

L'intégration de la végétation et de ses variables explicatives à des fins de classification et de cartographie d'unités homogènes du Québec méridional



40 Recherche
FORESTIÈRE
ans...
Actifs à l'échelle du Québec!

Mémoire de recherche forestière n°150

par

Pierre Grondin, Jean Noël et Denis Hotte

L'intégration de la végétation et de ses variables explicatives à des fins de classification et de cartographie d'unités homogènes du Québec méridional

Mémoire de recherche forestière n°150

par

Pierre GRONDIN, ing. f., M. Sc, Jean NOËL, tech. f. et Denis HOTTE, tech. f.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2007

Mandat de la DRF

Le mandat de la Direction de la recherche forestière (DRF) au sein du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) est de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec. La concrétisation de ce mandat passe par la réalisation de travaux, surtout à long terme et d'envergure provinciale, lesquels intègrent à la fois des préoccupations de recherche fondamentale et de recherche appliquée.

Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le Ministère, sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne peut s'impliquer.

Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques.

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par un comité *ad hoc* formé d'au moins trois experts indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec)
Canada G1P 3W8
Courriel : recherche.forestiery@mrnf.gouv.qc.ca
Internet : www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

© Gouvernement du Québec
On peut citer ce texte en indiquant la référence.

ISBN-13 : 978-2-550-50756-7
ISBN-13 (PDF) : 978-2-550-50757-4
F.D.C. 187
L.C. QH 541.5F6
2007-3031

Notes biographiques



Pierre Grondin est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1976. En 1978, cette même université lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1978 à 1987, il travaille pour une firme conseil en environnement, comme écologiste. À l'emploi de la Direction de la recherche forestière depuis 1987, ses travaux portent sur la classification écologique des écosystèmes forestiers et non forestiers (milieux humides), sur l'aménagement écosystémique ainsi que sur la dynamique de la végétation (enjeux de biodiversité).



Jean Noël est technicien forestier, diplômé du Cégep de Sainte-Foy depuis 1987. De 1987 à 1989, il travaille dans diverses régions administratives du MRNF, où il effectue des suivis de travaux sylvicoles. Depuis 1989, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière. Ses champs d'intérêt portent sur les traitements numériques des données écologiques ainsi que sur la géomatique. Il est aussi responsable de l'aide apportée à l'ensemble des chercheurs de la Direction, en géomatique.



Denis Hotte a obtenu son diplôme de technicien en aménagement forestier du Cégep de Sainte-Foy en 1976. Depuis, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière. Il travaille principalement en écologie et en pédologie forestière. Co-auteur de la deuxième approximation de la carte des Régions écologiques du Québec méridional (Thibault et Hotte 1985), il se spécialise dans le traitement numérique des données ainsi que dans la géomatique depuis une dizaine d'années. Il est aussi co-responsable de l'aide apportée à l'ensemble des chercheurs de la Direction, en géomatique.

Remerciements

Cette étude a fait appel à la collaboration de plusieurs personnes que nous remercions sincèrement. Mme Sylvie Gauthier (Service canadien des forêts, SCF) ainsi que M. Yves Bergeron (Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, UQAT) ont, depuis l'origine, contribué aux concepts présentés. MM. Daniel Borcard (Université de Montréal, UdeM), Pierre Legendre (UdeM), Alain Leduc (Université du Québec à Montréal, UQAM), Mme Marie-Josée Fortin (University of Toronto) et M. Patrice Tardif (MRNF) ont également orienté ce projet, tout en nous conseillant sur les traitements statistiques et l'interprétation des résultats. Mme Julie Fortin ainsi que MM. Michel Chabot et Georges Pelletier, tous du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), ont mis à notre disposition les informations de la Direction de la conservation des forêts. La Direction des inventaires forestiers du MRNF a fourni les données des inventaires forestiers

et écologiques. MM. Jacques Régnière (SCF) et Rémi St-Amant (SCF) nous ont donné accès au logiciel *BioSIM* (climat). Le développement des unités homogènes s'inspire également des travaux de l'équipe de la classification écologique du MRNF (MM. Jean-Pierre Saucier, André Robitaille, Jocelyn Gosselin, Jacques Blouin, Claude Morneau, Jean-Pierre Berger, Yves Landry). De plus, la version préliminaire de cet ouvrage a été bonifiée par les commentaires judicieux de MM. Jean-Pierre Saucier, Dominique Arseneault (Université du Québec à Rimouski, UQAR), Alain Leduc (UQAM), Michel Chabot (MRNF), Bruno Boulet (MRNF), Robert Jobidon (MRNF) et Pierre J. H. Richard (UdeM). Mme Lucie Jobin (bibliothécaire, MRNF) a largement contribué à la recherche de documents. Enfin, M. Pierre Bélanger (MRNF) a effectué la révision finale du texte et l'édition.

Avant-propos

Ce mémoire contient l'essentiel des informations relatives à la classification et à la cartographie des unités homogènes. Des données complémentaires ont été regroupées dans un *Atlas*. La première partie de l'*Atlas* montre la répartition de chacune des variables descriptives (végétation) et des variables explicatives (climat, milieu physique, perturbations naturelles, perturbations humaines) utilisées. La seconde partie contient un ensemble de résultats

relatifs aux unités homogènes. Par exemple, le mémoire montre les gradients écologiques selon les quatre premiers axes canoniques d'une analyse de redondance (RDA) effectuée sur les fichiers des variables descriptives et des variables explicatives. Pour sa part, l'*Atlas* prend en compte les axes 1 à 10. L'*Atlas* est disponible sur le site Internet suivant : «<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Grondin-Pierre/Atlas>»

Résumé

Le but de ce mémoire est de susciter une réflexion sur l'intégration du climat, du milieu physique, des perturbations naturelles et des perturbations humaines afin d'améliorer la compréhension des écosystèmes forestiers du Québec méridional. Plus précisément, deux objectifs sont recherchés : 1) quantifier l'importance relative des quatre familles de facteurs dans les changements de végétation qui surviennent le long des gradients écologiques et 2) classer et délimiter des unités homogènes sur la base de relations de la végétation et ses variables explicatives. Afin d'atteindre ces objectifs, deux fichiers de variables ont été créés. Le premier présente la végétation actuelle et potentielle des 2539 districts écologiques qui découpent le territoire d'étude (760 000 km²). Le second décrit le climat, le milieu physique, les perturbations naturelles et les perturbations humaines. Des analyses de redondance (RDA) ont permis de connaître les principaux gradients écologiques le long desquels se répartissent la végétation, les variables explicatives et les districts écologiques. Les valeurs des axes canoniques des districts écologiques ont été utilisées dans le but de classer les unités homogènes selon cinq niveaux de perception et de les cartographier.

D'autres analyses numériques (partitionnement de la variation de la végétation) ont été effectuées pour estimer la variation de la végétation expliquée par chacune des familles de facteurs. Ces analyses ont été effectuées autant sur l'ensemble du Québec méridional que sur les unités homogènes des deux premiers niveaux de perception de la classification. Les variations observées dans l'importance relative des familles de facteurs ont permis de reconnaître quatre modèles de partitionnement. Dans ces modèles, le climat est généralement la famille la mieux corrélée avec les changements de végétation. Par contre, les perturbations naturelles dominent dans deux modèles tandis que le milieu physique devient presque aussi important que le climat dans un autre. Enfin, les perturbations humaines prennent de l'importance dans les territoires caractérisés par un long historique d'activités anthropiques (feux d'abattis, coupes).

En soi, cette étude est innovatrice par son concept d'intégration de la végétation et de quatre familles de facteurs à des fins de classification et de reconnaissance des unités homogènes. Elle facilitera la mise en application de l'aménagement écosystémique.

Abstract

The objective of this paper is to bring about deliberation on integrating climate, the environment, natural perturbations and human disturbance to improve our understanding of the forest ecosystems of southern Québec. More precisely, two objectives are desired: 1) to quantify the relative importance of four categories of factors in the vegetation changes that occur along ecological gradients, and 2) to classify and delineate homogeneous units on the basis of vegetation relationships and explicative variables. To attain these objectives, two data files were created. The first describes the current and potential vegetation for the 2,539 ecological districts that make up the study area (760,000 km²). The second describes the climate, physical environment, natural perturbations and human disturbances. Redundancy analysis (RDA) revealed the principal ecological gradients along which the vegetation is distributed, the explanatory variables and the ecological districts. The values of the canonical axes of the ecological districts were used to classify the homogeneous units according to a system composed of five perception levels and to map them.

Other numerical analyses (partitioning the vegetation variance) were carried out to estimate the variation of the vegetation explained by each of the categories of factors. These analyses were done for all of southern Québec as well as for the homogeneous units of the first two perception levels of the classification system. The observed variation in the relative importance of the categories of factors helped to identify four partition models. In these models, the climate is generally the category that best correlates with vegetation changes. On the other hand, natural perturbations dominate two models, while the physical environment is almost as important as the climate in another. Finally, human disturbances become important in those areas characterized by a long history of anthropogenic activities (burning cleared lands, cutovers).

As such, this study is innovative by its concept of integrating the vegetation and four categories of factors so as to recognize homogeneous units. It will assist with applying ecosystem-based forest management.

Table des matières

	page
Remerciements	iii
Avant propos	v
Résumé	vii
Abstract	ix
Liste des tableaux et des annexes	xiii
Liste des figures	xv
Introduction	1
Chapitre premier – Méthode	5
1.1 La présentation du territoire	5
1.2 Les sources d'information	6
1.3 La matrice de la végétation (Matrice Y).....	6
1.4 La matrice des variables explicatives (Matrice X)	8
1.5 Le traitement des données.....	9
1.5.1 Le regroupement des variables descriptives et explicatives	9
1.5.2 L'importance relative des familles de facteurs	10
1.5.3 La classification et la cartographie des unités homogènes.....	11
Chapitre deux – Résultats	13
2.1 Les groupes de variables et les gradients écologiques	13
2.2 Le partitionnement de la variation de la végétation du Québec méridional	17
2.3 Les unités homogènes	18
2.3.1 La forêt feuillue.....	22
- La forêt feuillue de l'Ouest	22
2.3.2 La forêt mélangée	27
- La forêt mélangée de l'Ouest.....	28
- La forêt mélangée de l'Est	30
2.3.3 La forêt résineuse.....	31
- La forêt résineuse de l'Ouest	32
- La forêt résineuse de l'Est.....	33
- La forêt résineuse du Centre.....	34
Chapitre trois - Discussion et synthèse	35
Conclusion	39
Références bibliographiques	41

Liste des tableaux et des annexes

	page
Tableau 1.	Variables réponses (matrice Y) et variables explicatives de la végétation (matrice X).. 7
Tableau 2.	Nomenclature du système des unités homogènes du Québec méridional..... 19
Tableau 3.	Partitionnement détaillé de la variation de la végétation de quelques unités homogènes du Québec méridional. La description des fractions et la signification des familles de facteurs sont présentées à la figure 2. 24
Tableau 4.	Description abrégée des unités homogènes du Québec méridional selon le quatrième niveau de perception. La signification des variables est donnée au tableau 1. 26
Annexe 1.	Cheminement de la classification et de la cartographie des unités homogènes du Québec méridional..... 47
Annexe 2.	Répartition d'une variable représentative de chacun des groupes de variables (descriptives et explicatives). La composition des groupes ainsi que la signification des codes sont présentées au tableau 1. Plus la variable décrite est abondante, plus la couleur est foncée. 49
Annexe 3.	Découpage du Québec méridional selon une analyse de groupements <i>K-means</i> effectuée sur les axes canoniques des districts écologiques issus d'une RDA. Seulement quelques subdivisions sont présentées ici. 53
Annexe 4.	Répartition des districts écologiques de chacune des unités homogènes du troisième niveau de perception. Les districts sont localisés le long des deux premiers axes d'une analyse de redondance. La signification des codes est donnée au tableau 2. 55
Annexe 5.	Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception. La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2. 57

Liste des figures

	page
Figure 1. Localisation du territoire d'étude (Québec méridional)	5
Figure 2. Structure d'analyse du partitionnement de la variation de la végétation selon quatre familles de facteurs : le climat (C), le milieu physique (MP), les perturbations naturelles (PN) et les perturbations humaines (PH).....	10
Figure 3. Répartition des groupes de variables descriptives et des groupes de variables explicatives de la végétation du Québec méridional selon les axes 1 et 2 d'une analyse de redondance (RDA). La composition des groupes et la signification de leurs codes apparaissent au tableau 1.	13
Figure 4. Distance du centre de l'ordination aux groupes de variables descriptives, aux groupes de variables explicatives et aux districts écologiques le long des quatre premiers axes canoniques d'une analyse de redondance (RDA). La signification des codes est donnée au tableau 2.	14
Figure 5. Partitionnement de la variation de la végétation du Québec méridional.....	17
Figure 6. Classification des unités homogènes du Québec méridional selon les quatre premiers niveaux de perception. Les unités sont placées le long des deux premiers axes d'une analyse de redondance (RDA). La signification des codes est donnée au tableau 2.	20
Figure 7. Carte des unités homogènes du Québec méridional selon les niveaux de perception 1 à 5. La signification des codes est donnée au tableau 2.	21
Figure 8. Partitionnement de la variation de la végétation de quelques unités homogènes du Québec méridional.....	23
Figure 9. Description abrégée des unités homogènes selon le troisième niveau de perception. La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.....	25
Figure 10. Comparaison des unités homogènes selon le cinquième niveau de perception (couleurs) et du système hiérarchique de classification écologique en vigueur au MRNF, selon la sous-région écologique (contours et codification).	35
Figure 11. Importance relative de la superficie des peuplements de peuplier faux-tremble et d'aulne rugueux dans les unités homogènes	36

Introduction

Ce mémoire s'inscrit dans la lignée des études de définition et de délimitation d'unités exprimant la diversité des écosystèmes sur de vastes territoires. Ces unités sont utilisées à des fins de gestion forestière et environnementale. Les écologistes proposent des découpages depuis plusieurs décennies. Une première carte de la végétation du Québec méridional est présentée dans l'introduction des diverses éditions de la Flore Laurentienne, dont la première remonte à 1935 (Marie-Victorin *et al.* 1995). Cette carte repose sur les connaissances de l'époque, à l'exemple de la carte de la répartition des principales essences canadiennes produite par la commission géologique du Canada (Bell 1882). La carte montre une gradation latitudinale de la végétation depuis la zone des feuillus tolérants à l'ombre jusqu'à la zone des forêts subarctiques. Elle provient du Service forestier de la Province de Québec, dont le personnel était alors passablement actif dans le domaine de l'écologie. C'est lui qui est à l'origine des concepts d'une classification des types forestiers basée sur le couvert forestier, la végétation du sous-bois et le milieu physique (Bellefeuille 1934, Ab-Yberg 1932, Roy 1931, 1932). La mise en place de ces concepts venait de contacts avec des écologistes finlandais, dont A. K. Cajander qui a publié en 1926 un ouvrage sur les types forestiers de la Finlande. Plusieurs travaux de classification écologique remontent à cette période, à l'exemple de celui de Heimbürger (1941).

Halliday (1937) subdivise le Québec méridional ainsi que l'ensemble du Canada en régions forestières définies sur la base des traits dominants de la végétation (ex. : région boréale (B)). À une échelle plus raffinée, les régions sont divisées en sections forestières en faisant appel au climat, à la topographie ainsi qu'à la nature du sol. Par exemple, la section du Centre des Laurentides (B3), couvre le réservoir Gouin et ses environs. Hustich (1949) raffine l'étude de Halliday pour le Québec-Labrador. Il y définit 18 sections, dont 2 appartiennent à la toundra forestière (*forest – tundra*). Hustich (1949) justifie les modifications apportées à la carte de Halliday (1937) sur 6 éléments, notamment les changements de végétation des régions continentales et des régions maritimes (ex. répartition du pin gris). Les travaux de Rousseau (1952, 1968) suivent une approche similaire à celle de Hustich (1949). Comme exemple de modifications, la toundra forestière

est dénommée hémiarctique. Les limites en sont légèrement modifiées et le nouveau territoire est subdivisé en 8 régions en accordant la priorité au réseau hydrographique et à la proximité de la mer (ex. *Kaniapiskau region*).

Les développements ultérieurs reviennent à Hare (1950, 1959) qui dispose d'une couverture de photographies aériennes du nord du Québec (nord du 50° N). Cet auteur intègre à son analyse les dépôts de surface et les formes de terrain. La synthèse des connaissances est livrée par une carte biogéographique qui bonifie les travaux des prédécesseurs (Hustich 1949, Rousseau 1952, 1968). Cette carte découle d'une judicieuse intégration de la végétation et des variables permanentes du milieu. C'est à cette période que Linteau (1960) présente les stations forestières de l'est du Québec et démontre que la classification écologique peut s'appliquer sur de vastes territoires. De plus, les types forestiers (ex. : *Dryopteris-Oxalis*) peuvent être employés à des fins d'évaluation de la qualité des stations. Le recueil de Lafond (quatrième édition en 1969) des types forestiers de la *Québec North Shore* rejoint les préoccupations de Linteau (1960).

Les découpages subséquents mettent l'accent sur le concept de série de végétation. Chaque série d'un territoire de climat identique exprime les changements de végétation qui surviennent depuis les stades de début vers le stade de fin de succession. La série est dénommée par la végétation de fin de succession ou climacique (Clements 1936, Whittaker 1953). Dans ce même courant de pensée, Dansereau (1959) présente la carte des végétations climaciques des sites mésiques de la vallée du Saint-Laurent à laquelle il joint la description de nombreuses associations végétales, dont l'érablière à Caryer (*Aceretum saccharophori caryosum*) et l'érablière à bouleau jaune (*Aceretum saccharophori betulosum*). Ces associations avaient auparavant été décrites selon les types *Trillium* et *Viburnum-Oxalis* par Heimbürger (1941). Ces types étaient également utilisés afin de dresser des cartes écoforestières à grande échelle.

L'arrivée de deux européens, M. M. Grandtner au Québec et de V. J. Krajina en Colombie-Britannique, a donné un essor à la classification écologique et aux descriptions phytosociologiques

de la végétation. Grandtner (1966a) a subdivisé le Québec méridional en domaines climatiques, depuis l'érablière à Caryer jusqu'à la pessière noire. Les domaines présentés sont parfois apparentés aux découpages élaborés par les prédécesseurs alors que d'autres apportent de nouvelles connaissances. L'un des points marquants de Grandtner (1966a) demeure la cartographie et la description détaillée des domaines climatiques des érablières.

Grandtner (1967) décrit et cartographie les séries de végétation (ou séries dynamiques) des Îles-de-la-Madeleine. La détermination de ces séries repose sur les notions classiques de la phytosociologie. Les peuplements d'une même série (ex. : la sapinière à bouleau blanc) possèdent des affinités floristiques relativement au sous-bois (ex. : érable à épis) et l'importance relative des essences du couvert se modifie selon le temps écoulé depuis la dernière perturbation (Grandtner 1967). À la même période, les cartes des séries de végétation (ou végétation potentielle) sont utilisées afin de délimiter les régions écologiques du Bas-Saint-Laurent (Blouin et Grandtner 1971) et de la Gaspésie (Grandtner 1966b). Les relations de la végétation et des variables permanentes du milieu, comme l'altitude, font partie de la démarche. De nombreuses descriptions phytosociologiques reposant sur des relations sol-végétation s'inscrivent dans ce courant de pensée, à l'exemple de celles de Majcen (1981) et de Brown (1981).

Lafond et Ladouceur (1968a, b) parcourent le Québec méridional et définissent 21 unités biogéographiques. Ces unités sont délimitées en tenant compte des différents facteurs du milieu et des principaux paramètres qui contrôlent l'aspect des paysages (feux, épidémies d'insectes). Des séries physiographiques de chacune des unités montrent la répartition des associations climatiques et sous-climatiques. Ces séries servent à plusieurs objectifs, notamment la photo-interprétation. Une liste de près de 150 groupements végétaux est présentée pour le Québec. Chacun d'eux est décrit selon un ensemble de caractéristiques phytosociologiques, dynamiques et du milieu physique. Bon nombre de ces peuplements sont associés à un indice de qualité de station.

Rowe (1972) produit une importante synthèse des travaux effectués autant au Québec que dans l'ensemble du Canada. Par exemple, le Québec nordique prend en compte les études de Hare et de Hustich. Certaines délimitations demeurent cependant inchangées, à l'exemple du secteur du

réservoir Gouin (section B3).

Les relations de la végétation et du milieu physique se raffinent sous l'influence grandissante des géomorphologues et des pédologues à divers projets de classification écologique. Au Québec, les travaux de l'équipe de Michel Jurdant sont à l'avant-garde (Jurdant 1964, Jurdant 1968, Jurdant *et al.* 1977). Les liens de la végétation et du milieu physique sont exprimés à plusieurs niveaux de perception, dont celui du *type écologique*. Le *type écologique* permet d'asseoir la série évolutive sur une assise physique homogène et permanente. Par exemple, la sapinière à bouleau blanc sur till se démarquera de la sapinière à bouleau blanc sur argile. La classification de la végétation (phase et type écologique) est toujours d'actualité et la notion du groupe d'espèces indicatrices, utilisée afin de rassembler des espèces de mêmes affinités écologiques, évolue sous l'influence de l'écologie numérique (Gerardin 1977, Gerardin 1980). Le district écologique, situé au-dessus du type écologique dans la hiérarchie, est défini *comme une portion de territoire caractérisée par un pattern propre du relief, de la géologie, de la géomorphologie et de la végétation régionale*. Ces méthodes de classification et de cartographie ont été appliquées sur de vastes territoires, notamment la région du Saguenay- Lac-Saint-Jean (Jurdant *et al.* 1972), la Baie-James (Gerardin, 1980) et la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord (Ducruc, 1985). Ces méthodes suivent également un mouvement répandu dans le reste du Canada (Rowe 1962) et ailleurs dans le monde, notamment en Australie (Christian 1952). Cette période se caractérise également par diverses études pour mieux comprendre la répartition de la végétation selon les gradients écologiques, à l'exemple du gradient climatique et du gradient d'humidité (Bellefleur et Auclair 1972, Bouchard et Maycock 1978, Bergeron *et al.* 1983).

Thibault et Hotte (1985) récupèrent de nombreux points d'observation écologique effectués à des fins de classifications écologiques sectorielles, à l'exemple de ceux faits en Mauricie par Gagnon et Marcotte (1980). Ces relevés sont synthétisés au niveau de la végétation potentielle et localisés sur des cartes à l'échelle de 1 : 500 000. Cette dernière information a été jumelée à des observations de terrain destinées à établir des relations des végétations potentielles et des gradients écologiques (et tout particulièrement le gradient altitudinal). De plus, la répartition des peuplements forestiers a été analysée sur les cartes forestières (échelle de 1 : 20 000) du premier et, dans la mesure de leur

disponibilité, du second programme d'inventaire décennal du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Ces deux résultats ont servi à établir la première et la deuxième approximation des régions écologiques du Québec méridional. Ces régions sont intégrées à une classification formée de cinq niveaux de perception : la zone, le domaine, le sous-domaine, l'étage et la région écologique. Chacune des régions est caractérisée selon son contexte climatique et brièvement comparée aux autres selon la composition des essences.

De son côté, le ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a mis au point un cadre écologique de référence de l'aménagement du territoire et de ses ressources, notamment utilisé pour la planification du réseau des aires protégées au Québec (Li et Ducruc 1999). Les écosystèmes terrestres et les hydrosystèmes sont pris en compte. Les milieux terrestres font appel à huit niveaux de perception. Ces niveaux vont de l'échelle de la *province naturelle* (1 : 4 000 000) jusqu'au *faciès topographique* (environ 1 : 5 000). Les milieux aquatiques sont subdivisés en six niveaux de perception, de l'*hydro-écorégion* (1 : 250 000) au *faciès d'écoulement* (environ 1 : 5 000). Les deux découpages reposent sur des limites naturelles, permanentes et reconnaissables sur le terrain.

Le *Système hiérarchique de classification écologique* en vigueur au MRNF subdivise le Québec méridional en onze niveaux de perception. Ces niveaux caractérisent les écosystèmes depuis le type forestier (ex. : tremblaye à sapin) jusqu'à la zone de végétation (ex. : zone boréale) (Saucier *et al.* 1998, Robitaille et Saucier 1998, MRN 2001). Les deux niveaux inférieurs du système, soit le type forestier et le type écologique, reposent sur une classification de la végétation élaborée à partir d'un important inventaire écologique (plus de 20 000 points d'observation écologique). Ces résultats sont accessibles par le biais d'une série de guides de reconnaissance des types écologiques couvrant un groupe de régions écologiques apparentées (ex. : Blouin et Berger 2004). Les districts écologiques sont délimités au moyen de la photo-interprétation des dépôts de surface à l'échelle de 1 : 60 000 et de l'analyse de la physiographie sur des cartes topographiques à l'échelle de 1 : 50 000. Les niveaux supérieurs du système hiérarchique sont formés de l'assemblage d'un nombre de plus en plus important de districts écologiques (dont la définition est la même que Jurdant *et al.* 1977). Les

districts sont regroupés selon leur homogénéité en regard des variables permanentes du milieu et de la végétation potentielle. Les principaux niveaux de perception situés au-dessus du district écologique correspondent au paysage régional (Robitaille et Saucier 1998), à la région écologique (troisième approximation), au domaine bioclimatique et à la zone de végétation.

Concurremment à l'époque de la classification écologique du territoire, et particulièrement au cours des trente dernières années, des écologistes ont abordé les écosystèmes sous l'angle des perturbations naturelles (Heinselman et Wright 1973, Payette 1992, Bergeron *et al.* 2001). Ces écologistes avaient comme objectifs de caractériser la dynamique de la végétation en fonction des perturbations naturelles actuelles et passées et de préciser les diverses étapes de la formation des paysages. Bon nombre de travaux faisant appel à la dendrochronologie, aux analyses sporopolliniques et macrofossiles montrent que des changements majeurs se sont produits dans la composition des paysages au cours de l'Holocène (11 500 dernières années) (Richard 1987, 1993). Ces changements, liés surtout à des variations de climat et de perturbations naturelles, révèlent qu'aucune végétation d'équilibre ne s'est maintenue (Swetnam *et al.* 1999, *nonequilibrium paradigm*) et que les paysages actuels constituent un héritage, parfois lointain, des perturbations naturelles et du climat (Richard 1993, Lavoie et Filion 2001, Bergeron *et al.* 2004, Messaoud *et al.* 2007). Le lien feu-climat a particulièrement retenu l'attention puisqu'il influence la composition actuelle et à venir de la végétation (Despons et Payette 1993, Bergeron 1998). Enfin, quelques écologistes des perturbations naturelles ont présenté leur vision de la répartition des écosystèmes du Québec nordique (Payette 1983) ainsi que de l'ensemble du Québec (Richard 1987, Payette et Bouchard 2001).

Les écologistes des perturbations naturelles considèrent les paysages forestiers comme une mosaïque de peuplements dont la composition, la structure et l'âge sont fonction du temps écoulé depuis la dernière perturbation (*patch dynamic*, Watt 1947, White 1979). Cette hétérogénéité peut être définie selon plusieurs niveaux de perception (*hierarchical patch dynamics*, Wu et Loucks 1995). Le milieu physique (dépôts, drainage et autres variables environnementales) doit également être pris en compte (Foster 1983, Swanson *et al.* 1988, Bergeron 1991, Turner *et al.* 1994). Tous ces

développements s'inscrivent dans le courant de pensée qui a, plus récemment, abouti à « *l'écologie du paysage* », dont les objectifs sont de :

- définir l'hétérogénéité des mosaïques forestières (*spatial patterns*),
- connaître les processus écologiques qui gouvernent leur apparition et leur maintien (*processes*),
- comprendre les influences de l'hétérogénéité spatiale sur la dynamique de la végétation (*ecological effects*),
- aménager en fonction de cette hétérogénéité (Turner 1989, 2005).

Les principes et les concepts mis de l'avant par les études sur les perturbations naturelles se sont étendus aux perturbations humaines (Bouchard et Domon 1997, Boucher *et al.* 2006). Les principales perturbations prises en compte sont les feux d'abattis (1880-1940) et les coupes forestières. Comme exemple de changements dans la végétation conséquents aux activités humaines, on note que des pessières noires parsemées de peuplier faux-tremble évolueraient vers des tremblaies (Grondin *et al.* 2003, Laquerre 2007).

Les auteurs qui ont fait une analyse critique de l'évolution de la pensée écologique nord-américaine et européenne y remarquent des courants de pensée. Le passage d'un courant de pensée à un autre constituerait un changement de paradigme (Wu et Loucks 1995, Perry 2002). Deux grandes tendances se démarquent. La première identifie surtout les écologistes dont les intérêts portent sur le milieu physique et la dynamique de la végétation exprimée par la série de végétation

(végétation potentielle). Un message de *stabilité des paysages* (équilibre) est associé à ces *écologistes du milieu physique*. La seconde école de pensée caractérise surtout les écologistes dont l'objet d'étude accorde la priorité aux perturbations naturelles. Une conception d'*hétérogénéité des paysages* (non équilibre) est rendue par ces écologistes.

Notre intérêt à comprendre certains aspects de l'hétérogénéité des paysages justifie notre association au domaine de l'écologie du paysage (et de la biogéographie régionale au sens de Leduc 1992). Comme Grandtner (1966 a, b) et ses collaborateurs positionnaient les séries dynamiques au centre de leur réflexion et comme Jurdant (1968) et ses collègues ciblaient l'intégration de la végétation et du milieu physique, l'intégration de la végétation avec le milieu physique, les perturbations naturelles et humaines ainsi que du climat devenait une voie évidente. Les études concernant cette intégration sont encore très limitées (Dorner *et al.* 2002). À notre connaissance, seulement deux études québécoises portent sur ce sujet (Bellefleur et Auclair, 1972, Leduc 1992).

L'étude sur les unités homogènes tente de répondre aux deux questions suivantes :

- 1) Quelle est l'importance des familles de facteurs dans les changements de la végétation, autant dans le Québec méridional que dans certaines de ses parties?
- 2) Comment se structurent les forêts du Québec, autant au niveau de leur classification que de leur répartition géographique, lorsque les principales familles de facteurs qui concourent à leur développement sont prises en compte?

Chapitre premier

Méthode

1.1 La présentation du territoire

Le Québec méridional couvre une superficie de près de 760 000 km² (Figure 1). La latitude varie du 45° au 52°N alors que les longitudes s'étendent du 57° au 80°O. La température moyenne annuelle passe de 5°C dans la portion sud à près de -5°C dans la portion nord. Les précipitations annuelles s'élèvent depuis l'intérieur du continent (ouest) vers l'Atlantique (est). Au cours de la saison de croissance, les précipitations sont de l'ordre de 800 mm dans l'ouest comparativement à 1200 mm dans l'est. Sur la base de la physiographie ainsi que de la géologie, trois grands ensembles se distinguent : les Appalaches constituées de roches métamorphiques (portion sud), les Basses-Terres du Saint-Laurent dominées par une assise rocheuse sédimentaire et, plus au nord, un vaste bouclier de roches précambriennes (Bostock 1970). Ces ensembles sont recouverts de dépôts glaciaires, fluvio-glaciaires, marins, glacio-lacustres, organiques ainsi que d'altérites sédimentaires (Robitaille et Saucier 1998).

La végétation forestière du Québec méridional se compose aujourd'hui principalement de sept essences qui se relaient et se mélangent le long des gradients écologiques, comme le climat. Ces

essences sont : l'érable à sucre (*Acer saccharum*), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), le sapin baumier (*Abies balsamea*), le bouleau blanc (*Betula papyrifera*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), le pin gris (*Pinus banksiana*) et l'épinette noire (*Picea mariana*). La présence et l'abondance de ces essences sont généralement comprises comme étant fonction du climat, des perturbations naturelles, notamment les feux, les épidémies d'insectes (tordeuse des bourgeons de l'épinette, arpentuse de la pruche et livrée des forêts) et les chablis (Payette 1992, Morin 1998, Bergeron *et al.* 2001, Boulanger et Arseneault 2004) et des variables du milieu physique (Robitaille et Saucier 1998).

À ces familles de facteurs naturels s'ajoutent les activités humaines, notamment les feux d'abattis, qui furent particulièrement abondants lors de la colonisation (Lefort *et al.* 2003, Boucher *et al.* 2006). De même, les coupes forestières ont pris de plus en plus d'ampleur au cours des cent dernières années. Aujourd'hui, les paysages des Basses-Terres du Saint-Laurent sont dominés par l'agriculture. De part et d'autre de cet ensemble physiographique, les paysages agro-forestiers sont communs. Plus loin, autant vers l'est que vers le nord, les coupes



Figure 1. Localisation du territoire d'étude (Québec méridional).

forestières constituent l'activité prépondérante. Les territoires peu touchés par les coupes sont rares et se concentrent dans la partie nord du Québec méridional, du 51° au 52°N.

1.2 Les sources d'information

L'étude repose sur l'élaboration et l'analyse de deux matrices de données : une matrice de variables réponses ou descriptives de la végétation (matrice Y) et une matrice de variables explicatives (matrice X) (Tableau 1, Annexe 1). Ces deux matrices contiennent la description de 2539 objets, correspondant à autant de districts écologiques. Les districts écologiques ont été délimités dans le cadre du programme de connaissances écologiques du MRNF (Robitaille 1988). Les districts couvrent une superficie moyenne de 300 km², relativement homogène selon les dépôts de surface, le relief et la végétation. Chaque district est décrit selon un ensemble de variables du milieu physique, dans un fichier numérique.

Nous avons complété la description des districts écologiques par l'ajout d'information consignée par le MRNF au cours des dernières décennies. Cette information porte sur la végétation, les perturbations naturelles, les perturbations humaines et le climat. La nouvelle information provient de trois sources : 1) les cartes forestières produites durant la décennie 1980 et dont la description des peuplements (composition, âge...) a été récemment intégrée à une géobase selon les principes des **S**ystèmes d'**I**nformation **FOR**estière par **T**esselle (*SIFORT-2*, Pelletier *et al.* 1996), 2) les placettes d'inventaire forestier des trois programmes d'inventaire décennal (n = plus de 300 000) et pour lesquelles la prise de données s'est échelonnée de 1970 à 2000 ainsi que 3) les données d'archives sur l'historique des épidémies d'insectes (période 1938-1999), des feux (1938-1999) et du climat (1961 à 1990). Nous sommes conscients que ces dernières informations sont partielles et ne reflètent pas la variabilité historique.

La *géobase SIFORT-2* représente un cliché de la végétation au cours de la décennie 1980, soit juste après la dernière épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBÉ). Cette *géobase* a été préférée à celle de *SIFORT-1* (décennie 1970) en raison d'une caractérisation plus fine de la composition des forêts et d'une plus grande rigueur de la photo-interprétation effectuée par plusieurs équipes. Par ailleurs, la *géobase SIFORT-2* (décennie 1980) est moins influencée par les coupes que la *géobase SIFORT-3* (décennie 1990).

1.3 La matrice de la végétation (Matrice Y)

Les sources précitées ont servi à construire une première matrice descriptive de la végétation des districts écologiques selon trois thèmes. Ces derniers se complètent tout en décrivant la forêt selon un angle différent. Quelques variables de chacun de ces thèmes ont été regroupées dans un but de synthèse. Par exemple, les végétations potentielles RE1 (pessière noire à lichens), RE2 (pessière noire à mousses ou à éricacées) et RE3 (pessière noire à sphaignes) ont été rassemblées dans RE2.

Le thème des groupements d'essences (GE, ex. : EE, pessière noire) présente la végétation de chacun des districts relativement à leur couvert forestier. Les districts écologiques ont été caractérisés selon l'importance relative de la superficie des peuplements forestiers, à l'aide de la *géobase SIFORT-2*. Les écosystèmes non forestiers, notamment les tourbières (DH) ainsi que les sites bien drainés et dénudés de végétation forestière (DS) sont pris en compte.

Le thème des essences (ES, ex. : épinette noire) décrit les districts selon l'importance relative de la surface terrière de chacune des essences. Pour ce faire, les placettes d'inventaire forestier des trois programmes d'inventaire décennal (décennie 1970, 1980, 1990) ont été utilisées. Cette description est plus précise que celle du thème précédent, car elle repose sur une information de terrain. Toutefois, les écosystèmes non forestiers (DH, DS) ne sont pas retenus. De plus, cette démarche est entachée d'un certain biais puisque le sondage forestier ne prévoit pas une répartition proportionnelle des placettes en rapport avec les divers milieux écologiques et les types de couverts. L'échantillonnage a mis l'accent sur les peuplements résineux.

Le thème des végétations potentielles (VP, ex. : RE2, pessière noire) présente le territoire sous l'angle de la dynamique forestière. La végétation potentielle est une unité de classification qui regroupe l'ensemble des communautés forestières à divers stades de leur évolution. Ces communautés ont la possibilité d'atteindre un même stade de fin de succession (Blouin et Berger 2004). Cette description est similaire à celle de la série de végétation (Clements 1936, Whittaker 1973, Grandtner 1966a,b). La végétation potentielle est dénommée selon le stade de fin de succession de la chronoséquence végétale, c'est-à-dire du peuplement qu'il serait possible d'observer si le temps écoulé depuis la dernière perturbation

Tableau 1. Variables réponses (matrice Y) et variables explicatives de la végétation (matrice X).**A¹.**

Variable	Groupe
AL	AL_
BB	BB_
BBE	BBE
BBS	EPB_
BJ	BJ_
BOG	FH_
BOJ	BJ_
BOP	BB_
C	C_
DH	DH_
DS	ES_
E	E_
EPB	EPB_
EPN	E_
EPR	C_
ER	ERFT_
ERBJ	BJ_
ERC	ERC_
ERFT	ERFT_
EROR	ERFT_
ERR	ERR_
ERS	ERS_
ES	ES_
FC1	FT_
FE1	ERC_
FE2	ERR_
FE3	ERS_
FE4	FT_
FE5	FT_
FE6	PB_
FH	FH_
FO1	ERC_
FRN	FH_
FT	FT_
HEG	FT_
ME	(autres) ²
ME1	AL_
MEL	(autres) ²
MER	FT_
MF1	FH_
MJ1	FT_
MJ2	BJ_
MS1	BJ_
MS2	S_
MS6	FH_
PB	PB_
PE	PE_
PEB	(autres) ²
PEE	PE_
PEG	FH_
PES	PES_
PET	PE_
PG	PG_
PIG	PG_
PIN	PB_
PRP	(autres) ²
PRU	FT_
RB1	EPB_
RC3	C_
RE2	E_
RP1	PB_
RS1	PES_
RS2	ES_
RS5	C_
RT1	FH_
S	S_
SAB	S_
SAL	(autres) ²
SOL	(autres) ²
THO	PES_

B. Classement des variables selon leur groupe

Groupe	Thème ³	Variable	Description
AL_	GE	AL	Aulnaie
	VP	ME1	Pessière noire à peuplier faux-tremble
BB_	GE	BB	Bétulaie blanche
	ES	BOP	Bouleau blanc (<i>Betula papyrifera</i>)
	GE	BBE	Bétulaie blanche à épinette noire
BJ_	GE	BJ	Bétulaie jaune
	GE	ERBJ	Érablière à bouleau jaune
	ES	BOJ	Bouleau jaune (<i>Betula alleghaniensis</i>)
	VP	MJ2	Bétulaie jaune à sapin
	VP	MS1	Sapinière à bouleau jaune
	GE	C	Cédrrière
C_	ES	EPR	Épinette rouge (<i>Picea rubens</i>)
	VP	RC3	Cédrrière tourbeuse à sapin
	VP	RS5	Sapinière à épinette rouge
	GE	DH	Dénudé humide (tourbière non forestière)
E_	GE	E	Pessière noire
	ES	EPN	Épinette noire (<i>Picea mariana</i>)
	VP	RE2	Pessière noire
EPB_	GE	BBS	Bétulaie blanche à sapin
	ES	EPB	Épinette blanche (<i>Picea glauca</i>)
	VP	RB1	Pessière blanche
ERC_	ES	ERC	Essences de l'érablière à Caryer (<i>Carya spp.</i> , <i>Quercus bicolor</i> ...)
	VP	FE1	Érablière à caryer cordiforme
	VP	FO1	Ormaie à frêne noir
ERFT_	GE	ER	Érablière à sucre
	GE	ERFT	Érablière à feuillus d'essences tolérantes à l'ombre
	GE	EROR	Érablière rouge typique et érablière rouge résineuse
ERR_	ES	ERR	Érable rouge (<i>Acer rubrum</i>)
	VP	FE2	Érablière à tilleul
ERS_	ES	ERS	Érable à sucre (<i>Acer saccharum</i>)
	VP	FE3	Érablière à bouleau jaune
ES_	GE	DS	Dénudé sec (site bien drainé dénudé de végétation forestière)
	GE	ES	Pessière noire à sapin
	VP	RS2	Sapinière à épinette noire
FH_	GE	FH	Feuillus sur station humide
	ES	BOG	Bouleau gris (<i>Betula populifolia</i>)
	ES	FRN	Frêne noir (<i>Fraxinus nigra</i>)
	ES	PEG	Peuplier à grandes dents (<i>Populus grandidentata</i>)
	VP	MF1	Frênaie noire à sapin
	VP	MS6	Sapinière à érable rouge
FT_	VP	RT1	Prucheraie
	GE	FT	Feuillus d'essences tolérantes à l'ombre
	ES	HEG	Hêtre à grandes feuilles (<i>Fagus grandifolia</i>)
	ES	PRU	Pruche de l'Est (<i>Tsuga canadensis</i>)
	ES	MER	Essences méridionales (<i>Celtis occidentalis</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Ostrya virginiana</i> , <i>Tilia americana</i>)
	VP	FC1	Chênaie rouge
PB_	VP	FE4	Érablière à bouleau jaune et hêtre
	VP	FE5	Érablière à ostryer
	VP	MJ1	Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre
	GE	PB	Pinède blanche
PE_	ES	PIN	Pin blanc et pin rouge (<i>Pinus strobus</i> , <i>Pinus resinosa</i>)
	VP	FE6	Érablière à chêne rouge
	VP	RP1	Pinède blanche ou pinède rouge
	GE	PE	Peupleraie
PES_	GE	PEE	Peupleraie à épinette noire
	ES	PET	Peuplier faux tremble (<i>Populus tremuloides</i>)
	GE	PES	Peupleraie à sapin
PG_	ES	THO	Thuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i>)
	VP	RS1	Sapinière à thuya
	GE	PG	Pinède grise
S_	ES	PIG	Pin gris (<i>Pinus banksiana</i>)
	GE	S	Sapinière
	ES	SAB	Sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>)
(autres) ²	VP	MS2	Sapinière à bouleau blanc
	GE	ME	Mélèzin
	ES	MEL	Mélèze laricin (<i>Larix laricina</i>)
	ES	PEB	Peuplier baumier (<i>Populus balsamifera</i>)
	ES	PRP	Cerisier de Pennsylvanie (<i>Prunus pensylvanica</i>)
SOL	ES	SAL	Saules (<i>Salix spp.</i>)
	ES	SOL	Sorbiers (<i>Sorbus spp.</i>)

¹ Classement des variables réponses selon leur ordre alphabétique.² Variables de large répartition géographique, peu représentées et non classées dans un groupe.³ Thèmes de végétation - GE : Groupements d'essences, ES : Essences, VP : Végétations potentielles

Tableau 1 (suite). Variables réponses (matrice Y) et variables explicatives de la végétation (matrice X)**A¹.**

Variable	Groupe
AF	TBE99_
AG	FEUF_A
ALTI	ALTI
ARI	DPV_
AU	AU
BR	BR_
BR_A	BR_
BRF_A	BRF_A
CH	(autres)²
CP	CP
CT	CT_
D_1A	D_1A
D_1AR	DABS_
D_1P	D_1P
D_2	D_2
D_3	(autres)²
D_4GA	D_4_
D_4GS	D_4_
D_5A	D_5_
D_5S	D_5_
D_7	D_7_
D_8	D_8_
D_8AR	D_8_
D_EAU	(autres)²
D_R	D_R
DABS	DABS_
DEGJ	TMA_
DPV	DPV_
EL	TBE99_
EP	TBE99_
EVAPO	TMA_
FEU_A	FEU_A
FEUF_A	FEUF_A
FR	FEUF_A
GH	TMA_
JSG	TMA_
JSGC	TMA_
LF	LF
O1700	O1700
O1880	O1880
O1900	O1900
O1920	O1920
P_A	D_7_
P_DEF	DABS_
PL	CT_
PREC	PREC_
PREC	PREC_
TBE38	TBE38
TBE99	TBE99_
TMA	TMA_

B. Classement des variables selon leur groupe

Groupe	Famille³	Variable	*⁴	Description
ALTI	MP	ALTI		Altitude moyenne (m) (fichier descriptif des districts écologiques)
AU	PH	AU	*	Autre (villes, routes, gravières et lignes de transport d'énergie) (selon la <i>géobase SIFORT-2</i>)
BR_	PN	BR	*	Feux (<i>géobase SIFORT-2</i>)
	PN	BR_A	*	Feux de foudre (archives 1938-1999)
CP	PH	CP	*	Coupe partielle (<i>géobase SIFORT-2</i>)
CT_	PH	CT	*	Coupe totale (<i>géobase SIFORT-2</i>)
	PH	PL	*	Plantation (<i>géobase SIFORT-2</i>)
D_1A	MP	D_1A	*	Dépôt de till épais (plus de 1m)
D_1P	MP	D_1P	*	Moraine de décrépitude
D_2	MP	D_2	*	Dépôt fluvio-glaciaire
D_4_	MP	D_4GA	*	Dépôt glacio-lacustre (argile)
	MP	D_4GS	*	Dépôt glacio-lacustre (sable)
D_5_	MP	D_5A	*	Dépôt marin (argile)
	MP	D_5S	*	Dépôt marin (sable)
D_7_	MP	D_7	*	Dépôt organique
	MP	P_A	*	Pente nulle : A (0 à 3 %)
D_8_	MP	D_8	*	Dépôt d'altération épais (plus de 1m)
	MP	D_8AR	*	Dépôt d'altération mince (moins de 1m)
D_R	MP	D_R	*	Roc
DABS_	MP	D_1AR	*	Dépôt de till mince (moins de 1m)
	MP	DABS		Dénivellation absolue (m) (différence d'altitude entre les parties les plus élevées et les plus basses d'un district écologique)
	MP	P_DEF	*	Pente modérée à abrupte : D, E, F (16 % et plus)
DPV_	C	DPV		Déficit pression-vapeur (somme du déficit quotidien de pression de vapeur (en mbar) des mois de juin à août, calculée à partir des valeurs quotidiennes des températures minimales et maximales)
	C	ARI		Aridité (différence entre l'indice d'évapotranspiration potentielle et les précipitations mensuelles)
FEUF_A	PH	AG	*	Zone agricole (<i>géobase SIFORT-2</i>)
	PH	FEUF_A		Fréquence des feux d'origine anthropique par 100 km² (archives 1938-1999)
	PH	FR	*	Friche (<i>géobase SIFORT-2</i>)
FEUF_A	PH	FEU_A	*	Feux d'origine anthropique (archives 1938-1999)
BRF_A	PN	BRF_A		Fréquence des feux de foudre par 100 km² (archives 1938-1999)
LF	PN	LF		Nombre d'années d'infestation par la livrée des forêts (archives 1938-1999)
O1700	PN	O1700	*	Peuplements dont l'année d'origine varie de 1660 à 1879 (placettes d'inventaire forestier)
O1880	PN	O1880	*	Peuplements dont l'année d'origine varie de 1880 à 1899 (placettes d'inventaire forestier)
O1900	PN	O1900	*	Peuplements dont l'année d'origine varie de 1900 à 1919 (placettes d'inventaire forestier)
O1920	PN	O1920	*	Peuplements dont l'année d'origine est postérieure à 1919 (placettes d'inventaire forestier)
PREC_	C	PREC		Précipitations annuelles totales (mm)
	C	PREC		Précipitations de juin à septembre (mm)
TBE38	PN	TBE38		Nombre d'années d'infestation par la tordeuse des bougeons de l'épinette (archives 1938-1965)
TBE99_	PN	AF	*	Arpenteuse de la pruche, période 1938-1999
	PN	EL	*	Peuplements touchés par une épidémie légère (<i>géobase SIFORT-2</i>)
	PN	EP	*	Peuplements touchés par une épidémie sévère (<i>géobase SIFORT-2</i>)
	PN	TBE99		Nombre d'années d'infestation par la tordeuse des bougeons de l'épinette (archives 1966 à 1999)
TMA_	C	DEGJ		Degrés-jours de croissance supérieurs à 5 °C
	C	EVAPO		Évapotranspiration
	C	GH		Jour julien correspondant au premier gel hâtif
	C	JSG		Nombre de jours sans gel
	C	JSGC		Nombre de jours sans gel consécutif
	C	TMA		Température moyenne annuelle (°C)
(autres)²	PN	CH	*	Chablis
	MP	D_3	*	Dépôt fluvialite
	MP	D_EAU	*	Eau

¹ Classement des variables explicatives selon leur ordre alphabétique.² Variables de large répartition géographique, peu représentées et non classées dans un groupe.³ Familles de facteurs - C : Climat, MP : Milieu physique, PN : Perturbations naturelles, PH : Perturbations humaines.⁴ Les variables suivies d'un astérisque sont décrites selon l'importance relative de la superficie occupée dans chacun des districts écologiques.

s'avérait suffisamment long pour permettre aux essences d'ombre de succéder aux essences de lumière. La description des districts écologiques en regard de ce thème repose sur les placettes des inventaires forestiers. Une végétation potentielle a été associée à chacune des placettes en fonction des essences présentes. Chacun des districts est caractérisé en fonction de l'importance relative des diverses végétations potentielles.

1.4 La matrice des variables explicatives (Matrice X)

En se servant des mêmes sources utilisées pour bâtir la matrice Y, nous avons élaboré une seconde matrice qui présente les variables explicatives de la végétation des districts écologiques relativement à quatre familles de facteurs. Le terme *facteur* (*factor*) est considéré comme l'agent responsable du développement de la végétation. On le considère comme l'équivalent du terme *déterministe* (*driver*).

La famille du climat (C) a été analysée à l'aide du logiciel *BioSim* (Régnière 1996, Ung *et al.* 2001). Ce logiciel permet d'interpoler des variables climatiques de chacun des districts écologiques en utilisant l'information des données des stations météorologiques ainsi qu'un modèle numérique d'élévation de terrain. Dans le cadre de ce projet, l'information recueillie de 1961 à 1990 dans 410 stations météorologiques a été utilisée. L'unité de surface représentative de chacun des pixels composant le modèle numérique est de 2 km². Le climat a donc été traité selon les données actuelles. La végétation pour laquelle on tente de quantifier les relations avec les familles de facteurs constitue cependant le reflet des variations climatiques passées et du climat actuel.

La famille du milieu physique (MP) a été décrite à l'aide des variables du fichier de données des districts écologiques du MRNF. Les dépôts de surface y sont caractérisés selon l'importance relative de leur superficie dans chacun des districts écologiques. À ces variables s'ajoutent quelques descripteurs de la physiographie, notamment la dénivellation absolue (DV_ABS), la pente (P_A, P_DEF) et l'altitude (ALTI).

La famille des perturbations naturelles (PN) présente le territoire en regard de l'historique des feux et des épidémies d'insectes. Les variables décrites par une superficie proviennent de la *géobase SIFORT-2*. Elles correspondent notamment aux brûlis (BR), aux chablis (CH), aux épidémies légères (EL) et aux épidémies sévères (EP). Cette information donne donc un cliché des années 80. Les variables sont exprimées selon l'importance relative de leur superficie dans les districts écologiques. Les autres variables descriptives des perturbations naturelles sont issues des archives et indiquent le nombre d'années d'infestation causée par un insecte (AF, LF, TBE38, TBE99, Tableau 1), la fréquence des feux au 100 km² (BRF_A) et la superficie de feux (BR_A) à l'intérieur d'une période donnée (généralement 1938-1999).

Afin de caractériser les districts selon l'année d'origine des peuplements, chacune des placettes d'inventaire forestier s'est vu attribuer une « année d'origine » basée sur l'arbre-étude le plus vieux (parmi les trois arbres échantillonnés). La synthèse de cette information a conduit à la reconnaissance de quatre périodes d'origine (O1700, O1880, O1900, O1920) dont le début et la fin sont indiquées au tableau 1. Par contre, dans les régions agroforestières (portion sud du territoire), les périodes

les plus récentes (principalement la période 1920) ne sont pas exemptes d'interventions humaines. Cela a pour effet d'accentuer les différences de la portion sud et de la portion nord du territoire. En conclusion, il nous est impossible d'élaborer un fichier de données qui décrit parfaitement la forêt pré-industrielle.

La famille des perturbations humaines (PH) a été décrite à partir de la *géobase SIFORT-2* (AG, AU, CP, CT, FR, PL, Tableau 1). Ces variables sont caractérisées en fonction de l'importance relative de leur superficie dans les districts écologiques. Les documents d'archives (période 1938-1999) ont également été utilisés afin de connaître la fréquence (FEUF_A) et la superficie (FEU_A) des feux d'origine humaine.

1.5 Le traitement des données

Les deux matrices de données élaborées à l'étape précédente (Y : végétation et X : variables explicatives) ont servi à :

- 1) regrouper les variables descriptives et explicatives et les représenter le long des gradients écologiques qui façonnent le territoire;
- 2) quantifier l'importance relative des familles de facteurs dans les changements de végétation qui surviennent le long des gradients écologiques;
- 3) rassembler les districts écologiques similaires sur la base des relations de la végétation et de ses variables explicatives dans le but de classer des unités homogènes, les cartographier et les décrire.

1.5.1 Le regroupement des variables descriptives et explicatives

Le regroupement des variables (descriptives et explicatives) et leur présentation le long des gradients écologiques reposent sur deux analyses. La première est une analyse de redondance (RDA) effectuée sur les trois thèmes contenus dans la matrice Y (groupements d'essences, essences, végétations potentielles), d'une part, et sur la matrice X, d'autre part (Legendre et Legendre 1998). L'analyse de redondance (RDA) a été produite à l'aide du langage R (*The R project for statistical computing*) en utilisant le cadrage de type 1 (sur les objets). La seconde analyse est un groupement *K-means* effectué, dans un premier temps, sur les axes canoniques des variables réponses (RDA scores of the response variables) et, dans un second temps, sur les axes canoniques des variables explicatives (RDA scores of the explanatory variables). L'analyse de groupements a été effectuée à l'aide du programme *K-means*

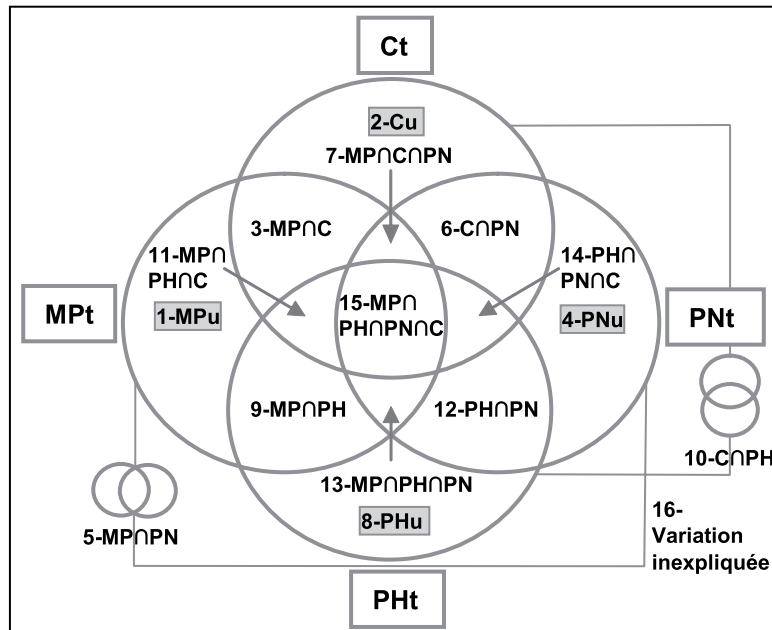


Figure 2. Structure d'analyse du partitionnement de la variation de la végétation selon quatre familles de facteurs : le climat (C), le milieu physique (MP), les perturbations naturelles (PN) et les perturbations humaines (PH).

de Legendre (2001). Les centroïdes des divers groupes de variables ont ensuite été définis et utilisés afin de positionner les groupes sur des diagrammes d'ordination.

1.5.2 L'importance relative des familles de facteurs

L'estimation de l'importance relative des quatre familles de facteurs (C-climat, MP-milieu physique, PN-perturbations naturelles, PH-perturbations humaines) dans les changements de végétation qui surviennent le long des gradients écologiques repose sur des analyses de partitionnement (ter Braak 1987, Borcard *et al.* 1992, Legendre et Legendre 1998). Plus spécifiquement, ces analyses canoniques de correspondances partielles permettent de quantifier la variation de la végétation expliquée par chacune des seize fractions composant la structure définie à la figure 2. Tout d'abord, une portion de variation est attribuée à chacune des familles, sans relation avec les autres. Ces fractions uniques sont au nombre de quatre (1-MPu, 2-Cu, 4-PNu et 8-PHu). De plus, chaque famille chevauche les autres à divers degrés de façon à définir des fractions communes formées d'une combinaison de deux familles (ex. : $MP \cap C$, fractions 3, 5, 6, 9, 10 et 12), de trois familles (ex. : $MP \cap C \cap PN$ fractions 7, 11, 13 et 14) ou de quatre familles (fraction 15). La sommation des sept fractions communes

appartenant à une même famille (ex. : fractions 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 pour la famille MP) correspondent à la fraction commune d'une famille (ex. : MPc). La sommation des fractions communes (ex. : MPc) et de la fraction unique (ex. : MPu) associées à une même famille donnent la fraction totale (ex. : MPt). La sommation des quinze fractions uniques et communes composant la structure de la figure 2 correspond à la variation de la végétation expliquée par les quatre familles de facteurs définies par un ensemble de variables décrites dans la matrice X. La fraction 16 constitue la variation inexpliquée.

Le programme du Dr. Pierre Legendre, écrit en langage R, a servi aux analyses de partitionnement de l'ensemble du Québec méridional et de certaines de ses subdivisions (ex. : la forêt résineuse de l'Ouest). Ce programme suit les recommandations de Peres-Neto *et al.* (2006) sur la nécessité d'utiliser le R^2 ajusté afin de prendre en compte la taille de l'échantillon et le nombre de variables explicatives. Afin de comparer les analyses de partitionnement, les résultats ont été transformés afin d'exprimer une proportion relative de la variation expliquée (Økland 1999). Les variables explicatives les mieux corrélées aux changements de végétation ont été identifiées à l'aide de la sélection *pas à pas* (*Forward selection*) avec le test de F comme niveau de sélection. Les calculs sont effectués dans le module *Packfor* du logiciel R. Avant de procéder

à la sélection des variables, les données de la matrice Y ont été transformées selon la fonction de Hellinger afin de comparer plus facilement les variables (Legendre et Gallagher, 2001).

Les résultats d'une analyse de partitionnement sont commentés en deux étapes. La première consiste à discuter des fractions communes de plusieurs familles, à l'exemple de la triple combinaison $MP \cap C \cap PN$. La deuxième étape porte sur la comparaison de la fraction commune (ex. : MPc) et de la fraction unique (ex. : MPu) d'une famille donnée (ex. : MP) ainsi que sur la comparaison de ces mêmes fractions des autres familles de facteurs (C, PN, PH). La description de ces deux étapes est appuyée d'une sélection *pas à pas* des variables explicatives. Pour terminer, chacun des territoires évalués par une analyse de partitionnement (Québec méridional et huit unités homogènes) fait l'objet d'une synthèse décrite au moyen d'un *modèle de partitionnement*. Au nombre de quatre, ces modèles sont présentés au début de la section des résultats.

La fraction commune à plusieurs familles exprime les relations de la végétation et des familles de facteurs. Plus la fraction commune est élevée, plus la variation de la végétation expliquée est importante. Par exemple, la triple combinaison (ex. : $MP \cap C \cap PN$) indique que le passage de paysages, où les pessières noires sont bien représentées, vers des paysages dominés par des pinèdes grises, est lié à des modifications qui se produisent simultanément dans le milieu physique (ex. : sols organiques contre sable), dans les perturbations naturelles (ex. : feux de la période 1880 contre 1920) et dans le climat (fortes contre faibles précipitations).

La fraction unique par famille de facteurs (ex. : MPu) décrit les liens privilégiés d'un élément particulier de la végétation et d'une famille de facteurs. Par exemple, une forte association des recouvrements élevés de pessières noires (E) et des sols organiques (D_7) d'un nombre limité et rapproché de districts écologiques d'un vaste territoire d'étude se traduit par une fraction unique élevée du milieu physique.

La fraction commune par famille de facteurs (ex. : MPc) représente les changements de végétation expliqués par l'ensemble des fractions combinées et associées à une famille donnée. L'interprétation de cette fraction est la même que la fraction commune à plusieurs familles, mais son application porte sur l'ensemble des combinaisons afférentes à une famille.

1.5.3 La classification et la cartographie des unités homogènes

La classification et la cartographie des unités homogènes s'appuient sur une analyse de groupements *K-means* effectuée sur la matrice des axes canoniques des districts écologiques (*fitted site score*) de la RDA présentée au point 1.5.1. L'analyse de groupements permet de rassembler les 2539 districts écologiques selon une séquence non hiérarchisée de 2 à 30 groupes. Ces groupes ont été cartographiés sur une série de 29 cartes. La première carte scinde le territoire en deux groupes et la dernière en 30 groupes. Les centroïdes (moyenne des valeurs des axes 1 et 2) des 30 groupes de districts écologiques ont été positionnés sur une ordination selon les deux premiers axes canoniques. L'analyse comparative de la série des 29 cartes issues des analyses de groupements et de l'ordination des centroïdes des 30 groupes de districts écologiques ont servi à construire la classification et à élaborer la cartographie. Par exemple, le découpage en trois groupes permet de définir le premier niveau de perception de la classification (forêt feuillue, forêt mélangée, forêt résineuse).

Chapitre deux

Résultats

Les résultats sont présentés selon un cheminement qui permettra au lecteur de se familiariser d'abord avec le territoire. La première étape consiste à réduire le nombre de variables descriptives et le nombre de variables explicatives de la végétation en les regroupant. Chacun des groupes est ensuite positionné sur des ordinations, ce qui permet d'établir des relations entre les deux ensembles de variables et de constater que les changements de végétation sont associés à des modifications qui surviennent autant dans le climat (C), le milieu physique (MP), les perturbations naturelles (PN) que dans les perturbations humaines (PH). Des liens sont par la suite établis entre les groupes de variables (ex. : la température moyenne annuelle (TMA)) et les gradients écologiques (ex. : le gradient latitudinal, axe 1) qui façonnent le territoire.

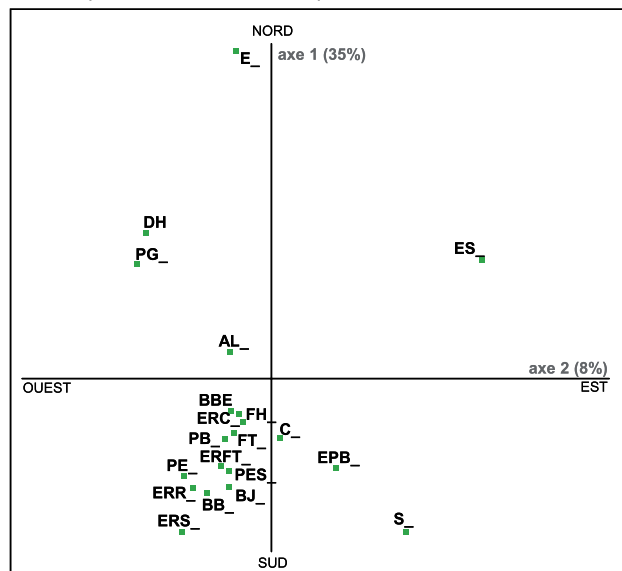
Les connaissances acquises au cours de l'étape précédente seront utilisées afin d'interpréter les résultats d'une analyse de partitionnement de la variation de la végétation du Québec méridional. Ces résultats démontrent que les changements de végétation survenant le long des gradients écologiques correspondent à ceux

des quatre familles de facteurs (C, MP, PN, PH). Cette démonstration constitue le fondement de la définition de l'unité homogène. Par la suite, la présentation des résultats (troisième étape) portera sur la description des unités selon les deux premiers niveaux de perception de la classification.

2.1 Les groupes de variables et les gradients écologiques

Un total de 20 groupes de variables descriptives (ex. : bétulaies blanches, Tableau 1) et de 27 groupes de variables explicatives (ex. : fréquence des feux de foudre au 100 km², Tableau 1) ont été retenus. Dans le premier cas, les groupes sont formés de variables dont la répartition géographique est apparentée. Par exemple, le groupe BJ_ rassemble les variables descriptives du bouleau jaune (BOJ), les peuplements feuillus dominés ou sous-dominés par le bouleau jaune (bétulaies jaunes et érablières à bouleau jaune) et les végétations potentielles dans lesquelles le bouleau jaune occupe une place de choix (bétulaie jaune à sapin, sapinière à bouleau jaune). Dans le cas des groupes de variables explicatives, les variables se regroupent sur la base de leurs affinités écologiques. Par

A. Groupes de variables descriptives



B. Groupes de variables explicatives

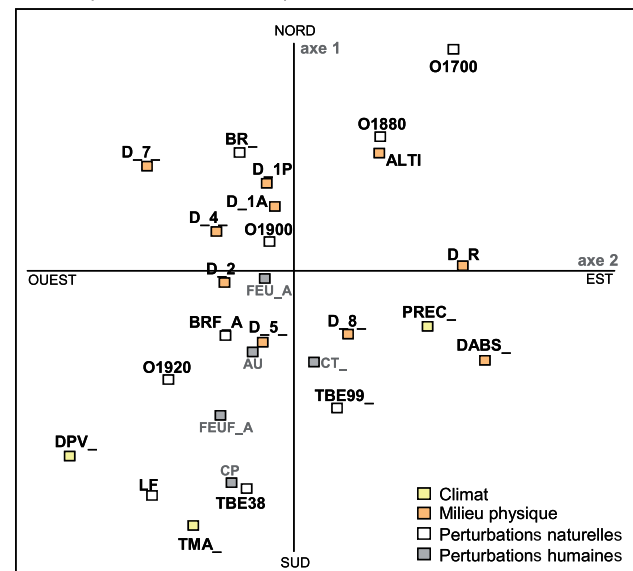
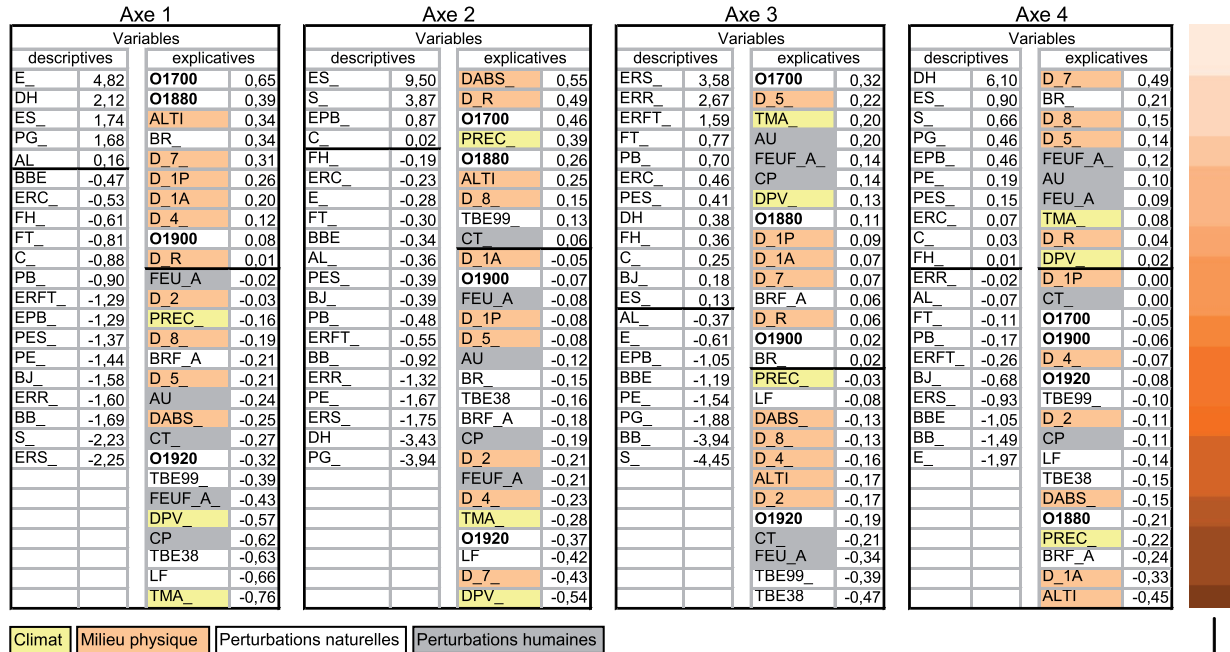


Figure 3. Répartition des groupes de variables descriptives et des groupes de variables explicatives de la végétation du Québec méridional selon les axes 1 et 2 d'une analyse de redondance (RDA). La composition des groupes et la signification de leurs codes apparaissent au tableau 1.

A. Groupes de variables descriptives et groupes de variables explicatives. Le trait foncé sépare les valeurs positives des valeurs négatives.



B. Districts écologiques. Plus la couleur est foncée, plus la valeur négative est élevée.

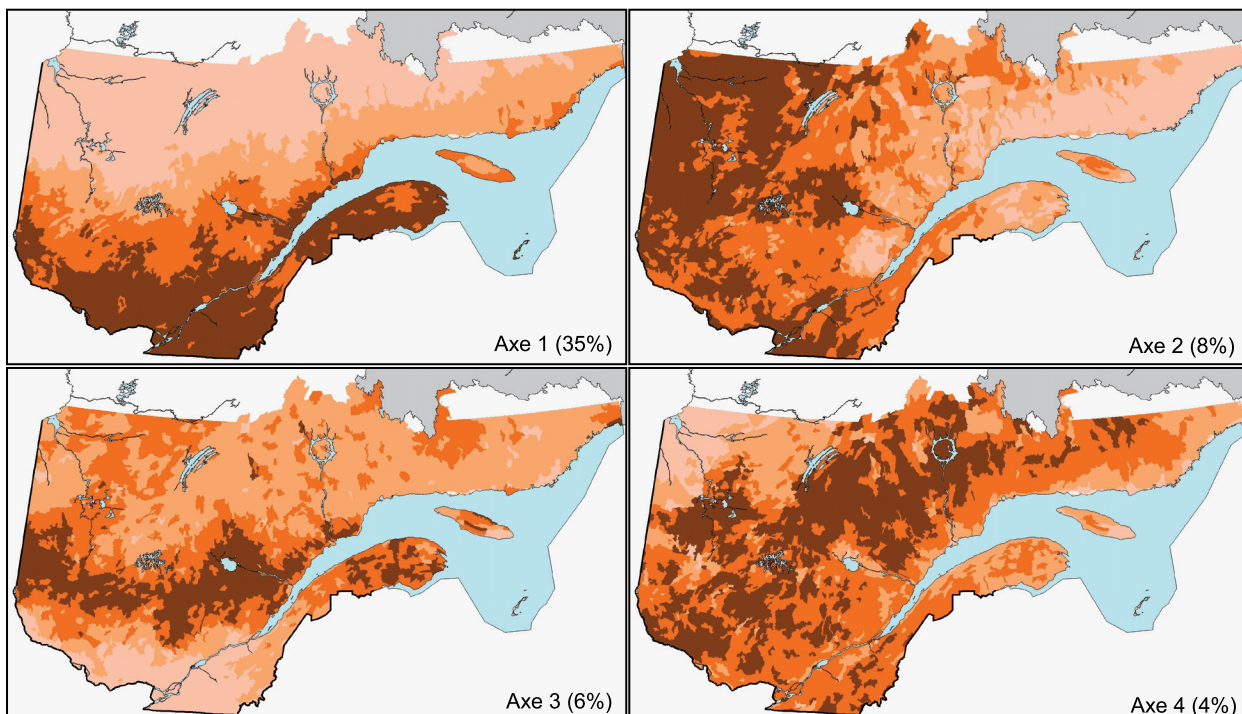


Figure 4. Distance du centre de l'ordination aux groupes de variables descriptives, aux groupes de variables explicatives et aux districts écologiques le long des quatre premiers axes canoniques d'une analyse de redondance (RDA). La signification des codes est donnée au tableau 2.

exemple, le groupe de variables classé DABS se caractérise par une dénivellation absolue élevée (DABS) ainsi que par une forte proportion de tills minces (D_1AR) et de pentes de classe modérée à abrupte (P_DEF).

Les groupes de variables descriptives et explicatives sont positionnés sur deux ordinations (Figures 3A et 3B). La comparaison des ordinations permet d'établir les liens des deux catégories de variables. Par exemple, le groupe des pessières noires à sapin (ES_) apparaît dans les territoires (est du Québec) caractérisés par de fortes altitudes (groupe ALTI_), une bonne proportion de roc (D_R_), une forte dénivellation absolue (DABS_), reliefs de hautes collines, une abondance de vieilles forêts (O1700, O1880) et d'abondantes précipitations (PREC_). Le groupe des pinèdes grises (PG_) apparaît dans des conditions opposées (ouest du Québec), notamment de basses altitudes, peu de roc, des reliefs faiblement définis, une abondance de jeunes forêts (O1920) et un déficit de pression-vapeur élevé (DPV_). L'opposition des pessières noires à sapin (ES) et des pinèdes grises (PG) est très apparente sur le diagramme d'ordination (Figure 3A). Il en est de même des variables explicatives (Figure 3B). Le passage de l'est vers l'ouest du Québec fait donc appel à des variables des trois familles explicatives naturelles (C, MP, PN).

Le groupe des pessières à sapin (ES_) possède une forte valeur positive sur l'axe 2, comparativement à une forte valeur négative du groupe des pinèdes grises (PG_) sur le même axe. La même logique se présente pour les variables explicatives. Ces diverses valeurs sont présentées à la figure 4A sur laquelle s'opposent les groupes ES (fortes valeurs positives) et PG (fortes valeurs négatives) ainsi que les groupes DABS_ et DPV_. Les différences entre les groupes de variables peuvent également être observées sur les cartes construites à partir des axes canoniques des districts écologiques (*fitted site score*). La carte, tracée à partir des valeurs du second axe (Figure 4B), montre bien l'opposition du groupe ES (Annexe 2) et de ses variables explicatives ainsi que celle du groupe PG et de ses variables explicatives.

En conclusion, des liens peuvent être établis entre :

- la position des groupes de variables réponses sur l'ordination (Figure 3A),
- la position des groupes de variables explicatives sur l'ordination (Figure 3B),

- les valeurs attribuées aux groupes de variables le long des axes canoniques (Figure 4A)

et

- la position des districts écologiques sur les axes canoniques, à l'exemple de l'axe 2 (Figure 4B).

Les paragraphes qui suivent décrivent les quatre premiers axes canoniques. Ces derniers comptent pour 53 % de la variation de la végétation. Les autres axes canoniques de l'analyse de redondance expliquent le reste de la variation. Le lecteur trouvera de l'information supplémentaire dans l'*Atlas* (voir Avant-propos).

L'axe 1 exprime les variations qui surviennent depuis le sud vers le nord du territoire. Ce gradient latitudinal se définit surtout par une diminution de la température moyenne annuelle (TMA_) et de l'importance des épidémies d'insectes (LF, TBE38, TBE99_) au profit d'une bonne représentation de vieux peuplements, c'est-à-dire de peuplements dont l'année d'origine se situe dans les périodes 1700 et 1880 (O1700, O1880) et de superficies couvertes par les brûlis récents (BR_). Bien que ce dernier agencement puisse sembler hétéroclite, il caractérise la portion supérieure du Québec méridional où alternent des vieilles forêts (tourbières, reliefs bien définis) et des forêts perturbées par une cascade de feux (zones planes avec moraine de décrépidité).

Le milieu physique se modifie le long du gradient latitudinal, mais de façon moins importante que les deux familles précitées (climat, perturbations naturelles) puisque plusieurs éléments (ex. : till épais, D_1A) se répartissent sur l'ensemble du territoire. Du Québec méridional vers le Québec septentrional, on note cependant une augmentation de l'altitude moyenne des districts écologiques (ALTI), de la quantité de dépôts organiques présents dans chacun d'eux (D_7_) ainsi que de l'importance relative des moraines de décrépidité (D_1P).

Le gradient latitudinal des perturbations humaines est caractérisé par le passage des coupes partielles (CP), exécutées surtout dans la portion sud du territoire (érablières, bétulaies jaunes et parfois dans les peuplements résineux), vers les coupes totales (CT_) et les feux humains (FEU_A) survenus dans les régions plus nordiques habitées (Abitibi, Lac-Saint-Jean). La position de ces dernières variables à l'intérieur de l'ordination (Figure 3B) indique que l'amplitude du gradient des perturbations humaines est inférieure à celle des familles naturelles (C-MP-PN).

La végétation réagit à tous ces changements des variables explicatives. La gradation s'effectue depuis les érablières (ERS_) et les sapinières (S_) vers des territoires dominés par des peuplements de début de succession (BB, PE, PG) puis vers les pessières noires (E_) et les autres communautés plus septentrionales (DH, PG_, ES_). Les sapinières (S) sont faiblement représentées dans la portion sud du territoire. Par contre, le sapin baumier (SAB) y constitue la seconde essence en importance. Enfin, quelques variables descriptives de la végétation (PB_, FT_, ERFT_, FH_, ERC_) se rassemblent dans la même partie de l'ordination de la figure 3A. Cette position ne correspond pas au gradient latitudinal de ces peuplements. Elle révèle plutôt que ces variables se situent dans des territoires perturbés par diverses activités anthropiques (AU). Cette dernière variable se positionne vers le centre de l'ordination principalement puisque les agglomérations urbaines sont largement éparpillées dans le Québec méridional (Figure 3B).

L'axe 2 caractérise les changements qui surviennent depuis l'ouest vers l'est du Québec méridional (le gradient longitudinal) par le biais de variables qui appartiennent en majorité à trois familles de facteurs : le climat, le milieu physique et les perturbations naturelles. La variation de la végétation expliquée par cet axe (8 %) est nettement inférieure à celle de l'axe 1 (35 %). Le gradient climatique longitudinal est caractérisé par le passage d'une zone continentale (ouest) relativement aride (DPV_) à une zone maritime (est) relativement pluvieuse (PREC_). Ces modifications climatiques correspondent aux changements du milieu physique (MP), notamment le passage de territoires dans lesquels les dépôts organiques (D_7_) abondent vers des zones relativement hautes en altitude (ALTI), bien pourvues de roc (D_R) et de relief prononcé (DABS). Ces modifications du milieu physique couvrent, sur l'axe 2 (de DABS_ à D_7_) une amplitude supérieure à celle observée sur l'axe 1 (de D_5 à D_1P), ce qui laisse supposer que cette famille de facteurs (MP) s'impose avec plus de force le long du gradient longitudinal (axe 2) que le long du gradient latitudinal (axe 1).

En ce qui a trait aux perturbations naturelles, le passage de l'ouest vers l'est révèle une forte diminution des superficies touchées par la livrée des forêts (LF) et des peuplements de la période 1920 (O1920) vers des paysages bien pourvus de vieux peuplements (O1700, O1880). Le gradient longitudinal des perturbations humaines s'exprime faiblement puisque la majorité des variables

descriptives de cette famille se rassemblent vers le centre-ouest de l'ordination. Par ailleurs, la fréquence des feux d'origine humaine (FEUF_A) ainsi que les agglomérations urbaines (AU) se situent tout près des feux de la période 1920 (O1920) (Figure 3B), ce qui indique une étroite relation de ces trois dernières variables.

La végétation réagit aux changements de variables explicatives. Les éléments associés à l'ouest sont surtout : les tourbières non boisées (DH), plusieurs peuplements de début de succession (BB_, PE_, PG_) et les érablières (ERS_, ERR_). Les liens des activités humaines et de la végétation s'établissent surtout par les peuplements de peuplier faux-tremble (PE_). Les éléments associés à l'est sont principalement les peuplements d'épinette noire et de sapin (ES_), les sapinières (S_), l'épinette blanche (EPB) et les cédrières (C_).

L'axe 3, qui explique 6 % de la variation de la végétation, met surtout en évidence les variables descriptives des perturbations naturelles et des perturbations anthropiques. Il s'agit notamment des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE38_, TBE99_), des feux de la période 1920 (O1920), des coupes totales (CT_) et de feux d'origine anthropique (FEU_A). Ces éléments forment un gradient qui croît à la fois du nord et du sud vers le centre du Québec. La bande centrale est donc dominée par des peuplements de début de succession, notamment des bétulaies blanches (BB_), des pinèdes grises (PG_) et des tremblaies (PE_). Les sapinières (S_) appartiennent à cet ensemble, mais ces dernières se situent essentiellement dans le centre-est du Québec méridional (Gaspésie).

L'axe 4, qui explique 4 % de la variation de la végétation, décrit le Québec méridional selon le gradient altitudinal. Aux altitudes les plus élevées (ALTI) correspondent une abondance de till (D_1A), une fréquence élevée de feux naturels (BRF_A) des précipitations abondantes (PREC_), et les peuplements de la période 1880 (O1880). Ces territoires s'opposent aux territoires de basse altitude dominés par les dépôts organiques (D_7_), d'altération (D_8_) ou marins (D_5_) ainsi qu'aux brûlis (BR_) et aux feux d'origine humaine (FEUF_A, FEU_A).

Les zones les plus hautes en altitude sont dominées, le long du gradient latitudinal, par les bétulaies blanches (BB_), les peuplements mixtes de bouleau blanc et d'épinette noire (BBE) et les pessières noires (E_). À l'inverse, les basses altitudes sont

surtout occupées par les tourbières non boisées (DH), les pinèdes grises (PG_) et les tremblais (PE_) dans le nord-ouest comparativement aux sapinières (S_) et aux pessières noires à sapin (ES_) dans l'est, et tout particulièrement dans la partie nord du golfe du Saint-Laurent.

2.2 Le partitionnement de la variation de la végétation du Québec méridional

La connaissance acquise à l'étape précédente montre que les changements de la végétation du Québec méridional s'expriment, le long de quatre axes majeurs (axe 1 à axe 4), par l'intermédiaire de variables appartenant à quatre familles de facteurs : le climat, le milieu physique, les perturbations naturelles et les perturbations humaines. Les analyses sur le partitionnement de la variation de la végétation quantifient l'importance respective de chacune de ces familles (Figure 5).

A. Résultats détaillés du partitionnement selon les fractions définies à la figure 2

Partitionnement selon la variation expliquée à 100 %

Fraction unique par famille de facteurs	
Mpu	7,87
Cu	7,85
PNu	10,41
PHu	3,42
Fractions communes à plusieurs familles	
MP n PN	3,69
MP n C	7,13
C n PN	7,98
MP n PH	0,69
C n PH	1,87
PH n PN	2,86
MP n C n PN	8,20
PH n PN n C	12,39
MP n PH n C	2,30
MP n PH n PN	2,01
MP n PH n PN n C	21,33
Somme	
Fractions uniques	29,55
Fractions communes	70,45
Fractions communes par famille de facteurs	
MPc	45,35
Cc	61,20
PNc	58,46
PHc	43,45
Fractions totales par famille de facteurs	
MPt	53,22
Ct	69,05
PNt	68,87
PHt	46,87
Variation expliquée	100,00

Partitionnement selon la variation totale

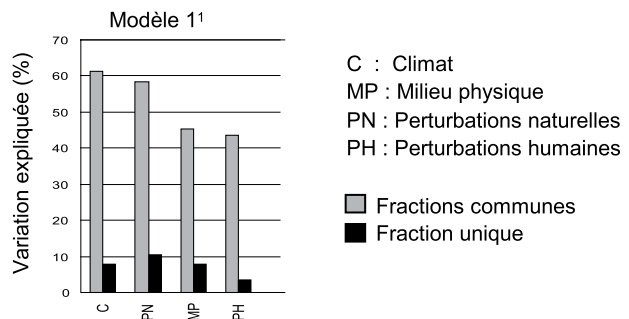
Variation inexpliquée ¹	30,53
Variation expliquée ²	69,47

¹ Fraction 16 de la figure 2.

² Somme des fractions 1 à 15 de la figure 2.

Les analyses montrent, dans un premier temps, que la variation expliquée par l'ensemble des fractions uniques est faible (30 % de la variation totale), comparativement aux fractions communes (70 %) (Figure 5A). Les fractions uniques appartiennent surtout à la famille des perturbations naturelles (PNu = 10,41) (Figures 5A, 5B). On estime que cette valeur est le reflet des liens des peuplements de bouleau blanc (dans l'ouest) et de sapin (dans l'est), d'une part, et des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE38, TBE99), d'autre part. L'association des pessières noires (EE) et des peuplements issus de vieux incendies forestiers (O_1700) jouerait également un rôle dans l'obtention de la fraction unique des perturbations naturelles. Cet argumentaire fait ressortir les éléments de force commentés précédemment à l'axe 3. La faible importance relative des fractions uniques constitue le premier élément de la démonstration d'une

B. Fractions communes et unique par famille de facteurs



¹ Modèle de partitionnement de la variation de la végétation.

C. Variables les plus significatives de la sélection pas à pas (La signification des variables est donnée au tableau 1)

Var.	F
TMA	1277,9
DABS	359,9
DPV	283,1
TBE38	185,8
CP	120,0
D 7	118,9
O1700	119,0
TBE99	86,7
LF	70,4
BR	58,2
AG	56,0
PRECU	46,3
ARI	43,9
EL	43,9
FEUF_A	39,5
CT	36,5

Climat
Milieu physique
Perturbations naturelles
Perturbations humaines

Figure 5. Partitionnement de la variation de la végétation du Québec méridional.

action commune des diverses familles de facteurs dans l'explication de la variation de la végétation du Québec méridional.

La proportion élevée de la variation de la végétation, expliquée par les fractions communes (70 %), illustre les fortes corrélations de la végétation avec l'ensemble des variables explicatives combinées des diverses familles. Cela est appuyé par la variation relativement élevée (21 %) expliquée par la quadruple combinaison $MP \cap PH \cap PN \cap C$. Ce résultat constitue le second élément de la démonstration d'une action commune des diverses familles de facteurs dans l'explication des variations de la végétation. La sélection *pas à pas* des variables explicatives révèle que les variables qui concourent le plus à cette démonstration sont : la température moyenne annuelle (TMA), le déficit de pression-vapeur (DPV), la dénivellation absolue (DABS), les dépôts organiques (D_7), les épidémies de TBÉ (TBE38), les vieilles forêts (O1700) ainsi que les coupes forestières (CP, CT) (Figure 5C). La majorité de ces variables ont joué un rôle prépondérant dans la formation des 4 axes décrits précédemment. La triple combinaison $PH \cap PN \cap C$ explique une variation relativement importante (12 %). Cela signifie que des changements de végétation surviennent sans que le milieu physique se modifie. L'un des exemples les plus révélateurs est la dominance ou la forte représentation du dépôt de till depuis le sud jusqu'au nord du Québec méridional (Annexe 2, D_1A).

En conclusion, la végétation du Québec méridional se modifie le long de quatre principaux gradients (latitudinal, longitudinal, centre du territoire, altitudinal). Elle réagit ainsi à des changements influencés par une vaste gamme de facteurs. Les changements climatiques occupent le premier rang (Figure 5B). Ceux-ci se manifestent surtout le long du gradient latitudinal, mais le gradient longitudinal n'est pas négligeable. Les changements de végétation et de climat sont parallèles à ceux qui se produisent dans les perturbations naturelles. Il en est ainsi du passage d'une **forêt feuillue** perturbée par des chablis vers une **forêt mélangée** dynamisée par les épidémies de TBÉ et d'une **forêt résineuse** qui se développe sous l'influence des feux mais où certains massifs recèlent passablement de vieilles forêts. Le milieu physique réagit moins bien aux changements de végétation observés le long des gradients, tout comme les perturbations humaines. Cette structure de partitionnement correspond au premier modèle défini dans cette étude.

2.3 Les unités homogènes

Une unité homogène se définit comme une : *Portion de territoire aux caractéristiques semblables du point de vue des relations de la végétation (actuelle et potentielle) et de ses variables explicatives, notamment le climat, le milieu physique, les perturbations naturelles et les perturbations humaines; les relations s'exprimant selon plusieurs niveaux de perception*. Cette définition s'intègre aux préoccupations de l'écologie du paysage (Turner 1989, 2005). Elle se rapproche de celle de l'unité biogéographique de Lafond et Ladouceur (1968a,b). La notion de l'intégration des familles de facteurs rejoint les approches de la classification des sols de Jenny (1946) et de la croissance des forêts de Hills (1960).

Les unités homogènes de la présente étude sont définies selon cinq niveaux de perception (Tableau 2, Figures 6 et 7, Annexe 3). **Le premier niveau** de perception se compose de trois unités homogènes qui se succèdent le long du gradient latitudinal (axe 1) : la forêt feuillue (F), la forêt mélangée (M) et la forêt résineuse (R). Ces subdivisions sont similaires à celles présentées par Thibault et Hotte (1985).

Le deuxième niveau prend en compte le gradient longitudinal (axe 2) et permet la reconnaissance de six unités : la forêt feuillue de l'Ouest (FO), la forêt mélangée de l'Ouest (MO), la forêt mélangée de l'Est (ME), la forêt résineuse de l'Ouest (RO), la forêt résineuse du Centre (RC) et la forêt résineuse de l'Est (RE).

Le troisième niveau sert à établir les différences qui surviennent du sud vers le nord à l'intérieur des six unités du second niveau, et aussi reconnaître, au besoin, des portions méridionales, typiques et septentrionales. Par exemple, la forêt mélangée de l'Ouest à bouleau blanc et sapin (MOB) se compose à la fois d'une portion méridionale (MOBm), d'une portion typique (MOBt) et d'une portion septentrionale (MOBs). Les unités de ce troisième niveau sont dénommées sur la base des essences dominantes des paysages, à l'exemple de Lafond et Ladouceur (1968b). Au nombre de 17, ces unités sont constituées d'un nombre variable de districts écologiques regroupés selon une position bien définie le long des axes 1 et 2 du diagramme d'ordination issu d'une analyse de redondance (RDA) (Annexe 4).

Le quatrième niveau divise les unités précédentes selon des caractéristiques régionales particulières et plus fines (ex. : MOBm6). Il se compose de

Tableau 2. Nomenclature du système des unités homogènes du Québec méridional

Niveau de perception								
1	2	3		4	5	Superficie (km²)	Nombre de districts	
		Nom	Code					
Forêt résineuse (R)	du Centre (RC)	à épinette noire typique	RCEt	RCEt1	RCEt1b	48001	88	
					RCEt1a	35458	72	
	de l'Est (RE)	à épinette noire et sapin typique	REEt	REEt7	REEt7a	1197	4	
				REEt6	REEt6b	28611	90	
				REEt6a	22204	67		
		à épinette noire et sapin méridionale	REEm	REEt5	REEt5a	16334	41	
				REEm4	REEm4b	27917	71	
				REEm4a	18090	50		
				REEm3	REEm3b	650	1	
				REEm3a	541	1		
				REEm2	REEm2a	24261	58	
				REEm1b	8573	23		
				REEm1	REEm1a	19212	71	
	de l'Ouest (RO)	à épinette noire et pin gris typique	ROEt	ROEt7	ROEt7a	37945	50	
				ROEt6b	39253	79		
				ROEt6a	9136	35		
				ROEt5b	21824	95		
				ROEt5a	6616	13		
				ROEt4a	8075	32		
		à épinette noire et pin gris méridionale	ROEm	ROEt3	ROEt3a	23347	64	
				ROEm2	ROEm2a	15433	71	
				ROEm1	ROEm1a	16394	36	
Forêt mélangée (M)	de l'Est (ME)	à sapin et bouleau blanc septentrionale	MESs	MESs8	MESs8a	9556	46	
		à sapin et bouleau blanc typique	MESst		MESst7d	1000	4	
					MESst7c	1340	4	
					MESst7b	1341	6	
					MESst7a	3023	10	
				MESst6	MESst6b	3531	7	
					MESst6a	1304	3	
				MESst5	MESst5a	9902	39	
					MESst4b	3499	20	
				MESst4	MESst4a	5153	27	
		à sapin et bouleau blanc méridionale	MESsm	MESsm3	MESsm3b	4472	22	
					MESsm3a	4060	23	
					MESsm2c	1123	4	
				MESsm2	MESsm2b	16346	83	
					MESsm2a	3018	16	
		à sapin et bouleau jaune typique	MEJt	MEJt1		MEJt1d	3743	18
						MEJt1c	17178	79
						MEJt1b	1296	5
						MEJt1a	5206	32
	de l'Ouest (MO)	à bouleau blanc et sapin septentrionale	MOBs	MOBs9	MOBs9b	1194	3	
		à bouleau blanc et sapin typique	MOBt		MOBs9a	15681	56	
					MOBt8c	2962	9	
					MOBt8b	1934	8	
				MOBt7	MOBt8a	17917	87	
		à bouleau blanc et sapin méridionale	MOBm		MOBt7a	11507	44	
				MOBm6	MOBm6b	1176	4	
		à bouleau blanc, sapin et bouleau jaune septentrionale	MOJs		MOBm6a	3752	19	
				MOJs5b	4942	14		
		à bouleau blanc, sapin et bouleau jaune typique	MOJt		MOJs5a	9530	45	
				MOJt4	MOJt4a	6219	20	
					MOJt3b	6794	39	
				MOJt3	MOJt3a	13316	52	
				MOJt2	MOJt2a	21231	100	
MOJt1				MOJt1a	6410	35		
Forêt feuillue (F)	de l'Ouest (FO)	à érable à sucre et bouleau jaune typique	FOJt		FOJt5d	628	3	
					FOJt5c	4937	25	
					FOJt5b	10472	46	
					FOJt5a	13673	69	
		à érable à sucre et tilleul typique	FOTt	FOJt4	FOJt4a	21489	86	
				FOTt3	FOTt3a	12311	60	
				FOTt2	FOTt2b	7618	23	
					FOTt2a	15188	62	
à érable à sucre et caryer cordiforme typique	FOCt	FOCt1	FOCt1a	20634	70			

756675

2539

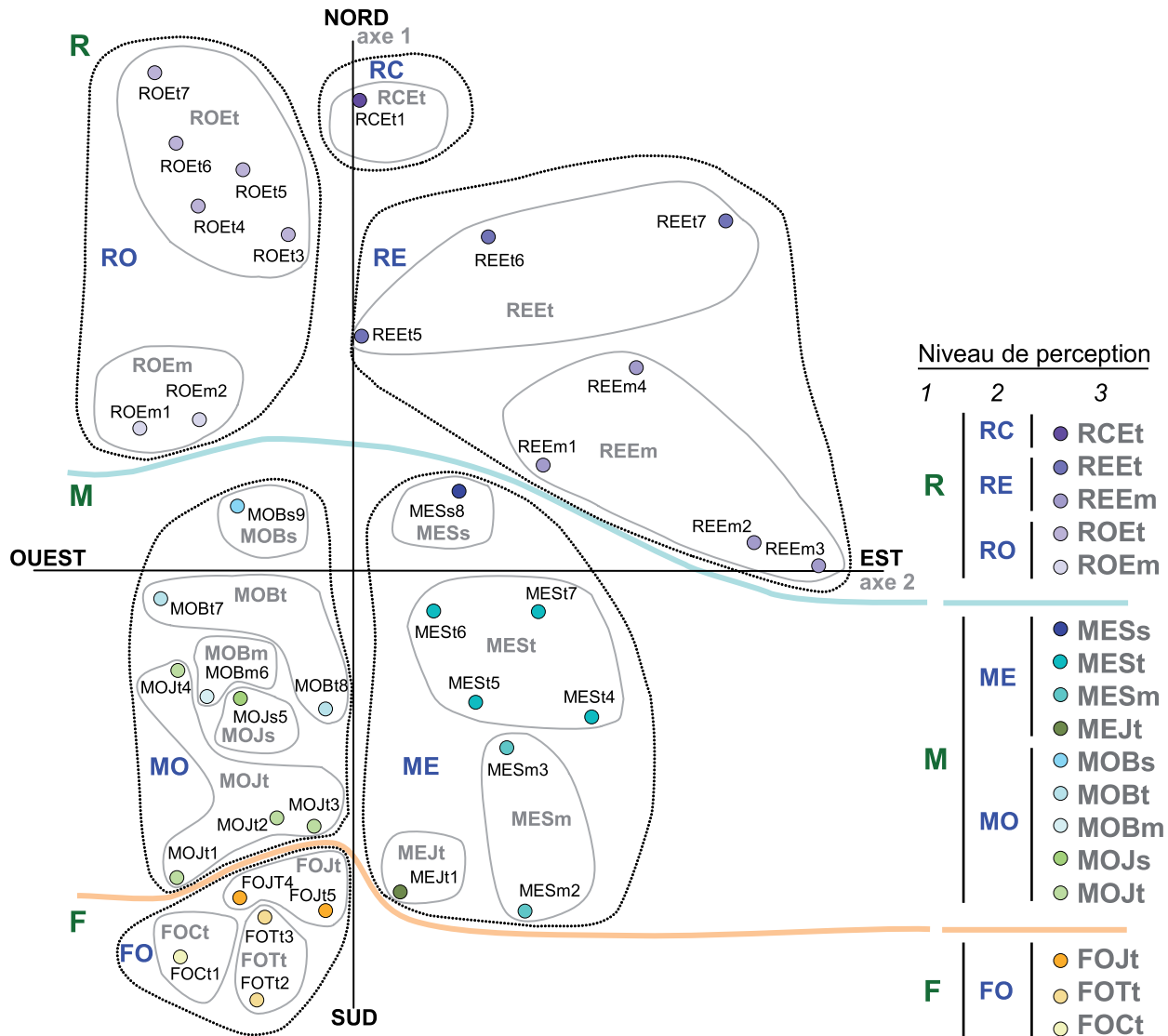


Figure 6. Classification des unités homogènes du Québec méridional selon les quatre premiers niveaux de perception. Les unités sont placées le long des deux premiers axes d'une analyse de redondance (RDA). La signification des codes est donnée au tableau 2.

37 unités positionnées à la figure 6. Cette dernière montre les centroïdes (moyenne des valeurs des axes) des districts écologiques composant chacune des unités homogènes.

Le cinquième niveau identifie les territoires d'une même unité de classification de niveau 4, mais disjointes géographiquement (ex. : MOBm6a et MOBm6b). À ce dernier niveau, on associe également des unités homogènes connexes mais divergentes selon des caractéristiques mineures (ROEt6a, ROEt6b). Ce niveau se compose de 65 unités.

Nous avons intentionnellement omis d'assigner des qualificatifs distincts aux cinq niveaux de

perception (ex. : zone, sous-zone) afin d'éviter la confusion avec les termes déjà en usage. De plus, l'utilisation de tels vocables semble peu appropriée puisque la définition de chacun des cinq niveaux de perception est la même. Seule l'échelle de représentativité se trouve modifiée. Par ailleurs, la codification des unités homogènes s'inspire de celle utilisée par Payette et Bouchard (2001). Celle-ci permet plus facilement d'identifier l'unité homogène décrite (ex. : MESm, forêt mélangée de l'est à sapin et bouleau blanc méridionale).

Le diagramme d'ordination montrant la distribution des unités homogènes sur les deux principaux axes d'ordination (figure 6) rejoint la typologie de Lertzman et Fall (1998) ainsi que Turner *et al.*

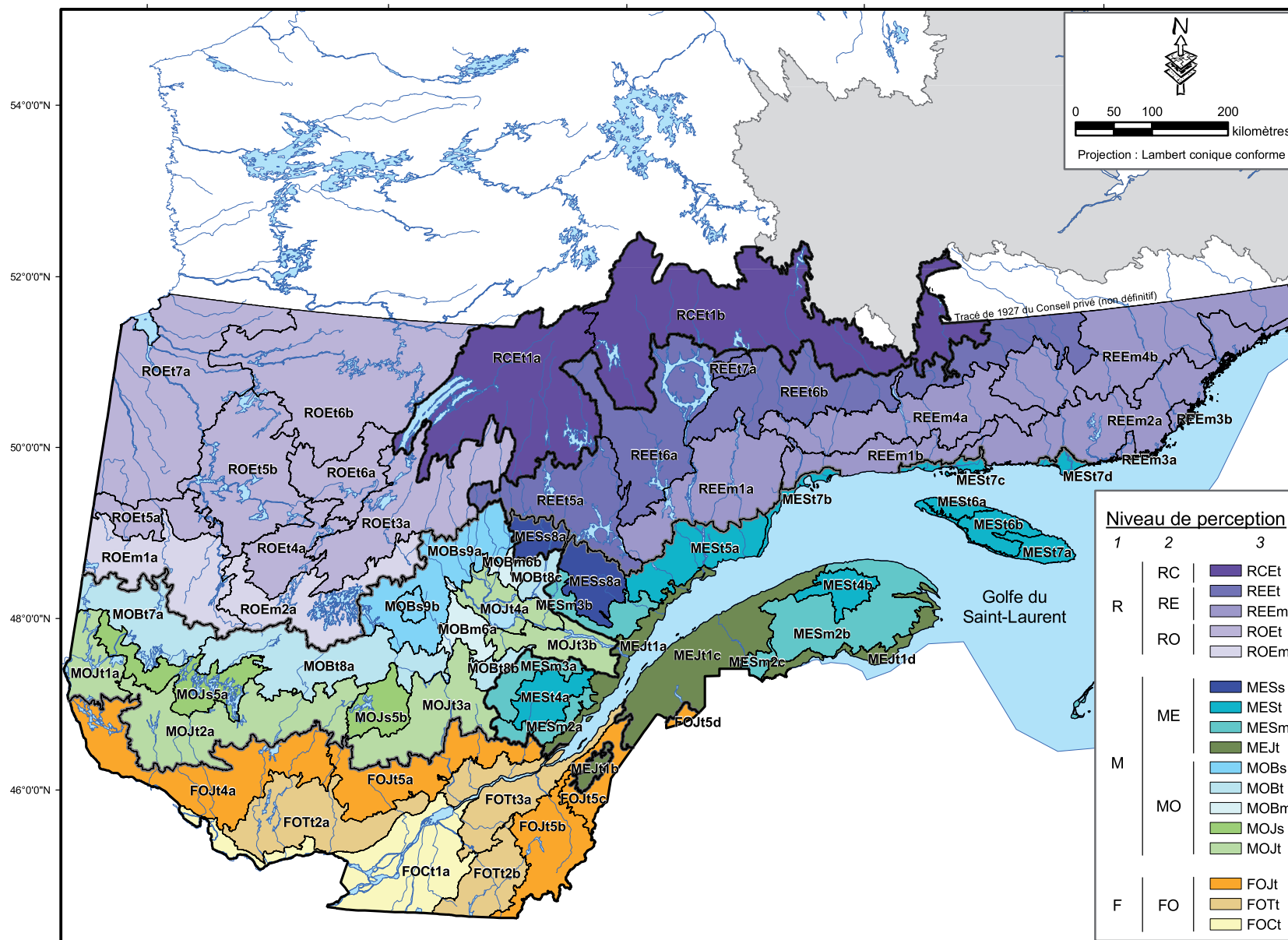


Figure 7. Carte des unités homogènes du Québec méridional selon les niveaux de perception 1 à 5. La signification des codes est donnée au tableau 2.

(1993) basée sur des variables descriptives des régimes de perturbations. Ici, la même logique est maintenue mais notre typologie repose sur l'intégration de la végétation et de ses variables explicatives.

Dans ce qui suit, les unités homogènes sont décrites principalement selon les deux premiers niveaux de perception. La présentation est orientée sur les traits dominants et distinctifs des unités homogènes de niveau 4. Le lecteur qui désire obtenir plus d'information est invité à consulter les tableaux descriptifs des unités (Annexe 5) ainsi que l'*Atlas*.

La description des unités homogènes est accompagnée d'analyses de partitionnement de la variation de la végétation. Ces analyses sont utilisées afin de caractériser les liens végétation - familles de facteurs à une échelle plus raffinée que celle définie précédemment pour le Québec méridional. Les résultats de ces partitionnements varient selon les territoires, notamment par rapport aux fractions communes (ex. MPC) ainsi que par rapport aux fractions uniques (ex.: MPu) de chacune des familles de facteurs. Ces fractions expriment la variation de la végétation expliquée par les diverses familles. Quatre modèles se démarquent (Figure 8, Tableau 3). Chacun d'eux constitue la représentation synthèse des relations de la végétation et de chacune des familles de facteurs observées dans un territoire donné.

Le premier modèle se caractérise par une forte proportion de la variation de la végétation expliquée par le climat (fraction commune élevée). Les perturbations naturelles suivent de près alors que le milieu physique est relégué au troisième plan. Les perturbations humaines jouent un rôle secondaire.

Le deuxième modèle se singularise par une dominance de variation de la végétation attribuée aux perturbations naturelles. Cette famille est suivie de près par le climat. Par contre, le milieu physique demeure en retrait. Les perturbations humaines jouent un rôle secondaire.

Le troisième modèle est apparenté au deuxième par la dominance des perturbations naturelles. Cependant, il s'en distingue par l'influence accrue des perturbations humaines. Le modèle met en évidence les territoires les plus touchés par les perturbations humaines (le modèle anthropique). La forte proportion de la variation de la végétation expliquée par la triple combinaison PH $\cap$ PN $\cap$ C décrit cette réalité.

Le quatrième modèle diffère passablement des trois premiers. Le climat et le milieu physique constituent les familles les mieux représentées. La double combinaison MP $\cap$ C explique une variation supérieure aux autres modèles. En général, les variables qui s'expriment le long du gradient longitudinal, autant celles du climat (ex.: DPV) que du milieu physique (P_DEF), décrivent une portion importante des variations de la végétation. De plus, les fractions uniques figurent parmi les plus élevées. Par ailleurs, même si les familles du climat et du milieu physique montrent une variation supérieure aux perturbations naturelles, c'est la triple combinaison (MP $\cap$ C $\cap$ PN) ou la quadruple (MP $\cap$ PH $\cap$ PN $\cap$ C) qui décrit la plus forte variation des combinaisons. L'hypothèse de l'importance combinée de plusieurs familles de facteurs dans l'explication de la végétation n'est donc pas contredite par aucun des modèles.

Il n'existe pas de relations des modèles et de la superficie couverte par les territoires étudiés. Par contre, la forme de l'unité joue un rôle important. Les territoires des trois premiers modèles possèdent une forme allongée verticale, comparativement à une forme allongée et horizontale pour les territoires du quatrième modèle.

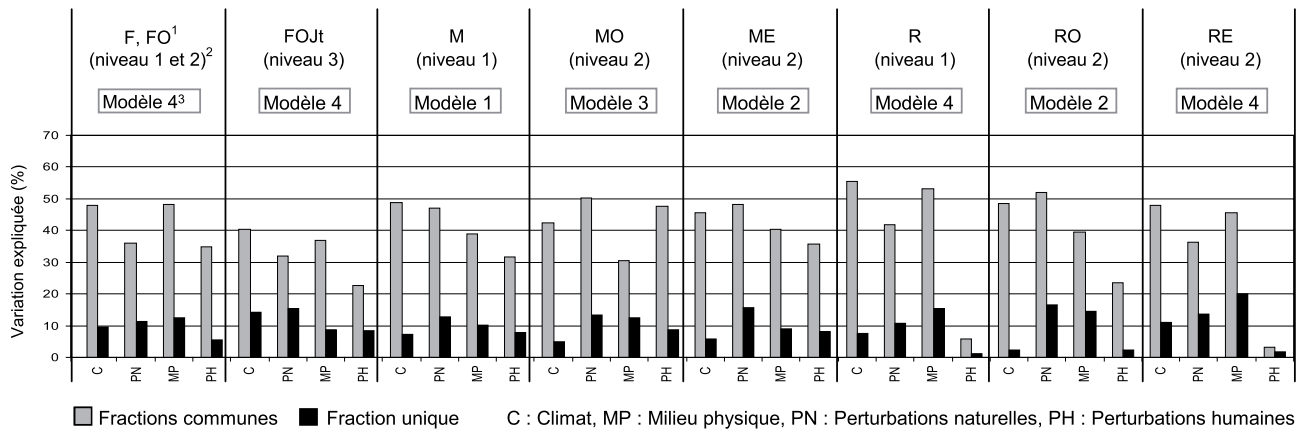
2.3.1 La forêt feuillue (niveau 1)

La forêt feuillue se compose en majorité aujourd'hui d'érablières à sucre (ER), d'érablières à bouleau jaune (ERBJ) et d'érablières à feuillus tolérants à l'ombre (ERFT) (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). La représentation des essences (en surface terrière) dans les peuplements et dans les paysages s'établit comme suit : érable à sucre (ERS), sapin baumier (SAB), érable rouge (ERR), bouleau jaune (BOJ) et thuya occidental (THO).

– La forêt feuillue de l'Ouest (niveau 2)

La position des territoires dominés par les érablières sur le diagramme d'ordination des unités homogènes (Figure 6) nous incite, tout comme pour les autres unités localisées à gauche de l'axe 1, à considérer les érablières comme faisant partie de la portion ouest du Québec et ainsi les regrouper sous le vocable des forêts feuillues de l'Ouest (FO). La forêt feuillue de l'Ouest se subdivise en trois unités (niveau 3) : la forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et caryer cordiforme (FOC), à érable à sucre et tilleul (FOT) et à érable à sucre et bouleau jaune (FOJ). Toutes ces unités sont reconnues comme typiques (suffixe t). Bien que les appellations soient légèrement différentes, ces

A. Fractions communes et unique par famille de facteurs.

B. Variables les plus significatives de la sélection *pas à pas*. (La signification des variables est donnée au tableau 1).

Var.	F	Var.	F	Var.	F	Var.	F	Var.	F	Var.	F	Var.	F	Var.	F
DEGJ	114,7	ARI	46,3	DEGJ	163,8	TMA	113,4	CP	110,7	DPV	325,8	GH	155,6	DPV	76,2
ARI	45,0	FR	24,4	TMA	124,5	EL	60,5	TMA	48,1	P_DEF	191,7	PRECU	73,7	TMA	50,1
DABS	43,6	DEGJ	16,5	CP	84,7	CP	34,8	P_A	34,1	TMA	132,6	D_5A	51,0	D_R	28,4
TBE38	17,0	P_A	14,3	EL	66,0	FR	33,6	DPV	29,8	O1700	107,2	LF	42,3	O1700	23,5
P_A	14,3	CP	12,8	O1700	50,2	P_DEF	33,3	TBE99	21,4	D_7	99,0	JSG	32,7	P_A	18,6
O1700	13,9	O1700	11,8	FR	38,6	ARI	23,3	AG	20,9	LF	36,2	O1920	30,1	AF	11,2
D_5S	12,1	TBE99	7,9	TBE99	35,8	CT	16,7	PRECU	18,0	BR	32,9	JSGC	23,5	CT	10,8
FEUF_A	10,6	JSGC	7,6	ARI	25,0	O1700	15,6	O1700	14,4	D_R	27,6	D_R	19,1	P_DEF	10,5
CP	9,5	D_EAU	6,4	DPV	22,9	D_7	13,3	TBE38	12,5	D_4GA	26,5	EVAP0	16,0	O1880	10,1
TBE99	8,6	BRF_A	5,1	P_DEF	22,7	D_4GA	12,3	EL	11,6	O1880	24,8	ALTI	15,6	D_2	9,0
LF	7,4	DABS	5,1	ALTI	20,6	TBE99	9,9	AF	9,2	TBE99	24,7	D_4GA	15,4	D_7	7,6
AU	7,3	TBE38	4,8	CT	19,2	BRF_A	8,7	CT	8,3	D_EAU	17,3	ARI	15,0	ARI	7,5
FR	7,1	PRECU	4,5	D_7	16,0	JSG	8,0	O1900	7,3	DABS	16,4	EL	14,3	PRECT	5,9
PRECU	6,7	EL	4,1	D_4GA	13,4	ALTI	7,2	EP	6,1	ARI	14,3	TBE99	8,9	DEGJ	5,8
AG	6,6	O1880	4,1	D_R	12,5	LF	6,0	P_DEF	6,0	PRECT	12,8	D_1A	7,9	DABS	5,7
D_EAU	6,3	AG	3,7	AG	11,3	DABS	5,7	D_7	5,1	FEUF_A	12,6	D_EAU	7,1	D_EAU	5,0

Climat | Milieu physique | Perturbations naturelles | Perturbations humaines

¹ Unité homogène dont la signification est donnée au tableau 2.

² Niveau de perception de l'unité homogène.

³ Modèle de partitionnement de la variation de la végétation.

Figure 8. Partitionnement de la variation de la végétation de quelques unités homogènes du Québec méridional.

subdivisions sont utilisées depuis les travaux de Dansereau (1957) et de Grandtner (1966a).

La forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et caryer cordiforme (FOCt) est dominée par des reliefs plats (pentes nulles, P_A), des dépôts marins (D_5A, D_5S) et des terres agricoles (AG). Les érablières à sucre (ER) ainsi que les érablières rouges typiques ou résineuses (EROR) comptent pour moins de 10 % de la superficie totale. Les essences les plus abondantes sont l'érable rouge, les essences de l'érablière à Caryer (*Carya sp.*, *Quercus bicolor*... codifiées ERC) et l'érable à sucre.

La forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et tilleul (FOTt) présente des conditions écologiques variées. Une première unité (FOTt2a) appartient

au massif des Laurentides. Une seconde (FOTt3a) présente des caractéristiques similaires de pente et de dépôts de surface à la forêt feuillue de l'Ouest d'érable à sucre et caryer (FOCt). Enfin, une troisième unité (FOTt2b) est localisée dans le massif des Appalaches. Ces deux unités de massifs montagneux sont nettement dominées par l'érable à sucre. L'unité localisée dans les basses terres montre souvent des sols plus humides associés à un relief relativement plat. L'érable rouge et le sapin baumier y sont bien représentés.

La forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et bouleau jaune (FOJt) appartient autant au massif des Laurentides (portion nord) qu'à celui des Appalaches (portion sud). Le relief y varie de

Tableau 3. Partitionnement détaillé de la variation de quelques unités homogènes du Québec méridional. La description des fractions et la signification des familles de facteurs sont présentées à la figure 2

Partitionnement selon la variation expliquée fixée à 100 %

	F, FO ¹ (niveau 1 et 2)	FOJt (niveau 3)	M (niveau 1)	MO (niveau 2)	ME (niveau 2)	R (niveau 1)	RO (niveau 2)	RE (niveau 2)
Fractions uniques								
MPu	12,39	8,74	10,09	12,59	9,02	15,32	14,49	20,11
Cu	9,47	14,23	7,13	4,89	5,83	7,67	2,23	10,95
PNu	11,46	15,48	12,82	13,27	15,78	10,77	16,62	13,64
PHu	5,51	8,40	7,82	8,75	8,01	1,14	2,27	1,89
Fractions communes à plusieurs familles								
MPnPN	4,96	5,41	4,24	3,73	6,51	6,07	7,09	5,04
MPnC	12,04	11,83	6,30	1,75	5,92	22,31	8,82	17,58
CnPN	6,39	7,57	8,82	4,61	6,93	7,24	9,26	4,92
MPnPH	3,73	1,94	1,45	2,50	1,03	0,84	2,57	-0,74
CnPH	3,61	4,75	4,36	3,83	2,52	0,19	1,06	0,98
PHnPN	1,90	2,48	3,72	5,90	4,10	2,74	6,29	1,61
MPnCnPN	3,08	5,66	11,00	2,83	6,14	23,58	15,70	22,55
PHnPNnC	1,22	1,41	6,45	15,65	7,55	1,84	8,41	0,37
MPnPHnC	5,69	2,55	2,84	2,18	3,63	-0,21	0,04	-0,62
MPnPHnPN	2,55	3,08	3,88	5,95	4,03	-0,13	-0,11	-0,44
MPnPHnPNnC	16,01	6,47	9,09	11,57	12,99	0,62	5,27	2,18
Sommations								
Fractions uniques	38,82	46,85	37,85	39,51	38,64	34,91	35,61	46,59
Fractions communes	61,18	53,15	62,15	60,49	61,36	65,09	64,39	53,41
Fractions communes par famille de facteurs								
MPc	48,07	36,93	38,80	30,51	40,25	53,09	39,38	45,54
Cc	48,04	40,24	48,86	42,42	45,69	55,58	48,55	47,95
PNc	36,11	32,08	47,19	50,24	48,26	41,97	51,90	36,21
PHc	34,72	22,68	31,79	47,57	35,86	5,89	23,53	3,33
Fractions totales (uniques et communes) par famille de facteurs								
MPt	60,46	45,66	48,89	43,10	49,27	68,41	53,87	65,65
Ct	57,50	54,48	55,99	47,31	51,52	63,24	50,78	58,90
PNt	47,57	47,57	60,01	63,51	64,04	52,74	68,52	49,85
PHt	40,23	31,08	39,61	56,33	43,87	7,03	25,80	5,21
Variation expliquée	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Partitionnement selon la variation totale

Variation inexpliquée ²	48,71	46,24	45,61	46,55	45,23	36,66	41,13	51,97
Variation expliquée ³	51,29	53,76	54,39	53,45	54,77	63,34	58,87	48,03

¹ La signification des unités homogènes est donnée au tableau 2.

² Fraction 16 de la figure 2.

³ Sommation des fractions 1 à 15 de la figure 2.

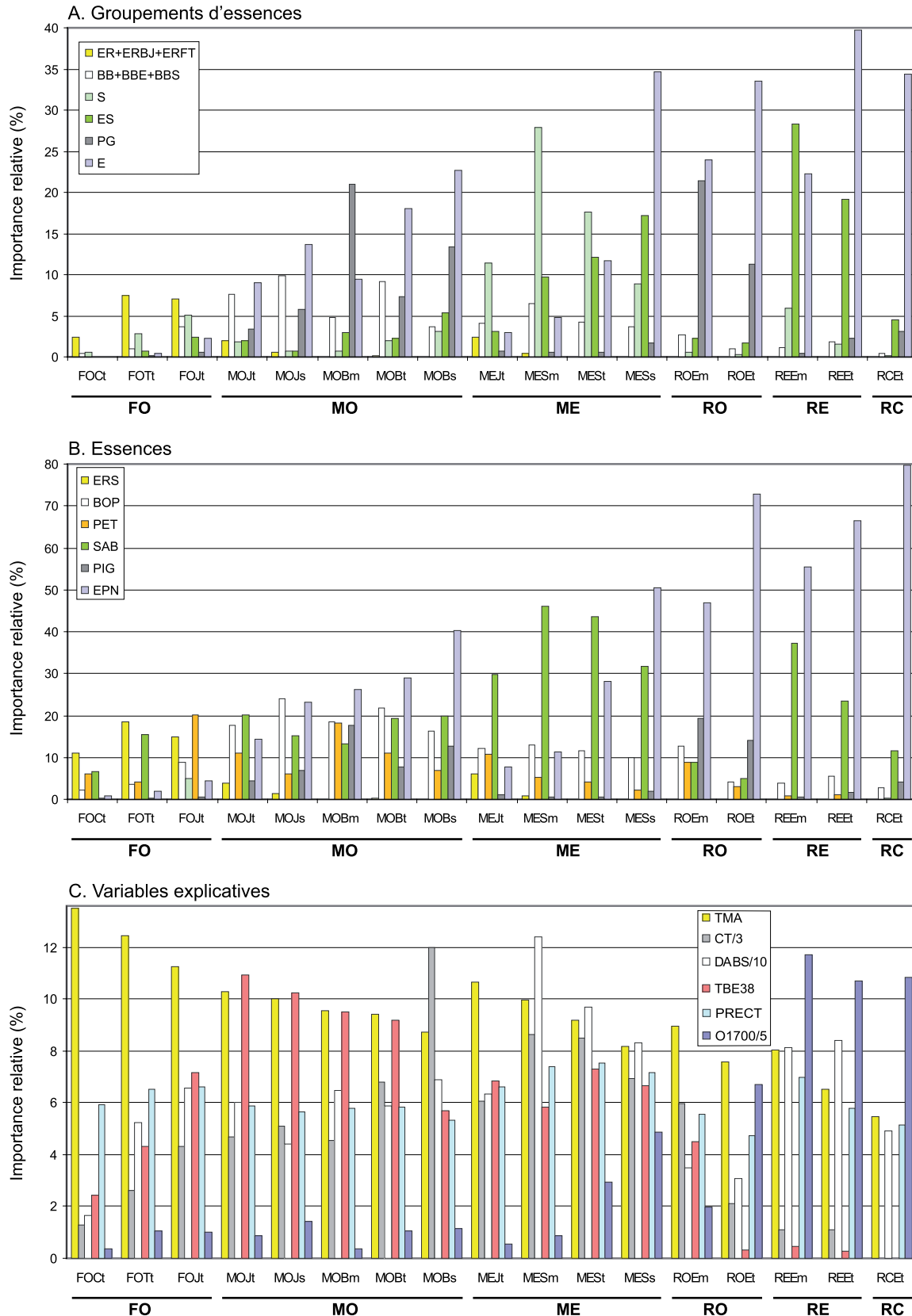


Figure 9. Description abrégée des unités homogènes selon le troisième niveau de perception. La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.

Tableau 4. Description abrégée des unités homogènes du Québec méridional selon le quatrième niveau de perception. La signification des variables est donnée au tableau 1

Niveau 4	Superficie (km ²)	Nombre de districts	Variables descriptives de la végétation											Variables explicatives										
			ER ERBJ ERFT	BJ	PB	BB BBE BBS	PE PEE PES	PG	S	ES	DH	DS	E	D_4GA D_4GS	D_5A D_5S	D_8 D_8AR	DABS	PRECT	TMA	TBE38	BR	O1700	CT	FEUF_A
RCEt1	83459	160				1,2		3,1	0,1	4,6	6,2	19,8	34,4	0,4			49,2	920	-3,5		19,0	54,2		0,1
REEt7	1197	4				1,9		0,4	0,8	27,7	0,8	37,8	27,3			0,2	132,4	1200	-4,7			74,4		0,1
REEt6	50815	157				5,3	0,3	1,8	1,2	20,4	2,0	14,2	40,5	0,2			83,5	980	-2,7		3,9	58,0	0,6	0,2
REEt5	16334	41				5,9	1,7	3,9	2,5	13,8	2,6	3,7	37,7	0,4			81,3	940	-1,3	1,3	5,4	33,8	14,3	2,0
REEm4	46006	121				2,8	0,3	0,1	5,3	30,7	3,0	19,3	25,0	0,2	0,3		80,9	1110	-1,6	0,1	5,0	67,2		0,1
REEm3	1191	2						0,1	15,4	17,3	26,8	33,5	1,9		27,6		41,9	1100	1,0		0,2	74,3	0,6	0,3
REEm2	24261	58				0,9	0,2		4,3	29,9	4,1	38,4	7,8	0,1	5,0		66,1	1120	0,1	0,0	0,6	63,1		0,1
REEm1	27785	94				5,3	2,1	1,2	7,6	24,4	1,9	11,5	27,9	0,3	1,4		92,7	1080	-0,8	1,3	1,6	44,1	9,8	1,5
ROEt7	37945	50						0,4	3,3		0,3	61,1	4,7	2,9	4,3		10,8	760	-1,4		5,1	57,5	0,1	0,2
ROEt6	48389	114				1,7	0,4	17,5		0,4	15,2	11,3	18,2	2,2	1,0		36,6	860	-2,1		20,3	23,2	1,4	0,7
ROEt5	28441	108				3,3	5,1	8,6	0,3	0,9	13,2	1,3	45,8	45,4			25,0	880	-1,0	0,2	4,3	33,6	13,9	1,1
ROEt4	8075	32				5,6	1,7	15,2	0,1	3,3	13,7	1,3	39,8	10,1			33,7	920	-0,5	1,7	3,1	25,1	5,7	1,2
ROEt3	23347	64				6,8	1,4	8,7	0,8	5,7	8,6	1,5	47,5	0,4			45,0	970	-1,2	0,8	4,4	36,9	7,7	1,7
ROEm2	15433	71				9,1	4,9	25,2	0,5	2,7	10,6	0,5	24,2	2,6			41,7	980	-0,1	4,3	2,4	9,5	15,5	2,3
ROEm1	16394	36				5,6	12,0	14,0	0,7	1,2	13,4	0,7	23,7	46,3			21,1	910	0,0	4,8	4,2	10,9	22,7	14,0
MESs8	9556	49				10,6	2,8	2,1	8,8	16,5	1,9	1,2	34,6				82,1	1120	-0,8	6,7	1,2	23,7	22,7	2,4
MESi7	6705	24	0,1			1,7	1,0	0,6	15,1	12,5	27,9	16,8	6,1		9,3	3,8	24,9	1060	1,3	0,5	4,3	34,1	6,9	6,7
MESi6	4835	10				2,3	2,2		27,2	17,7	9,9	4,0	14,2		0,1	50,0	32,0	1020	1,2	0,0	5,7	33,3	8,9	0,2
MESi5	9902	39				9,0	10,0	1,4	10,3	16,6	1,6	5,9	15,6		3,2		104,8	970	0,3	7,3	3,7	16,3	30,3	5,6
MESi4	8652	47	0,2	0,5	0,1	9,7	2,3		32,8	12,2	1,0	2,7	9,1	0,2		11,2	131,8	1310	-0,7	8,1	1,2	8,7	34,7	2,8
MESm3	8531	45		1,3		27,7	7,7	0,4	7,2	6,8	1,3	1,1	13,5	1,2			106,7	1230	0,1	11,7	1,6	4,9	25,3	2,3
MESm2	20487	103	1,3	4,6	0,1	19,4	9,2	0,6	27,9	9,7	0,3	0,9	4,7	0,1	0,5	50,5	123,9	1140	1,0	5,8	1,0	4,4	25,8	5,0
MEJt1	27423	134	7,1	3,2	0,2	12,4	22,3	0,7	11,4	3,1	1,5	1,2	2,9	0,9	6,9	20,1	63,4	1060	1,7	6,8	0,8	2,7	18,2	15,3
MOBs9	16874	56				11,2	6,3	13,7	2,9	5,3	3,3	1,7	22,1	0,1	0,4		69,3	930	-0,3	5,6	8,9	5,5	35,2	3,2
MOBt8	22813	104	0,4	1,4	0,1	33,6	7,4	7,9	2,3	2,6	3,3	0,4	18,7	0,7			71,8	1020	0,4	9,1	1,4	5,9	22,5	2,6
MOBt7	11507	44		0,1		13,7	17,4	6,1	1,1	1,2	10,4	2,5	16,3	40,6			28,0	900	0,5	9,4	2,3	4,0	15,7	33,6
MOBm6	4928	23		0,5		14,4	24,9	21,0	0,7	3,0	3,1	2,8	9,5	1,0	0,2		64,9	980	0,6	9,5	6,5	1,7	13,7	12,1
MOJs5	14473	59	1,8	4,5	1,7	29,7	6,9	5,8	0,7	0,7	5,4	0,4	13,7	5,8			43,9	960	1,0	10,2	0,5	7,2	15,3	3,0
MOJt4	6219	20	0,2	0,2	0,1	4,6	20,2	9,8	0,8	0,9	13,0	0,9	3,5	0,6	33,7	0,4	25,9	930	1,2	8,0	3,0	0,3	11,5	35,4
MOJt3	20109	91	3,5	8,0	0,5	24,9	21,9	3,8	3,5	3,8	1,9	1,5	7,9	0,3	2,7		80,3	1010	1,2	13,4	0,6	2,4	20,6	13,2
MOJt2	21231	100	10,7	14,5	2,9	25,8	7,9	1,6	0,9	0,9	3,4	0,1	11,6	0,7			56,5	1010	1,4	9,9	0,4	7,5	11,4	1,8
MOJt1	6410	35	0,8	1,4	0,6	19,2	30,2	3,8	0,7	1,1	5,0	1,5	7,4	24,5			39,6	930	1,2	9,1	0,6	2,8	6,0	18,1
FOJt5	29710	143	20,9	9,8	0,5	11,0	12,2	0,2	6,9	3,3	1,3	0,1	2,2	0,3	1,7	0,1	66,3	1120	2,3	5,4	0,2	3,7	15,4	11,5
FOJt4	21489	86	22,0	13,3	7,4	10,9	14,7	1,0	2,1	1,0	2,6		2,5	2,9			64,8	970	2,2	10,0	0,2	7,6	8,8	9,3
FOTt3	12311	60	10,5	0,5	0,6	2,4	12,1	0,1	3,2	0,9	3,4		0,7		58,7		18,9	1050	3,6	3,4		3,6	9,4	14,5
FOTt2	22805	85	31,1	3,3	2,8	3,6	11,2		2,6	0,6	1,1	0,1	0,2	2,6	5,2		76,3	1050	3,3	5,0		6,3	6,8	25,3
FOCt1	20634	70	7,0	0,1	2,5	1,4	5,8	0,1	0,5	0,1	1,7	0,1	0,1	0,3	45,8		16,7	990	4,5	2,4		1,8	3,8	9,3
756675			2539																					

Note : Les données inférieures à 0,05 ne figurent pas sur ce tableau.

coteaux à collines et hautes collines. Les dépôts se composent majoritairement de matériaux glaciaires (till épais et till mince). La végétation regroupe surtout diverses érablières. Comme essences, le bouleau jaune et le sapin sont plus abondants que dans le reste de la forêt feuillue.

Le partitionnement de la variation de la végétation effectué dans la forêt feuillue de l'Ouest révèle que le climat (Cc) et le milieu physique (MPc) sont les deux principales familles à se modifier concurremment à la végétation (Figure 8, Tableau 3). Comme l'indiquent les valeurs de F (Figure 8B), l'influence du climat s'affaiblit considérablement par rapport à la position dominante qu'il occupait dans le Québec méridional (Figure 5). Le climat de la forêt feuillue de l'Ouest est défini autant par le gradient latitudinal (DEGJ) que par le gradient longitudinal (ARI).

Le milieu physique est la deuxième famille en importance. Cette famille s'exprime surtout le long du gradient longitudinal, et particulièrement par une hausse de la dénivellation absolue (DABS) et une baisse des pentes faibles (P_A) ainsi que des dépôts marins (D_5S) depuis les basses terres (FOCt1 et FOTt3) vers les massifs (FOTt2, FOJt4, FOJt5). La variation relativement élevée de la combinaison MP∩C traduit la force des liens du climat et du milieu physique avec la végétation.

Les perturbations naturelles constituent la troisième famille en importance. Des basses terres vers les hautes terres, cette famille est surtout caractérisée à la fois par la hausse des peuplements touchés par les épidémies de TBÉ (TBE38, TBE99) et de la livrée des forêts (LF) ainsi que par la superficie des vieux peuplements (O1700). Les variations des perturbations humaines (PH) sont du même ordre de grandeur que celles des perturbations naturelles. Elles sont le reflet de changements qui se produisent dans l'utilisation des terres, notamment par rapport à l'importance des terres agricoles (AG) et des friches (FR) des basses terres, comparativement aux feux d'origine anthropique (FEUF_A) et aux coupes partielles (CP) des hautes terres.

Les variations de la végétation expliquées par les diverses familles dans la forêt feuillue, notamment l'importance relative des fractions uniques et communes, sont typiques du quatrième modèle de partitionnement. Les fractions communes s'expriment principalement par la quadruple combinaison des familles MP∩PH∩PN∩C. À elle seule, cette combinaison explique 16 % de la variation de la végétation (Tableau 3). Bien

que cette valeur soit inférieure à celle du Québec méridional, elle demeure supérieure à celle de tous les autres partitionnements.

Une analyse de partitionnement de la forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et bouleau jaune (FOJt) a été effectuée afin de connaître les gradients écologiques effectifs de ce territoire. C'est le seul partitionnement réalisé dans des unités homogènes de troisième niveau. Les résultats montrent certaines similitudes avec ceux de la forêt feuillue. Les deux unités sont associées au quatrième modèle de partitionnement, c'est-à-dire celui dominé par les gradients du climat et du milieu physique. Malgré cette similitude, on note une baisse généralisée de la variation expliquée par les fractions communes par famille au profit des fractions uniques. Ces dernières expliquent 47 % de la variation de la végétation. Seule la forêt résineuse de l'Est (RE) montre une valeur aussi forte.

Par ailleurs, les fractions uniques sont particulièrement élevées dans les familles des perturbations naturelles (PNu, 15 %) et du climat (Cu, 14 %) (Tableau 3). Ces fractions uniques témoignent du climat moins aride (ARI) et plus froid (DEGJ5) qui règne dans l'unité la plus à l'est (FOJt5) comparativement à celles localisées plus à l'ouest. De plus, la fraction unique des perturbations naturelles est interprétée comme un bon indicateur de la fréquence élevée des feux de foudre (BRF_A) dans l'unité la plus à l'ouest (FOJt4) et la mieux pourvue en chêne rouge du Québec méridional (voir *Atlas*, carte 38). La rareté des vieilles forêts (O1700) confirmerait également ce phénomène.

2.3.2 La forêt mélangée (niveau 1)

La forêt mélangée se compose surtout de bétulaies blanches (BB, BBE, BBS), de sapinières (S), de pessières noires (E), de pessières noires à sapin (ES), de pinèdes grises (PG) et de tremblaies (PE, PEE, PES) (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). Cinq essences dominent les paysages : le bouleau blanc (BOP), le sapin baumier (SAB), l'épinette noire (EPN), le pin gris (PIG) et le peuplier faux-tremble (PET). L'importance relative des ces groupements d'essences et essences varie au rythme des gradients écologiques qui structurent le territoire.

L'influence des épidémies de tordeuses des bourgeons de l'épinette (TBÉ) est le trait prépondérant de la forêt mélangée. Près de 25 à 30 % des unités homogènes les plus vastes de la forêt mélangée de l'Ouest (MOJt2, MOBt8) avaient subi des épidémies

légères au moment de la cartographie du deuxième programme d'inventaire décennal (*SIFORT-2*). Une proportion aussi forte était observée dans quelques unités de la forêt mélangée de l'Est, notamment les basses altitudes de la Gaspésie (MESm2) ainsi que dans les basses altitudes de la Réserve faunique des Laurentides et du Mont Valin (MESm3). En plus des épidémies de TBÉ, la forêt mélangée montre de fortes concentrations de peuplements issus de feux de la période 1920 (O1920). Enfin, les activités agricoles (FR, AG) marquent le paysage et sont parfois fort bien représentées (MOJt4, MEJt1, MOJt1, MOBt7).

La composition des peuplements et l'importance relative des essences varient passablement depuis la portion sud vers la portion nord de cette unité. L'épinette noire (EPN) est l'essence qui montre les plus fortes variations. Par exemple, la représentation de cette essence dans l'unité MOJt2 est de l'ordre de 15 %, comparativement à 30 % dans l'unité juste au nord (MOBt8). Par contre, l'unité MOJt2 est celle dans laquelle les essences méridionales sont les plus abondantes, notamment le bouleau jaune (BOJ), l'érable rouge (ERR), l'érable à sucre (ERS) et les pins (rouge et blanc, PIN). Des variations similaires surviennent depuis l'ouest vers l'est de la forêt mélangée et elles se traduisent surtout par le passage d'une bonne représentation des pinèdes grises (PG) vers les sapinières (S) et les pessières noires à sapin (ES). Le bouleau blanc (BOP) préfère de son côté l'ouest et les basses altitudes des unités méridionales de l'est.

À la suite de ce qui précède, comment pouvons-nous expliquer les relations des familles de facteurs et des changements de végétation observés dans la forêt mélangée? D'abord, les deux gradients climatiques (latitudinal – DEGJ, TMA et longitudinal – ARI, DPV) interviennent et ils expliquent la plus forte variation de la végétation (Figure 8, Tableau 3). À titre d'exemple du gradient latitudinal, le nombre de degrés-jours de croissance passe de près de 1400 dans la portion sud du territoire, à près de 1100 dans la portion nord. Ensuite, les perturbations naturelles mettent en opposition les territoires les plus touchés par les épidémies (EL, TBE99), à l'exemple des basses altitudes de la Réserve faunique des Laurentides (MESm3), et les territoires bien pourvus de vieux peuplements (O1700), à l'exemple de l'île d'Anticosti (MEST6).

Plusieurs variables du milieu physique entrent en ligne de compte, mais leur pouvoir explicatif (comme révélé par les valeurs de F) est inférieur à celui

des familles précédentes (C, MP). L'analyse des pessières noires à sapin (ES) facilite l'explication de tels résultats (Annexe 2). Ces peuplements sont situés dans l'ensemble de la forêt mélangée de l'Est à sapin et bouleau blanc typique (MEST). Ce territoire est caractérisé par des conditions du milieu physique variables, notamment le type de relief et l'altitude. À l'inverse, les perturbations naturelles sont relativement homogènes du point de vue de la proportion de vieux peuplements (O1700) et du rôle effacé de la TBÉ. Ces caractéristiques montrent de bonnes relations de la végétation et de la famille des perturbations naturelles, peu importe où l'on se situe. Cela fait en sorte que la variation expliquée par la famille des perturbations naturelles est supérieure à celle de la famille du milieu physique.

La variation de la végétation expliquée par les perturbations humaines est plus faible que celle des autres familles, mais ne doit pas être reconnue comme négligeable. Un lien s'est établi entre les paysages les plus touchés par les coupes (troisième variable d'importance selon la sélection *pas à pas*) et les bétulaies blanches.

Somme toute, les variations de la végétation observées dans la forêt mélangée s'apparentent à celles de l'ensemble du Québec méridional. Les deux territoires présentent le même modèle général du partitionnement (modèle 1).

– **La forêt mélangée de l'Ouest** (niveau 2)

La forêt mélangée de l'Ouest constitue le territoire de prédilection des groupements d'essences de début de succession, notamment les bétulaies blanches (BB), les bétulaies blanches à épinette noire (BBE), les pinèdes grises (PG) et les tremblaies (PE, PES, PEE). Dans chacune des unités homogènes du quatrième niveau de perception, les essences de début de succession (bouleau, peuplier faux-tremble, pin gris) sont plus abondantes que le sapin (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). Ce phénomène est directement relié aux épidémies de tordeuses des bourgeons de l'épinette (EL), aux coupes (CP, CT) et aux feux d'origine naturelle (BRF_A). À ces variables, s'ajoutent les feux d'origine humaine (FEU_A, FEUF_A). Ces deux dernières variables sont significatives selon les tests statistiques. Par contre, elles n'apparaissent pas sur la figure 8 qui se limite aux variables pour lesquelles les valeurs de F sont les plus élevées.

Sur les neuf unités homogènes composant la forêt mélangée de l'Ouest (MOJt1 à MOBt9, unités de niveau 4), quatre s'inscrivent le long du gradient

latitudinal pour lequel la représentation des essences méridionales (BOJ, ERR) diminue au profit de celle de l'épinette noire (MOJt2 et MOJt3 vers MOBt8 puis vers MOBs9). Ces quatre unités couvrent près de 75 % de la superficie totale de la forêt mélangée de l'Ouest. Les unités MOJt2 et MOJt3 constituent les unités typiques de la portion sud. Elles sont associées à la forêt mélangée de l'Ouest à bouleau blanc, sapin et bouleau jaune. MOJt2, qui se situe dans le prolongement de l'unité FOJt4, se démarque par une bonne représentation d'érablières à bouleau jaune, de bétulaies jaunes, de pins (pin blanc et pin rouge), un relief relativement doux (coteaux – collines) et des peuplements issus de vieux feux (O1700, O1880) (Tableau 4, Annexe 5). Ces caractéristiques contrastent avec celles de l'unité MOJt3 (prolongement de FOJt5). Cette dernière, de relief mieux défini (collines – hautes collines), est bien pourvue de bétulaies blanches à sapin (BBS) dynamisées par les épidémies de TBÉ (TBE38, TBE99). La proportion de tremblaies est également supérieure à celle de MOJt2 tandis que les éléments méridionaux diminuent en importance.

L'unité MOBt8 est reconnue comme typique de la forêt mélangée de l'Ouest à bouleau blanc et sapin. Les peuplements à dominance de bouleau blanc (BB) ou d'épinette noire (E), stimulés par les feux (O1920), les épidémies (EL, TBE99) et les coupes (CT), sont nettement plus importants que les sapinières. L'unité MOBs9 marque la transition de la forêt mélangée de l'Ouest (à bouleau blanc et sapin) vers la forêt résineuse de l'Ouest (à épinette noire et pin gris). De MOBt8 vers MOBs9, le climat se refroidit (TMA) tandis qu'il y a une augmentation de la proportion d'épinette noire (EPN) et de la quantité de peuplements de la période 1880 (O1880). Le passage vers la forêt résineuse de l'Ouest se traduit par un adoucissement du relief (collines vers coteaux) et une augmentation du recouvrement des tourbières (DH) et de l'épinette noire (EPN).

Les autres unités de la forêt mélangée de l'Ouest (MOJt1, MOJt4, MOJs5, MOBm6, MOBt7) ont en commun un relief relativement plat (coteaux – plaines) et une abondance de dépôts fins et de tourbières (D_4GA, D_4GS, D_5A, D_5S, D_7, D_2) au détriment du till (D_1A, D_1AR). Ces unités, dénommées *atypiques*, afin de les dissocier des précédentes, ont un fort recouvrement en essences de début de succession (PET et PIG). MOJt1, MOJt4, MOBm6, MOBt7 contiennent beaucoup de peuplier faux-tremble dont le développement a été favorisé par les activités anthropiques, notamment

les feux d'abattis. Les unités MOJt4 et MOBm6 sont celles qui possèdent le plus de pin gris et de pinèdes grises dans le Québec méridional, après les unités ROEm2 (Réservoir Gouin) et ROEt6 (ouest du lac Mistassini). Enfin, MOJs5 est plutôt dominée par des bétulaies blanches (BB) et par des pessières noires (E). L'altitude y est faible et les plans d'eau occupent de vastes superficies. Les peuplements de la période 1880 (O1880) y sont bien représentés.

À la suite de ce qui précède, comment pouvons-nous expliquer les relations des familles de facteurs et des changements de végétation observés dans la forêt mélangée de l'Ouest?

Les analyses de partitionnement montrent une dominance de variation expliquée par les perturbations naturelles (Figure 8, Tableau 3). Cela indique que les changements de végétation, notés depuis les unités typiques (collines – hautes collines à bouleau blanc) vers les unités atypiques (coteaux et plaines à PET, PIG et EPN), sont associés à des modifications qui surviennent également dans les perturbations naturelles, notamment une diminution de l'étendue des épidémies légères (EL) et du nombre d'années d'infestation de la TBÉ (TBE99) comparativement à l'augmentation des peuplements touchés par la livrée des forêts (LF) et des peuplements de la période 1920 (O1920). La fraction unique des perturbations naturelles est relativement élevée et semble dépendre de la répartition particulière (disparate, non intégrée le long d'un gradient) de certaines variables, notamment celle des vieilles forêts (O1700, O1880) avec les unités MOJt2, MOJs5 et MOBs9. À cela s'ajouteraient aussi la présence de la livrée des forêts et l'abondance du peuplier faux-tremble des unités MOJt1 et MOBt7.

Par ailleurs, les perturbations humaines (PHc) atteignent une fraction commune plus élevée que dans les autres analyses de partitionnement. Ce résultat indique que le passage des unités typiques vers les unités atypiques correspond à des changements importants dans les activités anthropiques. Les unités typiques sont caractérisées par les coupes (CP, CT) et, les unités atypiques, par les friches (FR), l'agriculture (AG) et les feux d'origine anthropique (FEUF_A) (Annexe 5).

Les variations climatiques latitudinales (TMA) et longitudinales (ARI) vont de pair avec les changements de végétation observés autant dans les unités typiques que les unités atypiques. L'augmentation de l'épinette noire depuis le sud

vers le nord de la forêt mélangée de l'Ouest réagit au gradient climatique de température. L'abondance de peuplier faux-tremble dans l'ouest constitue le reflet du gradient longitudinal. Par contre, les changements de végétation qui se matérialisent le long des gradients climatiques sont moins bien corrélés à ceux des perturbations naturelles et des perturbations humaines. Cela explique pourquoi la fraction commune du climat est inférieure à celle des deux autres familles commentées précédemment. Malgré cela, la triple combinaison PH $\cap$ PN $\cap$ C (16 %) est celle qui explique la plus forte proportion de variation de la végétation. La forêt mélangée de l'Ouest est le territoire où cette combinaison est la mieux représentée.

Dans l'ensemble de cette dynamique, le milieu physique semble à l'écart en raison de sa contribution limitée (MPc). Ces plus faibles relations de la végétation et du milieu physique sont d'abord causées par les faibles variations du milieu physique observées depuis le sud vers le nord de la forêt mélangée de l'Ouest, et ensuite par les fortes variations de milieu physique des unités atypiques (D_7, D_4GA, D_4GS). Enfin, certains éléments particuliers forment une fraction unique élevée (MPu). À titre d'exemple, le pin gris et l'épinette noire sont fortement associés à l'abondance de roc (D_R), comme dans les unités MOJt1 et MOBt7.

En conclusion, le modèle de partitionnement décrit ici correspond au modèle 3, notre seul modèle anthropique, caractérisé par une fraction commune élevée des perturbations naturelles et une variation importante de la végétation expliquée par la triple combinaison PH $\cap$ PN $\cap$ C.

– **La forêt mélangée de l'Est** (niveau 2)

La forêt mélangée de l'Est se caractérise par l'abondance de forêts résineuses, notamment de sapinières (S) et de pessières noires à sapin (ES). Le sapin (SAB) est plus abondant que les essences de début de succession (bouleau, peuplier faux-tremble, pin gris). Parmi les huit unités qui composent la forêt mélangée de l'Est (niveau 4), sept sont classées avec la forêt mélangée à sapin et bouleau blanc et une avec la forêt mélangée à sapin et bouleau jaune (unité MEJt1). Le long du gradient latitudinal, c'est-à-dire de MEJt à MESs, le recouvrement des pessières noires (E) ainsi que des pessières noires à sapin (ES) augmente au détriment des sapinières (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). Les traces des activités humaines sont importantes dans l'unité MEJt1 et elles se manifestent par l'abondance de terres agricoles (AG) et de friches (FR). Les tremblaies (PE, PEE,

PES) sont abondantes (20 % de la superficie) et leur expansion a grandement été favorisée par les feux d'origine humaine (FEUF_A).

Les unités homogènes de la forêt mélangée de l'Est à sapin et bouleau blanc (MES) possèdent une variation latitudinale qui justifie leur subdivision en trois paliers (Figure 6). Le palier inférieur, composé de MESm2 et MESm3, contient quelques éléments méridionaux, notamment le bouleau jaune (BOJ) et l'érable rouge (ERR). Les peuplements de bouleau blanc (principalement BB et BBS) y sont abondants. Le thuya (THO) demeure bien représenté dans MESm2. Les pessières noires à sapin sont peu abondantes. Au second palier, les éléments méridionaux disparaissent avec une augmentation de l'altitude (MEST4), de la longitude (MEST5) et une position devenant de plus en plus maritime (MEST6, MEST7). Les pessières noires à sapin gagnent de l'importance. Les unités maritimes se démarquent par leurs tourbières et leur abondance d'épinette blanche. Au troisième palier (unité MESs8), l'altitude relativement élevée favorise l'épinette noire (EPN) et les pessières noires (E) au détriment des sapinières (S). Cette dernière unité se situe à la limite de la forêt mélangée de l'Est et de la forêt résineuse de l'Est (Annexe 3).

À la suite de ce qui précède, comment pouvons-nous expliquer les relations des familles de facteurs et des changements de végétation observés dans la forêt mélangée de l'Est? La famille des perturbations naturelles est celle qui possède la fraction commune la plus élevée (PNc) (Figure 8, Tableau 3). Cette fraction rend compte des changements de végétation et de perturbations naturelles survenus le long des trois paliers décrits précédemment. Les perturbations naturelles se caractérisent par une diminution de l'importance de la TBÉ (TBE99, EL) au profit d'une augmentation de vieux peuplements (O1700). La fraction unique des perturbations naturelles (PNu) est relativement élevée et liée aux épidémies d'arpenteuse de la pruche (AF) concentrées en Gaspésie et sur l'île d'Anticosti.

Le climat et la végétation montrent de bonnes corrélations. Les changements de végétation sont accompagnés de modifications qui surviennent le long des deux gradients climatiques (latitudinal - TMA et longitudinal - DPV). Le milieu physique montre une variation commune légèrement inférieure aux deux familles précédentes. Ce résultat confirme que les changements de végétation survenus dans la forêt mélangée de l'Est se sont moins bien ajustés aux variables du milieu physique qu'à celles

des autres familles. Par exemple, les territoires bien pourvus de pessières noires à sapin (ES) s'observent autant sur les pentes fortes (P_DEF, de l'unité MEST4) que sur les pentes faibles (P_A, de l'unité MEST6) ou dans les paysages bien pourvus de tourbières (D_7).

Enfin, les perturbations humaines expliquent une variation de la végétation plus faible que les familles naturelles. La fraction commune (PHc) est cependant comparable à celle des autres unités de la forêt mélangée. Dans la forêt mélangée de l'Est, elle est associée à une diminution de la superficie couverte par les coupes (CP, CT) et l'agriculture (AG) depuis le sud vers le nord. Les activités de coupe partielle (CP) et d'agriculture (AG) se concentrent dans la Bas-Saint-Laurent (unité MEJt1) alors que les coupes abondent en Gaspésie (MESm2) ainsi que dans l'arrière-pays de Baie-Comeau (MEST5).

En conclusion, le second modèle de partitionnement résume les relations de la végétation et des familles de facteurs de la forêt mélangée de l'Est. Bien que la variation de la végétation se répartisse parmi plusieurs combinaisons de familles, la quadruple combinaison ($MP \cap PH \cap PN \cap C$) est celle qui explique la plus forte variation de la végétation.

2.3.3 La forêt résineuse (niveau 1)

La forêt résineuse se compose en majorité de pessières noires (E), de pessières noires à sapin (ES), de zones bien drainées dépourvues de forêts (dénudés secs, DS), de tourbières (DH) et de pinèdes grises (PG) (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). Trois essences dominent les paysages : l'épinette noire (EPN), le pin gris (PIG) et le sapin baumier (SAB). Selon où l'on se situe, l'importance relative de ces peuplements et essences varie.

Le passage de la forêt mélangée à la forêt résineuse est perceptible dans les trois familles de facteurs naturels (C, MP, PN). De la forêt mélangée de l'Ouest vers la forêt résineuse de l'Ouest, le relief s'adoucit et l'altitude s'abaisse peu à peu vers la Baie-James. Ces caractéristiques, jumelées à un climat relativement aride, sont propices aux incendies forestiers. De la forêt mélangée de l'Est vers la forêt résineuse de l'Est, le relief s'adoucit, l'altitude augmente peu à peu vers le centre du Québec méridional. Ces éléments, ainsi qu'un climat relativement humide, concourent au maintien de vieilles forêts.

Le passage de la forêt résineuse de l'Ouest à la forêt résineuse de l'Est est marqué par d'importants changements de composition forestière. Des

paysages dominés par les pessières noires (E), les tourbières (DH) et les pinèdes grises (PG) cèdent graduellement leur place à des zones dominées par des pessières noires à sapin (ES) entrecoupées de dénudés secs (DS). La partie centrale de la forêt résineuse ressemble parfois à la forêt résineuse de l'Est (ex. : par la faible abondance du pin gris) et parfois à la forêt résineuse de l'Ouest (ex. : par la faible abondance de sapin). En raison de ces traits, la forêt résineuse est subdivisée en trois unités : la forêt résineuse de l'Ouest, la forêt résineuse du Centre et la forêt résineuse de l'Est.

À la suite de ce qui précède, comment pouvons-nous expliquer les relations des familles de facteurs et des changements de végétation observés dans la forêt résineuse? D'abord, le gradient climatique latitudinal (TMA) et celui longitudinal (DPV) expliquent la plus forte variation de la végétation (Figure 8, Tableau 3). Les changements liés au gradient longitudinal sont particulièrement importants. Par exemple, le déficit de pression-vapeur (DPV) varie d'environ 1200 mbar dans l'ouest comparativement à environ 850 dans l'est.

Un relief relativement plat (P_A) et de nombreuses tourbières (DH, D_7) distinguent le milieu physique de l'ouest de celui de l'est, au relief bien défini (P_DEF, DABS) et aux nombreux affleurements rocheux (D_R). Le gradient longitudinal exploité par les variables précitées, jumelé aux changements de la végétation, façonnent l'axe 2 (section 2.1). Cette relation est à la base de la plus forte fraction commune du milieu physique (MPC) observée sur le territoire. Des liens particuliers s'expriment dans l'ouest (Abitibi) entre les dépôts glacio-lacustres (D_4GA) et la présence de tremblais (PE, PEE) et du peuplier faux-tremble (PET). Il semble également y avoir une association des endroits dépourvus de végétation arborescente (DS) et l'eau (D_EAU) sur la Côte-Nord (voir *Atlas*). Ces deux derniers éléments expliqueraient l'une des plus fortes variations uniques du milieu physique (15,32).

Dans la famille des perturbations naturelles, l'opposition de l'ouest et de l'est se traduit surtout par l'augmentation des vieilles forêts (O1700, O1800) dans les régions maritimes. Les vieilles forêts (notamment des pessières) sont toutefois présentes dans l'ouest, autant dans les tourbières (ROEt7), dans les zones bien pourvues de lacs (ROEt5) que dans les zones de coteaux (ROEt3). Cela a pour effet de diminuer la corrélation entre les changements de végétation et les perturbations naturelles. Ainsi, la fraction commune des

perturbations naturelles est inférieure à celle des deux familles décrites précédemment (C, MP). Enfin, nous notons une baisse de l'importance des épidémies d'insecte le long du gradient latitudinal (LF, TBE99).

Somme toute, les variations de la végétation observées dans la forêt résineuse, et surtout depuis l'ouest vers l'est, sont apparentées à celles de la forêt feuillue. Cette dernière montrait de fortes variations des basses terres et des reliefs bien développés situés à leur bordure. Cette similitude des relations de la végétation et des familles de facteurs, autant dans la forêt résineuse que dans la forêt feuillue, crée un modèle de partitionnement commun aux deux unités. Ce modèle correspond au modèle 4.

– **La forêt résineuse de l'Ouest** (niveau 2)

Bien que l'épinette noire soit l'essence la mieux représentée de la forêt résineuse de l'Ouest, c'est un territoire où l'on retrouve beaucoup de tourbières (sur D_7) et de pin gris (surtout sur D_4GS) (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). Cette forêt a été subdivisée en deux portions : une portion méridionale et une portion typique. Le passage de la portion méridionale (ROEm1, ROEm2) vers la portion typique correspond à une diminution de l'abondance des feuillus, de la livrée des forêts (LF) et des peuplements touchés par la TBÉ (EL, TBE38). À l'inverse, la proportion de l'épinette noire (EPN) et des vieilles forêts (O1700) s'accroît de façon significative vers le nord.

L'unité ROEm1a se démarque par ses activités anthropiques (FEUF_A, FEU_A, AG) et sa forte quantité de peuplier faux-tremble (PET). Cette essence demeure relativement bien représentée dans l'unité ROEm2 malgré un changement important dans les dépôts de surface (dépôt D_4GA vers dépôt D_1A). Les variations dans les conditions de station (dépôts de surface, topographie) de la portion septentrionale de la forêt résineuse de l'Ouest (ROEt3 à ROEt7) font qu'on y observe plusieurs unités homogènes.

L'unité ROEt3 fait la transition avec la forêt résineuse de l'Est. Les pessières noires à sapin (ES) et les diverses bétulaies blanches (BB) sont plus abondantes que partout ailleurs dans la forêt mélangée de l'Ouest. Le relief demeure assez bien découpé (coteaux) et la quantité de vieux arbres (O1700) est notable. Par la suite, une diminution graduelle des essences feuillues et du sapin se manifeste. Le pin gris abonde dans les unités ROEt4, ROEt5 et ROEt6. Plusieurs éléments se conjuguent

afin de favoriser cette essence : relief relativement plat (plaines et coteaux), une proportion de sols organiques réduite (D_7), de faibles précipitations (PRECU) et des feux fréquents, comme le laisse transparaître la forte quantité de peuplements provenant des feux de la période 1920. L'unité ROEt6 présente des paysages plus ouverts que les deux autres. Les forêts ouvertes à lichens (dénudés secs) sont bien représentées. Enfin, l'unité ROEt7 contraste avec toutes les autres unités homogènes, autant de la forêt résineuse de l'Ouest que de l'ensemble du Québec méridional. Elle est dominée par les tourbières (DH), les sols organiques (D_7) et constitue un refuge pour les vieilles forêts (O1700). Le gel se produit tôt (GH) malgré que l'altitude (ALT) soit très faible.

À la suite de ce qui précède, comment pouvons-nous expliquer les relations des familles de facteurs et des changements de végétation observés dans la forêt résineuse de l'Ouest? D'abord, il est possible de distinguer deux groupes d'unités homogènes en rapport avec les perturbations naturelles. Le premier met en évidence le passage de la forêt résineuse de l'Ouest méridionale (ROEm) vers la forêt résineuse de l'Ouest typique (ROEt). Il fait appel aux variables descriptives des épidémies d'insectes (LF, EL, TBE99), mieux représentées dans la partie sud de la forêt résineuse de l'Ouest. Le second groupe d'unités homogènes oppose les territoires bien pourvus en pin gris et en peuplements de la période 1920 (O1920) (ROEm1, ROEm2, ROEt4, ROEt5, ROEt6) aux territoires riches en pessières noires et en peuplements de la période 1700 (O1700) (ROEt3, ROEt7). La qualité des relations de la végétation et des variables descriptives des perturbations naturelles fait en sorte que cette famille de facteurs explique la plus forte variation de la végétation (Figure 8, Tableau 3). Par ailleurs, la fraction unique expliquée par les perturbations naturelles atteint ici son optimum. Elle serait liée à la forte corrélation des tourbières (DH) et des vieux peuplements (O1700) dans la partie nord-ouest du territoire (ROEt7).

Les changements climatiques traduisent relativement bien les variations observées dans la végétation, autant le long du gradient latitudinal (GH) (diminution des feuillus et augmentation des dénudés) que du gradient longitudinal (PRECU) (augmentation du sapin). La famille du climat explique toutefois une variation de la végétation légèrement inférieure à celle des perturbations naturelles.

Le milieu physique présente une fraction commune (MPc) plus faible que les autres familles naturelles puisque les changements de végétation montrent une relation de moindre qualité. Par exemple, le long du gradient altitudinal (ROEt7 vers ROEt3), lequel correspond à d'importants changements dans les dépôts de surface (D_7 vers D_4G vers D_1a), le pin gris occupe une superficie similaire autant dans l'ouest (ROEt5, sur sable) que dans l'est (ROEt3, sur till). Par contre, malgré l'apport plus faible des combinaisons du milieu physique (MPc) aux changements de végétation par rapport aux deux autres familles naturelles, la triple combinaison MPNCNPN est celle qui est la mieux représentée (16 %). Enfin, la fraction unique expliquée par le milieu physique atteint une valeur élevée. Elle serait liée à la forte corrélation des tourbières (DH) et des dépôts organiques (D_7) dans le nord-ouest du territoire.

Les perturbations humaines deviennent moins importantes par rapport aux unités plus au sud (forêt mélangée de l'Ouest), mais leurs empreintes (FEU_A, FEUF_A) demeurent significatives dans la portion sud (ROEm1). Le partitionnement de la forêt résineuse de l'Ouest (RO) montre une structure apparentée à celle de la forêt mélangée de l'Est (ME) (second modèle de partitionnement). Dans ce cas-ci, la triple combinaison MPNCNPN explique une variation supérieure à la quadruple combinaison.

– **La forêt résineuse de l'Est** (niveau 2)

La forêt résineuse de l'Est a été subdivisée en deux unités : la forêt résineuse de l'Est à épinette noire et sapin méridionale et la forêt résineuse de l'Est à épinette noire et sapin typique (Figure 9, Tableau 4 et Annexe 5). Une baisse de l'abondance du sapin et de l'importance des épidémies d'insectes (arpenteuse de la pruche) caractérise le passage de la première à la seconde unité.

Dans ce vaste territoire nord-côtier, il subsiste également un gradient longitudinal. Ce dernier traduit le passage, d'une faible quantité de feuillus de lumière et de pin gris (de l'ordre de 10 % de la superficie) vers une absence (pin gris) ou une faible présence (feuillus de lumière) de ces essences, depuis l'ouest vers l'est. Le long du gradient longitudinal, la proportion de peuplements de la période 1700 (O1700) augmente. Enfin, l'unité REEt7 (monts Groulx) correspond à un massif où se succèdent des pessières noires à sapin, un étage montagnard de sapinières à épinette blanche et de pessières blanches de faible densité ainsi qu'un étage alpin dominé par le bouleau glanduleux.

À la suite de ce qui précède, comment pouvons-nous expliquer les relations des familles de facteurs et des changements de végétation observés dans la forêt résineuse de l'Est? Les résultats obtenus, par la sélection *pas à pas* des variables explicatives, montrent que la fraction commune du climat est celle qui explique la plus forte variation de la végétation (Figure 8, Tableau 3). Cette fraction (48 %) est formée autant par le gradient longitudinal (DPV) que par le gradient latitudinal (TMA). La fraction unique du climat (Cu) est l'une des plus élevées du Québec méridional. Elle révèle des liens régionaux de la végétation et des variables climatiques. Par exemple, les plus fortes concentrations de sapin (SAB) sont liées aux températures moyennes annuelles les plus élevées rencontrées dans l'unité REEm3 (TMA); ces deux éléments caractérisent le littoral de la Côte-Nord.

Les changements de végétation sont également bien corrélés aux modifications du milieu physique, notamment à une diminution de l'importance des dépôts de roc (D_R) et des pentes fortes (P_DEF) depuis le sud vers le nord du territoire. Ces divers éléments provoquent une forte variation commune du milieu physique (MPc) et un déploiement optimal de la triple combinaison MPNCNPN ainsi que de la double combinaison MPNC. La fraction unique du milieu physique (MPu) atteint une valeur inégale (20 %) sur l'ensemble du territoire et pour l'ensemble des fractions uniques (toutes les familles confondues). Ce phénomène semble lié à la fois au lien privilégié du dépôt de roc (R) et de la végétation décrite par les dénudés secs (DS) (REEm1 à REEm4), d'une part, et le dépôt de tourbe (D_7) et la végétation décrite par les tourbières non boisées (DH) (REEm3), d'autre part.

La fraction commune des perturbations naturelles est inférieure à celle du climat et du milieu physique. Ce résultat s'explique par la corrélation plus faible de la végétation et des variables des perturbations naturelles par rapport aux autres familles naturelles. Par exemple, les forêts âgées (O1700) sont réparties sur une vaste portion du territoire (surtout dans les unités REEm2, REEm3, REEm4 et REEt7) plutôt que de suivre la gradation dans les changements du climat ou du milieu physique. Par ailleurs, la fraction unique élevée révèle des liens privilégiés régionaux de la végétation et de certains éléments des perturbations naturelles. Ces liens sont observés notamment le long du littoral (REEm2, REEm3), où l'association des peuplements de sapin et de l'arpenteuse de la pruche atteint son optimum (Blais 1983).

En conclusion, le partitionnement de la forêt résineuse de l'Est s'apparente à celui des autres territoires caractérisés par une bonne représentation de la fraction commune du climat (Cc) et du milieu physique (MPc), soit l'ensemble de la forêt résineuse (FO), la forêt feuillue (F) ainsi que l'érablière à bouleau jaune. Tous ces territoires appartiennent au quatrième modèle de partitionnement.

– **La forêt résineuse du Centre** (niveau 2)

Au centre du Québec, la forêt résineuse se compose de deux éléments principaux. Le premier correspond à des pessières, dont un bon nombre sont âgées (O1700). Le second caractérise des superficies bien drainées, dénudées de forêts (dénudé sec, DS) et souvent ravagées par les feux (Figure 9, Tableau 4, Annexe 5). Les tourbières

couvrent de 5 à 10 % de la superficie. Cette unité homogène du centre du Québec s'apparente à la forêt résineuse de l'Est à épinette noire et sapin par certaines de ses caractéristiques, notamment l'abondance de dénudés secs. Elle se rapproche de la forêt résineuse de l'Ouest à épinette noire et pin gris par d'autres caractéristiques, soit la présence sporadique de tourbières, d'eau, de moraines de décrépitude (D_1P), de pin gris et un relief peu découpé (coteaux). Sa singularité provient de la dominance de till et d'une altitude élevée. Pour cette raison, elle constitue le point culminant du Québec méridional. Enfin, aucun partitionnement n'est présenté pour la forêt résineuse du Centre en raison de la faible quantité d'information disponible par rapport à celle des autres territoires.

Chapitre trois

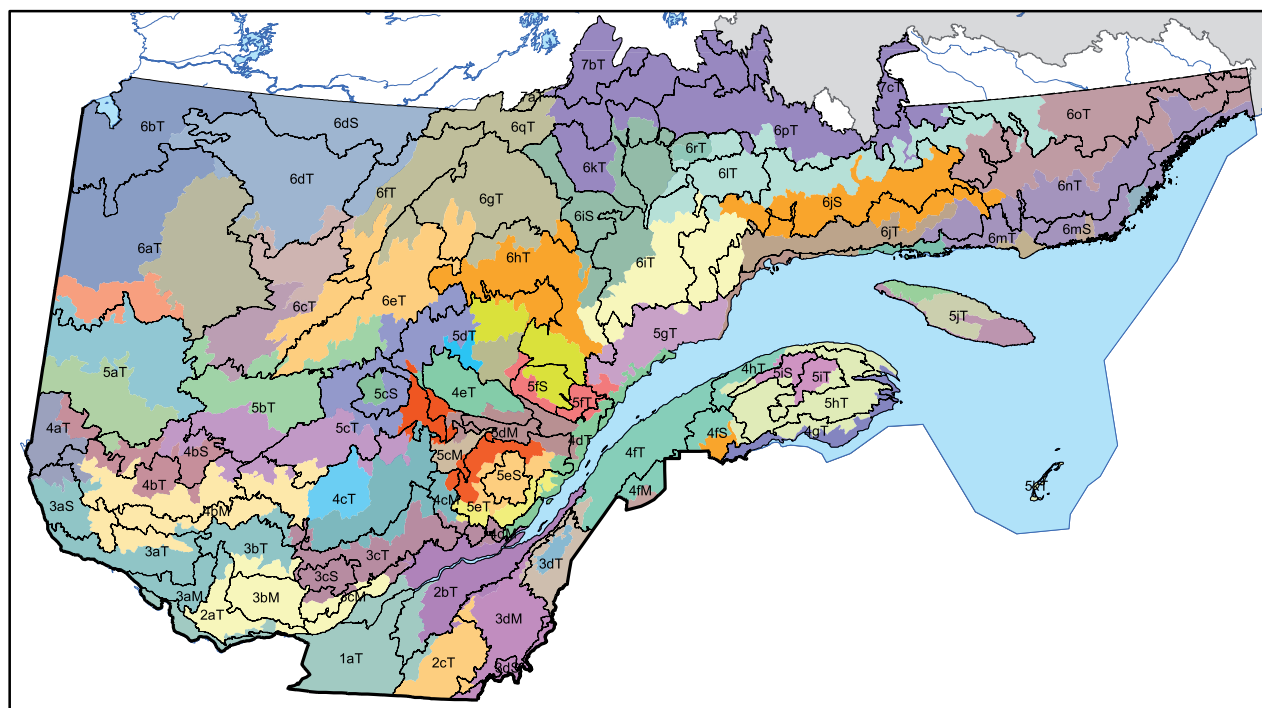
Discussion et synthèse

Cette étude visait à quantifier les relations de la végétation et de ses variables explicatives (climat, milieu physique, perturbations naturelles et perturbations humaines) et, à partir de cette base relationnelle, classifier et cartographier des unités homogènes. Ces objectifs n'auraient pu être atteints sans : 1) la masse de données écologiques accumulées par le MRNF; 2) la description des *districts écologiques* du MRNF (Robitaille et Saucier 1998, Saucier *et al.* 1998); 3) la caractérisation du climat actuel de chacun des districts écologiques, rendue possible par le logiciel *BioSim* (Régnière 1996, Ung *et al.* 2001) et 4) les développements récents de l'écologie numérique (Borcard *et al.* 1992, Legendre et Legendre 1998).

La classification et la cartographie des unités homogènes n'ont pas été conçues sur les mêmes bases conceptuelles que celles du *Système hiérarchique de classification écologique* en vigueur au MRNF (Saucier *et al.* 1998), de sorte qu'il est

difficile de les comparer. Le système du MRNF cible le climat, les variables permanentes du milieu physique et la végétation potentielle tandis que les unités homogènes proposent l'intégration de la végétation et de quatre familles de facteurs. La figure 10 montre cependant que les deux systèmes se ressemblent par rapport à leur cartographie.

Les unités homogènes se démarquent selon quatre éléments. **Le premier élément** porte sur les affinités des unités avec l'aménagement écosystémique. Ces affinités prennent en compte l'ensemble de l'hétérogénéité des paysages façonnés par l'intégration des familles de facteurs, notamment les perturbations naturelles (Swanson *et al.* 1988, 1994). Les mêmes enseignements proviennent de l'écologie du paysage (Turner 1989, 2005). Nous proposons ainsi que les unités homogènes soient prises en compte au moment des trois principales étapes de l'implantation de l'aménagement écosystémique sur un territoire,



soit : la connaissance de la dynamique forestière, la comparaison de la forêt pré-industrielle et de la forêt aménagée ainsi que la mise en place de stratégies d'aménagement aux échelles du paysage, du type écologique et du peuplement.

Le deuxième élément des unités homogènes est de rapprocher les écologistes des perturbations naturelles et les écologistes du milieu physique. Jusqu'ici, les écologistes des perturbations naturelles ne savaient pas à quelle unité écologique se référer pour décrire les perturbations. Cette lacune les a conduits à utiliser a posteriori des régions écologiques (Gauthier *et al.* 2001) ou des groupes de paysages régionaux (Lefort *et al.* 2004). D'autres ont abordé l'aménagement écosystémique en regard des connaissances relatives à l'historique des perturbations naturelles, notamment la cartographie des forêts selon le temps écoulé depuis le dernier feu (Cissel *et al.* 1999, Harvey *et al.* 2002). Les écologistes des perturbations naturelles disposent désormais d'une classification et d'une cartographie qui intègrent, entre autres, leur domaine d'expertise. Les unités homogènes pourraient donc être à la base de l'étude des régimes de perturbations et de leurs relations avec les variables environnementales (Harvey *et al.* 2003).

Par ailleurs, l'étude sur les unités homogènes vient confirmer une hypothèse formulée par les spécialistes du milieu physique, à savoir que les unités écologiques délimitées sur une base physique trouveraient écho dans certains éléments des perturbations naturelles (Hills 1960). Par exemple, aux basses terres humides du Nord-Ouest du Québec méridional devraient être associées de vieilles forêts et un cycle de feu relativement long. Par contre, les relations du milieu physique et des perturbations naturelles ne sont pas toujours aussi clairement définies. Dans les situations pour lesquelles les limites des gradients sont plus difficilement perceptibles, la prise en compte de l'ensemble des variables explicatives facilite la délimitation d'unités écologiques.

Le troisième élément des unités homogènes est de pouvoir servir aux analyses sur les perturbations anthropiques, à l'exemple de l'*enfeuilletement* (Grondin *et al.* 2003). La figure 11 présente les unités homogènes les plus touchées par ce problème, c'est-à-dire celles dont la superficie couverte par le peuplier faux-tremble et l'aulne rugueux se situe en dehors des limites de la variabilité naturelle, au sens de Swanson *et al.* (1994). Cet *enfeuilletement* est la conséquence d'activités humaines qui se sont déroulées au cours du dernier siècle, notamment les feux d'abattis et les coupes forestières. Un tel

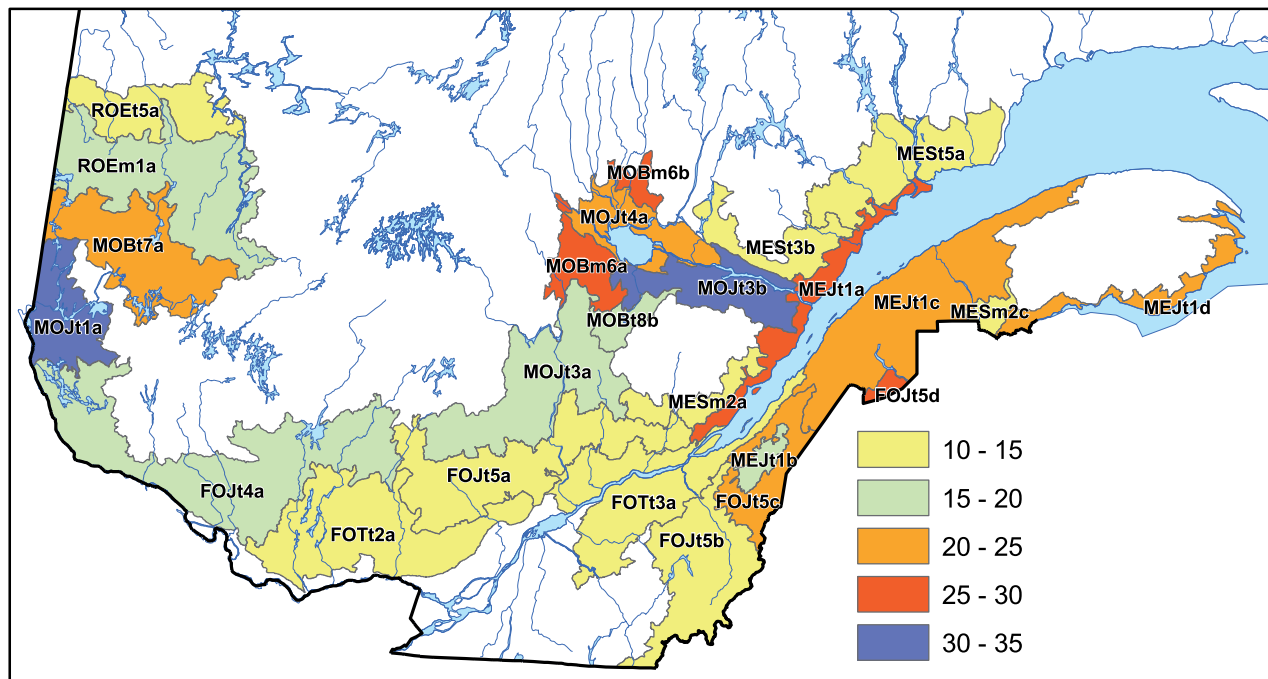


Figure 11. Importance relative de la superficie des peuplements de peuplier faux-tremble et d'aulne rugueux dans les unités homogènes.

portrait provincial finalise la vision plus sectorielle présentée par divers écologistes, à l'exemple de Boucher *et al.* (2006) dans le Bas-Saint-Laurent. D'autres éléments liés aux perturbations humaines devraient être approfondis en fonction des unités homogènes (ex. : *ensapinage*).

Le quatrième élément, qui distingue l'étude des unités homogènes des classifications précédentes, repose sur une approche plus rigoureuse. L'étude s'appuie sur une classification assistée par l'écologie numérique. Cette classification présente les gradients écologiques le long desquels se répartissent autant les variables descriptives de la végétation, les variables explicatives ainsi que les districts écologiques. La classification est utilisée afin de définir un système hiérarchique formé de cinq niveaux de perception. Des analyses sur le partitionnement de la variation de la végétation ont été réalisées afin de caractériser les liens de la végétation et de ses diverses familles de facteurs. Ces liens ont principalement été établis pour le Québec méridional ainsi que pour les deux premiers niveaux de perception des unités homogènes. Les réponses obtenues ont permis de catégoriser les grands types de relations entre la végétation et ses variables explicatives.

Malgré l'intérêt que représente une classification basée sur les relations de la végétation et de ses variables explicatives, celle-ci pourrait faire l'objet de critiques en raison de l'importance accordée à la végétation actuelle (groupements d'essences et essences). Ainsi, les unités homogènes varieraient au rythme des perturbations naturelles et humaines. En réaction à cette critique, il faut se rappeler que les unités homogènes reposent sur des liens de la végétation et des variables explicatives. Ces dernières jouent un rôle important dans la structure de ces unités. Ainsi un vaste territoire, qui s'est *enfeuillé* en raison des perturbations humaines (dominance de tremblaies), se distinguerait des territoires adjacents, au même titre que les pessières noires sur tourbe ou sur sable en milieu naturel. Par contre, si les perturbations humaines variaient sur un milieu physique homogène, alors deux unités seraient créées. Cette situation caractérise d'ailleurs l'unité ROEm1a (secteur de Rouyn, fortement influencé par les perturbations anthropiques) et l'unité ROEt5a (secteur de La Sarre, plus naturel). À partir de ce dernier argumentaire, de nouvelles unités homogènes pourraient être délimitées au rythme des perturbations humaines à venir. La classification des unités homogènes n'est donc pas immuable.

En utilisant les fractions communes et les fractions uniques des diverses familles de facteurs, l'on montre que la végétation du Québec méridional varie principalement selon le climat. Viennent ensuite les perturbations naturelles, le milieu physique et les perturbations humaines. À partir de ce modèle général, nous nous sommes intéressés aux variations dans l'importance des familles selon huit unités homogènes appartenant principalement au premier et au second niveau de perception. Les résultats obtenus ont été synthétisés à l'aide de quatre modèles de partitionnement.

Le climat (C) se révèle la famille qui explique le mieux les changements de végétation qui surviennent sur le territoire (Grandtner 1966a, Richard 1978). Cette famille domine les modèles 1 et 4. Ces derniers caractérisent 5 des 8 unités homogènes ayant fait l'objet d'analyses de partitionnement. Il s'agit notamment de la forêt feuillue (F), de la forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et bouleau jaune typique (FOJt), de la forêt mélangée (M), de la forêt résineuse (R) ainsi que la forêt résineuse de l'Est (RE). Seulement trois unités possèdent une variation qui n'est pas dominée par le climat. Dans tous ces cas, la variation expliquée par les perturbations naturelles (modèles 2 et 3) excède légèrement celle du climat. Ces unités homogènes possèdent en commun des contrastes importants en ce qui a trait aux perturbations naturelles, à l'exemple de la forêt résineuse de l'Ouest (RO) où se côtoient des portions de territoires fortement affectées par les feux de la période 1920 (dépôts glacio-lacustres, D_4GA, D_4GS) comparativement à des territoires possédant une forte portion de vieux peuplements (dépôts organiques). Par ailleurs, c'est dans la forêt mélangée (MO, ME) que se situent deux des trois unités homogènes dont la variation de la végétation n'est pas dominée par le climat. Ces résultats révèlent que ces unités se discriminent moins bien que les autres sur la base de cette dernière famille de variables (Richard 1978).

Les perturbations naturelles (PN) constituent la seconde famille d'importance dans le modèle 1 alors qu'elles dominent les modèles 2 et 3. Ces deux derniers modèles caractérisent trois des huit unités homogènes soumises à des analyses de partitionnement. Les liens de la végétation et des perturbations naturelles s'expriment selon deux catégories. Dans la première, où sont regroupées la forêt mélangée de l'Ouest (MO) et la forêt résineuse de l'Ouest (RO), des perturbations naturelles particulières distinguent les reliefs vallonnés dominés par des peuplements de feuillus de lumière dynamisés par les épidémies

de TBÉ, d'une part, et les territoires relativement plats recouverts de résineux, d'autre part. Dans la seconde catégorie, formée par la forêt mélangée de l'Est (ME), les perturbations naturelles varient le long du gradient altitudinal, notamment la sévérité des épidémies de TBÉ. Ces dernières épidémies sont plus intenses en basse altitude.

Le milieu physique (MP) forme la troisième famille de l'explication de la variabilité de la végétation dans les modèles 1 et 2. Ces deux modèles ont été observés autant dans le Québec méridional que dans trois des huit unités homogènes analysées plus en détail (Figure 8). Cette position s'explique tout d'abord par le fait que l'on peut observer divers types de végétation sur un même milieu physique. Par exemple, sur l'ensemble du Québec méridional, le till s'observe du sud vers le nord et il est recouvert autant d'éraablières, de bétulaies blanches que de pessières noires. Ensuite, une végétation similaire peut se développer sur des milieux physiques distincts. Par exemple, dans la forêt mélangée de l'Est, la pessière noire à sapin s'observe autant dans les hautes altitudes de la Gaspésie, les terrains relativement plats d'Anticosti que les terrains vallonnés de l'arrière-pays de Baie-Comeau. Dans tous ces endroits, les pessières à sapin sont associées aux feux, de sorte que la famille des perturbations naturelles démontre une meilleure corrélation avec les changements de végétation. En conclusion, la végétation possède plus de plasticité ou de variabilité par rapport au milieu physique que les autres familles. Les liens de la végétation et du milieu physique sont moins exclusifs. Le statut du milieu physique doit être néanmoins relativisé par rapport aux fractions communes doubles, triples et quadruple, lesquelles expliquent une part importante de la variation de la végétation. Par exemple, dans la forêt résineuse de l'Ouest (RO) le milieu physique vient en troisième position en regard de la variation expliquée alors que la triple combinaison $MP \cap C \cap PN$ explique une proportion de variation relativement importante (Tableau 3)

Par ailleurs, le milieu physique constitue la famille la mieux représentée du quatrième modèle de partitionnement après le climat. Ce modèle est observé sur quatre territoires (la forêt feuillue (F), la forêt feuillue de l'Ouest à érable à sucre et bouleau

jaune typique (FOJt), la forêt résineuse (R) et la forêt résineuse de l'Est (RE)). Le modèle décrit les liens étroits des changements de végétation et des variables du milieu physique. Par exemple, dans la forêt résineuse de l'Est, la diminution du sapin conjuguée à l'éloignement de la mer va de pair avec un adoucissement du relief. Par ailleurs, la proportion de vieilles forêts demeure élevée sur l'ensemble du territoire, ce qui tempère les relations des changements de végétation et des perturbations naturelles.

Enfin, les perturbations humaines (PH) composent la famille la moins bien corrélée aux changements de végétation. La végétation dynamisée par les perturbations humaines se compose surtout de formations de tremblaies conséquentes aux activités humaines survenues lors de la colonisation (feux d'abattis). Ces territoires sont localisés dans des endroits bien particuliers de la forêt mélangée (Abitibi, Lac-Saint-Jean, Bas-Saint-Laurent) de sorte qu'ils s'insèrent moins bien que la végétation naturelle dans les gradients latitudinaux ou longitudinaux (Figure 10). Par ailleurs, les perturbations humaines sont relativement importantes dans la forêt mélangée de l'Ouest et un modèle de partitionnement rend compte de ce phénomène (modèle 3).

En résumé, le climat s'avère la famille dominante en général. Toutefois, selon les caractéristiques spécifiques des unités homogènes, les perturbations naturelles et le milieu physique peuvent expliquer une part importante de la variation de la végétation. Les perturbations naturelles dominent même deux modèles de partitionnement (2 et 3) tandis que le milieu physique est légèrement inférieur au climat dans le quatrième modèle. De plus, les combinaisons de familles (fractions communes) sont toujours supérieures aux fractions uniques. Deux combinaisons sont particulièrement bien représentées : $MP \cap C \cap PN$ ainsi que $MP \cap PH \cap PN \cap C$. Enfin, l'influence des familles de facteurs dans l'explication de la variation de la végétation persiste depuis le Québec méridional vers des unités plus fines, ici représentées par huit unités homogènes. Ainsi, l'intégration des familles de facteurs dans l'explication de nos écosystèmes forestiers demeure l'idée maîtresse de ce mémoire.

Conclusion

Cette étude a ciblé deux questions :

1) Quelle est l'importance de quatre familles de facteurs (C - climat, MP - milieu physique, PN - perturbations naturelles, PH – perturbations humaines) dans les changements de la végétation, autant à l'échelle du Québec méridional qu'à l'échelle de certaines parties du territoire?

2) Comment se structurent les forêts du Québec (classification, cartographie), lorsque les principales familles de facteurs qui concourent à leur développement sont prises en compte?

L'étude met à profit les efforts considérables investis au cours des trente dernières années par le MRNF, notamment en matière d'inventaires forestiers et

écologiques ainsi que de cartographie écoforestière. L'étude se positionne dans le courant de pensée de l'écologie du paysage (hétérogénéité des paysages). Elle apporte un éclairage original sur les gradients écologiques qui façonnent nos écosystèmes forestiers. Elle démontre comment et jusqu'à quel point les paysages forestiers du Québec méridional sont définis par la complexité des relations de quatre familles de facteurs. Sur la base de ces relations, il a été possible de classer et de délimiter des unités homogènes selon cinq niveaux de perception. Les unités homogènes devraient être prises en compte dans les études sur les perturbations naturelles et sur les perturbations anthropiques, dans un contexte d'aménagement écosystémique.

Références bibliographiques

- AB-YBERG, W., 1932. *A proposed system of forest classification for the province of Quebec*. Association des ingénieurs forestiers de la province de Québec. Comptes-rendus des études forestières présentées à l'assemblée annuelle tenue à Québec les 17 et 18 décembre 1931, p. 5-55.
- BELL, R., 1882. *The geographical distribution of the forest trees of Canada*. Report of the survey for 1880. Gazette Printing Co., Montréal, 21 p.
- BELLEFEUILLE, R., 1934. *Rapport du comité technique de l'association des ingénieurs forestiers de la province de Québec*. Association des ingénieurs forestiers de la province de Québec. Comptes-rendus des études forestières présentées à l'assemblée annuelle tenue à Québec les 20 et 21 décembre 1933, p. 5-18.
- BELLEFLEUR, P. et A. N. AUCLAIR, 1972. *Comparative ecology of Quebec boreal forests : a numerical approach to modelling*. Canadian Journal of Botany 50(11) : 2357-2379.
- BERGERON, Y., A. BOUCHARD, P. GANGLOFF et C. CAMIRÉ, 1983. *La classification écologique des milieux forestiers de la partie ouest des cantons d'Hébertcourt et de Roquemaure, Abitibi, Québec*. Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec. Études écologiques n° 10. 169 p.
- BERGERON, Y., 1991. *The influence of island and mainland lakeshore landscapes on boreal forest fire regimes*. Ecology 72(6) : 1980-1992.
- BERGERON, Y., 1998. *Les conséquences des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forestière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise*. Géographie physique et Quaternaire 52(2) : 167-173.
- BERGERON, Y., S. GAUTHIER, M. FLANNIGAN et V. KAFKA, 2004. *Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec*. Ecology 85(7) : 1916-1932.
- BERGERON, Y., S. GAUTHIER, V. KAFKA, P. LEFORT et D. LESIEUR, 2001. *Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest : consequences for sustainable forestry*. Canadian Journal of Forest Research 31(3) : 384-391.
- BLAIS, J.R., 1983. *Les forêts de la Côte Nord au Québec sont-elles sujettes aux déprédations par la tordeuse?* Forestry Chronicle 59(1) : 17-20.
- BLOUIN, J. et J.-P. BERGER, 2004. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 5e-Massif du lac Jacques-Cartier et 5f – Massif du mont Valin*. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations.
- BLOUIN, J.-L. et M.M. GRANDTNER, 1971. *Étude écologique et cartographie de la végétation du comté de Rivière-du-Loup*. Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche. Mémoire n° 6. 370 p.
- BORCARD, D., P. LEGENDRE et P. DRAPEAU, 1992. *Partialling out the spatial component of ecological variation*. Ecology 73(3) : 1045-1055.
- BOSTOCK, H.S., 1970. *Physiographic Regions of Canada – Map 1254A*. Dans : Geology and Economic Minerals of Canada. 5^e édition. Édité par R.J.W. Douglas. Geological Survey of Canada, Economic Geology. Report n° 1.
- BOUCHARD, A. et P. F. MAYCOCK, 1978. *Les forêts décidues et mixtes de la région appalachienne du sud québécois*. Naturaliste canadien 105(5) : 383 - 415.
- BOUCHARD, A. et G. DOMON., 1997. *The transformation of the natural landscapes of the Haut-Saint-Laurent (Québec) and their implications on future resource management*. Landscape and Urban Planning 37(1-2) : 99-107.
- 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(2) : 505-517.

- BOULANGER, Y. et D. ARSENEAULT, 2004. *Spruce budworm outbreaks in eastern Quebec over the last 450 years*. Canadian Journal of Forest Research 34(5) : 1035-1043.
- BROWN, J.-L., 1981. *Les forêts du Témiscamingue, Québec : Écologie et photo-interprétation*. Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec. Études écologiques n° 5. 447 p.
- CAJANDER, A. K., 1926. *The theory of forest types*. Acta Forestalia Fennica 29(3) : 108 p.
- CHRISTIAN, C.S., 1952. *Regional land surveys*. Journal of the Australian Institute of Agricultural Science 18(3) : 140-147.
- CISSEL, J.H., F.J. SWANSON et P.J. WEISBERG, 1999. *Landscape management using historical fires regimes : Blue river, Oregon*. Ecological Applications 9(4) : 1217-1231.
- CLEMENTS, F.E., 1936. *Nature and structure of the climax*. Journal of Ecology 24(1) : 252-284.
- DANSEREAU, P., 1957. *Biogeography, an ecological perspective*. Ronald Press Co., New York. 394 p.
- DANSEREAU, P., 1959. *Phytogeographia laurentiana II. The principal plant associations of the Saint Lawrence valley*. Contributions de l'Institut botanique de l'Université de Montréal n° 75. 147 p.
- DESPONTS, M. et S. PAYETTE, 1993. *The Holocene dynamics of jack pine at its northern limit in Québec*. Journal of Ecology 81(4) : 719-727.
- DORNER, B., K. LERTZMAN et J. FALL, 2002. *Landscape pattern in topographically landscapes : issues and techniques for analysis*. Landscape Ecology 17(8) : 729-743.
- DUCRUC, J.-P., 1985. *L'analyse écologique du territoire du Québec : l'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord*. Ministère de l'Environnement du Québec, Service des inventaires écologiques. Série de l'inventaire du Capital-Nature n° 6. 192 p.
- FOSTER, D.R., 1983. *The history and pattern of fire in the Boreal forest of southeastern Labrador*. Canadian Journal of Botany 61(9) : 2459-2471.
- GAGNON, G. et G. MARCOTTE, 1980. *Description des types écologiques et leur productivité dans la section forestière de Rowe (L4a)*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche forestière. Mémoire n° 61. 456 p.
- GAUTHIER, S., A. LEDUC, B. HARVEY, Y. BERGERON et P. DRAPEAU, 2001. *Les perturbations naturelles et la diversité écosystémique*. Naturaliste canadien 125(3) : 10-17.
- GERARDIN, V., 1977. *An integrated approach to the determination of ecological groups in vegetation studies*. University of Connecticut, USA. (thèse de doctorat). 237 p.
- GERARDIN, V., 1980. *L'inventaire du Capital-Nature de la Baie-James : les régions écologiques et la végétation des sols minéraux*. Environnement Canada, Direction générale des terres - Société de développement de la Baie-James. 398 p.
- GRANDTNER, M.M., 1966a. *La végétation forestière du Québec méridional*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 216 p.
- GRANDTNER, M.M., 1966b. *La végétation forestière du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine*. Notice sommaire et carte en couleurs (A14), au 1/500 000. Dans : Atlas régional du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine. Bureau d'aménagement de l'Est du Québec avec la collaboration de l'ARDA.
- GRANDTNER, M.M., 1967. *Les ressources végétales des Îles-de-la-Madeleine*. Fonds de recherches forestières de l'Université Laval, Québec. Bulletin n° 10. 53 p.
- GRONDIN, P., L. BÉLANGER, V. ROY, J. NOËL et D. HOTTE, 2003. *Envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière*. Dans : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière. P. Grondin et A. Cimon, coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. p. 131-174.
- HALLIDAY, W.E.D., 1937. *A forest classification for Canada*. Department of Mines and Resources. Lands, Parks and Forests Branch, Ottawa. Bulletin n° 89. 50 p.
- HARE, F.K., 1950. *Climate and zonal divisions of the Boreal forest formation in Eastern Canada*. Geographical Review 40(4) : 615-635.

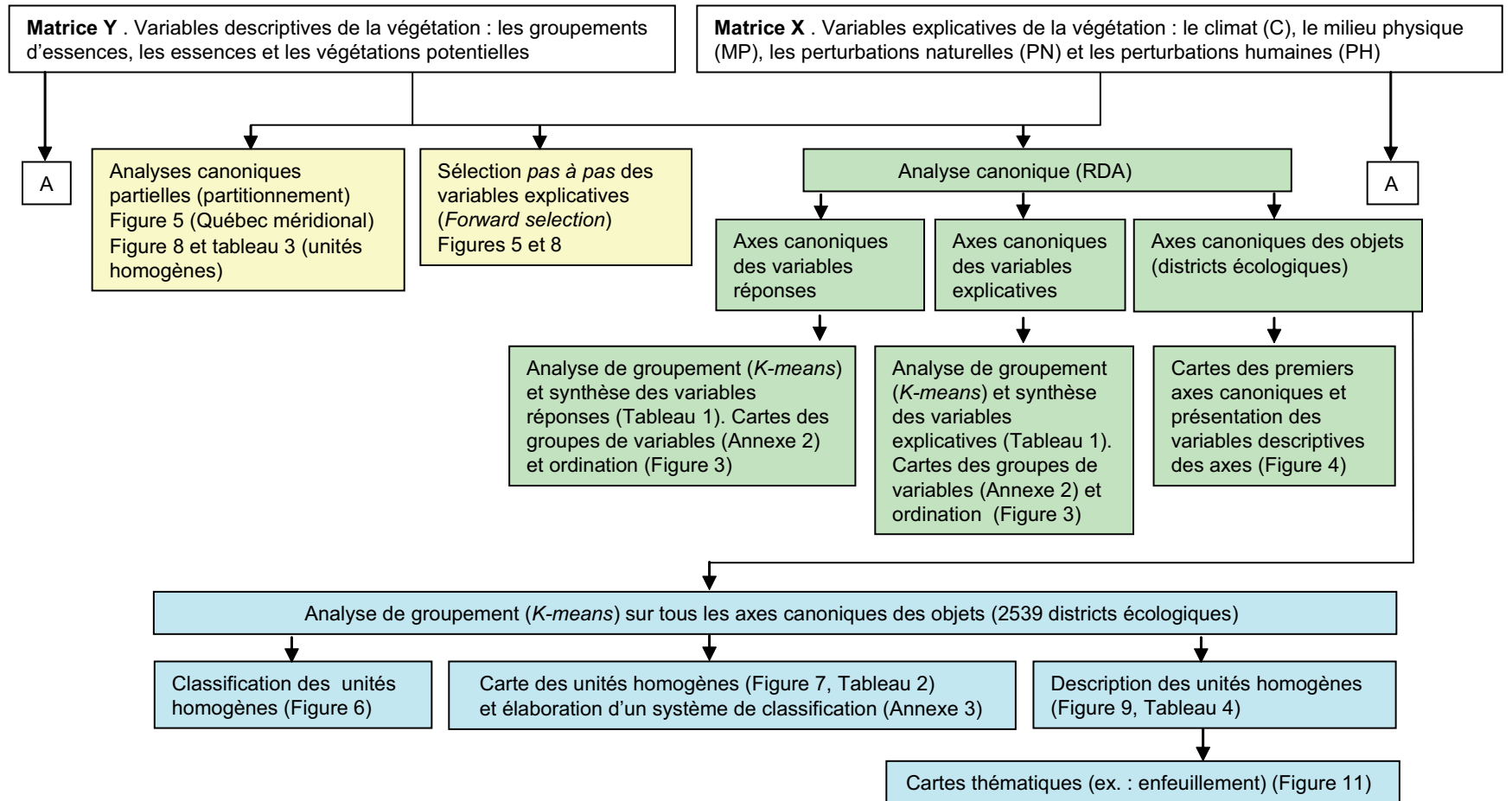
- HARE, F.K., 1959. *A photo-reconnaissance survey of Labrador-Ungava*. Geographical Branch, Mines and Technical Surveys, Ottawa. Mémoire n° 6. 83 p.
- HARVEY, B., A. LEDUC, S. GAUTHIER et Y. BERGERON, 2002. *Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest*. Forest Ecology and Management 155(1-3) : 369-385.
- HARVEY, B., T. NGUYEN-XUAN, Y. BERGERON, S. GAUTHIER et A. LEDUC, 2003. *Forest management planning based on natural disturbance and forest dynamics*. Dans : Towards sustainable management of the boreal forest. Édité par P. J. Burton, C. Messier, D. W. Smith et W. L. Adamowicz. NRC Research Press, Ottawa. p. 395- 432.
- HEIMBURGER, C.C., 1941. *Forest-site classification and soil investigation on lake Edward forest experiment area*. Department of Mines and Resources. Lands, Parks and Forests Branch, Ottawa. Silvicultural Research Note n° 66. 60 p.
- HEINSELMAN, M.L. et H.E.J. WRIGHT, 1973. *The ecological role of fire in natural conifer forests of western and northern North America*. Quaternary Research 3(3) : 317-328.
- HILLS, G.A., 1960. *Regional site research*. Forestry Chronicle 36(4) : 401-423.
- HUSTICH, I., 1949. *Phytogeographical regions of Labrador*. Arctic 2 : 36-42.
- JENNY, H., 1946. *Arrangement of soil series and types according to functions of soil-forming factors*. Soil Science 61(5) : 375-391.
- JURDANT, M., 1964. *Carte phytosociologique et forestière de la Forêt expérimentale de Montmorency*. Ministère des Forêts, Direction des recherches forestières, Ottawa. Publication n° 1046F. 70 p.
- JURDANT, M., 1968. *Ecological classification of forest lands, an integrated vegetation soil-landform*. Cornell University, Ithaca, New York. (thèse de doctorat). 196p.
- JURDANT, M., J. BEAUBIEN, J.L. BÉLAIR, J.C. DIONNE et V. GERARDIN, 1972. *Carte écologique de la région du Saguenay — Lac-Saint-Jean : notice explicative*. Centre de recherches forestières des Laurentides, Environnement Canada, Terres, Forêts et Faune. Rapport d'information Q-F-X-31. 3 vol.
- JURDANT, M., J.L. BÉLAIR, V. GERARDIN et J.P. DUCRUC, 1977. *L'inventaire du Capital-Nature. Méthode de classification et de cartographie écologique du territoire (3^{ème} approximation)*. Pêches et Environnement Canada, Direction régionale des terres. Série de la classification écologique du territoire, n° 2. 202 p.
- LAFOND, A. et G. LADOUCEUR, 1968a. *Les groupements forestiers de la province de Québec*. Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche. Rapport interne n° 24. 726 p.
- LAFOND, A. et G. LADOUCEUR, 1968b. *Les forêts, les climax et les régions biogéographiques du bassin de la rivière Outaouais, Québec*. Naturaliste canadien 95(2) : 317-366.
- LAFOND, A., 1969. *Notes pour l'identification des types forestiers sur les concessions de la Québec North Shore Paper Co.* 4^e édition. Québec North Shore Paper Co., Baie-Comeau. 93 p.
- LAQUERRE, S., 2007. *Analyses multi-échelles du phénomène d'enfeuilement du couvert forestier de la région de l'Abitibi*. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. (mémoire de maîtrise). 99 p.
- LAVOIE, M. et L. FILION, 2001. *Holocene vegetation dynamics of Anticosti Island, Quebec, and consequences on remoteness on ecological succession*. Quaternary Research 56(1) : 112-127.
- LEDUC, A., 1992. *Biogéographie régionale : problèmes, méthodes et applications*. Université du Québec à Montréal. (thèse de doctorat). 164 p.
- LEFORT, P., S. GAUTHIER et Y. BERGERON, 2003. *The influence of fire weather and land use on the fire activity of the lake Abitibi area, eastern Canada*. Forest Science 49(4) : 509-521.
- LEFORT, P., A. LEDUC, S. GAUTHIER et Y. BERGERON, 2004. *Recent fire regime (1945-1998) in the boreal forest of western Québec*. Écoscience 11(4) : 433-445.
- LEGENDRE, P., 2001. *Program K-means – User's guide*. Université de Montréal. ([http : //www. bio.umontreal.ca/legendre/](http://www.bio.umontreal.ca/legendre/))
- LEGENDRE, P. et E. GALLAGHER, 2001. *Ecologically meaningful transformations for ordination of species data*. Oecologia 129(2) : 271-280.
- LEGENDRE, P. et L. LEGENDRE, 1998. *Numerical Ecology*. 2nd English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam. 853 p.

- LERTZMAN, K.P. et J. FALL, 1998. *From forest stands to landscapes: spatial scales and the roles of disturbances*. Dans : Peterson, D. L. et V.T. Parker (eds.), *Ecological scale, theory and applications*. Columbia University Press, New York. p. 339-367.
- LI, T. et J.P. DUCRUC, 1999. *Les provinces naturelles. Niveau I du cadre écologique de référence du Québec*. Ministère de l'Environnement. 90 p.
- LINTEAU, A., 1960. *Classification des stations forestières de la section des conifères du nord-est, région forestière boréale du Québec*. Direction des forêts, Ministère du nord canadien et des ressources nationales. Bulletin n° 118. 93 p.
- MAJGEN, Z., 1981. *Les forêts du parc national Forillon, Gaspésie, Québec : Étude phytosociologique. Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec. Études écologiques n° 4. 275 p.*
- MARIE-VICTORIN frère, BROUILLET, L. et I. GOULET, 1995. *Flore Laurentienne*. 3^e édition. Les Presses de l'Université de Montréal. 1083 p.
- MESSAOUD, Y., Y. BERGERON et A. LEDUC, 2007. *Ecological factors explaining the location of the boundary between the mixedwood and coniferous bioclimatic zones in the boreal biome of eastern North America*. *Global Ecology and Biogeography* 16(1) : 90-102.
- MORIN, H., 1998. *Importance et évolution des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est du Canada : l'apport de la dendrochronologie*. *Géographie physique et Quaternaire* 52(2) : 237-244.
- MRN, 2001. *Les systèmes hiérarchiques de classification écologique du territoire*. Ministère des Ressources naturelles. (www.mrnf.gouv.qc.ca)
- ØKLAND, R.H., 1999. *On the variation explained by ordination and constrained ordination axes*. *Journal of Vegetation Science* 10(1) : 131-136.
- PAYETTE, S., 1983. *The forest tundra and present tree-line of the northern Quebec-Labrador Peninsula*. *Nordicana* 47 : 3-23.
- PAYETTE, S., 1992. *Fire as a controlling process in the North American boreal forest*. Dans : H. H. Shugart, R. Leemans et G. B. Bonan, éditeurs. *A systems analysis of the global boreal forest*. Cambridge University Press. p. 144-169.
- PAYETTE, S. et A. BOUCHARD, 2001. *Le contexte physique et biogéographique*. Dans : *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Sous la direction de Serge Payette et Line Rochefort. Les Presses de l'Université Laval, Québec. p. 9-37.
- PELLETIER, G., Y. DUMONT, M. BÉDARD et J. BERGERON, 1996. *SIFORT : un système hybride des modes vectoriel et matriciel pour une approche de l'analyse forestière*. *Arpenteur-géomètre* 23(3) : 8-9.
- PERES-NETO, P. R., P. LEGENDRE, S. DRAY et D. BORCARD, 2006. *Variation partitioning of species data matrices : estimation and comparison of fractions*. *Ecology* 87(10) : 2614-2625.
- PERRY, G.L.W., 2002. *Landscapes, space and equilibrium: shifting viewpoints*. *Progress in Physical Geography* 26(3) : 339-359.
- RÉGNIERE, J., 1996. *Generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting with temperature driven simulations models*. *Environmental Entomology* 25(5) : 869-881.
- RICHARD, P., 1978. *Aires ombrothermiques des principales unités de végétation du Québec*. *Naturaliste canadien* 105(3) : 195-207.
- RICHARD, P.J.H., 1987. *Le couvert végétal au Québec-Labrador et son histoire postglaciaire*. Département de géographie, Université de Montréal. Notes et documents n° 87-01. 74 p.
- RICHARD, P.J.H., 1993. *Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec*. *Review of Paleobotany and Palynology*, 79(1-2) : 31-68.
- ROBITAILLE, A., 1988. *Cartographie des districts écologiques : normes et techniques*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de l'inventaire forestier. 85 p.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*, Québec. Les Publications du Québec. 213 p.
- ROUSSEAU, J., 1952. *Les zones biologiques de la péninsule Québec-Labrador et l'hémiarctique*. *Canadian Journal of Botany* 30(4) : 436-475.
- ROUSSEAU, J., 1968. *The vegetation of the Quebec-Labrador peninsula between 55° and 60° N*. *Naturaliste canadien* 95(2) : 469-563.

- ROWE, J.S., 1962. *Soil, site and land classification*. Forestry Chronicle 38(4) : 420-432.
- ROWE, J.S., 1972. *Les régions forestières du Canada*. Ministère de l'Environnement, Service Canadien des Forêts. Publication n° 1300F. 172 p.
- ROY, H., 1931. *Principes de classification des peuplements*. Association des ingénieurs forestiers de la province de Québec. Comptes-rendus des études forestières présentées à l'assemblée annuelle tenue à Québec les 18 et 19 décembre 1930. p. 51-67.
- ROY, H., 1932. *Classification écologique des types forestiers*. L'association des ingénieurs forestiers de la province de Québec. Comptes-rendus des études forestières présentées à l'assemblée annuelle tenue à Québec les 17 et 18 décembre 1931. p. 57-74.
- SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3^e version) : un des éléments du système hiérarchique du territoire mis au point par le Ministère des Ressources naturelles du Québec*. L'Aubelle n° 124, suppl. février-mars 1998. 12 p.
- SWANSON, F.J., J.A. JONES, D.O. WALLIN et J.H. CISSEL, 1994. *Natural variability - Implications for ecosystem management*. Dans : Eastside forest ecosystem health assessment. Volume 2 : Ecosystem management : principes and applications. Edited by M. E. Jensen and P. S. Bourgeron. Gen. Tech. Rep. PNW-318. USDA Forestry Service. Portland, Oregon. p. 80-94.
- SWANSON, F.J., T.K. KRATZ, N. CAINE et R.G. WOODMANSEE, 1988. *Landform effects on ecosystem patterns and processes*. BioScience 38(2) : 92-98.
- 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(4) : 1189-1206.
- TER BRAAK, C.J.F. 1987. *Partial canonical correspondence analysis*. Vegetatio 69 : 79-87.
- THIBAUT, M. et D. HOTTE, 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional, deuxième approximation*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche appliquée. Carte en couleurs à l'échelle 1/1 250 000.
- TURNER, M.G., 1989. *Landscape ecology: The effect of pattern on process*. Annual Review of Ecology and Systematics 20 : 171-197.
- TURNER, M.G., 2005. *Landscape ecology: What is the state of the science?* Annual Review of Ecology and Systematics 36 : 319-344.
- TURNER, M.G., W.W. HARGROVE, R.H. GARDNER et W.H. ROMME, 1994. *Effects of fire on landscape heterogeneity in Yellowstone National Park, Wyoming*. Journal of Vegetation Science 5(5) : 731-742.
- TURNER, M.G., W.H. ROMME, R.H. GARDNER, R.V. O'NEIL et T.K. KRATZ, 1993. *A revised concept of landscape equilibrium: disturbance and stability on scaled landscapes*. Landscape Ecology 8(3) : 213-227.
- UNG, C.-H., P.Y. BERNIER, F. RAULIER, R.A. FOURNIER, M.C. LAMBERT et J. RÉGNIÈRE, 2001. *Biophysical site indices for shade tolerant boreal species*. Forest Science 47(1) : 83-95.
- WATT, A.S., 1947. *Pattern and process in the plant community*. Journal of Ecology 35(1/2) : 1-22.
- WHITE, P.S., 1979. *Pattern, process and natural disturbance in vegetation*. Botanical Review 45(3) : 229-299.
- WHITTAKER, R. H., 1953. *A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern*. Ecological Monographs 23(1) : 41-78.
- WU, J. et O. L. LOUCKS, 1995. *From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology*. Quarterly Review of Biology 70(4) : 439-466.

Annexe 1.

Cheminement de la classification et de la cartographie les unités homogènes du Québec méridional.



Formation des groupes de variables descriptives et des groupes de variables explicatives

Partitionnement de la variation de la végétation selon les quatre familles de facteurs

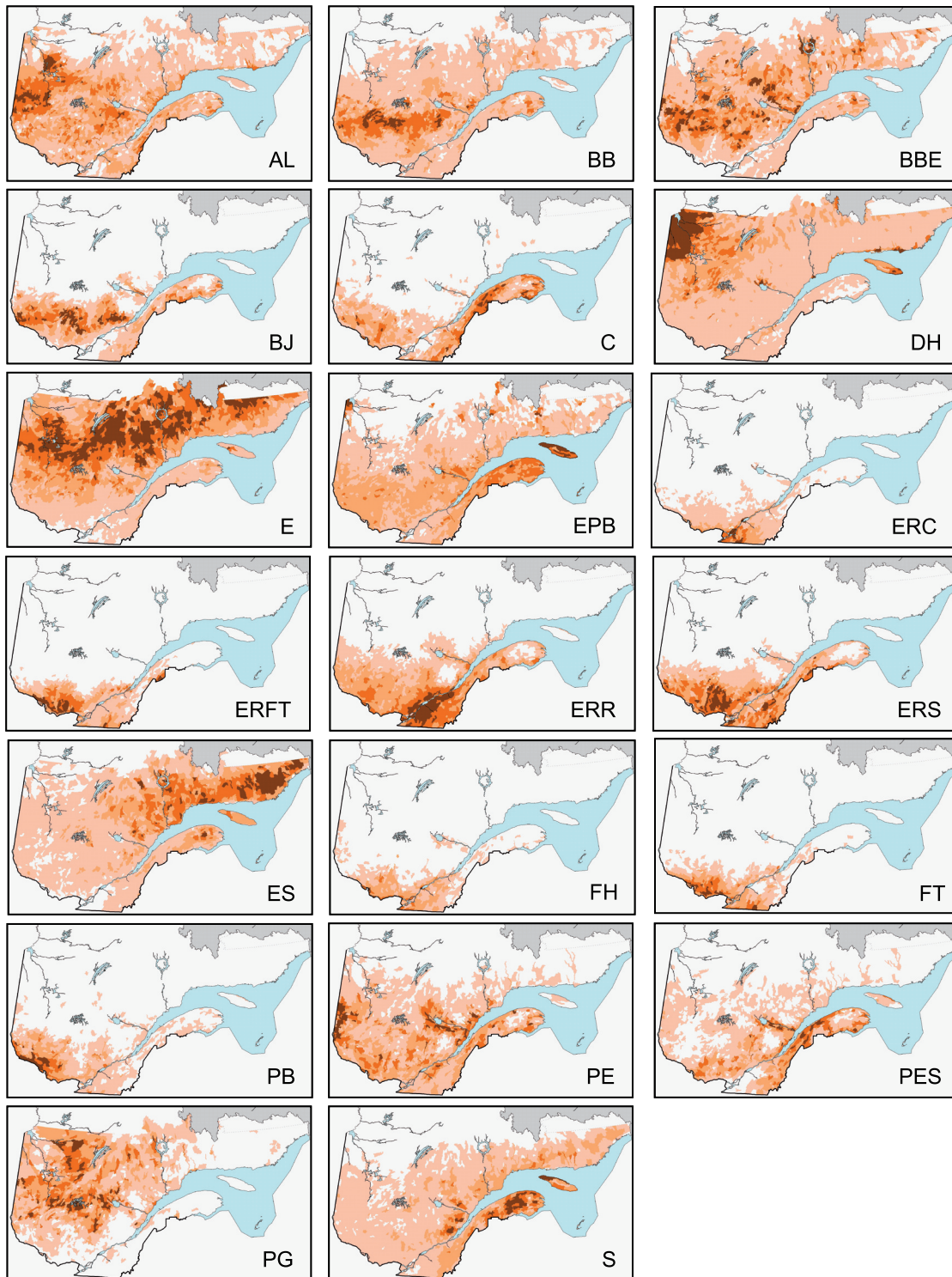
Classification et cartographie des unités homogènes

A Analyses de groupement (*K-means*) ou de correspondance (*Twinspan*) sur les données brutes des thèmes de végétation et des familles de facteurs (voir Atlas)

Annexe 2.

Répartition d'une variable représentative de chacun des groupes de variables (descriptives et explicatives). La composition des groupes ainsi que la signification des codes sont présentées au tableau 1.

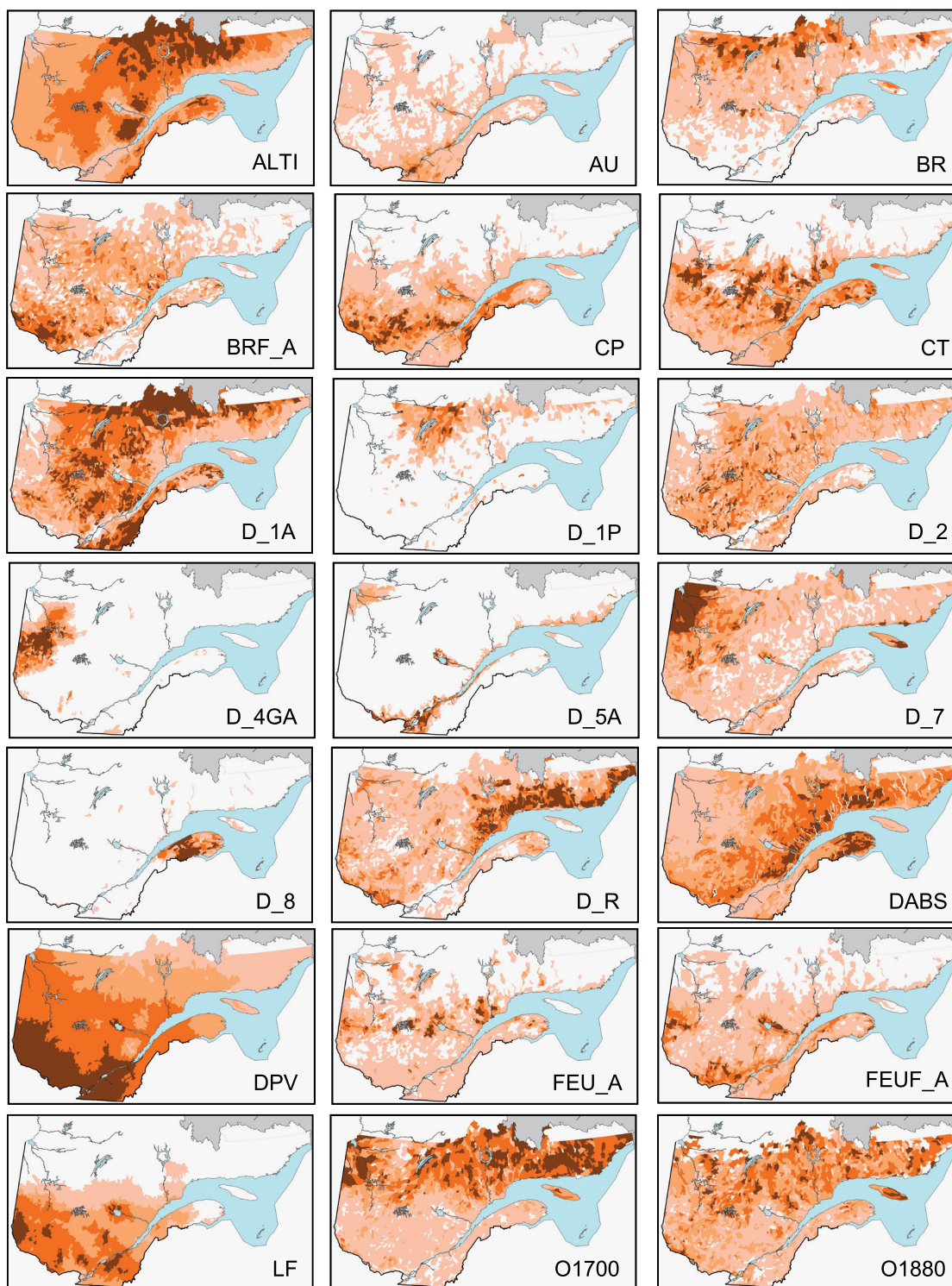
Plus la variable décrite est abondante, plus la couleur est foncée.



Annexe 2 (suite).

Répartition d'une variable représentative de chacun des groupes de variables (descriptives et explicatives). La composition des groupes ainsi que la signification des codes sont présentées au tableau 1.

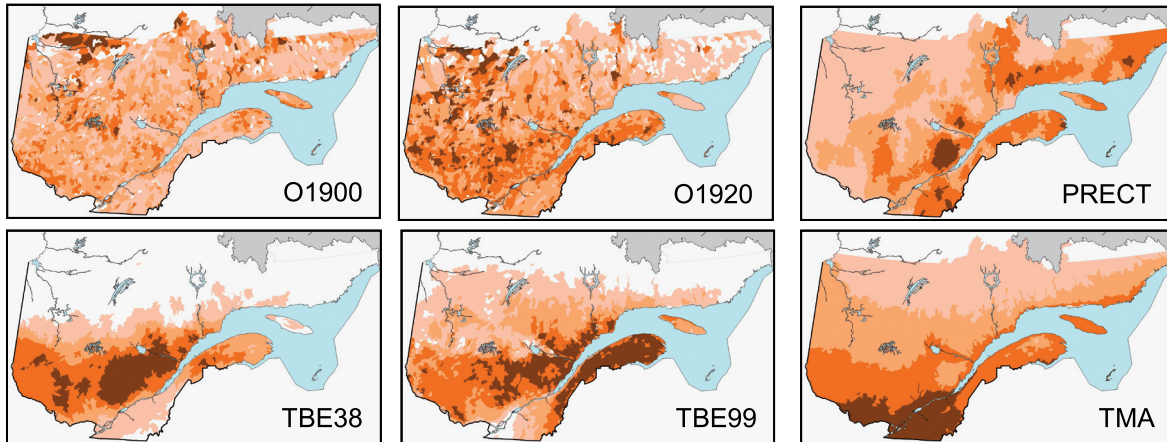
Plus la variable décrite est abondante, plus la couleur est foncée.



Annexe 2 (suite).

Répartition d'une variable représentative de chacun des groupes de variables (descriptives et explicatives). La composition des groupes ainsi que la signification des codes sont présentées au tableau 1.

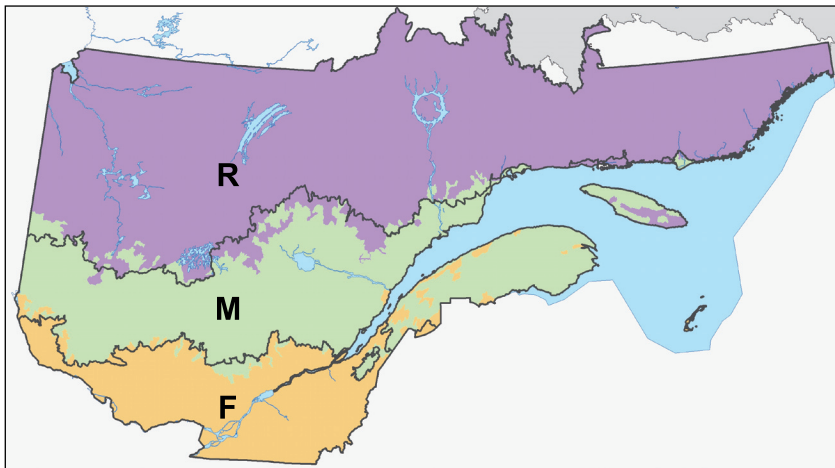
Plus la variable décrite est abondante, plus la couleur est foncée.



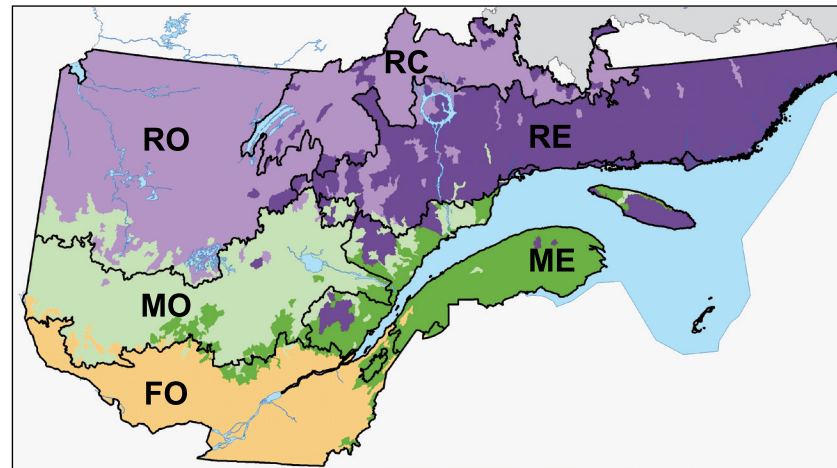
Annexe 3.

Découpage du Québec méridional selon une analyse de groupement K-means effectuée sur les axes canoniques des districts écologiques issus d'une RDA. Seulement quelques subdivisions sont présentées ici.

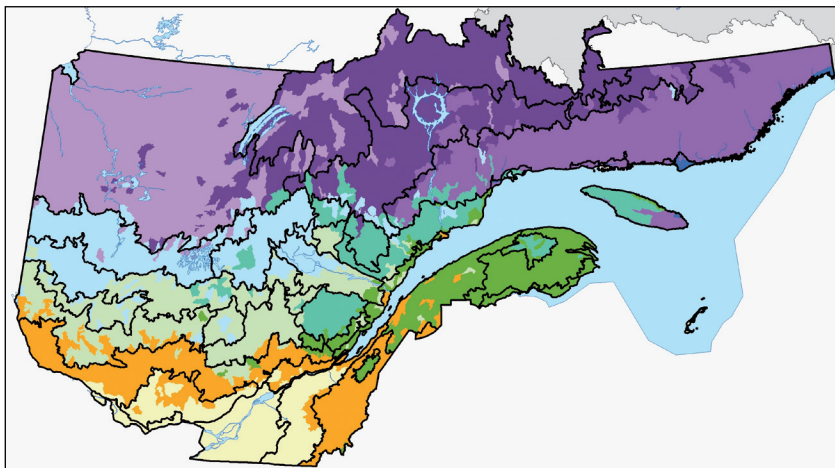
3 groupes - Premier niveau de perception



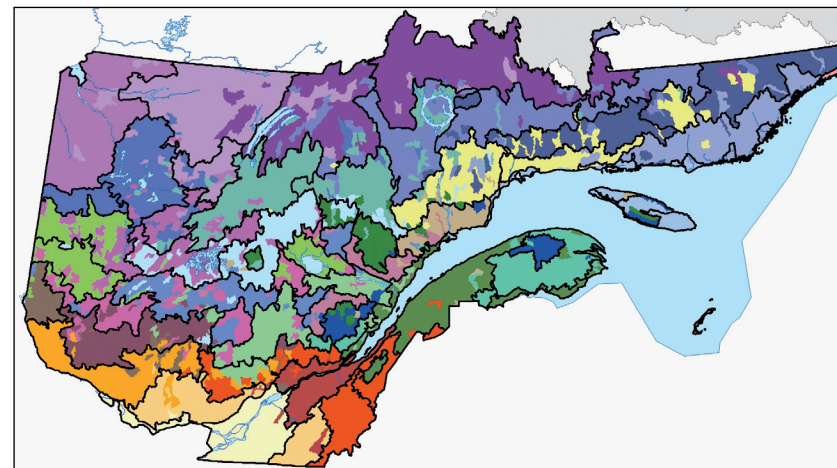
5 groupes - Deuxième niveau de perception



10 groupes¹ - Troisième niveau de perception



30 groupes - Quatrième niveau de perception

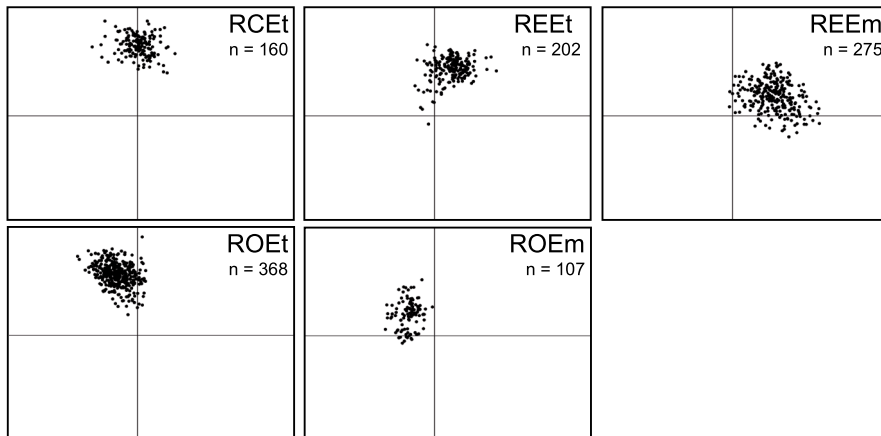


¹ La portion inférieure de forêt mélangée de l'Ouest est relativement homogène. Elle se découpe davantage lorsque le nombre de groupes est supérieur à 10.

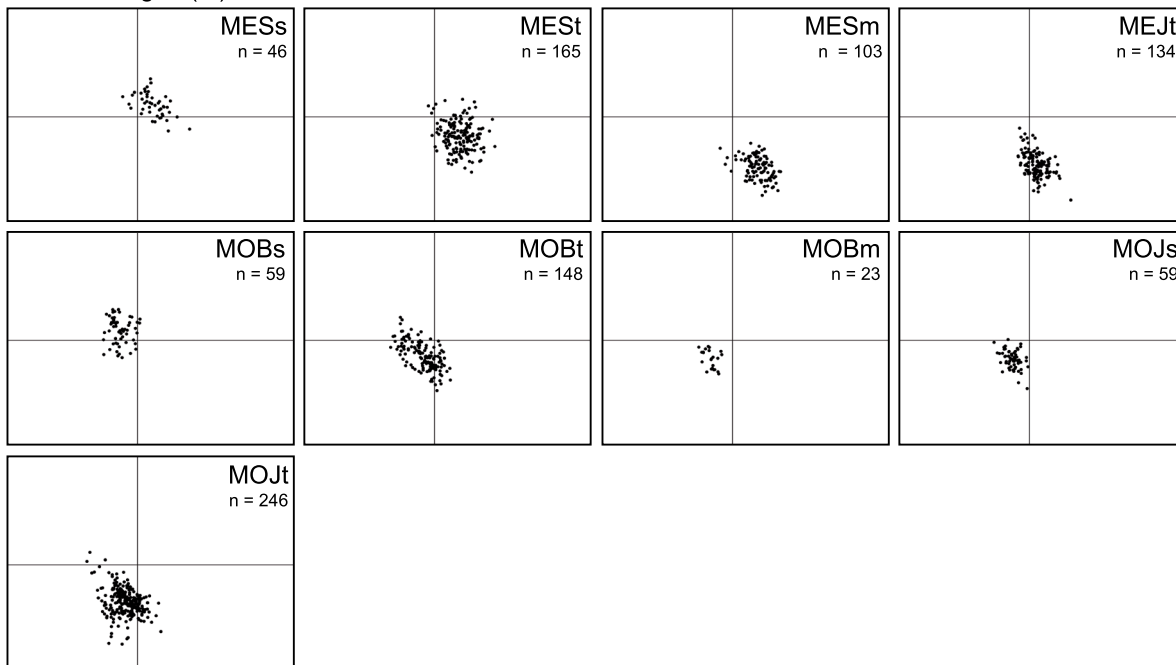
Annexe 4.

Répartition des districts écologiques de chacune des unités homogènes du troisième niveau de perception. Les districts sont localisés le long des deux premiers axes d'une analyse de redondance. La signification des codes est donnée au tableau 2.

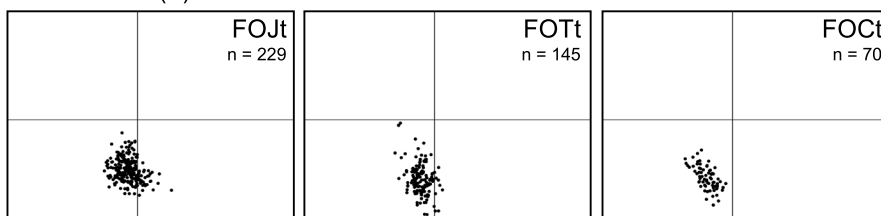
Forêt résineuse (R)



Forêt mélangée (M)



Forêt feuillue (F)



Annexe 5.

**Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception.
La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.**

			Les groupements d'essences																							
Niveau 4	Superficie (km ²)	Districts ¹	AL	BB	BBE	BBS	BJ	C	DH	DS	E	ER	ERBJ	ERFT	EROR	ES	FH	FT	ME	PB	PE	PEE	PES	PG	S	
RCE1	83459	160	0,1	0,2	1,0	0,1			6,2	19,8	34,4					4,6			-		-	-	-	3,1	0,1	
REE7	1197	4	0,0	0,4	1,3	0,1			0,8	37,8	27,3					27,7			-					0,4	0,8	
REE6	50815	157	0,2	1,2	3,0	1,1		-	2,0	14,2	40,5					20,4			-		0,1	0,2	-	1,8	1,2	
REE5	16334	41	0,7	1,0	3,4	1,4			2,6	3,7	37,7					13,8			-		0,6	1,0	0,1	3,9	2,5	
REEm4	46006	121	0,1	1,1	1,3	0,4		-	3,0	19,3	25,0					30,7			-		0,1	0,2	-	0,1	5,3	
REEm3	1191	2	0,1						26,8	33,5	1,9					17,3									15,4	
REEm2	24261	58	0,2	0,1	0,3	0,5			4,1	38,4	7,8					29,9					0,1	0,1	-	-	4,3	
REEm1	27785	94	0,3	1,6	2,4	1,3			1,9	11,5	27,9					24,4			-		0,6	1,3	0,2	1,2	7,6	
ROEt7	37945	50	0,5	-	-	-			61,1	4,7	20,1					0,3			-		0,1	0,3	-	3,3	-	
ROEt6	48389	114	0,4	0,3	1,3	-			15,2	11,3	18,2					0,4			-	-	0,1	0,3	-	17,5	-	
ROEt5	28441	108	2,8	0,9	2,2	0,3		-	13,2	1,3	45,8					0,9			-	-	1,4	3,7	0,1	8,6	0,3	
ROEt4	8075	32	1,8	1,0	4,2	0,5		-	13,7	1,3	39,8					3,3			-	-	0,5	1,1	-	15,2	0,1	
ROEt3	23347	64	0,9	1,9	3,9	1,0		-	8,6	1,5	47,5					5,7			-	-	0,3	1,0	0,1	8,7	0,8	
ROEm2	15433	71	0,8	3,4	4,1	1,7			10,6	0,5	24,2					2,7					1,8	2,7	0,4	25,2	0,5	
ROEm1	16394	36	4,3	3,3	1,8	0,5		-	13,4	0,7	23,7				-	1,2	0,0		0,7	-	4,6	7,2	0,2	14,0	0,7	
MESs8	9556	49	0,5	2,8	5,2	2,8	-	-	1,9	1,2	34,7					17,2			-		0,6	2,1	0,1	1,7	8,9	
MESi7	6705	24	0,8	0,3	0,3	1,1	-	-	27,9	16,8	6,1	0,1			-	12,5			0,6		0,2	0,5	0,3	0,6	15,1	
MESi6	4835	10	-	0,1	0,0	2,3			9,9	4,0	14,2					17,7			1,1	-	0,3	0,2	1,6		27,2	
MESi5	9902	39	1,0	3,2	1,8	3,9	-	-	1,6	5,9	15,6				-	16,6			-	-	5,5	3,8	0,7	1,4	10,3	
MESi4	8652	47	0,6	2,9	1,4	5,4	0,5	0,5	1,0	2,7	9,1	0,1	-		-	12,2			0,3	0,1	1,1	0,9	0,3	0,0	32,8	
MESm3	8531	45	1,2	16,4	4,9	6,4	1,3	0,0	1,3	1,1	13,5	-	-		-	6,8			0,2	-	4,9	2,3	0,4	0,4	7,2	
MESm2	20487	103	0,7	5,1	1,8	12,4	4,6	2,4	0,3	0,9	4,7	0,7	0,6	0,0	0,6	9,7	-	-	0,1	0,1	3,8	2,6	2,8	0,6	27,9	
MEJi1	27423	134	1,1	3,3	1,5	7,6	3,2	3,8	1,5	1,2	2,9	4,8	1,4	0,9	2,5	3,1	0,1	0,1	0,4	0,2	7,5	7,0	7,8	0,7	11,4	
MOBs9	16874	56	1,3	4,7	4,1	2,3			3,2	1,6	22,7					5,3			0,1	0,0	3,1	2,8	0,1	13,4	3,1	
MOBi8	22813	104	1,2	19,4	6,0	8,2	1,4	-	3,3	0,4	18,7	0,1	0,2		-	2,6	-		0,1	0,1	3,1	3,6	0,8	7,9	2,3	
MOBi7	11507	44	4,7	6,6	5,5	1,6	0,1	0,2	10,4	2,5	16,3	-	-		-	1,2	-		0,8	-	10,5	6,3	0,6	6,1	1,1	
MOBm6	4928	23	2,0	7,9	3,9	2,6	0,5	0,0	3,1	2,8	9,5	-	-			3,0	0,1		0,1	-	13,9	9,4	1,7	21,0	0,7	
MOJs5	14473	59	1,1	19,7	7,2	2,8	4,5	0,5	5,4	0,4	13,7	0,5	1,3		0,4	0,7	-	-	0,2	1,7	3,0	3,7	0,3	5,8	0,7	
MOJi4	6219	20	0,8	2,1	1,5	1,0	0,2	0,0	13,0	0,9	3,5	0,2			0,0	0,9	0,1	-	0,5	0,1	8,0	6,7	5,5	9,8	0,8	
MOJi3	20109	91	1,5	10,5	4,2	10,2	8,0	0,1	1,9	1,5	7,9	1,5	2,0	-	0,9	3,8	-	-	0,1	0,5	9,1	6,7	6,0	3,8	3,5	
MOJi2	21231	100	1,3	16,5	7,1	2,1	14,5	1,2	3,4	0,1	11,6	3,3	6,9	0,5	0,6	0,9	-	0,1	0,2	2,9	3,4	4,4	0,1	1,6	0,9	
MOJi1	6410	35	2,3	11,4	4,5	3,3	1,4	0,5	5,0	1,5	7,4	0,3	0,6	0,0	0,3	1,1	0,1	0,0	0,1	0,6	17,1	12,3	0,7	3,8	0,7	
FOJi5	29710	143	1,0	3,5	1,8	5,7	9,8	1,6	1,3	0,1	2,2	11,0	6,9	3,0	4,6	3,3	0,1	0,5	1,0	0,5	4,0	4,2	4,0	0,2	6,9	
FOJi4	21489	86	0,9	7,0	2,4	1,5	13,3	1,8	2,6	-	2,5	8,4	7,8	5,9	1,1	1,0	0,4	1,9	0,1	7,4	6,5	6,5	1,7	1,0	2,1	
FOTi3	12311	60	0,6	1,5	0,3	0,6	0,5	0,7	3,4	-	0,7	7,8	0,6	2,2	8,0	0,9	0,8	0,6	0,9	0,6	5,7	4,3	2,1	0,1	3,2	
FOTi2	22805	85	0,7	1,8	0,4	1,4	3,3	1,8	1,1	0,1	0,2	12,6	3,9	14,6	7,0	0,6	1,0	6,1	0,2	2,8	4,3	3,7	3,2	-	2,6	
FOC1	20634	70	0,4	1,2	0,1	0,1	0,1	0,6	1,7	0,1	0,1	3,2	0,1	3,7	5,5	0,1	2,7	3,4	0,1	2,5	3,6	1,6	0,7	0,1	0,5	
756675		2539																								

756675 2539

¹ Nombre de districts.

Note : - signifie <= 0,1

Annexe 5 (suite).

**Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception.
La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.**

	Les essences																							
Niveau 4	BOG	BOJ	BOP	EPB	EPN	EPR	ERC	ERR	ERS	FRN	HEG	MEL	MER	PEB	PEG	PET	PIG	PIN	PRP	PRU	SAB	SAL	SOL	THO
RCEt1			2,7	0,8	79,7							0,8				0,2	4,2		-		11,6	0,1	-	-
REEt7			4,3	7,4	54,2							0,4									33,7	-	-	
REEt6			4,6	1,1	68,5							0,3				0,8	1,1		-		23,4	0,1	-	
REEt5			9,1	0,8	59,7	-						0,1				2,5	4,4		0,1		23,1	0,2	0,1	
REEm4			3,3	1,6	60,8							0,4				0,5	0,2		-		33,2	0,1	-	
REEm3			0,5	0,9	35,1																63,5			
REEm2			2,2	1,0	48,6							0,1				0,2	-				47,9	-	-	
REEm1			5,9	2,0	53,5	-		-				0,1				1,4	1,2		-		35,6	0,1	-	
ROEt7			0,3	1,1	85,3							0,6		0,5		1,8	6,0		-		4,0	0,2	-	0,2
ROEt6			3,9	0,1	66,0							0,1				1,1	27,5		-		1,1	0,1	-	-
ROEt5			3,4	0,5	75,4							0,2		0,1		6,1	8,4		-		5,3	0,5	-	-
ROEt4			6,7	0,2	68,1			-				0,2		-		2,6	15,6		0,1		6,3	0,1	0,1	
ROEt3			8,0	0,7	72,7			-				0,2		-		1,7	5,8		-		10,7	0,1	-	-
ROEm2			14,4	1,0	48,1	-		0,1				0,3		-	-	6,0	21,4	-	0,3		8,1	0,1	0,2	-
ROEm1			9,1	1,3	44,6	-		0,1				1,1		0,9	-	14,7	15,2	-	0,6		9,8	2,2	0,1	0,3
MESs8	-	-	9,9	3,4	50,6	-		-				0,1				2,1	1,9		0,1	-	31,7	0,1	0,1	
MESi7		0,1	4,8	15,8	27,2	-		0,1	0,1	-	0,1	1,2	-	0,3		4,1	0,5	0,2	-		44,9	0,1	0,1	0,4
MESi6			3,9	27,2	32,5	-		0,0				0,7		0,7	-	1,6		0,3			33,1	-	-	
MESi5		0,2	9,4	4,4	37,4	-		0,3		-	-	0,2		0,2		6,5	1,8	-	0,4		38,6	0,3	0,3	0,1
MESi4		0,4	9,7	7,3	22,8	0,6		0,1	0,1	-		0,4		0,1		0,9	0,1	-	0,2	-	55,2	0,1	0,3	1,7
MESm3	-	1,6	20,8	6,0	25,0	0,8		0,4	-	-		0,1		0,0	-	5,8	0,3	0,1	0,7		37,6	0,2	0,6	0,0
MESm2	-	2,6	13,0	9,4	11,4	1,9	-	1,8	0,9	-	-	0,1		0,4	-	5,3	0,5	0,1	1,0	-	46,0	0,1	0,7	4,5
MEJt1	-	3,5	12,1	8,1	7,6	1,3	-	4,7	6,0	0,3	0,6	0,8	-	1,6	0,1	10,7	1,0	0,3	1,5	-	29,7	0,5	0,5	8,9
MOBs9	-	0,2	16,2	1,5	40,4	0,1		0,2	0,0	0,1		0,4		-	-	6,9	12,8	-	0,6		19,9	0,3	0,2	0,2
MOBt8	-	2,5	23,6	3,8	29,8	0,1	-	1,1	0,3	-		0,4	-		-	6,3	7,5	0,2	1,4	-	22,1	0,2	0,4	0,3
MOBt7		0,1	17,7	3,0	27,4	-		1,0		-		0,7		1,1	-	22,4	7,8	0,2	1,3		13,0	3,2	0,1	1,0
MOBm6		0,6	18,5	1,9	26,2	0,6		0,6	-	0,1		0,3		-	-	18,2	17,7	-	1,2		13,2	0,7	0,3	-
MOJs5		5,5	24,1	4,2	23,3	0,1		3,1	1,3	0,1		0,7	-	-	0,1	6,2	7,0	2,3	1,1	-	15,3	0,2	0,2	5,2
MOJt4		0,9	13,5	5,6	13,0	0,2	-	2,3	0,2	1,6		1,4		1,1	-	21,7	20,6	0,2	1,6		13,3	1,6	0,3	0,9
MOJt3	-	8,5	17,1	5,6	13,3	1,1	-	4,6	2,3	0,5	0,2	0,3	-	0,4	0,4	12,2	3,7	0,6	1,5	0,1	25,3	0,4	0,4	1,5
MOJt2	-	12,3	17,3	5,1	15,5	0,2	-	4,8	7,1	0,4	0,2	0,2	0,4	-	0,5	3,6	2,0	2,6	1,0	0,1	19,6	0,1	0,1	7,0
MOJt1	-	2,2	21,7	5,1	15,2	0,3	-	3,9	0,7	0,6		0,7	-	1,3	1,1	22,8	4,1	2,5	0,5		11,1	1,2	-	4,8
FOJt5	0,3	10,0	8,6	3,9	4,5	5,5	0,2	9,8	14,5	0,5	2,4	0,5	0,3	0,4	0,7	4,7	0,2	0,7	1,1	0,4	24,2	0,3	0,2	6,2
FOJt4	0,1	11,6	8,9	4,8	4,4	0,5	0,3	6,2	15,5	1,2	2,4	0,1	3,4	0,3	3,0	5,3	1,1	7,7	0,4	2,1	13,7	0,2	-	7,0
FOTt3	3,1	4,2	3,2	2,6	3,1	3,5	1,5	21,9	10,7	1,4	3,1	1,6	1,3	0,6	1,2	4,4	0,2	1,8	0,6	4,1	19,1	0,3	-	6,6
FOTt2	0,9	6,2	3,7	2,9	1,1	1,5	1,7	9,9	23,8	1,3	4,7	0,5	6,2	0,4	2,6	4,1	0,1	2,5	0,5	5,7	12,6	0,2	-	6,8
FOCt1	3,1	2,6	2,1	1,8	0,7	0,6	11,8	20,2	10,9	1,7	2,8	0,7	6,1	0,6	2,0	6,0	0,2	6,3	0,4	5,3	6,5	1,5	-	6,1

Note : - signifie <= 0,1

Annexe 5 (suite).

**Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception.
La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.**

Niveau 4	Les végétations potentielles																			
	FC1	FE1	FE2	FE3	FE4	FE5	FE6	FO1	ME1	MF1	MJ1	MJ2	MS1	MS2	MS6	RB1	RC3	RE2	RP1	RS1
RCEt1									0,2					1,9		0,7		82,5		-
REEt7														2,0		12,9		42,6		42,5
REEt6									0,3					4,1		1,7		59,1		34,9
REEt5									1,1					8,9		0,5		56,7		32,8
REEm4									0,4					2,7		1,7		47,4		47,8
REEm3																		20,0		80,0
REEm2									0,4					1,1		0,6		25,7		72,2
REEm1									1,0					5,7		1,7		43,6		47,9
ROEt7									0,6					2,8		1,2		90,1		0,2
ROEt6									0,4					4,4		0,1		93,8		1,3
ROEt5								-	2,3					8,3		0,5		79,9		9,0
ROEt4				-					1,1					8,7		0,1		78,9		11,1
ROEt3									1,0					8,3		0,6		75,7		-
ROEm2				0,1					1,7					21,3		0,6		67,4	-	-
ROEm1				0,1				0,3	2,3					28,6		0,7	0,1	55,6		0,2
MESs8				-					1,3				0,0	12,1		3,3		45,0		38,1
MESst7				0,4	0,2				0,5	0,2			0,2	14,2		18,2		27,8	0,1	0,4
MESst6									0,4					9,8		37,4		30,9	0,2	21,1
MESst5				0,2					1,3			-	1,7	20,2	0,1	3,1		30,6	-	0,1
MESst4				0,4				-	0,2		-	0,2	0,9	15,9		7,4	0,3	20,3	0,1	2,2
MESsm3				0,6					1,0		0,2	2,3	4,4	34,1	0,1	4,0		18,5	0,1	-
MESsm2				2,6				-	0,7	-	0,5	2,6	9,9	26,2	0,5	7,2	0,7	11,5	0,1	4,0
MEJt1			-	12,0	0,6	-	0,1	0,2	0,4	0,5	1,1	2,3	12,3	30,9	1,3	5,1	1,4	7,4	0,3	7,2
MOBs9				0,3				-	1,7	0,1	0,0	0,2	0,3	24,7	0,1	0,9		50,1		0,2
MOBt8				1,7				-	1,0	-	0,5	2,8	3,3	37,3	0,2	1,8		33,1	0,1	0,2
MOBt7				1,3				0,3	1,4	-	0,0	0,2	0,1	48,0	0,2	1,6	0,1	32,6	0,1	0,8
MOBm6				0,7				-	2,8	0,1	0,2	0,9	1,2	42,9	0,2	1,1		37,9	0,1	11,2
MOJs5				5,2			-		0,8	-	1,7	6,4	3,8	36,2	0,4	1,4	0,2	27,0	2,0	3,9
MOJt4				3,9				0,2	2,0	2,2	0,2	0,5	3,1	41,7	0,4	4,1	-	33,0	0,1	0,5
MOJt3			0,1	9,0	0,1	-	-	0,0	0,8	0,7	2,1	8,6	13,7	31,4	0,9	2,4	0,1	13,2	0,6	1,3
MOJt2	0,2		0,1	13,5	0,2	0,2	1,1	0,0	0,3	0,5	3,5	11,5	8,0	23,4	0,9	2,1	0,5	15,4	2,3	4,3
MOJt1	-		0,1	8,8		0,0	0,2	0,3	3,2	0,8	0,6	2,9	1,9	49,6	0,3	2,4	0,4	16,0	1,8	3,8
FOJt5	0,1		1,5	25,2	2,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,9	3,5	5,7	16,3	14,1	2,2	2,4	0,8	3,3	0,6	5,2
FOJt4	2,4		2,6	20,7	1,5	1,8	6,7	0,1	0,2	1,6	4,5	9,4	7,5	15,6	1,1	1,6	0,6	4,7	6,1	4,7
FOTt3	0,8		10,1	19,3	3,0	1,1	1,0	0,7	0,1	2,9	4,6	1,4	10,3	8,6	7,4	1,2	0,4	3,5	1,7	5,1
FOTt2	3,4	0,1	10,8	25,3	3,6	5,0	6,1	0,2	-	2,3	4,2	2,9	7,4	7,8	1,7	1,8	0,6	0,8	1,9	5,5
FOct1	2,5	1,9	22,9	13,9	2,2	6,0	6,4	5,6	-	1,2	3,9	1,0	3,0	7,3	2,9	0,7	1,0	1,0	5,5	4,5

Note : - signifie <= 0,1

Annexe 5 (suite).

**Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception.
La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.**

Niveau 4	Le milieu physique																	
	D_1A	D_1AR	D_1P	D_2	D_3	D_4GA	D_4GS	D_5A	D_5S	D_7	D_8	D_8AR	D_EAU	D_R	ALTI	DABS	P_A	P_DEF
RCEt1	61,5	7,4	5,0	5,2	0,3	-	0,4			5,3	-		11,1	3,8	592,7	49,2	59,5	7,4
REEt7	26,1	14,2		1,4	0,1					0,3	0,2		4,4	53,2	851,6	132,4	22,5	46,0
REEt6	45,7	18,3	0,8	5,5	0,3		0,2			1,1	-		8,9	19,1	563,1	83,5	33,1	25,5
REEt5	44,8	24,4	0,1	10,5	0,4		0,4			1,3			12,7	5,4	491,5	81,3	40,5	18,5
REEm4	27,6	22,3	0,1	4,7	1,0		0,2	0,2	0,1	2,0	-		8,3	33,4	415,9	80,9	34,9	27,1
REEm3		0,7			0,9			22,7	4,9	28,6			5,6	35,0	47,7	41,9	71,0	6,5
REEm2	9,2	16,6	0,3	2,1	1,0		0,1	2,4	2,6	3,0			24,1	38,4	127,2	66,1	54,3	16,5
REEm1	15,6	20,9	0,2	5,5	0,9		0,3	0,2	1,2	0,9	-		10,4	43,4	380,0	92,7	33,9	34,7
ROEt7	1,6	0,3		0,1	0,2	2,9	0,0	2,0	2,3	69,1			4,4	4,8	174,3	10,8	93,8	0,7
ROEt6	43,4	8,2	2,8	8,0	0,2	0,7	1,5	0,1	0,9	15,7			13,9	4,4	349,2	36,6	70,8	5,5
ROEt5	17,7	8,4	-	1,2	0,1	40,4	5,0			13,9			9,2	4,1	295,6	25,0	71,9	3,2
ROEt4	39,2	16,0	0,7	7,1	0,1	1,4	8,7			14,2			10,1	2,6	386,8	33,7	76,3	3,2
ROEt3	54,5	13,9	2,7	9,1	0,3		0,4			5,6	-		9,7	3,8	435,4	45,0	66,2	6,2
ROEm2	46,2	13,2	0,1	15,3	0,1	0,3	2,2			8,3			12,9	1,4	417,2	41,7	68,2	4,7
ROEm1	9,9	8,7		3,3	0,1	34,4	11,9			23,2			3,8	4,3	324,5	21,1	85,2	1,1
MESs8	38,8	35,0	0,2	8,1	0,3		-			0,6			9,6	7,3	555,3	83,3	32,6	26,5
MESs7	6,1	2,9		0,8	1,9			2,3	7,0	31,0	-	3,7	15,8	9,3	56,6	24,9	84,5	2,2
MESs6	4,6	23,4		1,1	1,0			0,1		12,2	0,7	49,3	1,9	1,0	131,2	32,0	65,8	4,3
MESs5	12,4	28,9	1,3	6,3	0,7		-	0,7	2,5	0,5	-		7,2	39,1	316,0	104,8	33,6	40,3
MESs4	47,7	23,9	0,3	5,4	0,5	0,1	0,2		-	0,7	7,4	3,8	2,8	6,9	707,3	131,8	22,1	56,0
MESsm3	36,3	33,8	0,1	9,4	0,8	-	1,1		-	0,7	-		4,5	13,2	548,6	106,7	28,8	42,6
MESsm2	27,0	9,1	0,1	2,2	1,7	-	0,1	-	0,5	0,6	37,2	13,3	0,8	7,0	401,4	123,9	17,3	46,7
MEJt1	28,2	18,6	0,3	5,3	1,9	-	0,8	1,9	5,1	3,8	16,4	3,7	4,4	5,6	256,4	63,4	38,3	22,8
MOBs9	42,6	26,1	0,1	12,9	0,5		0,1		0,4	1,3			7,6	8,4	451,5	69,0	39,3	17,7
MOBs8	36,0	35,5	0,2	13,6	0,4		0,7			1,5			7,2	4,8	436,9	71,8	41,1	19,5
MOBs7	5,0	14,6		1,8		32,0	8,6			16,0			8,4	12,6	319,5	28,0	80,8	2,1
MOBs6	36,0	35,3		13,1	0,4	0,0	1,0		0,2	1,3			4,6	8,1	390,5	64,9	46,7	15,0
MOJs5	27,2	25,5	-	14,3	0,1	3,4	2,5			7,2			14,9	4,9	379,1	43,9	67,0	7,1
MOJt4	4,2	8,0		17,9	2,4		0,6	20,9	12,7	14,4	0,4		10,6	6,4	154,0	25,9	87,2	2,7
MOJt3	43,5	26,5	-	9,9	0,8		0,3	0,4	2,3	2,0	-		7,6	6,4	342,7	80,3	40,1	29,7
MOJt2	30,9	33,5	0,2	10,7	0,3		0,7			3,6			10,2	9,7	380,9	56,5	49,4	11,0
MOJt1	12,3	24,0	0,1	4,5	0,3	19,7	4,8			6,1			12,2	16,1	290,6	39,6	68,6	6,1
FOJt5	50,8	26,3	-	7,0	1,6		0,3	-	1,7	2,2	0,1		3,9	5,8	387,4	66,3	32,4	23,2
FOJt4	18,3	34,7	-	10,9	0,8	1,0	1,9		-	3,8			12,7	15,9	310,4	64,8	45,3	16,0
FOTt3	13,3	3,5		4,3	2,5		0,0	12,3	46,3	7,5	-		0,7	0,9	101,5	18,9	81,4	2,6
FOTt2	29,1	31,7	-	8,7	0,6	0,5	2,1	1,7	3,6	1,6			5,7	13,7	271,1	76,3	38,4	21,6
FOct1	20,7	3,0	-	2,7	3,1		0,3	25,2	20,6	3,4	-		7,5	3,3	74,6	16,7	90,4	1,9

Note : - signifie <= 0,1

Annexe 5 (suite).

**Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception.
La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.**

	Les perturbations naturelles														Les perturbations humaines								
Niveau 4	BR	BR_A	BRF_A	CH	AF	LF	EL	EP	TBE38	TBE99	O1700	O1880	O1900	O1920	CT	CP	PL	FEU_A	FEUF_A	FR	AG	AU	
RCEt1	19,0	11,5	0,5	0,1	-		0,0	-	-	0,5	54,2	14,6	12,3	9,7	-	-		0,8	0,1	-		0,1	
REEt7	0,0	-	0,1							0,5	74,4	15,8	9,8		-	0,3		-	0,1				
REEt6	3,9	3,3	0,4	0,3	-	0,1	-	-	-	0,7	58,0	16,0	14,8	8,6	0,6	-	-	1,0	0,2	-		0,1	
REEt5	5,4	3,4	1,9	0,7	0,8	0,6	3,7	0,3	1,3	3,8	33,8	12,0	13,4	24,3	14,3	0,4	-	6,1	2,0			0,1	
REEm4	5,0	0,6	0,2	0,1	0,5	-	-	-	0,1	0,3	67,2	14,4	10,2	5,1	-	-	-	0,8	0,1			0,1	
REEm3	0,2	1,9	0,1		1,6		0,8	0,2			74,3	25,7			0,6	0,2		0,7	0,3			0,1	
REEm2	0,6	0,2	0,1	0,3	1,4		0,3	0,3	-	0,8	63,1	13,4	9,4	3,0	-	-	-	-	0,1	-		0,3	
REEm1	1,6	1,1	0,9	0,6	0,8	0,5	0,7	0,2	1,3	3,4	44,1	15,8	18,1	15,0	9,8	0,4	-	12,8	1,5	-	-	0,3	
ROEt7	5,1	10,6	0,7	0,1		-	-	-		0,5	57,5	10,4	12,1	10,0	0,1	-		2,0	0,2	-		-	
ROEt6	20,3	21,2	1,1	0,1			-			0,8	23,2	8,1	20,7	25,9	1,4	-	0,1	3,1	0,7	-		0,3	
ROEt5	4,3	2,6	1,0	1,8	-	0,5	2,0	1,2	0,2	2,6	33,6	14,3	16,2	30,1	13,9	0,5	0,2	0,8	1,1	-		0,1	
ROEt4	3,1	2,3	1,3	2,0	0,4	1,1	1,7	0,5	1,7	1,6	25,1	15,0	19,0	28,2	5,7	0,1	-	6,7	1,2	-		0,2	
ROEt3	4,4	6,7	1,8	0,7	0,3	0,7	1,1	0,1	0,8	2,4	36,9	19,1	14,3	20,3	7,7	0,4	-	1,6	1,7	-		0,1	
ROEm2	2,4	4,3	0,6	0,4	1,4	2,9	2,1	0,3	4,3	2,2	9,5	13,9	19,2	30,0	15,5	1,3	0,3	10,3	2,3	-		0,2	
ROEm1	4,2	1,7	0,6	0,6	1,2	5,2	3,0	0,9	4,8	2,0	10,9	8,2	11,1	31,3	22,7	2,5	0,4	12,6	14,0	2,9	1,8	0,4	
MESs8	1,2	5,8	1,9	0,5	0,9	1,4	15,5	2,0	6,6	6,9	24,4	24,1	16,9	21,9	20,9	0,9	0,3	1,6	2,3	-		0,2	
MESi7	4,3	8,9	0,2	0,2	1,7	0,1	4,8	2,3	0,5	3,2	34,1	15,8	13,8	15,0	6,9	0,9	-	0,8	6,7	0,6	0,5	2,9	
MESi6	5,7	0,3	0,1		3,2		15,6	11,3	-	5,2	33,3	18,0	15,0	12,8	8,9	2,0		-	0,2			-	
MESi5	3,7	5,6	2,0	0,2	1,2	1,2	13,4	3,2	7,3	9,6	16,3	9,5	16,4	22,1	30,3	1,6	-	30,2	5,6	-	-	1,1	
MESi4	1,2	0,6	0,6	0,7	1,7	1,2	13,2	5,7	8,1	10,3	8,7	14,1	20,5	24,6	34,7	2,2	0,3	3,9	2,8	0,1		0,7	
MESm3	1,6	8,1	1,3	0,3	1,2	2,3	29,8	16,5	11,7	11,0	4,9	7,4	14,7	30,1	25,3	2,5	0,2	3,3	2,3	-		0,2	
MESm2	1,0	0,6	1,0	0,3	2,7	0,9	22,1	3,3	5,8	12,6	4,4	5,7	14,2	31,6	25,8	5,1	2,0	4,3	5,0	1,0	0,9	0,8	
MEJt1	0,8	0,1	0,9	0,1	2,5	2,1	9,5	1,4	6,8	10,3	2,7	4,4	9,5	28,5	18,2	12,8	1,9	5,2	15,3	5,1	11,9	2,4	
MOBs9	8,5	6,1	1,5	0,2	0,9	2,1	2,8	0,5	5,7	4,1	5,8	11,1	19,9	23,2	36,0	2,8	1,7	19,5	3,2	-	-	0,1	
MOBi8	1,4	3,8	1,3	0,4	1,6	4,3	25,0	3,0	9,1	8,5	5,9	8,3	14,6	28,6	22,5	4,0	0,3	4,3	2,6	-		0,2	
MOBi7	2,3	-	1,0	0,1	1,2	6,2	8,6	1,7	9,4	4,4	4,0	6,4	9,6	27,5	15,7	5,1	0,3	24,7	33,6	3,1	2,8	1,2	
MOBm6	6,5	3,0	1,1	0,1	0,8	4,6	6,0	0,3	9,5	4,1	1,7	2,2	6,5	20,5	13,7	5,4	0,3	49,7	12,1	0,6	0,2	0,4	
MOJs5	0,5	0,4	1,9	0,3	1,1	6,4	18,7	2,2	10,2	7,1	7,2	9,5	14,6	33,5	15,3	8,6	-	2,1	3,0	0,1	0,1	-	
MOJt4	3,0	-	0,3	-	0,7	6,3	0,5		8,0	1,8	0,3	1,2	3,9	17,4	11,5	6,3	0,3	21,4	35,4	7,5	21,9	5,5	
MOJt3	0,6	0,6	1,5	0,1	1,8	4,8	9,6	0,7	13,4	9,9	2,4	4,0	12,5	34,7	20,6	13,6	0,8	3,9	13,2	1,1	1,8	0,8	
MOJt2	0,4	0,6	3,0	0,2	2,4	6,1	29,3	2,2	9,9	7,6	7,5	8,4	15,5	35,8	11,4	16,3	-	0,4	1,8	-		0,1	
MOJt1	0,6	0,1	0,9	0,1	0,7	11,9	3,1	0,6	9,1	4,4	2,8	3,8	8,7	35,4	6,0	8,0	0,1	7,9	18,1	2,6	9,7	0,5	
FOJt5	0,2	0,8	1,5	-	2,3	5,1	3,2	0,3	5,4	7,7	3,7	5,1	12,6	30,1	15,4	15,3	1,0	2,3	11,5	5,0	7,8	1,6	
FOJt4	0,2	0,5	5,5	-	2,7	7,1	8,8	0,3	10,0	6,8	7,6	9,5	18,1	34,1	8,8	19,7	0,2	0,9	9,3	1,2	0,9	0,3	
FOTt3	-	-	0,2	-	1,2	6,5	0,0		3,4	3,3	3,6	5,8	15,1	26,7	9,4	5,0	0,7	1,6	14,5	6,4	39,5	7,8	
FOTt2	-	-	1,9	-	4,2	5,7	0,3	-	5,0	4,4	6,3	5,4	13,8	27,8	6,8	10,0	0,8	1,3	25,3	5,8	10,1	3,3	
FOCt1	-	-	0,4	-	0,9	4,3			2,4	0,9	1,8	4,4	10,8	23,9	3,8	2,6	0,4	0,8	9,3	7,9	49,6	9,3	

Note : - signifie <= 0,1

Annexe 5 (suite).

**Description des unités homogènes selon le quatrième niveau de perception.
La signification des codes est donnée aux tableaux 1 et 2.**

Niveau 4	Le climat									
	ARI	DEGJ	DPV	EVAPO	GH	JSG	JSGC	PRECU	PRECT	TMA
RCEt1	0,7	770	890	32,4	234,5	142	74	323	920	-3,5
REEt7	0,0	600	750	30,0	217,0	130	53	383	1200	-4,7
REEt6	0,7	810	940	33,0	235,2	145	75	315	980	-2,7
REEt5	0,7	1040	1090	35,6	240,1	156	84	330	940	-1,3
REEm4	0,9	780	830	33,4	246,4	155	86	310	1110	-1,6
REEm3	1,3	950	600	37,0	259,0	190	110	275	1100	1,0
REEm2	1,2	910	700	36,0	258,3	177	102	290	1120	0,1
REEm1	1,5	1040	1050	36,0	244,3	162	89	300	1080	-0,8
ROEt7	2,2	1040	1200	37,2	233,1	158	76	250	760	-1,4
ROEt6	1,3	980	1070	35,4	237,3	154	80	293	860	-2,1
ROEt5	1,2	1120	1220	37,6	238,0	161	81	300	880	-1,0
ROEt4	1,2	1150	1240	38,0	239,4	163	89	310	920	-0,5
ROEt3	1,0	1100	1140	37,0	238,7	159	84	320	970	-1,2
ROEm2	1,3	1220	1240	38,4	244,3	168	90	323	980	-0,1
ROEm1	1,4	1240	1280	39,8	241,5	169	87	303	910	0,0
MESs8	0,5	1070	1100	36,4	237,3	160	84	365	1120	-0,8
MESs7	2,1	1150	870	38,6	257,6	186	107	260	1060	1,3
MESs6	1,9	1120	880	38,0	259,0	186	110	258	1020	1,2
MESs5	2,1	1190	1140	38,2	247,1	173	96	278	970	0,3
MESs4	0,7	950	990	35,2	226,8	154	70	378	1310	-0,7
MESm3	0,8	1150	1120	37,2	238,7	165	87	380	1230	0,1
MESm2	1,7	1110	1070	38,2	248,5	174	97	305	1140	1,0
MEJt1	2,3	1290	1170	40,0	252,7	182	105	275	1060	1,7
MOBs9	1,2	1190	1190	37,8	242,2	166	88	310	930	-0,3
MOBt8	1,3	1260	1240	38,8	244,3	170	91	330	1020	0,4
MOBt7	1,9	1300	1340	40,0	244,3	171	90	290	900	0,5
MOBm6	1,5	1280	1250	39,0	245,0	170	94	300	980	0,6
MOJs5	1,9	1350	1320	40,2	245,0	176	91	303	960	1,0
MOJt4	1,7	1390	1280	40,4	252,0	180	101	290	930	1,2
MOJt3	1,5	1340	1260	40,0	248,5	177	100	313	1010	1,2
MOJt2	2,2	1410	1330	40,8	246,4	179	97	308	1010	1,4
MOJt1	2,9	1410	1380	41,8	245,0	179	91	275	930	1,2
FOJt5	1,7	1420	1280	41,2	249,9	185	105	325	1120	2,3
FOJt4	3,2	1510	1410	42,4	251,3	185	103	283	970	2,2
FOTt3	2,6	1630	1380	44,6	262,5	202	122	293	1050	3,6
FOTt2	3,0	1620	1410	43,8	257,6	196	116	298	1050	3,3
FOCt1	4,1	1790	1490	47,0	267,4	210	131	270	990	4,5

Note : - signifie <= 0,1

Le relief					
Plaine	Vallée	Coteaux	Collines	Hautes collines	Monts
8	1	71	19	1	
				22	78
1	3	9	45	35	8
1		12	54	28	4
	10	13	33	27	17
		100			
	4	14	57	24	
	9	1	9	58	23
100					
22		66	12		
64		32	4		
59		36	4	1	
21		59	20		
25		67	8		
95		4	1		
	2	5	50	37	4
82		18	0		
37		52	11		
	7	1	3	50	39
		1	11	36	51
	4		11	48	38
	1	3	17	23	56
6	1	32	39	15	7
		24	64	12	
1		20	53	24	1
58		40	3		
0		35	51	15	
16		58	26		
76		21	3		
	4	9	54	24	8
3		56	37	5	
26		63	11		
4	2	39	25	26	5
1	1	19	67	13	
78		21	1		
2	3	30	31	28	5
85		14	1		



Quarante ans, ça se souligne dignement! Le 1^{er} avril 1967, le ministère des Terres et Forêts du Québec créait un centre de recherche dont le mandat était d'étudier les principaux enjeux reliés à la gestion des ressources forestières. Quatre décennies plus tard, la Direction de la recherche forestière (DRF) *est devenu un important centre de recherche actif à la grandeur de la province* avec une équipe de plus de 160 personnes, parmi lesquelles figurent près de 40 chercheurs qui travaillent sur des sujets aussi variés que l'environnement forestier et l'écologie, l'amélioration génétique des arbres, la production de semences et de plants forestiers, la sylviculture et le rendement des forêts et des plantations. Pour mener à bien son mandat, la DRF a établi tout au long de ces années plus de 9 000 dispositifs et parcelles expérimentales répartis sur l'ensemble du territoire forestier québécois. Elle subventionne également une trentaine de projets de recherche universitaires dont les travaux, importants pour le Ministère, sont complémentaires à ceux de la DRF ou dans des créneaux où celle-ci ne s'implique pas. Le Ministère a décidé de marquer son implication active en recherche appliquée en créant le logo affiché sur la page couverture. À partir d'aujourd'hui, et tout au long de la prochaine année, vous le retrouverez sur les publications de la DRF comme les Mémoires et les Notes de recherche forestière, les affiches scientifiques et les présentations de conférence.

L'acquisition de connaissances sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes est l'une des priorités du ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Ces connaissances ont, entre autres, comme objectif d'aménager les forêts du Québec selon les principes du développement durable. Ces connaissances s'acquièrent de multiples façons ainsi qu'à des échelles variées. Dans ce mémoire, nous prenons en compte l'ensemble du Québec méridional afin de mieux comprendre comment sa végétation se modifie le long des gradients écologiques définis par le climat, le milieu physique, les perturbations naturelles et les perturbations humaines.

