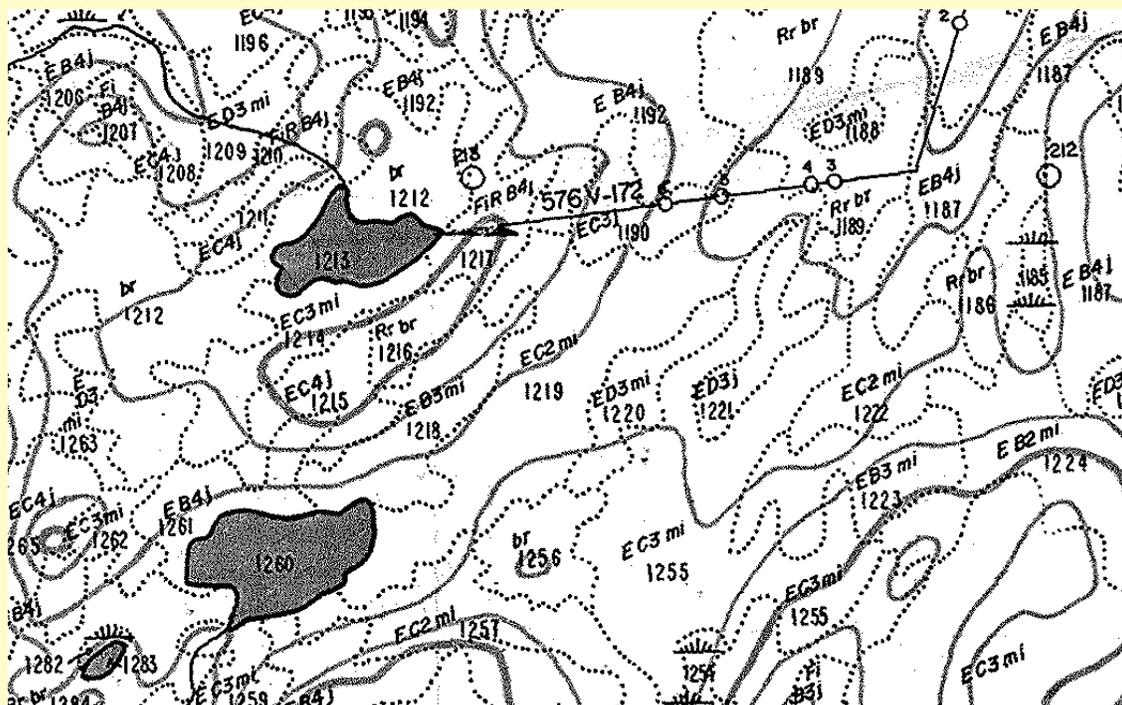


Figure 7. Exemple d'une portion d'une carte du premier programme d'inventaire décennal (nord du Lac Saint-Jean). On aperçoit une virée d'inventaire (576V-172) le long de laquelle plusieurs placettes temporaires ont été réalisées.

Le MRNF a récemment publié le portrait de l'évolution de la forêt publique sous aménagement du Québec méridional des années 1970 à 2000 (MRNF, 2009). Ce portrait a été établi en compilant les placettes échantillons permanente et temporaire ainsi que les cartes forestières des trois programmes d'inventaires. Les résultats montrent notamment que l'importance relative des peuplements mûrs et surannés du Québec méridional est demeurée sensiblement la même (55%) au cours de la période d'étude alors que les peuplements en voie de régénération ont subi une légère hausse. Par contre, l'importance relative des peuplements mûrs et surannés a chuté de 10% dans la pessière à mousses de l'Ouest (56 à 46%) alors que celle des peuplements en voie de régénération n'a cessé d'augmenter (7 à 16%).

2.2 Composition végétale

La composition végétale influence les processus écologiques, notamment les feux (ex. type de combustible) et les épidémies d'insectes (ex. vulnérabilité des essences à un insecte particulier), les conditions d'habitats pour les espèces végétales et fauniques et l'approvisionnement en bois des compagnies. La démarche proposée par le MRNF afin de déterminer et documenter les attributs de composition végétale se compose de trois niveaux d'analyse.

- **L'évaluation de la richesse en espèces** permet d'estimer de façon grossière la présence de certaines espèces, même si on ne connaît pas leur quantité. La méthode consiste à dresser la liste des espèces apparaissant dans chacun des deux portraits (naturel et actuel). La comparaison de ces deux portraits permet d'identifier des espèces qui sont aujourd'hui manquantes et d'autres qui se sont ajoutées.
- **L'évaluation de l'abondance des espèces** peut-être obtenue à partir des données d'inventaires forestiers. La méthode consiste à compiler les volumes marchands, la surface terrière ou encore le nombre de tiges par espèce puis à comparer les données historiques avec les données actuelles.
- Si l'information sur des paysages naturels le permet, **les grands groupes d'espèces** (sapinière, pessière, érablière, tremblais etc.) pourraient être considérés. Pour les enjeux liés à une espèce en particulier (ex. pin blanc, chêne rouge, etc.), l'analyse des grands groupements devrait être orientée de façon à documenter trois types de peuplements associés au statut de l'espèce en jeu : les peuplements purs de l'espèce (ex. les pinèdes blanches), les peuplements mélangés où l'espèce domine par rapport aux autres espèces (ex. les pinèdes blanches à feuillus de lumière), les peuplements mélangés où l'espèce a le statut d'espèce secondaire (ex. les érablières parsemées de pin blanc).

L'ensemble des sources d'information présentées dans ce module peuvent être utilisées pour décrire l'évolution de la composition forestière (Tableau 2). Plusieurs d'entre elles sont présentées ci-après.

Source 2*Le système d'information forestière par tesselle (SIFORT)*

Le système d'information forestière par tesselle (SIFORT) est une version simplifiée et géoréférencé des cartes des deux premiers programmes d'inventaire décennaux (Figure 7). La géobase de SIFORT a été formée par la superposition d'une grille de points aux cartes forestières du premier et du second programme d'inventaire forestier. Les caractéristiques des polygones forestiers (type de couvert...) dans lesquels se trouvait chacun des points (au nombre de 1800 par carte écoforestière) ont été notées manuellement dans un fichier numérique. Chacun des points, dont on connaît les coordonnées géographiques et les attributs forestiers, correspond à une tesselle. En raison du nombre de points superposés à chacune des cartes écoforestières (échelle 1 : 20 000), chacune des tesselles couvre une superficie moyenne de 14 hectares ($250\text{km}^2 / 1800 \text{ points}$; MRNF, 2009).

Les bases de données SIFORT ont pour avantage : 1) d'être peu volumineuse comparativement aux bases de données qui accompagnent les cartes plus récentes (troisième et quatrième programmes) ; 2) de permettre de dresser rapidement un portrait d'un ou de plusieurs attributs forestiers et 3) de réaliser des études spatio-temporelles du couvert forestier à moyen terme et sur de vastes territoires. Cependant, le système de tessellation a pour inconvénient de généraliser l'information, ce qui peut entraîner une sous-estimation de certains peuplements, notamment ceux de petite dimension.

Plusieurs auteurs ont utilisé les données SIFORT. Par exemple, Grondin *et al.* (2007a) ont composition forestière et les perturbations naturelles des districts écologiques du Québec méridional sur la base des informations du second programme d'inventaire décennal (SIFORT2). De leur côté, Laquerre *et al.* (2009) ont utilisé la séquence chronologique des couvertures SIFORT et des cartes forestières récentes afin de caractériser la dynamique d'enfeuillement (augmentation du peuplier faux-tremble) liés aux coupes forestières en Abitibi.

Source 3

Les anciens inventaires forestiers

Historiquement, au Québec, les compagnies forestières ont effectué des inventaires forestiers afin d'obtenir une estimation fiable du volume mature sur pied en essences commerciales du territoire couvert par leurs concessions (Figure 8). Ces inventaires assuraient un approvisionnement continu en matière ligneuse des usines de pâtes et papiers et répondaient aux exigences gouvernementales liées à l'obtention des permis de coupe. Ces inventaires datent principalement de la période 1850-1960 et sont ainsi antérieurs aux programmes décennaux d'inventaire forestier du MRNF (Source 1).

L'analyse de ces anciens inventaires apporte beaucoup de connaissances sur l'importance relative des espèces (couvert forestier) de même que sur la structure interne des peuplements (densité, hauteur et diamètre des arbres et volume par espèce). Par exemple, en Mauricie, Barrette et Bélanger (2007) ont noté des écarts importants entre les paysages actuels et les paysages naturels. Ces derniers étaient dominés par des peuplements mixtes matures et de structure irrégulière.

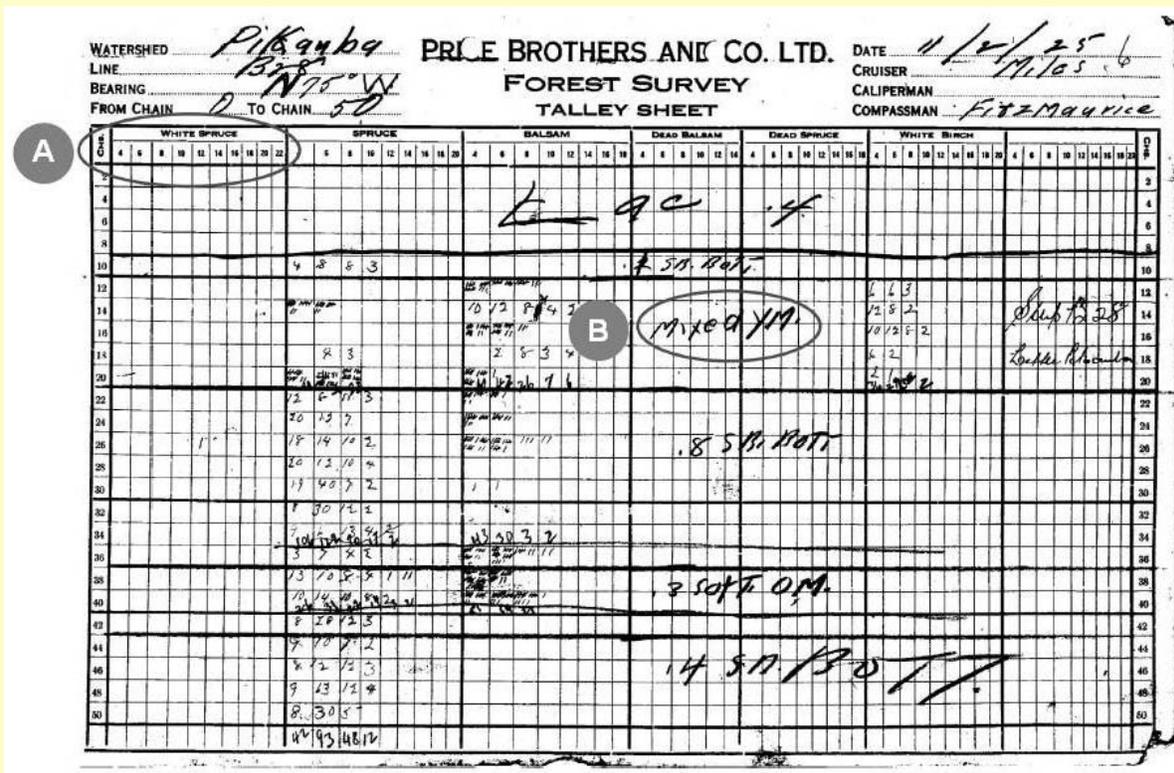


Figure 8. Fiche d'inventaire utilisée par la compagnie Price Brother's en 1925 pour inventorier la concession «South Kenogami». Pour chaque section de deux chaînes (~ 40m), les tiges de plus de trois pouces (~ 7,6 cm) étaient dénombrées par essence et par classe de diamètre de 2 pouces (~ 5 cm) (A). Ensuite, un groupement d'espèce et un stade de maturité étaient attribués au peuplement forestier (B) (Delisle-Boulianne et al. 2011).

Source 4

Les anciennes cartes forestières

Dans les paysages aménagés, notamment dans les domaines de la sapinière, les anciennes cartes forestières constituent également un excellent outil afin de définir les paysages naturels (Figure 9). La numérisation de ces cartes (polygones forestiers) offre la possibilité d'analyses spatialement explicites des paysages naturels et d'analyses comparatives avec les paysages aménagés. Ces analyses peuvent porter simultanément sur la structure d'âge (stade développement), la composition en espèce (type de couvert et parfois sur le groupement d'espèce) de même que sur les perturbations naturelles et les perturbations anthropiques (type, année d'origine, superficie et organisation spatiale).

De tels résultats ont été obtenus dans le Bas-Saint-Laurent à partir des cartes forestières du fond d'archive de la compagnie Price (Boucher et al. 2006; 2009a). Les auteurs ont montré que plus de 90% du paysage naturel de 1930 était âgé de plus de 100 ans et dominé par des forêts conifériennes de sapin baumier et d'épinette blanche. Entre 1930 et 2002, une portion importante du paysage s'est transformée en couvert mélangé et en couvert feuillu.

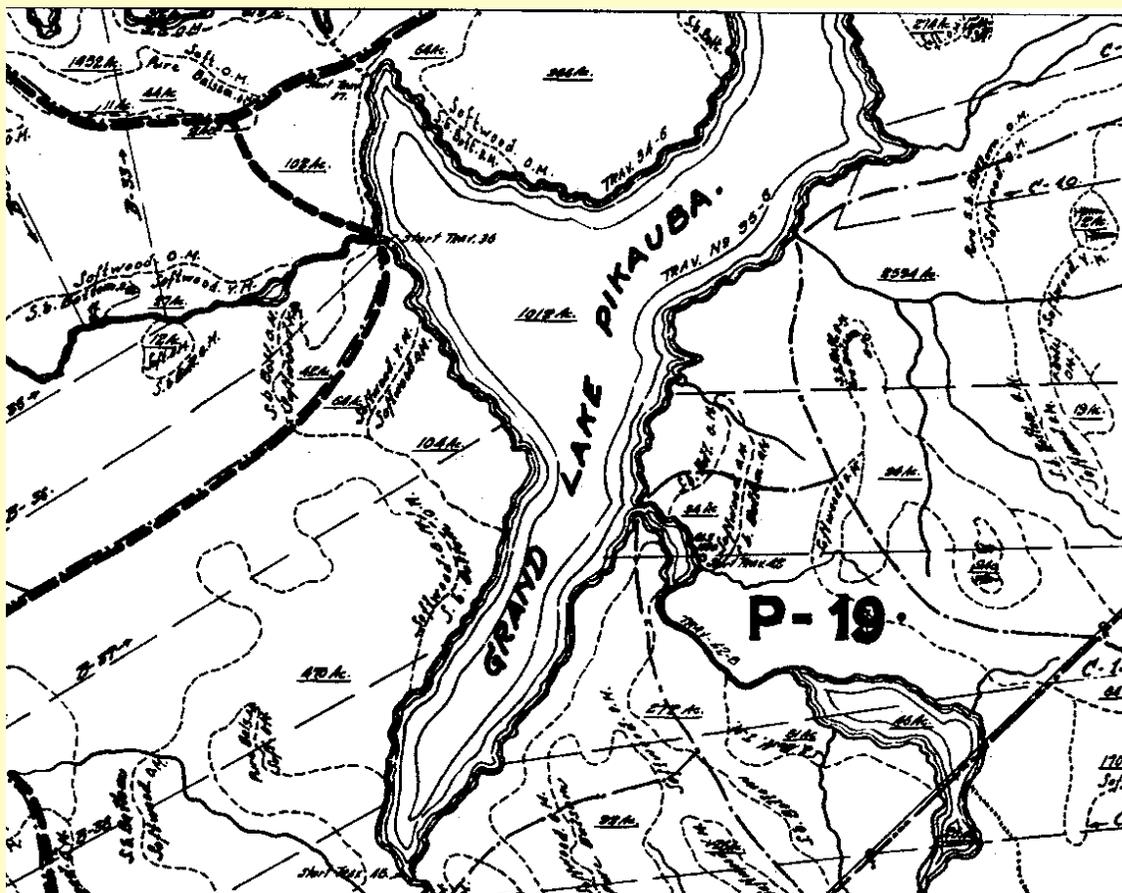


Figure 9. Portion d'une ancienne carte forestière de la concession Price localisée dans la réserve faunique des Laurentides (Grand lac Pikauba).

Source 5*Les anciennes photographies aériennes*

L'utilisation d'anciennes photographies aériennes couplées à la photo-interprétation moderne est un autre moyen de caractériser le paysage naturel (Figure 10). Pour la majorité des régions du Québec, les plus anciennes photographies aériennes datent des années 50 et 60. Dans certaines régions, il est possible de se procurer des photos d'excellente qualité qui datent de la fin des années 20 et du début des années trente. Les technologies actuelles de numérisation et de photo-interprétation à l'écran permettent d'optimiser l'information fournie par les anciennes photographies aériennes et ainsi produire des cartes forestières d'une qualité supérieure à celles produites à l'époque.

Dans la réserve faunique des Laurentides, Leblanc et Bélanger (2000) ont reconstitué le paysage naturel grâce à des photographies aériennes prises en 1929. À cette époque la mosaïque forestière était constituée principalement de sapinières dont la structure irrégulière était façonnée par le passage répété d'épidémies de la tordeuses de bourgeons de l'épinette.



Figure 10. Ancienne photographie aérienne (mai 1950) localisée dans la réserve faunique des Laurentides (secteur du lac Jacques-Cartier).

Source 6*Les ventes de bois enregistrées dans les actes notariés*

Autrefois, des actes notariés accompagnaient la vente de lots de bois destinés à la construction et au chauffage. Dans chaque acte, des informations forestières étaient notées telles, l'espèce et le volume de bois vendu. Comme les lots de ces actes étaient cadastrés, il est possible de dresser un portrait d'époque dans une région donnée. Les actes notariés sont surtout utiles pour dresser la liste des espèces présentes et suivre leur évolution.

Dans certaines régions du Québec, les actes notariés peuvent être très utiles puisqu'ils sont la seule source d'information disponible. Dans le Haut-Saint-Laurent, Bouchard et Domon (1997) ont documenté la transformation du paysage au cours du 19^e siècle. Selon ces auteurs, le hêtre à grandes feuilles et la pruche occupaient une place beaucoup plus importante qu'actuellement dans les paysages naturels. Il faut toutefois demeurer prudent dans l'interprétation de ces données historiques en raison d'un biais potentiel lié aux usages et besoins de l'époque pour les différentes espèces transigées.

Source 7*Les carnets d'arpentage*

Les carnets d'arpentages sont riches en information forestière. Dans l'Est du Canada, les terres publiques du Québec ont été divisées en cantons à partir de 1791. Les arpenteurs avaient pour instructions de délimiter les cantons, de les diviser en rangs et en lots et de décrire les ressources forestières, agricoles, hydrauliques et minières. À mesure qu'ils avançaient sur les lignes de subdivision des cantons, rangs et lots, les arpenteurs notaient systématiquement les distances parcourues, les espèces d'arbres et d'arbustes rencontrées en plus d'observations variées sur les perturbations (bois coupé, brûlé ou renversé), les sols, la topographie, l'hydrographie, la présence de chemins et de sentiers (Figure 11). Bien que les observations de composition forestière soient structurées de manière sensiblement différente entre les arpenteurs et les époques, presque tous les carnets d'arpentage renferment une forte densité d'observations le long de rangs systématiquement espacés de 1 mille (1,6 km). Les archives des arpenteurs couvrent un territoire immense correspondant grosso-modo aux forêts feuillues (érablières) et mélangées (sapinières).

À cause de leur couverture spatiale extensive, d'observations faites sur le terrain et leur localisation précises, les archives des arpentages primitifs du Québec représentent une excellente source d'information sur la composition des paysages naturels. Le géoréférencement précis des observations des arpenteurs a permis de mettre en relation la fréquence des taxons avec les caractéristiques physiques des sites, comme la position topographique, le drainage et la texture des sols, de même que la géologie et l'altitude. Les données relatives à la structure et aux perturbations sont présentes, mais éparpillées, ce qui limite leur utilisation.

Source 7 (suite)

La composition des paysages naturels du Bas-Saint-Laurent à été reconstituée à partir des carnets d'arpentage (Dupuis 2009). Ces paysages étaient dominés par les conifères, dont principalement le thuya, le sapin et les épinettes. Suite aux coupes et aux feux d'abattis, plusieurs sites se sont enfeuillés et sont actuellement occupés par le peuplier faux-tremble et l'érable à sucre. Des travaux similaires sont présentement en cours dans plusieurs régions du Québec (Gaspésie, Chaudière-Appalaches, Lanaudière, Laurentides et Outaouais).

4

Continue running of 748 -
South from -

-Outline-
-Range, line
-Centre-Line.

ARITHMETICAL CORRECTION AND VARIATION.	RANGE AND LOT.	DISTANCE.		REMARKS.	
		CHAINS.	LINKS.	INTERSECTION OF RIVERS, LAKES, BROOKS, MOUNTAINS, SWAMPS, &c.	SOIL AND TIMBER.
	16	13	00	Hom post lat. 16815	BT. Horn 24 in D - N 10° W 12 links
	15	0	00		Map Birch & Pine
	"	6	00	Washed Swamp	"
	"	8	00	out of Swamp	"
	"	"	"		Map Birch Birch & Hem -
	"	13	00	post Hom lat. 15814	BT. Horn 24 in D S 10° E - 7 links
	14	00	00	Small rough hills	Pine Hem. W. Birch
	"	6	00		Bal. map Birch & B. Birch
	"	11	00	Top of hill Secant	yellow sandy loam
	"	13	00	Bal post lat. 14813	BT. Horn - 5 in D S 8° W - 11 links
	13	0	00	Swamp to left	Beech map & Birch
	"	5	00	Creek 3 ft runs ^{East} into marsh	
	"	"	"	foot of hill	The line here follows
	"	"	"	Begins a rough	top of a high &
	"	"	"	rocky & continuous	rocky mountain -
	"	"	"	ascent -	map. Bass. & Beech
	"	13	00	Beech tree sp for post between lots 13 & 12	

South
North 80° 25' West

© Gouvernement du Québec

Figure 11. Extrait d'un carnet d'arpentage du Canton de Ripon (Outaouais) en 1866 par John Johnston. Greffe de l'arpenteur général du Québec, Carnet suite alpha numérique R055.

2.3 Organisation spatiale

L'organisation spatiale des forêts porte sur l'arrangement des peuplements à différentes échelles de perceptions. La façon dont sont organisés les peuplements dans le paysage à un effet important sur le maintien de la biodiversité ainsi que sur le fonctionnement des processus écologiques. Dans un contexte d'aménagement écosystémique, on cherche à maintenir une organisation spatiale qui s'approche de celle observée dans les paysages naturels (Claveau et al. 2007, Grenon *et al.* 2010). Les objectifs visés sont :

- maintenir des massifs de forêts matures;
- utiliser des traitements sylvicoles qui permettent à la forêt de retrouver son état de fermeture rapidement;
- laisser des îlots de forêts résiduels et des arbres morts dans les aires de coupe;
- contrôler la composition de la forêt après coupe afin que la mosaïque forestière représente un paysage forestier naturel et
- mettre en œuvre des solutions qui existent déjà et en expérimenter d'autres.

Afin de traiter de cet attribut, le MRNF suggère une approche qui explore trois niveaux de planification.

- Le premier niveau consiste à répartir les coupes de manière à respecter les cibles de structure d'âge.
- Le deuxième niveau concerne la répartition des coupes. Celle-ci porte sur des coupes en mosaïques (CMO) dans la sapinière et d'agglomérations de coupes dans la pessière.
- Le troisième niveau concerne la répartition de la forêt résiduelle à une échelle plus fine au sein des agglomérations de coupes (Bouchard et al. 2011).

L'organisation spatiale des paysages peut-être décrite à l'aide de plusieurs sources d'informations présentées au tableau 2. Ces sources ne semblent pas avoir été exploitées à leur optimum de sorte qu'il existe peu de données locales permettant de réaliser une analyse d'écart. Dans le domaine de la pessière, la difficulté à définir des balises relatives à l'organisation spatiale est augmentée par la problématique de l'aménagement de l'habitat du caribou forestier. Dans le cadre de ce module, nous insistons sur l'intérêt des images satellitaires comme outil descriptif de l'organisation spatiale.

Source 8

Les images satellitaires

Les images satellitaires, disponibles depuis le début des années 70, s'avèrent utiles pour décrire l'organisation spatiale des régions dominées par les paysages naturels. L'analyse des images renseigne notamment sur la dimension des massifs forestiers et des superficies affectées par les perturbations naturelles. Cette analyse permet également de comparer l'effet des perturbations naturelles avec celle des coupes.

Par exemple, Perron et al. (2008) ont analysé la répartition des coupes d'un territoire localisé au sud-est du lac Mistassini. Les distinctions entre le paysage naturel et le paysage aménagé étaient importantes. Par exemple, la distribution des feux est aléatoire alors que celle des coupes est contagieuse et progressive. De plus, les distances séparant les feux sont nettement supérieures à celles des coupes (Figure 12).

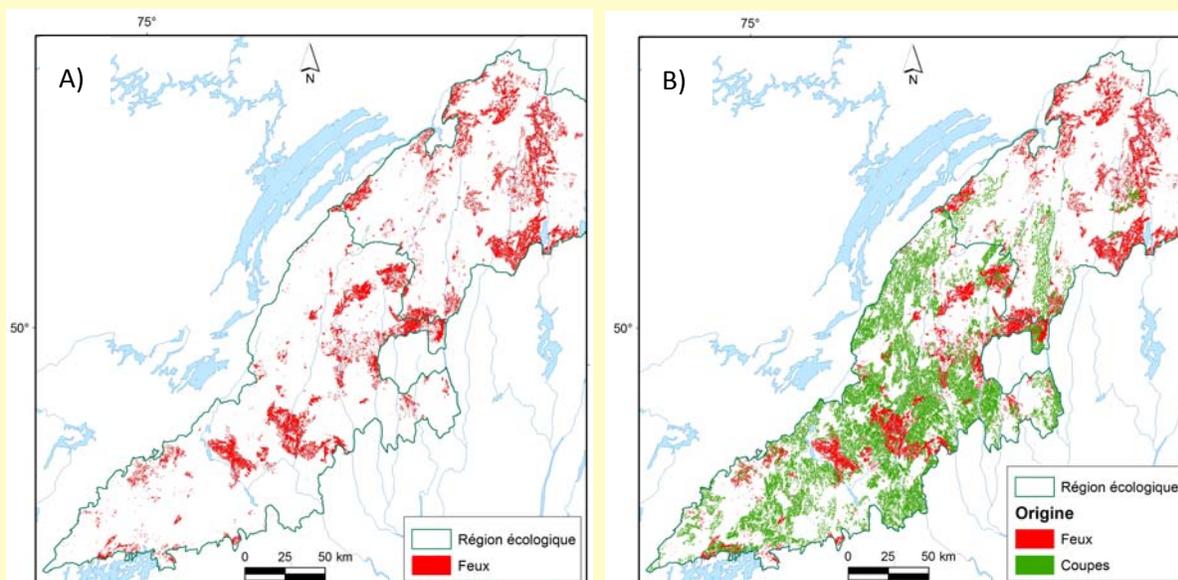


Figure 12. Comparaison d'un territoire (sud-est du lac Mistassini) relativement aux feux naturels (A) ainsi qu'aux feux et aux coupes forestières (B) (Perron et al. 2008). L'agglomération des feux et des coupes rehausse sensiblement la proportion de jeunes forêts.

2.4 Structure interne des peuplements

La structure interne des peuplements se définit comme étant l'agencement spatial des composantes végétales vivantes et mortes d'un peuplement. Elle comprend trois composantes fondamentales, la stratification, c'est-à-dire l'arrangement vertical des espèces, la répartition spatiale des individus, c'est-à-dire l'arrangement horizontal des espèces, et l'abondance de chaque espèce. Les paramètres de mesure les plus couramment utilisés pour décrire la structure interne des peuplements sont le recouvrement et la structure de taille des individus.

En fonction du contexte historique d'aménagement, notamment la coupe à diamètre limite en forêt feuillue et le raccourcissement des révolutions en forêt boréale, le MRNF appréhende certains enjeux de structure interne. En forêt feuillue, ceux-ci concernent la raréfaction de tiges de gros diamètre, la raréfaction des peuplements denses de même que la réduction de biomasse forestière, l'apparition d'une strate arbustive dense après coupe et la diminution de la densité du bois mort de gros calibre (Doyon et Bouffard 2009). En forêt boréale, les enjeux concernent la raréfaction des peuplements à structure interne complexe, l'absence de legs biologiques dans les CPRS ainsi que la simplification et l'uniformisation de la structure interne des peuplements de seconde venue après les traitements d'éducation, comme l'éclaircie précommerciale.

La structure interne des peuplements peut-être décrit à partir de plusieurs sources présentées précédemment (Tableau 2). Nous insistons ici sur la neuvième source considérée dans ce module : les paysages et les peuplements vierges.

Source 9

Les paysages et les peuplements vierges

La structure interne des peuplements est un attribut des paysages naturels difficile à décrire dans les territoires fortement anthropisés. Seuls quelques anciens inventaires forestiers sont disponibles dans les archives des compagnies forestières. La meilleure façon de décrire la structure interne des forêts composant les paysages naturels consiste à investiguer des peuplements forêts encore vierges, c'est-à-dire qui n'ont jamais fait l'objet de coupes forestières. Ces derniers sont rares et mêmes absents dans certains territoires. Diverses techniques peuvent être utilisées afin de décrire ces forêts.

Source 9 (suite)

Par exemple, au moyen d'inventaires dendrométriques et dendrochronologiques réalisés sur les individus vivants et morts on peut apporter beaucoup de connaissance sur la composition forestière, les paramètres structuraux (ex. la distribution et l'état de conservation du bois mort) et la dynamique de ces forêts.

Ces techniques ont notamment été utilisées par Couillard (2011) qui a localisé quelques sapinières vierges dans la Réserve faunique des Laurentides grâce à l'analyse de vieilles photographies aériennes (décennie 1950) et de cartes écoforestières récentes (troisième et quatrième programme d'inventaire décennal). Ces sapinières vierges couvrent moins de 5% de la superficie totale (Figure 13). Les travaux de Despons et *al.* (2002) également réalisés dans la réserve faunique des Laurentides, ont montré l'existence de communautés d'espèces invasives plus diversifiées dans les sapinières vierges comparativement à celles ayant déjà fait l'objet de coupe. Les auteurs attribuent cette plus grande diversité aux traits structuraux des sapinières anciennes, c'est-à-dire la présence de chicots et de restes ligneux de grande taille, d'arbres relativement vieux et de trouées d'âge variable.



Figure 13. Sapinière vierge de la Réserve faunique des Laurentides

2.5 Milieux humides et riverains

Les milieux humides n'ont jamais véritablement présenté d'intérêt pour les forestiers, obnubilés par la récolte de bois. Pourtant, ces écosystèmes possèdent une flore, des communautés végétales et une faune d'une grande biodiversité (Figure 14). De plus, les milieux humides jouent un rôle important relativement à la qualité et à l'approvisionnement de l'eau et à la faune aquatique. Ces milieux sont cependant soumis à de fortes pressions anthropiques. En effet, rares sont les plans d'eau de bonne dimension soustraits du harnachement (abaissement ou relèvement de leur niveau d'eau) au cours des 100 dernières années. À ce titre, le Comité scientifique sur les enjeux de biodiversité (2007) attire l'attention des aménagistes sur la rareté des milieux humides naturels dans la Réserve faunique des Laurentides.

Dans le contexte de l'aménagement écosystémique, les milieux humides doivent être considérés comme une composante des paysages forestiers. Pour ce faire, une méthodologie a été développée par Joly *et al.* (2008). Ces auteurs proposent d'utiliser sensiblement les mêmes sources d'information que celles documentées précédemment (Tableau 2). Les cartes écoforestières peuvent également être utiles puisque dans le cadre du quatrième programme d'inventaire décennal, les types de milieux humides sont cartographiés (Figure 14). Le but de l'analyse des milieux humides est de localiser et de caractériser les principaux endroits où on les observe sur le territoire à aménager et de les décrire selon trois éléments : le type de milieu humide (ex. marais), les principales communautés végétales observées (élaboration d'une hydrosère) et la présence des principales espèces végétales et fauniques observées. Une fois ces étapes complétées, il peut être pertinent de prioriser les milieux humides selon un ensemble de critères (diversité, unicité, naturalité, qualité des forêts environnantes...) et de proposer des mesures de protection pour les milieux jugés représentatifs ou uniques. Les groupes locaux sont de plus en plus intéressés par une telle méthodologie et plusieurs utilisent les milieux humides pour initier la population à l'écologie des écosystèmes autant non forestiers que forestiers. Ce rôle éducatif n'est pas à négliger.

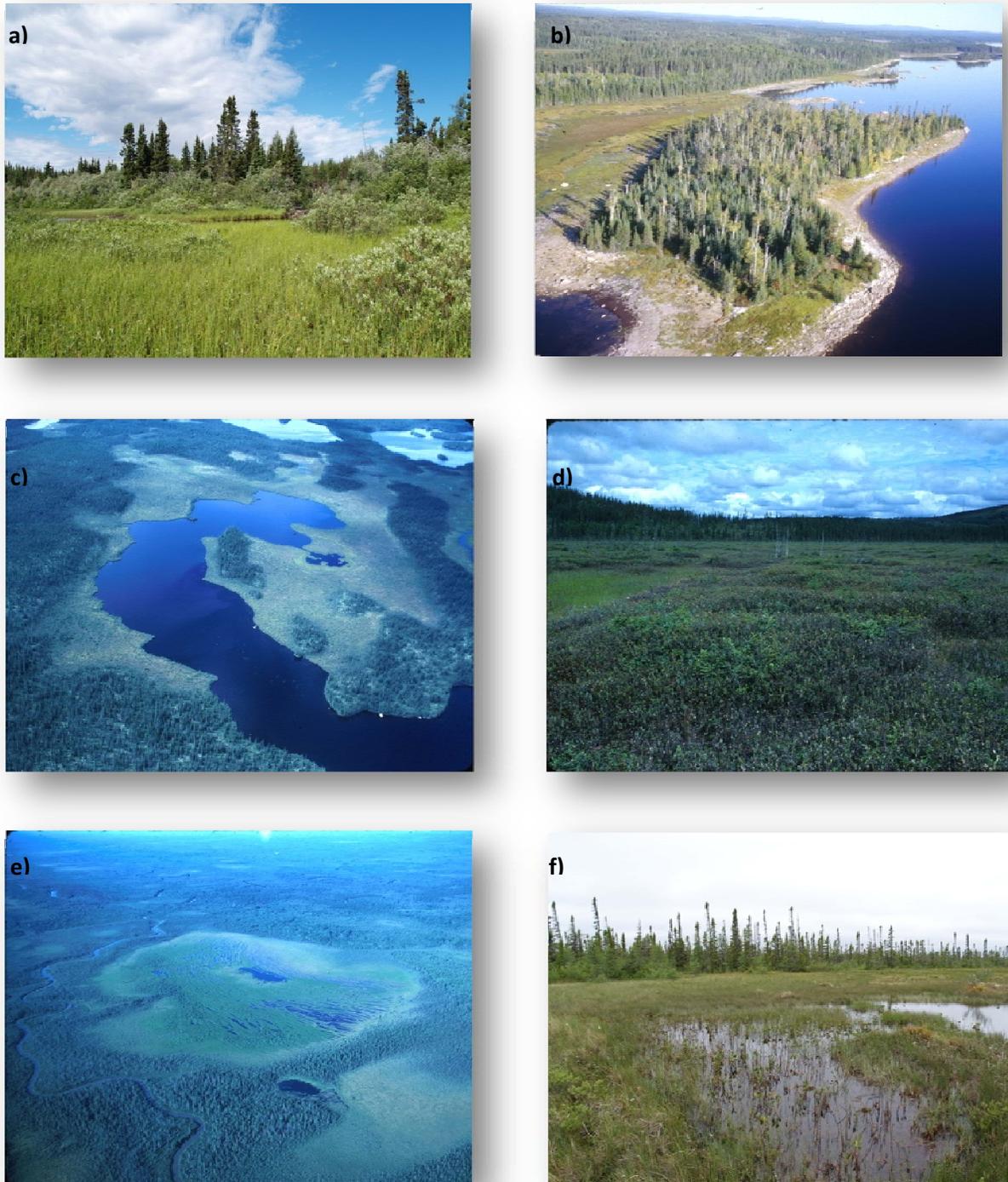


Figure 14. Exemples de types de milieux humides considérés par le MRNF dans le cadre de la cartographie du 4er programme d'inventaire décennal

a) Marais (herbacé) et marécage (arbustes) d'eau douce, b) marais d'eau salée, c) et d) tourbière ombrothrophe (ou bog), e) et f) tourbière minérotrophe (ou fen).

3. Paysages forestiers naturels et variabilité spatiale

Cette section décrit une méthode permettant de répondre à la question suivante : Comment fait-on pour définir un paysage naturel en regard de sa variabilité spatiale relativement à deux attributs définis dans la section précédente : la structure d'âges et la composition forestière ? Plusieurs avenues pourraient être empruntées afin de répondre à cette question. Dans le contexte de ce module, nous privilégions les travaux réalisés en Abitibi par Bergeron et Dansereau (1993), Leduc *et al.* (1995) ainsi que Gauthier *et al.* (1996, 1998). Le lecteur est invité à consulter un résumé français de la méthode préparé par Gauthier *et al.* (1998).



Gauthier, S., A. Leduc et Y. Bergeron, 1998. Un modèle pour estimer la composition et la diversité naturelles de mosaïques forestières, un exemple appliqué aux Basses-Terres d'Amos. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Notes de recherche n° 4. 4 p.

La méthode développée par les auteurs pré-cités a été étendue à l'ensemble du Québec méridional par Grondin *et al.* (2010). Ces résultats ont été considérés par Boucher *et al.* (2011) lors de la détermination des états de référence. La première étape de la démarche consiste à délimiter un territoire 1) relativement vaste et 2) relativement uniforme en ce qui a trait aux perturbations naturelles, au milieu physique et au climat (Swetnam *et al.* 1999). Le cadre de référence des unités homogènes de végétation présenté précédemment répond à ces exigences (Grondin *et al.* 2007a).

3.1 Structures d'âges

Dans plusieurs paysages naturels boréaux, la structure d'âges est le reflet du temps écoulé depuis le dernier feu. Par exemple, la classe d'âge de 90 ans (81 à 100 ans) est, dans bien des cas, reliée à des feux survenus au cours de la décennie 1920. Par ailleurs, plusieurs vieux peuplements, et tout particulièrement les sapinières, évoluent en relation avec les épidémies d'insectes. La figure 15 montre la structure d'âge des peuplements forestiers d'une portion de l'Abitibi. Cette structure a été élaborée à l'aide des placettes temporaires du MRNF. On note que les peuplements provenant des périodes 1860 et 1935 abondent. Les structures d'âges élaborées à l'aide des placettes temporaires ou même des cartes (et des classes d'âge associées à chacun des polygones) des trois programmes d'inventaires décennaux du MRNF présentent plusieurs lacunes. Par exemple, les études d'arbres associées au premier programme

d'inventaire décennal se limitait à un âge maximal de 120 ans, soit aux feux de la période 1850.

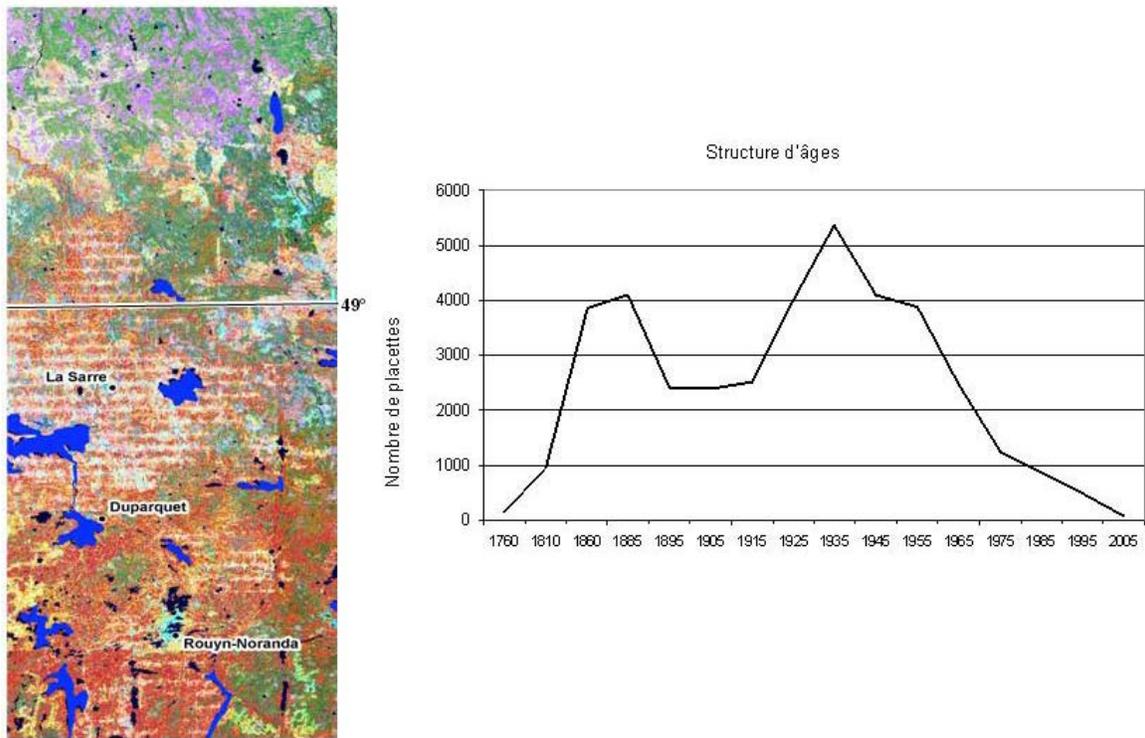


Figure 15. Structure d'âges des paysages d'une portion de l'Abitibi telle que révélée par les placettes temporaires du MRNF.

Afin de contourner les lacunes liées à l'âge des peuplements (placettes temporaires et cartes forestières), les écologistes élaborent des cartes portant sur l'année d'origine des peuplements (*stand origin map*) (Figure 16). Pour ce faire, ils prélèvent des arbres matures ou surannés (pin gris, bouleau blanc...) dans plusieurs peuplements distribués sur l'ensemble du territoire d'étude. L'analyse de ces arbres (cernes annuels de croissance d'une rondelle prélevée à la base des tiges) permet de dresser une carte d'origine des peuplements. La carte dressée en Abitibi fait état de feux survenus à une époque aussi lointaine que 1700-1800. On peut noter que les cartes présentant les années d'origine des peuplements peuvent être bonifiées par la datation au ^{14}C de charbons de bois localisés au contact de l'humus et du sol minéral. Ces datations se limitent aux vieux peuplements irréguliers, où l'âge des plus vieux arbres (ex. épinettes noires provenant de marcottes) ne correspond à l'âge du dernier feu. Par exemple, en Abitibi, de telles datations ont permis de mieux connaître l'âge des feux à l'origine des vieilles pessières mal drainées et abondantes au nord de La Sarre (Cyr 2005).

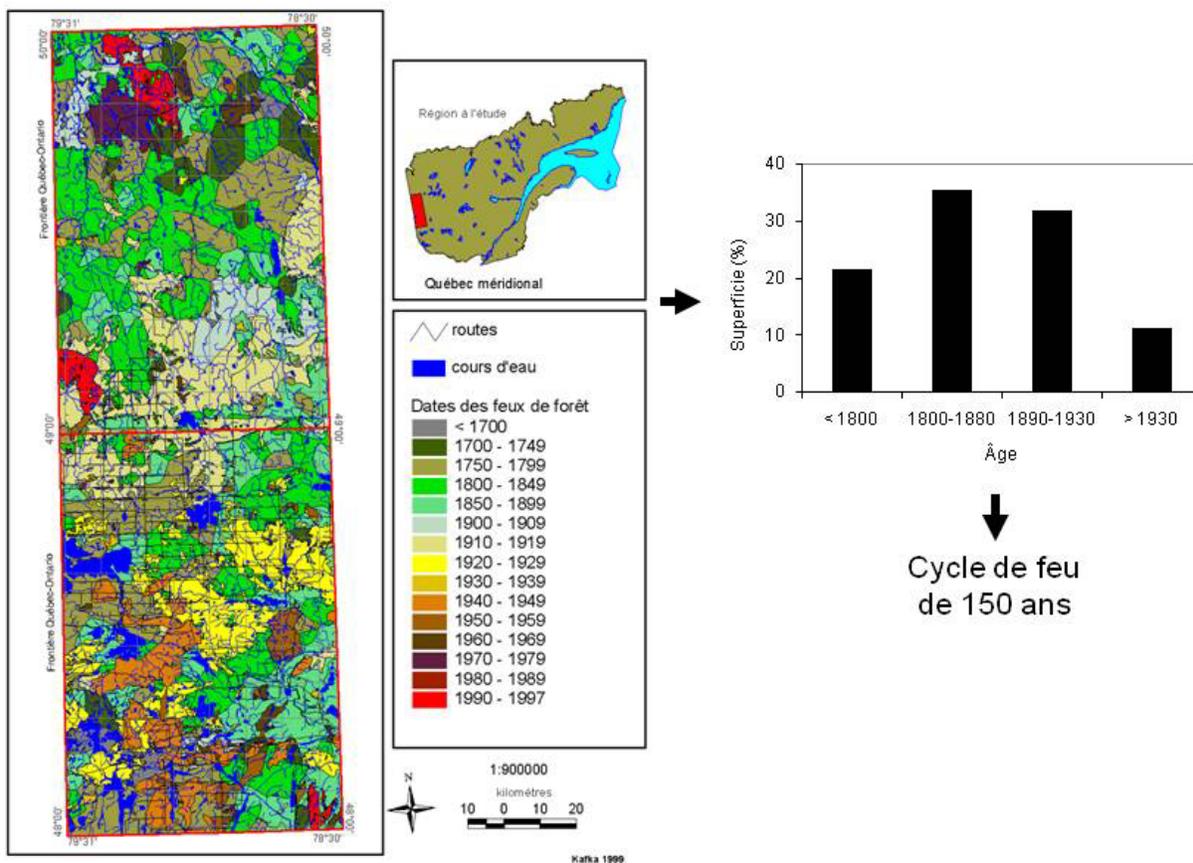


Figure 16. Structure d'âges des paysages d'une portion de l'Abitibi telle que révélée par la carte de l'origine des peuplements (Gauthier et al. 1998).

Les cartes portant sur l'année d'origine des peuplements sont utilisées afin de définir le cycle de feu, considéré comme étant le temps nécessaire pour qu'une superficie équivalente à celle du territoire sous étude brûle. Certains secteurs peuvent être incendiés à plusieurs reprises (fréquence élevée) alors que d'autres en seront exemptés sur une longue période (fréquence faible). Il est également reconnu que le cycle de feu correspond à l'âge moyen des forêts. Par exemple, un calcul basé sur les superficies brûlées par décennie depuis 1700 (1700-1710...) montre que l'âge moyen des forêts d'un important territoire de l'Abitibi est de 150 ans (Bergeron *et al.* 2004, 2006, Figure 16).

Bien qu'il soit couramment utilisé, l'on doit demeurer critique en regard de la notion du cycle de feu. Cette notion peut entraîner des biais dans l'estimation de la fréquence des feux. Par exemple, dans certains cas, la carte portant sur l'année d'origine des forêts peut être faussée par de vieux peuplements dont l'âge des arbres ne correspond pas à celui du dernier feu. Cet

écart entre l'âge des arbres et l'âge du dernier feu est particulièrement important dans les régions où les feux sont peu fréquents. Par exemple, dans la Réserve faunique des Laurentides, le cycle de feu basé sur l'âge des arbres (placettes temporaires) est estimé à plus de 300 ans (Leblanc et Bélanger 2000, Grondin *et al.* 2010). Or, des études récentes, basées sur des datations de charbons de bois au ^{14}C montrent qu'une portion importante du territoire n'a pas brûlé depuis 4 000 ans (Couillard 2011). L'âge des sapinières correspond à des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette (ex. période 1910) plutôt qu'au dernier feu. De plus, dans ce cas précis, la notion de cycle (phénomène répétitif qui revient selon une fréquence définie) ne s'applique pas puisque ces derniers ne surviennent pas de façon régulière en raison des fortes précipitations et de l'humidité atmosphérique élevée.

Afin de voir sous un autre angle la structure d'âges des paysages naturels ou encore d'estimer la structure d'âges naturelle des paysages aujourd'hui aménagés, on peut recourir à la modélisation forestière. Les tentatives québécoises de modélisation de la structure d'âges des paysages ont été principalement réalisées à l'aide du modèle de van Wagner (1977). La Figure 17 montre la distribution théorique de la structure d'âge d'une portion de l'Abitibi. La distribution théorique des classes d'âges du paysage naturel de l'Abitibi peut être comparée à celles de d'autres territoires, notamment ceux faisant l'objet d'un cycle de feu plus long. De tels cycles s'observent notamment dans la portion est du Québec. En Abitibi, ainsi que dans une portion importante de la portion ouest de la forêt boréale, la proportion de forêts de plus de 100 ans est de l'ordre de 50%, comparativement à près de 75% pour la Côte-Nord et une portion importante de la portion est de la forêt boréale (Figure 18, Grondin *et al.* 2010, Boucher *et al.* 2011).

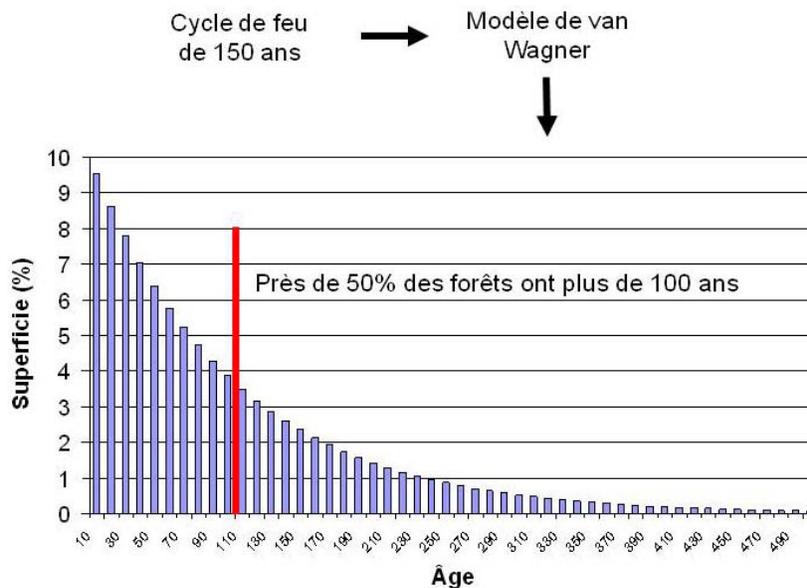


Figure 17. Structure d'âge théorique des forêts d'une portion de l'Abitibi telle que révélée par le modèle de Van Wagner (Grondin et al. 2010).

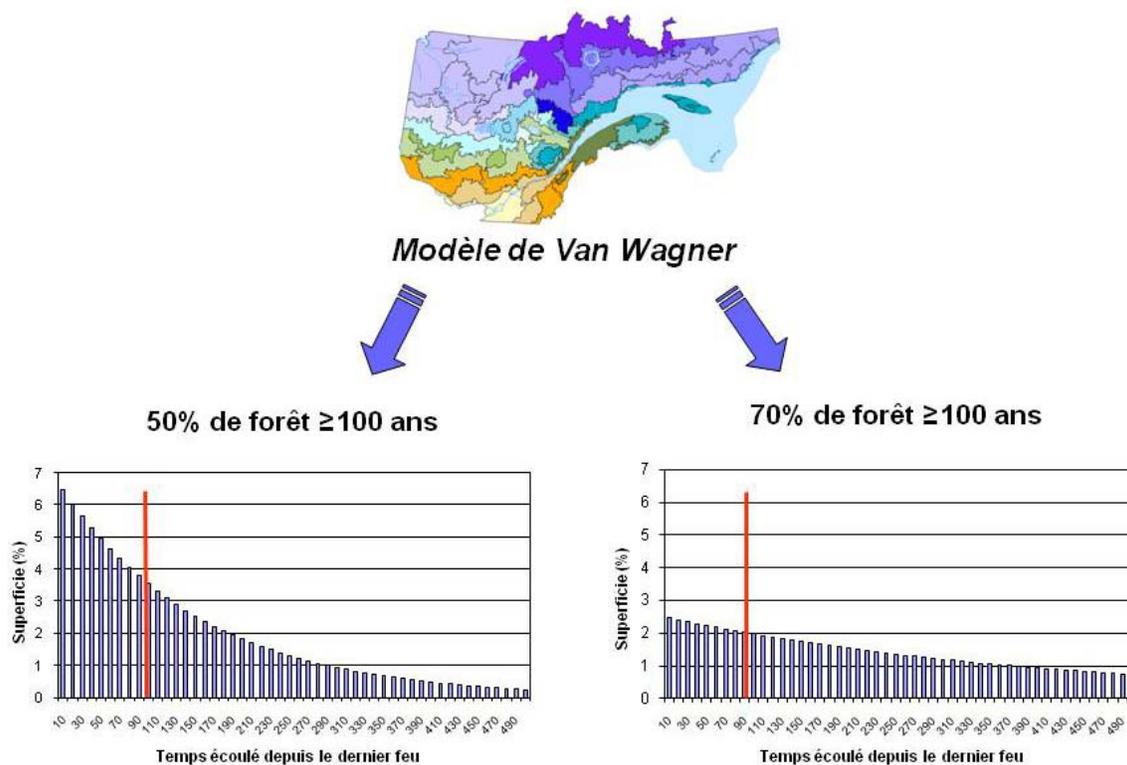


Figure 18. Comparaison de la structure d'âge théorique des forêts d'une portion de l'Abitibi et d'une portion de la Côte-Nord (Grondin et al. 2010).

Les données de la distribution théorique des classes d'âge des paysages naturels de l'Abitibi peuvent également être comparées à celles des paysages aménagés (analyse d'écart) (Figure 19). Pour ce faire, les cartes écoforestières récentes peuvent être utilisées. Un tel portrait révèle, en Abitibi, une déficience importante de forêts de plus de 100 ans et une surabondance de jeunes forêts. Les descriptions de structures d'âges sont accompagnées d'écart-types qui font état des variations observées dans les unités homogènes de niveau 5 (45 unités homogènes dans le Québec méridional). Cet écart-type définit la variabilité spatiale de la structure d'âges du paysage naturel de l'Abitibi (niveau 3).

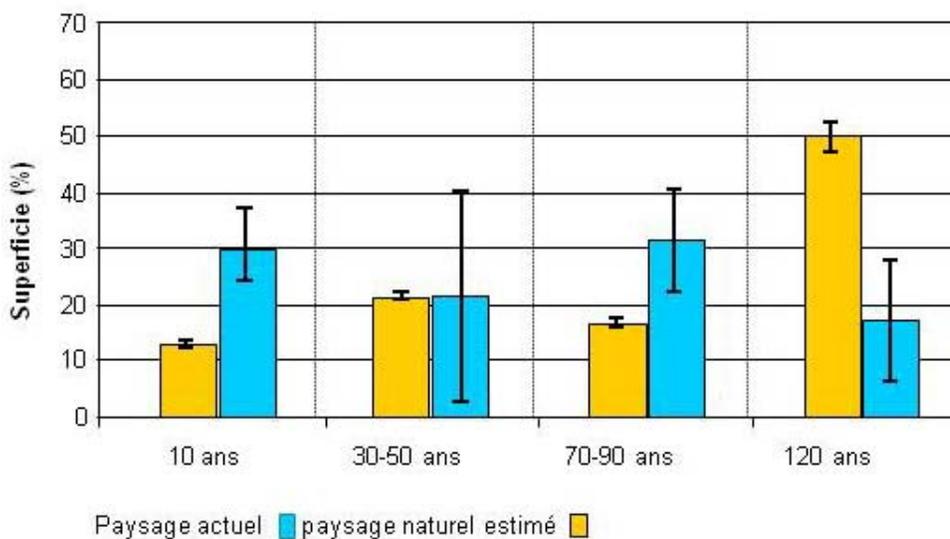


Figure 19. Comparaison entre la structure d'âge estimé (issu d'une modélisation) du paysage naturel et la structure d'âge actuelle des paysages aménagés de l'Abitibi. On note un écart important dans les vieux peuplements ainsi que dans les peuplements en régénération. Il s'agit de deux enjeux (Grondin et al. 2010).

3.2 Composition et structure interne

La composition forestière et la structure interne des peuplements sont deux attributs qui se modifient de façon concomitante. Selon le temps écoulé depuis le dernier feu, les espèces de début de succession (ex. bouleau blanc) cèdent graduellement leur place aux espèces de fin de succession (ex. sapin baumier). Parallèlement, la forêt au départ de structure interne équiennne ou régulière se transforme en une forêt inéquiennne ou irrégulière.

Lors de la détermination des états de référence (Boucher *et al.* 2011), les auteurs ont opté pour une caractérisation de la composition forestière selon trois entités : les feuillus, les mélangés et les résineux. Chacune des 17 unités homogènes de végétation (niveau 3) a été définie sur la base du portrait de l'évolution de la forêt publique (MRNF, 2009). La composition des unités homogènes peut également être décrite en tenant compte plus finement de la dynamique forestière. C'est ce qui est proposé dans ce module. Par exemple, le pin gris et l'épinette noire, bien qu'ils soient deux conifères, possèdent une dynamique spécifique. Dans plusieurs cas, les forêts de pin gris (début de succession) évoluent vers des forêts d'épinette noire (fin de succession). La nomenclature généralement utilisée au MRNF (Saucier *et al.* 1994) afin de définir la dynamique forestière repose sur 5 stades.

- Le **stade pionnier (S1)** : Un groupement végétal est au stade pionnier lorsqu'il ne renferme pas de tiges appartenant à la strate arborescente (plus de 4m), sauf celles qui ont survécu à la perturbation d'origine. Le couvert végétal est alors constitué de plantes herbacées et d'arbustes (ex. framboisier, érable à épis).
- Le **stade de lumière (S2)** : À ce stade, le couvert principal est dominé par des essences de lumière (ex : peuplier faux tremble, bouleau à papier, pin gris, érable rouge, etc.). Dans le sous-bois les semis de ces espèces sont souvent clairsemés.
- Le **stade intermédiaire (S3)** : Dans les peuplements parvenus au stade intermédiaire, les essences de lumière dominent encore la strate arborescente. Les essences d'ombre (sapin, épinette noire, épinette rouge, épinette blanche, bouleau jaune, érable à sucre, etc.) sont cependant présentes en sous-étage.
- Le **stade de faciès (S4)** : Un peuplement atteint le stade de faciès lorsque la strate arborescente comporte surtout des essences d'ombre, mais qu'elle renferme encore une proportion variable de tiges d'essences de lumière (au moins 5% du couvert). Ces dernières (ex. gros peupliers faux-tremble), généralement présentes dans l'étage dominant ou codominant témoignent d'une perturbation passée.
- Le **stade d'équilibre (S5)** : La strate arborescente d'un peuplement parvenu au stade de stabilité renferme principalement des espèces longévives, capables de se régénérer sous couvert forestier. Le peuplement est alors en équilibre dynamique. Il est relativement stable et il se renouvelle graduellement sous l'influence des perturbations moins sévères, comme les épidémies d'insectes et les chablis. À long terme, la fréquence et la sévérité variables des perturbations font en sorte que ces

peuplements adoptent une structure irrégulière, de même que des attributs de forêt ancienne, tels que la présence de chicots et de restes ligneux de grande taille, d'arbres relativement vieux et de trouées d'âge et de dimension variables.

Les changements de composition et de structure s'effectuent également sur la base d'assemblages floristiques spécifiques, couramment appelés **végétations potentielles**.



La **végétation potentielle** constitue un assemblage d'espèces du couvert forestier et du sous-bois dont les exigences écologiques (climat, milieu physique, régime nutritif) sont similaires. La proportion des espèces varie selon les stades évolutifs qui peuvent se succéder le long de la chronoséquence. Chacune des végétations potentielles possède une dynamique et un régime de perturbations qui lui est propre. La végétation potentielle est identifiée par le peuplement à l'équilibre, c'est-à-dire celui qui est ou qui serait observé si le climat et le temps écoulé depuis le dernier feu avaient permis l'atteinte de cet état. Par exemple, une forêt dominée par le bouleau blanc se transformera graduellement en une forêt de sapin.

L'intérêt d'aborder la dynamique forestière sur la base des assemblages d'espèces est : 1) de pouvoir établir des liens entre des types forestiers apparentés (ex. bétulaie blanche et sapinière) ; 2) de modéliser adéquatement la dynamique forestière et 3) de définir des scénarios sylvicoles. L'un des autres avantages de l'assemblage floristique est de caractériser le paysage selon ses grands ensembles topographiques, considérés comme le reflet d'éléments particuliers de la dynamique forestière et du climat. Par exemple, les forêts d'altitudes de la RFL sont dominées par des sapinières peu affectées par les feux. Le long d'un gradient altitudinal décroissant (de l'ouest vers l'est, de la Réserve faunique des Laurentides vers le parc des Grands Jardins), cet écosystème unique cède sa place à des paysages au relief moins prononcé et de plus en plus affectés par les feux. Ces paysages sont dominés par l'épinette noire et le pin gris. Tel patron, depuis les collines vers les terrains ondulés ou plats, semble une constante dans plusieurs régions du Québec. Ces observations, présentées dans les guides de reconnaissance des types écologiques du MRNF (ex. Grondin et al. 2007b), sont à la base d'une compréhension plus fine de nos paysages forestiers, de leur régime de perturbations et de leur aménagement écosystémique (Figure 20).

Le paysage et sa toposéquence (région écologique de la rivière Nestaocano)

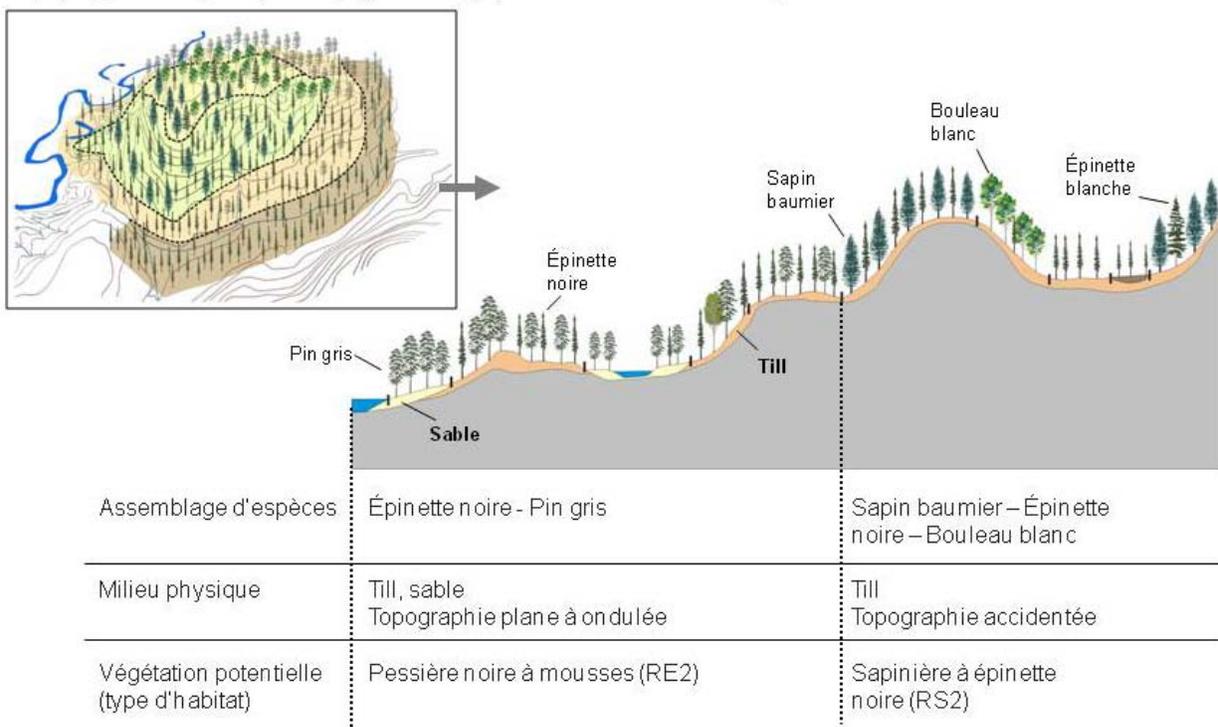


Figure 20. Dynamique forestière en liens avec des changements dans le milieu physique, les perturbations naturelles et le climat. Nous proposons une approche de caractérisation des paysages basée sur les notions de toposéquence et de dynamique forestière inhérente à ses diverses portions.

Les changements de composition et de structure peuvent être définis en utilisant les cartes d’origines des peuplements élaborées à la section précédente, auxquelles s’ajoutent des observations terrain portant sur la structure de taille et les macrorestes d’essences forestières. Par exemple, afin de comprendre la dynamique des forêts de bouleau blanc, il s’agit de visiter la chronoséquence forestière définie par les cartes d’origine des peuplements. Des analyses in situ peuvent également être réalisées à l’aide de placettes permanentes, de données d’arpenteurs... ou d’une séquence temporelle de photographies aériennes. En utilisant ce dernier outil, Gauthier *et al.* (2010) définissent trois chronoséquences fortement reliées à celles du MRNF (Figure 21).

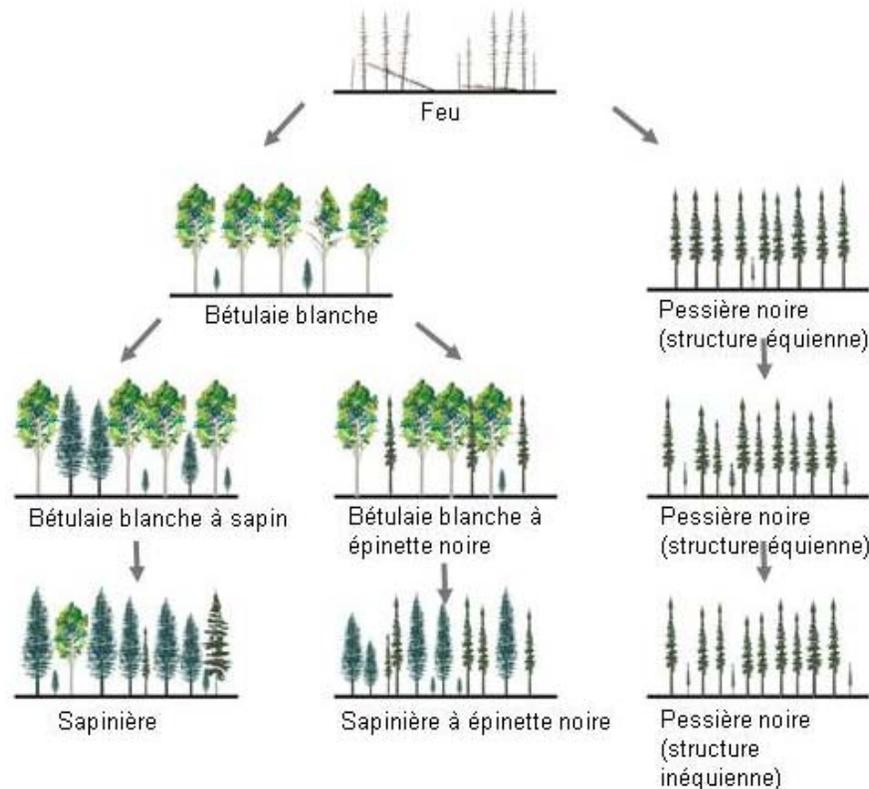


Figure 2I. Dynamique forestière de la pessière noire à mousses de l’Ouest (Gauthier et al. 2010).

Il s’agit notamment de la sapinière à bouleau blanc (MS2), de la sapinière à épinette noire (RS2) et de la pessière noire (RE2). La première chronoséquence débute par une nette dominance de feuillus de lumière. Le sapin baumier augmente avec le temps alors que l’épinette noire est rare ou absente. Le passage d’un couvert dominé par les feuillus vers un couvert formé essentiellement par les conifères se produit entre 110 et 135 ans après feu. Les couverts de conifères montrent des signes de perturbations (épidémies d’insectes). La seconde chronoséquence débute par une nette dominance de feuillus de lumière (principalement le bouleau blanc) avec un sous-étage potentiellement composé d’épinette noire. Avec le temps, l’épinette noire prend de plus en plus d’importance dans le couvert forestier. Il en est de même pour le sapin. Le passage d’un couvert dominé par les feuillus vers un couvert formé essentiellement par les conifères se produit entre 100 et 140 ans après feu. Dans les couverts de conifères, les signes de perturbations sont plus légers. La troisième chronoséquence débute par une forte proportion d’épinette noire qui se maintiendra avec le temps. Le sapin peut être présent mais il demeure une composante mineure. Bien que cette végétation potentielle s’observe sur une grande diversité de sites, elle montre une préférence pour les sites se situant aux extrémités du gradient de drainage (sites secs et humides). Les signes de perturbations

secondaires (insectes et chablis) sont mineurs et concourent au développement d’une structure irrégulière.

Les hypothèses de chronoséquences provenant d’une séquence de photographies aériennes peuvent être bonifiées par un échantillonnage portant sur la structure de taille, l’âge des arbres dominants et la présence de gros débris ligneux. La figure 22 porte sur une sapinière à bouleau blanc de la Réserve faunique des Laurentides issue d’un feu survenu en 1878. Quelle est la dynamique d’une telle forêt ? Dans un premier temps, l’analyse comparative de la structure de taille du sapin (structure inéquienne) et du bouleau blanc (structure équienne) appuie l’hypothèse d’une augmentation du sapin. Il en est de même au niveau de l’abondance de macro-restes de bouleau blanc.

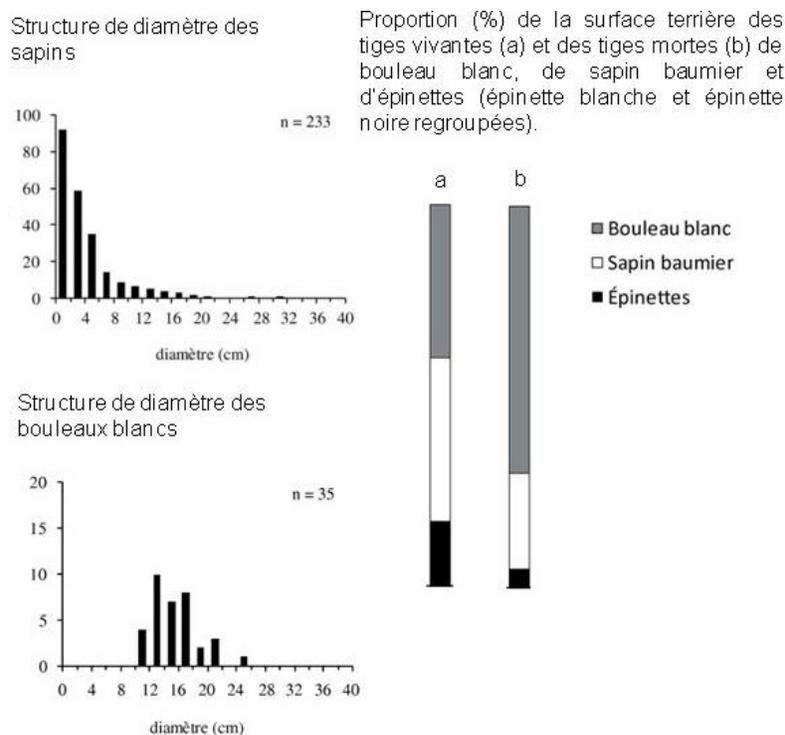


Figure 22. Dynamique forestière définie sur la base de l’analyse des structures de taille et des macrorestes d’espèces forestières (exemple de la sapinière à bouleau blanc de la Réserve faunique des Laurentides; Couillard, 2011).

Les changements de composition et de structure peuvent être modélisés selon diverses méthodes. La modélisation présentée à la figure 23 repose sur 1) l’importance relative des stades évolutifs estimée à partir des placettes temporaires et 2) le modèle de Weibull. Selon cette méthode, les peuplements de début de succession dominant les paysages sur une période

de l'ordre de 150 ans après un feu. Par la suite, les peuplements de conifères sont dominants et la dynamique forestière est graduellement prise en charge par les épidémies d'insectes.

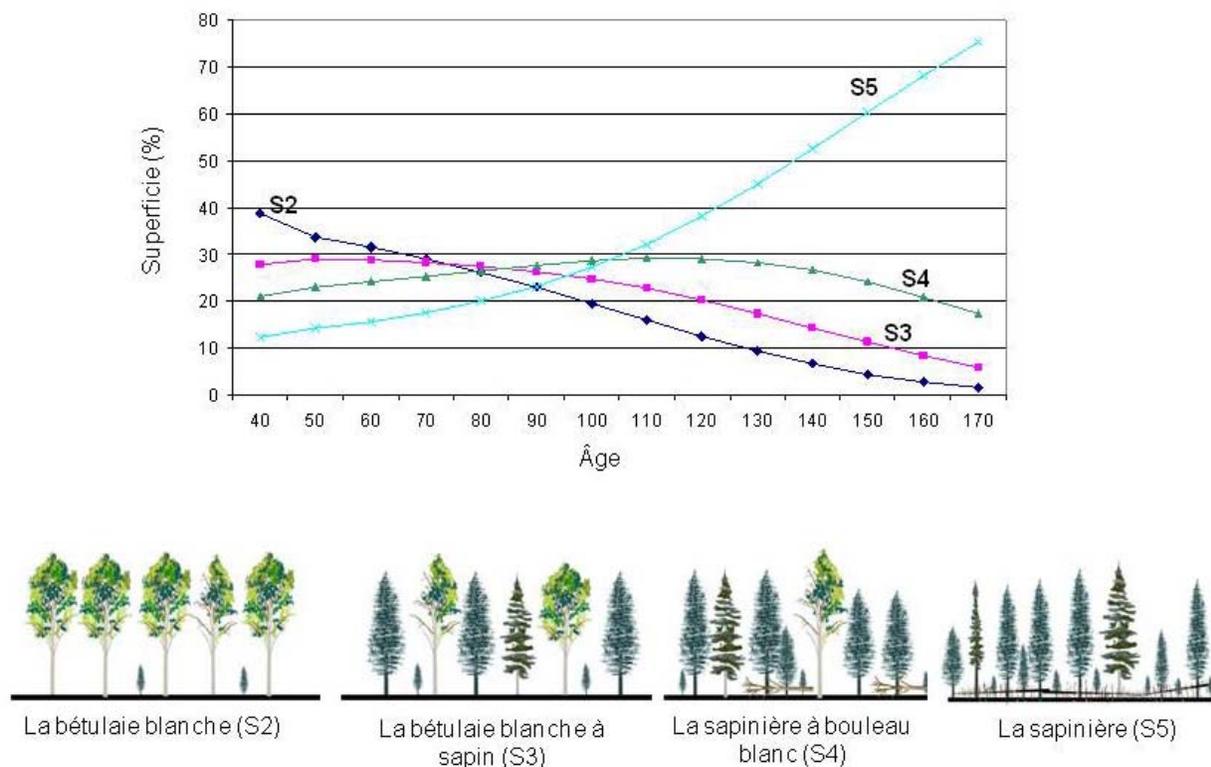


Figure 23. Modélisation de la dynamique forestière de la végétation potentielle de la sapinière à bouleau blanc.

Chez certains assemblages floristiques ou végétations potentielles, à l'exemple de la sapinière à bouleau blanc, la dynamique forestière répond au modèle de la succession forestière. Par contre, dans le cas de certaines végétations potentielles, d'autres types de dynamique seront bien représentés.

Encadré 1

Les types de dynamique

La dynamique de succession est définie comme le passage graduel et répétitif de peuplements dominés par des essences héliophiles (de lumière) vers des peuplements formés d'essences d'ombre, notamment le sapin et l'épinette noire, sous l'effet des perturbations (naturelles et d'origines anthropiques). Au cours de ces changements de composition, la structure interne des peuplements se modifie et devient de plus en plus irrégulière par rapport au diamètre des arbres et à l'étagement de la végétation.

La dynamique cyclique est définie comme le retour, après perturbation, d'une communauté forestière de composition similaire à celle d'avant la perturbation. Cette dynamique est le propre des sapinières (peuplements de fin de succession) qui se renouvellent au rythme des épidémies d'insectes. Toutefois, la dynamique cyclique peut se manifester à tout moment de la succession forestière, à l'exemple d'un renouvellement continu de pinèdes grises avantagé par à un régime de feux récurrents. Il s'agit alors d'une dynamique cyclique de peuplements de début de succession.

La dynamique régressive correspond à un changement de voie de la succession causé par des particularités propres à une ou à une cascade de perturbations naturelles ou d'origines anthropiques, par des caractéristiques de la forêt perturbée (composition, âge, épaisseur d'humus, drainage), par des attributs des aires perturbées comme la présence de semenciers ainsi que par la qualité et l'abondance des lits de germination. Le changement de la pessière noire à mousses en pessière noire à lichens ou même en lande est un exemple de dynamique régressive.

Afin d'obtenir le paysage naturel estimé (c'est-à-dire modélisé) des diverses combinaisons de végétations potentielles et de stades évolutifs, il s'agit d'intégrer la dynamique forestière modélisée à la structure d'âge (Figure 24). Les résultats alors obtenus peuvent être comparés aux superficies couvertes actuellement par les végétations potentielles et leurs stades évolutifs. Ces superficies sont obtenues à l'aide des plus récentes cartes écoforestières. La figure 25 montre un écart important entre la proportion théorique de sapinières (MS2-S5) et la proportion actuellement observée. Cet écart est si important que l'on considère que l'unité homogène n'est actuellement pas dans un état d'équilibre en raison des modifications importantes de sa composition et de sa structure. Afin de valider cette information, il serait important de bien comprendre les processus d'enfeuillement liés autant aux épidémies d'insectes qu'à la coupe forestière.

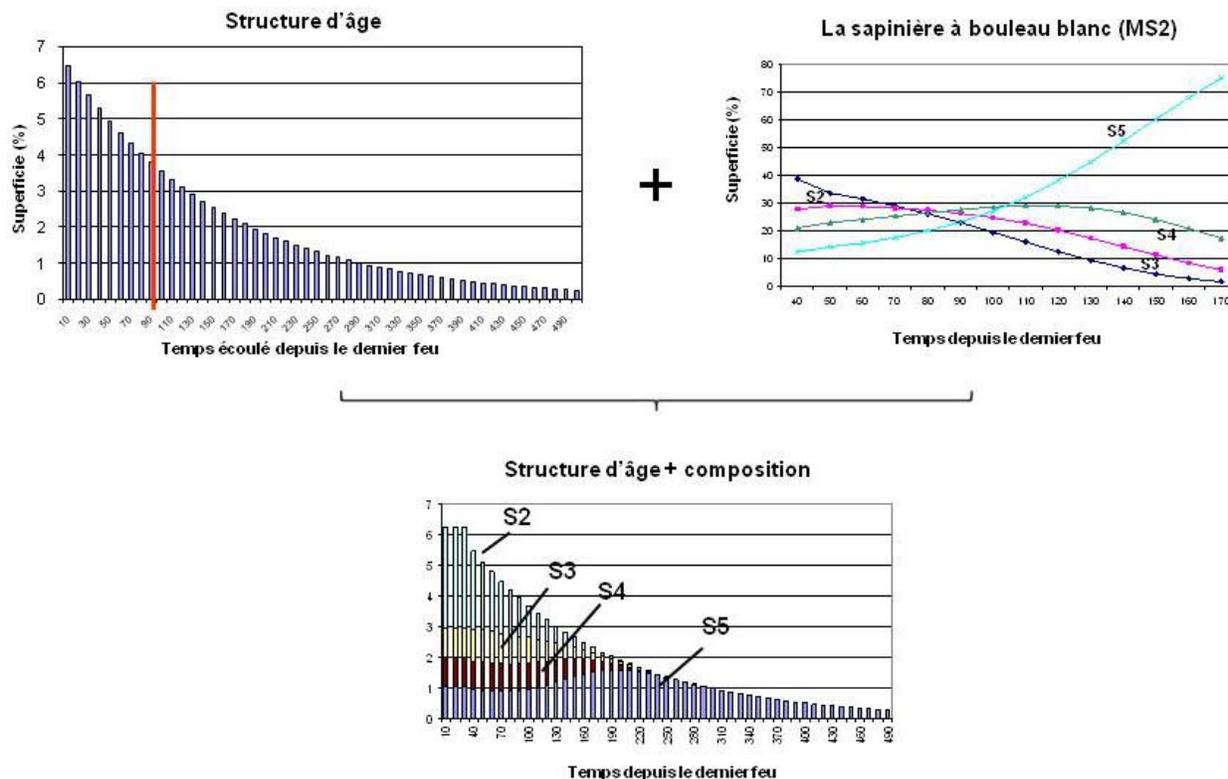


Figure 24. Intégration de la distribution théorique des superficies par classe d'âge et de la modélisation de la composition forestière.

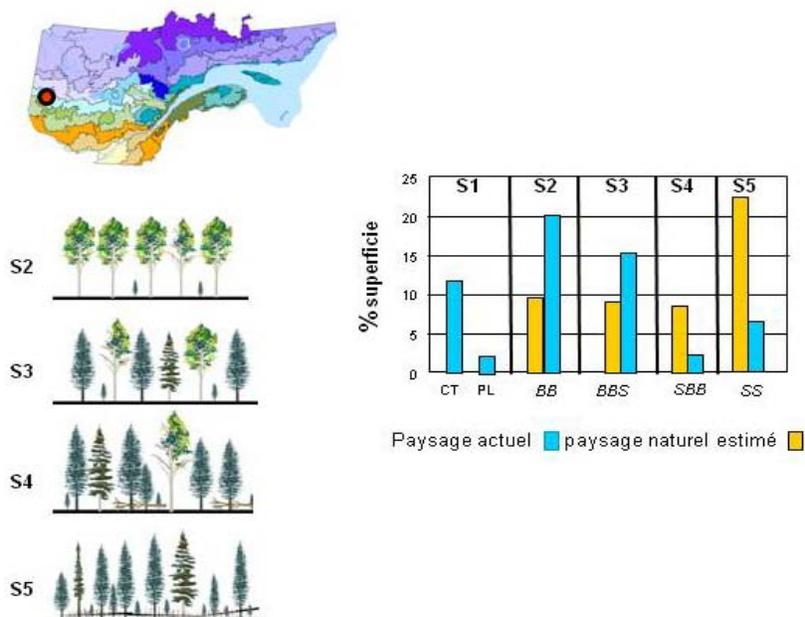


Figure 25. Comparaison de la composition forestière estimée et actuelle d'une portion de la forêt boréale de l'Ouest. La comparaison porte sur la végétation potentielle de la sapinière a bouleau blanc.

4. Paysages forestiers naturels et variabilité temporelle

Nous avons vu dans les sections précédentes que les attributs des paysages naturels se modifient dans l'espace et dans le temps au grès des perturbations naturelles. Dans un horizon temporel relativement court c'est-à-dire les derniers siècles, les processus naturels nous paraissent plutôt stables, mais est-ce qu'il en a toujours été ainsi? Est-ce que la période de référence que nous employons, c'est-à-dire la fin du 19^e et le début du 20^e siècle, est représentative des conditions qui prévalaient autrefois, bien avant l'arrivée des européens en Amérique?

Des méthodes paléoécologiques, développées récemment, permettent d'apporter des éléments de réponse à ces questions. La paléoécologie est l'étude des relations entre les organismes passés et leur milieu et se rapporte presque exclusivement à la reconstitution des habitats passés et, dans une bonne mesure, à l'analyse des patrons et processus écologiques ayant affecté le développement des populations fossiles. Dans un contexte d'aménagement écosystémique ces études permettent de :

- de reconstituer la composition et la dynamique des forêts à long terme, soit depuis le retrait des glaciers il y a environ 12 000 ans avant aujourd'hui (AA) dans la portion sud du Québec et 7 000 ans AA dans la portion nord.
- de suivre l'évolution des forêts en relation avec le climat et les perturbations naturelles.
- de mesurer l'ampleur des changements climatiques survenus dans le passé, ce qui peut aider à prédire l'impact que pourraient avoir les changements climatiques dans le futur.

Dans cette section, nous verrons quelques méthodes et des exemples de résultats visant à décrire la composition et le régime de perturbations naturelles à long terme, soit au cours des derniers millénaires.

4.1 Composition forestière

La composition forestière à long terme peut-être reconstituée à l'aide des grains de pollens. Chaque année, surtout le printemps et en été, les plantes produisent d'importantes quantités de grains de pollen pour assurer leur reproduction. La grande majorité d'entre eux ne sont pas fécondés et tombent au sol. Lorsqu'ils se déposent au sein de milieux anoxiques et acides comme les tourbières et les lacs où la décomposition est lente, le pollen s'incorpore aux sédiments et est préservé pendant plusieurs milliers d'années. Les grains de pollens qui se déposent à une époque donnée reflètent la végétation alors en place. Ainsi en identifiant et en dénombrant les grains de pollens à différents niveaux sédimentaires dont on connaît l'âge (grâce à la datation ^{14}C), on est en mesure de reconstituer l'évolution de la végétation à travers différentes époques. Cette méthode s'appelle l'analyse sporopollinique. Au Québec plusieurs diagrammes polliniques ont été réalisés au cours des 40 dernières années dans différentes régions (Richard 1993 ; Lavoie 2001).

Comme dans le cas des pollens, les tourbières et les lacs accumulent également dans leurs sédiments des restes de végétaux, couramment appelés des macrorestes végétaux. L'analyse macrofossile consiste à identifier ces restes à différents niveaux dans les sédiments. L'avantage de l'analyse macrofossile réside dans la dispersion de pièces végétales sur de petites distances, donc d'origine locale. Il est aussi souvent possible d'identifier l'individu au niveau de l'espèce. L'identification d'une pièce macrofossile indique la présence de la plante productrice près du point d'échantillonnage.

Encadré 2

L'histoire de la végétation de la Forêt Montmorency

L'histoire de la végétation et les changements de composition forestière de la forêt Montmorency, situé à 50 km au nord de la ville de Québec, a été reconstituée à partir d'un diagramme pollinique et de l'analyse des macrorestes (Colpron-Tremblay et Lavoie 2010). Les premières espèces seraient apparues dans la région il y a un peu moins de 10 000 (AA). La végétation était alors composée des principales espèces boréales c'est-à-dire l'épinette, le sapin, le pin gris et le bouleau blanc. Entre 9500 et 9000 (AA) les proportions de pin gris et d'épinette ont chuté au profit du sapin et du bouleau blanc. Ce sont toujours ces espèces qui dominent le paysage actuellement (Figure 26).

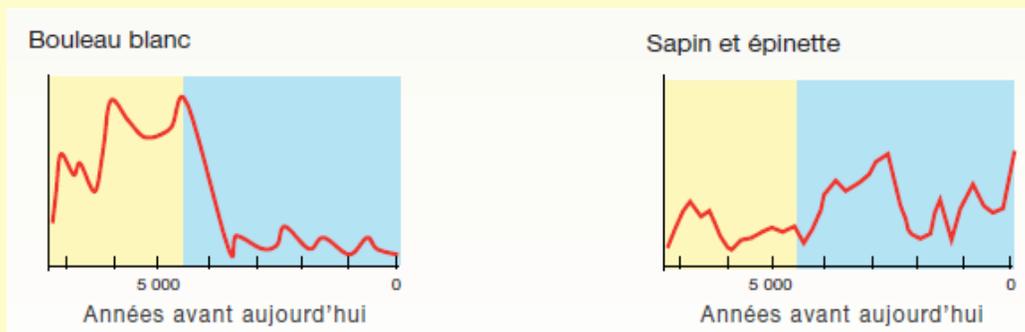
Encadré 2 (suite)

Figure 26. Variations observées dans les proportions de pollen pour le bouleau blanc ainsi que le sapin et les épinettes dans la Réserve faunique des Laurentides (Colpron-Tremblay et Lavoie, 2010). Le bouleau perd de l'importance en raison de la faible fréquence des feux. Du même coup, la proportion de sapin et d'épinettes augmente dans les paysages.

4.2 Régimes de perturbation naturelle

Outre la composition forestière, le régime des perturbations naturelles peut-être reconstitué à partir de reste de charbons de bois (feu) et d'insectes (épidémies) enfouis dans les sédiments.

4.2.1 Les charbons de bois

Les macrorestes de charbons ont l'avantage d'être chimiquement inertes, c'est-à-dire qu'ils ne se décomposent pas en présence d'oxygène. Ils peuvent donc être échantillonnés dans n'importe quel milieu contrairement aux pollens et aux restes végétaux qui doivent absolument être récoltés dans des milieux anoxiques (lacs et tourbières). Comme pour les macrorestes végétaux, lorsqu'ils sont suffisamment gros, on peut déterminer leur âge aux moyens d'analyse ^{14}C . L'âge de ces derniers correspond à la date d'un feu. En datant un grand nombre de charbons à un endroit précis on peut reconstituer la fréquence des feux depuis la formation des premières forêts jusqu'à aujourd'hui. Préalablement à leur récolte, les charbons peuvent être identifiés en fonction de leur anatomie dans le but de connaître les espèces d'arbres qui formaient la forêt qui a brûlé.

Encadré 3

L'histoire des feux dans la réserve faunique des Laurentides

L'histoire des feux à long terme des sapinières de hautes altitudes de la réserve faunique des Laurentides (RFL) a été reconstitué à l'aide de datations ¹⁴C (AMS) provenant de charbons de bois enfouis dans le sol minéral (Figure 27). Les feux ont débuté dans la région il y a un peu plus de 9600 ans (années BP étalonnées), soit en même temps que l'arrivée des premières espèces arborescentes et ils ont été fréquents jusqu'à environ 4500 ans. Les paysages forestiers de cette période étaient formés des principales espèces boréales soit le pin gris, l'épinette (noire et blanche), le sapin baumier et le bouleau blanc. Les feux ont brusquement cessé il y a 4500 ans. Plusieurs sapinières échantillonnées n'ont pas brûlé depuis ce temps. On attribue cette diminution à un changement de conditions climatiques relativement sèches vers des conditions plus humides et moins propices au déclenchement des feux. Les paysages forestiers sont alors dominés par des sapinières. Quelques feux sont tout de même survenus dans la région au cours de cette période, en particulier dans le secteur nord-est où ils ont été fréquents depuis 3000 ans. Au cours de 250 dernières années, les feux ont de nouveau été importants dans la région. Deux grands feux, probablement d'origine anthropique, survenus vers 1815 et en 1878 ont provoqué d'importantes modifications de la composition de la végétation et la structure des forêts.

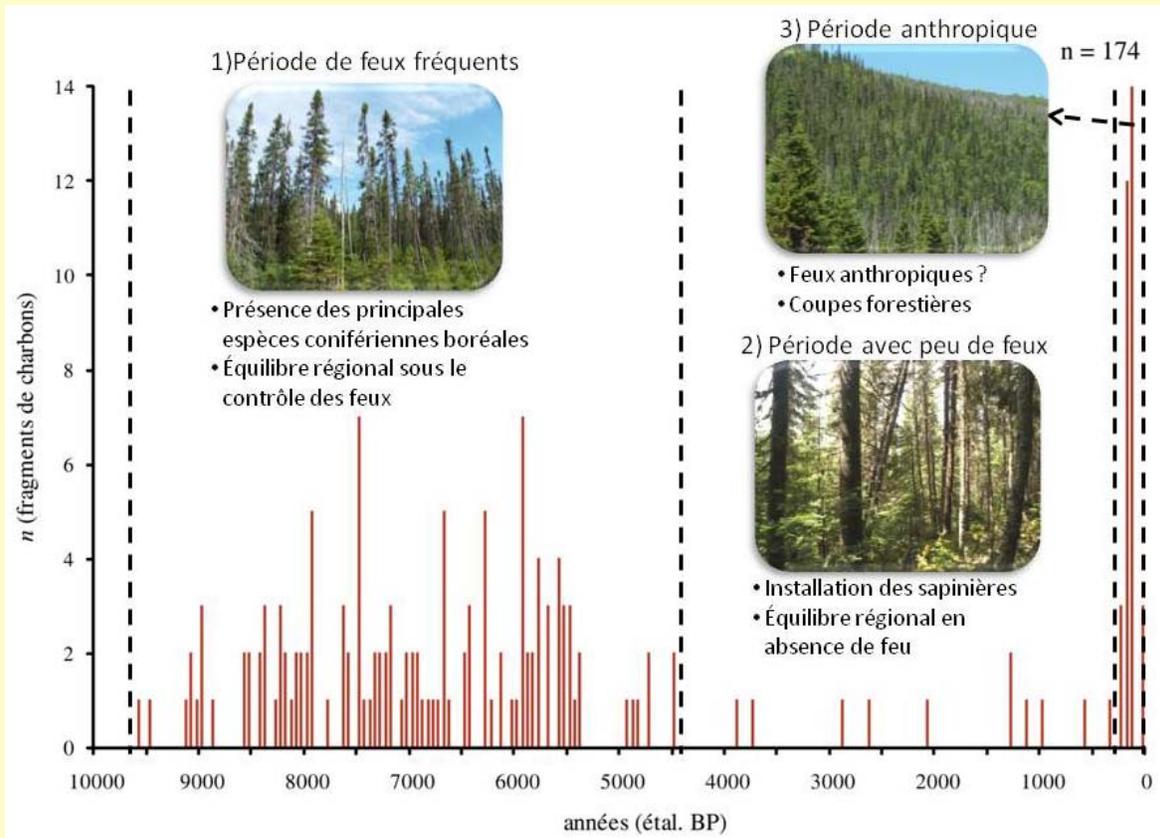


Figure 27. Historique à long terme des feux dans les hautes altitudes de la réserve faunique des Laurentides.

4.2.2 Les macrorestes d'insectes

Les macrorestes d'insectes peuvent être utilisés pour reconstituer les épidémies d'insectes. Les macrorestes sont généralement constitués de restes d'insectes (capsule céphalique), de crottin ou d'aiguilles partiellement mangées. Les macrorestes d'insectes sont généralement prélevés dans les tourbières. Les travaux de Bhiry et Fillion (1996) ont montré l'existence de plusieurs épidémies de l'arpenteuse de la pruche survenues entre 6000 et 4000 ans AA. Les auteurs associent ces épidémies au déclin de la pruche survenu à cette époque. Au sud du Lac Saint-Jean, Simard et *al.* (2006) ont daté des crottins de tordeuse enfouis dans les sédiments à plus de 8000 ans AA. Ils ont enregistré deux importantes périodes épidémiques en 6800 et 6500 ans AA.

Conclusion

Ce module s'appuie sur les récents travaux réalisés au Québec dans le contexte de la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique. La description des attributs des paysages naturels en constitue le corps principal. De plus, le module présente une démarche permettant de caractériser la variabilité naturelle spatiale et temporelle de nos paysages forestiers. La bonification de cette méthode et son extension à d'autres territoires pourraient s'avérer des avenues intéressantes pour éventuellement définir des bornes maximales et minimales autour des états de référence récemment proposés. Une approche basée sur les divers assemblages floristiques (végétations potentielles) caractérisant la toposéquence et l'élaboration de schémas de leur dynamique spatiale et temporelle est également proposée.

Le module soutient l'idée que plus nous serons en mesure de caractériser la variabilité spatiale et temporelle des paysages forestiers, plus juste sera la description de nos enjeux d'aménagement écosystémique et l'énoncé de nos solutions sylvicoles. Tant que cette étape ne sera pas franchie, un voile d'incertitude enveloppera nos résultats et nos actions sylvicoles.

Bibliographie

- BARRETTE, M. et L. Belanger, 2007. Historical reconstitution of the pre-industrial landscape in the ecological region of the high hills of Bas-Saint-Maurice. *Canadian Journal of Forest Research* **37**: 1147-1160.
- BERGERON, Y. et P.-R. Dansereau, 1993. Predicting the composition of Canadian Southern boreal forest in different fire cycles. *Journal of Vegetation Science* **4** : 827-832.
- BERGERON, Y., S. Gauthier, M. Flannigan et V. Kafka, 2004. Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Québec. *Ecology* **85**: 1916-1932.
- BERGERON, Y., D. Cyr, C.R. Drever, M. Flannigan, S. Gauthier, D.D. Kneeshaw, E. Lauzon, A. Leduc, H. Le Goff, D. Lesieur et K. Logan, 2006. Past, current, and future fire frequencies in Québec's commercial forests: Implications for the cumulative effects of harvesting and fire on age-class structure and natural disturbance based management. *Revue canadienne de recherche forestière* **36** : 2737-2744.
- BHIRY, N. et L. Filion, 1996. Holocene plant succession in a dune-swale environment of southern Québec: A macrofossil analysis. *Écoscience* **3**: 330-342.
- BOUCHARD, A. et G. Domon, 1997. The transformations of the natural landscapes of the Haut-Saint-Laurent (Quebec) and their implications on future resource management. *Landscape and Urban Planning* **37**: 99-107.
- BOUCHARD, M., et autres, 2010. Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré. Partie I — Analyse des enjeux (version préliminaire 1.0), gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 117 p.
- BOUCHARD, M., et autres, 2011. Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré. Partie II — Solutions (version préliminaire 1.0), gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 50 p.
- BOUCHER, Y., D. Arseneault et L. Sirois, 2006. Logging-induced change (1930-2002) of a pre-industrial landscape at the northern range limit of northern hardwoods, eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **36**: 505-517.
- BOUCHER, Y., D. Arseneault, L. Sirois et L. Blais, 2009a. Logging pattern and landscape changes over the last century at the boreal and deciduous forest transition in Eastern Canada. *Landscape Ecology* **24**: 171-184.
- BOUCHER, Y., P. Grondin et M. Barrette, 2009b. Les forêts préindustrielles : un état de référence pour l'aménagement durable des forêts. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 17. 2 p.

- BOUCHER, Y., M. Bouchard, P. Grondin et P. Tardif, 2011. Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 161. 21 p.
- CLAVEAU, Y., D. Kneeshaw, S. Gauthier et N. Perron. 2007. Les pratiques forestières au Québec s'inspirent-elles vraiment des perturbations naturelles ?. In Vivo, Bulletin de l'association des biologistes du Québec **27** : 16-19.
- COLPRON-TREMBLAY, J. et M. Lavoie. 2010. Long-term stand-scale dynamics of a boreal mixed forest in Québec, Canada. Review of Palaeobotany and Palynology **161**: 43–58.
- COMITÉ SCIENTIFIQUE SUR LES ENJEUX DE BIODIVERSITÉ, 2007. Enjeux de biodiversité de l'aménagement écosystémique dans la réserve faunique des Laurentides. Rapport préliminaire du comité scientifique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Québec (Québec). 118 p.
- COUILLARD, P.-L. 2011. Dynamique des sapinières à bouleau blanc d'altitude de la réserve faunique des Laurentides, Québec, Canada. Université Laval, Québec (thèse de maîtrise), 122 p.
- CYR, D., Y. Bergeron, S. Gauthier et A. C. Larouche. 2005. Are the old-growth forests of the Clay Belt part of a fire-regulated mosaic? Canadian journal of forest Research **35**: 65–73.
- CYR, D., Y. Bergeron, S. Gauthier et C. Carcaillet. 2009. Forest management is driving the eastern part of North American boreal forest outside its natural range of variability. Frontiers in Ecology and the Environment **7**:519-524.
- DESLISLE-BOULIANNE, S., Y. Boucher, L. Bélanger et M-H. Brière. 2011. Les premiers inventaires forestiers dans la réserve faunique des Laurentides : de précieuses sources d'information pour établir le portrait des forêts naturelles. Le Naturaliste Canadien **135** : 34-44.
- DESPONTS, M., A. Desrochers, L. Bélanger et J. Huot, 2002. Structure de sapinières aménagées et anciennes du massif des Laurentides (Québec) et diversité des plantes vasculaires. Canadian Journal of Forest Research **32**: 2077-2093.
- DOYON, F. et D. Bouffard, 2009. Enjeux écologiques de la forêt feuillue tempérée québécoise, Québec, pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 63 p.
- DUPUIS, S. 2009. Reconstitution de la composition des forêts préindustrielles du sud-est du Québec à partir des archives d'arpentage (1846-1949). Université du Québec à Rimouski (thèse de maîtrise), 86 p.

- GAUTHIER, S., A. Leduc et Y. Bergeron, 1996. Forest dynamics modelling under natural fire cycles: a tool to define natural mosaic diversity for forest management. *Environmental Monitoring and Assessment* **39**: 417-434.
- GAUTHIER, S., A. Leduc et Y. Bergeron, 1998. Un modèle pour estimer la composition et la diversité naturelles de mosaïques forestières, un exemple appliqué aux Basses-Terres d'Amos. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Notes de recherche n° 4. 4 p.
- GAUTHIER, S., D. Boucher, J. Morissette et L. De Grandpré, 2010. Fifty-seven years of composition change in the eastern boreal forest of Canada, *Journal of Vegetation Science*. **21**: 772-785
- GRENON, F., J.-P. Jetté et M. Leblanc, 2010. Manuel de référence pour l'aménagement écosystémique des forêts au Québec – Module 1 - Fondements et démarche de la mise en oeuvre, Québec, Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. et ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 51 p.
- GRONDIN, P., J. Noël et D. Hotte, 2007a. L'intégration de la végétation et de ses variables explicatives à des fins de classification et de cartographie d'unités homogènes du Québec méridional. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 150. 62 p.
- GRONDIN, P., J.-P. Berger, Y. Landry et P. Leboeuf, 2007b. Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 5j – Île d'Anticosti et îles de Mingan de même que 5k Îles de la Madeleine. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers.
- GRONDIN, P., D. Hotte, Y. Boucher, P. Tardif et J. Noël, 2010. Comparaison des paysages forestiers actuels et des paysages forestiers naturels du sud de la forêt boréale du Québec à des fins d'aménagement écosystémique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 158. 96 p.
- JOLY, M., S. Primeau, M. Sager et A. Bazogue, 2008. Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides, Première édition, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, 68 p.
- LANDRES, P. B., P. Morgan et F. J. Swanson. 1999. Overview of the use of natural variability concepts in managing ecological systems. *Ecological Applications* **9**: 1179-1188
- LAQUERRE, S., A. Leduc et B. Harvey. 2009. Augmentation du couvert en peuplier faux-tremble dans les pessières noires du nord-ouest du Québec après coupe totale. *Écoscience* **16**: 483-491.

- LAVOIE, M., 2001. Analyse des microrestes végétaux : pollen. Chapitre 14 dans S. Payette et L. Rochefort, *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval. p. 295-309.
- LEBLANC, M. et L. Bélanger, 2000. La sapinière vierge de la Forêt Montmorency et de sa région : une forêt boréale distincte. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Québec. Mémoire de recherche n° 136. 91 p.
- LEDUC, A., S. Gauthier et Y. Bergeron, 1995. Prévion de la composition d'une mosaïque forestière naturelle soumise à un régime de feu : proposition d'un modèle empirique pour le nord-ouest du Québec. Dans : *Méthodes et réalisations de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*, édité par G. Domon et J. Falardeau, Quatrième congrès de la Société canadienne d'écologie et d'aménagement du paysage, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, juin 1994. Polyscience Publications, Morin Heights, Québec. p. 197-203.
- LERTZMAN, K. and J. Fall. 1998. From forest stands to landscapes : spatial scales and the role of disturbances. Chapter 16 dans *Ecological scale, theory and applications*. Édité by D. L. Peterson and V. T. Parker., Columbia University Press p. 339-367.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2009. Le portrait de l'évolution de la forêt publique sous aménagement du Québec méridional des années 1970 aux années 2000. Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers et Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 142 p.
- PARTOUNE, C., 2004. La dynamique du concept du paysage. *Revue d'information* n° 275. [En ligne], http://www.lmg.ulg.ac.be/articles/paysage/paysage_concept.html.
- PERRON, N., L. Bélanger et M.-A. Vaillancourt. 2008. Organisation spatiale des peuplements et de la forêt résiduelle sous régimes de feu et de coupes. Dans *Aménagement écosystémique en forêt boréale*, édité par S. Gauthier, M.-A. Vaillancourt, A. Leduc, L. De Grandpré, D. Kneeshaw, H. Morin, P. Drapeau et Y. Bergeron, Presses de l'Université du Québec, chapitre 6, p. 139-161.
- PINNA, S., H. Jacqmain, M. Bouchard, Y. Boucher, M. Barrette et M. Côté, 2009. Aménagement écosystémique des forêts au Québec – Guide d'élaboration d'un portrait de la forêt préindustrielle comme paysage naturel de référence, Québec, Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles et ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 28 p.
- RICHARD, P.J.H., 1993. Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec. *Review of Palaeobotany and Palynology* **79**: 31-68.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. Saucier, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*, Québec. Les publications du Québec, 213 p.

- SADF, s.d. Stratégie d'aménagement durable des forêts. Proposition pour la consultation publique. Version complète. Document de travail, 89 p.
- SAUCIER, J.-P., J.-P. Berger, H. D'Avignon et P. Racine. 1994. Le point d'observation écologique : normes techniques. Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. 116 p.
- SAUCIER, J.-P., P. Grondin, A. Robitaille, J. Gosselin, C. Morneau, P.J.H. Richard, J. Brisson, L. Sirois, A. Leduc, H. Morin, E. Thiffault, S. Gauthier, C. Lavoie et S. Payette, 2009. Écologie forestière. Chapitre 4 dans : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (éds.). Manuel de foresterie. Éditions MultiMondes. Québec, Canada. p. 167-315.
- SIMARD, I., H. Morin et B. Potelle, 2002. A new paleoecological approach to reconstruct long-term history of spruce budworm outbreaks. *Canadian journal of forest Research* **32**: 428–438.
- SWETNAM, T. W., C. D. Allen et J. L. Betancourt. 1999. Applied historical ecology : using the past to manage for the future. *Ecological applications* **9**: 1189-1206
- VAN WAGNER, C.E., 1978. Age class distribution and the forest cycle. *Canadian journal of forest Research* **8**: 220-227.
- VARADY-SZABO, H., M. Côté, Y. Boucher, G. Brunet et J.-P. Jetté, 2008. Guide pour la description des principaux enjeux écologiques dans les plans régionaux de développement intégré des ressources et du territoire - Document d'aide à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique, Gaspé, Consortium en foresterie de la Gaspésie–Les-Îles et ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 61 p.
- WONG, C. et K. Iversson. 2004. Range of natural variability: Applying the concept to forest management in central British Columbia. *BC Journal of Ecosystems and Management*, **4**: 1-14.