

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

Jean-Pierre Ducruc

Frédéric Poisson

Vincent Gerardin

Gérald Domon

Julie Ruiz

Juan Edgardo Medina Mena



Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

Jean-Pierre Ducruc

Frédéric Poisson

Vincent Gerardin

Gérald Domon

Julie Ruiz

Juan Edgardo Medina Mena

Équipe de réalisation :

Auteur principal : **Jean-Pierre Ducruc**

Collaborateurs : Frédéric Poisson
Vincent Gerardin
Gérald Domon
Julie Ruiz
Juan Edgardo Medina Mena

Coordination : Marie-Josée Côté

Édition : Tingxian Li

Révision linguistique : Chrystiane Harnois

Mise en page et couverture : Yves Lachance

Géomatique : Jean Bissonnette et Sophie Benoit

Source des photos et des figures : ministère de l'Environnement et de la Lutte
contre les changements climatiques, sauf indication contraire

Renseignements :

Pour tout renseignement, vous pouvez communiquer avec le centre d'information
du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Pour consulter ou télécharger ce document, visitez notre site Web :
www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/cadre-ecologique/index.htm

Référence à citer :

Ducruc, J.-P., F. Poisson, V. Gerardin, G. Domon, J. Ruiz et J. E. Medina Mena, 2019.
*Le cadre écologique de référence du Québec : perspectives historiques, concepts
et applications*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les
changements climatiques, 179 p.

Dépôt légal - 2019

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN : 978-2-550-84951-3 (imprimé)

ISBN : 978-2-550-84952-0 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2019

♻️ Ce papier contient 100 % de fibres recyclées après consommation

*Que cet ouvrage soit dédié
à la mémoire de Michel Jurdant
qui nous a quittés trop tôt!*





Michel Jurdant

1933 – 1984

Ingénieur agronome à l'Université de Louvain, né en Belgique, Michel Jurdant immigre au Québec au tournant des années 60. En 1968, il obtient un doctorat (Ph. D.) de l'Université de Cornell (É.-U.) en déposant sa thèse sur une méthodologie de classification écologique des terres forestières basée sur une intégration géomorphologie-sols-végétation. Cette thèse l'a mené à élaborer, comme chercheur au Service canadien des forêts à Québec, le premier cadre écologique de référence du Québec. D'abord baptisé « inventaire du capital-nature » lors de la cartographie du territoire de la baie James, en 1977, celui-ci deviendra le « cadre écologique de référence » du présent livre.

En 1979, Michel Jurdant quitte la fonction publique fédérale pour enseigner au Département de géographie de l'Université Laval. Durant les années 70, il réalise aussi des travaux d'inventaires écologiques, notamment en Grèce, dont on peut dire qu'ils lui révéleront son amour des liens profonds observés entre les gens, la terre et la vie.

Ceci est le parcours initial, pour ne pas dire initiatique, de Michel Jurdant écologue; il en eut un autre, qui se superposa au premier : celui d'écologiste militant. Deux livres, publiés chez Boréal Express, témoignent de son militantisme au Québec : *Les insolences d'un écologiste*, qu'il écrit en 1972, puis *Le défi écologique*, qui constitue en quelque sorte son testament involontaire, ayant paru quelques jours après son décès en 1984. Michel Jurdant a aussi été des premières heures des Amis de la Terre, section de Québec, qu'il cofonde en 1978.

En 1985, le prix Michel-Jurdant est créé en son honneur par l'Association francophone pour le savoir (ACFAS).

Photo : gracieuseté de la famille Jurdant

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

L'essentiel du manuscrit de cet ouvrage était colligé en 2014-2015. Le décalage avec la date de sa publication ne change en rien l'essence même du cadre écologique de référence et de ses applications, même si ces dernières vont aujourd'hui plus loin (voir le chapitre 3). Évidemment, les références pertinentes publiées après cette date ne sont pas citées, hormis dans la conclusion de rédaction plus récente.

AVANT-PROPOS

Pourquoi rédiger cet ouvrage plutôt qu’amorcer une douce retraite sur ma terre d’accueil dans Lotbinière? Pourtant, la retraite était mon premier projet! Eh bien, parce que plusieurs de mes compagnons de route, plusieurs de mes collègues rapprochés ou éloignés et même mon épouse se sont littéralement ligüés contre moi! Pendant quelques mois, cette ligue s’est traduite par des impératifs aussi bien sentis que « tu dois écrire la méthode du cadre écologique de référence » ou « *tu n’as pas le droit* de quitter sans coucher sur papier l’expérience acquise au fil des ans » ou encore « si tu ne le fais pas pour toi, fais-le au moins au nom de la mémoire collective... ». Comme si ces arguments ne suffisaient pas, il y avait aussi la phrase plutôt assassine « de toute façon, ça ne sera pas difficile pour toi, car tu as bien de la facilité à écrire »!

Voilà, la décision a été aujourd’hui prise et ma légendaire facilité à écrire m’a valu bien des affres du redoutable syndrome de la page blanche. La première épreuve a été de déterminer à qui s’adresserait cet ouvrage et quel ton adopter pour sa rédaction. Après nombre hésitations et volte-face, deux lignes de conduite se sont imposées à mon esprit et ont guidé mon choix, car j’avais des certitudes. Je ne voulais surtout pas écrire un *textbook*, car je n’ai pas la prétention d’en avoir l’envergure, et je ne voulais pas non plus d’une version style « les mémoires d’un écologue... »!

La première ligne de conduite m’a amené à écrire comme si je m’adressais à des étudiants diplômés œuvrant dans le domaine de l’aménagement du territoire, inspiré en cela par mes expériences d’enseignement au cours des dix dernières années. Est-ce le bon choix? J’aurai toujours des doutes, car, au fond de moi, je crois toujours davantage aux vertus de la vulgarisation! Je me suis donc laissé guider par les souvenirs des belles surprises et de ces belles rencontres faites au cours des ans avec ces jeunes passionnés de leur métier et surtout de leur avenir. Lors de la conception et de la rédaction de cet ouvrage, j’avais toujours présent à l’esprit ces nombreux étudiants diplômés et leurs professeurs des établissements universitaires québécois, français et chiliens que j’ai eu le privilège d’accompagner.

Que leurs préoccupations premières concernent le monde agricole, la foresterie, l’hydrologie ou l’aménagement du territoire, que ces préoccupations portent sur la vulnérabilité des eaux, des sols ou des habitats, la mise en valeur des paysages, la sauvegarde des milieux humides ou encore la mise en place d’aires protégées, leur souci commun était toujours la recherche d’outils et de moyens favorisant une planification et des aménagements dans lesquels la dimension écologique aurait toute sa place. Dans cette perspective et sans pour autant leur apparaître comme une panacée, le cadre écologique de référence était, à leurs yeux, un incontournable! J’espère, par ce document, répondre, en partie du moins, à leurs aspirations!

La deuxième ligne de conduite a été d’établir un fil conducteur avec l’œuvre de Michel Jurdant, trop tôt disparu de la scène écologique québécoise et que j’ai eu l’immense privilège de côtoyer durant plus de dix ans alors qu’il était à l’apogée de sa carrière. J’aurai toujours en mémoire les paroles de Stan Rowe, un autre éminent écologue canadien contemporain de Michel Jurdant, qui se plaisait à dire qu’en écologie il en était comme pour les philosophes grecs de l’Antiquité, on ne pouvait se former qu’en lien étroit avec un maître. Ce que Michel Jurdant fut pour moi. Il me semblait donc fort important d’établir un lien avec *L’inventaire du Capital-Nature* (Jurdant et coll., 1977), qui est encore aujourd’hui le seul livre de référence québécois sur la cartographie écologique. Évidemment, les connaissances et la technologie ont fait des pas de géants depuis le milieu des années 1970. Elles ont permis à l’écologie d’obtenir certaines lettres de noblesse et de devenir une préoccupation majeure dans la plupart des activités humaines. Mais les prémisses sur lesquelles reposait *L’inventaire du Capital-Nature* sont encore d’une criante actualité! La philosophie et les concepts au cœur de cette publication aujourd’hui trentenaire ont animé toute ma vie professionnelle et ont fortement imprégné le présent ouvrage.

Jean-Pierre Ducruc

REMERCIEMENTS

Les nombreuses discussions parfois très animées que j'ai eues avec mes compagnons de route ont grandement influencé la conception et la réalisation du présent ouvrage. J'espère ne pas avoir trop dénaturé les propos. En tout premier lieu, je suis particulièrement redevable à deux personnes : Michel Jurdant, qui fut mon maître à penser et mon ami, et Vincent Gerardin, grâce à qui j'ai intégré l'équipe de Jurdant. Au cours de l'épopée des grands travaux de cartographie dans le nord du Québec, que de discussions, que de remises en question ont provoquées ces deux-là; sans doute ne sont-ils pas étrangers à la place que l'écologie occupe aujourd'hui au Québec. Je veux aussi souligner la contribution de mes plus jeunes compagnons Frédéric Poisson, Daniel Blais, Tingxian Li et Marie-Josée Côté qui ont su me convaincre de me lancer en rédaction et qui, en contrepartie, ont collaboré à l'entreprise. Grégoire Chabot, Gérald Audet, Daniel Bérubé et Denis Bellavance, même si votre rôle a été en apparence plus effacé, votre soutien et votre apport ont été inestimables. Tout comme l'ont été ceux de Francis Boudreau, Gérald Domon et Julie Ruiz. Merci pour votre patience, votre application et vos suggestions lors de la révision du manuscrit. J'ai une pensée toute particulière pour mes amis chiliens avec qui j'ai pu pousser plus avant nos idées sur le cadre écologique de référence et vérifier encore une fois que nul n'est prophète en son pays. Merci Juan Edgardo Medina Mena, Itilier Salasar, Jose Erices et Cristian Varela. Votre participation a grandement contribué aux applications du cadre écologique de référence en aménagement du territoire et à l'avancement de notre réflexion sur l'intégration hydrosystèmes-milieus terrestres et, plus particulièrement, sur la planification écologique.



*Enfin, Hélène, ma compagne de tous les jours,
reçois toute ma gratitude pour m'avoir tellement « bourrassé »
lors des moments de découragement où j'avais le goût
de tout laisser tomber.*

Jean-Pierre Ducruc

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT AU LECTEUR.....	VII
AVANT-PROPOS.....	IX
REMERCIEMENTS.....	XI
TABLE DES MATIÈRES.....	XIII
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES TABLEAUX.....	XVIII

INTRODUCTION

Jean-Pierre Ducruc

Page 1

PARTIE I

Les fondements du cadre écologique de référence

CHAPITRE 1

L'histoire

Jean-Pierre Ducruc

1.1 Les trois piliers du développement de la cartographie écologique dans le monde.....	14
1.1.1 Les travaux de l'école russe.....	14
1.1.2 Les travaux de l'école australienne.....	16
1.1.3 Les travaux de l'école canadienne.....	19
1.2 Ailleurs dans le monde.....	23
1.2.1 Les pays adeptes des travaux de l'école russe.....	23
1.2.2 L'école de Toulouse (France).....	25
1.2.3 Les Pays-Bas, adeptes des travaux de l'école canadienne.....	27
1.2.4 Les États-Unis.....	27
1.3 Les travaux québécois.....	31
1.4 Références bibliographiques.....	33

CHAPITRE 2

Concepts, méthode et outils

Jean-Pierre Ducruc

2.1 Assise conceptuelle.....	45
2.1.1 Vision holistique.....	46
2.1.2 Vision écosystémique.....	48
2.1.3 Classification et cartographie.....	51
2.2 Principes à la base de la cartographie du CER....	52
2.3 Éléments fondamentaux du découpage cartographique.....	58
<i>Avec la contribution de Frédéric Poisson</i>	
2.3.1 Découpage cartographique et particularités de la vision humaine.....	58
2.3.2 Découpage cartographique et niveaux de perception.....	59
2.3.3 Découpage cartographique et structures spatiales.....	60
2.3.4 Découpage cartographique et connaissance de la genèse du territoire.....	60
2.4 Données et outils.....	71
<i>Avec la contribution de Daniel Blais</i>	
2.4.1 Données de base.....	71
2.4.2 Photographies aériennes.....	72
2.4.3 Images satellitaires.....	73
2.4.4 Données LiDAR.....	73
2.4.5 Données thématiques.....	73
2.4.6 Outils de terrain.....	77
2.4.7 Outils de gestion des données.....	77
2.5 Références bibliographiques.....	79

PARTIE II

Application du cadre écologique de référence

CHAPITRE 3

Le cadre écologique de référence du Québec et la planification du réseau québécois des aires protégées

Frédéric Poisson et Vincent Gerardin

Préambule.....	85
3.1 Introduction.....	85
3.2 Fondements conceptuels et méthodologiques....	86

3.3	Méthodologie générale	88
3.3.1	Niveau de perception retenu.....	88
3.3.2	Exemple de deux ensembles physiographiques	90
3.3.3	Principales étapes	92
3.4	Discussion.....	103
3.5	Application aux écosystèmes aquatiques.....	104
3.6	Bilan.....	104
3.7	Références bibliographiques.....	106

CHAPITRE 4

Le CER, outil de connaissance, de caractérisation et d'aménagement des paysages

Gérald Domon et Julie Ruiz

4.1	Introduction.....	111
4.2	Le CER, outil de connaissance et de compréhension de la composition et de l'agencement spatial de l'occupation des sols	112
4.2.1	Les relations entre le CER et les structures d'occupation des sols en zone agricole ...	113
4.2.2	« Les paysages de Lotbinière », de la caractérisation à l'action.....	115
4.2.3	« Paysages maskoutains : révéler, mettre en valeur, requalifier », le rôle du CER dans un diagnostic de paysage	117
4.3	Le CER, un outil pour comprendre les dynamiques d'occupation des sols passées et anticiper les dynamiques futures	118
4.3.1	La dynamique d'occupation des sols : par delà le déterminisme et le possibilisme	118
4.3.2	Analyser les dynamiques passées : l'exemple de la région des Laurentides	121
4.3.3	Le CER, un cadre spatial pour penser le devenir des paysages : des scénarios prospectifs dans la région de Lanaudière	124
4.4	Conclusion.....	129
4.5	Références bibliographiques.....	130

CHAPITRE 5

Applications du CER au Chili

Juan Edgardo Medina Mena et Jean-Pierre Ducruc

Mise en contexte	135	
5.1	Le projet de l'Association des municipalités de la Prêcordillère : Proposition d'un plan d'aménagement et de développement territorial.....	135
5.1.1	Brève présentation de l'Association des municipalités de la Prêcordillère	137
5.1.2	Brève présentation du CER de l'AMP.....	139
5.1.3	Le système d'information sur le territoire..	141
5.1.4	Quelques interprétations du CER.....	141
5.1.5	Proposition du plan d'aménagement et de développement territorial	143
5.2	Planification écologique de l'Aire de développement indigène du lac Budi	148
5.2.1	Brève présentation géographique de l'Aire de développement indigène du lac Budi	148
5.2.2	Brève présentation du CER de l'ADI Budi..	149
5.2.3	Objectifs et résultats attendus du projet de planification écologique de l'ADI Budi	153
5.2.4	Méthodologie du projet de planification écologique de l'ADI Budi (présentation synthèse).....	153
5.2.5	Conclusion.....	161
5.3	Références bibliographiques.....	163

CONCLUSION

Vincent Gérardin

Page 165

ANNEXE : Carte des provinces et des régions naturelles du Québec	177
--	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1.	L'unité territoriale selon Solntsev (1962), adaptée de Rougerie et Beroutchachvili (1991)15	Figure 2.15.	De structures spatiales complexes à petite échelle (A) à des formes simples à grande échelle (B) et (C)55
Figure 1.2.	Le <i>land system</i> australien (adapté de Perruy, 1962)18	Figure 2.16.	La cartographie du CER s'appuie sur les éléments physiques de l'écosystème56
Figure 1.3.	Le géosystème au sens de Bertrand (1968)26	Figure 2.17.	Délimitation (a) et description (b) du district écologique des basses collines du lac Saint-Joseph57
Figure 1.4.	Association de types écologiques (adaptée de Smalley, 1984)30	Figure 2.18.	L'analyse de l'image nécessite de nombreux déplacements de la vue (Yarbus, 1967) ...58
Figure 2.1.	À des arrangements spatiaux aussi différents vont correspondre des sensibilités, des potentialités et des fonctionnements globaux (capacité de support) bien distincts46	Figure 2.19.	Cercle de Wertheimer-Koffka : exemple d'illusion d'optique59
Figure 2.2.	Organisation hiérarchique de systèmes stratifiés à niveaux multiples46	Figure 2.20.	Principales structures spatiales61
Figure 2.3.	<i>Holons</i> représentés par les unités du CER47	Figure 2.21.	La région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier62
Figure 2.4.	L'approche holistique vue par Le Chat (Geluck, 2006)47	Figure 2.22.	Structures spatiales et événements géologiques majeurs dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier63
Figure 2.5.	Plateau accidenté (1) et terrasses du fond de vallée (2), deux unités écologiques reconnaissables sans qu'il soit nécessaire de connaître leurs composantes48	Figure 2.23.	Les limites des ensembles physiographiques (niveau 3 du CER) de la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier64
Figure 2.6.	Illustration de deux écosystèmes distincts au sens de Rowe (1961) : plaine à l'avant-plan et colline montérégienne au second plan48	Figure 2.24.	Localisation de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce65
Figure 2.7.	Formes de terrain et écosystèmes49	Figure 2.25.	Lignes de force majeures de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce66
Figure 2.8.	Les écosystèmes et leurs composantes sont liés au sein du territoire (adaptée de Bailey, 1996)50	Figure 2.26.	Ensembles physiographiques de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce66
Figure 2.9.	La classification selon Bailey et ses collaborateurs (1978)51	Figure 2.27.	Conséquence d'un manque de vision globale (A) et d'une analyse à trop grande échelle : ce sont des limites de polygones de niveaux inférieurs (B)67
Figure 2.10.	La cartographie selon Bailey et ses collaborateurs (1978)51	Figure 2.28.	Localisation de la région naturelle de la plaine de Turgeon67
Figure 2.11.	La cartographie distingue des objets dissemblables51	Figure 2.29.	Contexte de la déglaciation de la région naturelle de la plaine de Turgeon (adapté de Dyke, 2004)68
Figure 2.12.	Un système hiérarchique de niveaux de perception emboîtés à l'image des poupées russes53	Figure 2.30.	Réseau hydrographique superposé sur image Landsat (A), modèle numérique d'altitude (B) et dépôts de surface (C) de la région naturelle de la plaine de Turgeon .. 69
Figure 2.13.	Un système hiérarchique de niveaux de perception emboîtés de l'espace (exemple : la province naturelle des Laurentides méridionales)53	Figure 2.31.	Formes fuselées et quasi parallèles du till de Cochrane accompagnées de lacs de taille moyenne également répartis70
Figure 2.14.	Les formes de terrain et leurs assemblages spatiaux constituent le facteur génétique de l'organisation des écosystèmes à la surface de la terre54	Figure 2.32.	Limite méridionale de la réavancée de Cochrane II70
		Figure 2.33.	Lignes de force (A) et cartographie des ensembles physiographiques (B) de la région naturelle de la plaine de Turgeon 71

Figure 2.34.	Création des lignes centrales et intégration du sens d'écoulement76	Figure 4.3.	Carte des districts écologiques de la MRC de Lotbinière115
Figure 2.35.	Intégration de l'ordination de Strahler...76	Figure 4.4.	Exemple de fiche synthèse : district écologique de la Plaine tourbeuse de Saint-Gilles (Blais et coll., 2005)116
Figure 2.36.	Création d'un système de référence linéaire76	Figure 4.5.	Représentation schématique des cinq structures types d'occupation des sols associées aux ensembles topographiques de la MRC des Maskoutains119
Figure 2.37.	Création d'un modèle numérique d'altitude hydrologiquement cohérent ..77	Figure 4.6.	Évolution d'un secteur des Basses-Laurentides, en 1928, 1964 et 1992 ...121
Figure 2.38.	Indices d'écoulement de surface : accumulation de surface (km ²); pente (%); distance (m); index topographique78	Figure 4.7.	Évolution des dominantes de l'occupation sur les différents ensembles topographiques d'un secteur des Basses-Laurentides, en 1928, 1964 et 1992 ...122
Figure 3.1.	Les niveaux de la diversité biologique (Poisson et coll., 2016)87	Figure 4.8.	Évolution de l'occupation des sols du noyau villageois de Saint-Sauveur-des-Monts, en 1928, 1964 et 1992123
Figure 3.2.	Provinces naturelles, régions naturelles et ensembles physiographiques du Québec (source : CERQ, Direction de l'expertise en biodiversité, MDDELCC)89	Figure 4.9.	Évolution de l'occupation des sols et des structures des paysages sur la plaine d'argile en 1983 et 2000 et au sein du scénario de statu quo en 2020126
Figure 3.3.	Détail des ensembles physiographiques des basses collines du lac des Passes (C0904) et du Plateau des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne (C0902)90	Figure 4.10.	Illustration du paysage actuel de la plaine d'argile et scénarios visuels sur un horizon de 20 ans : (1) Paysage actuel; (2) Scénario de statu quo; (3) Scénario réglementaire; (4) Scénario multifonctionnel127
Figure 3.4.	Les ensembles physiographiques de la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier92	Figure 4.11.	Illustration du paysage actuel des monticules de till et scénarios visuels sur un horizon de 20 ans : (1) Paysage actuel; (2) Scénario de statu quo; (3) Scénario réglementaire; (4) Scénario multifonctionnel128
Figure 3.5.	Contribution des aires protégées à l'atteinte des objectifs de conservation des biotopes dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002 ..93	Figure 5.1.	Le Chili en Amérique du Sud136
Figure 3.6.	Utilisation du territoire dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier97	Figure 5.2.	Les régions administratives du Chili136
Figure 3.7.	Territoires d'intérêt pour la conservation et propositions citoyennes pour la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier98	Figure 5.3.	Les associations municipales de la région de l'Araucanie137
Figure 3.8.	Territoires d'intérêts retenus, en discussion et rejetés par l'analyse socioéconomique dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2009101	Figure 5.4.	L'Association des municipalités de la Précordillère138
Figure 3.9.	Contribution des aires protégées de la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2009102	Figure 5.5.	Sol développé sur des cendres volcaniques d'âges divers138
Figure 3.10.	Contribution des aires protégées en 2002 et 2009 à la protection de 8 % du Québec à l'échelle des ensembles physiographiques105	Figure 5.6.	Dépôts fluvio-glaciaires des fonds de vallées138
Figure 4.1.	Représentation schématique des structures types d'occupation des sols associées aux caractéristiques physiques des districts topographiques113	Figure 5.7.	Dépôts morainiques de la Cordillère ...139
Figure 4.2.	Représentation schématique des structures types d'occupation des sols associées aux caractéristiques physiques des ensembles topographiques114	Figure 5.8.	Les districts écologiques de l'AMP.....139
		Figure 5.9.	Cartographie des ensembles topographiques à l'intérieur d'un district écologique140
		Figure 5.10.	Carte des ensembles topographiques de l'AMP141
		Figure 5.11.	Aptitude des sols à la production d'arbres fruitiers142
		Figure 5.12.	Proposition technique pour les buttes de Maquehue (ensemble topographique)..144

Figure 5.13. Proposition technique pour le fond de la vallée de la rivière Allipén (ensemble topographique)	144	Figure 5.25. Les unités de planification territoriale ..	158
Figure 5.14. Les affectations territoriales de l'AMP ...	144	Figure 5.26. Les unités de planification territoriale de type 1	159
Figure 5.15. Affiche de présentation du PADT préliminaire diffusée dans les municipalités	145	Figure 5.27. Les unités de planification territoriale de type 2	159
Figure 5.16. Sites d'intérêt et corridors de services..	146	Figure 5.28. Les unités de planification territoriale de type 3	160
Figure 5.17. Localisation l'ADI Budi	148	Figure 5.29. Les unités de planification territoriale de type 4	160
Figure 5.18. Le CER de l'ADI Budi : les ensembles topographiques (échelle originale 1 : 50 000)	149	Figure 5.30. Typologie des producteurs agricoles de l'ADI Budi et leur niveau de revenu selon les ensembles topographiques	162
Figure 5.19. Le CER de l'ADI Budi : les entités topographiques (échelle originale 1 : 20 000)	150	Figure C.1. Carte écologique des terroirs de Lotbinière et occupation des sols	168
Figure 5.20. Description des unités territoriales au 1 : 50 000	152	Figure C.2. Enchevêtrement de terres agricoles planes (limons glaciolacustres) et de terrains boisés accidentés (buttes rocheuses) dans la région de Ville-Marie, dans le Témiscamingue, au Québec	169
Figure 5.21. Description des unités territoriales au 1 : 20 000	152	Figure C.3. Empiètement urbain dans la plaine inondable de la rivière Saint-Charles, à Québec	169
Figure 5.22. Logigramme de la capacité d'accueil du territoire appliqué à l'ADI Budi	155	Figure C.4. Classification des districts écologiques de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent	172
Figure 5.23. Évaluation de la capacité d'accueil écologique du territoire pour la conservation	156		
Figure 5.24. Évaluation de la capacité d'accueil écologique du territoire pour l'agroforesterie	157		

LISTE DES TABLEAUX

<p>Tableau 1.1. Le système de cartographie des écosystèmes selon Hills (1961)20</p> <p>Tableau 1.2. Le système de classification des lacs selon Hills (1961)20</p> <p>Tableau 1.3. Le système de classification biophysique du territoire selon Lacate (1969)22</p> <p>Tableau 1.4. Les niveaux inférieurs de l'école toulousaine selon Bertrand (1968)26</p> <p>Tableau 1.5. Principaux traits du système hiérarchique de classification appliqué aux Pays-Bas (d'après Klijn, 1991)27</p> <p>Tableau 1.6. Principales caractéristiques des niveaux de perception écologique du Service forestier national (d'après Cleland et coll., 1997) ..29</p> <p>Tableau 1.7. Les variables descriptives des types écologiques selon Smalley (1984)30</p> <p>Tableau 2.1. Les bases de données cartographiques..72</p> <p>Tableau 3.1. Données descriptives reliées aux ensembles physiographiques des basses collines du lac des Passes (C0904) et du plateau des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne (C0902)..91</p> <p>Tableau 3.2. Analyse de contribution des aires protégées dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002 ..94</p> <p>Tableau 3.3. Analyse de carence des aires protégées dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002, et potentiel de protection des biotopes par ensemble physiographique95</p> <p>Tableau 3.4. Analyse de carence des aires protégées dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002, et potentiel de protection de la végétation potentielle et des vieilles forêts par ensemble physiographique96</p>	<p>Tableau 3.5. Contribution cumulative des aires protégées et des territoires d'intérêt pour la conservation (TIC) des biotopes dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier99</p> <p>Tableau 3.6. Contribution cumulative des aires protégées et des territoires d'intérêt pour la conservation (TIC) de la végétation potentielle dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier 100</p> <p>Tableau 4.1. Évolution de l'occupation des sols et des structures du paysage en 1983 et 2000, et projetée en 2020 sur les scénarios cartographiques de statu quo 125</p> <p>Tableau 5.1. Superficies et population des municipalités 137</p> <p>Tableau 5.2. Exemple de description des ensembles topographiques 141</p> <p>Tableau 5.3. Modèle de grille interprétative 141</p> <p>Tableau 5.4. Affectations territoriales de l'AMP (exemple des affectations agricoles) ... 147</p> <p>Tableau 5.5. Les niveaux de perception de l'ADI Budi 151</p> <p>Tableau 5.6. Capacité d'accueil du territoire : matrice interprétative (aptitude/impact) 154</p> <p>Tableau 5.7. Critères utilisés pour évaluer l'aptitude écologique du territoire pour un usage agricole 154</p> <p>Tableau 5.8. Critères utilisés pour évaluer les impacts écologiques d'un usage agricole 154</p> <p>Tableau 5.9. Autres utilisations du sol évaluées 155</p> <p>Tableau 5.10. Typologie des producteurs agricoles de l'ADI Budi 161</p>
---	--

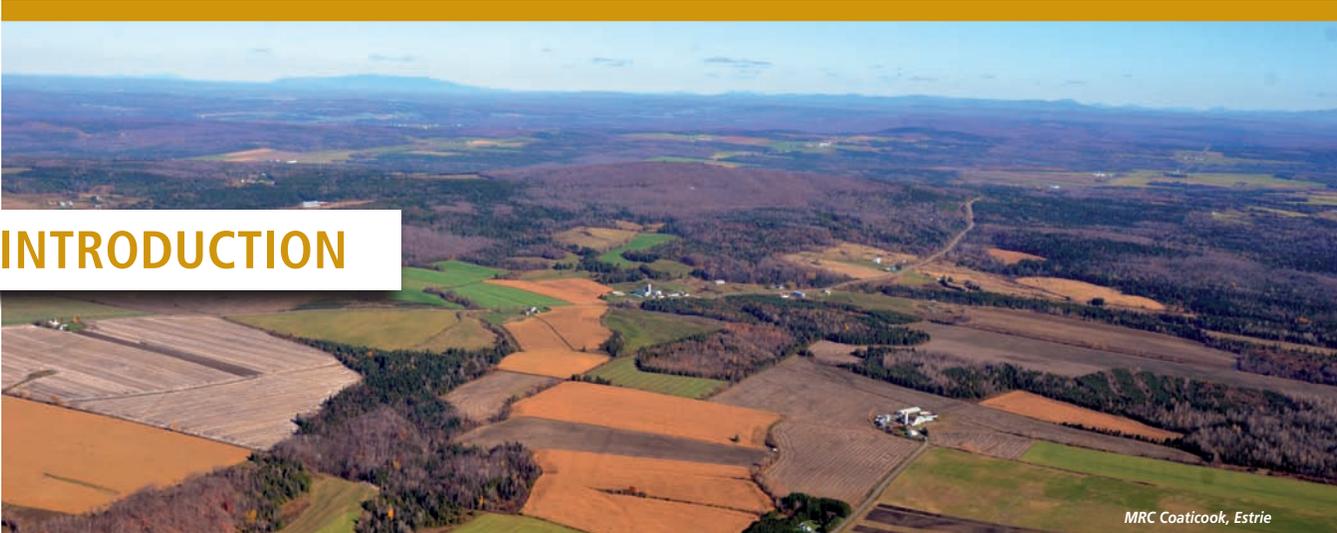
Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications



INTRODUCTION

Jean-Pierre Ducruc



INTRODUCTION

Par Jean-Pierre Ducruc

**Ivan Illich,
penseur de l'écologie politique, écrivait en 1973 :**

On s'imagine que la répartition des biens et la consommation de l'énergie pourraient croître ensemble. Victimes de cette illusion, les hommes industrialisés ne posent pas la moindre limite à la croissance de la consommation d'énergie.

Malgré cet avertissement vieux de plus de quatre décennies, la logique de la croissance sans limite est encore aujourd'hui appliquée. Ce n'est pas l'ouverture récente du Brésil, de la Russie, de l'Inde et de la Chine à l'économie de marché qui va ralentir le mouvement. En même temps, des famines sévissent dans plusieurs parties du globe et les grandes capitales mondiales multiplient les soupes populaires et les banques de nourriture pour venir en aide aux plus démunis. Comment notre planète pourrait-elle produire aujourd'hui, pour chacun de ses habitants, autant de biens matériels que consomme un Occidental moyen? Pourtant, près de nous, au Québec, l'actualité nous rappelle quasi quotidiennement les pressions sur l'environnement qu'entraîne notre boulimie de consommation : lacs saturés de phosphore envahis par les algues bleues, puits contaminés aux nitrates, paysages dégradés, perte des meilleures terres agricoles au profit de l'urbanisation, érosion des sols agricoles, pluies acides, alertes récurrentes au smog, inondations brutales, importants glissements de terrain, sautes d'humeur climatique, etc.

L'homme partage avec ses semblables et les autres êtres vivants un espace de dimension finie dans lequel les ressources sont en quantité limitée. L'économie des biens matériels doit être sous-jacente aux règles d'une économie de la nature, c'est-à-dire de l'écologie. Dès

1967, Lebreton prônait une écologie du développement pour se substituer à l'économie du développement qui est à l'origine de la plupart des déséquilibres écologiques et sociaux du monde contemporain.

« Il est temps d'entreprendre sans délai une véritable planification écologique qui mettra l'accent sur les conditions de qualité de l'environnement, considérées aussi importantes que les critères économiques et politiques. Dans le cadre d'une telle planification, l'espace a en plus d'une valeur économique (producteur de biens matériels), une valeur biologique, sociale, esthétique et culturelle (producteur de biens immatériels). » (Jurdant et coll., 1977)

L'idée est relayée par Jurdant et ses collaborateurs (1977), dont la planification écologique souhaitée exige un outil qui permet de calculer le coût de la terre, du sol, de l'eau et du paysage de façon à promouvoir une utilisation plus rationnelle, plus respectueuse et surtout plus juste de la nature et de ses ressources. Ils soulignaient aussi l'absolue nécessité d'aborder l'aménagement et le développement du territoire de façon intégrée. Depuis ce temps, sous bien des vocables, on en a beaucoup parlé au Québec. Force est d'admettre que les résultats restent encore aujourd'hui très mitigés, même après la réalisation de plusieurs projets pilotes. La raison, à nos yeux, en est fort simple : dans la plupart des cas, on traite encore de ressources au lieu d'aborder globalement leur milieu-support qu'est le territoire. Qui plus est, on les traite une par une et indépendamment les unes des autres! Pourquoi persiste-t-on dans cette voie? Parce qu'il faut se rendre à l'évidence que certaines ressources ont plus de poids que d'autres auprès des décideurs économiques et politiques. Ce n'est un secret pour personne qu'en territoire forestier, l'exploitation de la matière ligneuse prime sur les autres ressources, qu'en

territoire agricole, il en est de même pour l'agriculture, sans oublier l'omnipotence des ressources minières ou hydroélectriques. C'est la principale raison pour laquelle les inventaires des différentes ressources (fauniques, forestières, agricoles, minières, patrimoniales, etc.) sont rarement coordonnés et sont encore réalisés à des fins très spécifiques. Ils font surtout état de la composition de la ressource concernée et ne permettent pas de voir comment l'ensemble des ressources interagit sur le territoire. Pourtant, tout le monde sait aujourd'hui que l'utilisation ou l'aménagement d'une ressource peut en affecter d'autres au point de mener à leur disparition (flore, faune) et d'engendrer parfois des conflits sociaux.

Ainsi, aménagistes et planificateurs continuent à éprouver de sérieuses difficultés à travailler avec des informations thématiques, c'est-à-dire avec des sources de « ressource unique ». Ceci les oblige à intervenir sur le territoire en additionnant chacune d'elles au lieu de l'aborder globalement en prenant en compte l'éventail le plus complet possible de ses caractéristiques physiques et biotiques. Cependant, quoique nécessaire, ceci n'est pas suffisant ! Il faut, de plus, que l'information sur ces caractéristiques soit aussi disponible à différents niveaux. Les activités locales doivent bien sûr être basées sur la connaissance des conditions écologiques dans lesquelles on les implante, mais elles devraient aussi tenir compte de la façon dont elles peuvent influencer sur d'autres activités dans un contexte plus global. En effet, dans la plupart des situations, il existe des liens entre diverses parties du territoire, même éloignées, les plus connues étant les relations « amont-aval » dans un bassin versant ou les relations atmosphériques (odeurs, poussières, précipitations acides). Les interventions à un endroit peuvent avoir des conséquences ailleurs. Il est encore aujourd'hui difficile d'évaluer l'impact d'activités ou de pratiques d'aménagement sur des portions du territoire éloignées du lieu de leur établissement. Cette difficulté peut être levée, ou à tout le moins réduite, par une cartographie du territoire à l'intérieur de laquelle des inventaires thématiques de chaque ressource pourront ultérieurement s'inscrire. Pour répondre aux besoins d'information nécessaire à plusieurs niveaux, cette cartographie devra proposer une hiérarchie d'unités territoriales, lesquelles devront aussi être acceptables pour la majorité des ressources et des usages envisagés. Depuis plus d'un siècle déjà, de nombreux auteurs se sont attelés à l'élaboration d'un tel outil.

Ceci nous ramène aux sources même de l'écologie, qui s'est constituée en une discipline propre lorsque des biologistes ont observé que les organismes vivants ne se distribuaient pas au hasard dans la nature, mais qu'ils s'organisaient plutôt en communautés dont la structure et le fonctionnement ne pouvaient se déduire de l'examen de parties isolées.

Le terme écologie (du grec « oïkos », demeure et logos, science) a été proposé en 1866 par Ernst Haeckel pour désigner la science qui étudie les rapports entre les organismes et le milieu où ils vivent.

Dans les années 1930, l'écologiste britannique Arthur Tansley a forgé le mot « écosystème » (Tansley, 1935) pour désigner l'association des communautés avec leur milieu physique environnant (géologie, sol, relief, climat). Ces associations constituent autant de systèmes naturels, chacun avec un fonctionnement particulier.

Plus près de nous, Eugene Odum pousse plus loin la définition de l'écologie et l'établit comme une science holiste qui s'intéresse à l'écosystème global (Odum, 1953) que de plus en plus d'auteurs qualifient d'écosphère.

L'écologie est la science qui étudie la structure et le fonctionnement de la nature. (Odum, 1953)

Puis est venue l'hypothèse « Gaia » (du nom grec de la déesse de la terre) de James Lovelock (1979) formulée pour expliquer la capacité du monde vivant à créer les conditions favorables à sa propre survie. Selon Lovelock, « Gaia » est l'écosystème global qui englobe tous les autres; il correspond à l'écosphère qui comprend la biosphère et son milieu abiotique : sol (géologie, relief) et atmosphère.

L'écosphère est « une unité complexe dans le temps et dans l'espace, dont les sous-unités coopèrent afin d'en préserver l'intégrité, la structure, le comportement et pour les rétablir en cas de perturbation non destructrice ». (Von Bertalanffy, 1968)

L'écosphère se compose de très nombreux systèmes naturels qui ne se répartissent pas au hasard, qui s'emboîtent à différents niveaux d'organisation et forment une hiérarchie dans laquelle chacun fait partie d'un système plus vaste et, en même temps, se compose de systèmes plus petits.

La touche finale à ce concept d'écosystème global a été apportée par Frank Egler en 1970 lors de son plaidoyer pour une nouvelle science en intégrant, au plus haut niveau de la hiérarchie, l'écosystème humain.

« L'idée de l'écosystème humain total est que l'humanité et son environnement total forment un tout unique dans la nature qui peut, qui devrait et qui doit être étudié dans sa globalité. » (Egler, 1970)

Ce concept a été repris, brillamment étayé et élevé au rang d'un nouveau paradigme (Toward a New Paradigm of Human Ecosystemology and Landscape Ecology), puis appliqué par Naveh et Lieberman (1984 et 1994). Dans le prolongement du plaidoyer d'Égler, ils le présentent comme une nouvelle symbiose entre la société humaine et la nature. Ce nouveau paradigme postule que l'humanité évolue simultanément dans un espace physique et écologique (l'écosphère) et dans un espace culturel et social (la noosphère). La noosphère est le fruit de l'évolution de l'« Homo Sapiens » à travers les âges qui l'a successivement fait passer de la cueillette, à la chasse, à l'élevage, à l'agriculture, puis à l'industrialisation. Si les deux premiers stades ont peu transformé le milieu, il n'en est pas de même pour les deux derniers. L'auteur américain Alvin Toffler le rappelle clairement dans son célèbre ouvrage *Le choc du futur* (Toffler, 1980). Toutes les sociétés, primitives, agricoles ou industrielles, utilisent de l'énergie; elles produisent et distribuent des biens. Dans toutes les sociétés, le système de production énergétique et le système de distribution sont des parties interreliées d'un système plus grand qu'il qualifie de technosphère, partie intégrante de « l'écosystème humain total » de Naveh et Lieberman (1984). À chaque stade du développement social de l'humanité, ce système supérieur a eu des caractéristiques propres. Ainsi, lorsque la révolution industrielle a succédé à la révolution agricole, les énergies non renouvelables ont massivement envahi le système de production et permis l'accélération de la distribution de masse des biens.

En contrepartie, la société industrielle a radicalement augmenté l'utilisation des ressources et la pollution, au point de risquer de détruire la planète entière. Pourtant, l'homme reste dépendant de la qualité de son environnement (air, eau, sol) et surtout de sa capacité à soutenir une production agricole durable pour ses besoins alimentaires vitaux. Jamais nous ne retournerons au « Jardin d'Éden » ni même vers un état idyllique de symbiose entre l'humanité et la nature, cependant on ne peut pas non plus impunément continuer à agresser la planète comme le fait la société industrielle actuelle. Le bilan de nos actions passées nous force aujourd'hui à qualifier la capacité des écosystèmes à accueillir les activités humaines pour moduler l'appétit vorace de « l'Homo Industrialis ». Nous proposons le Cadre écologique de référence, version modernisée de l'inventaire du Capital-Nature de Jurdant et ses collaborateurs (1977), comme outil permettant d'évaluer la valeur de la terre, de l'eau, des paysages et, peut-être, d'ouvrir la voie à une planification écologique.

Dans le domaine de la cartographie et de la classification écologiques, le vocabulaire a été et est encore trop souvent source de bien des malentendus, de nombreuses incompréhensions et même de querelles dites « d'école ».

La principale raison, sans doute, est qu'il existe pléthore de termes : inventaire biophysique, inventaire écologique, inventaire du capital-nature, cartographie écologique, cadre écologique de référence, écologie du paysage, région écologique, écorégion, région bioclimatique, région naturelle, système écologique, géosystème, toposystème, type écologique, etc. Cette situation n'est pas propre au monde francophone, car il en est de même en milieu anglophone, et elle n'est pas non plus propre au monde de la cartographie écologique puisqu'on retrouve la même gabegie dans le domaine de la classification phytosociologique, par exemple. Cette énumération de termes utilisés par la cartographie écologique est loin d'être exhaustive, mais elle donne une idée de la difficulté de différencier l'usage et la signification de l'un par rapport à un autre. Il n'est pas rare de se retrouver dans des situations où le même vocable ne signifie pas nécessairement la même chose pour tous les intervenants ou, à l'inverse, dans des situations où des vocables différents veulent parfois dire la même chose...

Se pose alors l'éternelle question suivante : devrait-on s'atteler à la tâche, assurément monumentale, d'uniformiser le vocabulaire? Peut-être pas! En effet, malgré les apparentes contradictions, les spécialistes de la cartographie et de la classification écologiques sont souvent plus proches qu'il n'y paraît. Aussi, plutôt que s'atteler à cette fastidieuse tâche d'uniformisation, serait-il plus sage que chacun, à l'avenir, établisse d'abord clairement les concepts sur lesquels ses travaux s'appuient, puis définisse soigneusement le vocabulaire utilisé? S'il est relativement aisé de proposer des définitions pour le vocabulaire utilisé, la tâche se complique pour ce qui est des concepts. À cet égard, il n'est pas suffisant de citer des références pour justifier les façons de faire, encore faut-il montrer que les travaux cités ou la méthodologie utilisée le sont dans les règles de l'art. Ainsi, chacun devrait y trouver son compte!

Certains concepts fondamentaux de la cartographie écologique sont trop souvent utilisés à mauvais escient. Deux en particulier méritent mention : l'approche écosystémique et la notion de hiérarchie. Ils sont, au Québec du moins, devenus de véritables auberges espagnoles! Nous y apporterons une attention toute particulière, car ils sont l'assise même du cadre écologique de référence.

Classification et cartographie écologiques, les deux vocables au cœur de ce domaine scientifique et technique, contribuent eux-mêmes aux pièges du vocabulaire. Si le second porte peu à confusion, il en est autrement du premier. En effet, dans de nombreux travaux, l'usage du terme « classification » est très ambigu et il va même jusqu'à être utilisé dans le sens de cartographie! Au demeurant, bien des utilisateurs de données écologiques

(forestier, biologiste, aménagiste, etc.) souhaitent avoir une « bonne classification écologique » pour mener à bien leurs activités. Dans les faits, ils veulent avoir une bonne représentation cartographique. Comme la finalité d'une carte écologique est de traduire, tout en la simplifiant, la réalité territoriale, l'utilisateur a alors besoin d'une classification des unités cartographiques. Cette classification regroupe, dans la même classe, les unités territoriales de même valeur, quelle que soit leur localisation dans le territoire étudié : l'utilisateur peut alors les traiter de la même façon. Par exemple, un polygone cartographique « X » présentant une classe donnée de risques d'érosion des sols ou de vulnérabilité des eaux souterraines ou encore de potentiel de production forestière sera regroupé, c'est-à-dire classifié, avec tous les polygones cartographiques de l'aire d'étude présentant les mêmes propriétés.

Ces propos nous permettent de revenir sur la différence fondamentale qui distingue la classification de la cartographie. En effet, la cartographie procède par division spatiale; elle distingue des « choses différentes » alors que la classification regroupe des « choses semblables ». La cartographie écologique procédera toujours du global vers le détail ou encore « du haut vers le bas » : c'est un processus descendant. À l'inverse, la classification écologique, comme tout processus de classification, va du détail vers le général ou encore « du bas vers le haut » : c'est un processus ascendant. Toutefois, pour compliquer la situation, après la cartographie toute unité cartographique peut être classifiée et, après classification, toute unité de classification peut aussi être cartographiée! Nous reviendrons en détail sur ces distinctions fondamentales dans un prochain chapitre.

Un commentaire maintes fois entendu au sujet du cadre écologique de référence : « Qu'est-ce qu'il y a d'écologique là-dedans? Ce ne sont que des variables physiques »! En apparence, la remarque semble fondée, mais, comme c'est souvent le cas, les apparences sont trompeuses! En effet, le cadre écologique de référence (CER) cartographie des unités territoriales et, pour ce faire, s'appuie principalement sur leur morphologie, les formes de terrain; dans les faits, ces dernières sont l'aboutissement dans le temps d'interactions entre le climat, la géologie, les matériaux meubles et les êtres vivants. Ces unités territoriales sont de véritables systèmes fonctionnels, des écosystèmes dans lesquels le CER établit des relations entre le climat, les formes de terrain, la nature des sols, l'eau, la végétation, la faune, etc. Ainsi conçues, elles sont porteuses d'une dimension productivité, d'une dimension sensibilité (ou risque), d'une dimension esthétique, etc. Le CER peut ainsi

fournir les bases écologiques à l'utilisation du territoire lors de décisions d'aménagement. La compréhension de la nature des unités territoriales cartographiées donne les clés de leur utilisation. À partir du moment où les interrelations entre le climat, les formes de terrain, les sols, l'eau, la végétation et la faune sont bien établies, il devrait être évident que certains usages du territoire sont inadaptés à ses propriétés et ils devraient s'éliminer d'eux-mêmes. Ainsi, pourrions-nous collectivement éviter de « minéraliser » les meilleures terres agricoles, de déboiser des sols érodibles en amont d'habitats aquatiques sensibles à la turbidité des eaux ou encore d'installer des habitations dans des zones à risque (glissements de terrain, zones inondables, etc.). Le CER permet de reconnaître des « droits » au territoire que l'économie tend souvent à bafouer.

Les applications développées dans plusieurs parties du monde aussi éloignées et différentes que la Grèce, l'Amérique centrale, l'Amérique du Sud, l'Afrique occidentale et, évidemment, le Québec devraient confondre les plus sceptiques.

Un deuxième commentaire aussi souvent entendu au sujet du CER : « C'est nouveau; laissez-nous le temps de l'appivoiser ». Le CER est loin d'être nouveau puisque la philosophie, les concepts, la réalisation de projets concrets ainsi que des propositions d'applications dans de nombreux domaines sont développés au Canada et au Québec depuis plus de cinquante ans déjà et depuis beaucoup plus longtemps encore ailleurs dans plusieurs autres pays! Ce sera montré dans le chapitre consacré à l'historique du développement de la cartographie écologique à travers le monde.

Le CER n'est pas non plus seulement une représentation cartographique d'un territoire à une échelle donnée. Il est beaucoup plus que cela. Évidemment, la cartographie écologique constitue le cœur du CER! Mais, le CER est, avant tout, un système d'information sur le territoire (SIT) constitué de nombreuses bases de données à référence spatiale portant sur les variables descriptives de la région à l'étude comme le climat, la géologie, les matériaux meubles, les sols, l'hydrographie, l'utilisation du sol, etc. (le tout est décrit en détail dans le chapitre sur la préparation des données). Ce SIT va aussi intégrer des clés et des cartes interprétatives dont l'échelle et le contenu vont varier selon le projet. La panoplie des informations constituant le CER est complétée par des documents techniques et de vulgarisation et, lorsque nécessaire, par du transfert de connaissances au moyen de sessions de formation technique ou d'accompagnement lors des premières étapes de l'application des résultats.

Écosystème, hiérarchie, approche holistique, structure, fonctionnement, autant de mots clés qui forment l'assise conceptuelle du CER et qui seront présentés en détail. Le document débutera cependant par une longue perspective historique du développement de la cartographie écologique dans le monde, en insistant plus particulièrement sur son développement au Québec. Il se poursuivra par la présentation des données qui constituent l'essentiel du système d'information sur le territoire que constitue le CER et de quelques exemples choisis d'applications récentes.

Un chapitre spécial sera consacré aux relations particulières que le CER entretient avec l'analyse du paysage grâce à une collaboration soutenue avec la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal.

Puisse cet ouvrage « *Susciter un dialogue fructueux entre tous ceux qui sont intéressés à l'aménagement du territoire : non seulement les écologistes, les planificateurs et les aménagistes, mais aussi les mandataires publics à tous les échelons, les industriels, les commerçants, les agriculteurs, les groupes populaires et tous les citoyens qui réalisent que l'environnement étant un bien collectif, c'est la collectivité qui doit veiller à son aménagement* ». (Jurdant et coll., 1977, p. 6)

Références bibliographiques

EGLER, F. E., 1970. *The way of science : A philosophy of ecology for the layman*. New York, Hafner, 145 p.

ILLICH, Y., 1973. *Énergie et équité*. Paris, Éditions du Seuil, 59 p.

JURDANT, M., J.-L. BÉLAIR, V. GERARDIN et J.- P. DUCRUC, 1977. *L'inventaire du Capital-Nature : méthode de classification et de cartographie du territoire (3^{ème} approximation)*. Pêches et Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 2, 202 p.

LEBRET, L. J., 1967. *Dynamique concrète du développement*. Paris, Économie et humanisme, Les Éditions ouvrières, Paris, 464 p.

LOVELOCK, J., 1979. *Gaia, a new look at life on earth*. Les Presses de l'Université d'Oxford. Traduction française, *La terre est un être vivant*, Éditions du Rocher, 1986, 185 p.

NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1984. *Landscape Ecology. Theory and application*. New York, Springer Verlag, 356 p.

NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1994. *Landscape Ecology. Theory and application, 2^e édition*. New York, Springer Verlag, 360 p.

ODUM, E. P., 1953. *Fundamentals of ecology*. Philadelphie, Saunders, 383 p.

TANSLEY, A. G., 1935. « The use and abuse of vegetational concepts and terms ». *Ecology*, vol. 16, n° 3, p. 284-307.

TOFFLER, A., 1980. *The Third Wave*. New York, William Morrow, 544 p.

VON BERTALANFFY, L., 1968. « Chance or law ». Dans Koestler, A., et J. R. Smithies (dir.), *Beyond reductionism : New perspectives in the life sciences*, Londres, Hutchinson of London, p. 56-84.

Partie I

LES FONDEMENTS DU CADRE ÉCOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE

Chapitre 1- L'histoire

Chapitre 2- Concepts, méthode et outils



Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

CHAPITRE 1 L'histoire

Jean-Pierre Ducruc



CHAPITRE 1

L'historique

Par Jean-Pierre Ducruc

Le CER trouve ses racines dans une longue démarche scientifique qui a vu le jour dès la première moitié du 19^e siècle au cœur de l'empire russe. Aujourd'hui, il se reconnaît dans de nombreux travaux réalisés ailleurs dans le monde et reflète bien l'état d'avancement de la pensée scientifique en ce domaine. Pionniers au Québec, Jurdant et ses héritiers y ont puisé leur inspiration en participant d'abord activement à l'émergence et au développement d'une approche canadienne originale qu'ils ont ensuite adaptée à la réalité québécoise avant de l'exporter en Grèce (Jurdant, 1980; Nakos, 1983; Christodoulou et Nakos, 1990), au Nicaragua (Jurdant, 1984), au Burkina Faso (Ducruc et Gerardin, 1995) et au Chili (Salazar et coll., 2005 ; Medina Mena, 2006), montrant ainsi sa versatilité et une certaine universalité.

La revue historique qui suit présente seulement des travaux traitant de cartographie « écologique » dans lesquels le territoire, pris dans son ensemble, est l'objet d'étude.

Le territoire

La plupart des dictionnaires disent que le territoire est une étendue de pays. Le mot territoire est, dans le présent texte, pris dans ce sens même si le milieu physique est privilégié pour le cartographe; c'est une approche globale incluant toutes les dimensions de l'étendue de pays qui est considérée.

Donc, les cartographies thématiques ne seront pas abordées même si, à un moment ou à un autre, elles ont pu être qualifiées d'écologiques, telles des cartographies de la végétation, des sols, des ressources forestières ou fauniques, etc. La revue s'attardera surtout sur les concepts, abordera un peu les raisons qui ont motivé les développements méthodologiques et détaillera

souvent les systèmes développés. Ceci devrait peu à peu familiariser le lecteur avec les assises conceptuelles du CER présentées dans la deuxième partie de l'ouvrage. Nous avons pris certaines libertés chronologiques pour plutôt mettre en exergue les pôles de développement importants. En ce sens, les synthèses présentées par Isachenko (1973) et Rougerie et Beroutchachvili (1991) nous ont grandement facilité la tâche.

D'emblée, mentionnons que trois pays ont joué un rôle majeur dans l'évolution de la cartographie écologique dans le monde, soit la Russie, l'Australie et le Canada. À un moment donné de leur histoire récente, ces trois pays ont été confrontés au même problème : développer d'immenses territoires pour lesquels existaient peu de connaissances. Il leur a fallu passer rapidement de la théorie à la pratique, permettant, par la même occasion, de tester et de consolider les concepts et d'en montrer leur faisabilité. Dès le début du 19^e siècle, l'empire russe souhaitait mettre en valeur les vastes steppes d'Ukraine et de Sibirie méridionale, les célèbres terres de *chernozem* qui, ultérieurement, allaient devenir pour un temps le grenier à blé de l'Europe. Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'Australie a décidé d'occuper l'intérieur de son pays, véritable continent quasi vide d'habitants, afin d'y développer l'élevage, l'agriculture et la foresterie. Le Canada au début des années 1960 et le Québec à partir du milieu des années 1970 se sont tournés vers le développement de leurs territoires nordiques, surtout au regard des ressources forestières et hydroélectriques. Dans chaque cas, l'acquisition des connaissances écologiques a suivi une démarche similaire basée sur une approche territoriale (et non sur les ressources) qui met l'accent sur le milieu physique comme soutien à la connaissance des écosystèmes et se fait du global vers le particulier selon une hiérarchie de niveaux de perception.

Dans le sillage de ces trois piliers du développement de la cartographie écologique, de nombreuses applications ont vu le jour dans d'autres pays dans le monde, que nous avons regroupés en trois blocs distincts. Nous présenterons d'abord ceux qui ont été fortement influencés par les travaux de l'école russe, ensuite les Pays-Bas, dont les travaux sont très proches des Canadiens et des Australiens, puis les États-Unis qui se distinguent, surtout dans les dernières années, par le souci d'intégrer la dimension aquatique. Enfin, nous terminerons ce tour d'horizon par l'expérience québécoise.

1.1 Les trois piliers du développement de la cartographie écologique dans le monde

1.1.1 Les travaux de l'école russe

L'expérience russe porte toutes les prémises des travaux élaborés ultérieurement ailleurs dans le monde. Elle se situe à la confluence de la géographie physique, de l'écologie et de l'analyse du paysage, mais son objet premier a toujours été la cartographie du territoire pris dans sa globalité. Avec plus d'un siècle de recul, l'essentiel des concepts et de la philosophie qui l'animaient est toujours d'actualité et souligne à quel point les géographes russes ont été des précurseurs.

L'aventure commence entre 1840 et 1850. Dès cette époque, plusieurs inventaires fauniques et botaniques sont réalisés en considérant les dimensions physiques et géographiques du territoire. Ainsi sont mises en évidence des relations étroites entre la flore, la faune et le milieu environnant qui guideront l'ébauche des premières typologies régionales, notamment celles décrivant les complexes naturels de la région des mers d'Aral et Caspienne (Borschov, entre 1860 et 1865 [Zonn et coll., 2009]). Le concept de *géocomplexe* est déjà lancé. Quelques années plus tard, Dokuchayev va définitivement l'installer avec sa proposition du *complexe naturel territorial* (CNT).

Le complexe naturel territorial selon Dokuchayev

Le complexe naturel territorial (CNT) est « une unité naturelle à la surface de la terre dont le sol est la fondation, car il est le résultat des interactions entre l'ensemble des facteurs du milieu comme la géologie (socle rocheux et dépôt de surface), le climat et le monde vivant. »

Pour comprendre la nature des processus naturels qui régissent le complexe naturel territorial, « on doit étudier l'unique, l'entière et l'indivisible nature et non ses fragments ».

Deux idées fortes caractérisent le concept de CNT : l'appréhension globale du milieu (non variable par variable) et la prééminence du milieu physique dans la compréhension du territoire. Un demi-siècle plus tard,

ce sera aussi l'assise conceptuelle des travaux de l'école australienne qui, à son tour, influencera grandement l'école canadienne!

Dokuchayev met immédiatement ses réflexions à l'épreuve du terrain lors de missions visant le développement de l'agriculture dans les steppes russes. Jusqu'à la révolution d'octobre 1917, le *complexe naturel territorial* sera à la base du développement d'une régionalisation écologique de plusieurs parties du territoire russe. Ces travaux permettent l'éclosion d'une véritable pépinière de cartographes qui vont faciliter le développement de la cartographie. Dès 1904, Vysotski propose de cartographier le territoire en distinguant différentes unités morphologiques. En 1913, Berg, dont les travaux ne seront accessibles hors de Russie que beaucoup plus tard (Berg, 1947), précise cette proposition.

Les unités morphologiques selon Berg (1947)

« Portions de territoire dans lesquelles le caractère propre du relief, du climat, de la végétation et du sol se traduit par une entité spatiale harmonieuse réapparaissant régulièrement dans une zone définie de la surface de la terre. »

En 1914, Abolin crée un système cohérent de cartographie de la terre allant du plus haut niveau, la planète, au géocomplexe élémentaire. Avec ses travaux, c'est la première hiérarchie de niveaux de perception de l'espace qui apparaît dans la littérature scientifique.

Les niveaux de perception selon Abolin (1914)

Du général (l'écosphère) vers le particulier (l'unité élémentaire) : on part de l'« *epigeneme* » divisé en « *epizones* », divisées en « *epiregions* » qui contiennent des « *epitypes* » pour aboutir enfin à l'unité élémentaire, l'« *epimorph* ».

La majorité de ces auteurs ne font pas que cartographier, ils créent aussi les bases scientifiques pour évaluer l'aptitude du territoire à la production agricole ou forestière pour en planifier une utilisation rationnelle (Dokuchayev, 1951).

Après la révolution de 1917, la cartographie entre dans une nouvelle phase motivée par le régime communiste qui souhaite se servir de cartes régionales pour mettre en place sa planification économique (développement de l'agriculture et attribution de nouvelles terres). Sont alors produites des cartes, à grande et moyenne échelle, précédées d'inventaires de terrain. Elles portent toujours un regard particulier au relief, à la géologie, au sol et à la végétation. Elles aboutissent rapidement à une grande diversité d'unités territoriales et soulignent la nécessité d'établir une hiérarchie pour ces unités. C'est dans

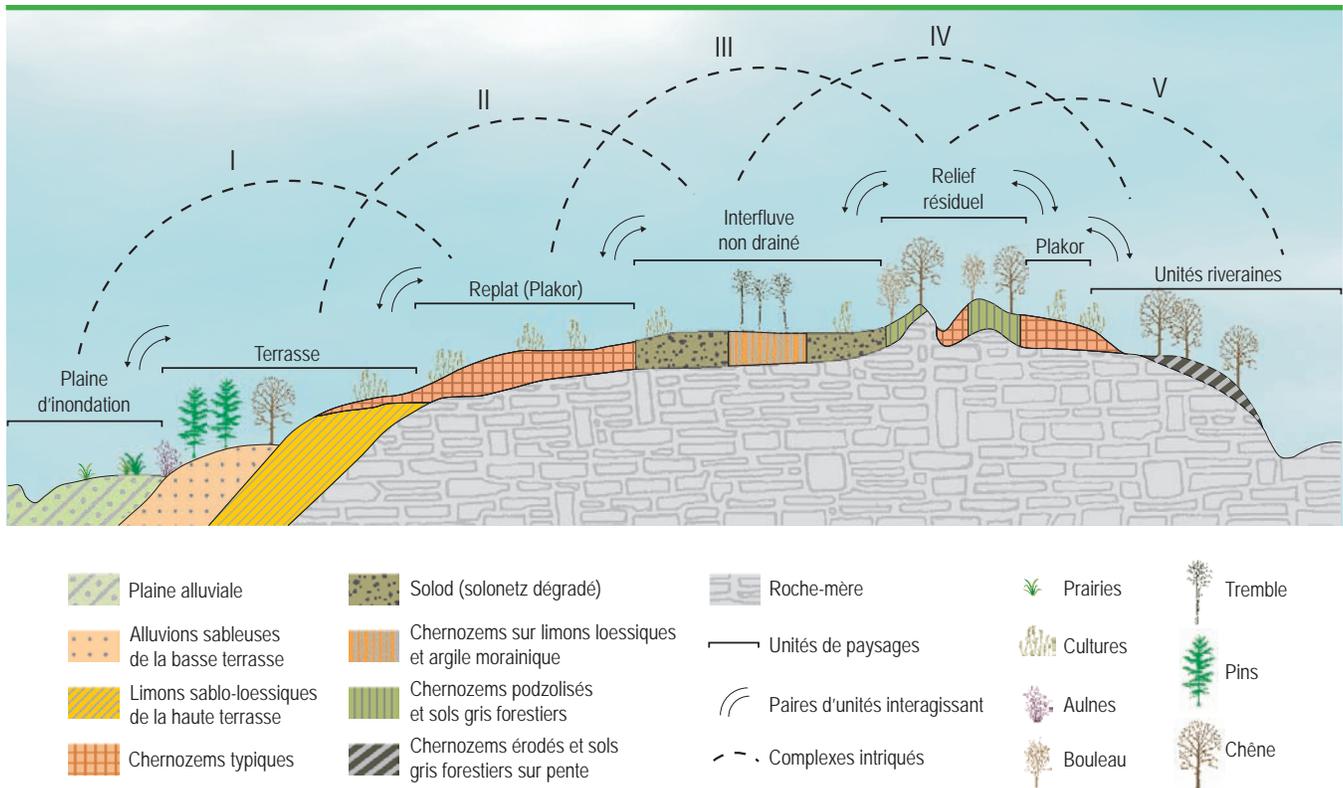


Figure 1.1. L'unité territoriale selon Solntsev (1962), adaptée de Rougerie et Beroutchachvili (1991)

cette veine que Berg publie en 1931 *The Landscape-Geographic Zones of the USSR*. Dans chaque zone, il cartographie des complexes régionaux et établit une typologie des milieux élémentaires rencontrés. Cette notion de hiérarchie sera ultérieurement précisée par plusieurs auteurs, dont Ramyenski (1938) qui est le premier à la présenter en détail. Pour cet auteur, chaque unité est un système territorial complexe constitué de plusieurs unités élémentaires interreliées et s'influencent mutuellement au point de créer une entité particulière.

Chaque unité territoriale se caractérise par : 1) sa localisation géographique; 2) la description de ses composantes élémentaires; 3) l'origine de ses composantes élémentaires; 4) les échanges entre les composantes élémentaires (des échanges de chaleur, d'humidité, de minéraux ou de matière organique). (Ramyenski 1938)

Grigoryev (1937) et Kalyesnik (1940) poussent plus loin cette idée d'unité territoriale intégrée et morphologiquement hétérogène. Ils montrent que chaque unité territoriale présente des caractéristiques particulières à l'intérieur de limites géographiques bien définies. Pour la première fois, on affirme que la plupart de ces unités se reconnaissent directement sur le terrain.

La période qui suit la fin de la Seconde Guerre mondiale voit l'augmentation simultanée des inventaires de terrain

et l'intensification des recherches théoriques. En 1948, Solntsev publie les premiers traitements théoriques des travaux de terrain et définit chaque unité territoriale cartographiée comme une association régulière de formes de terrain. Dans une série d'articles ultérieurs, il présente clairement sa conception de la cartographie territoriale basée sur des emboîtements d'unités (figure 1.1).

« Chaque unité territoriale cartographiée correspond à un complexe génétiquement homogène, doté d'une unité géologique, géomorphologique et climatique, composé d'un certain assortiment d'unités plus petites fortement liées les unes aux autres en ce qui concerne la dynamique et qui se répète régulièrement dans l'espace. » (Solntsev, 1962)

Dans les années 1950 et 1960, l'enseignement de la cartographie territoriale se développe dans plusieurs universités du pays et la plupart d'entre elles se dotent de stations expérimentales de recherche. Des colloques portant sur les développements théoriques et pratiques de cette cartographie sont organisés sur une base régulière.

Enfin, Isachenko publie un premier manuel en 1965. La fin de cette période marque le passage du concept de complexe naturel ou géocomplexe au concept de système.

Sochava (1963) propose le terme et la notion de géosystème qui va faire de nombreux adeptes tant en URSS qu'ailleurs dans le monde.

« Les géosystèmes sont des systèmes naturels de niveau local, régional ou global dans lesquels le substrat minéral, le sol, les communautés d'êtres vivants, l'eau et les masses d'air, particuliers aux diverses subdivisions de la surface de la terre, sont interconnectés par des échanges de matière et d'énergie en un seul ensemble. » (Sochava, 1972)

La façon d'aborder la cartographie du territoire par le concept du géosystème recoupe des voies pratiquées antérieurement, entre autres par Solntsev, et met l'accent sur l'utilisation des formes de terrain. En plus de faciliter la délimitation d'unités territoriales, le géosystème ouvre aussi la voie à la mise en évidence et à la compréhension des relations dynamiques qui règnent à l'intérieur de ses limites. Ainsi, en fonction de la morphologie et de la topographie, les auteurs considèrent des *sites dominants* (colline, butte) par rapport à des *sites dominés* (vallée ou dépression), des *composantes déterminantes* (texture du sol) par rapport à des composantes induites (perméabilité) ou encore des *parties de territoire autonomes* (sommet ou haut de pente) par rapport à des parties *transitives* (mi-versant) ou des parties *accumulatives* (bas de pente, dépression). Ces notions vont prendre toute leur importance lors de l'intégration et de la composante aquatique du CER.

Le géosystème ainsi conçu représente une approche du géocomplexe à la lumière de la théorie des systèmes. Il s'apparente, par là même, au concept d'écosystème lancé une trentaine d'années auparavant par Tansley et va même au-delà, car il cherche à prendre en compte tous les éléments du système avec un égal intérêt. Du point de vue de la structure, le géosystème place sur le même pied la dimension latérale et la dimension verticale, alors que cette dernière est très souvent privilégiée dans l'écosystème. La reconnaissance de l'importance de la dimension latérale sera à la base de l'essor que connaîtra, quelques années plus tard, l'écologie du paysage en Europe centrale, puis dans le monde entier. Du point de vue du fonctionnement, le géosystème affirme avec force les énergies cinétiques liées à la gravité en raison de l'importance accordée à la morphologie et à la topographie du territoire.

1.1.2 Les travaux de l'école australienne

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les responsables politiques australiens s'inquiètent du fait qu'une grande partie du pays a un niveau de production très faible. Cette situation est due, en partie, à des limitations climatiques ou édaphiques, mais surtout à

un manque général de connaissances, plus flagrant encore dans le nord du pays. En 1946, le gouvernement central australien, en collaboration avec les États du Queensland et de l'Australie-Occidentale, crée le Comité de développement de l'Australie du Nord. À la demande de ce Comité, le « *Council for Scientific and Industrial Research Organization* », connu sous le sigle de CSIRO, entreprendra une série d'inventaires menés par la *Division of Land Research and Regional Survey*. C'est le début d'une longue aventure qui se poursuit encore aujourd'hui et qui va couvrir une grande partie de l'Australie, de la Papouasie et de la Nouvelle-Guinée. Contrairement à la Russie où les travaux de terrain ont été accompagnés de nombreuses recherches théoriques et ont débouché sur un important développement épistémologique de la cartographie, l'Australie restera très pragmatique et consacra l'essentiel de son énergie à des applications pratiques.

Les travaux du CSIRO recourent trois aspects majeurs : 1) réaliser des inventaires régionaux qui mènent à une caractérisation permanente du territoire et des types de milieux rencontrés dans leur environnement naturel; 2) évaluer la production potentielle de ces types de milieux et promouvoir, parfois, des recherches agronomiques intensives (cultures et élevage); 3) approfondir les champs de recherche liés à l'évaluation des potentialités par zones isoclimatiques. Lors du démarrage de l'expérience, quelques dures réalités frappent l'équipe du CSIRO : l'immensité du territoire à couvrir, son isolement, les difficultés d'accès, l'absence de cartes détaillées et d'informations écologiques, etc. L'équipe constate aussi que cette « aventure » n'a rien à voir avec les inventaires pédologiques, phytosociologiques ou écologiques traditionnels. La seule façon de la mener à bien est d'adopter une approche intégrée affirmée au travers du postulat selon lequel la physiographie constitue le meilleur intégrateur possible pour la compréhension, la cartographie et la description du territoire. Des grandes lignes de l'approche australienne présentées par Christian (1952 et 1958) et par Christian et Stewart (1953), cinq traits majeurs ressortent.

- 1) Le territoire est vu comme un ensemble complexe de facteurs à la surface de la terre ou près de la surface qui interagissent, déterminent les possibilités d'utilisation du sol et posent les premières balises pour l'évaluation des niveaux de productivité. Ce complexe de facteurs inclut plus particulièrement la topographie, les sols, le drainage, la végétation, le climat et les sources d'eau pour l'irrigation ou l'élevage. C'est la combinaison de toutes ces variables, plutôt qu'une seule variable dominante, qui est utilisée pour rechercher les similitudes ou les différences entre les diverses portions d'un territoire (Christian et coll., 1960).

- 2) L'unité cartographique de base est le *land system* (ne pas traduire littéralement par « système de terre »!). Sa cartographie est exprimée à l'échelle de 1 : 250 000.

Le « *land system* » est une portion de territoire caractérisée par un patron récurrent de la topographie, des sols et de la végétation. (Christian et Stewart, 1953)

Sa reconnaissance et sa cartographie sont guidées par quelques facteurs importants de sa genèse, comme l'histoire géologique et les processus géomorphologiques qui l'ont affectée ou le stade atteint par ces processus. Les limites des *land systems* coïncident avec des variations majeures de nature géologique, géomorphologique, climatique ou biologique. Ils sont décrits en termes d'unités élémentaires les constituant, les *land types* ou *land units* (selon le vocabulaire consacré de l'école australienne). Ces dernières correspondent, la plupart du temps, à des formes simples de terrain. Leur caractérisation repose avant tout sur la connaissance de leur genèse (géologie, géomorphologie) et l'expression de certaines de leurs propriétés topographiques facilement observables (dénivelé, déclivité, forme des pentes, etc.).

Les « *land systems* » et les « *land units* » sont des unités territoriales, produits actuels d'un processus géomorphologique ayant agi sur un matériel géologique particulier durant un certain temps. Simultanément à l'évolution du milieu physique se réalisait un développement biologique qui, lui aussi, interagissait avec son milieu physique pour en arriver aux caractéristiques globales actuelles. (Christian, 1959).

Ces termes signifient beaucoup plus que leur maladroite traduction littérale française « système de terre » et « unité de terre » proposée par plusieurs auteurs, dont Tricart (1979) et Tricart et Kilian (1979), ou par les traductions françaises officielles du gouvernement canadien.

- 3) La conséquence majeure de cette base génétique du *land unit* fait que les occurrences d'une unité en divers points d'une même zone climatique auront les mêmes propriétés puisqu'elles expriment toutes l'aboutissement d'une évolution identique. Inversement, des unités différentes présenteront des propriétés différentes. Par exemple, des sols de texture semblable, mais formés à partir de roches mères différentes devraient avoir une fertilité distincte! Ces propriétés, héritées de leur genèse, seront cependant modulées par deux paramètres importants lorsque viendra le temps d'évaluer leurs potentialités : la taille des unités et les relations de voisinage avec les unités limitrophes.

- 4) Popularisées durant la Seconde Guerre mondiale, les photographies aériennes deviennent l'outil privilégié de la cartographie australienne, car elles se prêtent merveilleusement bien à l'analyse des formes de terrain et à leur interprétation. Avant les travaux de terrain, les cartographes les utilisent pour planifier des transects de contrôle et de validation afin de s'assurer d'inventorier adéquatement tous les patrons spatiaux des formes de terrain préinterprétés. Lors de l'inventaire, les caractéristiques du terrain sont corrélées avec les caractéristiques de la photographie. La cartographie et la description systématique d'une région sont ensuite terminées en laboratoire. L'objet du travail consiste à délimiter des complexes morphologiques et à décrire leur contenu plutôt qu'à essayer de cartographier les détails en premier, cette façon de faire permettant de couvrir rapidement d'importantes superficies à coût fort raisonnable.

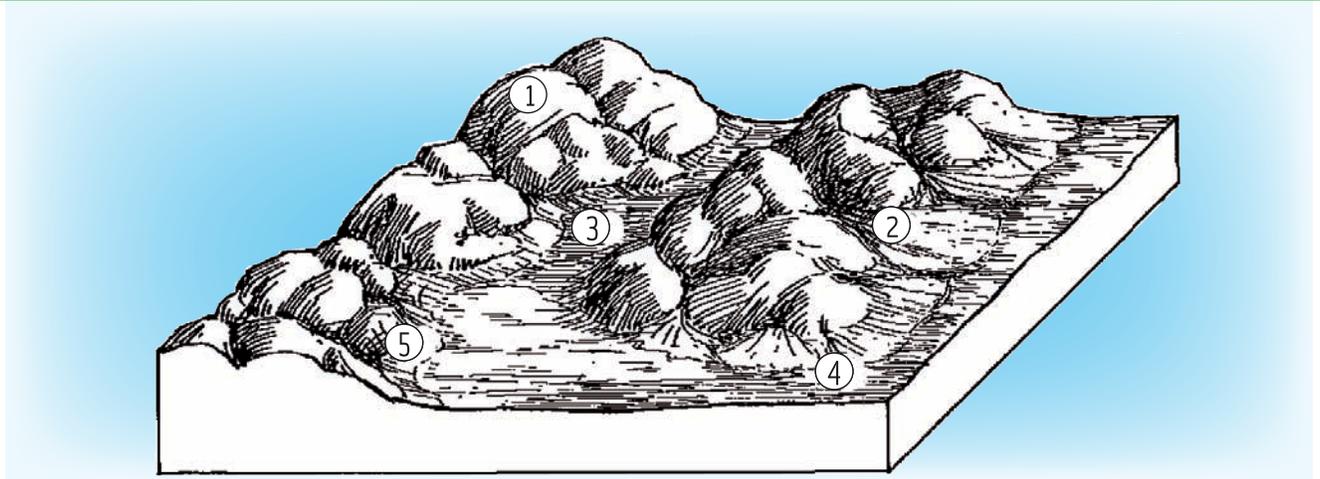
On doit noter cependant que même si les détails ne sont pas cartographiés, la connaissance sur ces détails existe (figure 1.2).

Si, ultérieurement, une connaissance détaillée de certains secteurs s'impose, il sera facile d'y diriger des inventaires spécifiques et d'en dresser une cartographie à plus grande échelle.

- 5) Le travail est conduit par une équipe de spécialistes. L'équipe de base comprend un géologue, un géomorphologue, un pédologue et un écologue. D'autres spécialistes peuvent se greffer à l'occasion, comme un botaniste, un forestier, un climatologue ou encore un hydrologue. Lors de l'évaluation des potentialités, réalisée dans une étape ultérieure, une diversité de spécialistes peut aussi se joindre à l'équipe selon les particularités de la région traitée.

« Comme l'information sur les paramètres de chaque ressource pris individuellement est de peu de valeur, et qu'une information équilibrée sur l'ensemble des paramètres dans chaque subdivision territoriale est nécessaire, il y a nécessité de travailler en équipe comprenant plusieurs spécialistes avec une intégration de pensée et de travail à toutes les étapes. » (Christian et Stewart, 1968)

À l'occasion d'un projet réalisé dans l'État de Victoria, Gibbons et Downes (1964) présentent l'approche hiérarchique complète de l'école australienne. Elle comprend quatre niveaux de perception qui, du haut vers le bas, sont : le *land zone*, le *land system*, le *land unit* et le *land component*. Les auteurs soulignent que la géomorphologie joue un rôle prépondérant pour cartographier les niveaux supérieurs qui expriment des patrons récurrents de l'organisation spatiale du territoire. Le dernier niveau, le *land component*, correspond à une



Unité	Superficie	Forme de terrain	Sols	Communautés végétales
1	Grande	Collines : tors et dômes atteignant 106 m de hauteur, avec pente raide jonchée de roches	Affleurements avec poches de sols pierreux	Arbustes et arbres bas épars à sous couvert de <i>Triodia pungens</i> (spinifex) et <i>T. spicata</i> (spinifex), ou herbacés et graminées éparses
2	Moyenne	Cônes d'alluvions : jusqu'à un mile de long, avec des pentes de 1 sur 200; secteurs supérieurs canalisés, zone de défluent en bas de la pente	Sables bruns alluviaux et sables argileux rouges	Arbustes et arbres bas épars à sous couvert d'herbacés et graminées basses ou <i>Aristida browniana</i>
3	Moyenne	Plaines d'érosion entre les monts; jusqu'à 1/8 mile de large, avec quelques canaux de drainage	Terres rouges avec des variantes alluvionnaires mineures	<i>Acacia aneura</i> (mulga) à sous couvert de <i>Eragrostis eriopoda</i> (woollybutt) ou <i>Plectrachne schinzii</i> (spinifex)
4	Moyenne	Plaine de sable : pas de drainage de surface	Sables argileux rouges	Arbustes et arbres bas épars à sous couvert de <i>Plectrachne schinzii</i> (spinifex)
5	Petite	Courte pente d'érosion au pieds des unités 1 : certains affleurement rocheux	Principalement, sables argileux rouges pierreux et sols pierreux. Localement sols de texture contraste	Arbres bas épars à sous couvert d'herbacés et de graminées basses

Figure 1.2. Le *land system* australien (adapté de Perruy, 1962)

portion de territoire uniforme quant au climat, au socle rocheux, à la topographie, au dépôt de surface, au sol et à la végétation et il se cartographie à grande échelle. C'est une hiérarchie uniquement cartographique; il n'y a pas de hiérarchie de classification dans l'approche australienne.

« Chaque niveau cartographique offre une certaine information et la cartographie doit procéder des échelles les plus générales vers les plus détaillées » (c'est-à-dire du haut vers le bas). (Gibbons et Downes, 1964)

S'ajoutent à l'importante contribution de l'Australie au développement de la cartographie territoriale dans le monde la traduction et la publication en anglais de l'ouvrage de référence des travaux russes d'Isachenko initialement publié en 1965, à Moscou. Ainsi, grâce à l'initiative de John S. Massey et des Presses de l'Université de Melbourne, l'essentiel du travail colossal réalisé par l'école russe devient accessible à l'ensemble de la communauté scientifique en 1973 (Isachenko, 1973).

1.1.3 Les travaux de l'école canadienne

Le premier système cohérent de cartographie écologique au Canada voit le jour au cours des années 1950 au ministère ontarien des terres et forêts (Hills, 1952, 1953, 1958). Il est développé pour décrire, classifier, cartographier et évaluer la productivité des terres de l'Ontario. Initialement dévolu à la foresterie, il est élargi vers la production d'une base écologique à la planification de l'utilisation des sols dans son acceptation la plus large (Hills, 1961). À cet égard, Angus Hills doit être considéré comme le père de la cartographie écologique au Canada, dont il a animé tous les forums jusqu'à la fin des années 1970. Il fait aussi figure de précurseur par deux apports majeurs : 1) il a établi clairement la distinction entre classification et cartographie; 2) il a également été le premier à intégrer la dimension aquatique (les lacs) dans un système de cartographie territoriale. Malheureusement, ces deux innovations fondamentales n'ont pas reçu toute l'attention méritée.

La classification

Dans l'esprit de Hills, la planification de l'utilisation du sol requiert l'aménagement d'un écosystème pris dans le sens d'un système global de production biologique : c'est le concept du *total site* (Hills, 1953, 1954). Même si ce concept inclut l'ensemble des variables du milieu, il peut être classifié à partir d'un nombre réduit de variables ou de combinaisons de variables; même s'il correspond à un système dynamique, sa classification peut être abordée au moyen de variables physiques (principalement les formes de terrain), parce qu'elles sont stables et facilement reconnaissables (Hills, 1952).

Hills base la classification des écosystèmes et l'évaluation de leurs potentialités sur trois types de facteurs (« *available features* ») : 1) le régime écoclimatique (température et humidité); 2) le régime hydrique des sols; 3) le régime nutritif des sols. Ils sont étroitement contrôlés par d'autres variables physiques plus accessibles du milieu naturel (« *potential features* ») comme le relief (dénivelé, déclivité, exposition, distance à un plan d'eau), la porosité du sol (texture et structure du matériel meuble) et la nature minéralogique du socle rocheux (composition minérale et degré d'altération des minéraux du sol). Chacune de ces variables est divisée en onze classes; c'est le résultat de leurs combinaisons qui aboutit à la classification des écosystèmes.

En appliquant ces principes, Hills a développé un système de classification hiérarchique à quatre niveaux qui, du plus détaillé vers le plus général, sont : le *site condition*, le *physiographic site type*, le *land type* et le *site region*. Chaque niveau est le produit de la classification de placettes d'échantillonnage inventoriées sur le terrain.

L'unité de base de la classification est cependant le troisième niveau le *physiographic site type*. Il correspond à un dépôt de surface particulier défini par la texture et duit par la position topographique. Les relations entre le couvert végétal et le milieu physique établies à ce niveau sont à la base de la définition et de la classification des *land types* et des *sites regions*.

Un exemple de « *physiographic site type* » : un till de fond sablo-limoneux acide mince sur un socle rocheux granitique, bien drainé et dont le microclimat est plus chaud que le climat normal (exposition sud, par exemple).

Le *land type* regroupe les *physiographic sites types* de chaque classe de dépôt de surface. Chaque *land type* se voit attribuer le nom d'une localité (un toponyme, comme pour les séries de sol de la classification canadienne des sols), suivi de la classe de matériau de surface (p. ex., till sablo-limoneux acide sur un socle rocheux granitique).

Les *sites regions* regroupent les *physiographic sites types* normaux sur lesquels on retrouve la même chronoséquence végétale. Ils reflètent avant tout des différences climatiques régionales (Hills et Pierpoint, 1960) et correspondent à de grands territoires (il y en avait originellement quinze pour couvrir l'Ontario).

Un « *physiographic site type* » normal se caractérise par un drainage normal, un régime nutritif normal et un écoclimat normal. Ce type de milieu de référence serait un terrain légèrement ondulé constitué d'un loam bien drainé sans déficience ni excès d'éléments nutritifs, ni particulièrement exposé aux effets climatiques locaux ou protégé de ceux-ci (exposition sud ou poches de gel). Dans de telles situations, la végétation reflète bien l'influence du climat régional (Burger, 1972).

D'autres auteurs utilisent le qualificatif de « *mésique* » ou de « *conditions moyennes* » ou, plus rarement, de « *conditions orthiques* » à la place de « *normal* ».

Le quatrième niveau de classification est le *site condition*; il réfère à des particularités du profil de sol (épaisseur des horizons organiques, distribution et séquence des horizons minéraux) et traduit des perturbations dans les *physiographic site types*. Il a été très peu utilisé.

La cartographie

Le système de classification propose des unités taxonomiques bien définies (des modèles statistiques) bâties à partir d'une population d'échantillons choisis et mesurés sur le terrain. Quelle que soit l'échelle à laquelle la cartographie du territoire est réalisée, elle fait face à la grande variabilité écologique existant dans la nature; cela est encore plus difficile lorsqu'on cartographie le territoire à petite échelle! Pour exprimer cette variabilité

naturelle dans la cartographie et rester le plus proche possible de la classification, Hills va aussi proposer un système hiérarchique d'unités cartographiques. Du plus général vers le plus détaillé, il comprend le *site district*, le *landscape unit*, le *land unit*, le *land type pattern* et le *land type component* (tableau 1.1).

1960). Ils sont cartographiés au 1 : 50 000 (Pierpoint, 1962; Lynn et Zoltaï, 1965). Dans les faits, ils traduisent le patron de répartition spatiale des *physiographic sites types*, l'unité de base de la classification.

Les plans d'eau

Les travaux russes et australiens mentionnent à peine la dimension aquatique du territoire; tout se passe comme si la composante terrestre est la seule digne d'intérêt et se suffit à elle-même. La prise en compte des plans d'eau dans le système ontarien constitue un premier pas vers une vision plus complète et plus intégrée du territoire; il faudra cependant bien du temps avant qu'elle s'affirme. Tout comme pour la partie terrestre, Hills et ses collaborateurs ont abordé les lacs sous l'angle de la classification et de la cartographie. La classification propose cinq niveaux hiérarchiques qui sont brièvement présentés, du plus général au plus détaillé, dans le tableau 1.2.

Tableau 1.1. Le système de cartographie des écosystèmes selon Hills (1961)

Niveau cartographique	Variables diagnostiques	Échelle cartographique	Niveau taxonomique cartographié
<i>Site district</i>	Macrorelief Géologie Dépôt de surface	1 : 4 000 000 à 1 : 10 000 000	Subdivisions physiographiques des <i>sites regions</i>
<i>Land type pattern</i> : - <i>Land unit</i> * - <i>Landscape unit</i>	Mésorelief Épaisseur du dépôt Texture du dépôt Mosaïque de <i>land unit</i> et <i>water unit</i> *	1 : 125 000 1 : 250 000	Mosaïque spatiale de <i>land types</i>
<i>Land type component</i>	Épaisseur du dépôt Drainage du sol	1 : 50 000	Mosaïque spatiale de <i>physiographic sites types</i>

*La majeure partie des plans d'eau est aussi cartographiée à ce niveau comme *water units* (voir ci-dessous la logique de la cartographie des plans d'eau). Chaque *site district* et *land type pattern* porte un nom géographique unique; chaque *land type component* porte aussi un identifiant unique sous la forme d'un numéro propre.

Le niveau le plus général, le *site district* correspond à un patron particulier de la géologie, du relief et des dépôts de surface. Il est exprimé à des échelles cartographiques variant du 1 : 4 000 000 au 1 : 10 000 000. Il permet de reconnaître de grands ensembles physiographiques dans les *sites regions*.

Chaque *site district* est subdivisé en *land type pattern* dont la cartographie repose sur le mésorelief, la texture et l'épaisseur des dépôts de surface au-dessus du socle rocheux. L'auteur propose ici deux sous-niveaux : 1) les *land units*, des unités dont la superficie est de l'ordre de la dizaine de kilomètres carrés et qui sont cartographiés au 1 : 125 000. La majeure partie des plans d'eau est aussi cartographiée à ce niveau comme *water units*; 2) les *landscape units*, des complexes de *land units* et de *water units*. Évidemment, ces unités ont une plus grande superficie que les précédentes (quelques dizaines de kilomètres carrés) et elles sont cartographiées au 1 : 250 000.

Enfin, au niveau le plus détaillé, les *land type patterns* sont découpés en *land type component* sur la base de la variation du drainage des sols ou de l'épaisseur du matériel meuble au-dessus du socle rocheux (Hills et Pierpoint,

Remarquons que les deux niveaux supérieurs font appel aux mêmes variables que la partie terrestre, soit le climat tel que révélé par la végétation pour le niveau 1 et le dépôt de surface (minéralogie et texture) pour le niveau 2; ce sont encore des variables terrestres générales. À partir du troisième niveau, des variables spécifiques aux plans d'eau entrent en ligne de compte.

Au point de vue cartographique, les plans d'eau majeurs sont cartographiés individuellement au 1 : 125 000 comme *water units*, au même niveau que les *land units*, ou au 1 : 250 000 en complexes d'unités aquatiques et d'unités terrestres au sein des *landscape units* (Hills et coll., 1970).

Tableau 1.2. Le système de classification des lacs selon Hills (1961)

Niveau	Variables diagnostiques
Niveau 1	Climat régional (tel qu'exprimé par la végétation)
Niveau 2	Dépôt de surface : - origine - texture Nature du socle géologique
Niveau 3	Forme du lac Présence d'îles Relief immédiat du plan d'eau
Niveau 4	Profondeur du lac Texture des sédiments du fond du lac Stratification thermique de l'eau
Niveau 5	Propriétés physicochimiques de l'eau

À l'origine, les travaux de Hills et de ses collaborateurs étaient destinés à évaluer le potentiel forestier de chaque *physiographic site type* et l'effort requis pour atteindre ce potentiel (Hills et Pierpoint, 1960). Rapidement, se sont ajoutées les évaluations pour l'agriculture, la faune et la récréation (Hills, 1963; Pierpoint et Hills, 1963). Toutes ces interprétations s'exprimaient dans les mêmes contours cartographiques, ceux du *land unit* au 1 : 125 000 ou du *landscape unit* au 1 : 250 000, façon de faire innovatrice. Elle répondait à une importante préoccupation des aménagistes de l'époque qui souhaitaient déjà réaliser un aménagement intégré du territoire plutôt que l'aborder ressource par ressource au moyen de classifications et de cartographies distinctes (Gibbons, 1961; Rowe, 1962; Lacate, 1965).

Peu à peu, les résultats des réflexions et des travaux de Hills se diffusent partout au Canada. Après un symposium sur la caractérisation des écosystèmes forestiers, un groupe d'écologistes canadiens (Rowe et coll., 1960) proclame que les écosystèmes forestiers sont des unités géographiques constituées bien évidemment de forêts (végétation et faune), mais aussi de variables physiographiques incluant les sols et le climat. Ils recommandent qu'ils soient dorénavant étudiés dans un cadre géographique en portant une attention particulière aux différences régionales. De plus, ils soulignent à nouveau l'importance de distinguer clairement les unités taxonomiques (classification) des unités cartographiques (régionalisation). On voit dès lors éclore une série d'initiatives. Tout d'abord, Loucks (1962) décrit les *ecoregions* du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard. Malgré un vocabulaire distinct, ces unités sont semblables aux *sites regions* de Hills, tout comme leur subdivision en *sites districts*. Zoltaï et ses collaborateurs (1967) font de même pour le Manitoba et la Saskatchewan; ils harmonisent même leur représentation cartographique avec celle de l'Ontario pour ajuster les limites des *sites regions* de part et d'autre des limites provinciales. Gimbarzesky (1964 et 1966) cartographie près de 8 000 km² au contact des Rocheuses et des Plaines dans l'Ouest canadien. Sa cartographie la plus générale, réalisée à l'aide de photographies aériennes à petite échelle (1 : 40 000 et 1 : 60 000), s'appuie sur la reconnaissance des formes de terrain (*landforms*) et de la nature des dépôts de surface. Il utilise aussi des photographies aériennes à plus grande échelle (1 : 30 000 et 1 : 15 000) pour produire une cartographie plus détaillée s'appuyant principalement sur des éléments de la topographie, des variations du drainage naturel des sols et de la profondeur du socle rocheux.

En Colombie-Britannique, Lacate (1965) applique le système développé en Ontario, mais il utilise plutôt la terminologie de l'école australienne, principalement le *land unit* et le *land association*.

Le « *land unit* » est une petite superficie de terrain homogène définie par une position topographique particulière et l'épaisseur du dépôt de surface à laquelle sont associés différents types de sols et de végétation. Par exemple, la partie supérieure d'une forte pente de colluvions sablo-graveleuses bien drainées et minces sur roc (Lacate, 1965).

Identique au *physiographic site type* de Hills, le *land unit* se reconnaît sur des photographies aériennes à l'échelle de 1 : 12 000 à 1 : 16 000. Le *land association* est une mosaïque de *land units* reconnue sur la base d'une topographie particulière et du matériel meuble (nature et épaisseur) sur des photographies aériennes au 1 : 60 000. Cette unité est semblable au *land type* de Hills.

Devant toute cette effervescence, le Service canadien des forêts crée, en 1966, un comité national sur les terrains forestiers au sein duquel est mis en place un sous-comité sur la classification biophysique des terres auquel sont confiées deux tâches principales : 1) Examiner et réviser les systèmes de classification et de cartographie du territoire développés et utilisés aux échelles nationale et régionale partout au Canada; 2) Recommander au comité national un système de classification et de cartographie adapté à des inventaires de reconnaissance permettant d'évaluer le potentiel forestier, agricole, faunique et récréatif du territoire. En outre, un tel système devait permettre de couvrir rapidement de grands territoires à moindre coût et répondre aux trois objectifs suivants :

- 1) Décrire et caractériser les variables écologiques majeures du territoire. Ceci incluait la classification et la cartographie des régions climatiques, de la géologie du socle rocheux, des formes de terrain, de la texture, de la nature minéralogique et de l'épaisseur des dépôts de surface, du sol, des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques majeures des plans d'eau, de la structure, de la physionomie, de la composition de la végétation et des chronoséquences végétales;
- 2) Interpréter et évaluer la productivité biologique d'unités territoriales pour planifier leur utilisation et leur aménagement;
- 3) Acquérir une compréhension géographique cohérente et intégrée de l'environnement pour appréhender les interrelations entre le milieu vivant et son support physique (Jurdant et coll., 1975). Cinq projets pilotes voient le jour, un dans chacune des provinces suivantes : Colombie-Britannique, Manitoba, Nouvelle-Écosse, Québec et Terre-Neuve. Jurdant (1968 et 1969) recommande que ces projets soient menés par des équipes de spécialistes et non

par des personnes individuellement dont les résultats seraient intégrés par la suite, reprenant en ce sens la philosophie de l'école australienne. Rapidement sont émises des lignes directrices pour la production d'un système de classification biophysique du territoire (Lacate, 1969). C'est un système hiérarchique à quatre niveaux de perception (tableau 1.3).

Le niveau 4, le type écologique (*land type*), est la cellule de base du système de classification biophysique du territoire, celle sur laquelle la majorité des interprétations portant sur la productivité biologique seront réalisées.

Il était entendu, dès le départ, que les lignes directrices proposées par Lacate et le Comité national sur les terrains forestiers constituaient un cadre de référence préliminaire qui serait testé dans les projets pilotes. Malgré la grande variabilité naturelle des territoires sur lesquels elles ont été appliquées et la diversité des équipes de réalisation, la mise en œuvre des lignes directrices s'est faite sans mal (Jurdant et coll., 1971; Jurdant et coll., 1972; Runka, 1972; Zoltaï et coll., 1969). Quelques modifications seront cependant apportées, particulièrement par Jurdant et ses collaborateurs (1972 et 1977); elles intègrent des considérations aquatiques au niveau 4, le système écologique, dont la définition devient *une portion de territoire caractérisée par un patron propre du relief, des matériaux géologiques de surface, des sols, des chronoséquences végétales et des plans d'eau*. Ces mêmes auteurs proposent un cinquième niveau, la phase écologique, définie comme *une portion de territoire caractérisée par une combinaison relativement uniforme du sol et de la végétation*. La cartographie des phases écologiques ne peut se concrétiser qu'à grande échelle et sur de petites superficies (Jurdant et Frisque, 1970).

À la suite des cinq projets pilotes, plusieurs projets de cartographie écologique voient le jour au Canada dès la première moitié des années 1970. Deux retiendront particulièrement notre attention, car ils seront réalisés au Québec et permettront la cartographie de plus de 700 000 km² de territoire boréal. D'abord, de 1973 à 1977, une équipe regroupant près de 30 professionnels et techniciens dirigée par Michel Jurdant cartographie la municipalité de la Baie-James et le bassin versant de la Petite rivière à la Baleine au nord du territoire municipal. La cartographie de base est dressée au niveau du système écologique, à l'échelle du 1 : 125 000 (Ducruc et coll., 1976; Ducruc et Bérubé, 1979). Les régions écologiques (Ducruc et coll., 1976) et les districts écologiques (Jurdant et Ducruc, 1979), les deux premiers niveaux de perception écologique du territoire, sont aussi décrits et cartographiés. La réalisation de cet ambitieux projet prouve, hors de tout doute, l'opérationnalité du système de classification et de cartographie du territoire issu des projets pilotes. Malgré l'immensité du territoire, l'ampleur des problèmes logistiques et la difficulté de mettre sur pied aussi rapidement une telle équipe de spécialistes, l'entreprise est menée à terme, dans les délais et les budgets impartis.

C'est l'occasion de produire de très nombreuses publications et communications qui donnent le jour et alimentent, entre autres, la Série de la classification écologique du territoire d'Environnement Canada (Jurdant et coll., 1977; Ducruc et Bérubé, 1979; Jurdant et Ducruc, 1979;) et de nombreuses réunions scientifiques (Jurdant et coll., 1975, 1976; Ducruc et coll., 1976; Jurdant et Ducruc, 1977; Ducruc et Brown, 1977; Gerardin et Ducruc, 1983).

Tableau 1.3. Le système de classification biophysique du territoire selon Lacate (1969)

Niveau de perception	Définition	Échelle cartographique	Niveau correspondant de Hills (1961)
Niveau 1 Région écologique (<i>Land region</i>)	Une portion de territoire caractérisée par un climat régional distinctif tel qu'exprimé par la végétation.	1 : 3 000 000 à 1 : 1 000 000	<i>Site region</i>
Niveau 2 District écologique (<i>Land district</i>)	Une portion de territoire caractérisée par un patron propre du relief, de la géologie, de la géomorphologie et de la végétation régionale.	1 : 1 000 000 à 1 : 250 000	<i>Site district</i>
Niveau 3* Système écologique (<i>Land system</i>)	Une portion de territoire caractérisée par un patron récurrent de formes de terrain, de sols et de chronoséquences végétales.	1 : 250 000 à 1 : 100 000	<i>Land type pattern</i>
Niveau 4 Type écologique (<i>Land type</i>)	Une portion de territoire caractérisée par une combinaison relativement uniforme du sol (la série de sol) et de la chronoséquence végétale.	1 : 50 000 à 1 : 20 000	<i>Physiographic site type</i>

* C'est le niveau de travail de la plupart des projets de cartographie écologique réalisés au Canada jusqu'au milieu des années 1970.

Durant ses années de réalisation, ce projet est le véritable moteur de la cartographie écologique dans l'ensemble du Canada. Il pousse à la création du Comité canadien de classification écologique du territoire (CCCET), mis en place en 1976 sous l'égide d'Environnement Canada. Ce comité, qui restera actif jusqu'à la fin des années 1980, a coordonné la publication de la Série de la classification écologique du territoire dans laquelle plus de vingt titres ont été publiés. Ces textes font état des projets réalisés au Canada, des développements méthodologiques et conceptuels qui animaient la cartographie écologique d'alors (Wiken, 1979; Wiken et coll., 1981; Gilbert et coll., 1985; Wiken, 1986; Rubec et coll., 1988; Wickware et Rubec, 1989; Rubec, 1992). C'est dans cette série qu'a été publié *L'inventaire du Capital-Nature* (Jurdant et coll., 1977), qui reste encore aujourd'hui le seul livre de référence sur la classification et la cartographie écologique du territoire au Canada. De 1978 jusqu'au début des années 1980, le projet de cartographie écologique de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord prend la relève pour couvrir plus de 250 000 km² de territoire nord-côtier le long du golfe Saint-Laurent, de Baie-Comeau à Blanc-Sablon. Nous reviendrons plus tard sur ce projet, lors de la présentation des expériences québécoises, car il marque un tournant dans les projets de cartographie écologique au Canada. Tout d'abord, l'équipe Jurdant (c'est ainsi qu'on l'appelait) perd son leader, parti réaliser un projet d'une envergure équivalente en Grèce, puis incorpore le corps professoral de l'Université Laval, à son retour au pays. En même temps, le gouvernement fédéral se retire des programmes de cartographie écologique portant sur les terres de compétence provinciale; à la suite de cette décision, une partie de l'équipe Jurdant est transférée au ministère de l'Environnement du gouvernement du Québec nouvellement créé.

À la fin des années 1980, la Société canadienne d'écologie et d'aménagement du paysage (SCEAP) prend la relève du CCCET. Beaucoup moins active que le CCCET, elle organise une série de symposiums, dont un à Québec en 1994 (Domon et Falardeau, 1995). Sa création marque le déclin définitif et la disparition d'une importante tribune nationale d'échanges sur la cartographie écologique. Ceci s'explique en grande partie par le retrait du gouvernement fédéral qui, depuis le début des années 1990, ne propose plus que des cartographies pancanadiennes à très petite échelle sur lesquelles repose l'analyse de politiques ou de programmes généraux (politique de développement durable, Convention internationale sur les oiseaux migrateurs, Commission de coopération environnementale, etc.). Ces différentes cartographies débouchent cependant sur le cadre écologique national du Canada en 15 écozones subdivisées en 194 régions écologiques (Groupe de travail sur la stratification écologique, 1995). Ces niveaux s'inscrivent dans une

régionalisation nord-américaine de plus haut niveau encore (Commission de coopération environnementale, 1997).

1.2 Ailleurs dans le monde

1.2.1 Les pays adeptes des travaux de l'école russe

En premier lieu, bien évidemment, les pays les plus imprégnés de la philosophie russe de cartographie écologique sont les pays européens de l'ancien bloc communiste, parmi lesquels nous avons retenu la Pologne et l'ancienne RDA, auxquels il faut rajouter Cuba. La Chine est associée à ce groupe, non pas pour des raisons géopolitiques aussi claires que les précédents, mais plutôt pour des occasions d'échanges liées à la proximité avec la Russie. L'école toulousaine se retrouve aussi ici, parce que les relations personnelles et les affinités politiques entre Georges Bertrand, Nicolas Beroutchachvili et Viktor Sochava ont facilité les rapprochements.

Pologne¹

Les études holistiques du milieu naturel ont une longue tradition en Pologne. Dès la première moitié du 20^e siècle, Lencewicz divise le pays en régions naturelles; il distingue six principaux types de « paysages naturels », résultat intégré de l'interaction de toutes les composantes de la nature (Richling, 1994). Basé sur la notion du géocomplexe (Richling, 1984), le système polonais distingue la classification (taxonomie) de la régionalisation (cartographie).

La classification est calquée sur les travaux russes. L'écotope, la plus petite unité homogène, correspond à la phase écologique de Jurdant et ses collaborateurs (1977). Le niveau au-dessus, défini par la combinaison d'une forme de relief et de caractéristiques minéralogiques du sol liées à la nature géologique du socle rocheux, se rapproche de la définition du type écologique de l'école canadienne. Les unités supérieures s'appellent paysages (*landscapes*); du bas vers le haut, se succèdent des variations, des catégories, des sortes et des classes de paysage (Richling, 1990). La régionalisation repose aussi sur un système hiérarchique à niveaux de perception emboîtés (Kondracki, 1977, *in* Richling, 1990). Le territoire polonais, qui couvre un peu plus de 300 000 km², est ainsi successivement cartographié en provinces, sous-provinces, macro-régions et méso-régions. Un dernier niveau, les micro-régions, n'a été que sporadiquement cartographié lors de travaux très détaillés.

¹ Nous avons pu obtenir des informations privilégiées de la bouche même du professeur Andrew Richling à l'occasion du Congrès mondial de l'Association internationale d'écologie du paysage tenu à Toulouse, en 1995.

La régionalisation de la Pologne comprend (Kondracki, 1977, dans Richling, 1990) :

- niveau 1 : 6 provinces;
- niveau 2 : 19 sous-provinces;
- niveau 3 : 55 macro-régions;
- niveau 4 : 318 méso-régions.

Les cartes écologiques sont d'abord traduites en cartes d'aptitude ou de potentiel dont l'élaboration est fortement inspirée des exemples contenus dans *L'inventaire du Capital-Nature* de Jurdant et ses collaborateurs publié en 1977 (Richling, 1984, 1994). Elles sont ensuite comparées avec des cartes d'utilisation actuelle du sol afin de formuler des recommandations pour l'aménagement du territoire.

République démocratique allemande

Dans les années 1950 et 1960, l'ancienne République démocratique allemande (RDA) développe aussi un système hiérarchique avec des unités cartographiques et des unités taxonomiques clairement dissociées. La finalité des travaux vise la cartographie des usages potentiels du territoire et de leurs limitations (Haase, 1989). Dans son souci d'imposer des règles objectives aux rapports entre la société et la nature, le régime marxiste tente de définir des relations rationnelles entre les usages et les demandes sociales, d'une part, et les propriétés du milieu naturel, d'autre part, en vue d'améliorer les conditions de vie de la société est-allemande (Rougerie et Beroutchachvili, 1991); l'utilisation du sol prend beaucoup d'importance dans ce système. L'échelle cartographique privilégiée est le 1 : 50 000. Haase (1989) décrit le système qui, de prime abord, semble relativement complexe à cause d'un vocabulaire particulier. Ainsi, les unités issues de la régionalisation sont, du haut vers le bas, les *mésogéochores*, les *microgéochores*, les *nanogéochores* (représentant la mosaïque ou le complexe élémentaire), le *géotope* et le *géofom*. Par définition, tous les niveaux, sauf le dernier, sont hétérogènes; ils se différencient de leurs voisins par leur structure et leur composition interne. La hiérarchie taxonomique est étroitement liée à la hiérarchie cartographique. En effet, à chaque niveau cartographique, hormis le dernier, la taxonomie propose des sous-types, des types, des familles, des sous-classes et des classes, chacun étant défini par des règles strictes (Haase, 1984, 1989).

Cuba

Longtemps sous l'influence politique directe de l'ex-URSS, Cuba a également développé une très forte expertise en classification et cartographie du territoire. Malheureusement, pour les raisons géopolitiques que nous connaissons et sans doute aussi à cause de la barrière linguistique, peu d'information a filtré jusqu'à la communauté scientifique nord-américaine ou mondiale. Nous avons eu la chance de découvrir toute l'ampleur des travaux cubains en côtoyant, durant six mois en 1993, l'un de ses auteurs les plus actifs, le professeur Eduardo Salinas Chávez de la faculté de géographie de l'Université de La Havane.

L'objectif majeur des inventaires et cartographies du territoire cubain reste la planification de l'utilisation des ressources naturelles (Salinas Chávez et coll., 1993). Parmi les travaux majeurs, citons une cartographie à petite échelle des paysages de l'île de Cuba (Mateo, 1979), une analyse des problèmes de conservation à Cuba basée sur cette cartographie par Iñiguez (1983), l'évaluation du potentiel récréatif des paysages cubains (Wong Pérez, 1982) et l'évaluation du potentiel touristique de ces mêmes paysages (Salinas Chávez, 1986). D'ailleurs les applications les plus nombreuses dans le domaine de la classification et de la cartographie écologique à Cuba se retrouvent dans le domaine récréotouristique. Peu de Canadiens s'en étonneront!

Cependant, de nombreuses études portent aussi sur des problématiques environnementales et de conservation des ressources (Salinas Chávez et coll., 1992). L'ouvrage de référence sur les fondements conceptuels et méthodologiques de l'école cubaine est l'œuvre de Mateo (1984). Les références à l'école russe y sont multiples et directes; ceci fait la preuve de son application à des milliers de kilomètres de son lieu d'origine et sous des conditions écologiques bien différentes. C'est un système hiérarchique double d'unités taxonomiques et d'unités cartographiques, sans aucun doute le plus rigoureux et le plus complet de toute la littérature scientifique consultée. Le point central de la classification et de la représentation cartographique est l'utilisation de la notion du complexe naturel territorial (Milián-Trujillo et coll., 1985). Selon les projets, les complexes naturels territoriaux (CNT) seront classifiés et cartographiés à différentes échelles que la hiérarchie permettra de qualifier.

Le système de classification cubain propose six niveaux taxonomiques : la classe, la sous-classe, le type, le groupe, l'espèce et la sous-espèce.

La représentation cartographique des CNT suit un système hiérarchique à deux grands « paliers » : un régional et un local. C'est surtout au « palier » local que sont réalisées les cartographies pour les applications de

gestion territoriale. Trois unités sont utilisées, du général vers le détail : la *localité*, la *comarca* et le *faciès*. Nous conservons le vocabulaire espagnol pour le niveau intermédiaire afin de ne pas ajouter à la confusion, car sa meilleure traduction littérale française serait région ! La majorité des cartes de CNT de « palier » local est levée à l'échelle du 1 : 50 000; ces cartes cartographient les localités et les *comarcas*.

Les localités sont définies comme « un complexe naturel territorial, génétiquement homogène, constitué d'une géologie homogène et d'un type déterminé de formes de terrain, sous un même climat » (Mateo, 1984).

La *localité* est très proche du *land system* australien et du système écologique de Jurdant et ses collaborateurs (1977). La *comarca* est une sorte de sous-système écologique ou de patron de types écologiques, tandis que le *faciès* correspond au type écologique de l'école canadienne. Les travaux de l'école cubaine ont essaimé hors de l'île et des projets ont été réalisés à Panama, au Venezuela, en Angola et en Guinée-Bissau.

Chine

La Chine est un pays de très longue tradition en études géographiques régionales, dont les racines sont les plus anciennes de tous les pays évoqués dans cette revue historique puisqu'on peut les faire remonter à plus de 500 ans avant notre ère. Déjà à cette époque, dans un ouvrage intitulé *Yu Gong*, la Chine était divisée en neuf États décrits selon le relief, les sols, les lacs et la nature des ressources naturelles (Zhao et coll., 1979). Dès la première moitié du 20^e siècle, les travaux des principaux auteurs russes (Berg, Isachenko, Kalyesnik) inspirent et influencent la pensée géographique chinoise qui développe une nouvelle discipline : la géographie physique intégrale (GPI).

Dans la deuxième moitié du 20^e siècle, l'essor de cette nouvelle discipline est facilité par le régime communiste nouvellement au pouvoir, qui met en place une planification économique centralisée de l'État. En effet, la régionalisation du pays, selon l'approche de la GPI, met en évidence les caractéristiques naturelles régionales du territoire chinois sur lesquelles les autorités appuient par la suite leurs orientations du développement économique, en particulier celles de l'agriculture (à l'image de ce qu'a fait le régime communiste soviétique au lendemain de la révolution d'octobre 1917). La cartographie connaît un essor important à partir des années 1950 (Lin, 1954; Luo, 1954), essor soutenu par une étroite collaboration avec les géographes soviétiques, dont Isachenko. Ce dernier consacre plusieurs séjours, entre 1957 et 1959, à l'enseignement et à l'application du concept du

« complexe naturel territorial » en territoire chinois. En 1959, Huang, considéré comme le maître à penser de la GPI, publie une régionalisation géophysique intégrée de la Chine selon un système hiérarchique à cinq niveaux de perception gigognes.

La régionalisation de la Chine comprend, selon Huang (1959) :

- niveau 1 : 3 méga-districts tecto-géomorphologiques;
- niveau 2 : 6 « ceintures » climatiques;
- niveau 3 : 18 régions naturelles;
- niveau 4 : 28 zones naturelles;
- niveau 5 : 90 districts naturels.

Ultérieurement, la plupart des provinces et régions administratives poursuivront cette régionalisation à des niveaux inférieurs. Ainsi, la province de Guangdong, qui couvre une superficie terrestre de 226 000 km², a été cartographiée en 12 provinces naturelles et 48 régions naturelles à l'échelle de 1 : 3 000 000. Les formes de relief constituent le facteur déterminant de la délimitation des régions naturelles (Équipe d'inventaire des ressources biologiques de la Chine méridionale et Institut de géographie de Canton, 1963).

Des régionalisations dites « éco-géographiques » se poursuivent actuellement en Chine avec des données récentes et des outils technologiques modernes. Elles visent, entre autres, à définir un cadre de référence spatial pour étudier les impacts liés aux changements climatiques (Zheng, 1999; Wu et coll., 2003; Jia et coll., 2005; Zheng et coll., 2008).

1.2.2 L'école de Toulouse (France)

Une autre école a fortement marqué l'évolution conceptuelle de la cartographie écologique : l'école toulousaine et son chef de file, Georges Bertrand, rencontré lors d'une mission scientifique en France durant l'été 1983. Ce dernier expose les fondements de sa réflexion dans un article intitulé « Paysage et géographie physique globale » (Bertrand, 1968). Cet article sera cité dans d'innombrables écrits de géographie, mais aussi hors des cercles géographiques pendant de nombreuses années. L'auteur propose d'aborder le territoire dans la perspective d'une géographie physique globale (à rapprocher du concept de la géographie physique intégrale de l'école chinoise que nous venons de présenter) en s'appuyant sur la notion de système et sur l'organisation hiérarchique de l'espace en niveaux emboîtés (figure 1.3). Ainsi abordée, l'analyse territoriale mène à la reconnaissance d'unités spatiales ayant une structure propre. Cette structure est révélée par la combinaison d'éléments qui interagissent et participent à une dynamique commune.

Dans la perspective d'une géographie physique globale, les unités spatiales relèvent de trois types d'organisation : le potentiel écologique, l'exploitation biologique et l'utilisation anthropique.

La combinaison des paramètres abiotiques (roche, sol, eau, air) définit le potentiel écologique.

L'exploitation biologique (faune et végétation) exprime les communautés vivantes liées au potentiel écologique.

L'utilisation anthropique correspond aux impacts de l'activité humaine sur les combinaisons des deux premiers. (Bertrand, 1968)

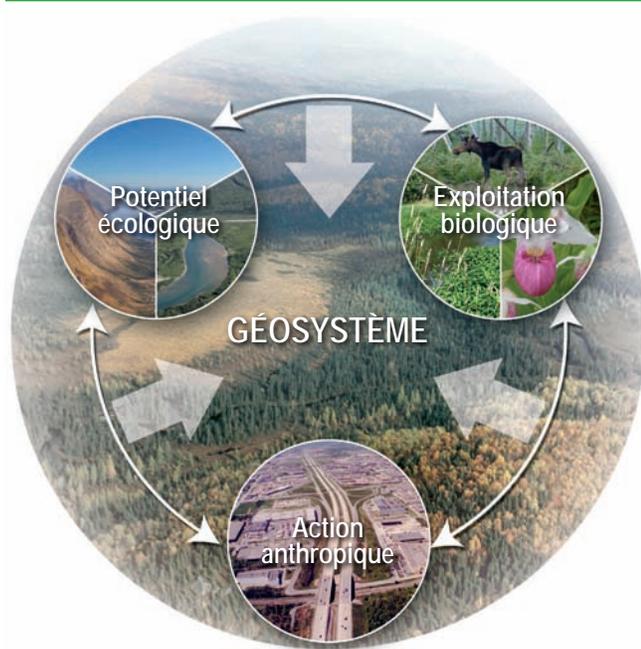


Figure 1.3. Le géosystème au sens de Bertrand (1968)

Les unités sont liées les unes aux autres par des rapports dynamiques qui jouent dans le temps et l'espace. Elles sont classées les unes par rapport aux autres selon leur structure, leur taille et leur dynamique. Le système proposé par Bertrand est un système hiérarchique uniquement composé d'unités chorologiques, c'est-à-dire d'unités cartographiques (Bertrand, 1972). Il comporte six niveaux qui, à l'image de l'école cubaine, sont regroupés en deux « paliers ». Les unités du palier supérieur sont des unités spatiales de grande taille cartographiées à petite échelle. On retrouve trois niveaux : la zone, liée au concept de zonalité planétaire et définie d'abord par un climat général, le domaine, combinaison d'un domaine structural géologique et d'un mésoclimat, et la région, qui correspond à une structure géologique régionale (nature du socle, altitude, relief) dans un contexte climatique donné.

Les unités du palier inférieur comprennent également trois niveaux : le géosystème, qui est l'unité opérationnelle, le géofaciès et le géotope (tableau 1.4).

Le géosystème sert à désigner un « système géographique naturel homogène lié à un territoire ». (Beroutchachvili et Bertrand, 1978)

« À la surface des géosystèmes, les géofaciès dessinent une mosaïque changeante dont la structure et la dynamique traduisent fidèlement les nuances écologiques et les pulsations d'ordre biologique. » (Bertrand, 1968)

En résumé, le géosystème est un concept territorial, une unité spatiale bien délimitée (Beroutchachvili et Bertrand, 1978) dont le découpage traduit des discontinuités objectives du territoire que l'on recherche en taillant directement dans le paysage global tel qu'il se présente. C'est à nouveau l'approche globale qui est ici réaffirmée.

Tableau 1.4. Les niveaux inférieurs de l'école toulousaine selon Bertrand (1968)

Niveau de perception	Variables diagnostiques	Ordre de grandeur	Équivalent
Géosystème	Nature du socle rocheux Dépôt de surface Topographie Drainage du sol	Centaine de kilomètres carrés	<i>Land system</i> de l'école australienne <i>Localité</i> de l'école cubaine <i>Système écologique</i> de Jurdant et ses collaborateurs
Geofaciès	Topographie Épaisseur du sol Texture du sol Drainage du sol Couvert végétal	Dizaine d'hectares	<i>Phase écologique</i> de Jurdant et ses collaborateurs
Géotope	Microforme topographique	Quelques mètres carrés	

« Il faut, une fois pour toutes, renoncer à déterminer des unités synthétiques sur la base d'un compromis à partir des unités élémentaires. » (Bertrand, 1968, p. 255)

1.2.3 Les Pays-Bas, adeptes des travaux de l'école canadienne

Les Pays-Bas, petit pays d'un peu plus de 40 000 km², le plus densément peuplé d'Europe (près de 400 habitants/km²) font face à de très gros problèmes environnementaux depuis les dernières décennies. L'Institut national de santé publique et de protection de l'environnement produit régulièrement un rapport sur l'état de l'environnement (RIVM, 1989) qui compile des données sur la qualité de l'environnement, sur les problèmes environnementaux, leurs causes et leurs effets. Dès le début, l'approche régionale a été privilégiée pour analyser les problèmes actuels et à venir au regard des caractéristiques naturelles du territoire. Pour réaliser cette analyse régionale, les Pays-Bas s'appuient sur un système hiérarchique de classification et de cartographie territoriale directement inspiré du système canadien (Klijn, 1991; Klijn et Udo de Haes, 1994; Klijn et coll., 1995; Wiken et Ironside, 1977; tableau 1.5).

On retrouve six écorégions (quatre terrestres et deux aquatiques) et 37 écodistricts (26 terrestres et 11 aquatiques); ce sont des unités taxonomiques qui peuvent se répéter en plusieurs lieux du territoire néerlandais. Ainsi, la représentation cartographique des six écorégions est éclatée en plus de 30 polygones cartographiques et celle des 37 écodistricts, en plus d'une centaine. Les écodistricts restent cependant spatialement emboîtés dans le niveau supérieur des écorégions. Ils ont été utilisés pour évaluer la susceptibilité des écosystèmes à

une série de perturbations : acidification, eutrophisation, assèchement et pollution par des substances toxiques (Klijn, 1991).

On a ainsi pu dresser une carte de susceptibilité des écodistricts utilisée dans le rapport sur l'état de l'environnement (RIVM, 1989). Fait très intéressant, Klijn et ses collaborateurs (1995) ont soumis la cartographie des écorégions et des écodistricts à une analyse discriminante en compilant des informations variable par variable provenant d'une base de données nationales dans une grille d'un kilomètre carré. Cette analyse a révélé que le patron spatial de la géomorphologie, des sols et de l'eau souterraine correspond bien avec la cartographie des écorégions et des écodistricts : il y a très peu de différences entre la cartographie tirée du système hiérarchique et celle issue de la classification automatique des cellules d'un kilomètre carré.

Dans ce cas, ce résultat montre que le reproche souvent fait à la cartographie écologique, voulant que son approche déductive (du haut vers le bas) soit trop empreinte de subjectivité par rapport à une approche inductive (du particulier au général), n'est pas fondé. Les Pays-Bas ont eu un maître à penser en la personne de Zonneveld (1989, 1995), sur les écrits duquel nous reviendrons souvent dans la présentation conceptuelle du CER.

1.2.4 Les États-Unis

Durant les trente dernières années, les États-Unis ont été très prolifiques dans la production de cartes écologiques. Un auteur en particulier, Robert Bailey, a joué un rôle majeur dans le développement des concepts et des pratiques. Il a mené les débats à partir du Service forestier national (USDA Forest Service). Au milieu des années 1970, il a publié une première carte des régions

Tableau 1.5. Principaux traits du système hiérarchique de classification appliqué aux Pays-Bas (d'après Klijn, 1991)

Unité	Variable active	Échelle indicative	Superficie indicative
Écozone	Climat	1 : 50 000 000	> 50 000 km ²
Écoprovince	Physiographie	1 : 10 000 000 à 1 : 50 000 000	2 500 à 50 000 km ²
Écorégion	Géologie et géomorphologie	1 : 2 000 000 à 1 : 10 000 000	100 à 2 500 km ²
Écodistrict	Géologie, géomorphologie, eau souterraine et eau de surface	1 : 500 000 à 1 : 2 000 000	5 à 100 km ²
Écosection	Géomorphologie, sol et régimes d'eaux souterraines	1 : 100 000 à 1 : 500 000	0,25 à 5 km ²
Écosérie	Sol	1 : 25 000 à 1 : 100 000	1,5 à 25 ha
Écotope	Végétation	1 : 5 000 à 1 : 25 000	0,25 à 1,5 ha
Écoélément	Végétation, faune	< 1 : 5 000	< 0,25 ha

écologiques (*ecoregions*) des États-Unis à l'échelle de 1 : 7 500 000 (Bailey, 1976), reprise et modifiée plusieurs fois (Bailey et Cushwa, 1981; Bailey et coll., 1994; Bailey, 1995). Au départ, c'était une cartographie écoclimatique à quatre niveaux de perception hiérarchiques qui s'appuyait sur la classification des climats selon Köppen (1931), la végétation naturelle potentielle selon Kuchler (1964) et la distribution des sols selon Crowley (1967). À cause de son échelle, cette carte restait d'intérêt général et, rapidement, le besoin de cartes plus détaillées s'est fait sentir. Bailey (1985 et 1987) recommande l'utilisation de la physiographie exprimée au travers de la géologie et de la topographie pour compléter la hiérarchie des écorégions des États-Unis aux niveaux inférieurs. Ecomap (1993) et Cleland et ses collaborateurs (1997) proposent un système hiérarchique à huit niveaux de perception de l'espace emboîtés pour compléter le cadre de référence spatial pour les opérations du Service national forestier.

L'objet premier de ce système est de reconnaître des unités territoriales (terrestres et aquatiques) ayant des potentialités d'aménagement particulières. Selon l'échelle, ces unités seront caractérisées par un patron particulier de sols, de fonctions hydrologiques, de formes de terrain, de géologie, de climat, de communautés naturelles et de processus naturels (cycles nutritifs, cycles de perturbations naturelles). Le climat tel que modifié par la topographie constitue le critère majeur de caractérisation des unités écologiques. Cleland et ses collaborateurs (1997) regroupent les huit niveaux hiérarchiques en quatre « échelles ». L'échelle de l'écorégion regroupe les trois niveaux supérieurs : le domaine, la division et la province; à cette échelle, les unités écologiques sont reconnues par des différences climatiques et physiographiques très générales.

L'échelle sous-régionale, qui regroupe les niveaux 4 et 5 (section et sous-section), se caractérise par des combinaisons de climat, de relief et de processus géomorphologiques qui vont influencer le régime d'humidité et d'exposition à l'énergie solaire qui, à leur tour, exercent une influence directe sur les fonctions hydrologiques, les processus pédogénétiques et la distribution des communautés naturelles.

La troisième échelle, l'échelle du paysage, correspond à des associations de types écologiques (*land type association*); ces unités écologiques se définissent par la topographie, les matériaux de surface, les sols, les processus géomorphologiques, des patrons de communautés naturelles et le climat local (Forman et Godron, 1986).

Enfin, l'échelle locale regroupe le type écologique et la phase écologique. À cette échelle, les unités écologiques sont reconnues et cartographiées sur le terrain en faisant

appel à la topographie locale, à la nature du socle géologique, au type de sol et à la végétation naturelle. Le tableau 1.6 résume les caractéristiques principales du système hiérarchique proposé par le Service forestier national.

Durant ce temps, d'autres agences gouvernementales ayant aussi le mandat d'inventorier et d'aménager le territoire américain et ses ressources développent, sans concertation, leur propre cadre de référence, notamment le Service géologique (Seaber et coll., 1987; Gallant et coll., 1995) ou l'Agence de protection de l'environnement (Omernik, 1987; U.S. Environmental Protection Agency, 1988). Au sein même du ministère de l'Agriculture duquel relève le Service forestier national, le Service de la conservation des ressources naturelles (secteur agriculture) produit son propre cadre écologique de référence (U.S. Department of Agriculture, 1984). Cette multiplication de cadres de référence mènera à des efforts de coordination interagences qui se matérialisent en 1996 par la signature d'un mémoire au titre évocateur *Développement d'un cadre spatial d'unités écologiques pour les États-Unis* (McMahon et coll., 2001). L'objectif principal du mémoire est d'aboutir à une cartographie commune des régions écologiques des États-Unis, prérequis indispensable à l'amorce d'une collaboration et d'une coordination interagences en vue d'élaborer des stratégies d'aménagement écosystémique (Interagency Ecosystem Management Task Force, 1995; Omernik et Bailey, 1997).

Deux échelles sont visées au départ : 1 : 7 500 000 pour le niveau le plus général, dans lequel s'emboîtera ultérieurement un niveau au 1 : 250 000 dont la réalisation permettra de préciser le découpage du niveau précédent.

Dans les faits, il faut harmoniser quatre sources d'informations distinctes : les écorégions de l'Agence de protection de l'environnement (Omernik, 1987, 1995), les écorégions du Service forestier national (Bailey, 1976; Cleland et coll., 1997), les régions écologiques de l'Amérique du Nord de la Commission de coopération environnementale (1997) et les régions du ministère de l'Agriculture (U.S. Department of Agriculture, 1984). L'échelle retenue correspond au niveau 3 de chacune des cartographies à corrélérer et aboutit à un découpage en 84 unités pour les États-Unis continentaux, moins l'Alaska. Ce sont évidemment des unités de grande taille qui couvrent, pour la plupart, plusieurs dizaines de milliers de kilomètres carrés (McMahon et coll., 2001).

Dans les dernières années, bien des travaux de cartographie à moyenne et à grande échelle ont été réalisés dans de nombreuses régions selon les concepts

Tableau 1.6. Principales caractéristiques des niveaux de perception écologique du Service forestier national (d'après Cleland et coll., 1997)

Niveau	Variables diagnostiques	Échelle	Superficie
Domaine	Grandes zones climatiques	1 : 30 000 000	1 000 000 km ²
Division	Climat régional (Koppen, 1931) – Formations végétales (prairies, forêts) – Ordre de sol	1 : 30 000 000 à 1 : 7 500 000	100 000 km ²
Province	Végétation potentielle (Kuchler, 1964) – Montagnes avec zonation altitudinale du climat, de la végétation et des sols	1 : 15 000 000 à 1 : 5 000 000	10 000 km ²
Section	Province physiographique, géologie (âge, stratigraphie et lithologie) – Climat régional – Ordre ou grand groupe de sols – Communautés naturelles potentielles	1 : 7 500 000 à 1 : 3 500 000	1 000 km ²
Sous-section	Processus géomorphologique, matériaux géologiques de surface, lithologie du socle – Ordre ou grand groupe de sol – Sous-région climatique – Communautés naturelles potentielles (formation ou série)	1 : 3 500 000 à 1 : 250 000	10 à 1 000 km ²
Association de types écologiques <i>(Land type association)</i>	Processus géomorphologique, formation géologique, matériaux géologiques de surface et dénivelé – Sous-groupe, famille ou série de sol – Climat local – Communautés naturelles potentielles : série, sous-série ou association	1 : 250 000 à 1 : 60 000	1 à 10 km ²
Type écologique	Forme de terrain et topographie (dénivelé, exposition, pente et position topographique) – Sous-groupe, famille ou série de sol – Nature du socle rocheux et processus géomorphologique – Association végétale	1 : 60 000 à 1 : 24 000	0,1 à 1 km ²
Phase écologique	Sous-famille ou série de sol Forme de terrain et position topographique Association végétale	≤ 1 : 24 000	< 100 ha

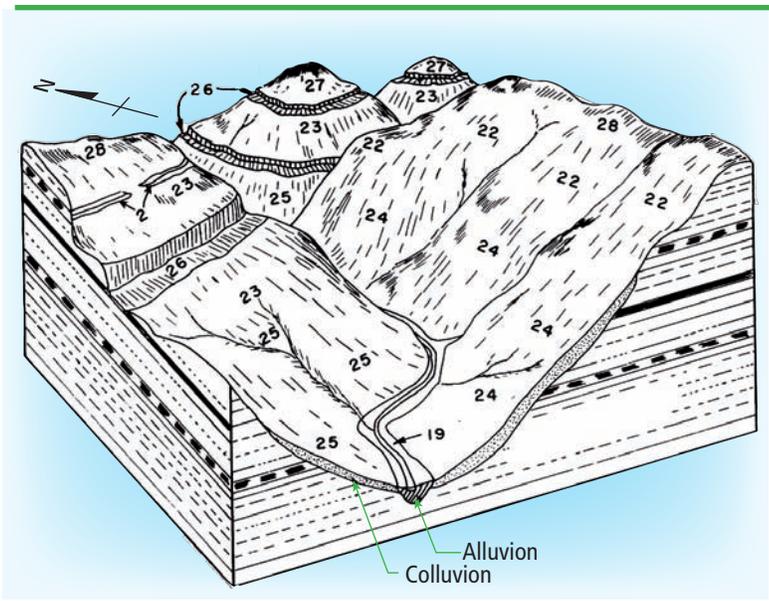
et la philosophie de ce système. Parmi les réalisations les plus récentes, citons les écorégions du Dakota du Nord et du Dakota du Sud (Bryce et coll., 1998), les écorégions du Wisconsin (Omernik et coll., 2000), les écorégions de l'État de Washington et de l'Oregon (Pater et coll., 1998) ou encore les écorégions de l'Indiana et de l'Ohio (Woods et coll., 1998).

Retournons maintenant au milieu des années 1970 et au début des années 1980, au sein même du Service forestier national. Glendon Smalley, chercheur rattaché à la station de recherche sur les forêts du sud basée à Sewanee, au Tennessee, développe et applique un système de classification et de cartographie du territoire adapté à des fins forestières (Smalley, 1979, 1984). Il s'inscrit parfaitement dans le système initialement proposé par Bailey (1976) et ultérieurement complété par Cleland et ses collaborateurs (1997). Pourtant, ces derniers auteurs n'y feront jamais référence alors que même le vocabulaire est semblable. La province physiographique, le niveau supérieur des cinq niveaux hiérarchiques proposés par Smalley correspond au quatrième niveau de Cleland et ses collaborateurs (1997). En ce sens, on peut considérer que Smalley a été un précurseur de la hiérarchie complétée une quinzaine d'années plus tard au sein même du Service forestier national. Ses travaux

couvrent l'extrémité sud de la chaîne appalachienne (Smalley, 1979, 1980, 1982, 1983; Smalley et coll., 1996). Ils soulignent très clairement que, même à très grande échelle (la cartographie de base est dressée au 1 : 12 000), les unités restent hétérogènes et que cette hétérogénéité doit être décrite. Smalley décrit donc les unités de la cartographie de base, l'« association de types écologiques », en énumérant les types écologiques qui la composent et en les décrivant selon neuf thèmes (figure 1.4 et tableau 1.6).

Au cours des trente dernières années, une autre constante apparaît dans les travaux américains : le souci d'aborder la dimension aquatique dans les classifications et cartographies territoriales (Platts, 1974, 1979; Warren, 1979; Lotspeich, 1980). Lotspeich et Platts (1982) proposent le premier système intégré de classification terrestre-aquatique. Ils ne considèrent cependant que les cours d'eau et laissent les lacs de côté. Le système est hiérarchique et fortement inspiré des travaux précédents de Wertz et Arnold (1972) et de Bailey (1976, 1978).

Les six principaux niveaux de perception retenus (domaine, province, section, région, association de types écologiques et type écologique) sont, à quelques nuances près, semblables, à ceux que l'on retrouve



Légende

- 2 : Sols minces et affleurements de grès
- 19 : Bas de pente, deltas, terrasses et alluvions de ruisseaux bien drainées
- 22 : Hauts de pentes exposition nord
- 23 : Hauts de pente exposition sud
- 24 : Colluvions de bas de pente exposition nord
- 25 : Colluvions de bas de pente exposition sud
- 26 : Mines
- 27 : Sommets de shale étroits et hauts de pente convexe
- 28 : Sommets de shale larges et hauts de pente convexe

Figure 1.4. Association de types écologiques (adaptée de Smalley, 1984)

Tableau 1.7. Les variables descriptives des types écologiques selon Smalley (1984)

Variable	Descripteurs
Caractères généraux	Localisation topographique et traits généraux
Sols dominants	Principales séries de sol
Socle géologique	Nature minéralogique du socle
Profondeur du socle rocheux	Profondeur du socle rocheux
Texture du matériel meuble	Texture du matériel meuble
Drainage du sol	Réserve en eau utile du sol
Réserve en eau utile du sol	Classes générales
Fertilité du sol	Classes générales
Végétation	Espèces arborées et arbustives

dans le tableau 1.6. L'intégration terrestre-aquatique se fait au niveau de l'association de types écologiques par la cartographie des bassins versants d'ordre 1 considérés comme l'écosystème de base. La légitimité de qualifier une telle classification d'« intégrée » est fort critiquable, d'abord par la non-consideration des lacs, puis par le fait que considérer un bassin versant, quel que soit son ordre, comme un écosystème est un écueil conceptuel difficile à contourner...

En 1992, le Service forestier national adopte le concept d'aménagement écosystémique et se rend vite à l'évidence que la classification et la cartographie terrestres seules ne permettent pas d'expliquer les patrons d'habitats aquatiques ni les flux d'énergie et de matériel dans les hydrosystèmes. Renonçant à concevoir et développer un système intégrant, dès le début, les dimensions terrestres et aquatiques, le Service forestier national développe, à côté du système terrestre, un système complémentaire basé sur les bassins versants qu'il qualifie de cadre hiérarchique des unités écologiques aquatiques (Maxwell et coll., 1995). Les tentatives d'intégration des deux systèmes se font par la suite, souvent par superposition de cartes, « ce qui rend difficile la compréhension des potentiels biotiques et abiotiques du territoire » (McMahon et coll., 2001). De son côté, l'Agence de protection de l'environnement n'est pas en

reste et Omernik (1995) propose un cadre de référence national d'écorégions basées sur la physiographie et le potentiel biotique (végétation naturelle potentielle et communautés halieutiques). Ce cadre sera par la suite repris à des échelles régionales en incluant un soutien au développement de critères de biologie aquatique (Hornig et coll., 1995; Davis et coll., 1996) ainsi qu'à la détermination d'objectifs de qualité de l'eau des lacs (Heiskary et Wilson, 1989) ou de qualité de l'eau en général (Hughes, 1995). En résumé, malgré une volonté affirmée d'aborder la cartographie territoriale en intégrant les dimensions aquatiques et terrestres, la méthode idéale, si elle existe, reste à trouver.

On ne peut terminer ce tour d'horizon des travaux américains sans revenir sur la contribution exceptionnelle de Bailey au développement des concepts et des principes de cartographie et de classification. En 1978, Bailey et ses collaborateurs ont publié un article sur la nature de la classification et de la cartographie du territoire et des ressources qui, encore aujourd'hui, fait œuvre de référence.

« L'approche taxonomique cherche à établir des unités territoriales en regroupant des sites ayant des propriétés similaires. Dans l'approche par régionalisation, le territoire est subdivisé en unités naturelles sur la base de structures spatiales qui affectent les processus naturels et l'utilisation des ressources. » (Bailey et coll., 1978, p. 650)

Tour à tour, Bailey traitera des fondements de la cartographie et de la classification des écorégions (Bailey, 1983), des facteurs d'échelle et de la nécessité d'une hiérarchie spatiale (Bailey, 1985), de l'avènement des systèmes d'information géographique en cartographie (Bailey, 1988), du rôle des formes de terrain dans la caractérisation des écosystèmes (Bailey, 2004), sans oublier son volume de référence *Ecosystem Geography* paru en 1996 et réédité en 2009 (Bailey, 1996, 2009), en pochette duquel se retrouvent une cartographie originale à très petite échelle des écorégions des continents et une cartographie des océans.

1.3 Les travaux québécois

Malgré l'importante activité de cartographie écologique qui se déroule partout au Canada dès la fin des années 1950, le Québec, en tant que province, est resté étrangement absent des débats. Peut-être est-ce dû à l'influent héritage de la phytosociologie classique de Braun-Blanquet? En effet, jusqu'au début des années 1980, la plupart des études écologiques au Québec se limitent à de la classification de la végétation, parfois accompagnée de la cartographie du couvert végétal (Grandtner, 1960; Jurdant et Roberge, 1965; Blouin et Grandtner, 1971; Gagnon et Grandtner, 1973; Marcotte et Grandtner, 1974; Gaudreau, 1979; Grondin et Mélançon, 1980; Majcen, 1981; Brown, 1981). D'ailleurs, pour les tenants de cette école, *la végétation est le meilleur intégrateur possible du milieu* (Ozenda, 1986) et il n'est pas facile de nier cette maxime; par contre, on ne peut pas nier non plus que, souvent, cette intégration soit tellement réussie qu'on ne sait plus ce qu'elle signifie! Par le jeu des facteurs de compensation, par le jeu des perturbations, il est possible d'avoir un couvert végétal identique sur des milieux bien différents ou, inversement, de rencontrer des couverts végétaux totalement distincts sur des milieux semblables!

Jusqu'au début des années 1980, le flambeau de la cartographie écologique au Québec est uniquement porté par des représentants du gouvernement fédéral. Malgré plusieurs tentatives (Jurdant et coll., 1975), malgré le succès du projet pilote réalisé au Saguenay-Lac-Saint-Jean et celui de la cartographie de la municipalité de la Baie James, ni les autorités provinciales ni le monde universitaire ne manifestent beaucoup d'intérêt. Il faudra

attendre pour cela la mise en place du ministère de l'Environnement du Québec, au tournant des années 1980.

À ce moment, se terminaient l'inventaire et la cartographie de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord et le cœur de l'équipe était toujours constitué de fonctionnaires fédéraux de l'équipe Jurdant. Quelques années plus tôt, le gouvernement fédéral avait annoncé sa décision de ne plus soutenir des travaux de cartographie écologique sur des terres de compétence provinciale et de disperser l'équipe Jurdant. Le projet de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord a permis le transfert de certaines compétences fédérales vers le nouveau ministère de l'Environnement du Québec et la mise en place d'un embryon d'équipe de cartographie écologique. Celle-ci a été longue et laborieuse et l'existence de l'équipe moult fois remise en question puisqu'il n'y avait aucune tradition établie de cartographie écologique au Québec et encore moins au sein du nouveau ministère. Mais, comme le dit si joliment le proverbe, petit à petit l'oiseau fait son nid. Tout d'abord, en menant à terme le projet de cartographie écologique de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord, renommé, après la parution de l'ouvrage de Jurdant et ses collaborateurs (1977), *L'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord* (Ducruc, 1985).

En 1979, entre en vigueur la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme qui oblige les municipalités régionales de comté (MRC) à produire un schéma d'aménagement et de développement régional (SADR). Revenant aux sources mêmes des prémisses de la cartographie écologique au Canada qui, selon Burger (1972), est *un outil pour procurer les bases écologiques à la planification de l'utilisation du sol* ou, selon Jurdant et ses collaborateurs (1975), *un cadre de référence essentiel pour l'aménagement du territoire*, Veillette et Ducruc (1985 et 1987) proposent un cadre écologique de référence aux gestionnaires du territoire et des ressources. Plusieurs MRC se dotent alors de ce cadre écologique de référence, ou CER, qui deviendra le terme consacré pour qualifier, à l'avenir, la cartographie écologique au ministère de l'Environnement (Ducruc et coll., 1988).

À la même époque, après des recommandations du Bureau des audiences publiques sur l'environnement (BAPE), le gouvernement du Québec exige du ministère des Ressources naturelles et des Forêts qu'il aménage, à l'avenir, le territoire forestier sur des bases écologiques solides. Initialement mise à contribution, l'expertise du ministère de l'Environnement est rapidement laissée de côté malgré les recommandations du rapport Godbout (Comité sur le cadre écologique forestier, 1991) et le ministère des Ressources naturelles et des Forêts fait cavalier seul pour mettre en place son programme de cartographie écoforestière.

Ce faisant, et malgré l'utilisation d'un vocabulaire parfois similaire, ce ministère s'éloigne de l'orthodoxie de la cartographie écologique développée au Canada et ailleurs dans le monde pour répondre à de stricts besoins d'exploitation forestière. Le système hiérarchique à 11 niveaux de perception contient à la fois des unités taxonomiques et des unités cartographiques (Ministère des Ressources naturelles, 2004). La carte de base est une cartographie du couvert forestier au 1 : 20 000 accompagnée des dépôts de surface provenant d'une carte au 1 : 50 000 (Robert et Saucier, 1988; Robert, 1989; Robitaille et coll., 1994).

Durant les années 1990, deux thèmes émergent dans les préoccupations environnementales au Québec : le paysage et la gestion par bassin versant. Le premier permet de préciser l'apport du CER à la caractérisation et à l'analyse du paysage en participant activement à plusieurs rendez-vous internationaux (Ducruc et coll., 1993; Parent et coll., 1993) ainsi qu'à l'organisation et à l'animation des premiers états généraux du paysage au Québec (Ducruc et Genest, 1995; Li et Ducruc, 1995; Pâquet et Ducruc, 1995). C'est le prélude à la collaboration avec les principaux intervenants du paysage au Québec, dont le Conseil québécois des paysages (Gerardin et Ducruc, 1996a; Ducruc et Domon, 1998) et la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal. Avec cette dernière se réalise un projet important de caractérisation du paysage qui mène à la publication d'un ouvrage majeur pour le Québec (Domon et coll., 2000). Cette collaboration se poursuit encore aujourd'hui et souligne à bien des égards l'apport du CER à la caractérisation du paysage qui sera présentée en détail dans le chapitre 5 de la partie 2 du présent ouvrage. Au cours des dernières années, plusieurs études et analyses des paysages à partir du CER ont été publiées, la majeure partie sous forme d'atlas dans Lotbinière (Blais et coll., 2005), dans l'Assomption (Côté et coll., 2004), dans la Matapédia (Côté et coll., 2008), dans le sud du Québec (Ducruc et Côté, 2012) et dans la région de Québec (Communauté métropolitaine de Québec, 2008).

Dans le thème de la gestion par bassin versant, plusieurs projets ont aussi été menés à bien et nous en retiendrons deux particulièrement, car ils sont à la base de toute une réflexion sur la façon d'intégrer la dimension aquatique au CER : le CER des bassins versants des rivières Saint-Charles et L'Assomption (Audet et coll., 1997; Beauchesne et coll., 1997, 1998; Gerardin et Ducruc, 1996b; Gerardin et Lachance, 1997; Gerardin et Ducruc, 1998).

Leur réalisation a profité d'une collaboration avec le Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts (CEMAGREF) de Lyon qui venait de caractériser le bassin versant de la Loire en France

(Wasson et coll., 1993; Bethemont et coll., 1996; Wasson, 1996). Dans le domaine aquatique, les travaux se poursuivent aujourd'hui, autant à l'égard des cours d'eau (rivière Jacques-Cartier) pour lutter contre des problèmes comme l'érosion des rives et l'apport de sédiments qu'à l'égard des lacs pour lutter contre les problèmes liés à l'eutrophisation.

Enfin, au tournant de l'an 2000, le gouvernement du Québec adopte le projet de stratégie québécoise sur les aires protégées pour doter la province d'un réseau d'aires protégées représentatif de la diversité écologique du Québec. Il décide par la même occasion que la recherche des sites d'intérêt constitutifs de ce réseau ferait appel au CER. Cette décision permet de mettre en branle la finalisation des niveaux supérieurs du CER pour l'ensemble du territoire québécois (Li et Ducruc, 2000; Gerardin et coll., 2002). Au moment d'écrire ces lignes, les quatre premiers niveaux de perception du CER sont cartographiés ainsi qu'une partie du cinquième. La carte de provinces naturelles et de régions naturelles du Québec, les deux premiers niveaux du CER, est présentée à l'annexe.

En terminant, soulignons que l'expertise québécoise du CER est, depuis le début des années 2000, appliquée avec succès par une association de municipalités du sud du Chili pour mettre en place son premier schéma d'aménagement et de développement sur des bases écologiques. Ce projet de coopération internationale est la retombée directe de l'expérience réalisée au Québec avec la MRC de Papineau à la fin des années 1980.

Les développements de l'intégration de la dimension aquatique au CER, l'apport du CER au choix des territoires d'intérêt dans le projet de stratégie québécoise sur les aires protégées et les réalisations chiliennes feront l'objet d'une présentation détaillée dans les chapitres sur les applications du CER.

Pour conclure cette revue historique, soulignons trois traits marquants de la cartographie écologique, dont les deux premiers reviennent comme un leitmotiv tout au long de la présentation. En premier lieu, c'est la prééminence du milieu physique dans la cartographie et, en second lieu, l'appréhension du territoire par un système hiérarchique de niveaux de perception. Le troisième est une préoccupation qui tarde à se concrétiser : l'intégration de la dimension aquatique à la dimension terrestre du territoire.

Physiographie, relief, assemblages de formes de terrain et formes de terrain sont des vocables qui reviennent constamment pour présenter et justifier le découpage cartographique. Est-ce à dire que la cartographie écologique n'est que physique et ne s'intéresse qu'à

l'inerte? Certes pas et, à cet égard, l'école australienne répond clairement. Les formes de terrain sont, en fait, l'aboutissement d'un très long processus interactif entre le milieu physique et le monde vivant qui l'occupe (Christian, 1959). Troll (1971) voit là la naissance d'une nouvelle science, l'écoscience, qui allie la dimension biotique du monde à la dimension abiotique. Il se plaisait à dire que cette nouvelle science était le mariage entre la biologie et la géographie. Par là, il voulait : 1) comprendre les interactions entre les variables (milieu physique et êtres vivants) en un lieu structuré comme un écosystème : l'écosystème élémentaire; 2) comprendre les arrangements de ces unités élémentaires à la surface de la terre en étudiant les interrelations existant entre elles. Ainsi, de simplement descriptif au départ avec les « complexes naturels territoriaux », les unités cartographiques ont rapidement glissé vers la notion de « système ». Le milieu physique n'est plus alors seulement un support au vivant, il est aussi la clé pour la compréhension du fonctionnement et du dynamisme du milieu (échanges cinétiques, modificateur des flux climatiques, etc.). Il devient ainsi la porte d'entrée à la théorie des systèmes brillamment appliquée à la cartographie écologique par les travaux de Naveh et de ses disciples (Naveh et Lieberman, 1984, 1994; Naveh, 2000; Naveh, 2001; Naveh et Carmel, 2002).

La perception du monde qui nous entoure par niveaux de perception est une réalité, voire une évidence pour la majorité d'entre nous : le lieu de résidence, le quartier (ou le rang), la ville (ou la municipalité), la région, la province, le pays, le continent. Transposer cette vision à la perception territoriale est sans doute plus délicat et, surtout, exige la mise en place d'un système cohérent de niveaux de perception. Autant pour la classification que pour la cartographie, cette cohérence a été assurée par le concept de hiérarchie, concept d'ailleurs confirmé par l'application de la théorie des systèmes à la cartographie écologique (Von Bertalanffy, 1968).

Malgré le souci constant d'avoir une approche territoriale intégrée, la dimension aquatique a souvent été laissée au second plan. La première tentative digne d'intérêt, celle de Hills (1961), ne s'adressait qu'aux lacs et elle n'a pas été poursuivie par d'autres, sauf très timidement par Jurdant et ses collaborateurs (1972 et 1977). Actuellement, plusieurs auteurs américains cherchent cette intégration par l'entremise des bassins versants, tout en laissant les lacs de côté (Lotspeich et Platts, 1982), mais le succès n'est toujours pas là! (McMahon et coll., 2001). Il y a place à l'amélioration et au progrès dans ce domaine et nous verrons plus loin comment le CER envisage aujourd'hui cette intégration.

1.4 Références bibliographiques

- ABOLIN, R. I., 1914. « Tentative epigenological classification of bogs ». *Bolotovedenie*, vol. 3, p. 1-55 (en russe).
- AUDET, G., D. BÉRUBÉ, J.-P. DUCRUC ET V. GERARDIN, 1997. *Les cartes écologiques du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec*. Notice explicative. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, contribution du Service de la cartographie écologique n° 53, 101 p.
- BAILEY, R. G., 1976. *Ecoregions of the United States*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah (1 : 7 500 000; carte couleur).
- BAILEY, R. G., 1978. *Description of ecoregions of the United States*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah.
- BAILEY, R. G., 1983. « Delineation of ecosystem regions ». *Environmental Management*, vol. 7, p. 365-373.
- BAILEY, R. G., 1985. « The factor of scale in ecosystem mapping ». *Environmental Management*, vol. 9, p. 271-276.
- BAILEY, R. G., 1987. « Suggested hierarchy of criteria for multi-scale ecosystem mapping ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 14, p. 313-319.
- BAILEY, R. G., 1988. « Problems with using overlay mapping for planning and their implications for geographic information systems ». *Environmental Management*, vol. 12, p. 11-17.
- BAILEY, R. G., 1995. *Description of ecoregions of the United States*. Deuxième édition revue et augmentée, Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service, Misc. Publ. N° 1391, 108 p. (carte séparée au 1 : 7 500 000).
- BAILEY, R. G., 1996. *Ecosystem Geography*. New York, Springer Verlag, 204 p. + 2 cartes hors-texte.
- BAILEY, R. G., 2004. *Role of landform in differentiation of ecosystems at the mesoscale (Landscape mosaics)*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Inventory and Monitoring Institute, document de travail, 22 p.
- BAILEY, R. G., 2009. *Ecosystem Geography : From ecoregions to sites*. Deuxième édition, New York, Springer, 251 p.
- BAILEY, R. G., et C. T. CUSHWA, 1981. *Ecoregions of North America*. Washington, D.C., United States Fish and Wildlife Service, FWS/OSB n° 81/29 (1 : 12 000 000, carte couleur).
- BAILEY, R. G., R. D. PFISTER et J. A. HENDERSON, 1978. « Nature of land and resource classification: a review ». *Journal of Forestry*, vol. 76, n° 10, p. 650-655.
- BAILEY, R. G., P. E. AVERS, T. KING et W. McNAB (dir.), 1994. *Ecoregions and subregions of the United States*. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service (carte couleur au 1 : 7 500 000 avec description des unités cartographiques).

- BEAUCHESNE, P., J.-P. DUCRUC et M.-J. CÔTÉ, 1997. *Une approche multiscalaire à la gestion des sols et des eaux : le cas de la partie agricole du bassin versant de la rivière L'Assomption*. Québec, Congrès conjoint AQSSS-ORSTOM, Lac Beauport, 12 p.
- BEAUCHESNE, P., M.-J. CÔTÉ, S. ALLARD, J.-P. DUCRUC et Y. LACHANCE, 1998. *Atlas écologique du bassin versant de la rivière L'Assomption : la partie des Basses-Terres du Saint-Laurent*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, et Environnement Canada, 42 p.
- BERG, L. S., 1913. « A proposed classification of Siberia and Turkestan into landscape and morphological regions ». Dans *Collected Papers in honour of professor D.N. Anuchin's 70th birthday*, Moscou. (Paru en 1947).
- BEROUTCHACHVILI, N., et G. BERTRAND, 1978. « Le Géosystème ou "Système territorial naturel" ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 49, n° 2, p. 167-180.
- BERTRAND, G., 1968. « Paysage et géographie physique globale ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 34, n° 3, p. 249-272.
- BERTRAND, G., 1972. « Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques centrales (nord-ouest de l'Espagne) ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 43, n° 2, p. 175-206.
- BETHEMONT, J., H. ANDRIAMAÉFA, C. ROGERS, et J. G. WASSON, 1996. « Une approche régionale de la typologie morphologique des cours d'eau : application de la méthode "morphorégions" au bassin de la Loire et perspectives pour le bassin du Rhône (France) ». *Revue de géographie de Lyon*, vol. 71, n° 4, p. 311-322.
- BLAIS, J.-S., J.-P. DUCRUC, Y. LACHANCE et M.-F. SAINT-LAURENT, 2005. *Les paysages de la MRC de Lotbinière – De la connaissance à l'aménagement*. Québec, MRC de Lotbinière et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs, 24 p.
- BLOUIN, J.-L., et M. M. GRANDTNER, 1971. *Étude écologique et cartographie de la végétation du comté de Rivière-du-Loup*. Québec, ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche, Direction générale de la planification, 370 p.
- BROWN, J.-L., 1981. *Les forêts du Témiscamingue, Québec. Écologie et photo-interprétation*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques n° 5, 447 p.
- BRYCE, S. A., J. M. OMERNIK, D. E. PATER, M. ULMER, J. FREEOUF, R. JOHNSON, P. KUCK et S. H. AZEVEDO, 1998. *Ecoregions of North Dakota and South Dakota*. Reston, Virginie, U.S. Geological Survey.
- BURGER, D., 1972. « Forest site classification in Canada ». *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung*, n° 21, p. 20-36.
- CHRISTIAN, C. S., 1952. « Regional land surveys ». *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, vol. 18, p. 140-146.
- CHRISTIAN, C. S., 1958. *The concept of land unit and land system*. Papier présenté au symposium UNESCO « Climat, végétation et utilisation des terres sous les tropiques humides », 9^e Congrès des sciences du Pacifique.
- CHRISTIAN, C. S., 1959. « The eco-complex in its importance for agricultural assesment ». Dans Keast A., R.L. Crocker et C. S. Christian (dir.), *Biogeography and Ecology in Australia*, série Monographiae Biologicae, vol. 8, p. 587-605.
- CHRISTIAN, C. S., et G. A. STEWART, 1953. *General report on Survey of Katherine-Darwin region, 1946*. Melbourne, Australie, CSIRO, Land Research Series n° 1, 177 p.
- CHRISTIAN, C. S., et G. A. STEWART, 1968. « Methodology of integrated surveys ». Dans Proceedings of the Toulouse Conference, *Aerial surveys and integrated studies*, Paris, UNESCO, p. 233-280.
- CHRISTIAN, C. S., G. A. STEWART et R. A. PERRY, 1960. « Land Research in Northern Australia ». *Australian Geographer*, vol. 7, n° 6, p. 217-231.
- CHRISTODOULOU, M., et G. NAKOS, 1990. « An approach to comprehensive land use planning ». *Journal of Environmental Management*, vol. 31, p. 39-46.
- CLELAND, D. T., et COLL., 1997. « National hierarchical framework of ecological units ». Dans Boyce, M. S., et A. Haney (dir.), *Ecosystem management applications for sustainable forest and wildlife resources*, New Haven, Presses de l'Université de Yale, p. 181-200.
- COMITÉ SUR LE CADRE ÉCOLOGIQUE FORESTIER, 1991. *Rapport final du Comité sur le cadre écologique forestier*. Québec, ministère des Forêts et ministère de l'Environnement, 94 p.
- COMMISSION DE COOPÉRATION ENVIRONNEMENTALE, 1997. *Les régions écologiques de l'Amérique du Nord – Vers une vision commune*. Montréal, 70 p. + 1 carte hors-texte.
- COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC, 2008. *Atlas des unités de paysage de la Communauté métropolitaine de Québec*. Québec, Daniel Arbour et Associés et CMQ, cahiers 1 et 2, 761 p.
- CÔTÉ, M.-J., Y. LACHANCE et J.-P. DUCRUC, 2004. *Le bassin versant de la rivière L'Assomption – Des paysages... à la gestion territoriale*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, 24 p.
- CÔTÉ, M.-J., B. DENIS et Y. LACHANCE, 2006. *Les paysages de la MRC de La Matapédia*. Québec, Municipalité régional de comté de La Matapédia et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 24 p.
- CROWLEY, J. M., 1967. « Biogeography ». *Canadian Geographer*, vol. 11, p. 312-326.
- DAVIS, W. S., B. D. SNYDER, J.-B. STRIBLING et C. STOUGHTON, 1996. *Summary of State Biological Assessment Programs for Streams and Wadeable Rivers*. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation, USEPA 230 R 96-007.

- DOKUCHAYEV, V. V., 1951. « Collected Works ». *Académie des sciences de l'URSS*, vol. 6, p. 97-99 et 388-399.
- DOMON, G., et J. FALARDEAU (dir.), 1995. *Méthodes et réalisation de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*. Comptes rendus du 4^e congrès de la Société canadienne d'écologie et d'aménagement du paysage, Morin-Heights, Polyscience Publications, 227 p.
- DOMON, G., G. BEAUDET et M. JOLY (avec la participation de J.-P. Ducruc et M.-O. Trépanier), 2000. *Évolution du territoire laurentidien : caractérisation et gestion des paysages*. Montréal, Isabelle Quentin éditeur, 142 p.
- DUCRUC, J.-P., 1985. *L'analyse écologique du territoire au Québec – L'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord*. Environnement Canada et Environnement Québec, série de l'inventaire du Capital-Nature n° 6, 145 p.
- DUCRUC, J.-P., et D. BÉRUBÉ, 1979. *Le système écologique : unité de base de la cartographie écologique du territoire de la Baie-James*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 10, 64 p. (également en version anglaise).
- DUCRUC, J.-P., et L. D. BROWN, 1977. « Integrated mapping of land and aquatic ecosystems within an ecological inventory framework ». Dans Canadian Committee on Ecological (Biophysical Land Classification, *Land-water Integration Workshop*, Winnipeg, p. 26-34.
- DUCRUC, J.-P., et M.-J. CÔTÉ, 2012. « Les paysages de la partie québécoise du bassin versant de la rivière Châteauguay ». *Naturaliste canadien*, vol. 136, n° 1, p. 11-21.
- DUCRUC, J.-P., et G. DOMON, 1998. *Le cadre écologique de référence : base d'information sur le territoire*. Les États généraux du paysage québécois, « De pays en paysage », Drummondville (recueil des conférences), 25 p.
- DUCRUC, J.-P., et E. GENEST, 1995. *La cartographie écologique : support à l'analyse des paysages*. États généraux du paysage québécois, Québec, 15 p.
- DUCRUC, J.-P., et V. GERARDIN, 1995. « Essai d'application de la cartographie écologique en milieu sub-sahélien ». Dans Domon, G. et J. Falardeau (dir.), *Méthodes et réalisation de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*, Montréal, Polyscience Publications, p. 93-100.
- DUCRUC, J.-P., J. FALARDEAU et D. VEILLETTE, 1988. *Employing ecological data in the integrated management of lands and natural resources in a rural environment: the Papineau Regional County Municipality (RCM) development plan*. Saint-Andrews-by-the-Sea, Nouveau-Brunswick, Conference on Resolving Rural Development Conflicts, 49 p. + 1 carte hors-texte.
- DUCRUC, J.-P., G. PARENT et G. CHABOT, 1993. *Cartographie écologique et unité de paysage : application au milieu boréal. Partie 1 : L'unité de paysage, unité naturelle fonctionnelle*. IUFRO S1.02.06, Réunion technique sur la classification et l'évaluation des stations, Clermont-Ferrand, France, 27 p.
- DUCRUC, J.-P., M.-JURDANT, J.-L. BÉLAIR et V. GERARDIN, 1976. « Le système écologique : unité cartographique de base pour la classification écologique du territoire de la Baie-James ». Dans Société de développement de la Baie-James et Environnement Canada, *Symposium Environnement – Baie-James*, Montréal, p. 95-102.
- DUCRUC, J.-P., R. ZARNOVICAN, V. GERARDIN et M.-JURDANT, 1976. « Les régions écologiques du territoire de la Baie-James : caractéristiques dominantes de leur couvert végétal ». *Cahiers de géographie de Québec*, vol. 50, n° 2, p. 365-391.
- ECOMAP, 1993. *National Hierarchical Framework of Ecological Units*. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service, 20 p.
- ÉQUIPE D'INVENTAIRE DES RESSOURCES BIOLOGIQUES DE LA CHINE MÉRIDIIONALE ET INSTITUT DE GÉOGRAPHIE DE CANTON, 1963. *Régionalisation géophysique intégrale de la province de Guangdong*. Canton, 182 p.
- EGLER, F. E., 1970. *The way of science: A philosophy of ecology for the layman*. New York, Hafner, 145 p.
- FORMAN, R. T. T., et M. GODRON, 1986. *Landscape ecology*. New York, John Wiley, 619 p.
- GALLANT, A. L., E. F. BINNIAN, J. M. OMERNIK et M. B. SHASBY, 1995. *Ecoregions of Alaska*. Washington, D.C., United States Geological Survey, Professional Paper 1567, 73 p.
- GAGNON, G., et M. M. GRANDTNER, 1973. *Étude écodynamique des tremblaies de la section laurentienne*. Québec, ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche, mémoire n° 14, 131 p.
- GAUDREAU, L., 1979. *La végétation et les sols des collines Tanginan, Abitibi Ouest, Québec*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques n° 1, 391 p.
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1983. « Bioclimatic regions as a framework for the study of boreal forest ecosystems ». Dans Wein, R. W., R. R. Riewe et I. R. Methven (dir.), *Resources and Dynamics of the Boreal Zone*, p. 52-69.
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1996a. *Le paysage derrière le paysage*. Les États généraux du paysage québécois, Trois-Rivières (recueil des conférences).
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1996b. « A reference framework for the integrated ecological management of the Saint-Charles Watershed, Québec, Canada ». Dans Leclerc, M., H. Capra, S. Valentin, A. Boudreault et Y. Côté (dir.), *Ecohydraulics 2000. Proceeding of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics*, Québec, INRS-Eau, p. 643-652.
- GERARDIN, V., et J.-P. DUCRUC, 1998. « Un cadre écologique de référence pour la gestion et l'aménagement du territoire du bassin versant de la Saint-Charles, Québec. Dans Compte rendu du Symposium international Paris-Québec, *La réhabilitation des cours d'eau en milieu urbain*, p. 217- 229.

- GERARDIN, V., et Y. LACHANCE, 1997. *Vers une gestion intégrée des bassins versants – Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint-Charles*, Québec, Canada. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et ministère de l'Environnement du Canada, 58 p.
- GERARDIN, V., J.-P. DUCRUC et P. BEAUCHESNE, 2002. « Planification du réseau d'aires protégées du Québec : principes et méthodes de l'analyse écologique du territoire ». *Vertigo – La revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 3, n° 1, 15 p. [En ligne], [journals.openedition.org/vertigo/4123].
- GIBBONS, F. R., 1961. « Some misconceptions about what soil surveys can do ». *Journal of Soil Science*, vol. 12, n° 1, p. 96-100.
- GIBBONS, F. R., et R. G. DOWNES, 1964. *A study of the land in south-west Victoria*. Victoria, Soil Conservation Authority, Technical Communications n° 3.
- GILBERT, G., R. G. HÉLIE et J. M. MONDOUX, 1985. « Écorégions et écodistricts du Québec ». Dans Environnement Canada, *Sensibilité de l'écosystème aux précipitations acides au Québec*, Série de la classification écologique du territoire, n° 20, Partie A., Hull, Québec, 96 p.
- GIMBARZESKI, P., 1964. « The significance of landforms in the evaluation of forest land ». *Pulp and Paper Magazine of Canada, Woodlands Review*, July 1964, p. 302-317.
- GIMBARZESKY, P., 1966. « Land inventory interpretation ». *Photogrammetric Engineering*, Nov. 1966, p. 967-976.
- GRANDTNER, M. M., 1960. « La forêt de Beauséjour, Comté de Lévis, Québec ». Contribution – Fonds de recherches forestières de l'Université Laval, n° 7, p. 162.
- GRIGORYEV, A. A., 1937. *An analytical characterisation of the content and the structure of the earth's physical geographic envelope*. Leningrad.
- GRONDIN, P., et M. MÉLANÇON, 1980. *Étude phyto-écologique de la Grosse île au Marteau et de l'île à Samuel*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques n° 2, 227 p.
- GROUPE DE TRAVAIL SUR LA STRATIFICATION ÉCOLOGIQUE, 1995. *Cadre écologique national pour le Canada*. Ottawa, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Direction générale de la recherche, Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, et Environnement Canada, Direction générale de l'état de l'environnement, Direction de l'analyse des écozones. Rapport et carte nationale 1 : 7 500 000.
- HAASE, G., 1984. « The development of a common methodology of inventory and survey in landscape ecology ». Dans Proceedings of the First International Seminar of the IALE, vol. 2., *Methodology and techniques of inventory and survey*, Roskilde, Danemark, p. 68-106.
- HAASE, G., 1989. « Medium scale landscape classification in the German Democratic Republic ». *Landscape Ecology*, vol. 3, n° 1, p. 29-41.
- HEISKARY, S. A., et C. B. WILSON, 1989. « The regional nature of lake water quality across Minnesota: an analysis for improving resource management ». *Journal of the Minnesota Academy of Sciences*, vol. 55, p. 71-77.
- HILLS, G. A., 1952. *The classification and evaluation of site for forestry*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Division, Research Report 24, 41 p.
- HILLS, G. A., 1953. « The use of site in forest management ». *Forestry Chronicle*, n° 29, p. 128-136.
- HILLS, G. A., 1954. *Field method for investigating site. The detail site description form*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Division, Site Research Manual 4, 119 p.
- HILLS, G. A., 1958. « Soil-forest relationships in the site regions of Ontario ». Dans Proceedings of the First American Forest Soils Conference, Michigan State University, East Lansing, p. 190-212.
- HILLS, G. A., 1961. *The ecological basis for land-use planning*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 46, 204 p.
- HILLS, G. A., 1963. *Land and water resources. Study 1. Background studies for resource development in the Tweed forest district*. Guelph, Ontario Agricultural College, Department of Agricultural Economics, Publication AE-63 4/1, 149 p.
- HILLS, G. A., et G. PIERPOINT, 1960. *Forest site evaluation in Ontario*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 42, 63 p.
- HILLS, G. A., D. V. LOVE et D. S. LACATE, 1970. *Developing a better environment. Ecological land-use planning in Ontario – A study of methodology in the development of regional plans*. Toronto, Ontario Economic Council, 175 p.
- HORNIG, C. E., et COLL., 1995. « Development of regionally based biological criteria in Texas ». Dans Davis, W. S., et T. P. Simon (dir.), *Biological assesment and criteria : tool for water resource planning and decision making*, Boca Raton, Floride, Lewis Publisher, p. 31-48.
- HUANG, B. W., 1959. « Draft of the complex physical geographical division of China ». *Chinese Science Bulletin*, n° 18, p. 594-602.
- HUGHES, R. M., 1995. « Defining biological status by comparing with reference conditions ». Dans Davis, W.S. et T.P. Simon (dir.), *Biological assesment and criteria : tools for water resource planning and decision making*, Boca Raton, Floride, Lewis Publishers, p. 31-47.
- ILLICH, Y., 1973. *Énergie et équité*. Paris, Éditions du Seuil, 59 p.
- IÑIGUEZ, L., 1983. *Aspectos geográficos de la protección de la naturaleza en Cuba*. Thèse pour l'obtention du doctorat en sciences géographiques, Université de La Havane, Cuba, 120 p.
- INTERAGENCY ECOSYSTEM MANAGEMENT TASK FORCE, 1995. *The ecosystem approach: healthy ecosystems and sustainable economies. Vol. 1: Overview*. Washington, D.C., Government Printing Office, 55 p.

- ISACHENKO, A. G., 1973. *Principles of landscape science and physical-geographic regionalisation*. Australie, Presses de l'Université de Melbourne, 310 p. (Traduction de l'ouvrage paru en russe en 1965).
- JIA, L. Q., Z. Y. OUYANG, T. Q. ZHAO, X. K. WU, Y. XIAO et H. ZENG, 2005. « The ecological functional regionalization of Anhui Province ». *Acta Ecologica Sinica*, vol. 25, n° 2, p. 254-260.
- JURDANT, M., 1968. « Report of the subcommittee on biophysical land classification ». Dans Proceedings of the 7th Meeting National Soil Survey Committee of Canada, Edmonton, Alberta, p. 179-184.
- JURDANT, M., 1969. « The ecological survey: the biophysical basis of forest land management ». *Pulp and Paper Magazine of Canada*, vol. 70, n° 9, p. 89-93.
- JURDANT, M., 1980. *Integrated land resources survey of Greece: an ecological approach (the ecological basis for land use planning)*. Rapport inédit, Athènes, Grèce, 151 p.
- JURDANT, M., 1984. *Estudio del ordenamiento de la cuenca del rio Malacatoya. Reflexiones sobre la clasificacion y la cartografia integrada de sus recursos*. Nicaragua, Instituto nicaraguense de los recursos naturales (IRENA), Departamento planificacion de cuencas hidrograficas, 21 p.
- JURDANT, M., et J.-P. DUCRUC, 1977. « La classification écologique du territoire : un inventaire intégré des ressources naturelles renouvelables ». Communication présentée au symposium *Ecological classification of forest land in Canada and Northwestern U.S.A.*, Vancouver, du 30 sept. au 2 oct., p. 140-155.
- JURDANT, M., et J.-P. DUCRUC, 1979. *Carte écologique du territoire de la Baie-James : districts écologiques et géomorphologie (légende détaillée)*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 11, 30 p. + 1 carte.
- JURDANT, M., et G. FRISQUE, 1970. *The Nicauba Research Forest. A research area for black spruce in Quebec. Part 1 : forest land survey*. Ste-Foy, Québec, Forest Research Laboratory, Quebec Region, Information Report Q-F X-18, 115 p.
- JURDANT, M., et M. ROBERGE, 1965. *Étude écologique de la forêt de Watopeka*. Ottawa, ministère des Forêts, Publication n° 1051F, 70 p.
- JURDANT, M., J.-L. BÉLAIR, J.-P. DUCRUC et V. GERARDIN, 1976. « La cartographie intégrée du territoire de la Baie-James ». Dans Comptes rendus de la 1^{re} réunion du Comité canadien de la classification écologique du territoire, Série de la classification écologique du territoire, n° 1, p. 173-180.
- JURDANT, M., J.-L. BÉLAIR, V. GERARDIN et J.-P. DUCRUC, 1977. *L'inventaire du Capital-Nature : méthode de classification et de cartographie du territoire (3^{ème} approximation)*. Ottawa, Pêches et Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 2, 202 p.
- JURDANT, M., J.-P. DUCRUC, J.-L. BÉLAIR et V. GERARDIN, 1975. « La carte écologique du territoire de la Baie-James ». Dans Comptes rendus de la Conférence circumpolaire sur l'écologie du nord, Ottawa, p. 101-112.
- JURDANT, M., J.-BEAUBIEN, J.-L. BÉLAIR, J.-C. DIONNE et V. GERARDIN, 1972. *Carte écologique de la région du Saguenay-Lac-St-Jean*. Notice explicative. Ottawa, Service canadien des forêts, Rapport d'information Q F-X-31, 3 vol., 93 p. + annexes.
- JURDANT, M., D. S. LACATE, S. C. ZOLTAÏ, G. G. RUNKA et R. WELLS, 1975. « Bio-physical classification in Canada. Forest Soils and Forest land Management ». Dans Proceedings of the 4th North American Forest Soils Conference, Université Laval, Québec, p. 485-495.
- JURDANT, M., R. WELLS, R. FULTON, B. DELANEY, G. KITCHEN et O. FORSEY, 1971. « Ecological survey of the Goose Bay Area, Labrador, Newfoundland. Progress Report ». Dans Proceedings of the National Committee On Forest Land Work Meeting, Kamloops, Colombie-Britannique, 94 p.
- KALYESNIK, S. V., 1940. « The tasks of geography and geographical field investigations ». *Uchebnye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 50, p. 3-20. (En russe, résumé en anglais).
- KLIJN, F., 1991. « Hierarchical classification of ecosystems: a tool for susceptibility analysis and quality evaluation for environmental policy ». Dans Ravera, O. (dir.), *Terrestrial and aquatic ecosystems perturbations and recovery*, New York, Ellis Horwood Publisher, p. 80-89.
- KLIJN, F., et A. HUDO DE HAES, 1994. « A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification ». *Landscape Ecology*, vol. 9, n° 2, p. 89-104.
- KLIJN, F., R. W. DE WAAL et J. H. OUDE VOSHAAR, 1995. « Ecoregions and ecodistricts: ecological regionalizations for the Netherlands' environmental policy ». *Environmental Management*, vol. 19, n° 6, p. 797-813.
- KONDRACKI, J., 1977. *Physico-geographical regions in Poland*. Varsovie, 178 p.
- KÖPPEN, W., 1931. *Grundriss der klimakunde*. Berlin, Walter de Gruyter Ed., 388 p.
- KÜCHLER, A. W., 1964. *Potential natural vegetation of the conterminous United States*. États-Unis, American Geographical Society, Special Publication N° 36, 116 p. + une carte séparée à 1 : 3 168 000.
- LACATE, D. S., 1965. *Forest land classification for the University of British Columbia research forest*. Canada, Department Of Forestry, Forest Research Laboratory, Publication 1107, 23 p.
- LACATE, D. S., 1969. *Guidelines for bio-physical land classification. For classification of forest lands and associated wildlands*. Ottawa, Department of Fisheries and Forestry, Publication 1264, 61 p.
- LEBRET, L. J., 1967. *Dynamique concrète du développement*. Paris, Économie et humanisme, Les Éditions ouvrières, 464 p.
- LI, T., et J.-P. DUCRUC, 1995. *Les provinces et régions naturelles du Québec : une perspective écologique pour les paysages québécois*. Québec, Les États généraux du paysage québécois, non paginé.

- LI, T., et J.-P. DUCRUC, 2000. *Les provinces naturelles. Niveau 1 du cadre écologique de référence du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement, 90 p.
- LIN, C., 1954. « A draft for physical geography regionalization in China: an abstract ». *Acta Geographica Sinica*, vol. 20, n° 4, p. 395-418.
- LOTSPEICH, F. B., 1980. « Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for natural classification system ». *Water Resources Bulletin*, vol. 16, p. 581-586.
- LOTSPEICH, F. B., et W. S. PLATTS, 1982. « An integrated land-aquatic classification ». *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 2, p. 138-149.
- LOUCKS, S. T. B., 1962. « A forest classification for Maritime provinces ». Dans *Proceedings of Nova Scotian Institute of Science*, n° 25, p. 85-167.
- LOVELOCK, J., 1979. *Gaia, a new look at life on earth*. Les Presses de l'Université d'Oxford. Traduction française, *La terre est un être vivant*, Éditions du Rocher, 185 p.
- LUO, F. K., 1954. « A draft for physical geography regionalization in China ». *Acta Geographica Sinica*, vol. 34, n° 3, p. 379-394.
- LYNN, R. J., et S. C. ZOLTAÏ, 1965. *The Greta Lake Road Reference Area, Geraldton District, Site Region 3W*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 60, 72 p.
- MAJCEN, Z. 1981. *Les forêts du parc national Forillon, Gaspésie, Québec : étude phytosociologique*. Québec, Université Laval, Laboratoire d'écologie forestière, Série des études écologiques, n° 4, 158 p.
- MARCOTTE, G., et M. M. GRANDTNER, 1974. *Étude écologique de la végétation forestière du mont Mégantic*. Québec, ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche, mémoire n° 19, 156 p.
- MATEO, J., 1979. *Paisajes en Cuba*. Thèse pour l'obtention du doctorat en sciences géographiques, Université de Moscou, URSS, 222 p.
- MATEO, J., 1984. *Apuntes de geografía de los paisajes*. La Havane, Faculté de géographie, Université de La Havane, Cuba, 470 p.
- MAXWELL, J. R., et COLL., 1995. *A hierarchical framework of aquatic ecological units in North America (Nearctic zone)*. St. Paul, Minnesota, United States Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-176, 72 p.
- McMAHON, G., et COLL., 2001. « Developing a spatial framework of common ecological regions for the conterminous United States ». *Environmental Management*, vol. 28, n° 3, p. 293-316.
- MEDINA MENA, J. E., 2006. *Plan de Ordenamiento y Desarrollo territorial. Versión para el proceso de consulta y participación ciudadana*. Chili, Asociación de Municipios de la Precordillera (AMP), Región de la Araucanía, 135 p.
- MILIÁN TRUJILLO, M. I., E. SALINAS CHÁVEZ et M. T. PADRÓN, 1985. *Los complejos naturales como base para el ordenamiento territorial de la zona este de la ciudad de La Habana*. La Havane, Cuba, Instituto de Planificación física, JUCEPLAN, 26 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 2004. *Le système hiérarchique de classification écologique du territoire*. Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers, 3 p.
- NAKOS, G., 1983. « The land resource survey of Greece ». *Journal of Environmental Management*, vol. 17, p. 153-169.
- NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1984. *Landscape Ecology. Theory and application*. New York, Springer Verlag, 356 p.
- NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1994. *Landscape Ecology. Theory and application, 2^e édition*. New York, Springer Verlag, 360 p.
- NAVEH, Z., 2000. « Introduction to the theoretical foundations of multifunctional landscapes and their application in transdisciplinary landscape ecology ». Dans Brandt, J., B. Tress et G. Tress (dir.), *Multifunctional Landscape : Interdisciplinary approaches to landscape research and management*, p. 27-41.
- NAVEH, Z., 2001. « Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 57, n° 3 4, p. 269-284.
- NAVEH, Z., et Y. CARMEL, 2002. « Landscape complexity versus ecosystem complexity – Implication for landscape planning and management ». Dans 12^e Congrès national de la Société italienne d'écologie, *La complexité en écologie*, Urbino, Italie, p. 35-54.
- ODUM, E. C., 1953. *Fundamentals of ecology*. Philadelphie, Saunders, 383 p.
- OMERNIK, J. A., 1987. « Ecoregions of the Conterminous United States ». *Annals of the Association of American geographers*, vol. 77, n° 1, p. 118-125.
- OMERNIK, J. A., 1995. « Ecoregions: a spatial framework for environmental management ». Dans Davis, W. S., et T. P. Simon (dir.), *Biological assesment and criteria: tools for water resource planning and decision making*. Boca Raton, Floride, Lewis Publishers, p. 49-62.
- OMERNIK, J. A., et R. G. BAILEY, 1997. « Distinguishing between watersheds and ecoregions ». *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 33, p. 935-949.
- OMERNIK, J. A., S. S. CHAPMAN, R. A. LILLIE et R. T. DUMKE, 2000. « Ecoregions of Wisconsin ». *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*, vol. 88, p. 77-103.
- OZENDA, P., 1986. *La cartographie écologique et ses applications*. Paris, Masson, 159 p.
- PÂQUET, J., et J.-P. DUCRUC, 1995. *La cartographie écologique, outil privilégié de l'analyse visuelle des paysages forestiers*. Québec, Les États généraux du paysage québécois, 14 p.

- PARENT, G., J. PÂQUET, J.-P. DUCRUC, V. GERARDIN et G. CHABOT, 1993. *La cartografia ecológica: del análisis espacial al análisis del paisaje*. La Havane, 1^{er} atelier international sur l'aménagement géo-écologique des paysages, Université de La Havane, Cuba, 46 p.
- PATER, D. E., S. A. BRYCE, T. D. THORSON, J. KAGAN, C. CHAPPELL, J. M. OMERNIK, S. H. AZEVEDO et J. A. WOODS, 1998. *Ecoregions of Western Washington and Oregon*. Reston, Virginie, United States Geological Service.
- PERRY, R. A., 1962. *General report on lands of the Alice Springs area, Northern Territory, 1956-57*. Melbourne, Australie, CSIRO, Land Research Series n° 6, 280 p.
- PIERPOINT, G., 1962. *The sites of the Kirkwood Management Unit*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 47, 91p.
- PIERPOINT, G., et G. A. HILLS, 1963. *The land resources of the Sudbury basin*. Ontario, Department of Lands and Forests, Research Branch, Research Report 50, 21 p.
- PLATTS, W. S., 1974. *Geomorphic and aquatic conditions influencing salmonids and stream classification – with application to ecosystem classification*. Boise, Idaho, United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, xiv, 199 p.
- PLATTS, W. S., 1979. « Relationships among Stream Order, Fish Populations, and Aquatic Geomorphology in an Idaho River Drainage ». *Fisheries*, vol. 4, p. 4 9.
- RAMYENSKI, L. G., 1938. *An introduction to complex soil and geobotanical investigations*. Moscou, Selhozgiz (en russe).
- RICHLING, A., 1984. « Geocomplexes as the basic fields of practically oriented assesment of natural conditions ». Dans Proceedings of the First International Seminar of the IALE, vol. 2., *Methodology and techniques of inventory and survey*, Roskilde, Danemark, p. 17-27.
- RICHLING, A., 1990. « Systems of Lanscape classification in Poland ». *Miscellanea Geographica*, Varsovie, p. 7-15.
- RICHLING, A., 1994. « Landscape ecology as a discipline combining investigations on natural environment ». Dans Richling, A, E. Malinowska et J.-Lechnio (dir.), *Landscape Research and its applications in environment management*, Varsovie, Pologne, p. 15-19.
- RIVM, 1989. *Concern for tomorrow: A National Environmental Survey 1985 2010*. Institut national de santé publique et de protection de l'environnement des Pays-Bas (RIVM), Bilthoven, 344 p.
- ROBERT, D., 1989. *Le cadre écologique forestier : bilan des actions de développement*. Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des inventaires forestiers, Division écologie, 60 p.
- ROBERT, D., et J.-P. SAUCIER, 1988. *La cartographie écologique à l'échelle 1 : 20 000 : normes et techniques*. Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des inventaires forestiers, Division écologie, 75 p.
- ROBITAILLE, A., D. ROBERT, J.-P. SAUCIER et F. CHÉNARD, 1994. *La cartographie des districts écologiques : normes et techniques (édition révisée de 1989)*. Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la gestion des stocks forestiers, Service des inventaires forestiers, 107 p.
- ROUGERIE, G., et N. BEROUTCHACHVILI, 1991. *Géosystèmes et paysages : bilan et méthodes*. Paris, Armand Colin, 298 p.
- ROWE, J. S., 1962. « Soil, site and land classification ». *Forestry Chronicle*, n° 38, p. 420-432.
- ROWE, J. S., P. G. HADDOCK, G. A. HILLS, V. J. KRAJINA et A. LINTEAU, 1960. « *The ecosystem concept in forestry* ». Dans Proceedings of the 5th World Forestry Congress, vol. 1, p. 570-572.
- RUBEC, C. D. A., 1992. « Thirty years of ecological land surveys in Canada from 1960 to 1990 ». Dans Ingram, G. B., et M. R. Ross (dir.), *Landscape approaches to wildlife and ecosystem management. Proceedings of the second symposium of the Canadian Society for Landscape Ecology and Management*, Université de la Colombie-Britannique, mai 1990. Montréal, Polyscience Publications Inc., p. 61-66.
- RUBEC, C. D. A., E. B. WIKEN, J. THIE et G. R. IRONSIDE, 1988. « Ecological land classification and landscape ecology in Canada: the role of the C.C.E.L.C. and the formation of the C.S.E.L.M ». Dans Ross., M. R. (dir.), *Landscape ecology and management. Proceedings of the first symposium of the Canadian society for landscape ecology and management*. Université de Guelph, mai 1987. Montréal, Polyscience Publications Inc., p. 51-56.
- RUNKA, G. G., 1972. *Soil resources of the Smithers-Hazelton Area*. Kelowna, Colombie-Britannique, Department of Agriculture, Soil Survey Division, 223 p.
- SALAZAR, I., et COLL., 2005. *Levantamiento de metodologia participativa por el ordenamiento territorial con comunidades Mapuche del ADI-Budi*. Tumeco, Chili, Instituto del Medio Ambiente, Universidad de la Frontera, 62 p.
- SALINAS CHÁVEZ, E., 1986. « Methodological contribution to landscape analysis and evaluation for territorial planning with special reference to Key Coco, Cuba ». UNEP, vol. 2, Nairobi, Kenya, p. 305-326.
- SALINAS CHÁVEZ, E., L. YANEZ SUÁREZ et S. ARCEO KINDELÁN, 1992. « *La evaluación agrogeográfica en la planificación regional en Cuba* ». Espagne, Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, n° 18-19, p. 217-236.
- SALINAS CHÁVEZ, E., J. MATEO RODRIGUEZ, E. SALINAS CHÁVEZ et R. MACHADO SANTIAGO, 1993. « Estudios geográficos y clasificación de los paisajes en Cuba ». Congrès national de géographie latino-américaine, Tarragone, Espagne, Édition Mapfre, p. 401-411.
- SEABER, P. R., F. P. KAPINOS et G. L. KNAPP, 1987. *Hydrologic unit maps*. United States Geological Survey, Water-Supply Paper 2294, 63 p.
- SMALLEY, G. W., 1979. *Classification and evaluation of forest sites on the southern Cumberland Plateau*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-23, 59 p.

- SMALLEY, G. W., 1980. *Classification and evaluation of forest sites on the western Highland Rim and Pennyroyal*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-30, 120 p.
- SMALLEY, G. W., 1982. *Classification and evaluation of forest sites on the Mid-Cumberland Plateau*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-38, 58 p.
- SMALLEY, G. W., 1983. *Classification and evaluation of forest sites on the eastern Highland Rim and Pennyroyal*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SO-43, 123 p.
- SMALLEY, G. W., 1984. « Landforms: a practical basis for classifying forest sites in the Interior Uplands ». Dans *Proceedings of the 12th Annual Hardwood Symposium*, Hardwood Research Council, p. 92-112.
- SMALLEY, G. W., L. B. SHARBER et J. C. GREGORAY. 1996. « Ecological land classification as a basic theme for the management of wildlands in Tennessee: a start ». *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 39, n° 1-3, p. 579-588.
- SOCHAVA, V. B., 1963. « Définition de quelques notions et termes de géographie physique ». Institut de géographie de Sibérie et Extrême-Orient, n° 3, Irkoutk, p. 94-117 (en russe).
- SOCHAVA, V. B., 1972. « L'étude des géosystèmes : stade actuel de la géographie physique complexe ». *Izvestija Akademii Nauk SSSR, Serija geograficeskaja*, n° 3, p. 18-21. Traduction française par C. Rondeau, CNRS, Centre de documentation et de cartographie géographique, Paris.
- SOLNTSEV, N. A., 1948. « The natural geographic landscape and some of its regular characteristics ». *Trudy vtorogo vsesoyuznogo geograficheskogo sjezda*, vol. 1.
- SOLNTSEV, N. A., 1962. *The morphological structure of the geographic landscape*. Moscou, Presses de l'Université d'État.
- TANSLEY, A. G., 1935. « The use and abuse of vegetational concepts and terms ». *Ecology*, vol. 16, n° 3, p. 284-307.
- TOFFLER, A., 1980. *The Third Wave*. New York, William Morrow, 544 p.
- TRICART, J. J.-L., 1979. « Paysage et écologie ». *Revue de géomorphologie dynamique*, vol. 28, n° 3, p. 81-95.
- TRICART, J. J.-L., et J. KILIAN, 1979. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Paris, F. Maspero, 326 p.
- TROLL, C., 1971. « Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology – A terminology study ». *Geoforum*, vol. 8, n° 71, p. 43-46.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1984. *Land resource regions and major land resource area of the United States. Agriculture Handbook 296*. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 156 p. + 1 carte.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1988. *National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria*. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- VEILLETTE, D., et J.-P. DUCRUC, 1985. *Un cadre écologique de référence pour l'aménagement du territoire des municipalités régionales de comté : exemple des MRC de Desjardins et de Robert-Cliche*. Québec, ministère de l'Environnement, Série de l'inventaire du Capital-Nature, n° 5, 150 p.
- VEILLETTE, D., et J.-P. DUCRUC, 1987. « Un cadre écologique de référence, outil polyvalent pour les gestionnaires du territoire et de ses ressources ». *Les cahiers scientifiques de l'ACFAS, Aménagement et gestion des ressources*, n° 49, p. 97-122.
- VON BERTALANFFY, L., 1968. « Chance or law ». Dans Koestler, A., et J. R. Smithies (dir.), *Beyond reductionism: New perspectives in the life sciences*. Londres, Hutchinson of London, p. 56-84.
- WARREN, C. E., 1979. *Toward classification and rationale for watershed management and stream protection*. Corvallis, Oregon, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, EPA-600/3-79-059, 143 p.
- WASSON, J. G., 1996. « Structures régionales du bassin de la Loire ». *La Houille Blanche*, n° 6/7, p. 25-31.
- WASSON, J. G., J.-BETHMONT, J. N. DEGORCE, B. DUPUIS et T. JOLIVEAU, 1993. *Approche écosystémique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase I : État initial – Problématique*. Cemagref Lyon BEA/LHQ et Université St-Étienne CNRS CRENAM, 102 p. + atlas, 70 pl. et annexes.
- WERTZ, W. A., et J. A. ARNOLD, 1972. *Land system inventory*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah, 12 p.
- WICKWARE, G. M., et C. D. A. RUBEC, 1989. *Écorégions de l'Ontario*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 26, 42 p.
- WIKEN, E. B., 1979. « Raison d'être et méthodes des relevés écologiques des terres : une vue d'ensemble des méthodes canadiennes ». Dans Taylor, D. G. (dir.), *Intégration terre/faune : compte rendu d'un atelier technique sur l'introduction de l'information sur la faune dans les relevés écologiques du territoire, 1 et 2 mai 1979, Saskatoon*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 11, 160 p.
- WIKEN, E. B. (compilateur), 1986. *Écozones terrestres du Canada*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 19, 27 p. + carte.
- WIKEN, E. B., et G. IRONSIDE, 1977. « The development of ecological (biophysical) land classification in Canada ». *Landscape Planning*, vol. 4, p. 273-275.
- WIKEN, E. B., D. M. WELCH, G. R. IRONSIDE et D. G. TAYLOR, 1981. *The Northern Yukon: An ecological land survey*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 6, 197 p + carte au 1 : 1 000 000.

WONG PÉREZ, J. M., 1982. *Evaluación de los recursos recreativos de Cuba*. Extrait de la thèse pour l'obtention du doctorat en sciences géographiques, Université d'État de Jarkov, URSS, 22 p.

WOODS, A. J., J. M. OMERNIK, C. S. BROCKMAN, T. D. GERBER, W. D. HOSTETER et S. H. AZEVEDO, 1998. *Ecoregions of Indiana and Ohio*. Reston, Virginie, United States Geological Survey.

WU, S. H., Q. Y. YANG et D. ZHENG, 1979. « Delineation of eco-geographic regional system of China ». *Journal of Geographical Sciences*, vol. 13, n° 3, p. 309-315.

ZHAO, S., C. CHEN et W. NIU, 1979. « Thirty years in integrated physical geography in the People's Republic of China ». *Acta Geographica Sinica*, vol. 34, n° 3, p. 187-199.

ZHENG, D. 1999. « A study on the eco-geographical regional system of China ». FAO Global Ecological Zoning Workshop, Cambridge, Angleterre, du 28 au 30 juillet 1999. [En ligne], [www.fao.org/docrep/007/ae344e/AE344E09.htm].

ZHENG, D., Y. OU et Z. H. ZHOU, 2008. « Understanding of and Thinking over geographical regionalization methodology ». *Acta Geographica Sinica*, n° 6, p. 563-573.

ZOLTAĪ, S. C., E. T. OSWALD et C. TARNOCAĪ, 1969. *Land classification for land evaluation: Cormorant Lake Pilot Project*. Canadian Forest Service, Information Report MS-X-20, 31 p.

ZOLTAĪ, S. C., J.-P. SENYK, P. GIMBARZEVSKY et A. KABZEMS, 1967. « Manitoba and Saskatchewan ». Dans McCormack, R. J., *Land capability classification for forestry*. Canada, Department of Forestry and Rural development, Canada Land Inventory, Report 4.

ZONN, I., M. GLANTZ, A. KSTIANOY et A. KOSAREV, 2009. *The Aral sea encyclopedia*. Berlin, Springer-Verlag, 289 p.

ZONNEVELD, I. S., 1989. « The land unit – A fundamental concept in landscape ecology and its applications ». *Landscape Ecology*, vol. 3, n° 2, p. 67-86.

ZONNEVELD, I. S., 1995. *Land Ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. Amsterdam, SPB Academic Publication, 199 p.

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

CHAPITRE 2

Concepts, méthode et outils

Jean-Pierre Ducruc



CHAPITRE 2

Concepts, méthode et outils

Par Jean-Pierre Ducruc

2.1 Assise conceptuelle

Le territoire est l'objet d'étude du CER. Le territoire, tel qu'il se présente aujourd'hui à nos yeux, est le résultat d'une très longue évolution, à travers le temps, de la géologie et des matériaux superficiels (sols) sous l'influence du climat, en interaction avec le monde vivant l'ayant successivement occupé. Les formes de terrain et leur organisation spatiale souvent révélée par la configuration du réseau hydrographique sont des témoins privilégiés de cette évolution. Elles répondent à deux caractéristiques fondamentales :

- Elles se perçoivent et s'expriment, à la surface de la terre, à divers niveaux de perception (ou à diverses échelles);
- Elles sont une composante essentielle de tout écosystème au sens de Tansley (1935) et de Rowe (1961) puisqu'elles en constituent le support physique.

Le CER appréhende ces deux caractéristiques fondamentales en portant simultanément deux regards (ou visions) distincts, mais complémentaires sur le territoire :

- Une vision holistique
- Une vision écosystémique

La vision holistique embrasse les divers niveaux de perception des formes de terrain et de leurs arrangements spatiaux; elle s'attarde sur l'organisation horizontale du territoire et préside à sa représentation cartographique. À chacun des niveaux de perception, la vision écosystémique s'attarde plutôt sur l'organisation verticale des différentes strates constituant le territoire et sur leurs relations spatio-temporelles, et elle préside à la classification.

« The whole system (in the sense of physics), including not only the organism-complex, but also the whole complex of physical factors forming what we call environment of the biome – the habitat factors in the widest sense [...] It is the systems so formed which, from the point of view of the ecologist, are the basic units of nature on the surface of the earth [...] Our natural human prejudices force us to consider the organism (in the sense of the biologist) as the most important part of these systems, but certainly the inorganic « factors » are also parts – there could be no system without them, and there is constant interchange of the most various kinds within each system, not only between the organism but between the organic and the inorganic [...] In an ecosystem the organism and the inorganic factors [...] are components, which are relatively stable dynamic equilibrium. » (Tansley, 1935).

En conséquence, le CER découpe d'abord des unités spatiales, puis les décrit. Ainsi conçues, les unités territoriales sont des écosystèmes (*basic units of nature on the surface of the earth*, [Rowe, 1993]); elles forment des complexes tridimensionnels que l'on distingue à la surface de la terre à la fois par des arrangements horizontaux d'unités (figure 2.1), par leur stratification verticale et par les changements temporels qui les affectent. Elles sont qualifiées par les variables familières à l'écologie comme le climat, la géologie, le relief, les sols, l'eau, la végétation, la faune, etc. (Zonneveld, 1990).

Ces unités sont le reflet du fonctionnement des écosystèmes et permettent d'évaluer les sensibilités, les potentiels et d'autres capacités de support du territoire.



Figure 2.1. À des arrangements spatiaux aussi différents vont correspondre des sensibilités, des potentialités et des fonctionnements globaux (capacité de support) bien distincts

Contrairement à l'approche par spécialité qui aborde le territoire en sélectionnant une « strate » en particulier (la géologie, les dépôts de surface, les sols, etc.), le CER considère l'hétérogénéité horizontale et verticale globalement, sans que, à priori, une variable ait préséance sur l'autre. Cette approche globale le différencie nettement des autres cartographies du milieu naturel.

Ce n'est pourtant que la façon dont, dans les sociétés traditionnelles, le paysan, le chasseur ou encore le pêcheur percevait son terroir pour en tirer le meilleur profit. Elle se perd dans la nuit des temps depuis le moment où l'humanité a eu conscience de sa dépendance à l'égard de son environnement. Ce n'est que récemment que nous l'avons perdue, lorsque la modernité nous a menés à étudier le monde qui nous entoure de façon analytique, par thème (chaque science prise isolément) (Zonneveld, 1990).

Voyons maintenant plus en détail, ce que sous-tend chacune de ces deux visions.

2.1.1 Vision holistique

La vision holistique du monde, ou *holisme*, tire son nom d'une conception philosophique formulée par Smuts en 1926. Elle s'appuie sur le principe selon lequel un tout – un *whole* – est plus que la somme de ses parties. Chaque *tout* et les éléments qui le constituent s'influencent et se déterminent réciproquement pour former un système relativement équilibré organisé autour d'interrelations (Naveh et Lieberman, 1994). Ce principe donne une configuration et une structure particulières à chaque unité, organise leur association en unité de niveau supérieur et synthétise des éléments de rang inférieur en un tout qui les dépasse. C'est-à-dire, l'univers tend à construire des unités hiérarchiques de complexité croissante à l'image des atomes, des molécules, des organismes, des sociétés, de la terre, jusqu'à la galaxie et au cosmos.

« *The tendency in nature to form wholes that are greater than the sum of the parts through creative evolution.* » (Smuts, 1926).

Weiss (1969) l'applique aux sciences de la nature et écrit : « L'information sur le tout, sur l'ensemble de la hiérarchie, est plus grande que la somme des informations de ses parties. »

Dès 1942, Egler introduit la vision holistique à l'écologie et, avec elle, le concept de l'organisation hiérarchique de la nature. La terre (et même l'univers tout entier) est vue comme une organisation hiérarchique de systèmes stratifiés à niveaux multiples (figure 2.2).

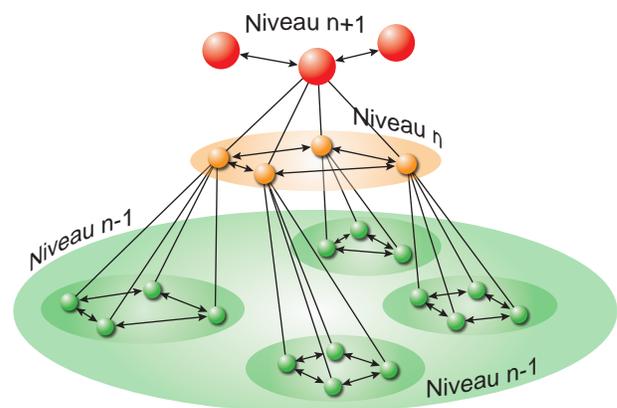


Figure 2.2. Organisation hiérarchique de systèmes stratifiés à niveaux multiples

Attention à l'emploi du terme « hiérarchie » qui, dans la littérature scientifique, est souvent utilisé à tort pour faire référence simplement à un ordre ou un rang selon une échelle linéaire de valeurs. Dans un système hiérarchique, chaque niveau supérieur contient les niveaux inférieurs acquérant ainsi de nouvelles qualités et il est plus complexe que ses subordonnés.

Hormis aux deux extrémités du système, soit le niveau le plus complexe au sommet de la hiérarchie et le niveau élémentaire à la base, on retrouve des structures intermédiaires dans un ordre descendant de simplification, chacune d'elles ayant deux faces regardant en directions opposées. Entre chaque niveau existent des relations de domination ou, à l'inverse, des relations de subordination. La face tournée vers le bas, vers le niveau inférieur, est celle d'un système autonome, tandis que celle qui est tournée vers le haut est celle d'un système dépendant du niveau supérieur. Koestler (1969) a proposé le terme de « *holon* » pour qualifier de telles structures (figure 2.3).

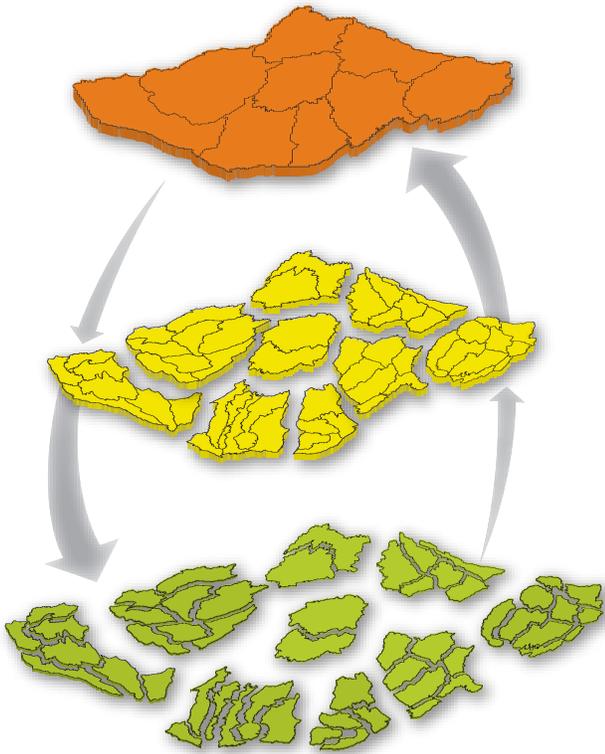


Figure 2.3. *Holons* représentés par les unités du CER

L'organisation et le comportement de n'importe lequel des niveaux d'un tel système hiérarchique ne peuvent être expliqués ou réduits à leurs parties élémentaires, car, comme dans un organisme ou dans une mélodie musicale (figure 2.4), toutes les parties sont interreliées et contribuent activement à son état général (Naveh, 2001, p. 273). On ne peut donc additionner les parties pour reconstruire le tout.

Chaque membre de cette hiérarchie, chaque *holon*, à n'importe quel niveau, est un système capable de fonctionnement autonome et d'autorégulation et il est hétérogène.



Figure 2.4. L'approche holistique vue par Le Chat (Geluck, 2006, reproduite avec permission)

Appliquée au CER, l'approche holistique lui confère les propriétés suivantes (Schultz, 1969) :

- La complexité des niveaux augmente avec le niveau hiérarchique (les plus simples à la base et les plus complexes au sommet);
- Chaque niveau comprend les propriétés du niveau inférieur plus, au moins, une nouvelle propriété émergente;
- Le niveau supérieur ne peut, en aucun cas, être réduit au niveau inférieur;
- Tout niveau contient au complet le niveau inférieur et est, à son tour, tout entier compris dans le niveau supérieur (il n'y a pas chevauchement de limites).

Quel que soit son niveau hiérarchique, chaque unité territoriale est un système écologique ouvert, spatio-temporellement défini (Naveh, 2001) qui entretient des liens étroits avec ses voisines et évolue dans le temps (figure 2.5). Du point de vue cartographique, cela se traduit obligatoirement par une démarche descendante : du haut vers le bas, du général vers le détail. La démarche inverse est inconcevable; elle relève uniquement de la classification des éléments ou des parties de chacun des niveaux (Naveh et Liebermann, 1994, p. 50-53).



Figure 2.5. Plateau accidenté (1) et terrasses du fond de vallée (2), deux unités écologiques reconnaissables sans qu'il soit nécessaire de connaître leurs composantes

2.1.2 Vision écosystémique

Rowe (1961) définit l'écosystème comme *une unité topographique, un volume de terre et d'air, plus un contenu organique (dimension « bio ») qui s'étend sur une partie de la surface terrestre pour un certain temps* (figure 2.6).



Figure 2.6. Illustration de deux écosystèmes distincts au sens de Rowe (1961) : plaine à l'avant-plan et colline montérégienne au second plan

Cette définition respecte celle de Tansley (1935). Elle met l'accent sur la réalité géographique de l'écosystème qui peut être reconnu, délimité et décrit. Elle amène aussi deux questions fondamentales : 1) Quelles sont les variables qui permettent de reconnaître les écosystèmes?; 2) Comment sont déterminées les limites des écosystèmes?

L'unité topographique à laquelle Rowe fait référence correspond à des assemblages plus ou moins complexes de formes de terrain (le *landform* de la littérature anglaise). Ces formes de terrain, nous l'avons introduit précédemment, sont le produit de processus géomorphologiques successifs agissant sur un matériel géologique original pendant un certain temps, en

interaction avec les variations climatiques successives, dans lequel l'eau joue un rôle majeur comme agent de mise en place et comme élément structurant de l'écosystème. Cette évolution physique est accompagnée d'un développement biologique avec lequel elle interagit pour mener aux caractéristiques actuelles. Comme l'écrit si bien Christian (1959), le *landform* traduit la combinaison interactive dans le temps de la mise en place de la forme du terrain et de sa composante biologique.

Qu'elles soient simples ou complexes, les formes de terrain se définissent, avant tout, par leur morphologie, par la nature géologique du socle rocheux, par la nature et la composition du dépôt meuble, par le dénivelé et la déclivité, par la manière dont elles s'organisent dans l'espace, et le réseau hydrographique en est alors souvent le *révélateur* (figure 2.7). Voilà les variables diagnostiques qui permettent de reconnaître et de délimiter les écosystèmes. Elles induisent aussi la nature des échanges ayant cours au sein de l'écosystème et conditionnent le comportement de l'eau, vecteur essentiel de ces échanges. Les cours d'eau et les lacs sont un peu les veines du territoire!

Le climat actuel n'intervient pas directement dans la cartographie du CER, car il n'est pas une variable génétique de l'organisation spatiale du territoire. Cependant, quels que soient le lieu et le niveau d'observation, le régime climatique qui correspond au rythme quotidien et saisonnier des flux d'énergie et d'humidité contrôle le fonctionnement des écosystèmes (*climate is the driving variable*) (Rowe et Sheard, 1981). Les régimes climatiques suivent une certaine zonalité autour de la terre en fonction de la latitude qui conditionne la quantité d'énergie solaire reçue. La morphologie de la surface terrestre modifie cette quantité d'énergie, mais l'ampleur de la modification change avec l'échelle d'observation; on retrouve ici la notion des niveaux de perception de la vision holistique. De grandes formations de relief comme le Bouclier canadien ou les Rocheuses modifient le climat à l'échelle continentale, des reliefs comme les Appalaches ou les basses terres du Saint-Laurent le modifient à l'échelle régionale et des formes de terrain simples comme des collines, des terrasses ou des vallées interviennent à l'échelle locale. Ensuite, des différences dans la morphologie de ces reliefs vont, à leur tour, moduler la distribution de l'énergie solaire et des précipitations. Même à des niveaux très locaux, à très grande échelle, chaque écosystème jouit d'un microclimat particulier lié à des variables comme l'exposition, la position sur la pente, etc.

En simplifiant à peine, on peut écrire que le climat induit la force et l'intensité des échanges de flux d'énergie et de matière, tandis que la morphologie de la surface terrestre induit la nature de ces échanges.

À l'instar du climat, la végétation, la faune ou l'utilisation actuelle du sol, paramètres dynamiques dans le temps et dans l'espace, n'interviennent pas directement dans la cartographie du CER puisqu'elles ne sont pas non plus des variables génétiques de l'organisation spatiale du territoire. Cependant, ces variables sont intégrées à postériori pour compléter la description des unités cartographiques.



Figure 2.7. Formes de terrain et écosystèmes :

- 1 Fond de vallée : déclivité et dénivelé faibles, dépôts alluvionnaires épais, forêts feuillues;
- 2 et 4 Hautes collines : déclivité et dénivelé élevés, dépôts glaciaires minces et roc, forêts résineuses et mélangées;
- 3 Butte : déclivité et dénivelé moyens; dépôts glaciaires; forêts mélangées

Le CER découpe le territoire en écosystèmes selon un système rigoureux de niveaux de perception hiérarchique (vision holistique) dans lequel toutes les composantes sont liées. Une modification de n'importe laquelle d'entre elles peut entraîner une ou plusieurs modifications dans une autre composante et même dans le fonctionnement du système au complet (figure 2.8). Nous avons là les

bases pour interpréter les interactions possibles entre les diverses ressources ou les différents usages du territoire (agriculture et qualité de l'eau, minéralisation du territoire et régime hydrique, déforestation et érosion des sols, etc.); ces bases permanentes faciliteront aussi les interprétations dans une perspective de changements climatiques.

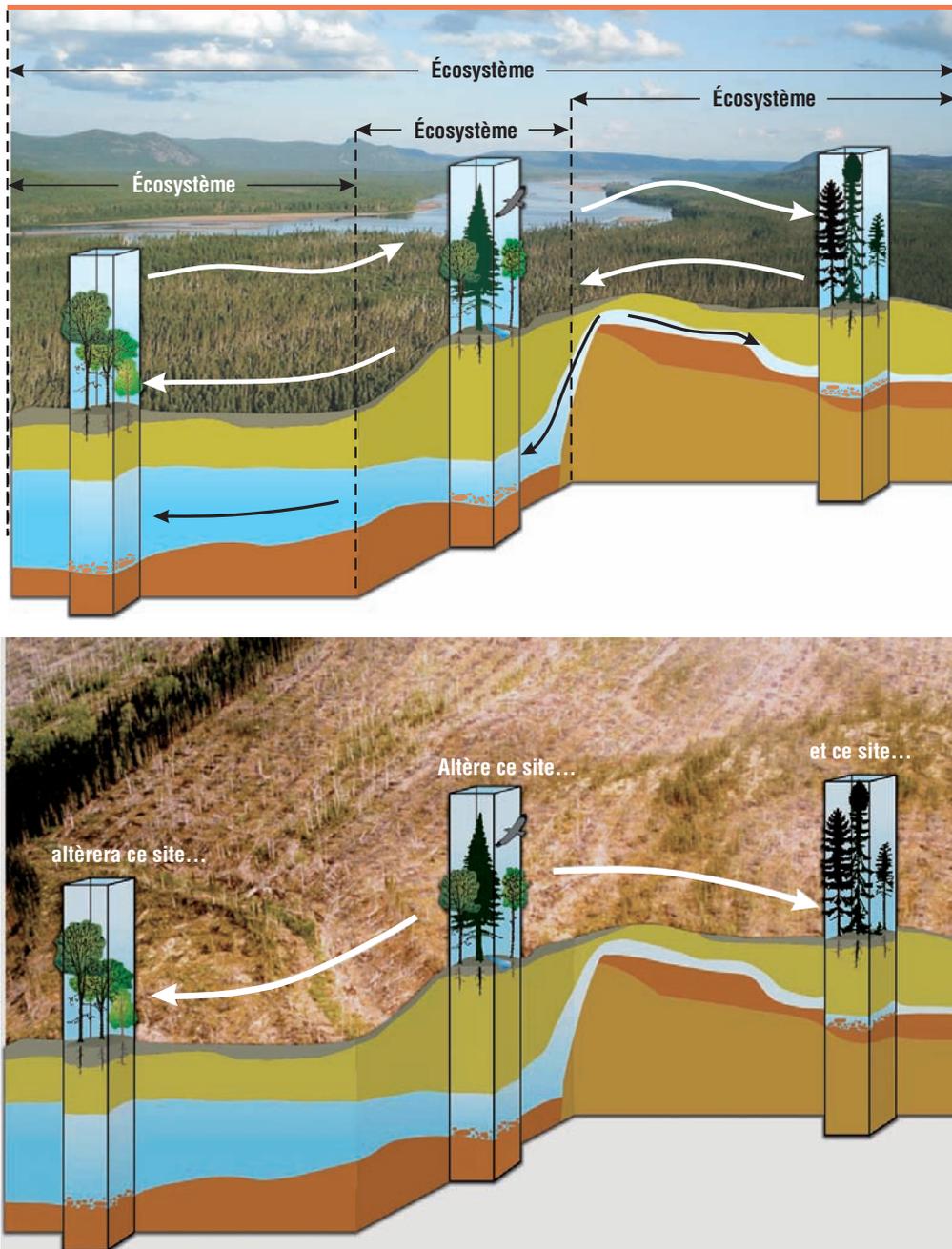


Figure 2.8. Les écosystèmes et leurs composantes sont liés au sein du territoire (adaptée de Bailey, 1996)

Par exemple, des activités forestières ou des activités agricoles en amont peuvent affecter des cours d'eau ou des habitats riverains loin en aval en termes de ruissellement, de transport de sédiments, de mouvement des eaux souterraines, etc. Chaque niveau mémorise l'environnement des écosystèmes du niveau inférieur, acquiert de nouvelles propriétés et, ainsi, conditionne, contrôle en partie et complexifie le comportement et les propriétés du niveau supérieur. C'est pourquoi le fonctionnement d'ensemble d'un territoire diffère souvent grandement de celui de ses écosystèmes pris un à un. Par

exemple, un bassin versant dont une grande partie est déboisée fera en sorte qu'au printemps la neige fondra plus rapidement que sous couvert forestier et affectera la mise en marche et la vitesse du ruissellement. Les interventions en aménagement du territoire se réalisent à divers niveaux de perception : national, régional, local. Le défi est de cartographier les écosystèmes du territoire au niveau et à l'échelle appropriés. Le recours à un système hiérarchique permet de choisir le niveau de perception adéquat selon les objectifs d'utilisation projetés, sans perdre de vue la réalité globale dans laquelle il s'inscrit.

2.1.3 Classification et cartographie

Revenons sur la dualité déjà évoquée de la classification par rapport à la cartographie. Les articles bien étayés de Grigg (1965) et Bailey et ses collaborateurs (1978) serviront de toile de fond. Dans son acceptation la plus stricte, classier signifie arranger ou ordonner des objets en groupes ou en ensembles sur la base de leurs ressemblances ou de leurs relations; la classification produit des classes d'objets semblables (figure 2.9a). La science de la classification est la taxonomie. Le résultat d'une telle démarche est un système de classification. Ensuite, la reconnaissance ou le placement d'un « objet » dans le système s'appelle l'identification (Sokal, 1974). Une fois identifié, un « objet » peut être délimité sur le territoire : c'est alors la cartographie des objets de la classification (figure 2.9b).

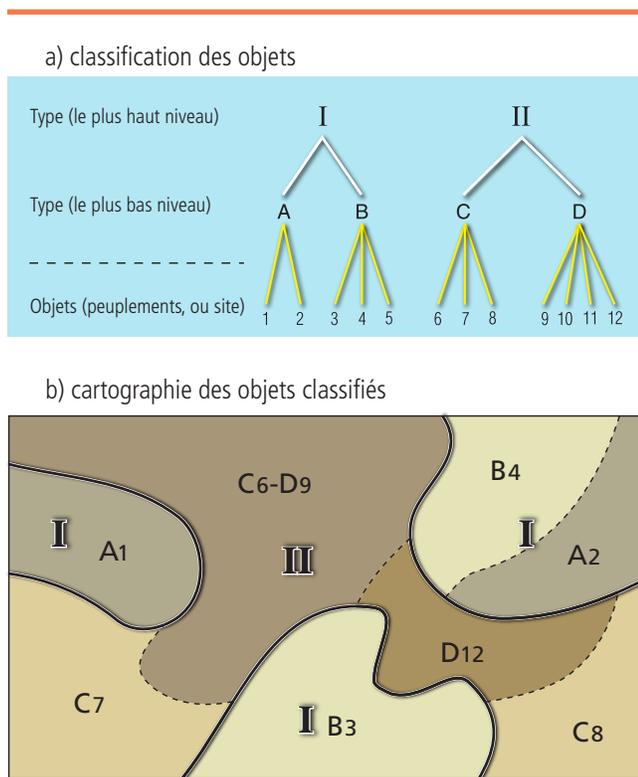


Figure 2.9. La classification selon Bailey et ses collaborateurs (1978)

À l'opposé de la classification, la cartographie subdivise, distingue des objets dissemblables sur le territoire entier visé. Une partie de territoire est reconnue, individualisée et cartographiée, car elle possède un certain nombre de propriétés internes qui contrastent avec celles des parties de territoire adjacent (figures 2.10 et 2.11).

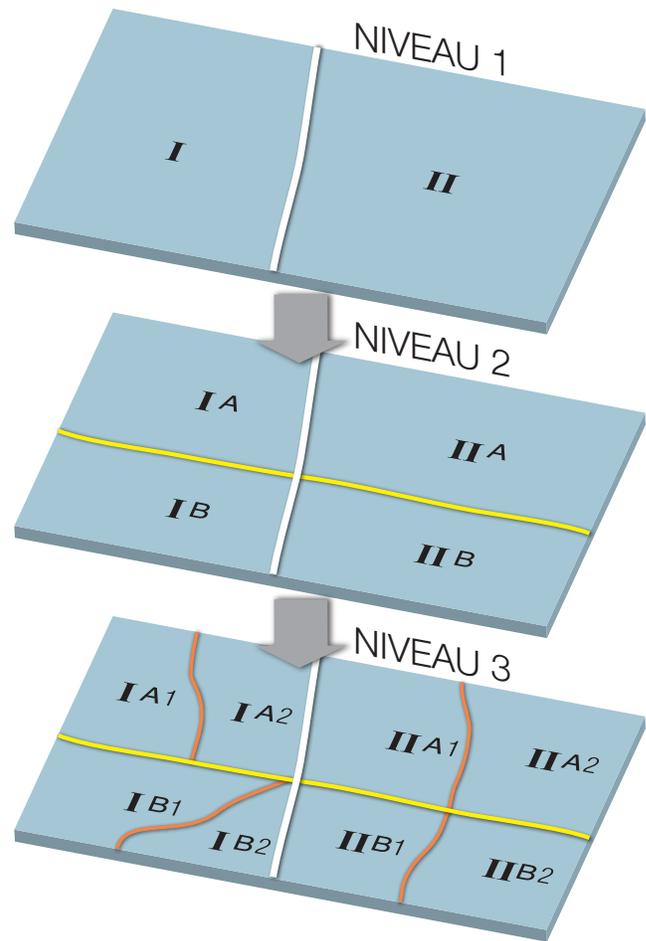


Figure 2.10. La cartographie selon Bailey et ses collaborateurs (1978)

Dans la littérature scientifique, le mot classification est attribué à tous ces aspects prenant au passage un sens très large et passablement flou. Pour ne pas aller à l'encontre de cette tendance générale, nous l'utiliserons ainsi, réservant l'usage de taxonomie (ou classification taxonomique) au sens strict de classification. Il existe beaucoup d'exemples de classifications taxonomiques dans le domaine de la classification des ressources. Certaines s'adressent à des ressources individuelles (faune, flore, sol) tandis que d'autres s'adressent à des stations ou des sites (types de couvert forestier, communautés végétales, types écologiques, etc.).

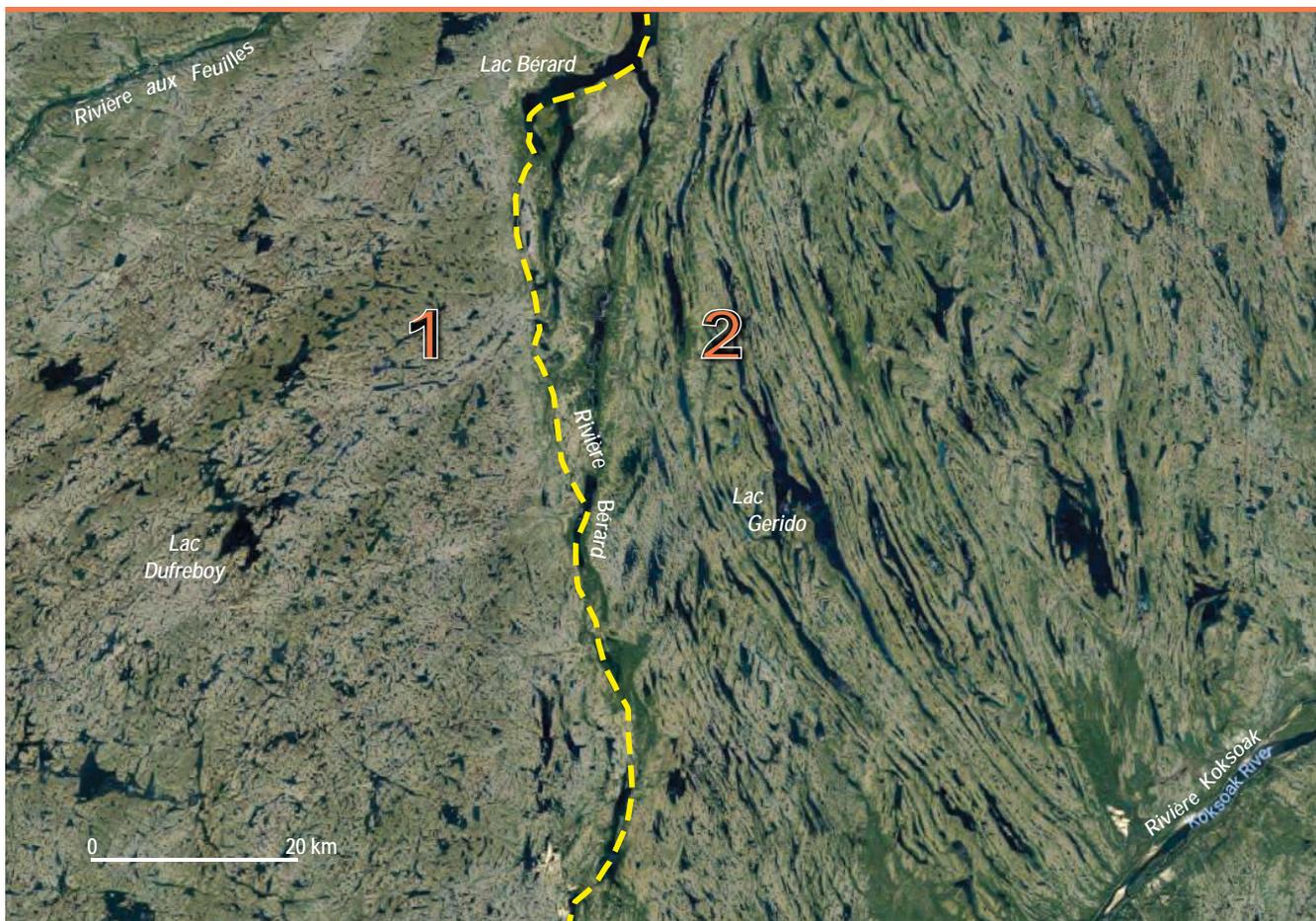


Figure 2.11. La cartographie distingue des objets dissemblables

Chaque polygone cartographique correspond à un système et constitue une parcelle unique de territoire, géographiquement localisée, et à laquelle une dénomination toponymique particulière peut être attribuée. En cela, la cartographie se différencie fortement de la classification, qui relie d'abord la similarité de certains caractères ou de certaines propriétés sans se préoccuper d'affinités géographiques même si, en fin

de compte, tout produit de classification peut aussi être cartographié.

2.2 Principes à la base de la cartographie du CER

La mise en application des deux concepts fondamentaux, vision holistique et vision écosystémique, oblige le CER à respecter les principes majeurs décrits ci-après qui vont guider sa réalisation.

Principe 1

En souscrivant à la vision holistique du monde, *le CER s'inscrit dans un système hiérarchique de niveaux de perception emboîtés de l'espace*. Chaque niveau supérieur contient au complet chacun des niveaux inférieurs qui le composent; il n'y a pas de chevauchements de limites. C'est l'application du système des poupées russes (figures 2.12 et 2.13).

Tout projet de cartographie s'inscrit dans ce système, ce qui exige, lorsqu'on travaille à des niveaux inférieurs de la hiérarchie, de connaître et de considérer les niveaux supérieurs. En effet, ce n'est pas tout de cartographier et décrire un fond de vallée ou un complexe de collines, encore faut-il pouvoir les situer dans les niveaux de perception supérieurs auxquels ils appartiennent. En effet, les relations dynamiques et les propriétés (potentiels, sensibilités) de ces unités seront différentes selon qu'elles se retrouvent dans un complexe supérieur de relief accidenté ou, au contraire, de plaine.

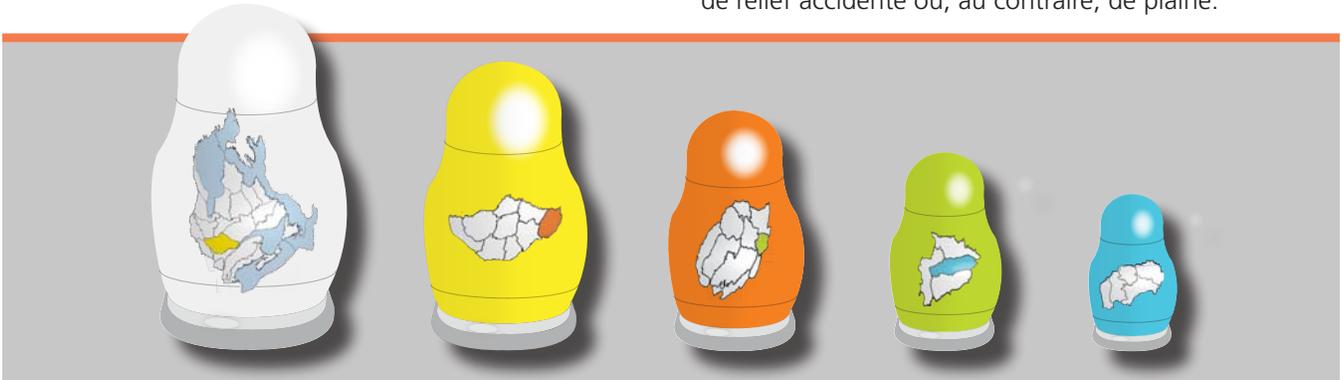


Figure 2.12. Un système hiérarchique de niveaux de perception emboîtés à l'image des poupées russes

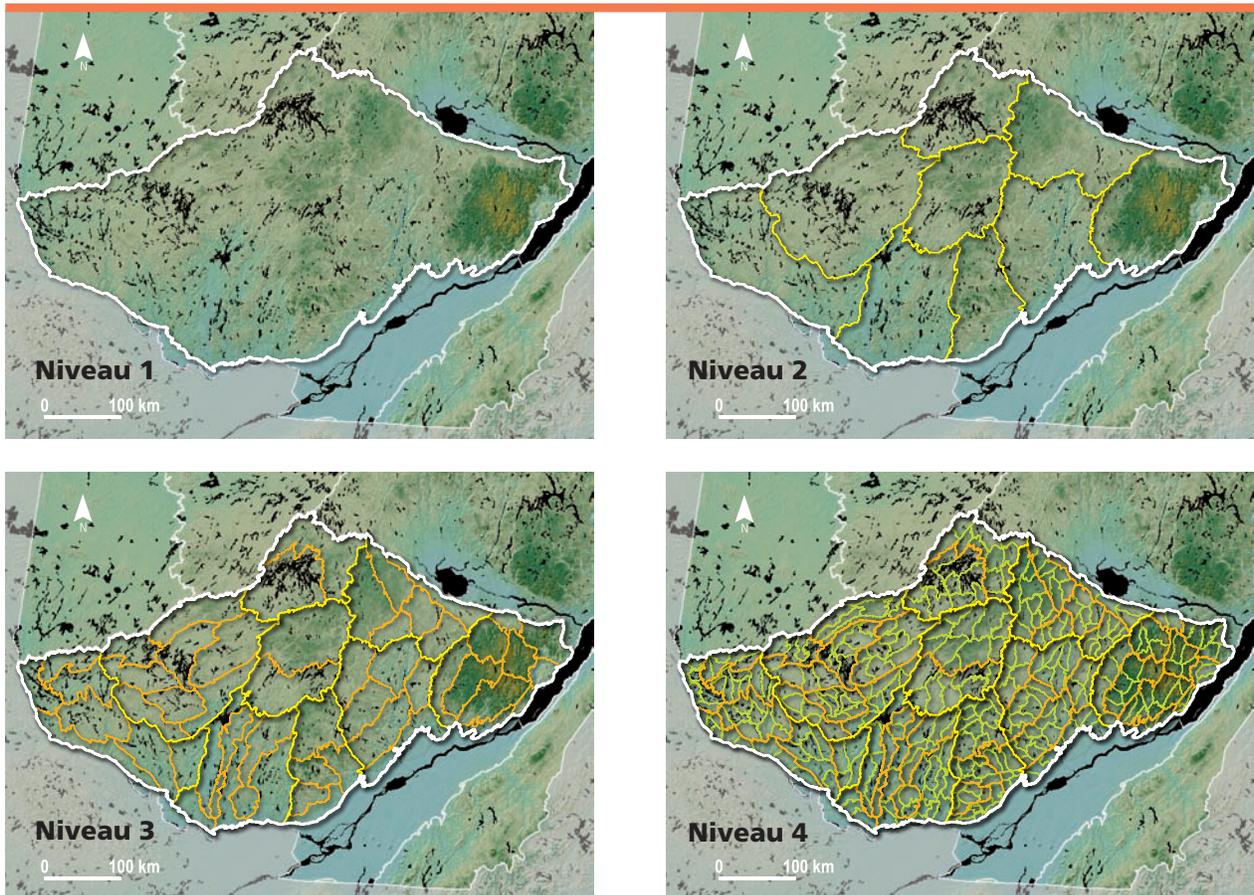


Figure 2.13. Un système hiérarchique de niveaux de perception emboîtés de l'espace (exemple : la province naturelle des Laurentides méridionales)

Principe 2

Le CER considère les formes de terrain et leurs assemblages spatiaux comme le facteur génétique de l'organisation des écosystèmes à la surface de la terre. Elles en traduisent la dimension géographique. La reconnaissance et la cartographie de ces structures spatiales fournissent la clé du fonctionnement et de l'évaluation des écosystèmes, car elles contrôlent les échanges de matière et d'énergie dans l'espace et dans le temps sous l'influence du climat ambiant. Elles confèrent

une réalité fonctionnelle aux unités écologiques et permettent d'interpréter les relations dynamiques existant au sein même de l'unité (relations du haut vers le bas : émission, transmission, accumulation) ou entre les unités (relations amont-aval) (figure 2.14).

Au fur et à mesure que l'on descend dans la hiérarchie, les assemblages de formes de terrain (les structures spatiales) sont de plus en plus simples.



Figure 2.14. Les formes de terrain et leurs assemblages spatiaux constituent le facteur génétique de l'organisation des écosystèmes à la surface de la terre

Principe 3

Reconnaître et cartographier ces structures spatiales est un acte de régionalisation territoriale. Ceci signifie que, quel que soit le niveau de perception, la cartographie aborde le territoire dans son ensemble et le découpe en sous-ensembles en portant une attention particulière aux contrastes et aux discontinuités marquées qui le caractérisent. Ceci signifie, encore une fois, que la connaissance du niveau supérieur est impérativement requise pour cartographier à un niveau de perception

particulier. Aux niveaux supérieurs, la cartographie sépare des portions de territoire sur la base de structures spatiales plus ou moins complexes de formes de terrain et de réseau hydrographique associées, tandis qu'aux niveaux inférieurs, elle séparera plutôt des formes de terrain simples, des éléments topographiques avec des parties de réseau hydrographique (figure 2.15).

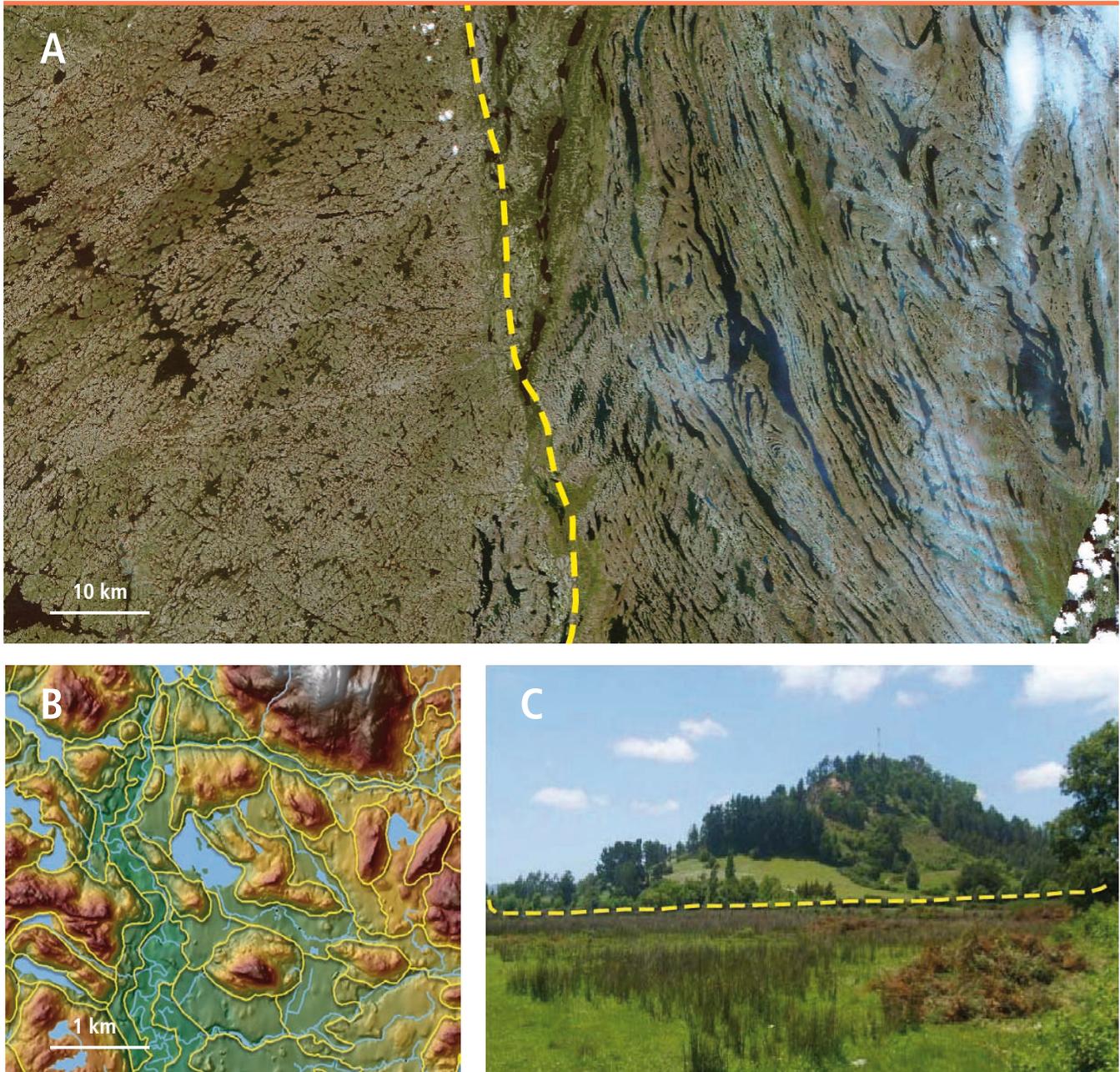


Figure 2.15. De structures spatiales complexes à petite échelle (A) à des formes simples à grande échelle (B) et (C)

Principe 4

Pour cartographier les formes de terrain et les structures spatiales, le CER s'appuie principalement sur les éléments physiques de l'écosystème comme la géologie, la géomorphologie, la configuration, la densité du réseau hydrographique, etc. Ce sont aussi des éléments stables de l'environnement, du moins à l'échelle

humaine, conférant ainsi une certaine permanence à la cartographie réalisée (figure 2.16). Ce trait la distingue des nombreuses cartographies traitant des thèmes dynamiques du milieu naturel comme les cartographies de la végétation, du couvert forestier, de l'utilisation du sol, etc. qui doivent être périodiquement remises à jour.

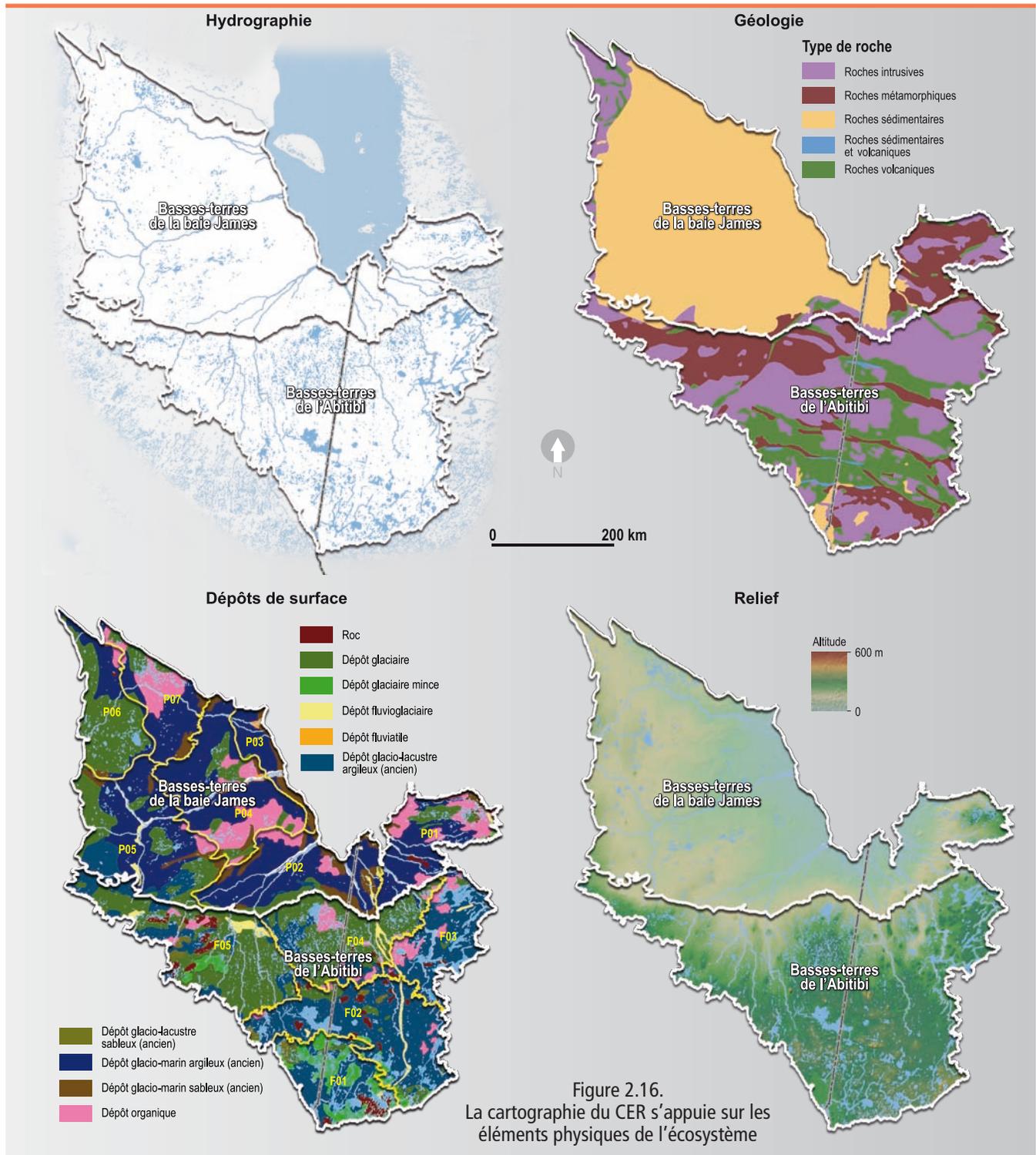


Figure 2.16. La cartographie du CER s'appuie sur les éléments physiques de l'écosystème

Principe 5

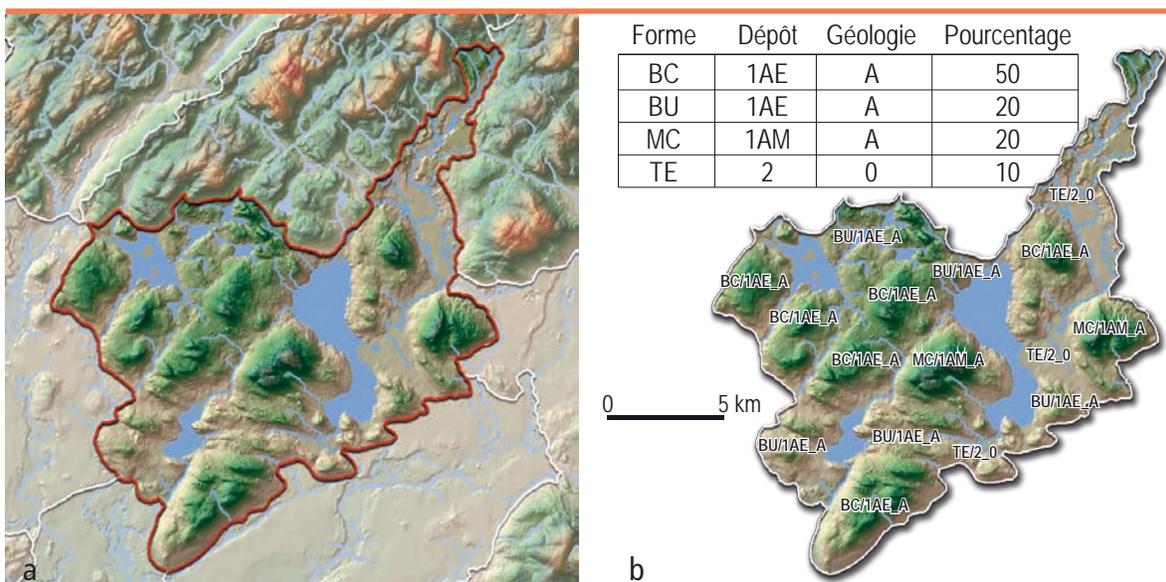
Le cinquième principe pourrait s'énoncer comme suit : « **on ne peut pas cartographier n'importe quoi à n'importe quelle échelle et on ne peut pas non plus tout exprimer à une seule échelle** ». Cet énoncé nous ramène sur les « dérives cartographiques » possibles de la géomatique. Grâce à la technologie, rien n'est plus facile aujourd'hui que de changer d'échelle, de « zoomer » ou « dézoomer » à satiété, de superposer des documents cartographiques initialement produits à des échelles très différentes sans trop se poser de questions sur la légitimité cartographique de tels gestes. Pourtant, une règle d'or existe en cartographie qui veut que lorsqu'on superpose deux cartes d'échelles différentes, le « nouveau » document cartographique ait toujours la valeur de la plus petite échelle. Comme nous le verrons plus loin, l'apport de la géomatique au développement du CER est inestimable, cependant, il ne permet pas de transgresser les règles de base de la cartographie! Produire une carte de la texture de surface des sols pour des applications agronomiques ne se publiera pas au 1 : 1 000 000, pas plus qu'une carte des provinces géologiques ne sera publiée au 1 : 20 000, même si cela est techniquement possible.

À chacun des niveaux, la cartographie s'appuie sur des variables écologiques prépondérantes (ou actives) à ce niveau. Ainsi, à petite échelle, l'histoire géologique joue un rôle primordial, tandis qu'à grande échelle, ce sont plutôt la nature des matériaux meubles (origine, épaisseur, texture ou pierrosité, voire stratigraphie) et des particularités du réseau hydrographique. Ceci signifie aussi que niveaux de perception et variables écologiques prépondérantes ont une échelle d'expression optimale : les niveaux supérieurs à petite échelle et les

niveaux inférieurs à grande échelle et, généralement, la géologie à petite échelle et la texture des sols à grande échelle. Les variables écologiques actives changent aussi lorsque changent les niveaux de perception et leurs classes deviennent de plus en plus étroites en descendant dans la hiérarchie des niveaux. Ainsi, si l'origine des dépôts de surface est suffisante pour qualifier les écosystèmes aux niveaux supérieurs (dépôts glaciaires, fluvio-glaciaires, marins), la nature (moraine de fond, moraine frontale, esker, plaine d'épandage) devient nécessaire aux niveaux intermédiaires et la texture, la pierrosité et la stratigraphie (sable fin sur argile, sable grossier pierreux, till délavé sur till de fond loameux), aux niveaux inférieurs. L'échelle d'expression cartographique suit aussi la précision des classes.

Principe 6

Chaque niveau de perception est hétérogène (on pourrait même écrire « **crée sa propre hétérogénéité** »), même si les formes de terrain ou les éléments du réseau hydrographique sont de plus en plus simples en descendant dans la hiérarchie. Chaque niveau reste cependant un *tout* et constitue un système d'interrelations complexes. C'est pourquoi, en descendant dans les niveaux, on précise davantage les classes de la majorité des variables actives et, ce faisant, on se retrouve chaque fois devant une nouvelle hétérogénéité liée à la nouvelle échelle d'observation. Chaque polygone cartographique (unité spatiale du CER) est accompagné d'une description qui traduit cette hétérogénéité. En pratique, cela signifie que les unités spatiales sont d'abord délimitées et, ensuite, leurs composantes sont décrites : c'est le principe du contenant (le polygone) et du contenu (la description) (figure 2.17).



2.17. Délimitation (a) et description (b) du district écologique des basses collines du lac Saint-Joseph

Ultérieurement, les éléments dynamiques du milieu (végétation, utilisation du sol, faune, données socioéconomiques) vont s'inscrire dans les limites des polygones cartographiques pour compléter la description. Leur apport est essentiel pour les analyses et les interprétations du CER.

2.3 Éléments fondamentaux du découpage cartographique

Même avec l'inestimable apport des nouvelles technologies, l'acte de découpage cartographique du CER demeure surtout le fruit d'une analyse visuelle experte du territoire à partir des « images » mises à la disposition du cartographe. Cela ne signifie pas pour autant que la cartographie écologique n'est que subjectivité et que l'on peut avoir autant de versions que d'interprètes! En effet, pour éviter que deux cartographes ayant un bagage de connaissances différent obtiennent des résultats différents pour un même territoire, l'analyse visuelle est encadrée par des règles rigoureuses, sans pour autant renier qu'au final, une carte restera toujours un produit d'auteur. Il existe donc deux grandes catégories de balises pour guider et encadrer l'acte cartographique. Les premières balises sont inhérentes aux propriétés cognitives de la vision humaine, les deuxièmes font appel aux propriétés de la nature même du CER.

2.3.1 Découpage cartographique et particularités de la vision humaine

La vision d'un objet est une opération complexe résultant d'une étroite coopération entre l'œil et le cerveau. Elle se fait en trois étapes : la mise au point sur l'objet de la vision, la capture de l'image et son analyse. Le cerveau est le système cognitif qui reçoit, traite, conserve et transmet l'information. La façon dont l'image est captée puis traitée joue un rôle déterminant sur la perception que nous en aurons. Trois éléments essentiels retiennent notre attention.

Le regard se déplace en permanence

L'observation et l'analyse d'une image immobile comme une photographie aérienne, une image satellitaire ou une carte se font grâce à un mouvement continu du regard, attiré en premier lieu par des éléments de contraste ou motivé par l'expérience. À chaque phase du regard, le champ de vision nette sur l'image est restreint à un angle de deux à trois degrés (cela correspond à un cercle de 2 cm de diamètre à 50 cm de distance) (Yarbus, 1967; Corbé, 2004). Cette surface est faible par rapport à la surface totale de l'image et la quantité d'informations retenue, bien inférieure à celle présente sur l'image.

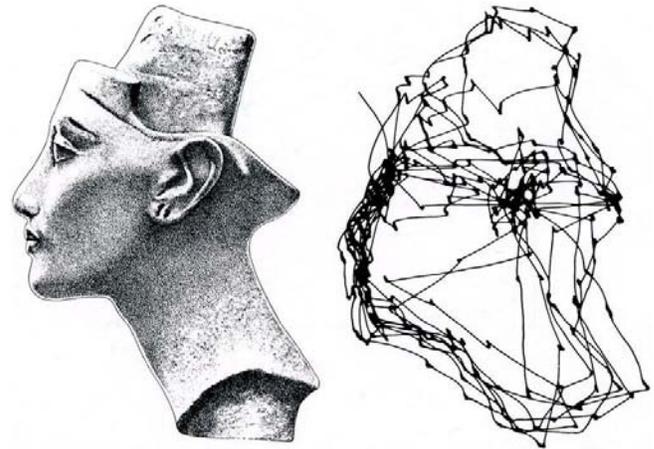


Figure 2.18. L'analyse de l'image nécessite de nombreux déplacements de la vue (Yarbus, 1967, reproduite avec permission)

L'analyse complète de l'image nécessite de nombreux déplacements de la vue (figure 2.18) et de nombreuses informations à « enregistrer »; au-delà d'un certain seuil, le cerveau devient « saturé » et ne peut plus « enregistrer » de nouvelles informations. Il faut donc s'attarder à l'essentiel pour être capable de bien l'« absorber »!



Figure 2.19. Cercle de Wertheimer-Koffka : exemple d'illusion d'optique; les demi-beignes séparés semblent avoir un niveau de gris différents

La vision ne reconnaît pas n'importe quoi

Lorsque nous observons une image, notre système visuel est plus sensible à des ruptures de densité qu'à des différences de densité; il distingue plus facilement des contrastes marqués que des modifications progressives (Yarbus, 1967; Corbé, 2004) (figure 2.19).

On ne voit bien que ce que l'on a déjà vu

L'être humain ne reconnaît sans effort que ce qu'il a déjà préalablement analysé. L'augmentation de ses automatismes visuels et de sa capacité d'analyse va reposer sur la création mentale d'« une bibliothèque de références » construite peu à peu par la logique et le travail en accumulant mémoire et expérience (Yarbus, 1967; Corbé, 2004).

De ces trois caractéristiques de l'acuité visuelle, nous tirons trois enseignements majeurs pour le découpage cartographique du CER :

Trop de détails nuisent!

Il est impératif, à tout niveau de perception, de travailler avec des images du territoire (photographies aériennes, images satellitaires, modèles numériques d'altitude, cartes thématiques) à une échelle appropriée et d'éviter à tout prix la surabondance de détails. En effet, les prouesses de la géomatique ouvrent généralement grande la porte à une abondance d'informations qui mène le cartographe face à deux dangers contraires aux principes mêmes du CER : 1) faire fi de l'échelle; 2) vouloir tout exprimer à tous les niveaux de perception. Il est en effet bien difficile de se résigner à perdre de l'information! Pourtant, le cartographe devra se discipliner et ne retenir que l'information pertinente au niveau concerné. Il sera aidé en cela aussi par une bonne connaissance des événements qui ont présidé à la mise en place du territoire et qui éclairent la hiérarchie des niveaux de perception (voir plus loin).

Le cartographe distingue bien les ruptures et les contrastes

Ceci va faciliter son travail puisque c'est un des grands principes du CER : *la cartographie aborde le territoire dans son ensemble et le découpe en sous-ensembles en portant une attention particulière aux contrastes et aux discontinuités marquées qui le caractérisent.*

Le cartographe reconnaît mieux ce qu'il connaît bien!

Ceci va jouer d'abord dans la reconnaissance de structures, de formes et de contrastes sur les images, c'est-à-dire sur les bases mêmes de l'acte cartographique. L'expérience est un atout majeur; autrement dit, on ne naît pas photo-interprète ou cartographe, on le devient! La meilleure façon est d'apprendre « sur le tas » en accumulant expérience et travail au sein d'une équipe par un encadrement « serré » de personnes expérimentées et, peu à peu, la logique aidant, la mémoire fera son œuvre! Le travail d'équipe est primordial et garant de succès, car, ici aussi, le tout (l'équipe) est supérieur à la somme des parties (les membres de l'équipe). Ceci nous ramène aux paroles de Stan Rowe déjà évoquées dans l'avant-propos lorsqu'il disait qu'en écologie « on ne pouvait se former qu'en lien étroit avec un maître ».

2.3.2 Découpage cartographique et niveaux de perception

Quel que soit le niveau de perception, l'objet du découpage cartographique est de distinguer des portions de territoire différentes en s'appuyant sur la recherche et la mise en évidence de structures spatiales distinctes. De complexes

à petite échelle (niveaux de perception supérieurs), elles deviennent de simples formes de terrain, voire des positions topographiques à grande échelle (niveaux de perception inférieurs). Rappelons, une fois de plus, que la cartographie du CER s'inscrit dans un ensemble gigogne de niveaux de perception de l'espace : chaque fois que l'on descend d'un niveau, le niveau inférieur est une partie du niveau supérieur dans lequel il est tout entier compris. Donc, hormis pour le premier niveau de la hiérarchie, la cartographie s'effectue toujours dans les limites spatiales du niveau supérieur et elle consiste à en dégager les lignes de force qui caractérisent, au mieux, sa structure interne (son organisation spatiale). Il est donc primordial de s'assurer que les lignes de force que l'on dégage traduisent bien la hiérarchie des niveaux de perception que l'on veut cartographier. On voit bien ici, au-delà des concepts et des principes énoncés plus tôt, l'absolue nécessité d'une démarche descendante, d'une démarche qui part du haut vers le bas.

D'un point de vue pratique, cela signifie que, lorsqu'on aborde la cartographie d'un territoire, on doit d'abord être capable de l'observer et de l'analyser au complet, de l'embrasser « d'un seul coup d'œil »; ensuite, lorsqu'on cartographie à un niveau donné (le quatrième niveau, par exemple), il est nécessaire de travailler avec la totalité du niveau supérieur (le troisième niveau en l'occurrence dans cet exemple). Ces deux conditions doivent être respectées, quel que soit le support de travail utilisé (carte papier, carte numérique, photographies aériennes, images satellitaires, écran de projection, etc.). Ces conditions sont d'autant plus cruciales lorsqu'on aborde de grands territoires et que l'on cartographie les niveaux de perception supérieurs du CER. Elles guident, par le fait même, le choix de l'échelle cartographique avec laquelle travailler.

Depuis que Troll, à la fin des années 1930, a découvert les vertus des photographies aériennes, la vision en 3D du territoire s'est imposée et elle est aujourd'hui considérée comme indispensable pour dégager et représenter les structures spatiales qui le caractérisent (Boucher et coll., 1994). Nous avons déjà souligné que pour cartographier les niveaux de perception supérieurs du CER, nous avons longtemps manqué d'informations et d'outils permettant d'avoir des vues synoptiques. Ce n'est pas la venue des satellites d'observation de la Terre comme GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) ou NOAA (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*) qui a permis de combler cette lacune (Coulombe et Grenon, 1992). En effet, la très faible résolution au sol (1 km) et la trop grande généralisation des informations les rendaient peu utiles pour la cartographie écologique. Une partie des besoins a cependant été comblée avec l'apparition des images satellitaires

dont la résolution au sol est de plus en plus précise (cf. section 2.4, Outils et données). Lorsqu'on combine, à l'aide d'un système d'information géographique, ces produits avec un modèle numérique d'altitude, avec des cartes numérisées du réseau hydrographique, du socle géologique, des dépôts de surface, du couvert végétal, de l'utilisation du sol, etc., la quantité d'informations obtenues est phénoménale! Dans cette situation et contrairement au dicton populaire, l'abondance de biens peut parfois nuire; les risques, pour le cartographe, de se noyer dans les détails sont grands! Son défi majeur est alors de ne pas perdre de vue ce qui caractérise bien le niveau de perception qu'il traite. Le choix de l'échelle de l'image (ou des images) utilisée est primordial.

2.3.3 Découpage cartographique et structures spatiales

Pour répondre à la vision holistique à chaque niveau de perception, le découpage cartographique appréhende le territoire globalement et se base, pour cela, sur la recherche et la mise en évidence d'arrangements spatiaux (figure 2.20). Il est aujourd'hui largement reconnu que la majorité des composantes territoriales suit des patrons spatiaux (*pattern*) qui reflètent la structure physique du milieu.

Les reliefs, les dépôts de surface, les sols, l'eau, etc. ne se répartissent pas au hasard dans l'espace. Ils sont morphogénétiquement liés par l'histoire de leur mise en place. Les processus dynamiques du milieu sont, à leur tour, contrôlés par cette structure territoriale. Leur évaluation s'appuie aussi de plus en plus sur la connaissance des patrons spatiaux et pas seulement sur celle de leurs composantes. Jusqu'à récemment, la description des polygones de la cartographie écologique ne fournissait qu'une liste de ses composantes évaluées en importance d'occupation (le plus souvent en pourcentage). Cette liste nous donnait uniquement un inventaire de l'anatomie des polygones et ne permettait pas de comprendre ni l'agencement de leurs composantes ni leur fonctionnement (Rowe, 1961). Pourtant, un polygone constitué de buttes et de collines parallèles peut avoir la même composition qu'un autre polygone constitué de buttes et de collines fracturées orthogonalement; ces deux structures distinctes vont par contre créer des conditions écologiques différentes, en particulier en ce qui concerne l'écoulement de l'eau! La contribution majeure du CER est d'appuyer son découpage territorial sur la reconnaissance de tels patrons spatiaux, puis d'y rattacher la description des composantes du milieu.

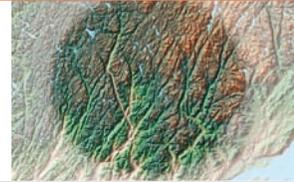
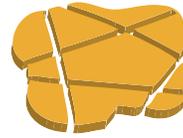
Le cartographe interprète les régularités dans la distribution et la répartition des fractures, bosses, creux, plans d'eau et cours d'eau, etc. que l'image du territoire utilisée offre à sa vue. Il les qualifie d'abord sur le plan horizontal, car c'est la dimension qu'il capte en premier lors de l'analyse visuelle des images. Dans les secteurs fortement contrôlés par le socle rocheux, il s'appuie sur les fractures majeures qui entaillent le territoire jusqu'à son niveau de base. Ailleurs, dans les secteurs où l'influence du socle rocheux est masquée par d'épais dépôts de surface quaternaires, c'est la morphologie propre de ces dépôts qui guide le découpage cartographique. Dans chacun des cas, la configuration du réseau hydrographique est d'un apport majeur : osons le répéter encore une fois, elle est souvent le révélateur de cette organisation spatiale!

2.3.4 Découpage cartographique et connaissance de la genèse du territoire

Le travail du photo-interprète ou du cartographe n'est pas uniquement mécanique ou technique, il exige aussi, au départ, des recherches bibliographiques et des analyses documentaires nécessaires à la compréhension de l'édification du territoire à travers les âges. Il importe de bien connaître l'histoire géologique ou géomorphologique du territoire, car elle permet de comprendre les structures spatiales et l'importance des lignes de force sur lesquelles s'appuie la cartographie. De cette connaissance découlent la logique du découpage des niveaux de perception et le respect de la hiérarchie du CER, sinon la cartographie devient un véritable casse-tête. Meilleure sera la connaissance, mieux fondés seront les critères hiérarchiques et meilleur sera le produit cartographique.

Nous allons l'illustrer à l'aide de trois exemples qui couvrent en partie la grande diversité du territoire québécois. Les deux premiers s'adressent à des territoires fortement contrôlés par le socle rocheux, l'un dans les Laurentides (socle granitique au sein de l'orogénèse grenvillienne), l'autre dans les Appalaches (socle sédimentaire reflet de la mise en place, en orogénèses successives, de la chaîne appalachienne). L'organisation spatiale du troisième, dans les basses terres de l'Abitibi, reflète des épisodes glaciaires et postglaciaires de l'époque quaternaire et exprime davantage le contrôle des dépôts de surface. Dans les trois exemples, le fil directeur du découpage cartographique reste la reconnaissance des structures physiques majeures du territoire. Si la vision 3D demeure primordiale dans leur recherche, elle s'applique toujours en synergie avec d'autres outils et d'autres informations (géologie, dépôts de surface, pentes, images satellitaires, etc.) même si, pour des raisons de présentation, ceci n'apparaît pas toujours très clairement dans le texte.

Structure fracturée : Le socle rocheux est incisé par un système de fractures (linéaments) qui s'entrecroisent à l'occasion et occupent de 10 à 20 % du territoire. Les cours d'eau profitent de ces fractures pour creuser des vallées quasi-rectilignes et étroites. Cette structure s'observe surtout dans l'assise rocheuse fortement érodée du Bouclier canadien de la Province géologique de Grenville.



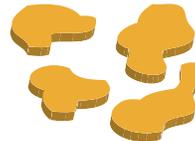
Structure fracturée parallèle : Les fractures sont de même nature que dans la classe précédente hormis qu'elles sont parallèles à sub-parallèles.



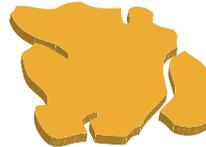
Structure fracturée orthogonale : Le socle rocheux est découpé par deux systèmes de fractures parallèles qui se recoupent à angle droit. Ces fractures, généralement plus larges que dans les deux classes précédentes occupent parfois plus de 20 % du territoire et isolent des blocs quadrangulaires d'interfluves de superficie variable.



Structure complexe : Le système de fractures est désordonné, les plus importantes sont occupées par des dépressions élargies ou des plans d'eau et elles recouvrent souvent plus de 20 % de la superficie. Les formes géométriques des classes précédentes disparaissent et les interfluves ont des dimensions très variables.



Structure massive : Quelques rares fractures majeures incisent le territoire (moins de 5 %) qui se présente sous forme de blocs de grande superficie.



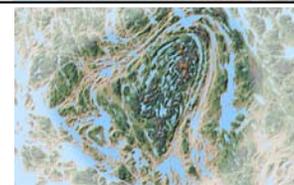
Structure alignée : Surtout présentes dans les formations géologiques plissées (Appalaches, orogène du Nouveau-Québec); les dépressions sont beaucoup plus larges que les fractures qui leur ont donné naissance et elles occupent souvent plus de 20 % de la superficie alors que les interfluves sont de taille modeste, étroits, allongés et alignés.



Structure sinueuse : Présente à peu près les mêmes caractéristiques que la classe précédente hormis la morphologie sinueuse.



Structure courbée : Même caractéristiques générales que précédemment hormis la morphologie courbée (plutôt rare mais tellement remarquable).



Structure parallèle : Une telle structure traduit des formes drumlinoïdes étroites, allongées et quasi parallèles résultat de dépôts modelés par l'écoulement glaciaire. Elles suivent une orientation générale identique mais leur répartition spatiale ne provoque pas forcément d'alignements continus contrairement à une structure alignée. Elle est soulignée par un réseau hydrographique lui aussi parallèle. Elle se distingue de la structure fracturée parallèle contrôlée par des fractures du socle rocheux.

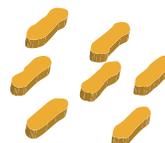


Figure 2.20. Principales structures spatiales

EXEMPLE 1 : Cartographie des ensembles physiographiques (niveau 3) de la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

La région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier fait partie de la province naturelle des Laurentides méridionales (figure 2.21). À première vue, il paraît bien difficile de dégager des structures spatiales cohérentes dans cette région naturelle, car, pour le commun des mortels, tout semble désordre et le chaos y régner en maître! Pourtant, elle porte en elle des témoignages éloquentes de son histoire géologique. Ce sont eux qui doivent guider la reconnaissance des lignes de force structurales du milieu physique et mener à la cartographie du niveau 3 du CER.

Quels sont ces témoignages éloquentes de l'histoire géologique qui ont si fortement imprégné cette région naturelle? Le massif du lac Jacques-Cartier appartient à la province géologique de Grenville. Elle s'est érigée il y a plus d'un milliard d'années, lors d'un épisode orogénique extrêmement compliqué qui a duré plus de 500 millions d'années.

À un moment de cette orogénèse, un microcontinent, Quebecia, est entré en collision avec un bloc continental préexistant, Laurentia (l'ancêtre des Laurentides actuelles). La région naturelle est un vestige de la partie occidentale de ce microcontinent. Les structures courbées de sa façade ouest soulignent la proximité de la zone de suture consécutive à la collision entre les deux blocs continentaux (figure 2.22, point 1). À la fin de l'orogénèse grenvillienne, vers 800 millions d'années, tous les continents terrestres de l'époque étaient réunis en un seul bloc appelé Rodinia. La stabilité de cette masse continentale est éphémère et vers 600 millions d'années, sous la force de tensions internes, elle commence à se disloquer. Au nord, c'est l'ouverture du graben du Saguenay, au sud-est, l'ouverture du graben du Saint-Laurent, qui se poursuivra jusqu'à la formation d'un océan, l'océan Iapétus. L'ouverture du graben du Saguenay est accompagnée d'une série de failles parallèles qui marquent les limites du fossé d'effondrement lié au graben avec la partie centrale du massif plus élevée (figure 2.22, point 2).

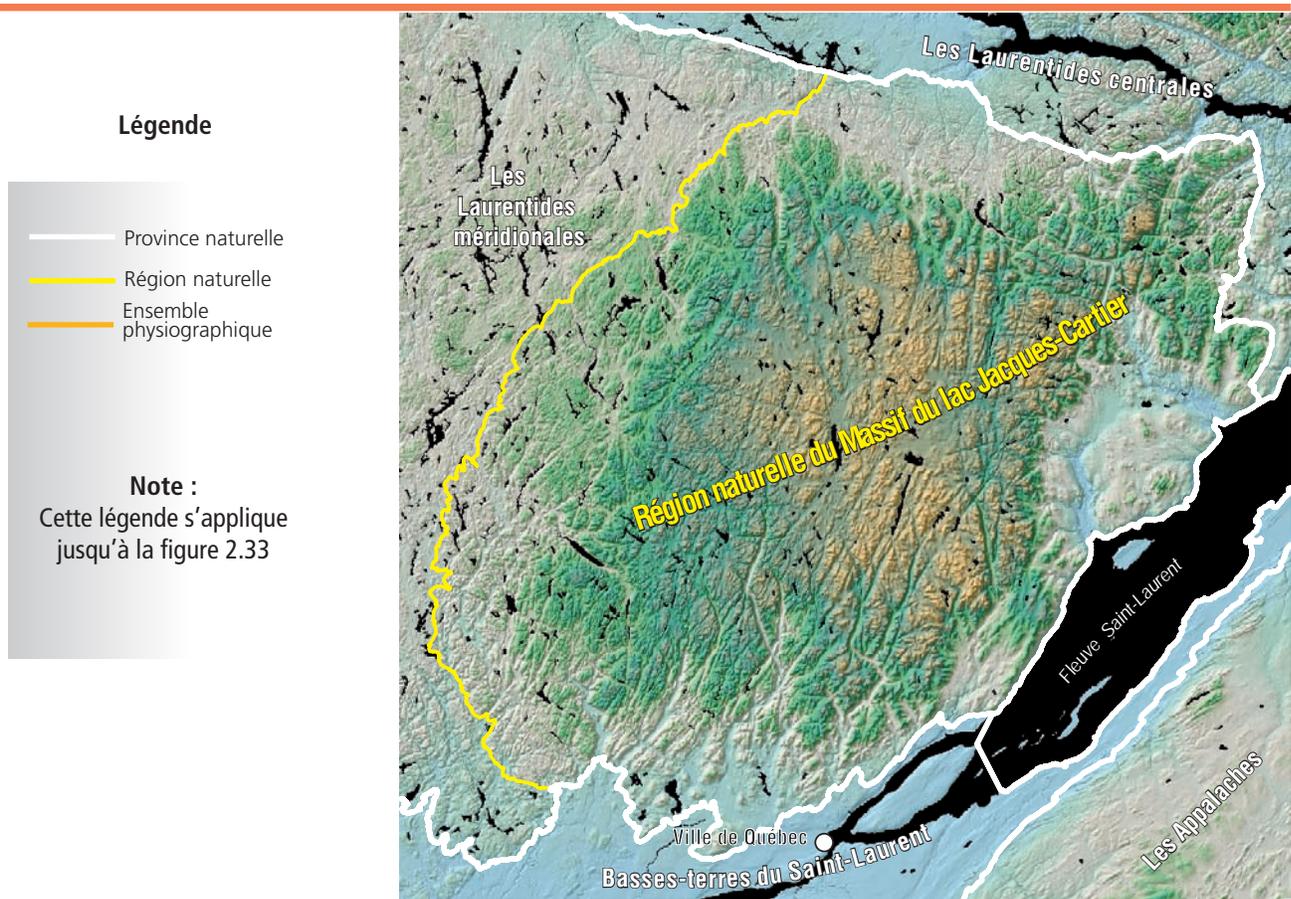


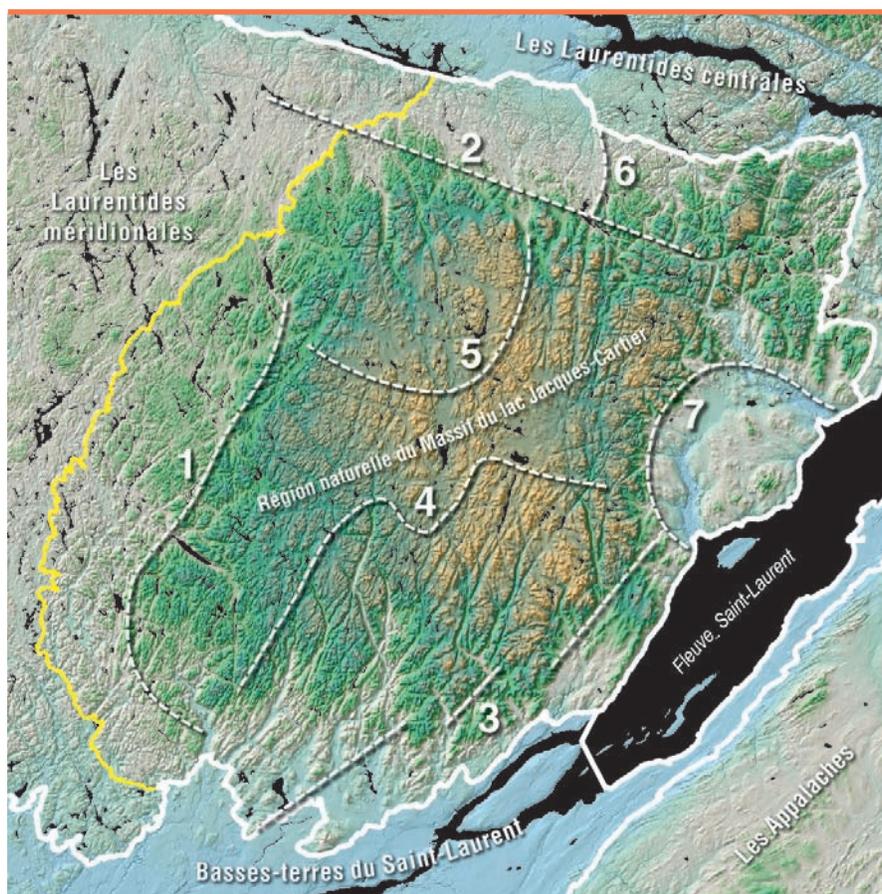
Figure 2.21 La région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

On retrouve l'équivalent au sud en parallèle au graben du Saint-Laurent; par contre la faille est ici en escalier et découpe la limite de la zone d'effondrement en plusieurs blocs décalés (figure 2.22, point 3), mais le contraste est aussi fort avec la partie centrale du massif, au nord, nettement plus élevée. L'empreinte la plus spectaculaire reste cependant l'astroblème de Charlevoix, consécutif à la chute d'une météorite il y a près de 365 millions d'années (figure 2.22, point 7).

Les limites que nous venons de souligner séparent la périphérie de la région naturelle, plus basse, d'un dôme central surélevé. Depuis sa mise en place lors de l'orogénèse grenvillienne, ce dôme a été longuement

soumis à l'érosion qui l'a fortement « pénéplané ». Mais, à la suite de mouvements épirogéniques liés à l'érection de la chaîne appalachienne et à l'ouverture ultérieure de l'océan Atlantique, le dôme a été légèrement soulevé. Ce soulèvement a eu pour effet d'en rajeunir le relief et les cours d'eau, à la recherche d'un nouveau profil d'équilibre longitudinal, se sont encaissés dans leurs vallées sur les versants sud et nord du dôme (figure 2.22, points 4 et 5).

La connaissance des événements géologiques majeurs qui ont jalonné l'histoire de la région naturelle débouche sur une spatialisation préliminaire dont les lignes de force sont cohérentes avec la logique hiérarchique du CER.



- 1) Transition entre la zone de suture du microcontinent Québécois et le macrocontinent Laurentia à l'ouest et le dôme central à l'est
- 2) Faille parallèle synchrone à la formation du graben du Saguenay
- 3) Failles parallèles synchrones à la formation du graben du Saint-Laurent (failles en escalier)
- 4) Versant sud du dôme central entaillé par des vallées encaissées
- 5) Versant nord du dôme central entaillé par des vallées encaissées
- 6) Structure fracturée orthogonale
- 7) Astroblème de Charlevoix

Figure 2.22 La région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier fait partie de la province naturelle des Laurentides méridionales

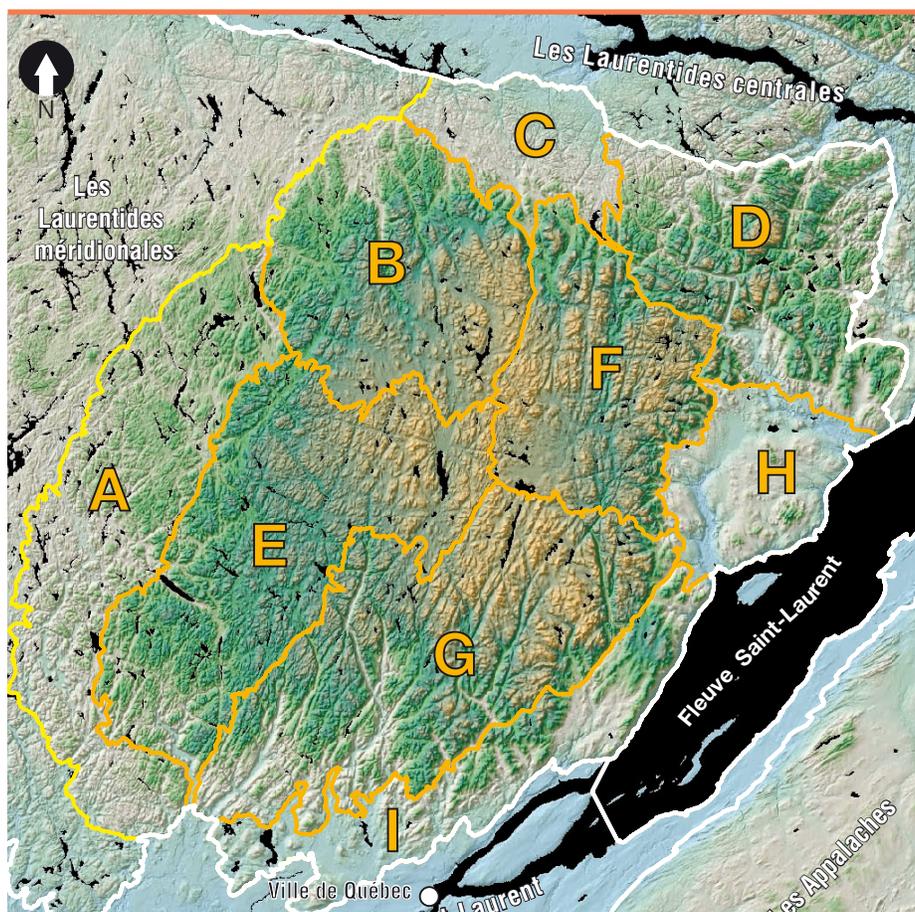


Figure 2.23. Les limites des ensembles physiographiques (niveau 3 du CER) de la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

Elle propose des structures spatiales distinctes qu’une analyse visuelle attentive va compléter. Ainsi, au nord-est de la région, se dégage une zone remarquable par sa structure fracturée orthogonale très marquée (figure 2.22, point 6). Fort de cette analyse accompagnée d’informations complémentaires (géologie, dépôts de surface, images satellitaires, etc.), la cartographie du niveau 3 peut être complétée (figure 2.23).

EXEMPLE 2 : Cartographie des ensembles physiographiques (niveau 3) de la région naturelle du plateau d’Estrie-Beauce

Nous sommes en pays appalachien et les structures majeures du relief sont très marquées. Elles suivent une orientation générale sud-ouest-nord-est pour l’ensemble de la chaîne. Malgré cette organisation spatiale très forte, le cartographe devra aussi maîtriser les épisodes essentiels de la constitution des Appalaches pour bien décrypter la hiérarchie des lignes de force qui y règne. Quels sont ces épisodes essentiels? On sait aujourd’hui que la chaîne appalachienne s’est érigée en trois orogénèses successives dont seules les deux premières ont réellement affecté le plateau d’Estrie-Beauce.

Il y a près de 450 millions d’années, une première orogénèse consécutive à la collision entre le microcontinent des Chain Lakes et le macrocontinent Laurentia a donné naissance à la chaîne taconique, première phase de la constitution des Appalaches. Son cœur est aujourd’hui constitué des monts Notre-Dame, qui traversent le Québec des Bois-Francs jusqu’en Gaspésie. Cette collision a aussi causé la fermeture partielle de l’océan Iapétus, dont une partie du fond s’est trouvée coincée et projetée vers la surface. Ainsi, à l’arrière des monts Notre-Dame, on retrouve une succession de buttes et collines basaltiques qui sont des vestiges de ce fond océanique disparu. Pendant plus de 50 millions d’années, la chaîne nouvellement formée a été soumise à l’érosion.

Puis, entre 400 et 360 millions d’années, un nouveau microcontinent, Avalonia, se rapproche et entre en collision avec ce qui reste de la chaîne taconique : c’est l’orogénèse acadienne et la deuxième phase d’édification des Appalaches. Cette nouvelle collision entraîne des chevauchements des nouvelles terres avec celles déjà existantes, dont la limite nord est matérialisée par la faille de la Guadeloupe; elle provoque aussi des intrusions granitiques que l’érosion amènera plus tardivement à la surface.

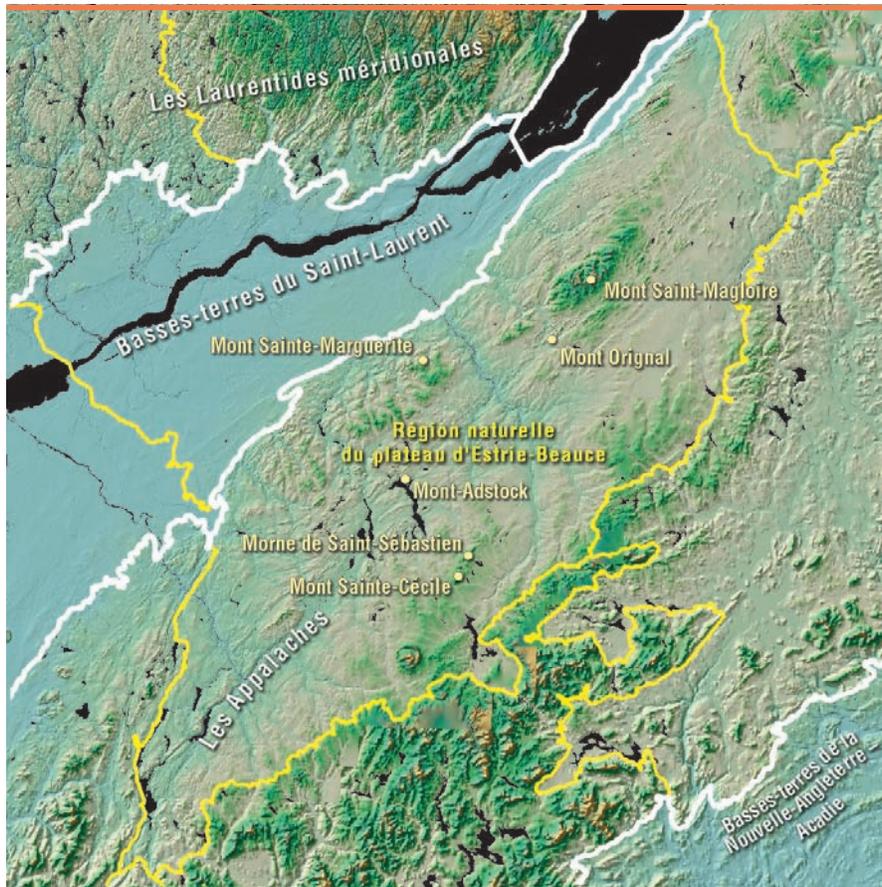


Figure 2.24. Localisation de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce

Fort de cette connaissance, abordons maintenant l'analyse de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce.

- 1) En partant du nord, des basses-terres du Saint-Laurent et en se dirigeant vers le sud, on rencontre d'abord un premier complexe de collines (les collines de Bécancour) qui culminent à près de 700 m au mont Sainte-Marguerite (mont Radar), à l'ouest de la rivière Chaudière, et dépassent 900 m au mont Saint-Magloire (massif du Sud), à l'est de la rivière Chaudière. Ce sont les monts Notre-Dame, le cœur de la chaîne taconique (figure 2.25).
- 2) En continuant vers le sud, derrière ces hautes collines, on rencontre une zone plus basse entrecoupée de buttes et collines basaltiques (figure 2.25). Voici les vestiges du fond océanique ramenés à la surface aux monts Adstock, Gros Morne et Orignal. La limite entre ces deux ensembles est matérialisée par une limite géologique très forte : la ligne Brompton-Baie-Verte, qui court des Cantons de l'Est jusqu'en Gaspésie et souligne l'ancien contact entre le macrocontinent Laurentia et le fond océanique de l'époque.

- 3) En continuant toujours vers le sud, on retrouve un haut plateau localement interrompu par des reliefs plus marqués. Le plateau correspond à la deuxième phase de la mise en place des Appalaches, la chaîne acadienne; les différents reliefs comme, entre autres, le morne de Saint-Sébastien, le mont Sainte-Cécile, le pourtour sud du lac Mégantic et l'extrémité sud-ouest du lac Saint-François, témoignent des intrusions granitiques remontées des profondeurs lors de cette orogénèse (figure 2.25). Le contact entre le plateau (la chaîne acadienne) et la zone dépressionnaire précédente est souligné par la faille de La Guadeloupe.

Ainsi apparaissent clairement les lignes de force de premier niveau à l'intérieur de la région naturelle. C'est sur elles que le cartographe doit s'appuyer pour établir les bases de la hiérarchie des niveaux de perception. Elles sont étroitement liées à la mise en place des Appalaches; à nouveau apparaissent les relations très fortes entre l'histoire géologique de la région naturelle et son organisation spatiale actuelle. Leur connaissance est essentielle à la cartographie du niveau 3 du CER (figure 2.26), mais encore faut-il analyser les images du territoire à la bonne échelle pour éviter de s'égarer sur de mauvaises voies.

La perte de vision globale sur l'ensemble de la région naturelle peut mener le cartographe à déroger à la logique hiérarchique dictée par l'histoire géologique. Dans l'exemple de la figure 2.27, il sera fort tentant de proposer, en premier lieu, une unité avec les hautes collines du massif du Sud, car, du point de vue physiographique, la limite nord est aussi forte que la limite sud. Elles ne sont cependant pas de même ordre : l'une délimite l'orogénèse taconique (limite sud), l'autre n'en est qu'une subdivision et si on l'élève immédiatement au premier niveau dans le découpage de la région naturelle, les subdivisions de même niveau vont se multiplier. Seront alors cartographiées des unités naturelles existant réellement sur le terrain, mais d'un niveau de perception inférieur, avec le risque important, si on ne peut respecter le fil conducteur de l'histoire géologique, d'aboutir à un découpage d'unités territoriales de niveaux de perception différents.

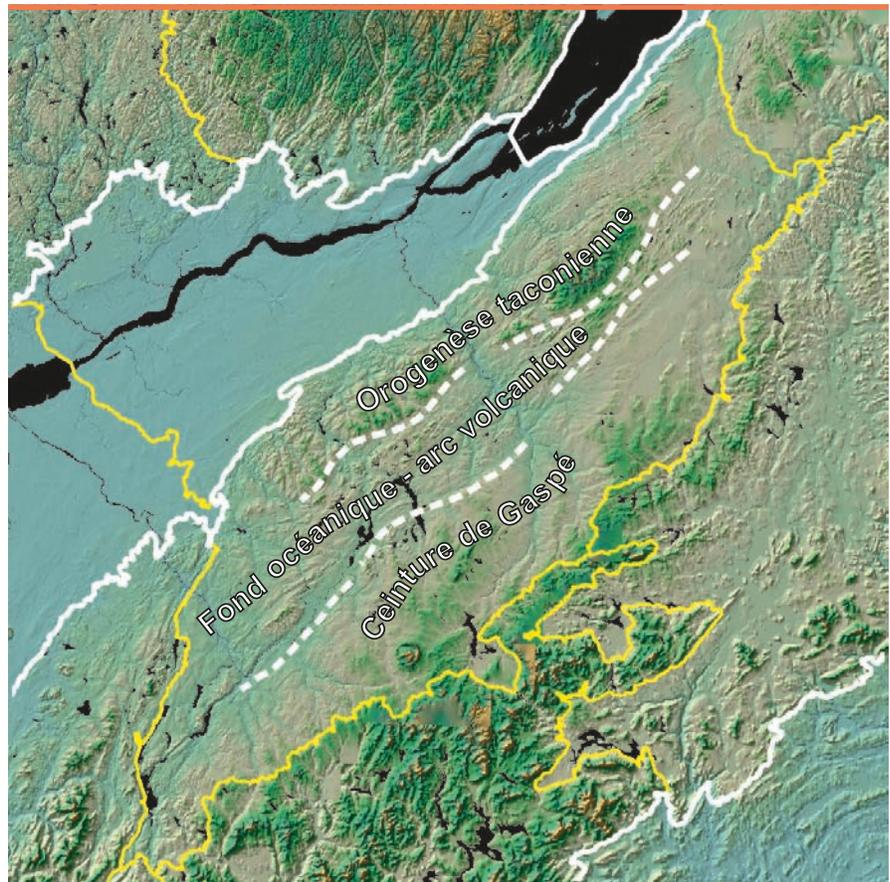
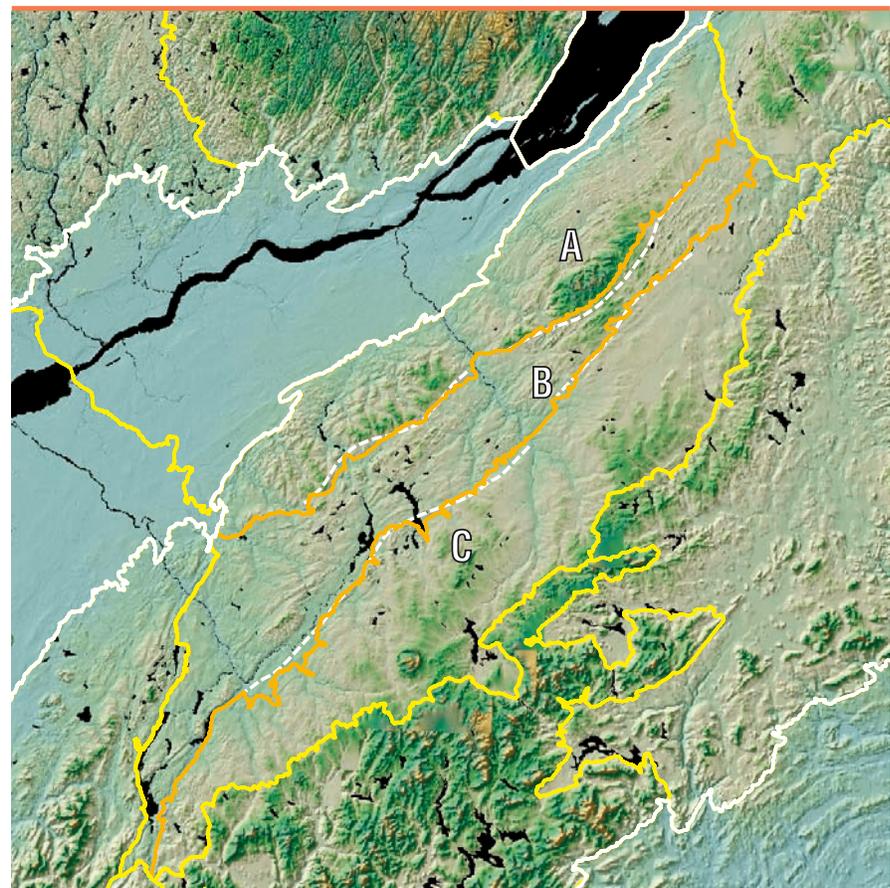


Figure 2.25. Lignes de force majeures de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce

Figure 2.26. Ensembles physiographiques de la région naturelle du plateau d'Estrie-Beauce



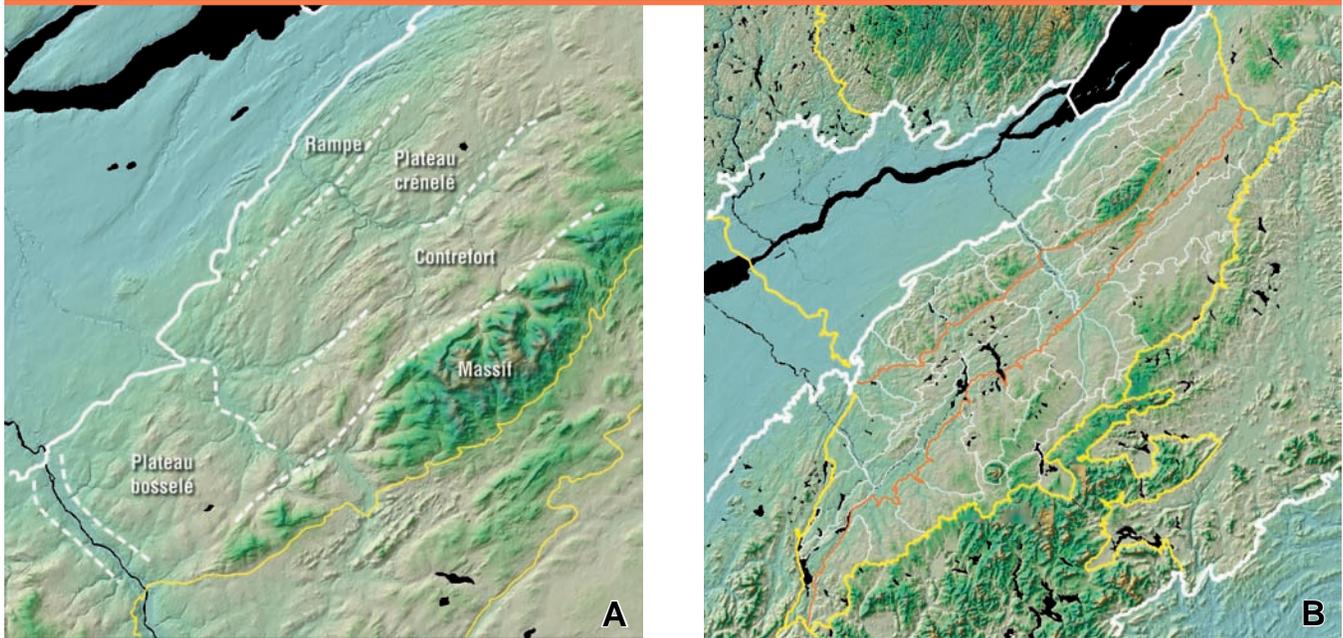


Figure 2.27. Conséquence d'un manque de vision globale (A) et d'une analyse à trop grande échelle : ce sont des limites de polygones de niveaux inférieurs (B)

EXEMPLE 3 : Cartographie des ensembles physiographiques (niveau 3) de la région naturelle de la plaine de Turgeon

La région naturelle de la plaine de Turgeon, située dans les basses terres de l'Abitibi, s'étend de part et d'autre de la limite interprovinciale entre le Québec et l'Ontario (figure 2.28). Elle a connu une histoire quaternaire relativement compliquée marquée par une succession d'événements liés à la fin de l'épisode glaciaire. La

connaissance de ces événements fournit la clé pour comprendre les composantes de cette région et leur organisation spatiale qui, malgré le relief peu marqué, sont fort contrastées.

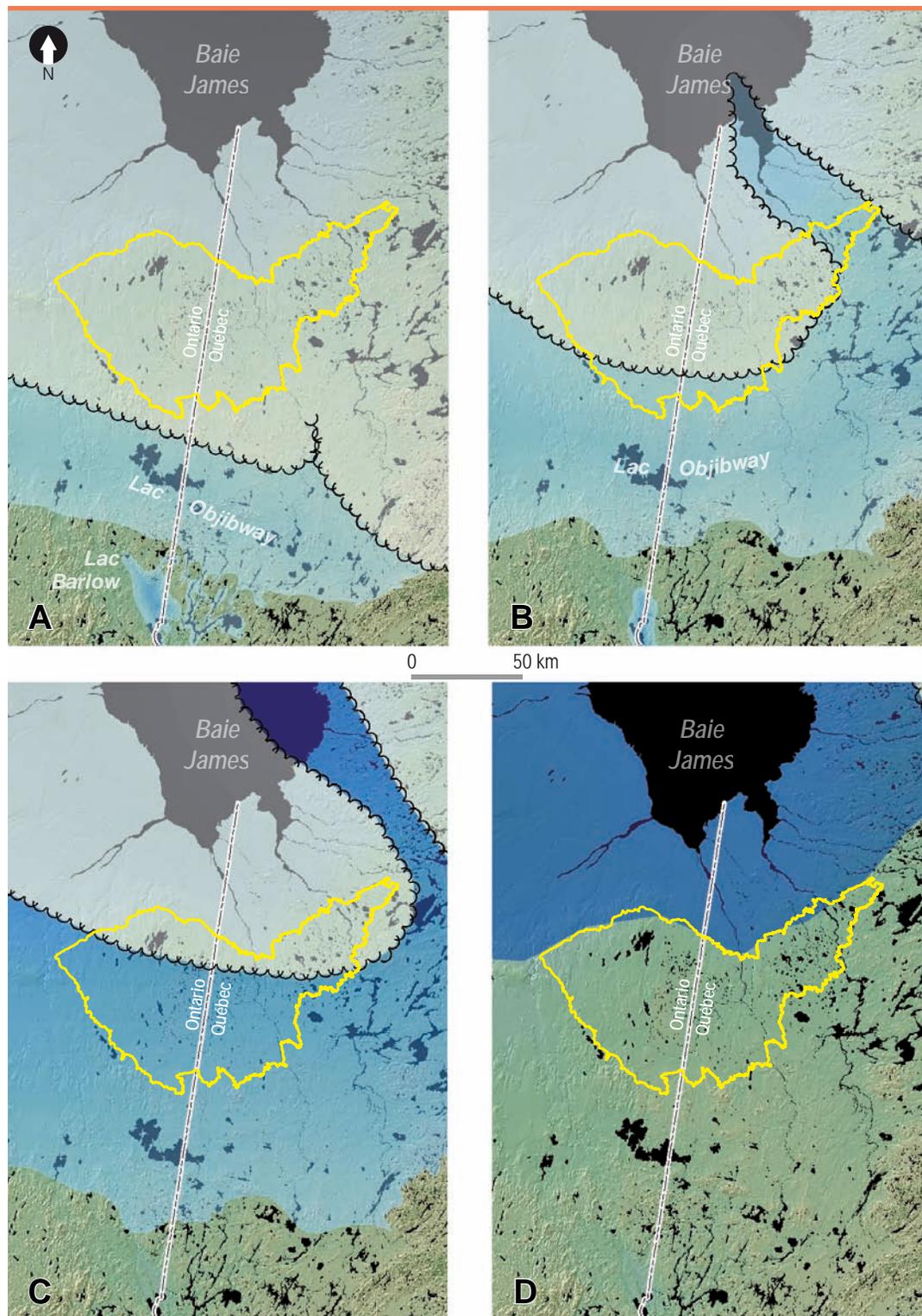
Contexte régional de la déglaciation. Lors de son retrait, la calotte glaciaire wisconsinienne s'est ouverte à la manière d'une fermeture éclair, permettant l'édification d'une moraine interlobaire (monticule de sable et gravier qui court sur de nombreux kilomètres) au fur et à mesure du retrait vers le nord des deux lobes glaciaires. La fonte de la glace a donné lieu à la création, à la marge sud de la calotte en retrait, d'un grand lac pro-glaciaire (le lac Ojibway) dans lequel se sont déposés des limons et des argiles. À deux reprises au moins, des réavancées vers le sud du front glaciaire (réavancées de Cochrane) dans les eaux peu profondes du lac Ojibway ont interrompu le retrait vers le nord de la calotte glaciaire. Ces réavancées ont laissé des indices remarquables sur le territoire (figure 2.29).



Figure 2.28. Localisation de la région naturelle de la plaine de Turgeon

Le relief étant si peu marqué, la vision en 3D tirée du modèle numérique d'altitude (MNA) fournit peu d'informations visuelles. L'analyse spatiale va surtout s'appuyer sur des images satellitaires Landsat, sur la configuration du réseau hydrographique et sur la carte des dépôts de surface (figure 2.30). Ainsi se distinguent plusieurs ensembles territoriaux.

Figure 2.29.
Contexte de la
déglaciation de la région
naturelle
de la plaine de
Turgeon (adapté de
Dyke, 2004)



- A** – Ouverture de la calotte glaciaire le long de la moraine interlobaire d’Harricana. Formation des lacs proglaciaires Barlow et Ojibway (8,5 ka ¹⁴C BP)
- B** – Première réavancée glaciaire de Cochrane dans le lac Ojibway (8,2 ka ¹⁴C BP)
- C** – Deuxième réavancée de Cochrane et vidange du lac Ojibway dans la mer de Tyrell au niveau de la baie James (7,9 ka ¹⁴C BP)
- D** – Maximum d’invasion de la mer de Tyrell (7,7 ka ¹⁴C BP)

1) À peu près au centre de la partie québécoise de la région naturelle se retrouve la seule unité avec un certain relief. Elle contraste fortement avec les territoires l'entourant, par sa morphologie (monticule allongé), par la configuration et la faible densité de son réseau hydrographique, par la nature de ses dépôts de surface (sable et gravier) et par la composition du couvert végétal (abondance de feuillus et absence de tourbières). Ce long monticule surélevé correspond à la moraine interlobaire d'Harricana.

2) La moraine interlobaire isole la partie orientale de la région naturelle qui se caractérise par un réseau hydrographique subparallèle et des lacs de taille moyenne bien répartis sur l'ensemble du secteur. La morphologie des dépôts de surface (formes fuselées) liée à la réavancée glaciaire de Cochrane (figure 2.31) impose la configuration du réseau hydrographique.

À l'ouest de la moraine interlobaire, la situation est un peu plus complexe.

3) À l'extrémité nord de la région naturelle, une bande étroite se démarque nettement par le réseau hydrographique parallèle très dense et par l'absence notoire de plans d'eau. L'image Landsat (figure 2.30) révèle bien ce parallélisme souligné par des interfluvés étroits et allongés, orientés nord-sud. Ils ont été ainsi façonnés lors de la réavancée de Cochrane II au cours de laquelle le glacier, avançant dans les eaux du lac Ojibway, a donné une forme drumlinoïde aux dépôts glacio-lacustres. Cette bande

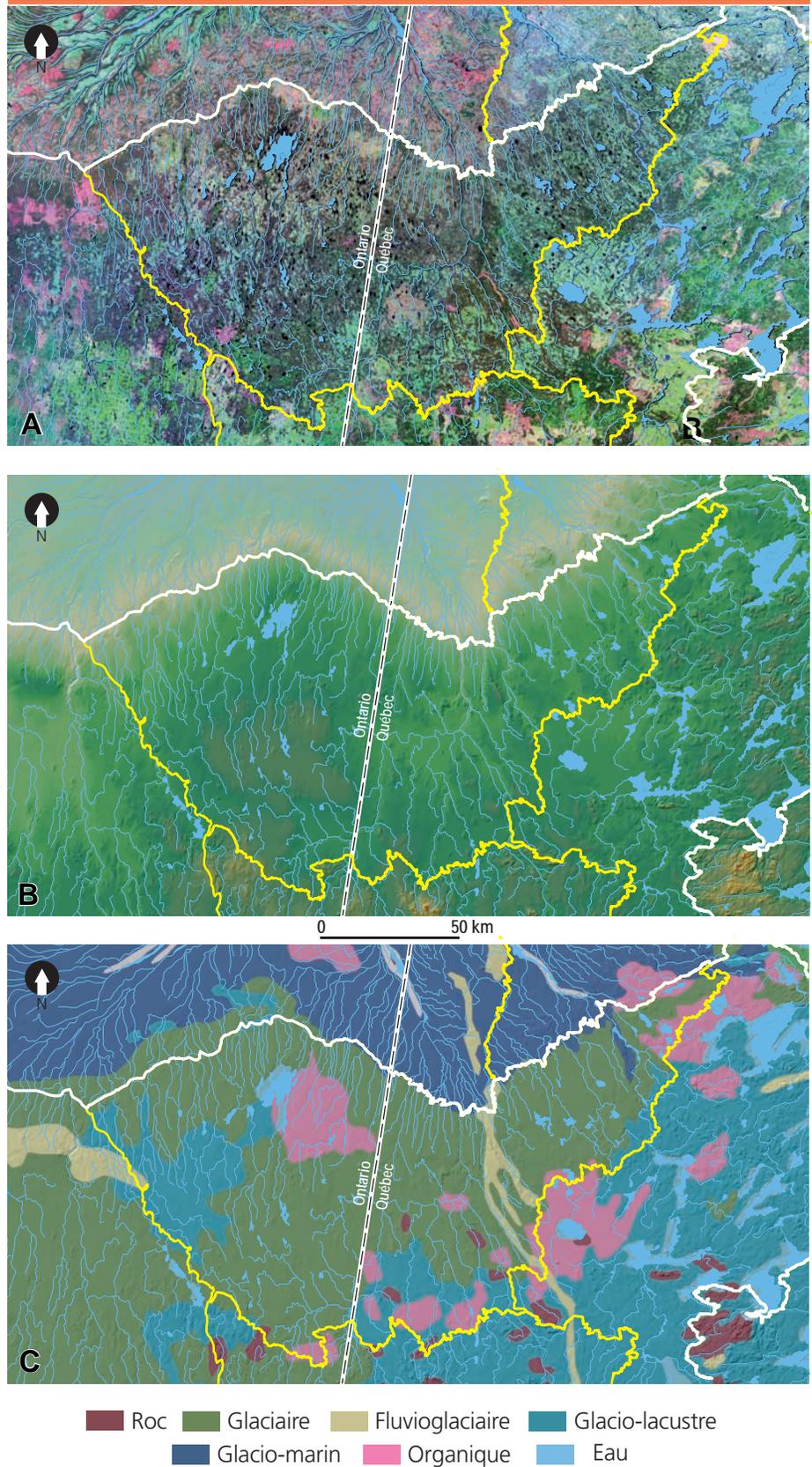


Figure 2.30. Réseau hydrographique superposé sur image Landsat (A) , modèle numérique d'altitude (B) et dépôts de surface (C) de la région naturelle de la plaine de Turgeon

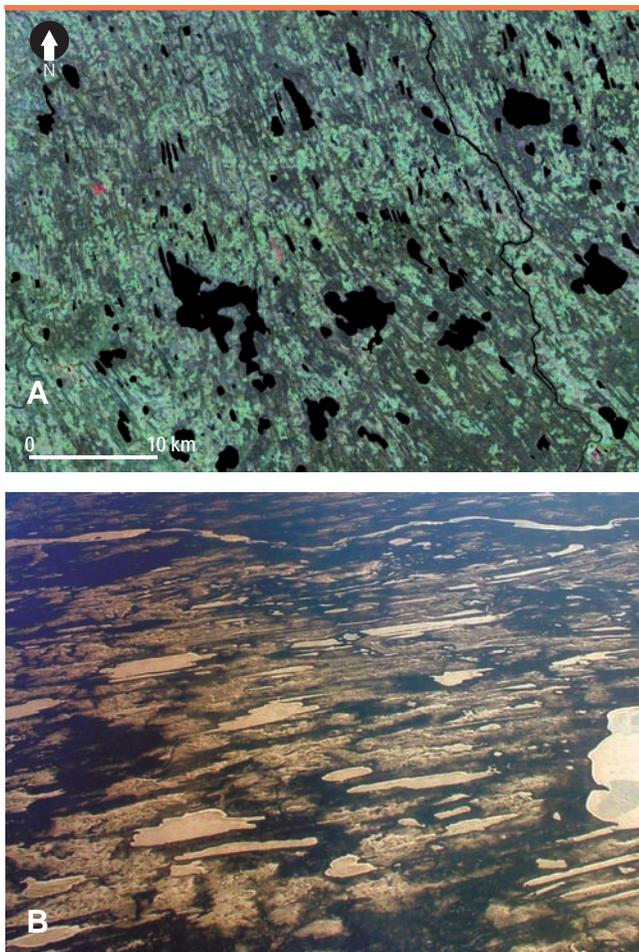


Figure 2.31. Formes fuselées et quasi parallèles du till de Cochrane accompagnées de lacs de taille moyenne également répartis

A - Image Landsat B - Photo oblique

de terre correspond à un long versant régulier de pente très faible (l'altitude passe de 90 m au nord à 150 m au sud) regardant vers le nord. Le glacier l'a profondément façonné de « rayures » parallèles très denses, car il s'est comporté comme un obstacle à franchir sur le chemin de la réavancée glaciaire. La limite méridionale de ces formes marque d'ailleurs la limite méridionale de la réavancée de Cochrane II. Au-delà, l'orientation générale des dépôts change brusquement vers le sud-est (figure 2.32).

- 4) Dès le changement d'orientation générale, les formes drumlinoïdes deviennent moins nettes. Elles témoignent de la réavancée de Cochrane I, antérieure à la précédente (figure 2.32). Est-ce la raison pour laquelle l'empreinte est moins forte ou est-ce parce que ce secteur correspond à une grande cuvette au fond de laquelle l'eau étant plus profonde, le glacier aurait eu moins d'impact sur les dépôts déjà en place? Un réseau hydrographique irrégulier parcourt

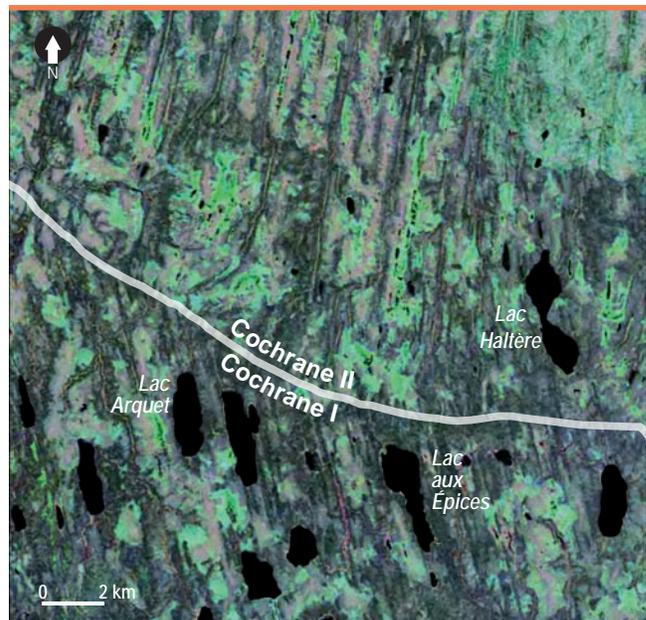


Figure 2.32. Limite méridionale de la réavancée de Cochrane II sur l'image Landsat

cette partie de la région naturelle que parsèment de nombreux lacs de taille moyenne aux contours très réguliers et quasi circulaires accompagnés de nombreuses tourbières de grande superficie.

- 5) En continuant vers le sud, la cuvette cède sa place à des terres plus hautes (l'altitude dépasse 300 m) dans lesquelles les formes drumlinoïdes redeviennent plus prégnantes, les lacs gardent la même importance et les grandes tourbières disparaissent quasiment.
- 6) Enfin, l'extrémité sud voit réapparaître les tourbières et disparaître les lacs.

La connaissance des dernières phases de la déglaciation s'avère cruciale pour interpréter correctement les structures spatiales de la région naturelle et bien hiérarchiser les lignes de force de leur organisation révélées par l'analyse du MNA, des images satellitaires, du réseau hydrographique et de la carte des dépôts de surface. Dans les régions à faible relief où les dépôts de surface atténuent l'empreinte géologique du socle rocheux, l'histoire quaternaire prend le relais et fournit le fil conducteur à la compréhension des structures spatiales (figure 2.33).

2.4 Données et outils

Comme bien des sphères de la vie courante, le domaine de la cartographie en général et celui de la cartographie écologique en particulier ont connu une véritable révolution technologique au cours des trente dernières années. On est très rapidement passé du « tout papier » au « tout numérique », tant au bureau que sur le terrain. Ainsi, lors des campagnes d'échantillonnage de terrain, la prise de notes dans des carnets et sur des fiches

papier a cédé le pas à la prise de notes directement sur un ordinateur; lors de la production cartographique, les cartes de référence en papier ont aussi cédé le pas à des cartes numériques. Autrefois simples outils de support à la production des cartes écologiques, les cartes topographiques sont aujourd’hui devenues des sources de données de base à référence spatiale. Il est donc tout à fait normal que la réalisation du CER tire le plus de profits possible de ces développements technologiques, tant pour acquérir des données que pour les gérer et les traiter. Nous en présentons les grandes lignes ci-dessous selon deux grandes rubriques, données et outils, même si leur distinction n’est pas toujours chose facile.

2.4.1 Données de base

Cinq bases de données sont régulièrement utilisées :

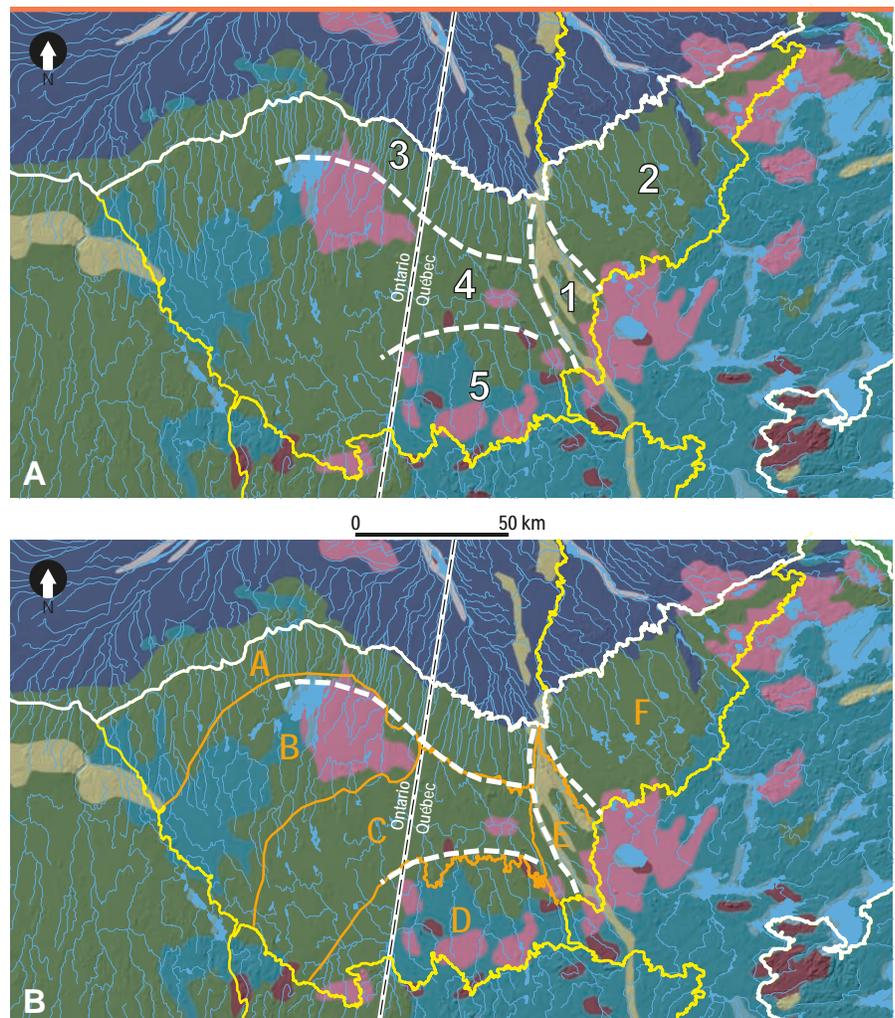
- la base de données topographiques du Québec (BDTQ);
- la base de données pour l’aménagement du territoire du Québec (BDAT);
- la base de données topographiques et administratives du Québec (BDTA);

- la base de données géographiques et administratives du Québec (BDGA);
- la base nationale de données topographiques du Canada (BNDT) (tableau 2.1).

La base de données topographiques du Québec (BDTQ 20K) à l’échelle du 1 : 20 000 comprend 25 couvertures différentes, comme les courbes de niveau, l’hydrographie, les voies de communication, des infrastructures, la végétation, des toponymes, etc.

La base de données pour l’aménagement du territoire (BDAT 100K) à l’échelle du 1 : 100 000 couvre les mêmes classes que la BDTQ 20K, mais ses sources diffèrent selon la latitude. Au sud du 51^e parallèle, elle correspond à une généralisation de la BDTQ 20K; entre le 51^e et le 53^e parallèle nord, elle fait appel à un procédé de photogrammétrie des images panchromatiques du satellite SPOT; au nord du 53^e parallèle, elle correspond à une généralisation de la base nationale de données topographiques (BNDT 50K; cf. page suivante).

Figure 2.33.
Lignes de force (A) et cartographie des ensembles physiographiques (B) de la région naturelle de la plaine de Turgeon (fond : dépôts de surface et réseau hydrographique)



- 1) Moraine interlobaire d’Harricana
- 2) Cochrane II, partie orientale
- 3) Cochrane II, partie occidentale, réseau hydrographique parallèle et dense
- 4) Cochrane I
- 5) Dépôts glacio-lacustres et organiques

Tableau 2.1. Les bases de données cartographiques

Nom	Acronyme	Échelle	Territoire couvert	Organisme responsable
Base de données topographiques du Québec	BDTQ 20K	1 : 20 000	Québec : sud du 52 ^e parallèle	MERN ¹
Base de données pour l'aménagement du territoire	BDAT 100K	1 : 100 000	Ensemble du Québec	MERN
Base de données topographiques et administratives du Québec	BDTA 250K	1 : 250 000	Ensemble du Québec	MERN
Base de données géographiques et administratives du Québec	BDGA 1M	1 : 1 000 000	Ensemble du Québec	MERN
Base nationale de données topographiques	BNDT	1 : 50 000 et 1 : 250 000	Ensemble du Canada	RNC ²

¹ MERN : ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec

² RNC : Ressources naturelles Canada

La base de données topographiques et administratives du Québec à l'échelle de 1 : 250 000 (BDTA 250K) fournit aux usagers une assise géographique et administrative à moyenne échelle sur l'ensemble du territoire québécois. En plus de son contenu sur le relief, l'hydrographie, les infrastructures majeures, elle présente des informations administratives comme les limites des régions administratives, des MRC, des municipalités, etc.

La base de données géographiques et administratives du Québec à l'échelle de 1 : 1 000 000 (BDGA 1M) provient d'une généralisation du contenu de la BDTA 250K.

La base nationale de données topographiques (BNDT), développée par Géomatique Canada, couvre l'ensemble du territoire canadien. Elle comprend les éléments habituellement représentés sur une carte topographique aux échelles de 1 : 50 000 et de 1 : 250 000 (hydrographie, courbes de niveau, végétation, infrastructures diverses, toponymie, etc.).

De nombreux utilisateurs les qualifient encore communément de cartes, car elles sont, à un moment ou à un autre, éditées sous forme de carte. Mais la tendance générale est aujourd'hui de les considérer plutôt comme une mine de données à référence spatiale que l'on peut extraire et exploiter indépendamment grâce aux progrès de la géomatique. Pour la réalisation du CER, on utilise surtout leurs composantes topographiques et hydrographiques.

2.4.2 Photographies aériennes

Depuis leur avènement, les photographies aériennes ont toujours constitué une source d'informations incontournable en cartographie écologique. Malgré tous les progrès technologiques des vingt dernières années, elles restent encore d'actualité dans la plupart des projets,

surtout dans les projets à moyenne et à grande échelle. Dans les projets à petite échelle, elles servent plutôt de source d'échantillonnage et de validation des images satellitaires. Au Québec, on a le plus souvent recours à deux échelles, le 1 : 40 000 et le 1 : 15 000; les photos de la première sont en noir et blanc, tandis que celles de la deuxième peuvent aussi être en infrarouge couleur. Les progrès technologiques font que, aujourd'hui, les photographies aériennes conventionnelles ont tendance à être remplacées par des photographies numériques. La résolution au sol du cliché prend alors le pas sur la stricte notion d'échelle. L'utilisation d'orthophotographies avec une résolution au sol de 1 m à 10 cm se généralise également.

Une orthophotographie (communément dénommée orthophoto) est une image d'un cliché aérien (numérique ou conventionnel) dont la géométrie a été redressée de sorte que chaque point soit superposable à une carte plane qui lui correspond. De cette façon, une orthophoto semble être prise à la verticale de tous les points qu'elle figure, ces points étant situés sur un terrain parfaitement plat.

Toutefois, avec les orthophotos, la possibilité de la vision stéréoscopique n'existe plus. Or, l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes, lors des inventaires de terrain, est pleine d'enseignements; elle nourrit la mémoire du photo-interprète d'une multitude de relations photo-terrain dont il tire le plus grand profit pour la cartographie finale du territoire. S'en passer est une grave erreur que l'on observe malheureusement de plus en plus aujourd'hui dans la planification et la réalisation des travaux de terrain. Affirmer ceci ne signifie pas le rejet des progrès technologiques, car ils ont rendu le travail des spécialistes en cartographie écologique très efficace. La remarque est plutôt que le fait de ne se fier qu'à la technologie amène à faire peu de cas de

la connaissance empirique et à laisser tomber des outils (les divers types de stéréoscopes, par exemple) qu'on associe prématurément à un passé révolu! Longtemps, par contre, la portée des photographies aériennes a été limitée aux cartographies à moyenne et grande échelle. Les travaux à petite échelle concernant particulièrement les niveaux supérieurs du CER qui nécessitent une vue synoptique sur de très grandes portions de territoire ont dû attendre l'arrivée des images satellitaires.

2.4.3 Images satellitaires

Elles ont atteint leur plein potentiel avec l'apport de la géomatique, qui a ouvert les portes aux traitements numériques d'une incroyable quantité d'informations et à la vision en 3D du territoire. Aujourd'hui, avec l'avènement des satellites à haute résolution comme Ikonos (1 m en noir et blanc et 4 m en couleur avec un champ d'observation de 11 km sur 11 km), Quickbird (61 cm en noir et blanc et 2,44 m en couleur avec un champ d'observation de 16,5 km sur 16,5 km), RapidEye (5 m de résolution, 77 km de largeur), sans oublier Spot, qui offre une gamme complète d'images allant de 20 m jusqu'à 2 m de résolution avec un large champ d'observation de 60 km sur 60 km, ou Landsat 7, qui offre une résolution allant de 15 m dans le panchromatique à 30 m dans le multi spectral pour un champ d'observation de 185 km sur 172 km, ou encore Radarsat 2, avec une résolution spatiale de 3 m pour un champ d'observation allant de 10 km à 30 km, les images satellitaires prennent de plus en plus de place.

2.4.4 Données LiDAR

La télédétection par laser, ou LiDAR, acronyme du terme anglais « *light detection and ranging* » ou du terme « *laser imaging detection and ranging* », est une technique de mesure de haute précision de la surface de la terre en trois dimensions fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière laser renvoyé vers son émetteur. Aujourd'hui, les données LiDAR sont très utiles à la cartographie écologique, car elles fournissent une image très détaillée du territoire, ce qui facilite l'interprétation des structures spatiales, de la géologie, des dépôts de surface, du drainage, des milieux humides, etc.

Pour en faciliter l'utilisation, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) rend disponibles quatre produits dérivés du LiDAR dans un format convivial, diffusés par feuillet cartographique à l'échelle du 1 : 20 000 :

- Un modèle numérique de terrain de résolution spatiale de 1 m;
- Un modèle numérique de terrain avec relief ombré de résolution spatiale de 2 m;
- Un modèle de la hauteur de la couverture végétale de résolution spatiale de 1 m;

- Une cartographie des pentes du terrain en huit classes et de résolution spatiale de 2 m.

D'ici à 2022, ces données seront disponibles pour la majeure partie du Québec méridional (sud du 52^e parallèle).

2.4.5 Données thématiques

Pour planifier les projets de cartographie écologique (devis techniques, inventaires de terrain, etc.), décrire les polygones cartographiques, puis les interpréter (potentiel, sensibilité, capacité de support, etc.), le CER fait appel à des informations sur la géologie, les dépôts de surface, les sols, le climat, le couvert forestier, l'utilisation du sol, etc. Pour donner une idée de ces données, voyons l'essentiel de celles qui ont été utilisées jusqu'à ce jour et dont la plus grande partie l'a été pour mener à bien les interprétations et les analyses du projet de la stratégie québécoise sur les aires protégées.

Géologie

L'information géologique provient de la carte géologique du Québec au 1 : 1 500 000 (Avramtchev, 1985), puis au 1 : 2 000 000 (Thériault, 2002; Thériault et Beauséjour, 2012). Chaque polygone de cette carte donne l'information sur la province géologique à laquelle il appartient, sur l'âge et sur la lithologie du socle rocheux. Les cartes géologiques plus détaillées, cartographiées à l'échelle de 1 : 250 000 ou 1 : 50 000 sont aussi utilisées pour le CER des niveaux inférieurs.

Dépôts de surface et sols

Quatre sources d'informations distinctes et complémentaires ont été utilisées.

- 1) La carte des pédo-paysages à l'échelle de 1 : 1 000 000 (Lamontagne, 1992, 1993; Lamontagne et Drolet, 1993), qui est une synthèse pancanadienne des cartes pédologiques habituellement dressées au 1 : 50 000 et de divers travaux d'inventaires et cartographies pour les territoires non couverts par les cartes pédologiques. L'information porte sur l'origine, la nature, l'épaisseur, la texture et la pierrosité du dépôt de surface, le drainage du sol, la forme de terrain et sa pente.
- 2) Les cartes pédologiques au 1 : 50 000 du Québec agricole distribuées par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) offrent de l'information concernant la série de sol : propriétés pédogénétiques, origine, texture, pierrosité, épaisseur de la roche mère pédologique (dépôt de surface) et drainage naturel du sol.

- 3) Les données du Système d'information écoforestière (SIEF, voir l'information forestière ci-dessous) du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec couvrent le territoire québécois approximativement au sud du 52^e parallèle. On obtient de l'information sur l'origine, la nature, la texture, la pierrosité et l'épaisseur des dépôts de surface ainsi que sur le drainage naturel des sols. L'information est cartographiée à l'échelle du 1 : 50 000.
- 4) Les données de l'inventaire du Capital-Nature du territoire de la Baie-James (Ducruc et Bérubé, 1979; Jurdant et Ducruc, 1979) et de l'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord (Ducruc, 1985). Tout comme précédemment, on a de l'information sur l'origine, la nature, la texture, la pierrosité et l'épaisseur des dépôts de surface ainsi que sur le drainage naturel des sols. Quoique la cartographie de ces territoires soit publiée au 1 : 125 000, l'information est issue de photographies aériennes à l'échelle du 1 : 40 000 ou du 1 : 60 000.

Climat

Deux séries d'informations climatiques distinctes :

- 1) Un répertoire des stations météorologiques du Québec et de leur répartition spatiale avec les données climatiques habituelles de toute station météo.
- 2) Une carte des climats du Québec (Gerardin et McKenney, 2001). Cette carte présente le Québec en 15 classes climatiques distinctes. Elle a été dressée à partir de l'analyse d'une maille territoriale de 2 km sur 2 km appliquée à un modèle numérique d'altitude dérivé des cartes topographiques au 1 : 250 000 et qualifiée par les neuf paramètres climatiques suivants :
 - Température annuelle moyenne (°C);
 - Amplitude journalière moyenne des températures (°C);
 - Température moyenne des trois mois les plus chauds (°C);
 - Température moyenne des trois mois les plus froids (°C);
 - Précipitation annuelle totale (mm);
 - Précipitation des trois mois les plus chauds (mm);
 - Précipitation des trois mois les plus froids (mm);

- Durée annuelle moyenne de la saison de croissance (jours);
- Nombre annuel de degrés-jours de croissance (°C).

Information forestière

L'information forestière est fournie par le SIEF. La base de cette information concerne le couvert forestier, dont la cartographie est dressée au 1 : 20 000 (type de couvert, groupement d'essences, âge, hauteur, perturbations, etc.), mais aussi, comme nous l'avons signalé un peu plus haut, les dépôts de surface, dont la cartographie est de l'ordre du 1 : 50 000. Ces données sont aujourd'hui publiques.

Information biologique

En premier lieu, on retrouve la cartographie des espèces menacées et vulnérables (plantes vasculaires, faune vertébrée et invertébrée) qui provient du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ); l'information couvre l'ensemble du territoire québécois.

En second lieu, la cartographie de l'indice de qualité de l'habitat (IQH) des espèces suivantes : le cerf de Virginie, la gélinotte huppée, le grand pic, le lièvre d'Amérique, la martre d'Amérique, l'orignal, l'ours noir, la paruline couronnée, la sittelle à poitrine rousse pour le milieu terrestre et l'omble de fontaine pour le milieu aquatique. L'IQH est un modèle mathématique qui prend en considération les besoins des espèces. Pour les espèces terrestres, ces besoins s'expriment généralement par la composition et la structure de la végétation, tandis que pour les espèces aquatiques, les besoins sont définis par la qualité de l'eau, la nature du substrat, la vitesse du courant et la pente du cours d'eau. La cartographie de ces IQH couvre le Québec forestier au sud du 52^e parallèle.

Utilisation et occupation du territoire

De nombreuses informations traitant de l'utilisation et de l'occupation du territoire ont été incorporées au serveur.

- 1) Tout d'abord, une cartographie de l'utilisation du sol, dressée à partir d'une classification d'images du satellite Landsat 7 réalisée en collaboration par plusieurs ministères et organismes (Service canadien de la faune et coll., 1999-2003); elle couvre une grande partie du Québec agricole. La résolution de l'image est de 25 m sur 25 m.
- 2) À la suite d'une entente de service avec la Financière agricole du Québec (FAQ), la base de données des cultures généralisées (BDCCG) est également intégrée au serveur. Le produit est constitué de polygones représentant les parcelles agricoles assurées par les producteurs dans les programmes

de la FAQ. Ces polygones ont été généralisés et regroupés selon la culture déclarée par l'assuré. Les classes utilisées sont les suivantes : foin, maïs, blé, orge, avoine, soya, canola, autres céréales, maraîcher, petits fruits, pas d'information.

- 3) Une série d'informations à caractère administratif comme :
 - la cartographie des unités d'aménagement forestier (UAF); cette couverture numérique présente les unités d'aménagement forestier pour l'ensemble du Québec méridional. La base géographique de référence est le Québec méridional à l'échelle de 1 : 1 250 000;
 - la cartographie des territoires fauniques; cette section décrit les différents types de territoires ayant un statut particulier ou faisant l'objet d'une protection particulière à l'égard de la faune en vertu de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune;
 - la cartographie des claims miniers et des baux de villégiature; ces deux cartographies produites par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles couvrent l'ensemble du territoire québécois.

Réseau hydrographique

La majeure partie des données requises pour la production du CER mentionnées ci-dessus est disponible et peut être aisément obtenue en format électronique. Par contre, certaines données, quoiqu'indispensables, ne sont pas disponibles et on doit les produire. C'est le cas d'une part importante des données nécessaires pour considérer les aspects aquatiques du territoire. Les plans d'eau et les cours d'eau sont, dans l'ensemble, bien cartographiés, mais nous n'avons qu'une image statique du réseau hydrographique. Or, pour caractériser le territoire de manière intégrée comme le propose le CER, la dimension dynamique du réseau hydrographique (le sens de l'écoulement, les relations amont aval) et la magnitude des flux des eaux de surface sont indispensables. Ces données sur la dynamique du réseau et sur la magnitude des flux ont autant d'importance à l'égard des aspects aquatiques que les données altimétriques (courbes de niveau et données topographiques) en ont pour traiter les aspects terrestres.

Donc, pour représenter le sens d'écoulement et la magnitude des flux de surface en tout point du territoire, on doit produire des modèles d'écoulement de surface (une abstraction de la réalité) qui met à profit l'ensemble des données hypsométriques et hydrographiques d'une base de données topographiques; ces modèles reposent, simultanément, sur une structure vectorielle et une

structure matricielle. La première, composée de lignes, de points et de règles topologiques, représente le réseau hydrographique de surface observable. La deuxième, en format matriciel, traduit, en premier lieu, les directions des écoulements de surface et, en second lieu, leur accumulation; elle couvre le territoire au complet et tient compte ainsi de tous les écoulements de surface même s'ils sont éphémères, diffus ou trop faibles pour être cartographiés.

En pratique, on structure d'abord le réseau hydrographique vectoriel afin de représenter le réseau hydrographique de surface observable. Une fois structuré, ce réseau hydrographique est combiné aux données hypsométriques, ce qui permet la production, par interpolation matricielle, d'un MNA. C'est à partir de ce MNA que sont dérivées les informations sur la pente, l'exposition, la direction et l'accumulation d'écoulement.

Réseau hydrographique vectoriel topologique

Dans les informations numériques disponibles, le réseau hydrographique est représenté à la fois par des lignes (petits cours d'eau) et par des polygones (grands cours et plans d'eau). La connectivité entre toutes les parties est établie sur la base de lignes que l'on crée à l'intérieur des polygones (figure 2.34). On les produit à l'aide d'algorithmes basés sur le concept des polygones de Thiessen ou de Voronoï (Thiessen, 1911; Croley et Hartmann, 1985; Fortune, 1987). On crée ainsi un réseau logique basé sur la théorie des graphes mathématiques (Pemmaraju et Skiena, 2003) dans lequel on connaît, pour chaque jonction, la relation spatiale entre les segments et le sens d'écoulement de chacun d'eux (figure 2.34). Chaque ligne constituant le réseau est alors orientée (par le sens de numérisation) suivant le sens d'écoulement de l'eau.

La topologie décrit les relations spatiales entre les entités d'une couche d'information géographique.

Un réseau géométrique associe entre elles plusieurs classes d'entités spatiales. Il permet de créer des relations spatiales entre des points et des lignes, de réaliser des analyses de réseau et de calculer la direction des flux en attribuant, à certaines jonctions, les propriétés de source ou d'exutoire.

Un graphe est une représentation symbolique d'un réseau : c'est une abstraction de la réalité qui permet sa modélisation. De manière générale, un graphe permet de représenter simplement la structure, les connexions, les cheminements possibles d'un ensemble complexe comprenant un grand nombre de situations, en exprimant les relations, les dépendances entre ses éléments, réseau de communication, réseaux ferroviaire ou routier, réseau hydrographique.

(Gachet, 2004)



Figure 2.34. Création des lignes centrales et intégration du sens d'écoulement

Le réseau hydrographique est organisé selon les ordinations de Strahler (1957) et de Horton (1945). L'ordination de Strahler débute à la source des cours d'eau (cours d'eau de tête de bassin); tout cours d'eau sans affluent dont l'écoulement est permanent se voit attribuer la valeur 1. Ensuite, on incrémente la valeur attribuée à chaque segment de cours d'eau situé en aval à la confluence de deux cours d'eau d'ordre égal. À la confluence d'un cours d'eau d'ordre inférieur avec un cours d'eau d'ordre supérieur, c'est le numéro d'ordre de ce dernier qui subsiste (figure 2.35). On calcule l'ordre

de Horton en attribuant à des ensembles de lignes constituant un cours d'eau (de sa tête à son embouchure) l'ordre de Strahler maximal rencontré. L'organisation hiérarchique de Horton va servir de base à un système de référence linéaire pour se localiser sur le réseau. Ainsi, à chaque segment du réseau hydrographique, on attribue un numéro de route. Tous les segments adjacents de même ordre ont évidemment le même numéro. Ce système permet de se localiser en tout point sur le réseau à l'aide des fonctionnalités d'adressage basées sur la position d'un événement sur une route (figure 2.36).

Les données altimétriques (courbes de niveau, points cotés, contours des plans d'eau, etc.) et le sens des écoulements de l'eau de surface sont intégrés dans un calcul d'interpolation matricielle pour produire un MNA hydrologiquement cohérent (figure 2.37). Grâce à ce MNA, on peut alors modéliser la direction des écoulements de l'eau à la surface du sol en appliquant la méthode « D8 », développée d'abord par O'Callaghan et Mark (1984), puis par Jenson et Domingue (1988), ou des méthodes dérivées plus « sophistiquées » dans les cas de terrains faiblement accidentés (Tarboton, 1997; Orlandini et coll., 2003, Wang et Liu, 2006; Kenny et coll., 2008).

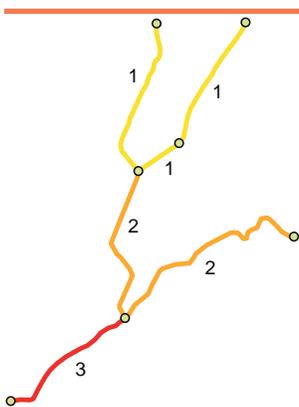


Figure 2.35. Intégration de l'ordination de Strahler

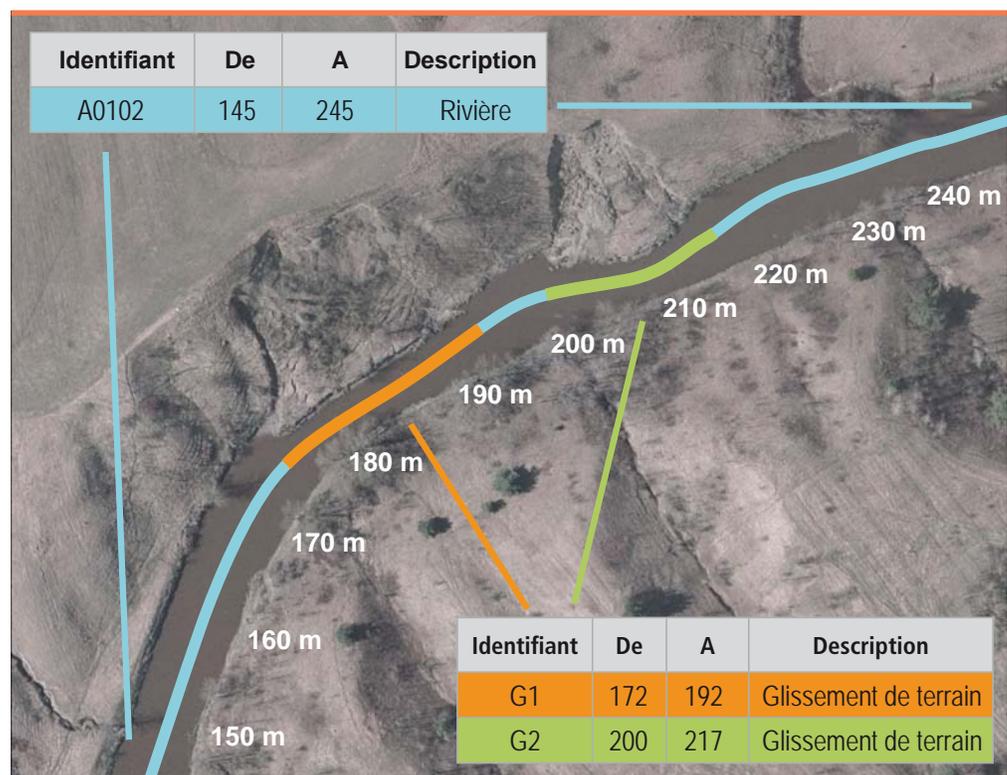


Figure 2.36. Création d'un système de référence linéaire

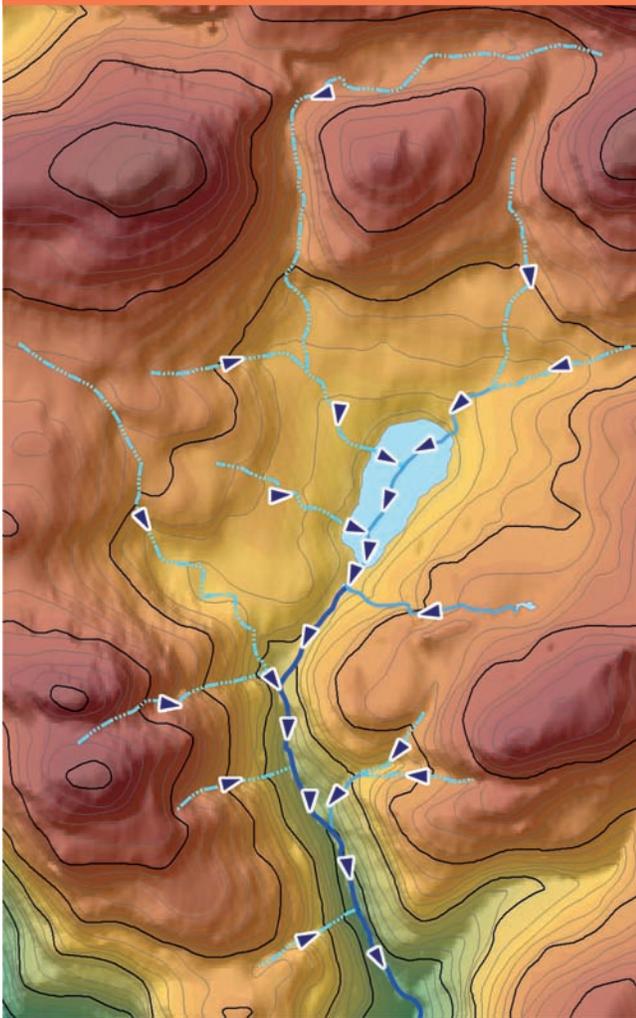


Figure 2.37. Création d'un modèle numérique d'altitude hydrologiquement cohérent

Une fois ces modélisations en place, on peut automatiquement déterminer, en tout point du territoire, la superficie amont qui l'alimente, c'est-à-dire son bassin versant. On se sert du réseau hydrographique structuré pour organiser, de manière logique, l'ensemble des aires de contribution de chacun de ses éléments (segments de cours d'eau, lacs, milieux humides, etc.). Il est aussi possible de calculer, à l'aide d'algorithmes appropriés, plusieurs indices liés à l'écoulement de l'eau à la surface du sol : l'accumulation de surface drainée, la pente d'écoulement, la distance parcourue par l'écoulement et l'indice de saturation des sols qui intègre la pente locale et l'accumulation de surface drainée (Beven et Kirkby, 1979) (figure 2.38).

Toutes ces informations ont une importance cruciale pour les interprétations territoriales du CER grâce auxquelles se matérialise l'intégration des dimensions terrestres et aquatiques.

2.4.6 Outils de terrain

À côté des outils traditionnels que sont le stéréoscope, la pelle, la sonde pédologique ou encore l'appareil photo aujourd'hui numérique qui ont toujours cours lors des campagnes de terrain, l'ordinateur a supplanté le carnet de notes et les fiches papier. Par rapport à l'époque du « tout papier », la prise de notes est maintenant facilitée par l'information stockée dans l'ordinateur de terrain, que l'écologue peut consulter en temps réel. Cette information est évidemment fonction du projet, mais, de façon générale, elle contient les rubriques suivantes :

- les découpages cartographiques produits lors de la photo-interprétation préliminaire;
- les fonds de cartes nécessaires et adaptés au projet en cours (p. ex., BDTQ 20K, utilisation du sol);
- les orthophotos du territoire à inventorier;
- les fiches de terrain numériques conçues et adaptées au projet en cours;
- un vade-mecum des relevés écologiques sous la forme de menus déroulants (domaines de valeurs) pour chaque rubrique descriptive (localisation, topographie, géologie, dépôt de surface, description pédologique, couvert végétal, etc.);
- un champ « Note » qui permet de circonvier aux cas non prévus par le vade-mecum, mais effectivement rencontrés sur le terrain;
- chaque prise de notes est géoréférencée directement sur le terrain grâce au système de géoréférence spatiale (GPS) intégrée à l'ordinateur de terrain.

L'utilisation de l'ordinateur de terrain minimise les risques d'erreur par rapport à la prise de données manuelles, car les identifications ou les combinaisons de descripteurs erronées ne s'enregistrent pas et son contenu est directement transféré, sans aucune manipulation, dans l'ordinateur de bureau.

2.4.7 Outils de gestion des données

La géomatique repousse toujours un peu plus les limites du possible dans la production, la consultation et l'analyse de données à référence spatiale. En retour, elle amène de grands défis dans leur gestion. Cette facilité d'être aujourd'hui capable de multiplier l'information existante débouche souvent sur de sérieuses difficultés dans la production et l'analyse de données. Ainsi, la confusion s'installe rapidement lorsqu'on se retrouve devant un grand nombre de versions de la même information traitée par différentes personnes. L'utilisation d'un serveur central

de données et d'outils de gestion permettant l'édition à utilisateurs multiples s'impose pour éviter ces risques élevés de confusion. Grâce à ces outils, on peut faire un suivi rigoureux de l'évolution de la production des données, car ils gardent en mémoire les éventuelles modifications effectuées par les différents utilisateurs. Le CER est produit et consulté au moyen d'une telle structure informatique; pour qu'elle soit efficace, elle doit répondre à des règles topologiques rigoureuses établies par l'équipe de production et appliquées par le serveur central. Le serveur central de données permet ainsi à plusieurs membres de

l'équipe de production du CER de consulter simultanément et efficacement une très grande quantité de données à référence spatiale. Toute une panoplie de données y est stockée; ce sont surtout des données cartographiques accompagnées de fichiers descriptifs. Elles constituent le « noyau dur » de l'information à laquelle les membres de l'équipe font quotidiennement appel. Elles sont consultées et utilisées à tout moment, aussi bien par les photo-interprètes lorsqu'ils dressent la cartographie écologique de base que par les analystes lorsqu'ils montent les interprétations et les applications de la carte écologique.

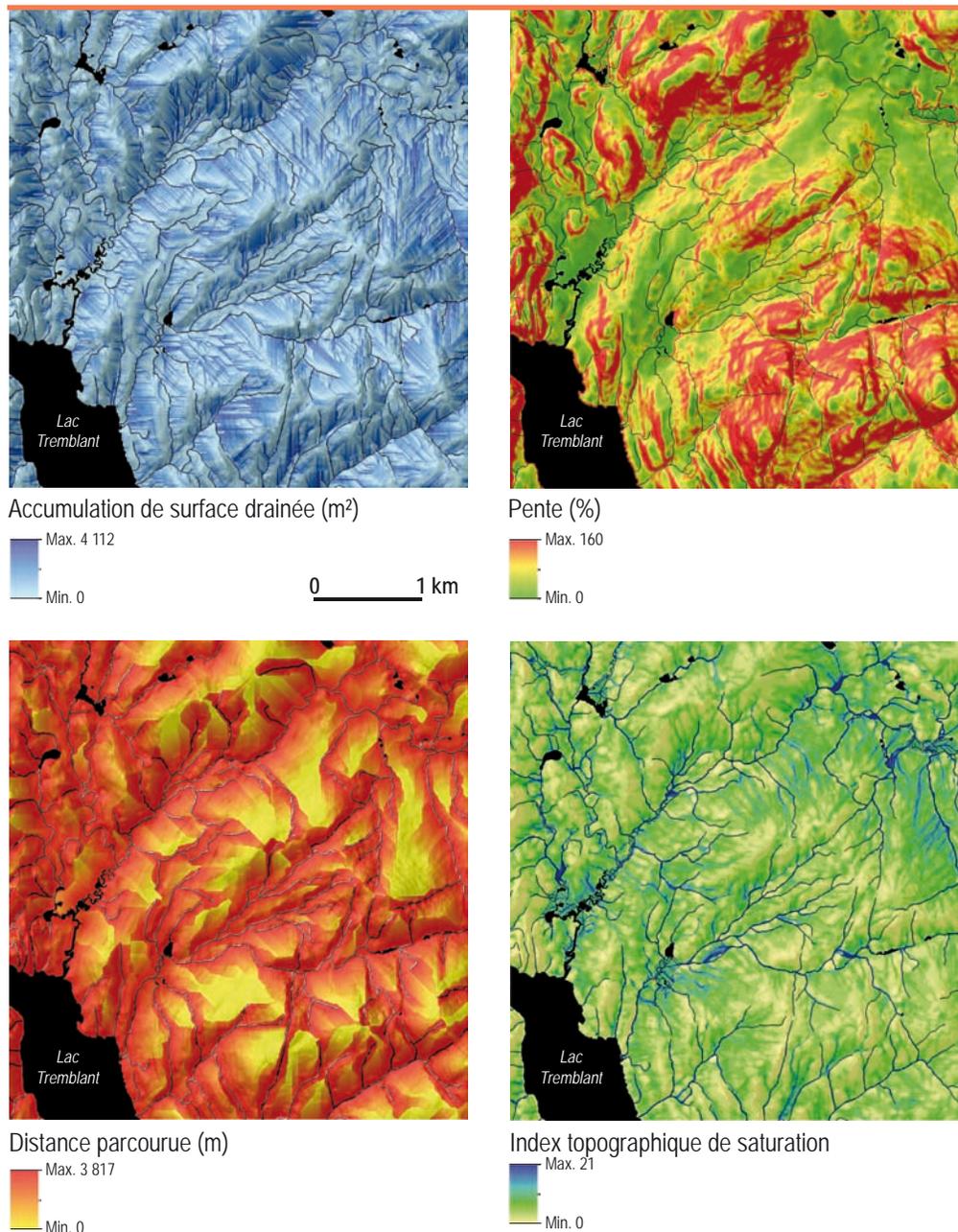


Figure 2.38. Indices d'écoulement de surface :
 accumulation de surface (m²); pente (%); distance (m); index topographique

2.5 Références bibliographiques

- AVRAMTCHEV, L. 1985. *Carte géologique du Québec au 1 : 1 500 000*. Québec, ministère des Ressources naturelles.
- BAILEY, R. G., 1996. *Ecosystem Geography*. New York, Springer Verlag, 204 p. + 2 cartes hors-texte.
- BAILEY, R. G., R. D. PFISTER et J. A. HENDERSON, 1978. « Nature of land and resource classification: a review ». *Journal of Forestry*, vol. 76, n° 10, p. 650-655.
- BEVEN, K. J., et M.-J. KIRKBY, 1979. « A physically based, variable contributing area model of basin hydrology ». *Hydrological Sciences Bulletin*, vol. 24, p. 43-69.
- BOUCHER, F., J.-BISSONNETTE, T. LI et C. SEUTHÉ, 1994. *Apport de la télédétection et des capacités de la géomatique à la cartographie écologique à petite échelle*. Québec, Projet conjoint entre la Direction de la conservation et du patrimoine écologique du ministère de l'Environnement et de la Faune et le Service des technologies à référence spatiale du ministère des Ressources naturelles, Rapport final B9405RO2, 65 p.
- CHRISTIAN, C. S., 1959. « The eco-complex in its importance for agricultural assesment ». Dans Keast A., R.L. Crocker et C. S. Christian (dir.) *Biogeography and Ecology in Australia*, série Monographiae Biologicae, vol. 8, p. 587-605.
- CORBÉ, C., 2004. « La vision ». *J3eA*, numéro hors-série 1, 7 p. [En ligne], [[dx.doi.org/10.1051/bib-j3ea:2004601](https://doi.org/10.1051/bib-j3ea:2004601)].
- CROLEY, T. E., et H. C. HARTMANN, 1985. « Resolving Thiessen polygons ». *Journal of Hydrology*, vol. 76, n° 3 4, p. 363-379.
- DUCRUC, J.-P., 1985. *L'analyse écologique du territoire au Québec – L'inventaire du Capital-Nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord*. Environnement Canada, Environnement Québec, série d'inventaire du Capital-Nature, n° 6, 145 p.
- DUCRUC, J.-P., et D. BÉRUBÉ, 1979. *Le système écologique : unité de base de la cartographie écologique du territoire de la Baie-James*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 10, 64 p. (également en version anglaise).
- DYKE, A. S., 2004. « An outline of North American deglaciation with the emphasis on central and northern Canada ». Dans Ehlers, J., et P.L. Gibbard (dir.), *Quaternary Glaciation – Extent and Chronology, part II : North America*, Elsevier B.V., p. 373-424.
- EGLER, F. E., 1942. « Vegetation as an object of study ». *Philosophy of Science*, vol. 9, n° 3, p. 245-260.
- FORTUNE, S., 1987. « A Sweepline Algorithm for Voronoi Diagrams ». *Algorithmica*, vol. 2, n° 1, p. 153-174.
- GACHET, A. 2004. *Building Model-Driven Decision Support Systems with Dicosess*. Zurich, VDF, 258 p.
- GELUCK, P., 2006. *Le tour du chat en 365 jours*. Paris, Éditions Play Bac.
- GERARDIN, V., et D. MCKENNEY, 2001. *Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, 40 p.
- GRIGG, D., 1965. « The logic of regional systems ». *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 55, n° 3, p. 465-491.
- JENSON, S. K., et J. O. DOMINGUE, 1988. « Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis ». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 54, n° 11, p. 1593-600.
- HORTON, R. E., 1945 « Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology ». *GSA Bulletin*, vol. 56, n° 3, p. 275-370.
- JURDANT, M., et J.-P. DUCRUC, 1979. *Carte écologique du territoire de la Baie-James : districts écologiques et géomorphologie (légende détaillée)*. Ottawa, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire, n° 11, 30 p. + 1 carte.
- KENNY, F., B. MATTHEWS et K. TODD, 2008. « Routing overland flow through sinks and flats in interpolated raster terrain surfaces ». *Computers and Geosciences*, vol. 34, n° 11, p. 1417-1430.
- KOESTLER, A., 1969. « Beyond atomism and holism – the concept of the holon ». Dans Koestler, A, et J. R. Smithies (dir.), *Beyond reductionism : New perspectives in the life sciences*. Londres, Hutchinson of London, p. 192-216.
- LAMONTAGNE, L., 1992. *Pédo-paysage du Canada, Québec-Central*. Inventaire des terres du Canada, Équipe pédologique du Québec, Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Sainte-Foy. Contribution n° 92 130, 1 carte au 1 : 1 000 000.
- LAMONTAGNE, L., 1993. *Pédo-paysage du Canada, Québec-Sud-Est*. Inventaire des terres du Canada, Équipe pédologique du Québec, Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Sainte-Foy. Contribution n° 92 195, 14 p. + 1 carte au 1 : 1 000 000.
- LAMONTAGNE, L., et J. Y. DROLET. 1992. *Pédo-paysage du Canada, Québec-Sud-Ouest*. Inventaire des terres du Canada, Équipe pédologique du Québec, Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Sainte-Foy. Contribution n° 89-02, 32 p. + 1 carte au 1 : 1 000 000.
- NAVEH, Z., 2001. « Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 57, n° 3 4, p. 269-284.
- NAVEH, Z., et A. S. LIEBERMAN, 1994. *Landscape Ecology. Theory and application, 2e édition*. New York, Springer Verlag, 360 p.

- O'CALLAGHAN, J. F., et D. M. MARK, 1984. « The extraction of drainage networks from digital elevation data ». *Computer Vision, Graphics, and Image Process*, vol. 28, no 3, p. 323-344.
- ORLANDINI, S., G. MORETTI, M.-FRANCHINI, B. ALDIGHERI et B. TESTA, 2003. « Path-based methods for the determination of nondispersive drainage directions in grid-based digital elevation models ». *Water Resources Research*, vol. 39, n° 6, p. 1144/1-8.
- PEMMARAJU, S., et S. SKIENA, 200. *Computational Discrete Mathematics: Combinatorics and Graph Theory in Mathematica*. Chapitre 8, sections 8.1.2, « All-Pairs Shortest Paths », et 8.5.2, « Transitive Closure and Reduction », Cambridge, Cambridge University Press, p. 330-331 et 353-356.
- ROWE, J.-S., 1961. « The level of integration concept and ecology ». *Ecology*, vol. 42, n° 2, p. 420-427.
- ROWE, J.-S., 1993. « Eco-diversity. The key to biodiversity ». Dans Iacobelli, T., K. Kavanagh et S. Rowe, *A protected areas gap analysis methodology: planning for the conservation of biodiversity*, Toronto, Fonds mondial pour la nature, p. 2-9.
- ROWE, J.-S., et J. W. SHEARD. 1981. « Ecological land classification: a survey approach ». *Environmental Management*, vol. 5, n° 5, p. 451-464.
- SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE et COLL., 2004. *Occupation du sol à partir des images classifiées Landsat 7, Sud du Québec, 1999-2003*. Québec, Environnement Canada, région du Québec.
- SCHULTZ, A. M., 1969. « A study of an ecosystem: The arctic tundra ». Dans Van Dine, G. M. (dir.), *The ecosystem concept in natural resource management*, New York, Academic Press, p. 77-93.
- SMUTS, J. C., 1926. *Holism and evolution* (2^e édition, 1971). New York, Viking Press, 319 p.
- STRAHLER, A., 1957. « Quantitative analysis of watershed geomorphology ». *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 38, n° 6, p. 913-920.
- SOKAL, R. R., 1974. « Classification: purposes, principles, progress, prospects ». *Science*, vol. 185, n° 4157, p. 1115-1123.
- TANSLEY, A. G., 1935. « The use and abuse of vegetational concepts and terms ». *Ecology*, vol. 16, n° 3, p. 284-307.
- TARBOTON, D. G., 1997. « A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models ». *Water Resources Research*, vol. 33, n° 2, p. 309-319.
- THÉRIAULT, R., 2002. *Carte géologique du Québec – Édition 2002*. Québec, ministère des Ressources naturelles, DV 2002-06, 8 p. + carte.
- THÉRIAULT, R., et S. BEAUSÉJOUR, 2012. *Carte géologique du Québec – Édition 2012*. Québec, ministère des Ressources naturelles, DV 2012-06, 8 p. + carte.
- THIESSEN, A. H., 1911. « Precipitations average for large areas ». *Monthly Weather Review*, vol. 39, p. 1082-084.
- WANG, L., et H. LIU, 2006. « An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling ». *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 20, n° 2, p. 193-213.
- WEISS, P. A., 1969. « The living system: determinism stratified ». Dans Koestler, A., et J. R. Smithies (dir.), *Beyond reductionism: New perspectives in the life sciences*. Londres, Hutchinson of London, p. 3-55.
- YARBUS, A. L., 1967. *Eye Movements and Vision*. New York, Plenum Press, 222 p.
- ZONNEVELD, I. S., 1990. « Scope and concepts of landscape ecology as an emerging science ». Dans Zonneveld, I.S., et R. T. Forman (dir.), *Changing landscapes: an ecological perspective*, New York, Springer Verlag, p. 3-20.

Partie II

APPLICATION DU CADRE ÉCOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE

Chapitre 3 - Le cadre écologique de référence du Québec et la planification du réseau québécois des aires protégées

Chapitre 4 - Le CER, outil de connaissance, de caractérisation et d'aménagement des paysages

Chapitre 5 - Applications du CER au Chili



Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

CHAPITRE 3

Le cadre écologique de référence du Québec et la
planification du réseau québécois des aires protégées

Frédéric Poisson et Vincent Gerardin



CHAPITRE 3

Le cadre écologique de référence du Québec et la planification du réseau québécois des aires protégées

Petite-Rivière-Saint-François, Charlevoix

Par Frédéric Poisson¹ et Vincent Gerardin²

Préambule

Gerardin et ses collaborateurs (2002) publiaient dans la revue électronique *VertigO* une première version de l'approche méthodologique de la planification du réseau d'aires protégées du Québec adoptée par le ministère de l'Environnement³. Cette approche, avec quelques modifications d'ordre technique, a été suivie tout au long des années. Brassard et ses collaborateurs (2010) ont dressé un premier bilan des travaux à la suite de l'atteinte du premier objectif fixé par le gouvernement de couvrir au moins 8 % du Québec en aires protégées. Ce bilan soulignait plusieurs lacunes dans l'application des concepts, dans la méthodologie, dans la représentativité du réseau. Il dénonçait surtout la quasi-absence d'aires protégées en milieu marin et en milieu rural. La complexité des enjeux liés à la protection de territoires est telle que les critères intervenant dans les décisions politiques ne se limitent pas aux seuls écosystèmes ou à la seule diversité biologique, beaucoup s'en faut.

Le texte qui suit n'a pas la prétention de décrire dans ses moindres détails l'approche complète, et forcément évolutive, que le gouvernement du Québec a suivie dans son programme de création d'un réseau d'aires protégées. L'objectif est plutôt de souligner l'apport fondamental du cadre écologique de référence du Québec dans cette démarche de longue haleine.

3.1 Introduction

La Convention sur la diversité biologique (Nations Unies, 1992) a été adoptée en juin 1992 au Sommet de la Terre, à Rio de Janeiro, au Brésil. Le gouvernement canadien, avec l'appui des provinces et des territoires, a ratifié cette convention le 4 décembre 1992. Dans la foulée de la Stratégie canadienne de la biodiversité, le Québec s'est doté d'une Stratégie sur la biodiversité assortie d'un Plan d'action sur la biodiversité (1996-2000). Le ministère de l'Environnement a dressé un premier bilan sur les aires protégées du Québec (Ministère de l'Environnement, 1999), bilan qui soulignait le besoin pressant de combler les lacunes en la matière, notamment par rapport à la moyenne mondiale.

Pour remédier à la situation, le gouvernement a proposé un Plan d'action stratégique sur les aires protégées (Gouvernement du Québec, 2002) qui donnait mandat au ministère de l'Environnement de mettre en place un réseau d'aires protégées au Québec. Ce mandat précisait les superficies à couvrir (8 % du Québec), l'échéancier à respecter (cinq ans) et, surtout, la nécessité que ce réseau soit représentatif de la biodiversité du Québec et qu'il prenne en considération les dimensions socioéconomiques. Cela représentait plusieurs défis de taille, notamment les suivants :

- Quadrupler en cinq ans la superficie d'aires protégées mises en place au cours des 100 dernières années (le premier parc de conservation⁴ ayant été créé en 1893), en favorisant les catégories

¹ Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

² Consultant et membre de l'équipe du Cadre écologique de référence du Québec de 1967 à 2006

³ Aujourd'hui le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

⁴ Dont le sens profond ne correspond pas à celui aujourd'hui donné à une telle appellation.

I à III de l'Union mondiale pour la conservation⁵ de la nature (UICN, Dudley, 2008), ce qui soustrairait plus de 135 000 km² du territoire à toute activité industrielle d'exploitation des ressources;

- Évaluer la diversité biologique d'un territoire de près de 1,7 million de kilomètres carrés;
- Évaluer la contribution du réseau d'aires protégées existant à la représentativité de la diversité biologique;
- Intégrer les objectifs de conservation, les volontés citoyennes et les autres usages du territoire.

Pour accomplir ce mandat de taille, le Ministère devait posséder des outils légaux et scientifiques. Côté légal, le gouvernement du Québec a adopté en 2002 la Loi sur la conservation du patrimoine naturel (LCPN; L.R.Q., chapitre C.-61.01). Cette loi ajoutait, entre autres, deux nouveaux statuts d'aires protégées généralistes (réserve de biodiversité et réserve aquatique), ouvertes aux activités non industrielles (catégorie III), ainsi qu'un statut de catégorie V (paysage humanisé), couvrant des territoires habités. Ces trois nouveaux statuts, moins restrictifs que les statuts existants de réserve écologique ou de parc national, permettent certaines activités telles la chasse, la coupe de bois de chauffage ou l'utilisation de véhicules tout-terrain et de motoneiges.

Sur le plan scientifique, le gouvernement devait s'assurer d'une démarche rigoureuse pour analyser la biodiversité du Québec et la protéger de manière représentative. Cette préoccupation a guidé la démarche méthodologique de sélection des territoires candidats : l'établissement d'aires protégées. Développé depuis plus de 40 ans sur la base des travaux de Jurdat et de ses collaborateurs (Jurdat et coll., 1977), il a été décidé que le cadre écologique de référence du Québec serait l'outil de connaissance écologique sur lequel reposeraient l'analyse de la biodiversité et la sélection de territoires d'intérêt pour la conservation en vue d'en faire des aires protégées.

3.2 Fondements conceptuels et méthodologiques

Le plus grand défi pour créer un réseau d'aires protégées représentatives de la diversité biologique d'un territoire est la capacité de caractériser et de localiser, à un même niveau de perception, les éléments qui la constituent (Noss, 1987). Une partie de la réponse à ce défi repose sur les bases conceptuelles propres au cadre écologique de référence du Québec (cf. chapitre 2) : l'approche holistique et l'écosystème considéré comme une

entité cartographique. L'autre partie fait appel aux éléments reconnus dans la littérature sur la biologie de la conservation, comme les notions de filtre brut, de représentativité et d'efficacité écologique.

La biodiversité

Le terme de diversité biologique, ou biodiversité, apparaît avec l'adoption de la Convention sur la diversité biologique en 1992. S'en inspirant fortement, la Loi sur la conservation du patrimoine naturel adopté en 2002 la définit comme « la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris des écosystèmes terrestres, marins, estuariens et dulçaquicoles, ainsi que des complexes écologiques dont ils font partie; ces termes comprennent aussi la diversité au sein des espèces et entre espèces de même que celle des écosystèmes ».

La figure 3.1 (page suivante) illustre cette définition plurielle de la diversité biologique.

Devant cette définition complexe, comment le cadre écologique de référence du Québec (CERQ), qui repose sur la caractérisation de l'organisation spatiale des biotopes, peut-il prétendre appréhender toutes les autres dimensions? Rappelons cependant qu'il ne faut pas seulement décrire cette biodiversité, mais qu'il incombe d'en connaître aussi sa répartition spatiale.

L'écosystème

L'écosystème est formé par les liens et les interactions dynamiques de deux composantes, le biotope, ou milieu physique (climat, géologie, relief, sols et eau), qui soutient la biocénose (règles végétal et animal) (Tansley, 1935).

Dans le CERQ, la reconnaissance et la cartographie des écosystèmes reposent sur leur dimension physique, base stable conditionnant la nature et la dynamique de leurs biocénoses (cf. chapitre 2). Elles s'appuient sur deux concepts complémentaires :

- une approche holistique du territoire dans laquelle l'univers est vu comme une organisation ordonnée selon une « hiérarchie de systèmes stratifiés à niveaux multiples » (Naveh et coll., 1994; Naveh, 2000; O'Neill et coll., 1986; Mateo, 1984);
- une approche écosystémique qui reconnaît entre autres les réalités géographique et cartographique de l'écosystème, ce qui est, dans les faits, l'application de la définition initiale proposée par Tansley en 1935 et, depuis, reprise par toute l'école de pensée de l'écologie du paysage (Troll, 1971; Bertrand, 1972; Klijn et coll., 1994; Zonneveld, 1995; Bailey, 1995).

⁵ Cette vision de la conservation évolue cependant, notamment par la création des catégories IV à VI de l'UICN.



Figure 3.1. Les niveaux de la diversité biologique (Poisson et coll., 2016)

Ainsi, les écosystèmes sont appréhendés selon « un système hiérarchique de niveaux de perception emboîtés les uns dans les autres partant de l'écosystème global jusqu'à la plus petite portion de territoire » (Rowe, 1995).

Le filtre brut

Aborder la biodiversité par la connaissance des espèces et de leurs associations en communautés végétales ou encore par la diversité génétique inter et intraspécifique est une tâche colossale, voire impossible dans le cadre des travaux qui nous intéressent puisqu'il s'agit de couvrir un territoire d'environ 1,7 million de kilomètres carrés.

C'est pourquoi, à l'instar de plusieurs auteurs (Hunter et coll., 1988; Iacobelli et coll., 1995), l'approche proposée aborde la biodiversité par la diversité des biotopes, dimension physique des écosystèmes (composition et répartition spatiale). C'est la base de la notion du filtre brut (ou filtre grossier) dont le postulat prétend que, peu importe l'échelle ou le niveau de perception, plus grande est la diversité des biotopes, plus grande est la probabilité de saisir des échantillons représentatifs de la biocénose associée.

Aussi, même si le terme biodiversité impose sans équivoque le vivant comme élément à considérer, on ne peut protéger les organismes vivants sans tenir compte de leurs biotopes (Rowe, 1995). D'ailleurs, la destruction progressive des « habitats » par les activités humaines n'est-elle pas la cause la plus fréquemment évoquée pour expliquer la diminution de la biodiversité et de ses éléments vivants?

Le filtre fin

Cependant, la maille du filtre brut étant parfois trop grossière pour saisir des éléments singuliers de la diversité biologique *stricto sensu*, il est souhaitable d'appréhender cette biodiversité à des niveaux plus fins comme celui des communautés végétales (Rodriguez et coll., 2011) ou celui des listes répertoriées d'espèces rares. C'est le niveau du filtre fin, qui sera peu traité ici puisqu'il ne relève pas des capacités intrinsèques du CERQ, bien qu'il fasse partie intégrante de la méthodologie de choix de territoires d'intérêt pour la conservation.

La représentativité

Si le principe de représentativité est a priori simple à comprendre, son application l'est moins quand il s'agit de tenir compte de la biodiversité d'un vaste territoire comme celui du Québec. Dans le cas des aires protégées, la prise en compte de la représentativité consiste à mettre en place un réseau de territoires voués à la conservation écologiquement et géographiquement bien répartis afin de constituer un ensemble d'échantillons qui englobe la diversité – tout au moins connue – des écosystèmes et des espèces existants sur l'ensemble du territoire de référence.

L'analyse de carence

L'analyse de carence et son complément, l'analyse de contribution, s'inspirent de la méthode du *gap analysis* utilisée en économie et en management, adaptée au domaine de la conservation (Scott et coll., 1993). Carence et contribution sont des indicateurs de l'atteinte de la

représentativité. L'analyse de contribution mesure l'apport du réseau d'aires protégées à l'atteinte des objectifs de représentativité, tandis que l'analyse de carence mesure l'écart entre le niveau de protection atteint dans un territoire de référence et la représentativité recherchée. Par le fait même, les valeurs de carence mettent en évidence les éléments de la biodiversité d'un territoire qui ne sont pas encore intégrés dans le réseau d'aires protégées et fixent, en quelque sorte, les objectifs à poursuivre.

L'efficacité

L'efficacité réfère à la capacité de chacune des aires protégées et de l'ensemble du réseau de maintenir à long terme les processus naturels des écosystèmes protégés. En effet, il ne suffit pas qu'un réseau d'aires protégées soit représentatif, encore faut-il qu'il soit efficace à long terme. Cette efficacité est assurée par une attention particulière portée à la localisation de l'aire protégée, à sa superficie, à sa forme, à son niveau de naturalité, à sa connectivité au sein du réseau (Brassard et coll., 2010) et aux activités humaines qui l'entourent. Ces derniers critères ne sont cependant pas véritablement liés à l'utilisation du CERQ, mais plutôt au design des aires protégées et du réseau qu'elles forment.

Le cadre écologique de référence du Québec, outil d'analyse de la biodiversité

La cartographie et les typologies descriptives de la partie physique des écosystèmes, les biotopes, reposent sur les formes de terrains (relief), la nature de l'assise rocheuse (géologie) et le type de dépôts de surface (géomorphologie et sol). Les biotopes sont plus faciles à appréhender sur un grand territoire que les données sur les espèces et même celles sur les communautés vivantes (Hunter et coll., 1988). De plus, les espèces occupent de façon temporaire leur environnement physique (Hunter, 1991; Hunter et coll., 1988) en s'adaptant individuellement et sociologiquement aux conditions climatiques changeantes dans le temps. Si l'on ajoute à cela les modifications engendrées par les activités humaines, il devient évident que les changements des biotopes sont nettement plus lents que ceux de la biocénose. En effet, des études montrent que les variations climatiques qui ont eu cours ces vingt dernières années ont déjà des répercussions sur la répartition de certaines espèces (Berteaux, 2014; Brisson, 2011; Rogic et coll., 2013). C'est pourquoi nous considérons que le CERQ, sa cartographie et sa classification offrent l'avantage d'une certaine permanence que ne peut soutenir la cartographie du vivant.

Comme le découpage des unités du cadre écologique repose sur la ségrégation des différences de structure et d'organisation spatiale des biotopes, le CERQ se prête bien

à l'application du filtre brut, et ses unités cartographiques sont la maille naturelle d'analyse spatiale.

3.3 Méthodologie générale

3.3.1 Niveau de perception retenu

Pour les raisons déjà soulignées, comme l'immensité du territoire à couvrir et le besoin d'un niveau de connaissance équivalent d'un lieu à l'autre, l'analyse de la biodiversité et de sa représentativité s'est arrêtée sur les trois premiers niveaux de perception du CERQ, soit la province naturelle, la région naturelle et l'ensemble physiographique (cf. chapitre 2). Les deux premiers niveaux sont utilisés comme référence spatiale supérieure des écosystèmes du Québec. L'évaluation de la diversité des écosystèmes et l'application du filtre brut reposent sur l'analyse des ensembles physiographiques, troisième niveau hiérarchique du CERQ.

Les 15 provinces naturelles du CERQ⁶, se subdivisent en 86 régions naturelles, lesquelles sont à leur tour découpées en 399 ensembles physiographiques (figure 3.2, page suivante). La nature et l'organisation particulières des biotopes de chaque ensemble physiographique constituent la maille typologique et spatiale de l'application du filtre brut. Pour que le réseau d'aires protégées soit représentatif du territoire, il ne suffit pas de protéger individuellement chacun des biotopes rencontrés, il faut aussi, autant que possible, protéger le complexe écosystémique auquel ils appartiennent.

Chaque ensemble physiographique se distingue par une organisation particulière de types de biotopes décrits selon des combinaisons de reliefs et de dépôts de surface, c'est-à-dire des milieux de soutien de la vie végétale et animale, associés à un contexte climatique et géologique donné. L'application du filtre brut repose sur cette typologie.

⁶ Il existe en fait 20 provinces naturelles, mais cinq ne forment que d'étroites bandes au pourtour du Québec, elles ne sont pas exprimées sur la carte.



Figure 3.2. Provinces naturelles, régions naturelles et ensembles physiographiques du Québec (source : CERQ, Direction de l'expertise en biodiversité, MDDELCC)

3.3.2 Exemple de deux ensembles physiographiques

Prenons l'exemple de deux ensembles physiographiques, celui des basses collines du lac des Passes (C0904) et celui du plateau des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne (C0902) (figure 3.3 et tableau 3.1). Ces deux ensembles appartiennent à la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier au sein de la province naturelle des Laurentides méridionales.

Le contexte géologique est identique, les deux ensembles physiographiques faisant partie du microcontinent Quebecia formé essentiellement de roches intrusives et métamorphiques acides (cf. chapitre 2).

Les territoires de ses deux unités sont moyennement accidentés (tableau 3.1). L'un (C0904) est formé d'un complexe de basses collines et de boutons recouverts de till, entrecoupés par des vallons comblés de sables graveleux fluvioglaciers remaniés par des rivières sinueuses, associées à des plans d'eau allongés et des milieux humides organiques. L'autre (C0902) est formé

de basses et de moyennes collines recouvertes de till, entrecoupées de profondes vallées rectilignes aux versants rocheux, dont le fond est occupé de petites dépressions de tourbe.

Autres distinctions entre ces deux ensembles physiographiques : les plus hautes altitudes de l'unité C0902 varient de 600 à 1 100 m, contre 400 à 600 m pour l'unité C0904, une différence moyenne de 235 m. Les conditions climatiques moyennes dans l'ensemble physiographique C0902 sont donc plus rudes que celles de l'ensemble physiographique C0904 (tableau 3.1), notamment en ce qui a trait aux températures estivales (1,4 °C de différence), aux précipitations (174 mm de différence annuelle) et à la durée de saison de croissance (10 jours de différence). Ces différences influencent grandement les communautés végétales rencontrées sur ces deux territoires. En effet, les stades terminaux de végétation (végétation potentielle) des sols bien drainés de l'ensemble physiographique C0904 compteraient plus de 34 % de forêts feuillues dominées par le bouleau jaune et l'érable à sucre, espèces de distribution méridionale, contre seulement 4,7 % dans C0902.

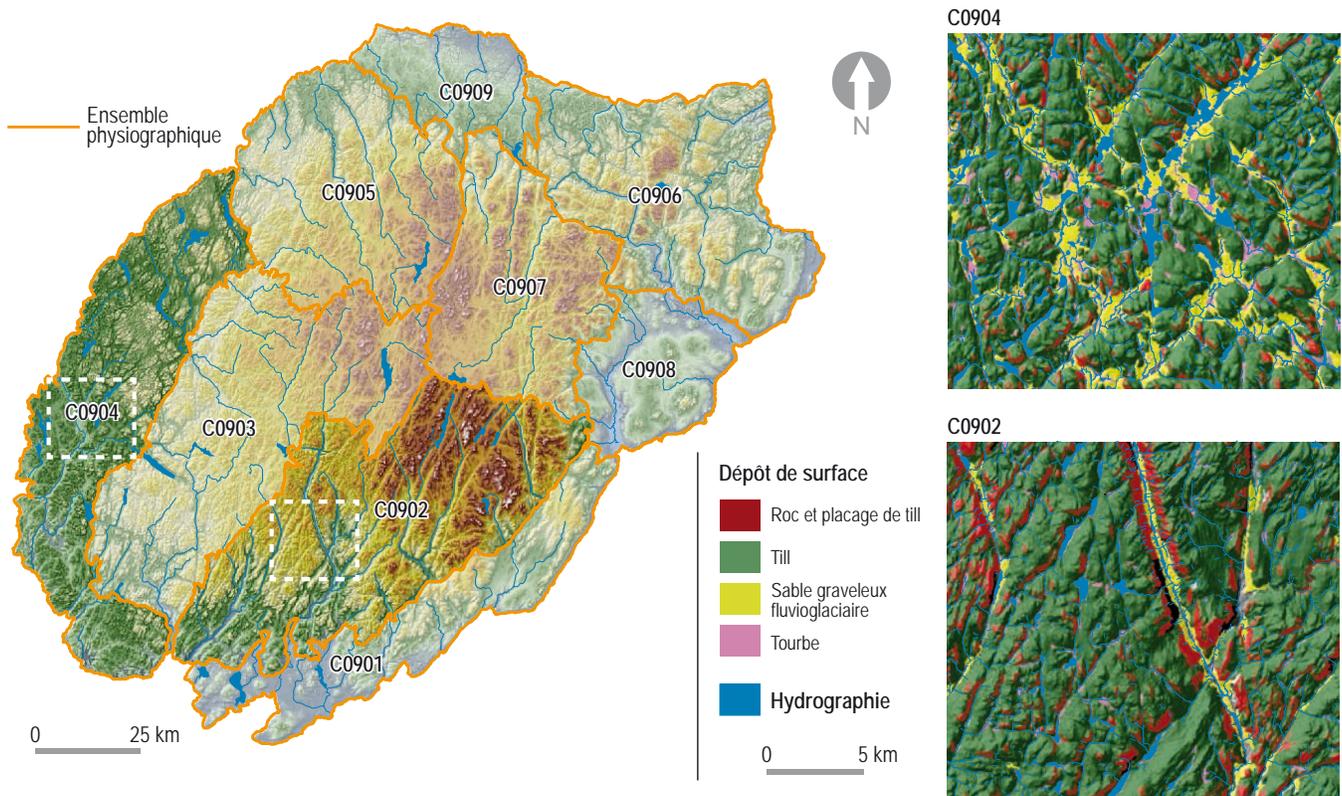


Tableau 3.1. Données descriptives reliées aux ensembles physiographiques des basses collines du lac des Passes (C0904) et du plateau des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne (C0902)

C0902 : Plateau des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne			C0904 : Basses collines du lac des Passes		
Contexte géologique					
Roches intrusives et métamorphiques acides			Roches intrusives et métamorphiques acides		
Altitudes					
Minimale : 155 m	Maximale : 1 175 m	Moyenne : 680 m	Minimale : 145 m	Maximale : 735 m	Moyenne : 445 m
Climat (source : Gerardin et McKenney, 2001)					
Classe : Subpolaires, subhumide, saison de croissance moyenne			Classe : Subpolaires, subhumide, saison de croissance moyenne		
Variables		Moyennes	Variables		Moyennes
Températures annuelles (°C)		0,6	Températures annuelles (°C)		1,5
Températures estivales (°C)		13,9	Températures estivales (°C)		15,3
Températures hivernales (°C)		-13,9	Températures hivernales (°C)		-13,9
Précipitations annuelles (mm)		1 430,0	Précipitations annuelles (mm)		1 266,0
Précipitations estivales (mm)		429,0	Précipitations estivales (mm)		389,0
Précipitations hivernales (mm équivalent eau)		317,0	Précipitations hivernales (mm équivalent eau)		266,0
Jours de croissance (jours)		164,0	Jours de croissance (jours)		174,0
Biotope					
Forme	Dépôt	%	Forme	Dépôt	%
BC : Basses collines	1A : Till	60	BC : Basses collines	1A : Till	70
MC : Moyennes collines	1A : Till	30	BN : Buttons	1A : Till	20
V5 : Vallée	0 : roc et placage de till	10	VN : Vallon	2 : dépôts fluvio-glaciaires	10
Végétation potentielle (source : Carte écoforestière du troisième décennal, MRN)					
Types		%	Types		%
Érablière à bouleau jaune		4,5	Érablière à bouleau jaune		3,2
Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre		0,1	Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre		7,7
Bétulaie jaune à sapin		0,1	Bétulaie jaune à sapin		23,3
Sapinière à érable rouge		1,3	Sapinière à érable rouge		0,0
Sapinière à bouleau jaune		23,9	Sapinière à bouleau jaune		5,0
Sapinière à bouleau blanc		45,3	Sapinière à bouleau blanc		30,2
Sapinière à épinette noire		16,9	Sapinière à épinette noire		12,7
Pessière noire à mousses ou à éricacées		1,0	Pessière noire à mousses ou à éricacées		5,9
Autres		7,0	Autres		7,0

3.3.3 Principales étapes

La première phase de la constitution d'un réseau d'aires protégées consiste à proposer des territoires d'intérêt pour la conservation. Cette phase comporte quatre étapes principales, soit :

- l'analyse de contribution (évaluation de l'atteinte des objectifs de conservation des aires protégées existantes);
- l'analyse de carence (recherche des biotopes et des variables biologiques manquants ou insuffisamment protégés);
- la proposition de territoires d'intérêt pour la conservation;
- l'évaluation de la contribution des territoires d'intérêt pour la conservation à l'ensemble des variables écologiques (physique et biologique) recherchées.

Une fois les territoires d'intérêt pour la conservation établis, trois étapes restent à franchir pour la création des aires protégées :

- l'analyse socioéconomique auprès des partenaires gouvernementaux et régionaux;
- la prise en compte de l'acceptabilité sociale par la consultation publique;
- la création des aires protégées.

Pour illustrer chacune de ses étapes avec un exemple concret, la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier a été choisie.

La région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier (19 018 km²) comprend neuf ensembles physiographiques (figure 3.4), qui présentent des combinaisons distinctes de onze biotopes (tableau 3.2).

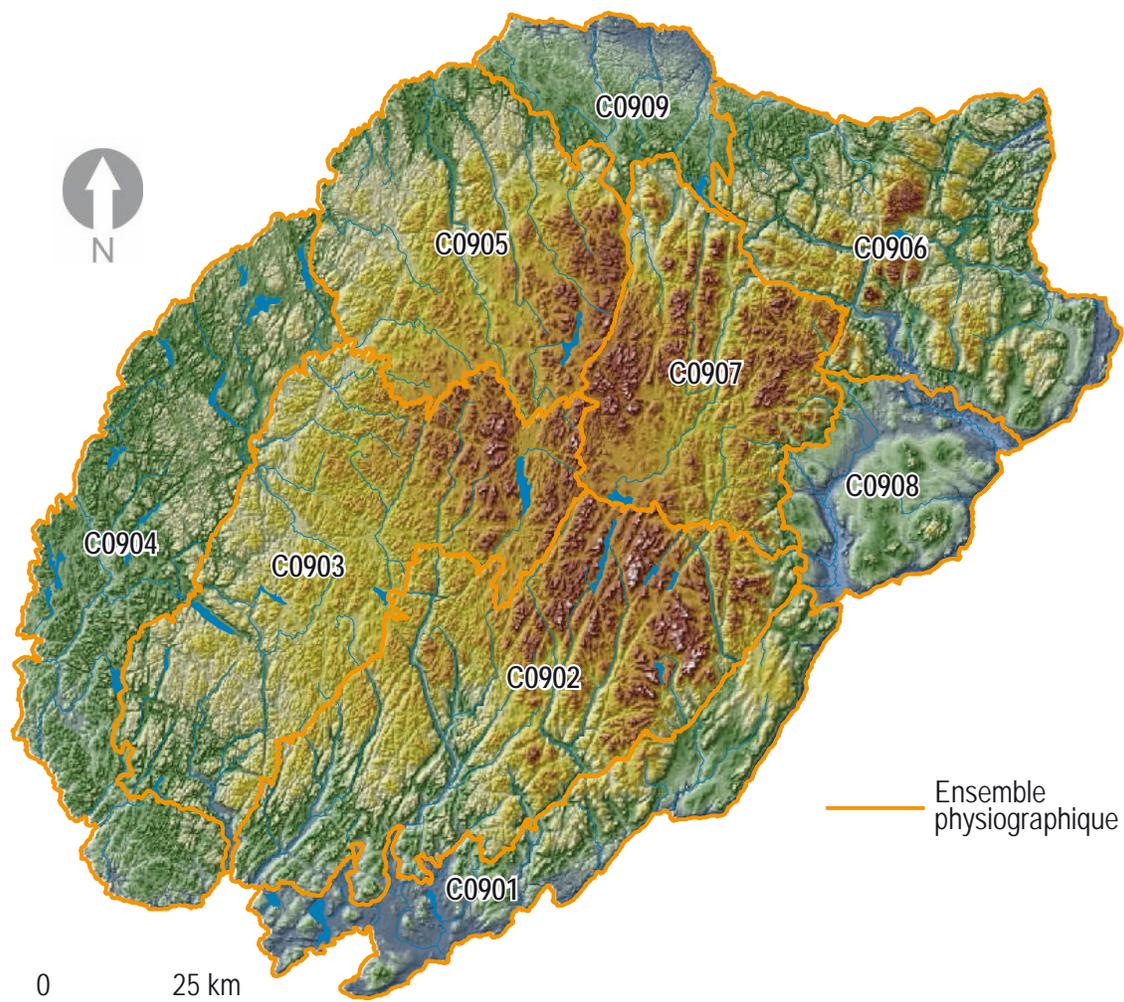


Figure 3.4. Les ensembles physiographiques de la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

Analyse de contribution

Il ressort que les trois parcs nationaux (Jacques-Cartier, Grands-Jardins et Hautes-Gorges), situés dans la partie sommitale des massifs, contribuent parfaitement à l'atteinte des objectifs de conservation dans chacun des ensembles physiographiques où elles sont présentes (figure 3.5 et tableau 3.2). Notez qu'à ce niveau, les autres aires protégées, de par leur petite taille, ne peuvent servir au calcul de la contribution à l'atteinte des objectifs.

Cependant, un certain nombre d'ensembles physiographique de la région naturelle ne renfermant pas d'aires protégées, l'analyse de carence peut nous montrer si les biotopes qui n'ont pas été pris en considération y sont présents.

L'analyse de contribution et l'analyse de carence nous montrent, dans un premier temps, que puisque les aires protégées existantes possèdent une bonne représentativité, il n'est pas nécessaire d'en agrandir les limites. Cette analyse montre aussi que les biotopes manquants se trouvent dans les ensembles physiographiques où les aires protégées sont absentes.

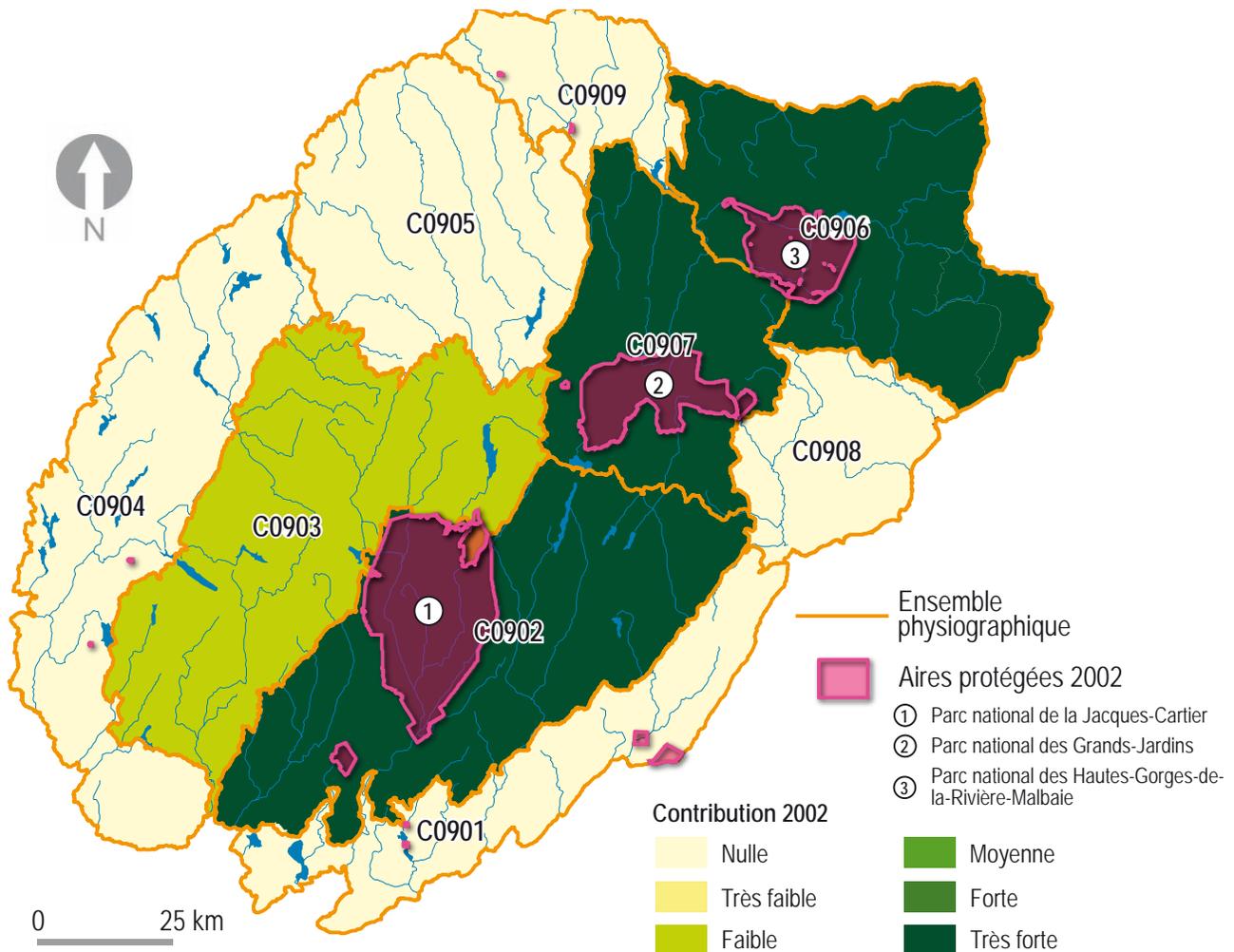


Figure 3.5. Contribution des aires protégées à l'atteinte des objectifs de conservation des biotopes dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002

Tableau 3.2. Analyse de contribution des aires protégées dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002

Biotopes	Superficie dans la région naturelle (km ²)	Superficie dans les aires protégées (km ²)	Contribution (%) des aires protégées dans la région naturelle en 2002	Contribution (%) de chacune des aires protégées		
				Jacques-Cartier	Grands-Jardins	Hautes-Gorges
BC/1A	9 882,8	702,6	7,1	5,0	2,1	
MC/01	2 785,6	202,1	7,3	2,2	1,0	4,0
HC/01	2 066,5	88,5	4,3			4,3
VN/2	1 048,3	2,8	0,3	0,3		
BU/1A	1 010,6	24,8	2,5	2,5		
BN/1A	849,4		0,0			
V5/01	586,5	84,4	14,4	10,6		3,8
V3/1A	451,2	58,3	12,9		12,9	
FA/01	152,4		0,0			
VN/5	102,3		0,0			
RS/01	82,9		0,0			

Objectif de 8 %

Dépassé

Atteint

En carence

Nul ou faible

BC/1A	Basse colline (dénivelé de 100 à 200 m) recouverte de till
HC/01	Haute colline (dénivelé de 300 à 500 m) de roc et placage de till
MC/01	Moyenne colline (dénivelé de 200 à 300 m) de roc et placage de till
VN/2	Vallon – dépression ouverte longiligne dans laquelle coule ou non un cours d’eau – comblé par des dépôts fluvio-glaciaires
BU/1A	Butte (dénivelé de 50 à 100 m) de roc et placage de till
BN/1A	Button (dénivelé de 25 à 50 m) recouvert de till (dépôts glaciaires)
V3/1A	Vallée – dénivelé de versant de 50 à 100 m – recouverte de till (dépôts glaciaires)
V5/01	Vallée – dénivelé de versant supérieur à 100 m de roc et placage de till
FA/01	Falaise de roc et placage de till
VN/5	Vallon – dépression ouverte longiligne dans laquelle coule ou non un cours d’eau – comblé par des argiles marines
RS/01	Ressaut de roc et placage de till

Analyse de carence

Le tableau 3.3 montre qu’au niveau de la région naturelle, le taux de protection de certains biotopes est relativement faible :

- les biotopes les plus communs, moyennes collines et basses collines (MC/01, BC/1A) sont bien représentés;
- les biotopes de vallées (V5/01 et V3/1A) sont surreprésentés;
- les autres biotopes bénéficient d’un taux de protection inférieur à 2 %, voire nul.

Avec l’utilisation de critères supplémentaires et des informations provenant d’autres bases de données que le CERQ, de nouvelles carences apparaissent. À titre illustratif, les données de l’inventaire forestier du troisième décennal montrent des carences dans la protection parmi les peuplements les plus communs (tableau 3.4), comme les bétulaies de bouleau jaune à sapin, les érablières à bouleau jaune, les sapinières à épinette noire montagnardes ou encore les vieilles forêts.

L’analyse de contribution et l’analyse de carence nous montrent, dans un premier temps, que puisque les aires protégées existantes possèdent une bonne représentativité, il n’est pas nécessaire d’en agrandir les limites. Cette analyse montre aussi que les biotopes manquants se trouvent dans les ensembles physiographiques où les aires protégées sont absentes.

Tableau 3.3. Analyse de carence des aires protégées dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002, et potentiel de protection des biotopes par ensemble physiographique

Biotopes	Superficie dans la région naturelle (km ²)	Superficie dans les aires protégées (km ²)	Contribution (%) des aires protégées dans la région naturelle en 2002	Potentiel de protection des biotopes par ensemble physiographique (pourcentage du biotope dans l'ensemble physiographique par rapport à la région naturelle)								
				C0901	C0902	C0903	C0904	C0905	C0906	C0907	C0908	C0909
BC/1A	9 882,8	702,6	7,1	6,3	20,4	18,7	18,3	13,8	2,5	13	6,2	0,8
MC/01	2 785,6	202,1	7,3		36,1	22,1		8,2	27	6,6		
HC/01	2 066,5	88,5	4,3	29,5					60,6		9,9	
VN/2	1 048,3	2,8	0,3	14,5		29,3	24,7	21,7			9,8	
BU/1A	1 010,6	24,8	2,5			30,4		45				24,6
BN/1A	849,4	0,0	0,0				61					39
V5/01	586,5	84,4	14,4		57,3				42,7			
V3/1A	451,2	58,3	12,9							81,6		18,4
FA/01	152,4	0,0	0,0	100								
VN/5	102,3	0,0	0,0								100	
RS/01	82,9	0,0	0,0									100

Objectif de 8 %	Dépassé	Atteint	En carence	Nul ou faible
	Potentiel de protection	Très fort (50 à 100 %)	Fort (25 à 50 %)	Moyen (10 à 25 %)

BC/1A	Basse colline (dénivelé de 100 à 200 m) recouverte de till
HC/01	Haute colline (dénivelé de 300 à 500 m) de roc et placage de till
MC/01	Moyenne colline (dénivelé de 200 à 300 m) de roc et placage de till
VN/2	Vallon – dépression ouverte longiligne dans laquelle coule ou non un cours d'eau – comblé par des dépôts fluvio-glaciaires
BU/1A	Butte (dénivelé de 50 à 100 m) de roc et placage de till
BN/1A	Button (dénivelé de 25 à 50 m) recouvert de till (dépôts glaciaires)
V3/1A	Vallée – dénivelé de versant de 50 à 100 m – recouverte de till (dépôts glaciaires)
V5/01	Vallée – dénivelé de versant supérieur à 100 m de roc et placage de till
FA/01	Falaise de roc et placage de till
VN/5	Vallon – dépression ouverte longiligne dans laquelle coule ou non un cours d'eau – comblé par des argiles marines
RS/01	Ressaut de roc et placage de till

Tableau 3.4. Analyse de carence des aires protégées dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2002, et potentiel de protection de la végétation potentielle et des vieilles forêts par ensemble physiographique

Végétation potentielle*	Superficie dans la région naturelle (km ²)	Superficie dans les aires protégées (km ²)	Contribution (%) des aires protégées dans la région naturelle en 2002	Potentiel de protection de la végétation potentielle et des vieilles forêts par ensemble physiographique (pourcentage de la végétation potentielle et des vieilles forêts dans l'ensemble physiographique par rapport à la région naturelle)									
				C0901	C0902	C0903	C0904	C0905	C0906	C0907	C0908	C0909	
Sapinière à bouleau blanc	6 675,9	493,6	7,4	2,2	23	21,3	12,2	11,9	15,2	6,7	1,4	6	
Sapinière à épinette noire	4 848,1	352,3	7,3	0,6	11,8	16,5	7	17,1	19,7	18,4	5,3	3,6	
Sapinière à bouleau jaune	1 973,3	145,3	7,4	30,1	41,1	5,8	6,8	3,4	7,1	0,1	0,2	5,4	
Sans végétation	1 788,5	125,1	7,0	13,9	10,4	13,5	15,2	8,1	12,4	10,4	13	3,1	
Pessière noire à mousses ou à éricacées	840,6	60,4	7,2	0,2	4	19,5	18,7	17,8	5,1	19,6	5,9	9,2	
Bétulaie jaune à sapin	833,4	0,7	0,1	2,3	0,3	22,2	75,2						
Érablière à bouleau jaune	595,3	16,6	2,8	54,1	25,4	3,1	14,2		0,6	0,4	0,4	1,8	
Sapinière à érable rouge	540	3,9	0,7	7,5	7,9				23,2	3,4	57,7	0,3	
Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre	357,1	0,3	0,1	22,1	1,1	19,2	57,6					0	
Sapinière à épinette noire montagnarde	237,4	0	0,0		0,1	5,6		66,9	0	27,4			
Pessière noire à sphaignes	230,9	10,2	4,4	0,8	13,3	25,7	11,5	30,3	2,5	10,1	2,3	3,5	
Sapinière à bouleau blanc montagnarde	160,8	0	0,0			20,6		51,9	0,1	27,4			
Vieille forêt	3 151,6	282,3	9,0	9,5	22,3	16,5	22,2	6,1	12,0	10,2	0,7	0,5	

Note : 12 types de végétation potentielle qui occupent moins de 0,5 % du couvert de la région naturelle (leur somme représente 1,5 % du couvert) ne sont pas présentés dans le tableau 3.4 pour plus de clarté.

Objectif de 8 %	Dépassé	Atteint	En carence	Nul ou faible
Potentiel de protection	Très fort (50 à 100 %)	Fort (25 à 50 %)	Moyen (10 à 25 %)	Faible (0,1 à 10 %)

Proposition de territoires d'intérêt pour la conservation

À l'exception des ensembles physiographiques C0901 et C0908 composés de terres privées (figure 3.6), le reste du territoire qui appartient au domaine de l'État est sous contrat d'aménagement forestier, sur lequel se superposent principalement des droits de gestion faunique comme les statuts de zone d'exploitation contrôlée, de réserve faunique et de pourvoirie.

Pour circonscrire les biotopes ou les complexes de biotopes recherchés, les principes de la cartographie écologique (cf. chapitre 2) sont suivis. Pour ce faire, le cartographe-interprète circonscrit le meilleur agencement spatial et la meilleure diversité des biotopes recherchés en s'appuyant sur des modèles numériques d'altitude, de l'imagerie satellitaire ainsi que d'autres documents cartographiques (cartes géologiques et géomorphologiques, réseau hydrographique). On obtient ainsi des territoires d'intérêt pour la conservation (figure 3.7)

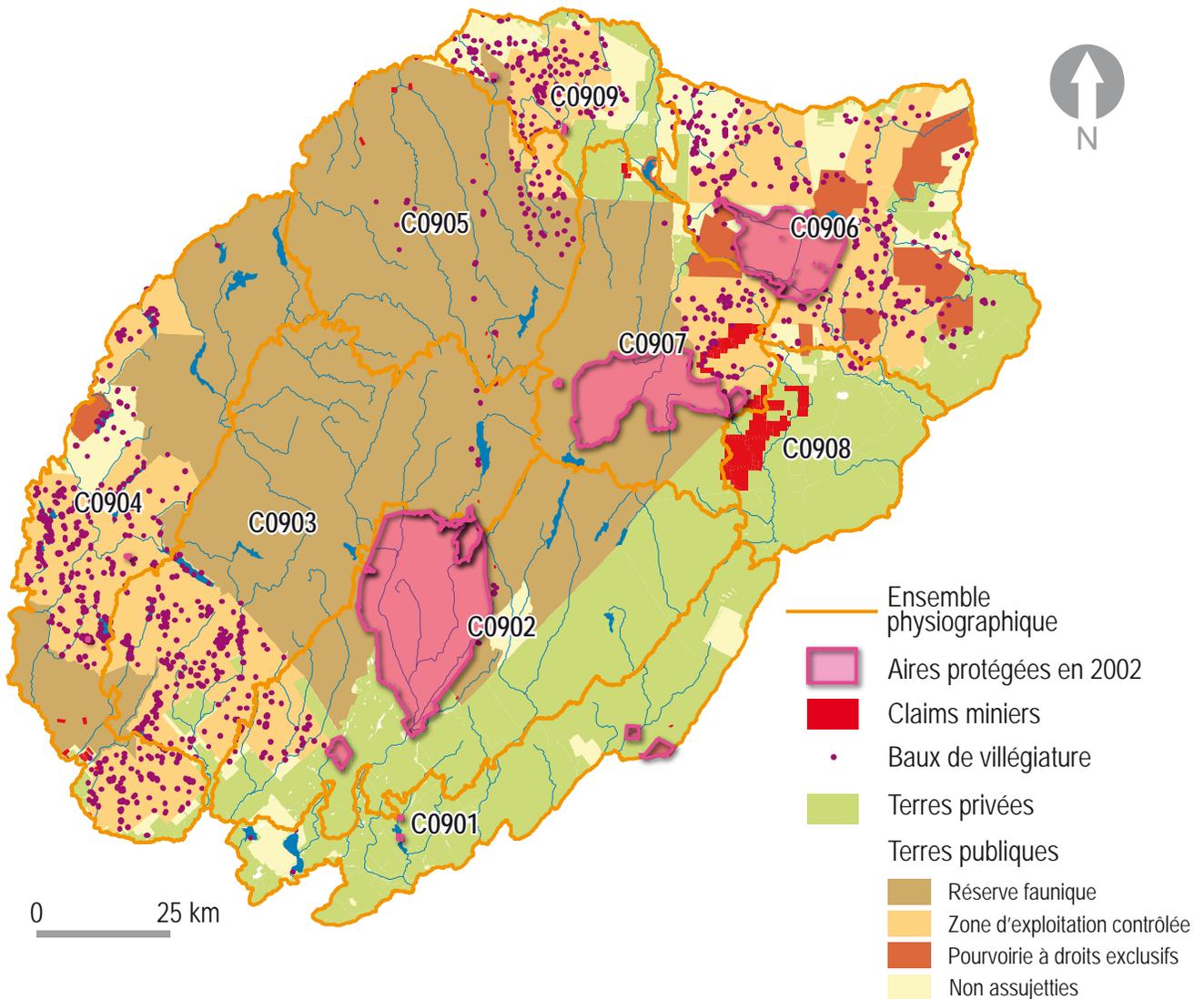


Figure 3.6. Utilisation du territoire dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

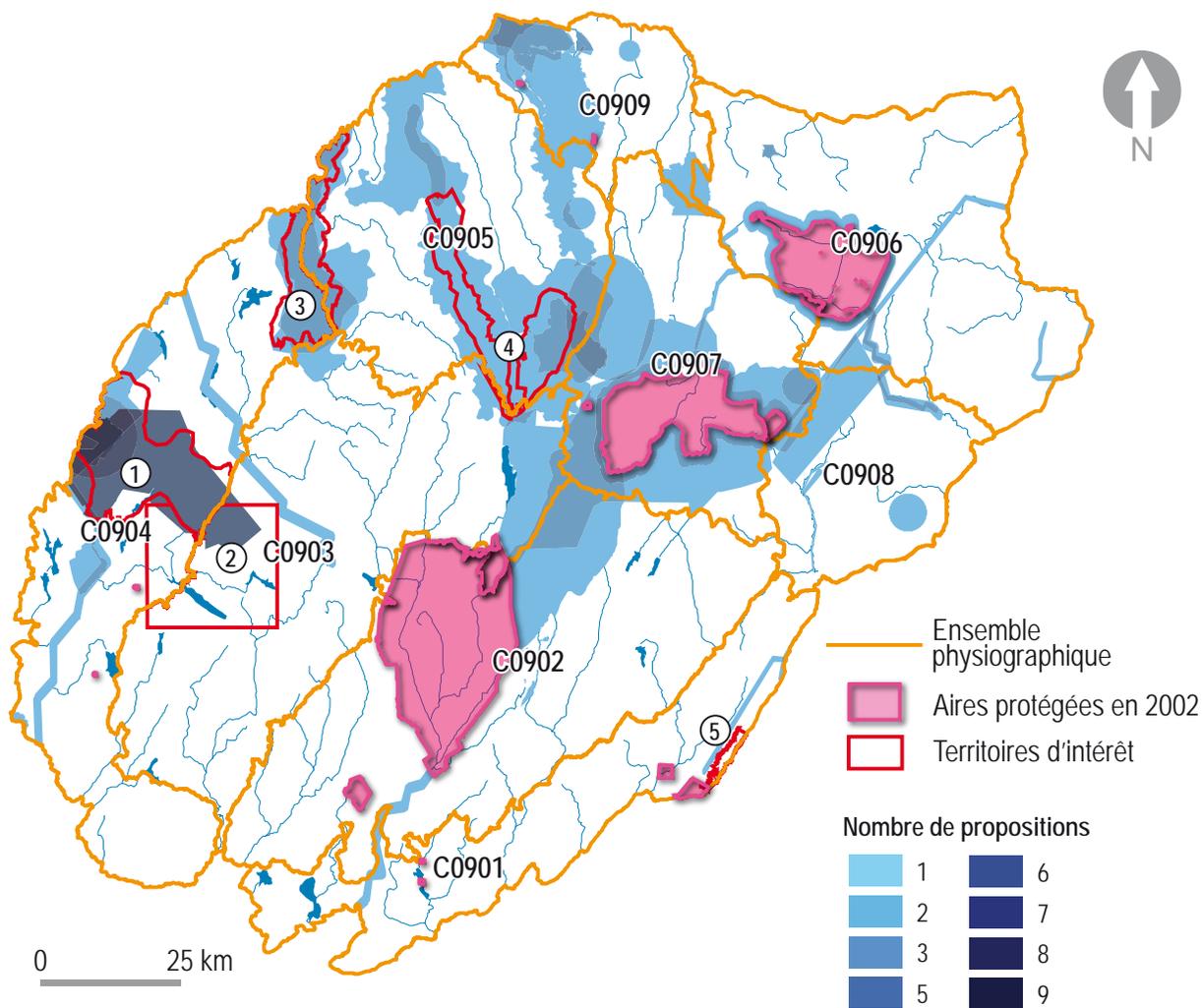


Figure 3.7. Territoires d'intérêt pour la conservation et propositions citoyennes pour la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

Les propositions citoyennes (figure 3.7) et les carences relevant du filtre fin, telles les biocénoses, les vieilles forêts et les espèces rares, sont, autant que possible, intégrées dans l'analyse. Enfin, le cartographe-interprète tient compte d'autres critères relevant de l'efficacité, comme le design, le degré de naturalité, la connectivité du réseau, etc. (Brassard et coll., 2010). L'occupation actuelle des terres et les droits octroyés

connus (figure 3.6) sont aussi pris en considération pour écarter des territoires d'intérêt pour la conservation les espaces dont l'occupation serait incompatible avec les objectifs de conservation (zone industrielle, terres agricoles, terres privées, etc.). Cet exercice complexe a mené pour cette région naturelle à la proposition de cinq territoires d'intérêt (figure 3.7) qui combleraient les carences mesurées.

Évaluation de la contribution des territoires d'intérêt pour la conservation

À cette étape, la contribution des territoires d'intérêt pour la conservation proposés est mesurée (tableau 3.5). On remarque que les contributions des cinq territoires d'intérêt proposés, additionnées à celles des aires protégées existantes, permettent de combler les carences observées au niveau de la région naturelle de 11 des 14 biotopes rencontrés. Cependant, les hautes collines de roc et till (HC/01) n'ont pas été retenues par l'interprète,

de même que les vallons VN/5 et les ressauts RS/01. Ces deux derniers biotopes, peu abondants (= 0,5 %), sont situés sur des terres privées, ce qui explique cette carence. Toutefois, le biotope HC/01, plus fréquent, se trouve sur terres publiques. Il devra probablement être inséré au cours de la révision qui suivra les analyses socioéconomiques.

En outre, les territoires d'intérêt comblent aussi les carences observées pour certains éléments de la végétation potentielle (tableau 3.6)

Tableau 3.5. Contribution cumulative des aires protégées et des territoires d'intérêt pour la conservation (TIC) des biotopes dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

Biotopes	Superficie dans la région naturelle (km ²)	Contribution (%) des aires protégées dans la région naturelle en 2002	Contribution (%) des territoires d'intérêt pour la conservation					Contribution (%) des territoires d'intérêt pour la conservation	Contribution (%) totale dans la région naturelle
			1	2	3	4	5		
BC/1A	9 882,8	7,1	1,5	1,5	1,1	1,0		5,1	12,2
MC/01	2 785,6	7,3		3,5	0,3	2,7		6,5	13,8
HC/01	2 066,5	4,3						0,0	4,3
VN/2	1 048,3	0,3	3,6	4,2	2,6	2,4		12,8	13,1
BU/1A	1 010,6	2,5		13,0	3,1	2,5		18,6	21,1
BN/1A	849,4	0,0	22,1	2,7	0,7			25,5	25,5
V5/01	586,5	14,4						0,0	14,4
V3/1A	451,2	12,9						0,0	12,9
FA/01	152,4	0,0					11,6	11,6	11,6
VN/5	102,3	0,0						0,0	0,0
RS/01	82,9	0,0						0,0	0,0

Objectif de 8 %

Dépassé

Atteint

En carence

Nul
ou faible

Tableau 3.6. Contribution cumulative des aires protégées et des territoires d'intérêt pour la conservation (TIC) de la végétation potentielle dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier

Végétation potentielle	Superficie dans la région naturelle (km ²)	Contribution (%) des aires protégées dans la région naturelle en 2002	Contribution (%) des territoires d'intérêt pour la conservation					Contribution (%) des territoires d'intérêt pour la conservation	Contribution (%) totale dans la région naturelle
			1	2	3	4	5		
Sapinière à bouleau blanc	6 675,9	7,4	2,5	3,8	1,7	0,7		8,7	16,1
Sapinière à épinette noire	4 848,1	7,3	0,8	1,1	1,0	2,1		5,0	12,2
Sapinière à bouleau jaune	1 973,3	7,4	0,9	3,6	0,4		0,6	5,6	12,9
Sans végétation	1 788,5	7,0							7,0
Pessière noire à mousses ou à éricacées	840,6	7,2	2,7	2,5	2,3	2,4		9,8	17,0
Bétulaie jaune à sapin	833,4	0,1	11,8	2,3				14,1	14,1
Érablière à bouleau jaune	595,3	2,8	0,3				0,6	0,9	3,7
Sapinière à érable rouge	540,0	0,7						0,7	0,7
Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre	357,1	0,1	0,4	0,1				0,5	0,5
Sapinière à épinette noire montagnarde	237,4	0,0				12,0		12,0	12,0
Pessière noire à sphaignes	230,9	4,4	1,1	1,8	1,4	5,8		10,1	14,6
Sapinière à bouleau blanc montagnarde	160,8	0,0				18,5		18,5	18,5
Vieille forêt	3 151,6	9,0	3,4	3,0	0,2	0,9	0,1	7,6	16,6

Objectif de 8 %

Dépassé

Atteint

En carence

Nul
ou faible

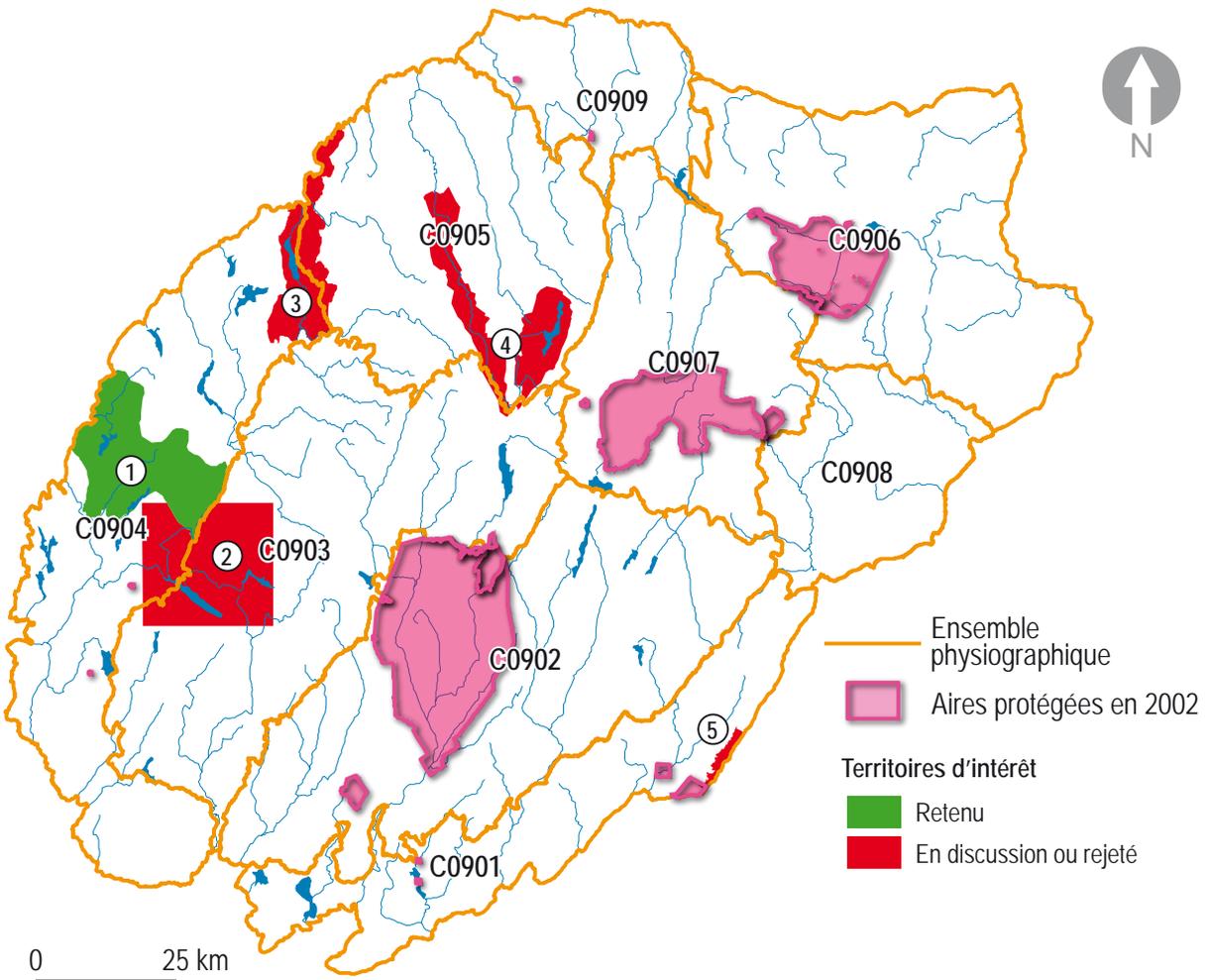


Figure 3.8. Territoires d'intérêts retenus, en discussion et rejetés par l'analyse socioéconomique dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2009

Analyse socioéconomique

Les territoires d'intérêt pour la conservation sont ensuite soumis à une évaluation de leur faisabilité socioéconomique. Le ministère responsable de la mise en place des aires protégées procède à des rencontres avec les autres partenaires ministériels pour prendre en compte des informations socioéconomiques, non disponibles lors de la détermination des territoires. Les limites des territoires retenus sont ainsi revues (figure 3.8).

Prise en compte de l'acceptabilité sociale

Une fois les limites convenues, une décision gouvernementale de protéger provisoirement certains territoires est prise. Le gouvernement a alors quatre ans pour soumettre cette proposition aux citoyens par l'entremise du Bureau des audiences publiques sur l'environnement (BAPE), pour le sud du Québec, ou des évaluations environnementales pour les terres soumises à la Convention de la Baie-James et du Nord québécois.

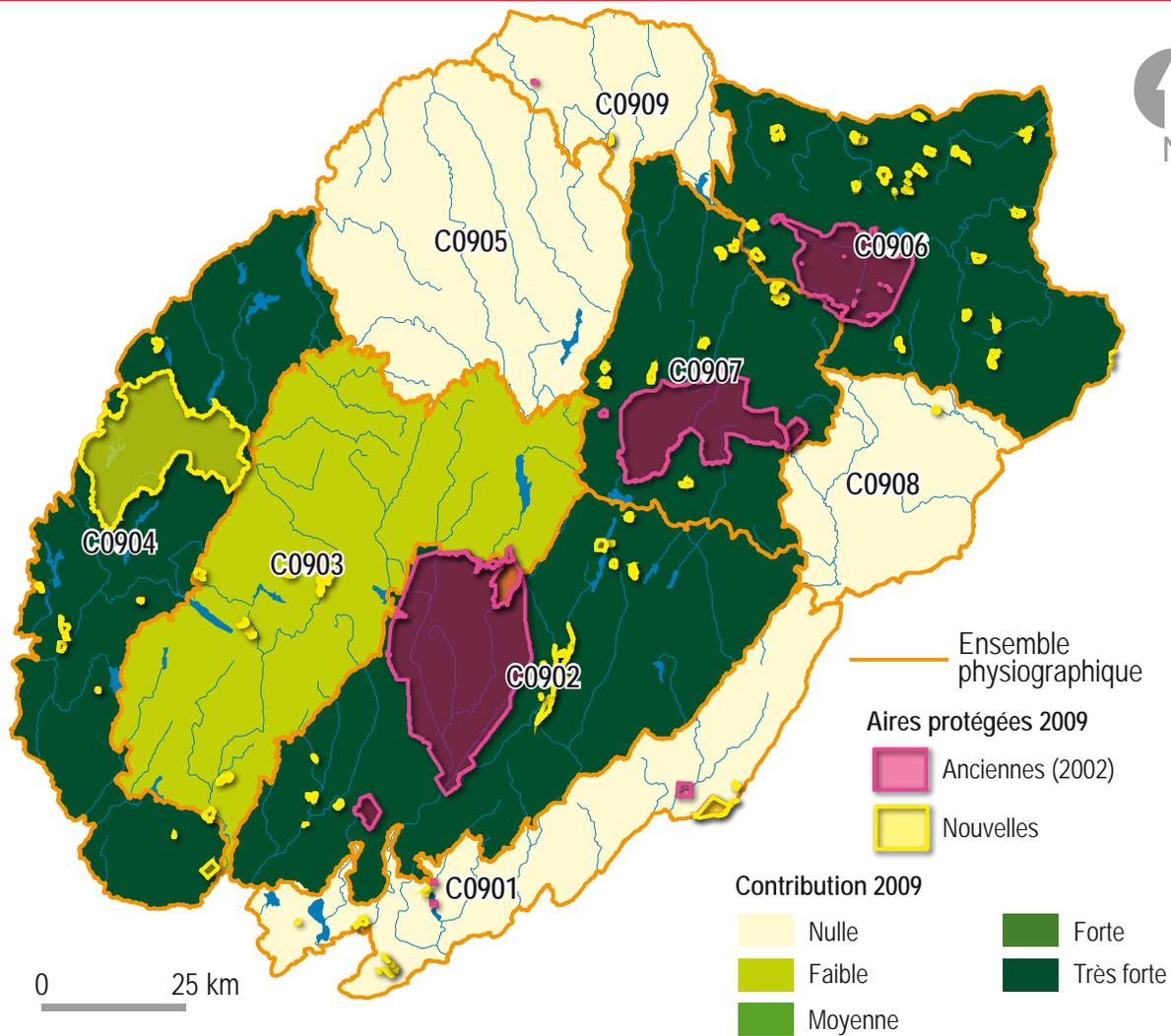


Figure 3.9. Contribution des aires protégées à atteinte des objectifs de conservation des biotopes dans la région naturelle du massif du lac Jacques-Cartier en 2009

Création des aires protégées

À la suite de ces audiences publiques, un rapport est remis au gouvernement, lequel décide alors de la création définitive de l'aire protégée (figure 3.9). De nouvelles analyses de contribution et de carence peuvent mener à la recherche de nouveaux territoires d'intérêt.

3.4 Discussion

Pour juger rigoureusement de l'intérêt de cette approche utilisant le CERQ, il faudrait mesurer l'impact des critères socioéconomiques sur l'image finale du réseau des aires protégées, ce qui devrait faire l'objet d'une étude en soi. Le facteur biodiversité, quoique dominant dans le discours, n'est pas le seul à entrer en ligne de compte. Il est facile d'implanter des aires protégées là où l'homme n'a pas d'intérêts particuliers, et surtout là où il intervient peu sur le territoire; il est beaucoup plus difficile de le faire là où chaque hectare est utilisé, occupé et grevé de droits et de privilèges.

Néanmoins, l'exemple choisi pour illustrer l'utilisation du CERQ permet d'affirmer que la prise en compte en amont des biotopes, fondement des écosystèmes, donne priorité aux valeurs écologiques du territoire. Les territoires d'intérêt proposés peuvent être réduits, voire rejetés par l'application de contraintes économiques liées généralement à l'exploitation de ressources naturelles (foresterie, mines et hydroélectricité), mais la recherche de nouveaux territoires se fera toujours sur la connaissance des conditions écologiques du territoire. Sans les connaissances structurées qu'apporte le CERQ, le développement du réseau des aires protégées n'aurait pu reposer que sur des connaissances partielles et sectorielles et sur des perceptions, souvent subjectives, influencées par les aspects remarquables de certains paysages naturels, au détriment de la représentativité de la diversité biologique plus commune.

À la lumière des résultats obtenus, il s'avère que le CERQ a permis de bien répartir les aires protégées, de s'assurer de la qualité de la représentativité et d'atteindre ces objectifs malgré la complexité sous-jacente à la conciliation entre la conservation, les intérêts économiques et les usages.

Les territoires d'intérêt pour la conservation entraînent souvent en conflit avec l'aménagement forestier, des projets hydroélectriques ou des droits miniers. Parfois, ils représentaient la volonté de conservation de groupes citoyens soucieux de préserver une richesse naturelle qui leur tenait à cœur. Grâce à son approche spatiale, le CERQ a servi d'outil commun d'analyse à tous les acteurs du territoire, permettant de dépasser l'approche sectorielle et l'analyse spécifique de chacun des domaines d'activités.

La mise en place du réseau des réserves de biodiversité et des réserves aquatiques s'est faite dans une certaine urgence. Devant les difficiles négociations politico-économiques, il aurait été facile de perdre de vue le but premier d'une proposition d'aire protégée. Le CERQ

a permis de revenir constamment et sans délai à cette réalité pour défendre la dimension écologique. Il a parfois même permis de faire des gains dans des secteurs où les activités économiques étaient pourtant de grand intérêt. Toutes les informations territoriales (autant celles du CERQ que les informations relatives aux territoires d'intérêt économique, lorsque disponibles) étaient stockées dans un système d'information géographique qui s'est avéré un outil indispensable à la planification systématique de la conservation. Il assure un portrait clair à la prise de décision et permet de procéder à des analyses de contribution et de carence rapides et efficaces, en temps réel et en continu. Cela a grandement facilité la mise en place du réseau :

- en proposant rapidement des solutions de rechange aux projets d'aires protégées qui se heurtaient à des contraintes économiques majeures;
- en rappelant les raisons et les nécessités de la conservation dans une zone donnée;
- en analysant la contribution des aires protégées préexistantes au Plan d'action stratégique du Québec sur les aires protégées;
- en disposant d'un outil qui permet à la fois de proposer des aires protégées et d'effectuer un bilan du réseau obtenu.

L'objectif du Plan d'action stratégique du Québec sur les aires protégées n'était pas de protéger ce qui restait d'écosystèmes vierges, mais plutôt, dans un contexte de fortes utilisations industrielles, de s'assurer de protéger un ensemble représentatif de la biodiversité en favorisant les zones dont la conservation permettrait un retour des processus naturels à l'intérieur d'une organisation d'habitats particuliers dans un contexte climatique donné (Gerardin et coll., 2002).

Par contre, l'expérience montre aussi que si le CERQ donne accès à un même niveau de perception et à des connaissances systématiques pour tout le territoire du Québec, il ne répond pas complètement à un autre ordre de préoccupations, comme celles associées au filtre fin de la biodiversité. Le découpage des territoires d'intérêt pour la conservation, orienté par le CERQ et son utilisation comme filtre brut, intègre, à priori, une masse importante de la biodiversité « fine » (Hunter et coll., 1988; Iacobelli et coll., 1995). Ces « limites » du CERQ sont inhérentes à ses qualités intrinsèques, dont la stabilité des données dans le temps, ainsi que la référence systématique et concrète aux écosystèmes du Québec par les biotopes. Toutefois, il faut aussi comprendre que le filtre fin fait appel à des données très incomplètes et disparates.

3.5 Application aux écosystèmes aquatiques

Dès le lancement de la stratégie sur les aires protégées, l'intégration des hydrosystèmes, ou écosystèmes aquatiques, a fait l'objet de réflexion par les responsables scientifiques. La question qui se posait était de savoir si l'approche du filtre brut par l'intermédiaire du CERQ était efficace pour couvrir la diversité des écosystèmes aquatiques. Autrement dit, peut-on procéder à une analyse globale et intégrée des systèmes terrestres et aquatiques, géographiquement et écologiquement liés, alors que le CERQ ne met pas explicitement en évidence dans ses typologies descriptives la partie strictement aquatique des unités écologiques?

Le premier élément de réponse est que les écosystèmes aquatiques sont forcément captés par elles et, qu'ainsi, le découpage des territoires d'intérêt pour la conservation devrait refléter cette propriété. Cela est particulièrement vrai pour le chevelu hydrographique des têtes de bassins et sous-bassins hydrographiques. Dans une certaine mesure, il en va de même pour les lacs et les rivières de dimension moyenne. Évidemment, ceci est d'autant plus vrai que les territoires d'intérêt pour la conservation couvrent une grande superficie. Seuls, alors, les grands lacs et les cours inférieurs des grands cours d'eau peuvent échapper au filtre brut, à moins d'y porter une attention délibérée.

Gerardin et ses collaborateurs (2002) ont voulu vérifier cette hypothèse. Pour ce faire, ils ont classifié tous les lacs de la province naturelle étudiée selon cinq variables (altitude, superficie, indice de développement du littoral, confinement, rapport aire drainée/aire du lac), tandis que pour les cours d'eau, ils ont appliqué l'ordre hiérarchique de Strahler (Strahler, 1952) pour qualifier la position des segments des cours d'eau dans le réseau hydrographique des bassins versants considérés. En comparant la diversité typologique dans la province naturelle avec celle observée dans les territoires d'intérêt, cumulée à celle des aires protégées existantes, ils ont remarqué que « les résultats [de l'analyse de représentativité des territoires d'intérêt] sont aussi bons pour le réseau hydrographique même si on observe une plus forte proportion des niveaux supérieurs, résultats d'une intervention volontaire pour atteindre l'objectif de protéger deux rivières dans cette grande province naturelle [du Plateau de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord] ».

L'amélioration des résultats pourrait suivre la suggestion de Gerardin (2001), qui propose de rattacher les typologies aquatiques au descriptif des unités cartographiques afin de mieux intégrer les dimensions aquatiques et terrestres du CERQ. Cette approche pourrait être facilitée aujourd'hui par les nouveaux moyens techniques dont nous disposons pour réaliser plus efficacement des typologies de lacs et de cours d'eau plus avancées et mieux intégrées.

3.6 Bilan

Cet exercice global à l'échelle du Québec a été suivi en 2009 par un bilan des sept années de travail. Si, en termes de pourcentage d'occupation à l'échelle du Québec entier, l'objectif originalement fixé d'une couverture territoriale de 8 % a été atteint, de nombreuses lacunes (figure 3.10) ont été relevées (Brassard et coll., 2010). En 2011, une deuxième phase de la Stratégie québécoise sur les aires protégées a été lancée et visait entre autres à les corriger (Gouvernement du Québec, 2011). Le CERQ et la représentativité sont restés au cœur de cette seconde phase, qui définit toutefois de nouveaux objectifs, comme la protection de 12 % du territoire québécois. En outre, elle est orientée par des réalités peu prises en compte dans la première phase, notamment la nécessaire protection de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, qui, à une exception près, ne bénéficie d'aucune aire protégée. La protection des milieux habités, surtout en territoire rural, et la biodiversité des espèces rares et menacées (filtre fin) sont aussi des priorités. Le CERQ sera encore mis à profit avec l'analyse des niveaux de perception inférieurs.

En avril 2015, avec la relance du Plan Nord (Gouvernement du Québec, 2015), de nouvelles cibles se sont ajoutées pour le territoire au nord du 49^e parallèle, soit une superficie de 20 % de nouvelles aires protégées d'ici 2020 et une superficie de 30 % d'ici 2035 pour d'autres territoires dont les mesures de conservation restent à définir. L'Atlas de la biodiversité du Québec nordique (Poisson et coll., 2016), qui est en cours d'élaboration depuis 2009, est maintenant au cœur du choix des territoires d'intérêt pour la conservation dans ce territoire nordique; il repose toujours sur les principes du CERQ.

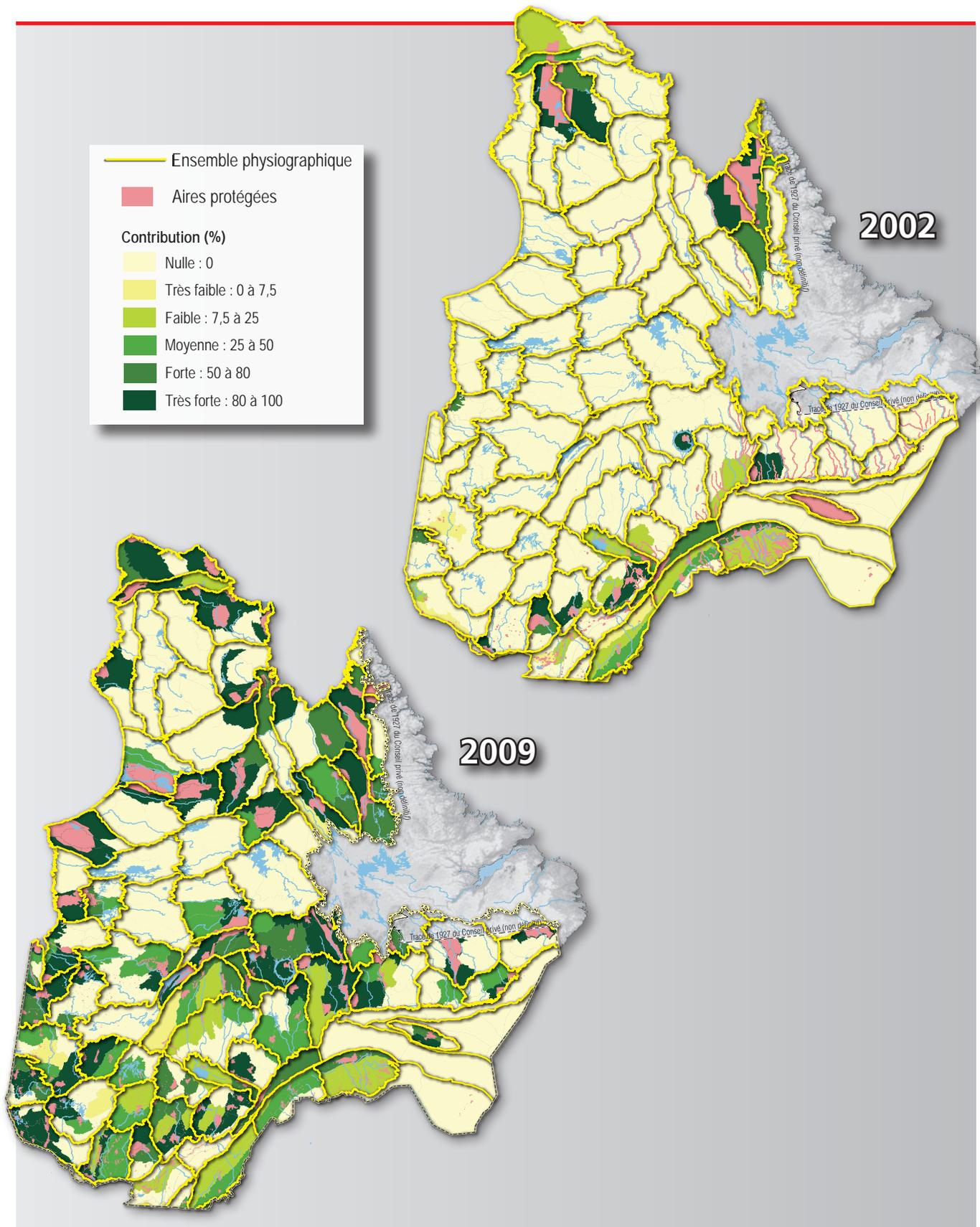


Figure 3.10. Contribution des aires protégées en 2002 et 2009 à la protection de 8 % du Québec à l'échelle des ensembles physiographiques

3.7 Références bibliographiques

- BAILEY, R. G., 1995. *Description of ecoregions of the United States*. Deuxième édition revue et augmentée, Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Forest Service, Misc. Publ. N° 1391, 108 p. (carte séparée au 1 : 7 500 000).
- BERTEAUX, D., N. CASASJUS, S. DEBLOIS, C. PERIÉ et T. LOGAN, 2014. *Changements climatiques et biodiversité au Québec : vers un nouveau patrimoine naturel*. Les Presses de l'Université du Québec, 192 p.
- BERTRAND, G., 1972. « Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques centrales (nord-ouest de l'Espagne) ». *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 43, n° 2, p. 175-206.
- BRASSARD, F., A. R. BOUCHARD, D. BOISJOLY, F. POISSON, A. BAZOGE, M. BOUCHARD, G. LAVOIE, B. TARDIF, M. BERGERON, J. PERRON, R. BALEJ et D. BLAIS, 2010. *Portrait du réseau d'aires protégées au Québec – Période 2002 2009*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs gouvernementaux du Québec, 39 p.
- BRISSON, J., 2011. « Platane occidentale : nouvelle espèce d'arbre indigène au Québec ». *Quatre-temps*, vol. 34, n° 4, p. 42-44.
- DUDLEY, N. (éditeur), 2008. *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*. Gland, Suisse : IUCN. X +96 p.
- GERARDIN, V., 2001. *Typologie et régionalisation de la rivière des Escoumins*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Rapport interne, 25 p.
- GERARDIN, V., J.- P. DUCRUC et P. BEAUCHESNE, 2002. « Planification du réseau d'aires protégées du Québec : principes et méthodes de l'analyse écologique du territoire ». *Vertigo – La revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 3, n° 1, 15 p. [En ligne], [journals.openedition.org/vertigo/4123].
- GERARDIN, V., et D. MCKENNEY, 2001. *Unze classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, 40 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2002. *Stratégie québécoise sur les aires protégées. Plan d'action stratégique : premiers résultats*. Québec, ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, Société de la faune et des parcs du Québec, 44 p. (Collection Les aires protégées au Québec : une garantie pour l'avenir).
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2011. *Orientations stratégiques du Québec en matière d'aires protégées – Le Québec voit grand, période 2011 2015*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 8 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2015. *Le Plan Nord à l'horizon 2035 : plan d'action 2015-2020*. Québec, Secrétariat du Plan Nord, 45 p.
- GROUPE DE TRAVAIL FÉDÉRAL-PROVINCIAL-TERRITORIAL SUR LA BIODIVERSITÉ, 1995. *Stratégie canadienne de la biodiversité : réponse du Canada à la Convention sur la diversité biologique*. Ottawa, Environnement Canada, 60 p. (Synthèse des avis formulés par de nombreux intervenants quant aux orientations que devrait privilégier le Canada pour conserver la biodiversité et utiliser de façon durable les ressources naturelles).
- HUNTER, M. L., Jr., G. L. Jacobson, Jr. et T. et WEBB III, 1988. « Paleocology and the coarse-filter approach to maintaining biological diversity ». *Conservation Biology*, vol. 2, n° 4, p. 375-385.
- HUNTER, M. L., Jr., 1991. « Coping with ignorance: The coarse filter strategy for maintaining biodiversity ». Dans Kohm, K. A., *Balancing on the Brink of Extinction*. Washington, D.C., Island Press, p. 266-281
- IACOBELLI, T., K. KAVANAGH et S. ROWE, 1995. *A protected areas gap analysis methodology: planning for the conservation of biodiversity*. Toronto, Fonds mondial pour la nature, 68 p.
- KLIJN, F., et A. HUDO DE HAES, 1994. « A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification ». *Landscape Ecology*, vol. 9, n° 2, p. 89-104.
- MATEO, J., 1984. *Apuntes de geografía de los paisajes*. La Havane, Université de La Havane, Cuba, 470 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, 1999. *Portrait synthèse des données sur les aires protégées au Québec*. Québec, 42 p.
- NAVEH, Z., et A. LIEBERMAN, 1994. *Landscape ecology. Theory and application, 2^e édition*. New York, Springer Verlag, 360 p.
- NATION UNIES, 1992. Convention sur la diversité biologique. 30 p.
- NOSS, R. F., 1987. « From Plant Communities to Landscapes in Conservation Inventories: A Look at The Nature Conservancy (USA) ». *Biological Conservation*, vol. 41, n° 1, p. 11-37.
- O'NEILL, R. V., D. L. DE ANGELIS, J.-B. WAIDE et T. F. H. ALLEN, 1986. *A hierarchical concept of ecosystems*. New Jersey, Princeton University Press, 228 p.
- POISSON, F., L. COUILLARD et M.-J. CÔTÉ, 2016. *Atlas de la biodiversité du Québec nordique : Démarche méthodologique*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'expertise en biodiversité, 107 p.
- RODRÍGUEZ, J.- P., K. M. RODRÍGUEZ-CLARK, J. E. M. BAILLIE, N. ASH, J.-BENSON, T. BOUCHER, C. BROWN, N. D. BURGESS, B. COLLEN, M. JENNINGS, D. A. KEITH, E. NICHOLSON, C. REVENGA, B. REYERS, M. ROUGET, T. SMITH, M. SPALDING, A. TABER, M. WALPOLE, I. ZAGER et T. AMIN, 2011. « Élaboration des critères de l'UICN pour la Liste rouge des écosystèmes menacés ». *Conservation Biology*, vol. 25 (2011), p. 21-29.
- ROGIC, A., N. TESSIER, P. LEGENDRE, F. J.-LAPOINTE et V. MILLIEN, 2013. « Genetic structure of the white-footed mouse in the context of the emergence of Lyme disease in southern Québec ». *Ecology and Evolution*, vol. 3, n° 7, p. 2075-2088.

ROWE, J.-S., 1995. « Eco-diversity, the key to biodiversity ». Dans Iacobelli, T., K. Kavanagh et S. Rowe (dir.), *A protected areas gap analysis methodology: planning for the conservation of biodiversity*, Toronto, Fonds mondial pour la nature, p. 2-9.

ROWE, J.-S., 1961. « The level of integration concept and ecology ». *Ecology*, vol. 42, n° 2, p. 420-427.

SCOTT, J. M., F. DAVIS, B. CSUTI, R. NOSS, B. BUTTERFIELD, C. GROVES, H. ANDERSON, S. CAICCO, F. D'ERCHIA, T. C. EDWARDS JR., J. ULLIMAN et R. G. WRIGHT, 1993. « Gap Analysis: A Geographic Approach to Protection of Biological Diversity ». *Wildlife Monographs*, n° 123, p. 3-41.

STRAHLER, A. N., 1952. « Quantitative analysis of watershed geomorphology ». *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 38, n° 6, p. 913-920.

TANSLEY, A. G., 1935. « The use and abuse of vegetational concepts and terms ». *Ecology*, vol. 16, n° 3, p. 284-307.

TROLL, C., 1971. « Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology – A terminology study ». *Geoforum*, vol. 8, n° 71, p. 43-46.

ZONNEVELD, I. S., 1995. *Land Ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. Amsterdam, SPB Academic Publication, 199 p.

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

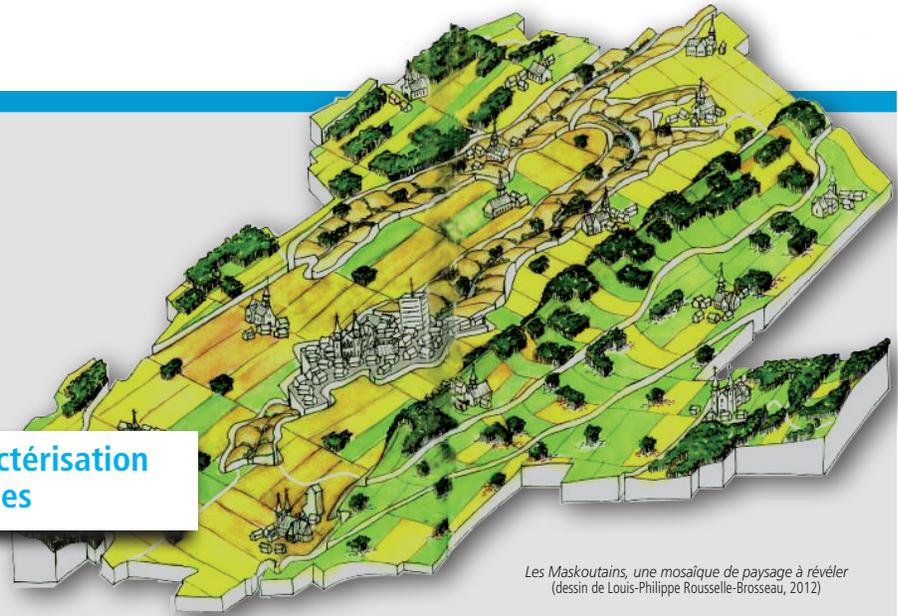
CHAPITRE 4

Le CER, outil de connaissance, de caractérisation
et d'aménagement des paysages

Gérald Domon et Julie Ruiz

CHAPITRE 4

Outil de connaissance, de caractérisation et d'aménagement des paysages



Par Gérald Domon¹ et Julie Ruiz²

Introduction

En matière d'aménagement et de développement du territoire, l'émergence de la question du paysage aura été parmi les éléments les plus importants de la dernière décennie au Québec. Longtemps marginal et confiné aux simples aspects esthétiques, le paysage a effectivement été au cœur de nombreux débats entourant tantôt l'implantation d'infrastructures, tantôt la gestion des ressources naturelles, tantôt la qualité des cadres de vie et les stratégies de développement local et régional. Parmi d'autres, l'adoption du statut de paysage humanisé en 2002, les consultations menées en 2005 sur le projet de stratégie gouvernementale en matière de développement durable, de même que la mise de l'avant du statut de paysage culturel patrimonial (MCCCF, 2007) auront révélé de manière éclatante l'importance nouvelle accordée à la protection des paysages. La rapidité avec laquelle ces préoccupations se sont imposées pose aujourd'hui un ensemble de défis méthodologiques aux aménagistes. Défi d'abord de saisir et de rendre compte des caractéristiques actuelles des paysages. Défi ensuite de comprendre leur évolution et leurs transformations. Défi enfin de se doter de connaissances et de cadres de référence pour déterminer et guider les interventions.

Par-delà ces défis, l'enjeu majeur que pose la prise en compte du paysage en aménagement et en développement du territoire tient à sa nature même. Ainsi, si le sens à attribuer au paysage a longtemps fait l'objet de débats vigoureux (Berque, 1994; Dakin, 2003; Poullaouec-Gonidec et coll., 2005), un consensus de plus en plus large se dégage aujourd'hui selon lequel le paysage est un territoire, tel que perçu par la population

et dont les caractéristiques résultent de facteurs naturels ou humains et de leurs interactions (Conseil de l'Europe, 2000). Le paysage n'est donc ni simplement un phénomène naturel ni simplement un phénomène culturel. Pour reprendre l'expression célèbre de Georges Bertrand (1978), il est « entre la nature et la société » et, du coup, il transcende le naturel et le culturel, l'objectif et le subjectif. Dès lors, sur quelles bases et avec quels outils doit-on aborder le paysage?

D'entrée de jeu, convenons que sa complexité est telle qu'il ne saurait y avoir d'outil unique et universel. Renvoyant tantôt à des dimensions écologiques, tantôt à des dimensions esthétiques, patrimoniales ou autres, l'analyse des paysages impose inévitablement le recours à une boîte à outils, soit à un assemblage d'outils et de méthodes au sein duquel les spécialistes pourront puiser selon leurs objectifs et leurs besoins (Domon, 2009). L'expérience révèle que le cadre écologique de référence (CER) pourrait constituer un des outils privilégiés de cette boîte.

D'une part, en portant sur les formes de relief, il rend compte de manière systématique et rigoureuse du support physique des « portions de territoire qui s'offrent à la vue » (Domon et coll., 2000). D'autre part, par la nature même des informations qu'il révèle, le CER pourrait aussi être un outil privilégié pour connaître et comprendre la composition³, l'agencement spatial⁴ et les dynamiques de l'occupation des sols. Par le fait même, il pourrait fournir

¹ Chaire en paysage et environnement, Université de Montréal

² Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières

³ La composition réfère au nombre, au type et à l'étendue des éléments des paysages, soit l'occupation des sols dans le cas présent (Leitao et coll., 2006).

⁴ L'agencement spatial réfère à la distribution, à l'orientation et à la position des différents éléments du paysage, ou des différentes classes d'occupation des sols dans le cas présent (p. ex., distance entre deux boisés, forme et complexité d'un milieu humide) (Leitao et coll., 2006).

les bases permettant de mieux anticiper et orienter les occupations futures. En matérialisant les rapports dynamiques qu'une société entretient avec son territoire, la composition et l'agencement spatial de l'occupation des sols se situent précisément « entre la nature et la société ». Ils constituent ainsi une dimension inhérente et incontournable de l'analyse et de l'aménagement des paysages (Brandt et Vejre, 2004).

Prenant appui sur des travaux réalisés par la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal (CPEUM) sur différents territoires du sud du Québec, le présent chapitre entend, dans un premier temps, montrer et illustrer comment le CER peut constituer un outil de connaissance et de compréhension de la composition et de l'agencement spatial de l'occupation des sols. Dans un second temps, il entend illustrer de quelle manière le CER peut servir d'outil pour comprendre les dynamiques d'occupation des sols passées pour anticiper les dynamiques futures et, ce faisant, contribuer à définir des visions d'avenir collectivement partagées des paysages.

4.2 Le CER, outil de connaissance et de compréhension de la composition et de l'agencement spatial de l'occupation des sols

Par-delà leur apparente stabilité, les territoires ruraux du sud du Québec ont été marqués et continuent d'être marqués par de profondes transformations. À l'instar des constats relevés ailleurs (Simpson et coll., 1994; Bürgi et Turner, 2002; Kristensen et coll., 2009), ces territoires ont été traversés par un double phénomène : la déprise des pratiques agricoles sur certains pans du territoire et leur intensification sur d'autres.

Ceci a des conséquences sur le paysage : agrandissement du parcellaire, diminution des espaces boisés et des arbres isolés dans les zones d'intensification, montée de la friche, disparition des bâtiments et d'autres traces d'utilisation agricole dans les zones de déprise (Ruiz et Domon, 2005). On sait aujourd'hui que ces transformations sont indissociables d'un ensemble de « forces externes » (Bürgi et coll., 2004) comme l'ouverture des marchés internationaux et les politiques et programmes gouvernementaux. L'importance de ces forces externes sur les modifications imposées à l'occupation des sols paraît telle qu'elle marginalise, voire élimine l'influence des caractéristiques écologiques, rendant futile leur prise en compte.

Cherchant précisément à connaître le « poids » de certaines caractéristiques écologiques (type de dépôt, drainage, etc.) du territoire dans un secteur dont les transformations avaient préalablement été mises en évidence (Domon et coll., 1993), Pan et ses collaborateurs (1999) se sont penchés sur l'évolution de la distribution des superficies boisées, en friche, en pâturage et en cultures annuelles du canton de Godmanchester, dans la MRC du Haut-Saint-Laurent.

Les photographies aériennes de 1953, 1965, 1973, 1983 et 1993 ont servi à établir quatre couches de changements d'occupation des sols (1953-1965, 1965-1973, 1973-1983, 1983-1993), lesquelles ont par la suite été mises en relation avec une carte des dépôts de surface à l'aide d'analyses canoniques des correspondances. Les résultats révèlent une relation claire entre l'occupation des sols et les dépôts pour la période considérée. Par exemple, les cultures annuelles dominaient les dépôts marins, tandis que les superficies boisées dominaient les dépôts morainiques.

Davantage encore, les auteurs ont été amenés à constater que « *the patterns of land use that we observed in the second part of the 20th century are characterized by a strong physical determinism, as the various human activities were becoming more and more related to the underlying physical potentials and constraints of the landscape* »⁵ (Pan et coll., 1999, p. 48). Loin de s'estomper, le poids des facteurs écologiques sur la composition de l'occupation des sols en milieux agroforestiers se serait accentué au cours de la seconde moitié du 20^e siècle.

Étant donné que le CER délimite des portions de territoire avec des caractéristiques écologiques particulières, la question qui se pose est de savoir s'il peut fournir un cadre spatial pour analyser la composition et l'agencement spatial de l'occupation des sols. Cette question est à la base d'un projet de recherche⁶ qui a permis d'approfondir les liens entre le CER et les structures⁷ d'occupation des sols en zone agricole.

⁵ « Les patrons d'occupation des sols observés dans la seconde moitié du 20^e siècle sont marqués par un fort déterminisme physique, les différentes activités humaines étant de plus en plus liées aux potentiels et contraintes offertes par l'assise physique du paysage. » [traduction des auteurs]

⁶ Ce projet de recherche intitulé « Élaboration d'un modèle intégré d'aménagement des paysages en zone d'agriculture intensive sur la base du cadre écologique » a été financé par le programme « Action concertée pour le soutien stratégique à la promotion et à la consolidation de la recherche sur l'environnement rural » (2004-2007).

⁷ Le terme structure renvoie simultanément à la composition et à l'agencement spatial (Leitao et coll., 2006). Images Landsat 7, sud du Québec, 1999 2003, SCF, Faune Québec, CIC, MRNFP, MAPAQ, AAC, CSL.

4.2.1 Les relations entre le CER et les structures d'occupation des sols en zone agricole

Dans un premier temps, le projet de recherche visait à recenser des structures d'occupation des sols représentatives des zones d'intensification agricole du sud du Québec. Dans un deuxième temps, il s'est attaché à évaluer le potentiel du CER comme cadre spatial pour l'analyse de l'occupation des sols. L'objectif était donc de comprendre les liens entre le CER et les structures d'occupation des sols (Ruiz et coll., 2005). L'étude a été menée dans les basses terres du bassin versant de la rivière L'Assomption (Beauchesne et coll., 1998), un territoire agricole de 1 200 km² dans la région de Lanaudière.

Les analyses ont porté sur 10 districts écologiques et 55 ensembles topographiques. Les données sur les structures de l'occupation des sols étaient issues d'images satellites Landsat⁸. Des indices de composition (pourcentage de forêt, culture annuelle, etc.) et d'agencement spatial (taille moyenne, forme, distance moyenne entre les parcelles de même nature, etc.) de l'occupation des sols ont été calculés pour chacun des districts écologiques et des ensembles topographiques avec le logiciel Fragstats 3.3 (McGarigal et Marks, 1995). Une analyse en composante principale a été menée afin d'évaluer dans quelle mesure le CER permettait de distinguer des structures d'occupation des sols différentes. Puis une analyse de redondance a mesuré la part de variabilité des structures d'occupation des sols expliquée par les variables physiques associées au CER.

Les résultats ont tout d'abord confirmé que le découpage cartographique du CER permettait de distinguer des structures d'occupation des sols différentes (Ruiz et coll., 2005). Au niveau des districts écologiques, les plaines d'argile, les terrasses et les monticules se différencient selon leur structure d'occupation des sols. Ensuite, des liens ont été mis en évidence entre les caractéristiques physiques des districts écologiques et des ensembles topographiques (forme du relief, dépôt de surface, pente, drainage), et leur structure d'occupation des sols. Ainsi, au niveau des districts écologiques, les monticules de till sont associés à de grandes parcelles de forêts feuillues et à des parcelles de cultures annuelles distantes les unes des autres. Les plaines d'argile sont associées à des parcelles de grandes tailles dominées par les cultures annuelles et parsemées de parcelles boisées distantes les unes des autres (figure 4.1).

Les associations avec les structures d'occupation des sols se précisent au niveau des ensembles topographiques. De grandes parcelles de forêts feuillues aux formes complexes caractérisent les monticules de till bien drainés avec des pentes de 5 à 15 %. De grandes parcelles de cultures annuelles et pérennes entrecoupées de parcelles de forêts feuillues, de coupes forestières et de friches distantes les unes des autres sont quant à elles associées aux argiles mal drainées. Enfin, les dépôts sablonneux se retrouvent associés à un paysage diversifié et fragmenté, dominé par des parcelles boisées aux formes complexes (figure 4.2).

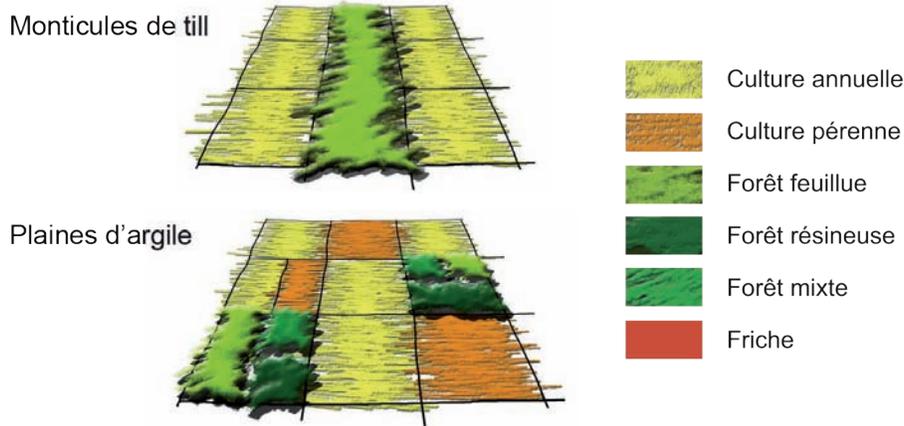
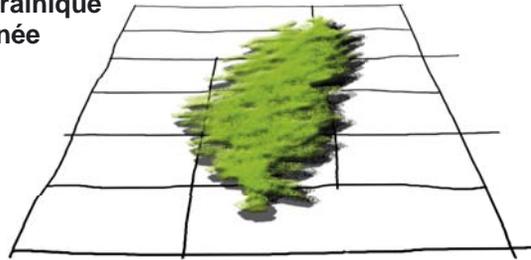


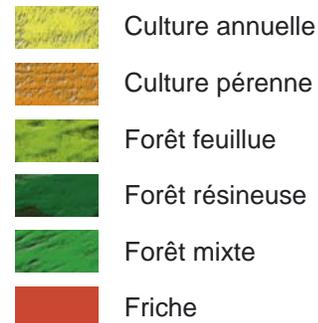
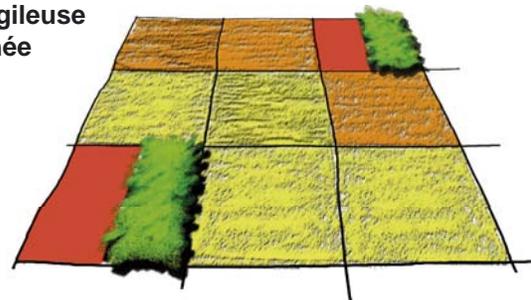
Figure 4.1. Représentation schématique des structures types d'occupation des sols associées aux caractéristiques physiques des districts topographiques

⁸ Images Landsat 7, sud du Québec, 1999-2003, SCF, Faune Québec, CIC, MRNFP, MAPAQ, AAC, CSL.

**Butte morainique
bien drainée**



**Plaine argileuse
mal drainée**



**Dépôt
sablonneux**

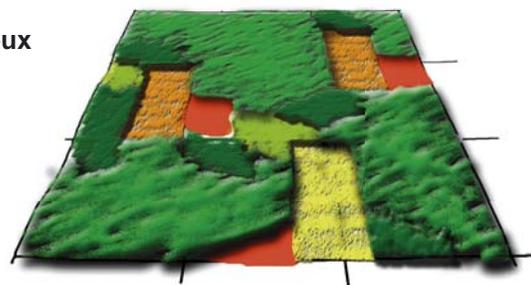


Figure 4.2. Représentation schématique des structures types d'occupation des sols associées aux caractéristiques physiques des ensembles topographiques

Cette étude aura donc confirmé les liens existants entre certaines caractéristiques écologiques des territoires et la composition de l'occupation des sols que d'autres études avaient déjà mis en évidence (Pan et coll., 1999). Plus encore, elle aura révélé des relations entre les caractéristiques physiques des districts écologiques et des ensembles topographiques avec les structures d'occupation des sols. Il est donc possible d'attacher un patron type de structure d'occupation, sorte d'image synthèse schématique de cette occupation des sols, aux unités cartographiques du CER. Enfin, il apparaît que plus le niveau de perception du CER s'exprime à grande échelle, plus les structures types d'occupation des sols sont détaillées. À titre d'exemple, à l'échelle cartographique des districts écologiques, on apprend que les monticules de till sont dominés par de grandes parcelles de forêts feuillues, et à l'échelle cartographique des ensembles topographiques, on précise que la forme de ces îlots est complexe et découpée. Sur la base de ces résultats, la cartographie proposée par le CER a servi à sélectionner trois types de conditions écologiques, soit les monticules de till, les plaines d'argile et les terrasses

de sable, sur lesquelles on retrouve une structure d'occupation des sols représentative de la variabilité des zones d'intensification agricole.

Dès lors, l'intérêt du CER comme cadre spatial pour connaître et comprendre l'organisation de la dimension matérielle des paysages est double. D'une part, il permet de rendre compte de certaines des caractéristiques fondamentales des paysages, à savoir leurs caractéristiques physiques telles que le relief, les dépôts de surface, le drainage. D'autre part, il permet de délimiter et de caractériser des portions du territoire qui présentent des structures types d'occupation des sols. Les districts écologiques et les ensembles topographiques proposent également un découpage cartographique apte à mettre en évidence des structures d'occupation des sols à une échelle de « concernement » des activités humaines. Les MRC de Lotbinière et des Maskoutains ont utilisé le CER à ces deux niveaux de perception pour alimenter leur réflexion sur l'aménagement et le développement de leurs paysages.

4.2.2 « Les paysages de Lotbinière », de la caractérisation à l'action

En 2004, dans le contexte de la révision de son schéma d'aménagement, la MRC de Lotbinière⁹ a enclenché une démarche de caractérisation des paysages afin de reconnaître les parties de son territoire présentant un intérêt d'ordre historique, culturel, esthétique ou écologique au sens de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme. L'équipe de la MRC « a adhéré dès le départ au principe que les paysages sont issus d'une mise en place complexe reflétant à la fois les forces naturelles qui les ont modelés et la conquête qu'en a faite l'homme » (Blais et St-Laurent, 2008, p. 29). Dès lors, le paysage offrait à la MRC une porte d'entrée pour mieux connaître le territoire dans ses dimensions environnementale, agricole, forestière, historique et patrimoniale. En partenariat avec la Direction du patrimoine écologique du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

(MDDEP), qui a produit le CER, plusieurs analyses spatiales visant la compréhension et la connaissance des paysages ont été réalisées. Le CER a ainsi offert un cadre d'analyse aux composantes écologiques, historiques, patrimoniales et visuelles des paysages de la MRC, tout en permettant de mieux cerner la dynamique d'implantation humaine.

À l'échelle régionale, les ensembles physiographiques distinguent cinq unités majeures : le fleuve et son littoral, la terrasse fluviale, la plaine de Lotbinière, le piedmont et les basses collines des Appalaches. Les districts écologiques révèlent ensuite l'agencement spatial des paysages de la MRC à une échelle proche des réalités vécues sur le terrain par chacune des municipalités. Au final, 16 unités paysagères régionales ont été définies sur la base des districts écologiques du CER (figure 4.3).

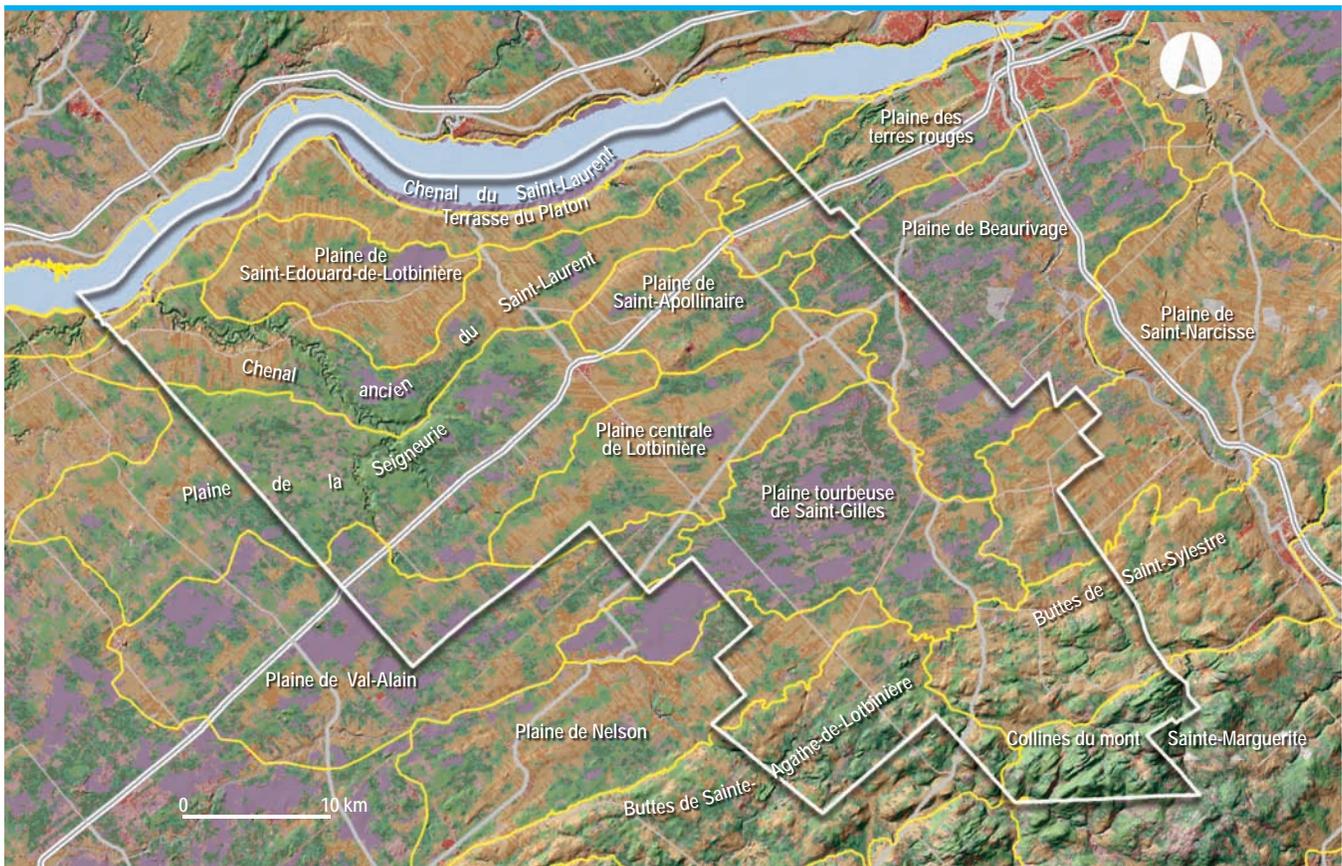


Figure 4.3. Carte des districts écologiques de la MRC de Lotbinière

⁹ La qualité du projet « Les paysages de Lotbinière » a valu à la MRC d'être lauréate aux Phénix de l'environnement en 2006 dans la catégorie « Éducation et sensibilisation, municipalité ou organisme municipal », prix décernés par le MDDEP.

Les descriptions du couvert forestier (carte écoforestière) et des exploitations agricoles (fiches d'exploitation du ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec [MAPAQ]), de l'occupation du sol (image Landsat) et des caractéristiques du milieu bâti ont été

ajoutées aux données écologiques du CER. Une fiche synthèse des caractéristiques du milieu naturel, du cadre bâti et de l'occupation du sol illustre et qualifie chaque district écologique (figure 4.4).

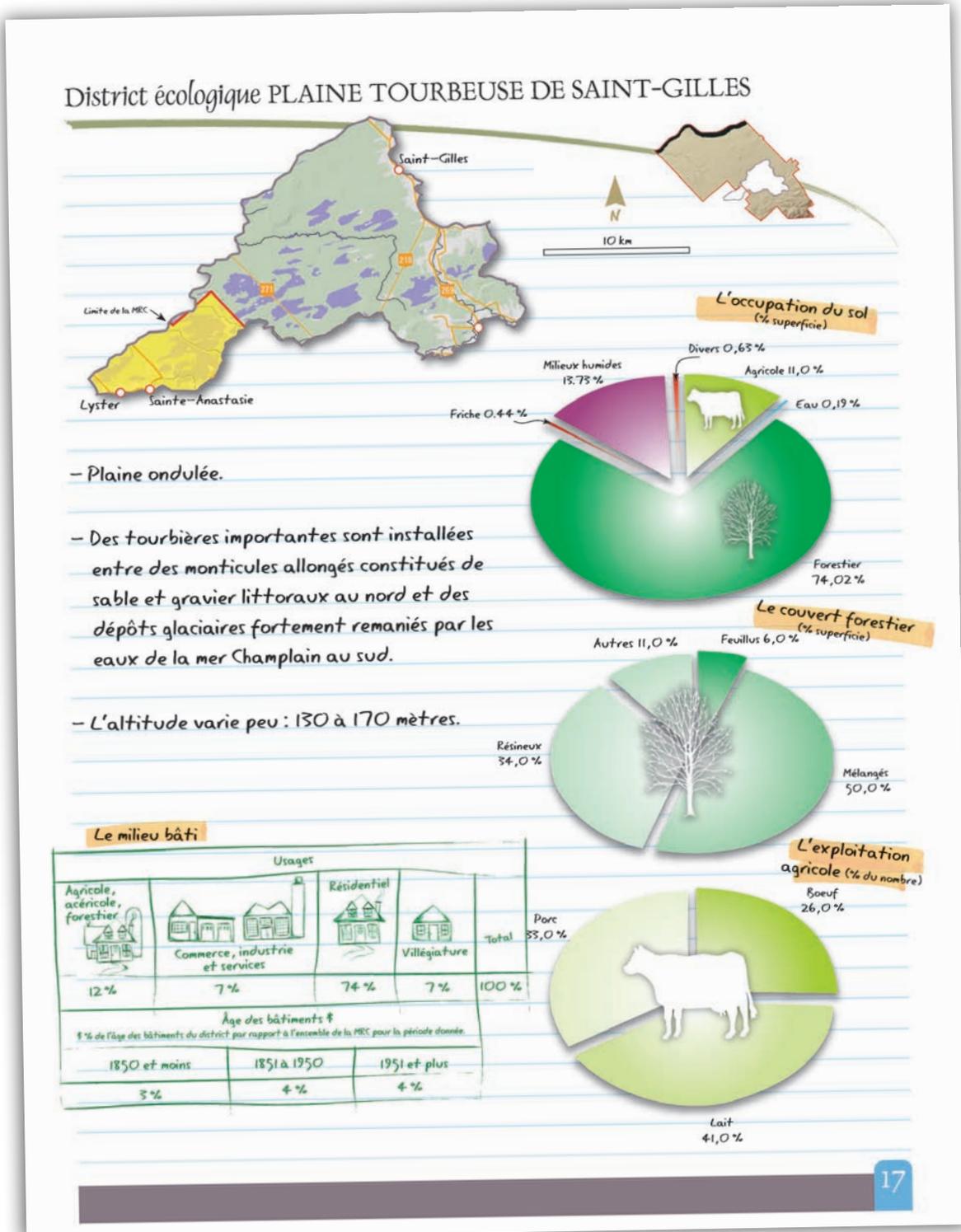


Figure 4.4. Exemple de fiche synthèse : district écologique de la Plaine tourbeuse de Saint-Gilles (Blais et coll., 2005)

Tout ceci a ensuite été validé par un survol aérien accompagné de prise de photographies et un travail au sol en parcourant l'essentiel du territoire. Ensuite, pour favoriser l'appropriation des résultats par les élus, ces derniers ont d'abord été amenés à reconnaître chaque unité lors d'une visite de terrain, puis à leur attribuer un toponyme reflétant au mieux leur particularité. Les noms proposés localement ont ensuite été validés par la Commission de toponymie du Québec. Ainsi, les noms des unités cartographiques paysagères correspondent à des toponymes en usage par la population.

Les fiches synthèses ont permis la rédaction d'un texte descriptif sur les paysages intégré au schéma d'aménagement. De plus, afin de mettre en valeur le projet, de rendre accessible la connaissance du territoire et de sensibiliser les élus, les intervenants et la population, divers outils de communication ont été élaborés. Une affiche synthèse et un guide de sensibilisation intitulé « Les paysages de la MRC de Lotbinière – De la connaissance à l'aménagement » (Blais et coll., 2005) ont notamment permis de faire connaître à la population les paysages à travers les réseaux des foires agricoles, des écoles, des municipalités et des bibliothèques. Des circuits cyclables et paysagères de la MRC ont également été créés et un dépliant a été distribué dans tous les foyers de la MRC de Lotbinière. Ainsi, « outil d'action et d'analyse, la démarche paysagère a permis de conscientiser les citoyens à la connaissance et à la protection de leur milieu » (Blais et St-Laurent, 2008, p. 29).

4.2.3 « Paysages maskoutains : révéler, mettre en valeur, requalifier », le rôle du CER dans un diagnostic de paysage

Face à une prise de conscience du rôle et de l'importance des paysages comme cadre de vie des populations et comme moteur de développement économique, la MRC des Maskoutains a amorcé les démarches d'un projet de paysage¹⁰ (Ruiz et coll., 2008). Les paysages de la MRC, localisés dans les zones d'intensification agricole du Québec, ont été marqués par une homogénéisation croissante au point où ils sont aujourd'hui considérés comme uniformes, voire dégradés (Ruiz et Domon, 2005).

¹⁰Le projet intitulé « *Paysages maskoutains : révéler, mettre en valeur, requalifier* » était dirigé conjointement par la MRC des Maskoutains et la Chaire en paysage et environnement et l'Université du Québec à Trois-Rivières. Il visait notamment à développer des méthodes de caractérisation et d'évaluation des paysages adaptées aux zones d'intensification agricole. Il était appuyé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le ministère de la Culture, des Communications et de la Condition féminine (MCCCF), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE), le ministère des Transports du Québec (MTQ), la Conférence régionale des élus - Montérégie-Est et Hydro-Québec.

Révéler les caractéristiques occultées de ces paysages, les mettre en valeur, voire les requalifier en leur donnant de nouvelles qualités constituent les principaux enjeux de ce projet.

Dans une première phase, un diagnostic des paysages est posé. C'est un outil d'analyse et d'actions pour comprendre les paysages et sensibiliser la population, les élus et autres intervenants. Une série d'études fournit des données factuelles sur les principales dimensions du paysage qui visent à mettre à jour les qualités et les dynamiques du paysage afin de faciliter l'adoption d'une vision commune en ce qui concerne son devenir. Quatre dimensions du paysage ont été retenues : physique et environnementale, évolutive, visuelle et socioculturelle (Ruiz et coll., 2008).

La caractérisation des dimensions physiques et environnementales poursuit un double objectif : d'abord, fournir une série d'images synthèse et mieux comprendre les caractéristiques de la dimension matérielle actuelle des paysages, ensuite, développer une méthode reproductible pour d'autres MRC rurales. Le principal défi est de révéler les caractéristiques de ces paysages d'intensification agricole au-delà de leur apparente uniformité. Cette caractérisation ne peut se limiter à la prise en compte des formes de relief, qui y sont essentiellement planes et peu marquées. Il faut être capable de révéler l'agencement spatial des différents types de cultures, des boisés, des haies, des arbres isolés, etc. Directement inspirée de la démarche menée dans Lotbinière et des recherches de la CPEUM, une méthode de caractérisation multiéchelle de la composition et des structures d'occupation des sols basée sur le CER est formalisée.

La démarche propose un regard de plus en plus détaillé sur la dimension matérielle des paysages, de plus en plus proche donc de la perception des populations. À l'échelle régionale, les ensembles physiographiques révèlent l'histoire de la formation géologique du territoire, expliquent les grandes coupures et les principales formes du relief qui marquent les paysages de la MRC.

Servant toujours à une mise en contexte régional, le niveau des districts écologiques jette les bases de la compréhension de la composition de l'occupation des sols, cartographiée à partir des images satellites Landsat classifiées en sept classes (culture annuelle, culture pérenne, forêt, eau, bâti, milieu humide). Mais ce n'est qu'au niveau des ensembles topographiques que les structures d'occupation des sols sont révélées. Grâce à l'utilisation de données plus précises sur les types de cultures¹¹ (maïs, soya, blé, orge, avoine, cultures fourragères, cultures maraîchères), la structure est analysée à l'aide d'indicateurs calculés avec

¹¹ Données de la Financière agricole du Québec.

le logiciel Fragstats (pourcentage d'occupation, densité des parcelles, taille moyenne des parcelles, distance moyenne entre les parcelles de même type, etc.). Sur la base des 17 ensembles topographiques, cinq grands types distincts de structure d'occupation des sols sont mis en évidence (figure 4.5). Cette méthode de caractérisation de la structure de l'occupation des sols se poursuit avec la sélection de rangs représentatifs des ensembles topographiques de la MRC¹². Ayant laissé leur empreinte historique sur les structures d'occupation des sols actuelles, les rangs constituent aussi une unité d'appartenance sociale pour les populations et l'échelle à laquelle elles appréhendent quotidiennement les paysages. Au total, neuf rangs ont été caractérisés. À l'échelle des rangs, une cartographie fine des haies, des arbres isolés, des parcelles agricoles, du bâti, des friches, des boisés et des cours d'eau permet de mettre en lumière les caractéristiques fines de la dimension matérielle des paysages¹³.

À travers ces exemples, il apparaît donc que le CER constitue un outil de découverte, de compréhension et d'analyse de l'organisation actuelle des paysages à des fins d'aménagement du territoire. Deux niveaux de perception ressortent comme étant plus particulièrement pertinents : les districts écologiques et les ensembles topographiques. Les exemples des MRC de Lotbinière et des Maskoutains montrent aussi que les élus, les intervenants et la population se reconnaissent dans la cartographie du CER et que celui-ci constitue un outil facilement appropriable. Plus encore, en attribuant à chaque unité un nom issu des collectivités locales, la démarche se veut un mode de qualification qui fait de ces unités des paysages à part entière. Ainsi, le CER est devenu dans les deux territoires présentés un outil de lecture pour sensibiliser les élus, les intervenants et les populations à leur cadre de vie, pour développer un sentiment d'appartenance et de fierté locale et, surtout, pour enclencher une réflexion sur leur devenir.

4.3 Le CER, un outil pour comprendre les dynamiques d'occupation des sols passées et anticiper les dynamiques futures

Les exemples précédents montrent que le CER fournit un cadre spatial pour connaître et comprendre l'organisation de la dimension matérielle des paysages en un temps donné. Or, dans quelle mesure permet-il également de

mieux connaître, de mieux comprendre, voire de mieux anticiper les changements dans cette organisation? La question mérite d'autant plus d'être posée que la gestion des évolutions temporelles demeure un des enjeux majeurs en matière de protection, d'aménagement et de gestion des paysages (Luginbühl, 2003). Cette question force toutefois au préalable un retour sur certaines études qui, dans le domaine de la géographie et de l'écologie historique, se sont attardées à mettre à jour les interactions complexes entre facteurs écologiques et facteurs sociohistoriques dans la dynamique d'occupation des sols.

4.3.1 La dynamique d'occupation des sols : par-delà le déterminisme et le possibilisme

Reflétant en cela la coupure épistémologique historique entre sciences de la nature et sciences humaines, les débats entourant la dynamique d'occupation des sols ont longtemps été polarisés entre deux thèses : celle du déterminisme et celle du possibilisme. Ainsi, selon la première, actualisée au cours des années 1960 par les travaux de McHarg (1965 et 1969) et par le concept de planification écologique, ce sont essentiellement les facteurs écologiques qui détermineraient l'occupation des sols et son évolution. À tout le moins, et sous la forme actualisée de cette thèse, ce sont eux qui nous indiqueraient les types à privilégier pour le futur. À l'inverse, selon la thèse possibiliste, les savoirs, les outils et les technologies développés par l'homme seraient tels que seules les volontés et les aspirations des personnes détermineraient ou devraient déterminer l'occupation d'un territoire et son évolution dans le temps.

Si les analyses de Pan et ses collaborateurs (1999), citées précédemment, paraissent confirmer la thèse du déterminisme, d'autres travaux permettent de mieux saisir le poids des facteurs écologiques dans les changements d'occupation des sols. Nous nous limiterons à référer brièvement à trois d'entre eux.

Dans sa remarquable introduction de son ouvrage *Histoire de la France rurale*, Bertrand (1975) présente chacune de ces thèses et en montre les limites ou plutôt, la complémentarité des perspectives qu'elles privilégient. Ainsi, après avoir noté que « la vigne et surtout les grands vignobles [...] se localisent près des grandes villes et des grands axes de communication, d'abord maritimes et fluviaux, plus tard, ferroviaires », il relève que, « par contre, si on étudie sur le terrain ou sur des cartes topographiques [...] on observe que les vignobles se localisent toujours, dans une région donnée, sur les terroirs qui lui sont favorables (ou le moins défavorables) : pentes caillouteuses à sols ressuyés, exposition au sud hors de portée des nappes de brouillards phréatiques

¹² Quatre rangs illustrent la structure fine de l'occupation des sols des plaines d'argile, puis un rang est sélectionné pour illustrer respectivement les plaines sablonneuses, les plaines ondulées de till, les monticules de till, les terrains sablonneux ravinés et les terrains argileux ravinés.

¹³ Une sortie sur le terrain et la production d'un dépliant explicatif ont permis l'appropriation de cette lecture de l'occupation des sols sur la base du CER par les élus et les intervenants régionaux. Un processus de nomination des ensembles topographiques, similaire à celui effectué dans Lotbinière, est également en cours.

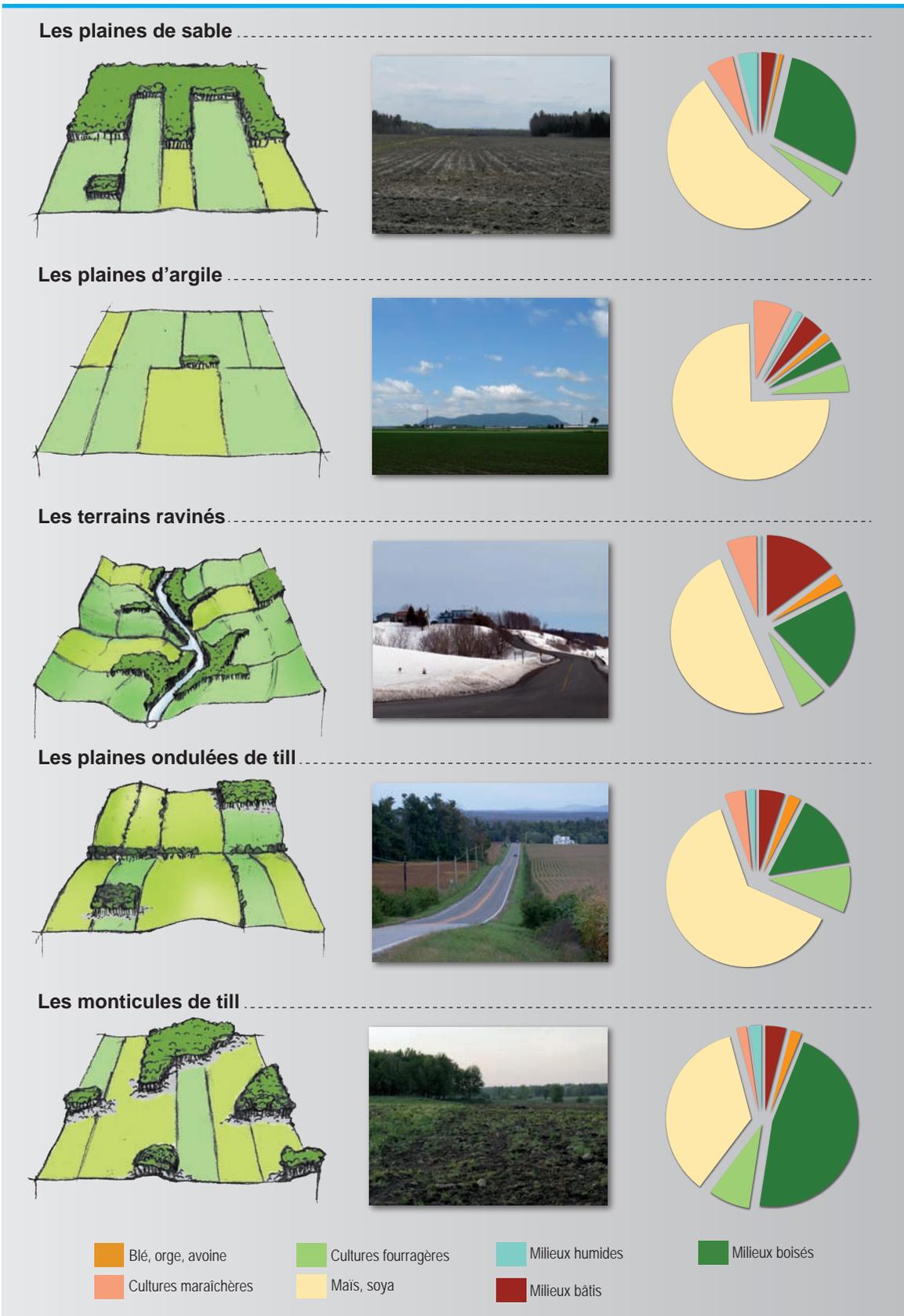


Figure 4.5. Représentation schématique des cinq structures types d'occupation des sols associées aux ensembles topographiques de la MRC des Maskoutains (adapté de Ruiz et coll., 2011)

des vallées » (p. 49-50). Constat qui l'amène à proposer qu'« il n'y a en fait aucune contradiction mais au contraire une « logique » dans l'aménagement de l'espace où interfèrent, à des échelles différentes, des contraintes humaines et écologiques » (p. 50). Aussi, « à de longues phases de blocage, donc de déterminisme pendant lesquelles les paysans sont confrontés à des structures écologiques finies, succèdent des périodes d'innovation et de progrès pendant lesquelles de nouvelles possibilités apparaissent dans la mise en valeur du milieu » (p. 53). Se démarquant des points de vue traditionnels, Bertrand laissait déjà poindre l'idée que les facteurs écologiques jouaient bel et bien un rôle important dans la répartition de l'occupation des sols, mais, à l'intérieur d'un contexte sociohistorique donné. En ce sens, ce serait donc les changements de contexte qui induiraient les changements d'occupation. Aussi, la pente, le type de sols, leur texture, leur drainage seraient, parmi d'autres, des facteurs déterminants, mais dont l'importance et la portée pourront évoluer grandement dans le temps.

Prenant appui sur un ensemble de travaux menés pendant plus de vingt ans dans le Haut-Saint-Laurent, Domon et Bouchard (2007) ont proposé une synthèse de l'histoire de l'occupation du territoire de la municipalité de Godmanchester, de la période précoloniale (1795) au début du 21^e siècle (2000). Sept « tableaux », correspondant chacun à une période précise (période précoloniale, période d'implantation initiale, période de premiers déploiements de l'agriculture, période d'expansion maximale de l'agriculture, période de concentration de l'agriculture sur la plaine, période d'intensification agricole et période de mise en valeur des qualités visuelles du paysage) et présentant un patron d'occupation des sols différent, ont été mis à jour et décrits. Constatant le caractère incessant des changements de l'occupation des sols et cherchant à mieux les expliquer, les auteurs ont constaté que :

« *If the biophysical characteristics of a territory and the social demand for the goods it provides are two major determinants of landscape dynamics, the historical reconstitution of Godmanchester illustrates rather well the determining role of a third factor that acts as a kind of mediator of the first two. The technological transformations stand out indeed as being at the origin of the shifts between anthropic and biophysical relationships and, thus, at the origin of landscape transformations*¹⁴. » (Domon et Bouchard, 2007, p. 1210).

Pour se limiter à un seul exemple, le déploiement de la culture céréalière sur la plaine d'argile au cours de la période 1975-1980 tient certes des caractéristiques écologiques du territoire (plaine argileuse située dans la

portion la plus méridionale du Québec), mais aussi de la volonté ferme, exprimée à travers un ensemble de programmes et de politiques, d'accroître la production de céréales et d'offrir une autre option aux producteurs laitiers. Toutefois, il n'aurait pas été possible en l'absence d'une série d'innovations technologiques, dont le développement du drainage souterrain des sols et celui de variétés de maïs-grain à plus courte saison de croissance. En ce sens, le poids des facteurs écologiques demeurerait bien réel, mais dans un contexte socio-techno-économique donné.

Prenant appui sur les conclusions de Domon et Bouchard (2007), et cherchant à jeter les bases d'une « théorie des changements de paysages », Burgi et ses collaborateurs (2010) ont formulé trois hypothèses susceptibles d'expliquer les changements dans l'occupation des sols. Ainsi :

- i) les changements demeureraient étroitement liés aux caractéristiques géomorphologiques du territoire;
- ii) les changements seraient l'expression de la demande socioéconomique pour une ressource spécifique;
- iii) les transformations technologiques seraient à l'origine des « changements de paysage. »

Un territoire de 30 km² dans la vallée de Limpach, en Suisse, a servi de laboratoire pour la validation de ces hypothèses. À partir d'écrits, de cartes et de photographies aériennes, les auteurs ont reconstitué l'occupation des sols de cette vallée depuis l'an 1400 en mettant l'accent sur le 20^e siècle. Analysant les transformations sous l'angle successif de chacune de ces hypothèses, ils ont été amenés à confirmer l'importance des caractéristiques géomorphologiques. Leur analyse supporte l'idée que les changements dans la demande de certaines ressources induisent des changements de paysage, en soulignant toutefois qu'il serait judicieux de remplacer le terme *ressource* par le concept de *bien et services*. Enfin, comme dans le cas du Haut-Saint-Laurent, leurs résultats sont venus appuyer l'idée que les changements de technologies se trouvent à la base des transformations des paysages.

¹⁴ « Si les caractéristiques biophysiques d'un territoire et la demande sociale pour les biens qu'il fournit sont deux déterminants majeurs de la dynamique du paysage, la reconstitution historique de Godmanchester illustre assez bien le rôle déterminant d'un troisième facteur jouant le rôle de médiateur entre les deux premiers. Les transformations technologiques apparaissent en effet comme étant à l'origine des changements dans les relations entre les dimensions anthropiques et biophysiques, et donc à l'origine des transformations du paysage. » [Traduction des auteurs]

Il semble donc aujourd'hui établi, ou en voie de l'être, que les changements d'occupation des sols ne relèvent ni du seul déterminisme écologique ni du seul possibilisme humain. Ils résultent plutôt de rapports complexes entre caractéristiques écologiques du territoire et demande sociale pour des biens et services, rapports qui s'établissent dans un contexte socio-techno-économique donné. C'est dire que les changements ne s'opèrent pas uniformément sur le territoire et que les caractéristiques écologiques continuent d'agir. Du coup, le CER peut servir de cadre pour mieux saisir et mieux comprendre les changements d'occupation des sols.

4.3.2 Analyser les dynamiques passées: l'exemple de la région des Laurentides

Issu d'un partenariat inédit à l'époque¹⁵, le projet « Évolution du territoire laurentidien : caractérisation

¹⁵ Ce partenariat rassemblait la CPEUM, le Conseil de la culture et des communications des Laurentides, le ministère de l'Environnement du Québec, le ministère de la Culture et des Communications, le ministère des Transports du Québec, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, les MRC Antoine-Labelle, des Laurentides, des Pays-d'en-Haut, de Deux-Montagnes, d'Argenteuil, de Rivière-du-Nord et de Thérèse-de-Blainville, Hydro-Québec, de même que le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada.

et gestion des paysages » (Domon et coll., 2000) aura été l'occasion de jeter les bases méthodologiques de l'analyse diachronique de la dimension matérielle des paysages. S'agissant de définir une approche de détermination et de caractérisation des paysages d'intérêt patrimonial, la stratégie retenue a été de repérer, à partir des photographies aériennes, les secteurs relativement inchangés dans le temps, soit les secteurs qui témoignent des pratiques et savoirs anciens. L'évolution de l'occupation des sols a été reconstituée à partir des photographies aériennes de 1928, 1964 et 1992 sur deux territoires témoins représentatifs de la région et totalisant 680 km². En révélant l'ampleur insoupçonnée des changements de l'occupation des sols, l'exercice a d'abord mis en évidence l'importance de la perspective historique, perspective qui seule permet de mesurer l'effet cumulatif de décisions et d'interventions ponctuelles et de cerner les tendances lourdes qui marquent l'évolution des territoires. Ainsi, en l'espace de quelques décennies, un des deux territoires témoins est passé d'une prédominance agricole à une prédominance forestière, puis à une présence marquée des noyaux urbains et des centres de villégiature (figure 4.6). Si les cartes résultant de la lecture des photographies aériennes permettent de bien localiser les quelques secteurs relativement inchangés et de mieux déterminer les dynamiques et les enjeux qu'elles soulèvent, le CER

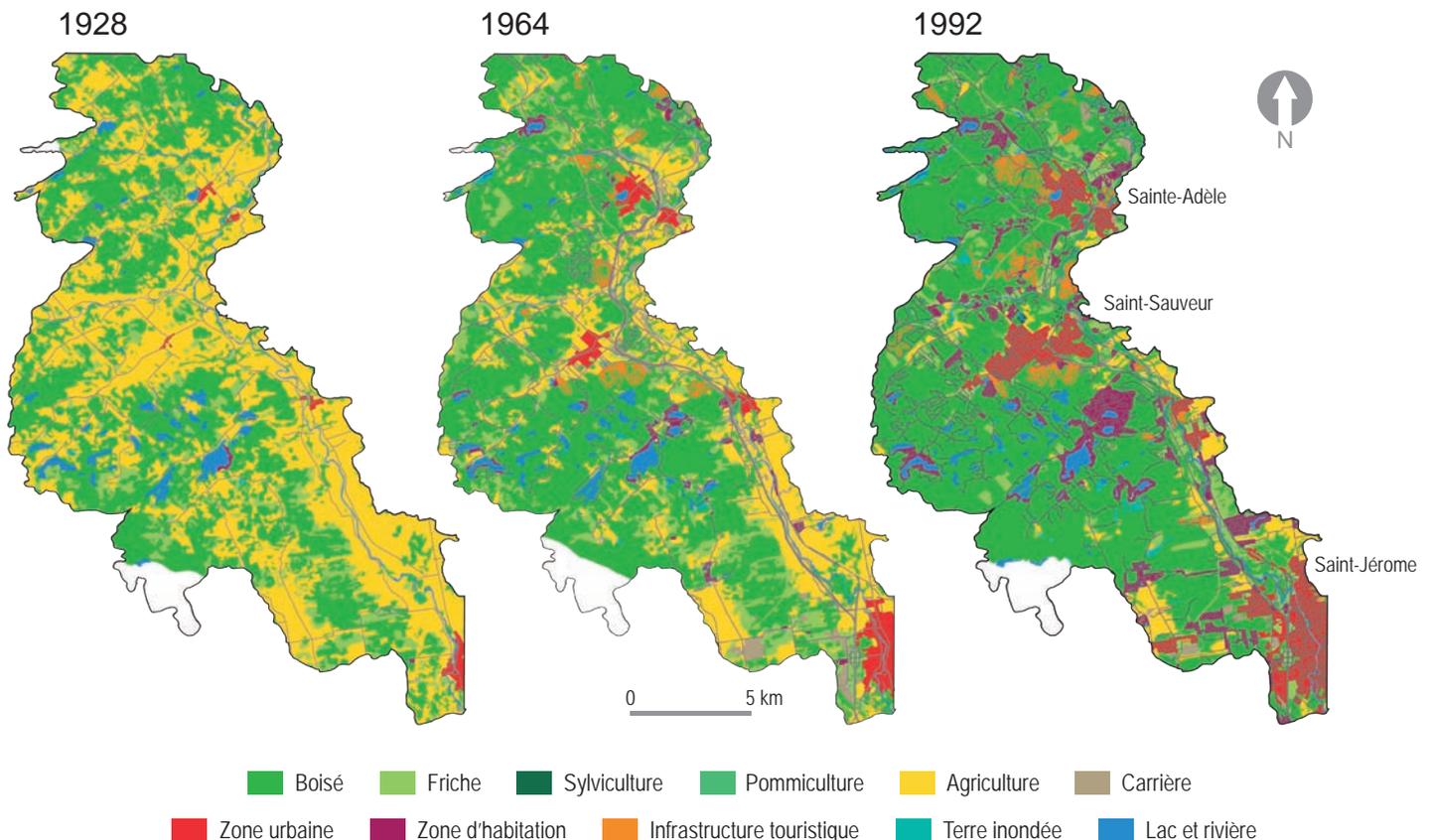
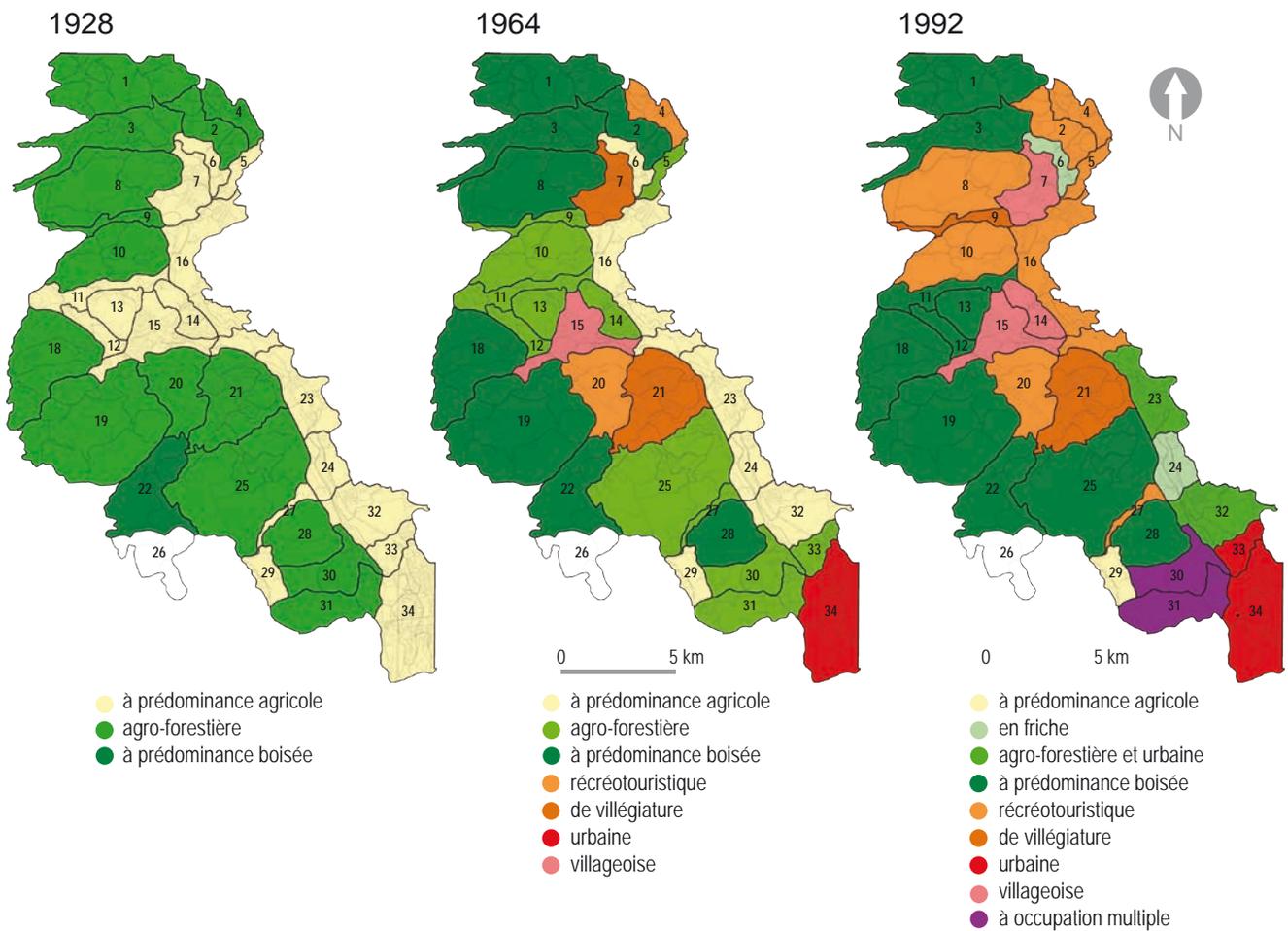


Figure 4.6. Évolution d'un secteur des Basses-Laurentides, en 1928, 1964 et 1992

vient apporter des éléments essentiels à la connaissance et à la compréhension des changements observés.

À l'échelle régionale, le report de l'utilisation des sols dans les unités du CER (ensembles topographiques) permet une lecture éclairée de la structure d'occupation des sols et de son évolution dans le temps (figure 4.7). La cartographie de l'utilisation des sols a d'abord été résumée en occupations prédominantes selon des règles simples. Ainsi, l'unité du CER a été désignée agricole si les superficies cultivées occupaient plus de 50 % de sa

superficie, boisée si l'espace boisé occupait plus de 70 % de la superficie et si les équipements récréotouristiques couvraient moins de 5 % de la superficie, etc. L'application systématique de ces règles aux différentes couvertures aériennes a rendu possible le suivi systématique de l'évolution des grands paysages à l'échelle régionale. Certains patrons et tendances sont aisément décelables. Ainsi, en 1928, la structure d'occupation est simple. L'essentiel du fond de vallée de la rivière du Nord est à prédominance agricole, comme la plaine de Saint-Sauveur et le fond de vallée de la rivière Simon. Quant aux



Ensembles topographiques

- 1- Basses collines du mont Marinier
- 2- Buttes du mont Alouette
- 3- Fond de vallée de la rivière aux Mulets
- 4- Fond de vallée de Sainte-Marguerite
- 5- Fond de vallée de Mont-Rolland
- 6- Vallée de Sainte-Adèle
- 7- Basses collines du sommet Bleu
- 8- Basses collines du mont Loup-Garou
- 9- Fond de vallée du lac Renaud
- 10- Basses collines du mont Gabriel
- 11- Fond de vallée de la rivière Simon
- 12- Ensellement de Christieville

- 13- Basses collines La Marquise
- 14- Basses collines du mont Belvédère
- 15- Plaine de Saint-Sauveur-des-Monts
- 16- Fond de vallée de Prévost
- 17- Fond de vallée Avila
- 18- Basses collines du la Breton
- 19- Buttes du mont Habitant
- 20- Basses collines du lac Morin
- 21- Basses collines de Sainte-Anne-des-Monts
- 22- Basses collines du lac Ouimet
- 23- Fond de vallée de Shawbridge

- 24- Vallée de la Porte du Nord
- 25- Coteau de lac Johanne
- 26- Buttes de Tamaracouta
- 27- Fond de vallée du lac Filion
- 28- Coteau du domaine Raymond
- 29- Vallée de Bellefeuille
- 30- Coteau du domaine Richer
- 31- Terrain du domaine Ouellette
- 32- Fond de vallée du lac Saint-François
- 33- Versant de Lafontaine
- 34- Plaine de Saint-Jérôme

Figure 4.7. Évolution des dominantes de l'occupation sur les différents ensembles topographiques d'un secteur des Basse-Laurentides, en 1928, 1964 et 1992

autres ensembles topographiques, pour la plupart avec une topographie plus marquée, ils sont agroforestiers. En 1964, la structure paraît déjà plus complexe. Le territoire est traversé par certaines tendances significatives : avancée de la forêt sur les secteurs à topographie plus marquée (p. ex., buttes du mont Habitant), déploiement du noyau villageois de Saint-Sauveur dans le fond de vallée, déprise agricole généralisée dans les secteurs situés à l'extérieur du fond de vallée de la rivière du Nord et, enfin, apparition d'importants secteurs récréotouristiques, notamment à proximité de Saint-Sauveur (basses collines du lac Morin et de Sainte-Anne-des-Monts).

En 1992, l'organisation spatiale devient encore plus complexe. Outre le débordement de secteurs à prédominance urbaine aux abords de Saint-Jérôme, on note l'émergence de deux blocs à prédominance

forestière, l'un dans la portion nord (basse colline du mont Marinier et fond de vallée de la rivière aux Mulets), l'autre dans la portion centrale (buttes du mont Habitant, coteau du lac Johanne, etc.). Par ailleurs, ces blocs sont séparés par des ensembles à prédominance tantôt récréotouristique, tantôt villageoise, tantôt de villégiature. À l'exception de la vallée de Bellefeuille, la plupart des terres agricoles avaient cédé la place à d'autres usages, dont la forêt et le récréotourisme.

Si, à l'échelle régionale, le CER facilite la lecture de la dynamique d'occupation des sols et fait ressortir certains patrons en lien avec les caractéristiques physiques du territoire, à l'échelle locale, en revanche, il propose certaines bases de compréhension des changements observés. Ainsi, et à titre d'exemple, le village de Saint-Sauveur-des-Monts (figure 4.8) prend forme dans la plaine

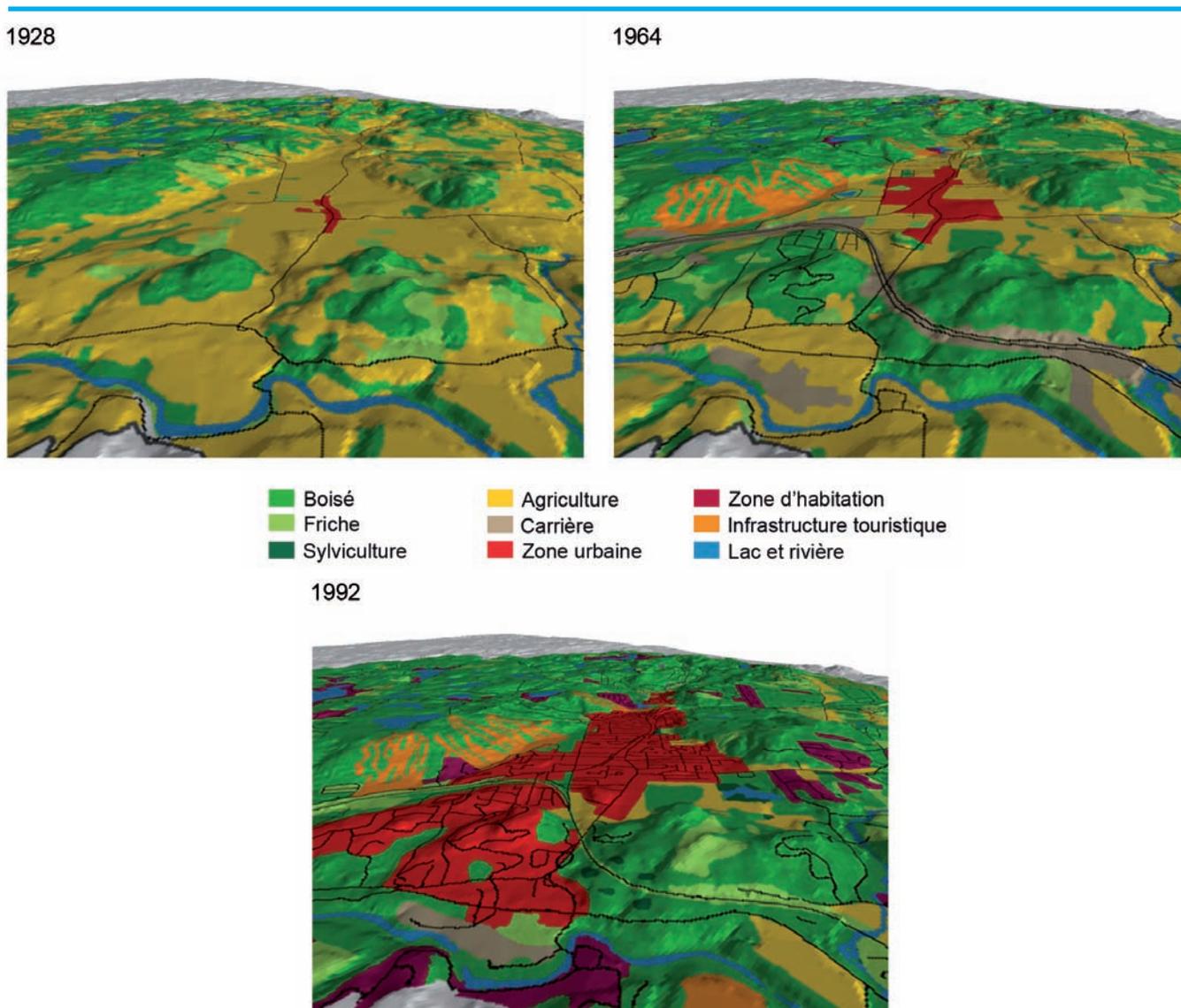


Figure 4.8. Évolution de l'occupation des sols du noyau villageois de Saint-Sauveur-des-Monts, en 1928, 1964 et 1992

de sable alors essentiellement agricole qui est entourée de basses collines (du mont Gabriel, du lac Breton et du lac Morin) et des buttes du mont Habitant. En 1928, ces dernières sont boisées sur les sommets, mais cultivées sur les versants. Enfin, les secteurs les plus en pente sont en friche. Les photographies aériennes de 1964 laissent voir un visage profondément transformé pour la municipalité et ses abords et le CER permet de saisir la logique des transformations en cours. Un domaine skiable s'est implanté sur le versant des basses collines du lac Morin, l'autoroute 15, en voie de construction, se faufile à travers collines et buttes, le village se déploie dans la plaine et l'espace agricole régresse largement sur tous les secteurs en pente, laissant place à la friche et à la forêt. Enfin, en 1992, dans la foulée des dynamiques induites par l'autoroute et le domaine skiable, l'espace construit occupe non seulement l'ensemble de la plaine de Saint-Sauveur, il s'étend aussi sur de vastes portions des buttes et basses collines (p. ex., basses collines du mont Belvédère) environnantes. Largement dominante en 1928, l'agriculture a presque totalement disparu, seules quelques friches aux pieds des basses collines témoignent de son importance passée.

Tout en jetant les bases méthodologiques de l'analyse diachronique des paysages, le projet « Évolution du territoire laurentidien : caractérisation et gestion des paysages » a, à nouveau, mis en évidence l'importance de considérer les dimensions écologiques dans l'analyse et la compréhension des paysages. Il a par ailleurs apporté une première démonstration du rôle du CER en tant que cadre spatial d'analyse des dynamiques d'occupation des sols. Enfin, en montrant clairement que les unités du cadre écologique pouvaient être traversées par des dynamiques différenciées selon leurs caractéristiques (dépôt, déclivité, etc.), ce projet est également venu suggérer que le CER pouvait servir de base pour des travaux visant à mieux anticiper les dynamiques futures. Ce à quoi se sont employés les projets réalisés par la suite dans Lanaudière et dans la MRC des Maskoutains.

4.3.3 Le CER, un cadre spatial pour penser le devenir des paysages : des scénarios prospectifs dans la région de Lanaudière

La recherche s'est poursuivie dans la région de Lanaudière sur la base des structures d'occupation des sols représentatives des zones d'intensification agricole au niveau de perception des ensembles topographiques (les plaines d'argile, les monticules de till et les terrasses de sable). L'objectif ultime de ce projet était de déterminer les structures et les caractéristiques des paysages par lesquelles il serait possible de réintroduire la multifonctionnalité des territoires agricoles, soit de réintroduire des fonctions passées (environnementales)

et de supporter de nouvelles fonctions (récréatives, résidentielles) (Ruiz et coll., 2008). Trois années de recherche d'une équipe multidisciplinaire ont mené à la détermination d'un certain nombre de structures et caractéristiques paysagères utiles à la biodiversité des cultures (Roullé et coll., 2007; Maisonhaute et coll., 2010), aptes à maintenir une bonne qualité d'eau (Jambon et coll., 2008) et valorisées par les populations (Voulligny et coll., 2009).

Autrement dit, les résultats montrent qu'il est possible de définir, dans les zones d'intensification agricole, des composantes et des structures paysagères aptes à supporter des fonctions multiples (environnementale, esthétique, récréative, etc.) et à bénéficier à l'ensemble des intervenants (producteurs agricoles, résidents, collectivité dans son ensemble). Dès lors, comment faire pour mettre en place ces structures de paysage?

Une chute importante de la population agricole associée à une diversification du profil sociodémographique des résidents a marqué le monde rural au cours des dernières décennies. Au sein même des zones d'intensification agricole, l'agriculture ne peut plus maintenir seule le dynamisme du milieu. La majorité des résidents n'entretient plus de relations de production avec le territoire et les demandes pour les fonctions résidentielles, récréatives, environnementales et culturelles des paysages sont croissantes. La prise en compte de ces demandes portées par des acteurs de plus en plus diversifiés constitue un défi majeur pour l'aménagement. Dans ce contexte, des démarches participatives d'aménagement s'avèrent essentielles (Luz, 2000), tout comme le développement d'outils pour accompagner les acteurs à penser le devenir de leur cadre de vie. Des scénarios¹⁶ illustrant le devenir possible des paysages constituent de tels outils. Intégrés à une démarche prospective en paysage, ces scénarios peuvent à la fois générer un espace de dialogue entre chercheurs, population et acteurs de l'aménagement et informer sur les transformations des paysages causées par différents modes de gestion (Tress et Tress, 2003). Des scénarios prospectifs des paysages ont été élaborés dans le cadre de ce projet à partir des structures d'occupation des sols représentatives des zones d'intensification agricole établies sur la base du CER. En prenant appui sur ces scénarios, le projet de recherche visait à définir des configurations de paysages « collectivement partagées », c'est-à-dire des configurations susceptibles de faire consensus au sein des populations rurales et d'assurer

¹⁶ Un scénario est une description de la situation actuelle et d'un état futur possible ou désiré, provoqué par une série d'événements qui pourraient survenir entre la situation présente et la situation future (Veeneklaas et Van der Berg, 1995). Il ne constitue pas un pronostic ou une prédiction, mais permet le développement de plusieurs options paysagères futures, tout en tenant compte des incertitudes (Tress et Tress, 2003).

la reconnaissance du caractère multifonctionnel des paysages.

Trois scénarios, un pour chaque structure d'occupation des sols, présentés sous forme cartographique et visuelle ont été élaborés sur un horizon de 20 ans. Le premier est un scénario de statu quo : que deviendraient les paysages si les tendances actuelles d'évolution se poursuivent ? Le second, « réglementaire », tient compte des lois, programmes et règlements actuels susceptibles d'infléchir la dynamique des paysages. Enfin, le troisième est un scénario alternatif dit « multifonctionnel » qui intègre les résultats de la recherche et vise ainsi à maximiser la biodiversité utile aux cultures, à améliorer la qualité de l'eau et à mettre en valeur les composantes du paysage valorisées par les populations locales (p. ex., ouverture visuelle sur les boisés, diversité de cultures, présence de haies plantées).

L'élaboration du scénario de statu quo a pris appui sur une analyse fine de l'évolution de 1983 à 2000 des structures du paysage (p. ex., haies, parcelles agricoles) et de l'occupation des sols (cultures annuelles, pâturages, boisés) réalisée à l'aide de photographies aériennes. Cette période suit la mise en place des principaux programmes et politiques agricoles des années 1970 (programme d'assurance stabilisation du revenu) qui façonnent encore les paysages d'aujourd'hui. Tout comme dans la région des Laurentides (section précédente), cette analyse a montré des différences d'évolution des paysages entre les trois unités du CER analysées (tableau 4.1). Si, comme cela a été relevé ailleurs (Ruiz et Domon, 2009), des tendances à l'agrandissement du parcellaire, à la disparition

des pâturages et à la croissance spontanée des haies s'observent dans tous les types de milieux physiques, les boisés présentent des évolutions différenciées. Sur les plaines d'argile, ils sont déjà quasi absents en 1983. Sur les monticules de till, ils présentent au contraire une croissance due à la transformation de la friche en boisés dans les secteurs abandonnés par le pâturage. Enfin, dans les terrasses de sable, ils tendent au contraire à disparaître au profit d'une mise en culture. Cette analyse confirme à nouveau le caractère différencié de certains changements selon le milieu physique, même dans les territoires les plus intensivement cultivés présentant une apparente uniformité.

Prenant appui sur ces données d'évolution, les tendances de changement ont été reportées sur un horizon de 20 ans. Puis, en relevant la localisation des principaux changements entre 1983 et 2000 et en tenant compte des possibilités spatiales de ces changements pour chacun des territoires, une série de règles spatiales a pu être établie pour la réalisation de la cartographie du scénario de statu quo. À titre d'exemple, pour les plaines d'argile, la croissance spontanée des haies a lieu à proximité des boisés et des bandes riveraines déjà arborescentes (figure 4.9). Les scénarios réglementaire et multifonctionnel de chacune des unités du CER sont ensuite construits sur la base du scénario de statu quo, en ajoutant des hypothèses de changements propres à chacun de ces scénarios. Chaque groupe de scénarios diffère donc selon que l'on se trouve sur les plaines d'argile, sur les monticules de till ou sur les terrasses de sable. Les figures 4.10 et 4.11 (pages 127 et 128) en fournissent un exemple pour les plaines d'argile et les monticules de till.

Tableau 4.1. Évolution de l'occupation des sols et des structures du paysage en 1983 et 2000, et projetée en 2020 sur les scénarios cartographiques de statu quo (Réalisation : Marc Lescarbeau)

	Plaine d'argile			Monticules de till			Terrasses de sable		
	1983	2000	2020	1983	2000	2020	1983	2000	2020
Occupations du sol									
Boisé	2 %	2 %	3 %	26 %	28 %	30 %	56 %	54 %	52 %
Culture annuelle	82 %	82 %	81 %	52 %	52 %	52 %	19 %	22 %	27 %
Pâturage	2 %	2 %	1 %	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Friche	2 %	2 %	0 %	6 %	4 %	2 %	14 %	11 %	8 %
Milieu bâti	5 %	6 %	8 %	5 %	5 %	6 %	2 %	2 %	3 %
Structures du paysage									
Limites de parcelle	2,9 %	1,8 %	1,8 %	2,5 %	1,9 %	1,8 %	1,4 %	1,4 %	1,4 %
Haie	0,2 %	0,9 %	1,5 %	0,5 %	0,6 %	0,7 %	0,0 %	0,3 %	0,8 %

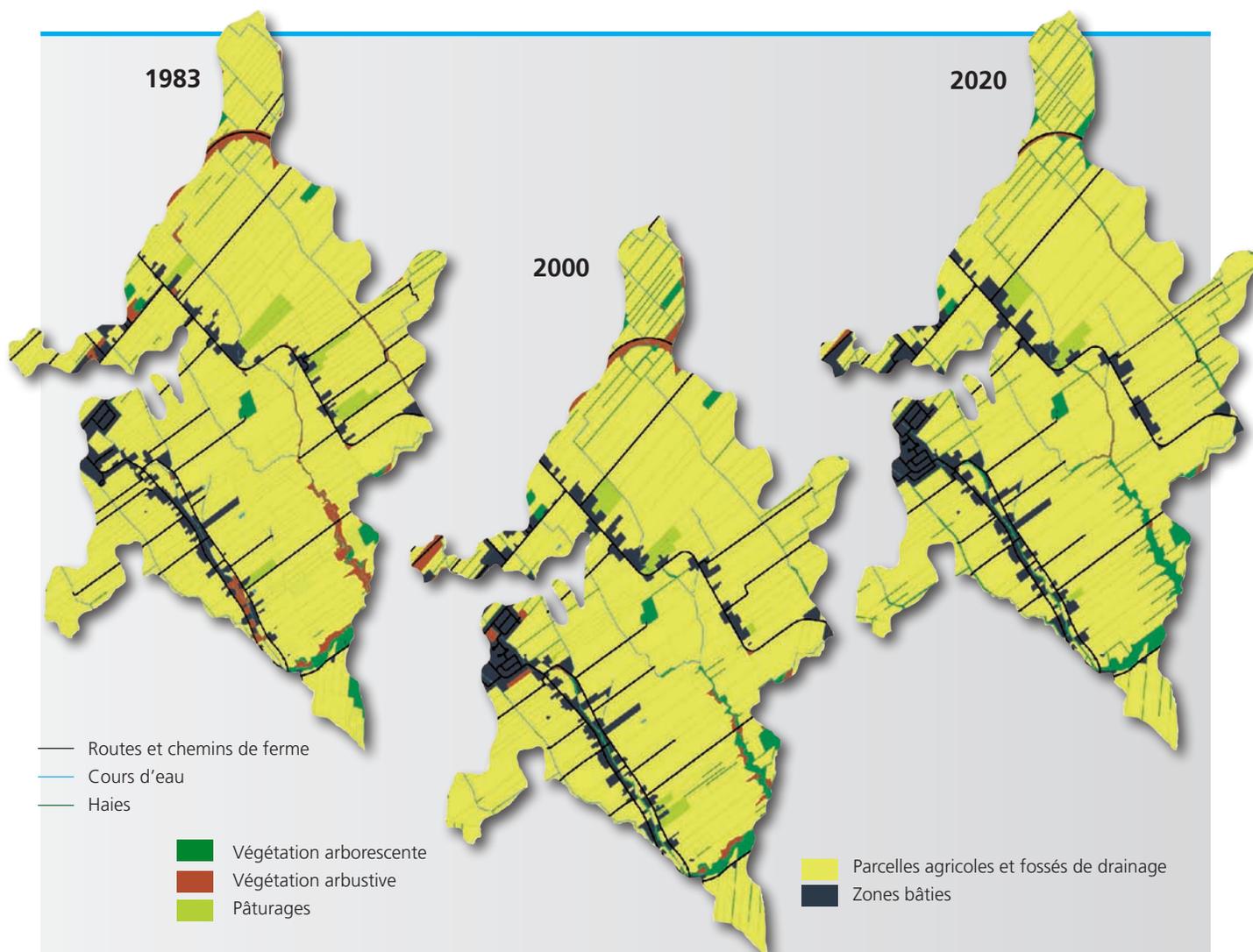


Figure 4.9. Évolution de l'occupation des sols et des structures des paysages sur la plaine d'argile en 1983 et 2000 et au sein du scénario de statu quo en 2020

Ces scénarios ont été soumis à la population résidant sur les unités du CER analysées. Dans un premier temps, afin de tester l'adhésion sociale des populations aux scénarios et de mieux cerner leur perception des différents éléments qui les composent, la population a été rencontrée lors d'entretiens individuels. Dans un second temps, sur la base des trois scénarios précédents, une méthode de construction d'un scénario « collectivement partagé » par les populations a été développée et testée en groupe de six à huit personnes. Enfin, le scénario multifonctionnel a été présenté aux acteurs de l'aménagement afin de mieux cerner les outils disponibles et leurs limites pour la mise en œuvre réelle du scénario (Paquin et coll., 2011). Cet exemple d'utilisation du CER pour la construction de scénarios d'avenir montre bien son potentiel pour anticiper les changements futurs si le contexte socio-technico-économique demeure inchangé dans un futur

proche. Une telle anticipation ne peut toutefois être élaborée sans une connaissance des principales forces de changements actuels des paysages. En effet, la période de temps à la base des projections du scénario de statu quo est cruciale pour leur crédibilité; une projection sur la base des changements de 1950 à 2000, par exemple, aurait fourni une tout autre image de l'avenir. Sur cette base, d'autres options peuvent donc être présentées à la population pour l'accompagner dans la définition d'une vision d'avenir de son territoire et proposer des aménagements davantage en accord avec ses caractéristiques écologiques. Cette méthode des scénarios visuels prospectifs sera réutilisée dans la seconde phase du projet « Paysages maskoutains : révéler, mettre en valeur, requalifier ». Ce projet permettra alors de tester à grande échelle les potentialités du CER pour aider à façonner le devenir des paysages et des territoires.

1 Paysage actuel



2 Scénario de statu quo



3 Scénario réglementaire



4 Scénario multifonctionnel



Figure 4.10. Illustration du paysage actuel de la plaine d'argile et scénarios visuels sur un horizon de 20 ans : (1) Paysage actuel; (2) Scénario de statu quo; (3) Scénario réglementaire; (4) Scénario multifonctionnel (Réalisation : Karoline Davignon et Julie Ruiz, 2008)

1 Paysage actuel



2 Scénario de statu quo



3 Scénario réglementaire



4 Scénario multifonctionnel



Figure 4.11. Illustration du paysage actuel des monticules de till et scénarios visuels sur un horizon de 20 ans : (1) Paysage actuel; (2) Scénario de statu quo; (3) Scénario réglementaire; (4) Scénario multifonctionnel (Réalisation : Marie Comat et Julie Ruiz, 2009)

4.4 Conclusion

En matière de paysage, les enjeux se sont longtemps posés en termes de sensibilisation. Il s'agissait de faire comprendre la pertinence de la prise en compte du paysage en aménagement du territoire. Or, les reconnaissances officielles mentionnées en introduction, tout comme les nombreuses initiatives de protection, de mise en valeur et de développement qui ont émergé dans toutes les régions du Québec au cours des dernières années¹⁷ montrent bien que l'enjeu véritable est aujourd'hui de savoir *comment* et avec *quels outils agir*. Sur ce plan, il ne saurait y avoir d'outil unique. Ainsi, à l'image du menuisier ou du dentiste qui doit choisir l'outil le plus approprié compte tenu du contexte et de la nature des interventions, l'aménagiste devra inévitablement puiser à même une « boîte à outils ».

Cela dit, les différents travaux dont fait état le présent chapitre montrent que le CER pourrait bien constituer un outil privilégié au sein de cette boîte. D'une part, en portant sur les formes de relief, il permet de rendre compte de manière systématique et rigoureuse de la morphologie du support physique des « portions de territoire qui s'offrent à la vue ». D'autre part, il permet, non seulement de connaître et de comprendre la composition, l'agencement spatial et les dynamiques de l'occupation des sols, mais aussi de mieux anticiper et orienter les occupations futures.

L'intérêt du CER en matière d'aménagement et de gestion des paysages paraît d'autant plus grand que, comme il ressort des travaux réalisés dans les MRC de Lotbinière et des Maskoutains, les élus, les intervenants et la population se reconnaissent dans la cartographie des territoires qui en résulte. Le CER met ainsi en évidence des structures d'occupation des sols à une échelle de « concernement » des activités humaines. Du coup, il propose des unités territoriales à la fois compréhensibles et significatives pour les gens. Il favorise ainsi l'appropriation (ou la réappropriation) du territoire et la participation citoyenne à l'aménagement et à la gestion du territoire.

De même, le CER peut agir énormément sur l'appréciation des paysages en lien avec les actions posées. La nature des informations livrées et les éléments de connaissance et de compréhension qui en découlent paraissent tels que le CER peut effectivement amener une prise en compte accrue des dimensions environnementales au sein du

processus d'appréciation. À titre d'exemple, quelle que soit sa valeur esthétique, un champ cultivé ne pourra être apprécié de la même manière s'il est démontré que les caractéristiques écologiques du territoire (nature des sols, déclivité, drainage, texture, etc.) font que la culture qui y est pratiquée le rend à risque sur le plan de l'érosion et de la durabilité de l'exploitation. Alors qu'il est de plus en plus largement reconnu que l'évaluation des paysages ne peut reposer sur la seule dimension esthétique, le CER pourrait constituer un levier pour la prise en compte systématique et rigoureuse de la dimension environnementale au sein de celle-ci.

Si, donc, le CER ressort comme un outil privilégié d'analyse, de compréhension et de gestion des paysages ruraux, il importe de souligner au terme du présent chapitre que sa portée réelle reste à mesurer. Puisque le paysage se situe « entre la nature et la société » et que le CER est centré sur les dimensions naturelles (c.-à-d. écologiques), il reste à préciser les seuils à partir desquels les dimensions sociales et culturelles deviennent prédominantes. Les travaux menés dans les MRC de Lotbinière et des Maskoutains sont convaincants quant au fait qu'au niveau de perception des districts écologiques et des ensembles topographiques, l'importance des facteurs écologiques demeure considérable. Toutefois, qu'en est-il des niveaux inférieurs? Autrement dit, à partir de quel niveau de perception les facteurs sociaux, culturels et historiques permettent-ils de mieux appréhender les paysages ruraux? La question est d'autant plus pertinente que, comme l'ont relevé plusieurs auteurs (Deffontaines, 1953; Domon, 2006; etc.), une composante sociohistorique comme le rang a profondément marqué l'organisation spatiale (p. ex., distance entre les habitations) et sociale (p. ex., école de rang) des territoires ruraux, suggérant du coup qu'à un niveau de perception inférieur, il pourrait constituer l'échelle à privilégier.

¹⁷ À titre d'exemple, le 1^{er} Forum québécois sur la demande sociale en paysage, tenu à l'Université de Montréal en juin 2009, a permis de révéler une quarantaine de démarches de protection, de mise en valeur et de développement des paysages réparties dans toutes les régions du Québec. Voir www.paysage.umontreal.ca.

4.5 Références bibliographiques

- BEAUCHESNE, P., M.-J. CÔTÉ, S. ALLARD, J.-P. DUCRUC et Y. LACHANCE, 1998. *Atlas écologique du bassin versant de la rivière L'Assomption : la partie des Basses-Terres du Saint-Laurent*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, et Environnement Canada, 42 p.
- BERQUE, A. (dir.), 1994. *Cinq propositions pour une théorie du paysage*. Seyssel, Éditions Champ Vallon, « Pays/Paysages », 122 p.
- BERTRAND, G., 1975. « Pour une histoire écologique de la France rurale ». Dans Bertrand, G., (dir.), *Histoire de la France rurale*, Paris, Le Seuil, p. 34-113.
- BERTRAND, G., 1978. « Le paysage entre la nature et la société ». *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, vol. 49, n° 2, p. 239-258.
- BLAIS, J.-S., J.-P. DUCRUC, Y. LACHANCE et M.-F. ST-LAURENT, 2005. *Les paysages de la MRC de Lotbinière – De la connaissance à l'aménagement*. Québec, MRC de Lotbinière et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs, 24 p.
- BLAIS, J.-S., et M.-F. ST-LAURENT, 2008. « Les paysages de la MRC de Lotbinière... de la connaissance vers l'aménagement ». *Urbanité*, juin 2008, p. 29-30.
- BRANDT, J., et H. VEJRE, 2004. « Multifunctional landscapes - motives, concepts and perspectives ». Dans Brandt, J., et H. Vejre (dir.). *Multifunctional landscapes, volume I, Theory, values and history*, Southampton, Boston, WIT Press, p. 3-31.
- BÜRGI, M., et M. G. TURNER, 2002. « Factors and Processes Shaping Land Cover and Land Cover Changes Along the Wisconsin River », *Ecosystems*, vol. 5, n° 2, p. 184-201.
- BÜRGI, M., A. M. HERSPERGER et N. SCHNEEBERGER, 2004. « Driving forces of landscape change - current and new directions ». *Landscape Ecology*, vol. 19, n° 8, p. 857-868.
- BÜRGI, M., A. STRAUB, U. GIMMI et D. SALZMANN, 2010. « The recent landscape history of Limpach valley, Switzerland: considering three empirical hypotheses on driving forces of landscape change ». *Landscape Ecology*, vol. 25, n° 2, p. 287-297.
- CONSEIL DE L'EUROPE, 2000. *Convention européenne du paysage*. Florence, Série des traités européens n° 176.
- DAKIN, S., 2003. « There's more to landscape than meets the eye: towards inclusive landscape assessment in resource and environmental management ». *Canadian Geographer*, vol. 47, n° 2, p. 185-200.
- DEFFONTAINES, P., 1953. « Le rang, type de peuplement rural du Canada français ». *Cahiers de géographie du Québec* (ancienne série), n° 5, p. 3-30.
- DOMON, G., 2006. « Les paysages agricoles hérités : le système des rangs au Québec ». Dans Madoré, F. (dir.), *Le commentaire de paysage en géographie humaine*. Paris, A. Colin Éditeurs, p. 202-206.
- DOMON, G., 2009. « Le diagnostic paysager ». Dans Domon, G. (dir.), *Le paysage humanisé au Québec. Nouveau statut, nouveau paradigme*. Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal, p. 137-209
- DOMON, G., G. BEAUDET et M. JOLY (avec la participation de J.-P. Ducruc et M.-O. Trépanier), 2000. *Évolution du territoire laurentidien : caractérisation et gestion des paysages*. Montréal, Isabelle Quentin éditeur, 142 p.
- DOMON, G., et A. BOUCHARD, 2007. « The landscape history of Godmanchester (Québec, Canada), two centuries of shifting relationships between anthropic and biophysical factors ». *Landscape Ecology*, vol. 22, n° 8, p. 1201-1214.
- DOMON, G., A. BOUCHARD et M. GARIÉPY, 1993. « The dynamics of the forest landscape of Haut-Saint-Laurent (Québec, Canada): interactions between biophysical factors, perceptions and policy ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 25, n° 1-2, p. 75-83.
- JAMBON, C., D. BLAIS, M.-J. CÔTÉ et J. RUIZ, 2008. *Influence des caractéristiques écologiques du territoire, de la composition et de la configuration de l'occupation des sols sur la qualité de l'eau de surface face à la pollution diffuse en phosphore et en azote en milieu agricole au Québec*. Rapport de recherche, Chaire en paysage et environnement et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Montréal, 122 p.
- KRISTENSEN, S. B. P., A. REENBERG et J. J. D. PEÑA, 2009. « Exploring local rural landscape changes in Denmark: A human-environmental timeline perspective ». *Danish Journal of Geography*, volume 109, n° 1, p. 47-67.
- LEITAO, A. B., J. MILLER, J. AHERN et K. MCGARIGAL, 2006. *Measuring Landscapes: A Professional Planner's Manual*. Washington, Island Press, 272 p.
- LUGINBÜHL, Y., 2003. « Temps social et temps naturel dans la dynamique du paysage ». Dans Poullaouec Gonidec, P., S. Paquette et G. Domon (dir.), *Les temps du paysage*. Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal, p. 85-104.
- LUZ, F., 2000. « Participatory landscape ecology – A basis for acceptance and implementation ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 50, n° 1-3, p. 157-166.
- MCHARG, I. L., 1965. « Ecological Determinism ». Dans Fraser Darling, F. (dir.), *Future Environment of North America*, New York, Natural History Press, p. 526-538.
- MCHARG, I. L. 1969. *Design with Nature*. New York, Natural History Press, 208 p.
- MAISONHAUTE, J. E., P. PERES NETO ET É. LUCAS, 2010. « Influence of agronomic practices, local environment and landscape structure on predatory beetle assemblage ». *Agriculture, Ecosystem and Environment*, vol. 139, n° 4, p. 500- 507.
- MCCCF (MINISTÈRE DE LA CULTURE, DES COMMUNICATIONS ET DE LA CONDITION FÉMININE), 2007. *Un regard neuf sur le patrimoine culturel*. Québec, Gouvernement du Québec, 26 p.

- MCGARIGAL, K., et B. J. MARKS, 1995. *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report PNW-351.
- PAN, D., G. DOMON, S. DE BLOIS et A. BOUCHARD, 1999. « Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Québec, Canada) and their relation to landscape physical attributes ». *Landscape Ecology*, vol. 14, n° 1, p. 35-52.
- POULLAOUËC-GONIDEC, P., G. DOMON et S. PAQUETTE, 2005. « Le paysage, un concept en débat ». Dans Poullaouec-Gonidec, P., G. Domon et S. Paquette (dir.), *Paysages en perspective*, Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal, série « Paysages », p. 19-43.
- ROULLÉ, N., É. LUCAS, G. DOMON et J. RUIZ, 2007. « Effects of landscape composition and physical characteristics of the land on the biological control of aphids ». Dans Bunce, R. G. H., R. H. G. Jongman, L. Hojas et S. Weel (dir.), *25 years Landscape Ecology: Scientific principles in practice*. Proceedings of the 7th IALE World Congress, du 8 au 12 juillet, IALE Publication série 4, Wageningen, p. 427.
- RUIZ, J., et G. DOMON, 2005. « Les paysages de l'agriculture en mutation ». Dans Poullaouec-Gonidec, P., G. Domon et S. Paquette (dir.), *Paysages en perspective*, Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal, série « Paysages », p. 47-97.
- RUIZ, J., G. DOMON, É. LUCAS et M.-J. CÔTÉ, 2008. « Vers des paysages multifonctionnels en zone d'intensification agricole – Une recherche interdisciplinaire au Québec (Canada) ». *Revue forestière française*, vol. 60, n° 5, p. 589-602.
- RUIZ, J., J.-P. DUCRUC et M.-J. CÔTÉ, 2005. *Un cadre spatial pour l'analyse et l'aménagement des paysages : la cartographie écologique et ses liens avec les configurations d'occupation des sols. Rapport de recherche*. Montréal, Chaire en paysage et environnement, 45 p.
- RUIZ J., G. DOMON, F. LESTAGE et M. SEGUIN, 2008. *Paysages maskoutains : révéler, mettre en valeur, requalifier. Développer des outils et une démarche pour des projets de paysage en zone d'intensification agricole*. Montréal, Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal et MRC des Maskoutains, 19 p.
- RUIZ, J., G. DOMON, C. JAMBON, C. PAQUIN et L.-P. ROUSSELLE-BROSSEAU, 2011. *Connaître et comprendre les paysages d'aujourd'hui pour penser ceux de demain – Le diagnostic paysager de la MRC des Maskoutains*. Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal et Université du Québec à Trois-Rivières, 87 p.
- SIMPSON, J. W, R. E. J.-BOERNER et M. N. DEMERS, 1994. « Forty-eight years of landscape change on two contiguous Ohio landscapes ». *Landscape Ecology*, vol. 9, n° 4, p. 261–270.
- TRESS B., et G. TRESS, 2003. « Scenario visualisation for participatory landscape planning – a study from Denmark ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 64, n° 3, p. 161-178.
- VEENEKLAAS, F. R., et L. M. VAN DEN BERG, 1995. « Scenario building: art, craft or just a fashionable whim? » Dans Schoute, J. F. T., P. A. Finke, F. R. Veeneklaas et H. P. Wolfert (dir.), *Scenario studies for the rural environment*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 11-13.
- VOULIGNY, É., G. DOMON et J. RUIZ, 2009. « Assessment of ordinary landscapes by expert and lay people: landscape values in areas of intensive agricultural use ». *Land Use Policy*, vol. 26, n° 4, p. 890-900.

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications



CHAPITRE 5

Applications du CER au Chili

Juan Edgardo Medina Mena et Jean-Pierre Ducruc

CHAPITRE 5

Applications du CER au Chili

Volcan Llaima, Chili

Par Juan Edgardo Medina Mena¹ et Jean-Pierre Ducruc

Mise en contexte²

Les travaux présentés ici résultent d'une coopération canado-chilienne qui s'est étalée sur une dizaine d'années entre 1999 et 2010. Ils relatent deux expériences particulières de planification écologique.

La première expérience réalisée avec l'Association des municipalités de la Prêcordillère aboutit à la proposition d'un plan d'aménagement et de développement régional, le pendant du schéma d'aménagement et de développement régional des MRC au Québec. L'originalité du résultat est que le zonage proposé repose entièrement sur les unités du CER.

La seconde expérience s'est déroulée sur un territoire indigène, terre des indiens mapuches, dont le résultat aboutit à la définition d'unités spatiales d'aménagement alliant les propriétés écologiques tirées du CER et des valeurs socioéconomiques de la communauté indigène.

Le Chili s'étire sur près de 5 000 km entre le 17° 30' et le 56° 30' de latitude sud à la marge sud-ouest de l'Amérique du Sud et couvre une superficie de 756 495 km². Il partage ses frontières avec le Pérou, au nord, et avec la Bolivie et l'Argentine, à l'est. Son littoral borde presque entièrement l'océan Pacifique (plus de 8 000 km de côtes), avec une courte portion qui donne sur l'Atlantique, à l'extrémité sud (figure 5.1).

Le Chili est divisé en 15 régions administratives (figure 5.2).

5.1 Le projet de l'Association des municipalités de la Prêcordillère : Proposition d'un plan d'aménagement et de développement territorial

Au début des années 2000, les municipalités chiliennes n'avaient autorité que sur la partie urbaine de leur territoire en matière d'aménagement et le gouvernement central régissait toute intervention dans le milieu rural. En quête d'une plus grande autonomie, la plupart des municipalités se sont regroupées en association de municipalités. Les regroupements se sont effectués sur des bases d'affinités géographiques régionales. Ils visaient surtout la mise en place de nouveaux modèles de planification et de gestion territoriale, la possibilité d'établir des protocoles d'entente avec le gouvernement régional, la reconnaissance d'un espace d'action et de représentation des municipalités plus large que l'échelon local et la coopération et la coordination intermunicipales (Donovan et coll., 2000). Une fois en place, l'Association des municipalités de la Prêcordillère a trouvé de bon aloi de s'inspirer de l'expérience des MRC au Québec, approche rendue possible grâce à un programme de la Fédération canadienne des municipalités (FCM) financé en partie par l'Agence canadienne de développement international (ACDI).

¹ Service des évaluations environnementales, Région de l'Araucanie. Gouvernement du Chili, Temuco, Chili.

² Note : Le texte qui suit est une synthèse et une traduction de deux rapports scientifiques rédigés en langue espagnole par l'auteur principal, coordonnateur des deux projets présentés ici, et de plusieurs présentations publiques par les deux coauteurs.



Figure 5.1. Le Chili en Amérique du Sud



Figure 5.2. Les régions administratives du Chili

5.1.1 Brève présentation de l'Association des municipalités de la Précordillère

L'Association des municipalités de la Précordillère (AMP), une des neuf associations de l'Araucanie (figure 5.3), regroupe les municipalités de Cunco, Melipeuco, Vilcún et Padre Las Casas sur une superficie totale de 4 835 km² (figure 5.4 et tableau 5.1). Elle voit le jour le 13 janvier 1995. Sa mission est de promouvoir une utilisation optimale des ressources naturelles disponibles pour favoriser un meilleur développement territorial local et intermunicipal.

Le territoire de l'AMP chevauche deux grandes unités physiographiques du Chili : la Dépression (ou Plaine) centrale et la Cordillère des Andes. Padre Las Casas s'étend entièrement dans la Plaine centrale, Vilcún et Cunco aussi, avec une partie orientale dans la Précordillère, et Melipeuco est au complet dans la Cordillère. Le relief ondulé à vallonné de la Plaine centrale devient de plus en plus accidenté en s'approchant des Andes. Le territoire culmine à 3 125 m au sommet du volcan Llaima, dont la dernière éruption remonte au jour de l'an 2008.

Tableau 5.1. Superficies et population des municipalités

Municipalités	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Population (2003)	Population (%)
Cunco	1 906,5	40	18 703	18
Melipeuco	1 107,3	22	5 628	5
Padre Las Casas	400,7	30	58 795	55
Vilcún	1 420,9	8	22 491	22
Total	4 835		105 617	

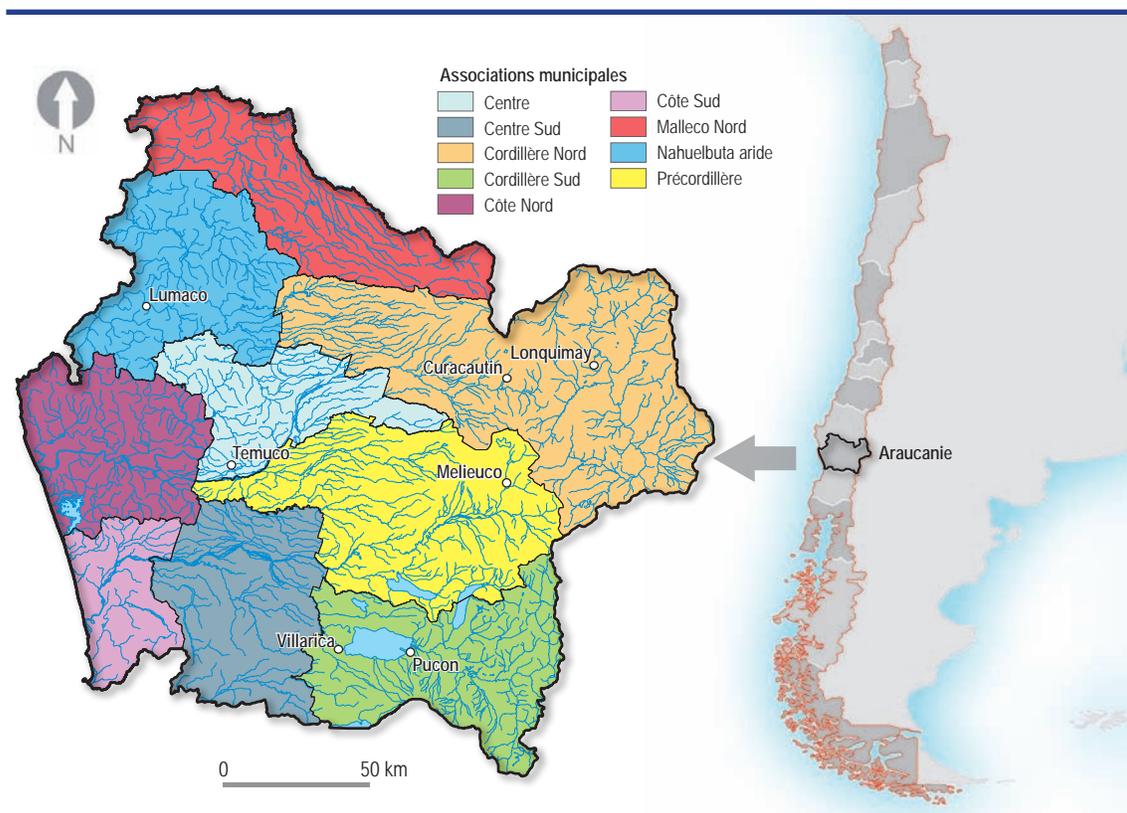


Figure 5.3. Les associations municipales de la région de l'Araucanie

La plupart des sols proviennent de cendres volcaniques d'âge divers (figure 5.5); le fond des principales vallées est tapissé d'épaisses couches de sables et graviers fluvio-glaciaires (figure 5.6), tandis que dans les Andes, on retrouve, çà et là, quelques dépôts morainiques (figure 5.7). Les sols issus de cendres volcaniques sont de texture fine (argile à limon) et de couleur foncée (brun ombre).

Le climat est tempéré avec des hivers doux (la température descend rarement au-dessous du point de congélation) et pluvieux et des étés chauds (les mois de janvier et février voient souvent le thermomètre grimper au-delà de 30 °C. Mélipueco jouit d'un climat montagnard avec d'abondantes chutes de neige hivernales.

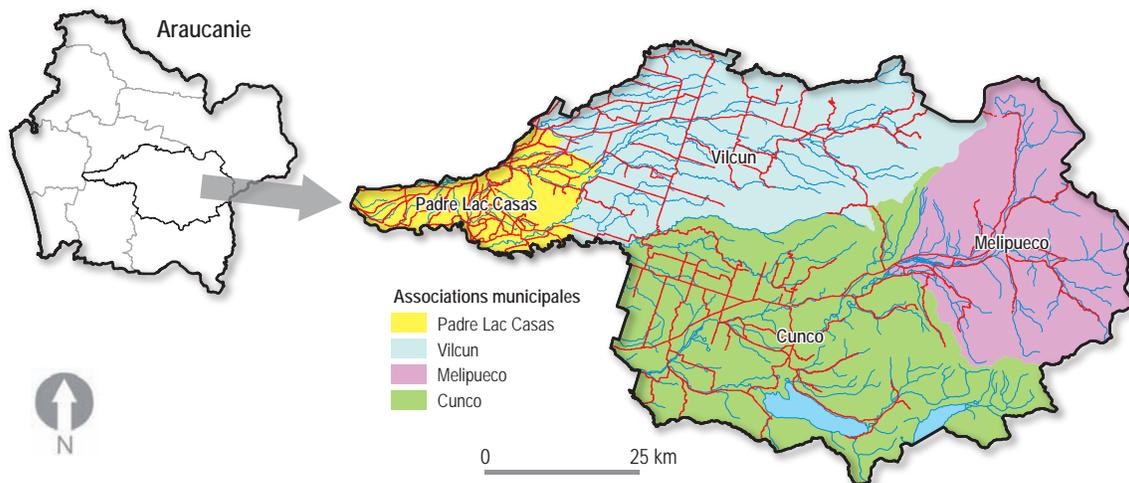


Figure 5.4. L'Association des municipalités de la Précordillère



Figure 5.5. Sol développé sur des cendres volcaniques d'âges divers



Figure 5.6. Dépôts fluvio-glaciaires des fonds de vallées



Figure 5.7. Dépôts morainiques de la Cordillère

5.1.2 Brève présentation du CER de l'AMP

Le CER a été produit à deux niveaux de perception : les districts écologiques au 1 : 250 000 et les ensembles topographiques au 1 : 50 000. Leur cartographie s'inscrit à l'intérieur des limites des unités naturelles de niveau supérieur que sont la Plaine centrale et la Cordillère des Andes.

Une fois réalisée, la cartographie des 15 districts écologiques a été présentée à la communauté régionale, lors d'assemblées publiques d'abord pour expliquer le découpage, mais aussi, et surtout, pour s'assurer qu'il traduisait des réalités territoriales perçues par les résidents. Cette démarche d'appropriation régionale a été couronnée de succès et a permis d'attribuer un toponyme familier à chaque district écologique (figure 5.8).

Par la suite, 202 ensembles topographiques ont été cartographiés (figures 5.9 et 5.10) et décrits à l'intérieur des 15 districts écologiques. Leur description repose sur l'attribution d'une forme de terrain à laquelle sont rattachés une déclivité, une série de sol (origine géologique et nature du matériel meuble [CIREN, 1999]) et un pourcentage d'occupation dans le polygone (tableau 5.2). Ils ont aussi tous reçu un toponyme particulier (validé par les communautés locales) reflétant cette fois une réalité locale et facilitant, à nouveau, l'appropriation de la cartographie du CER.



Figure 5.8. Les districts écologiques de l'AMP

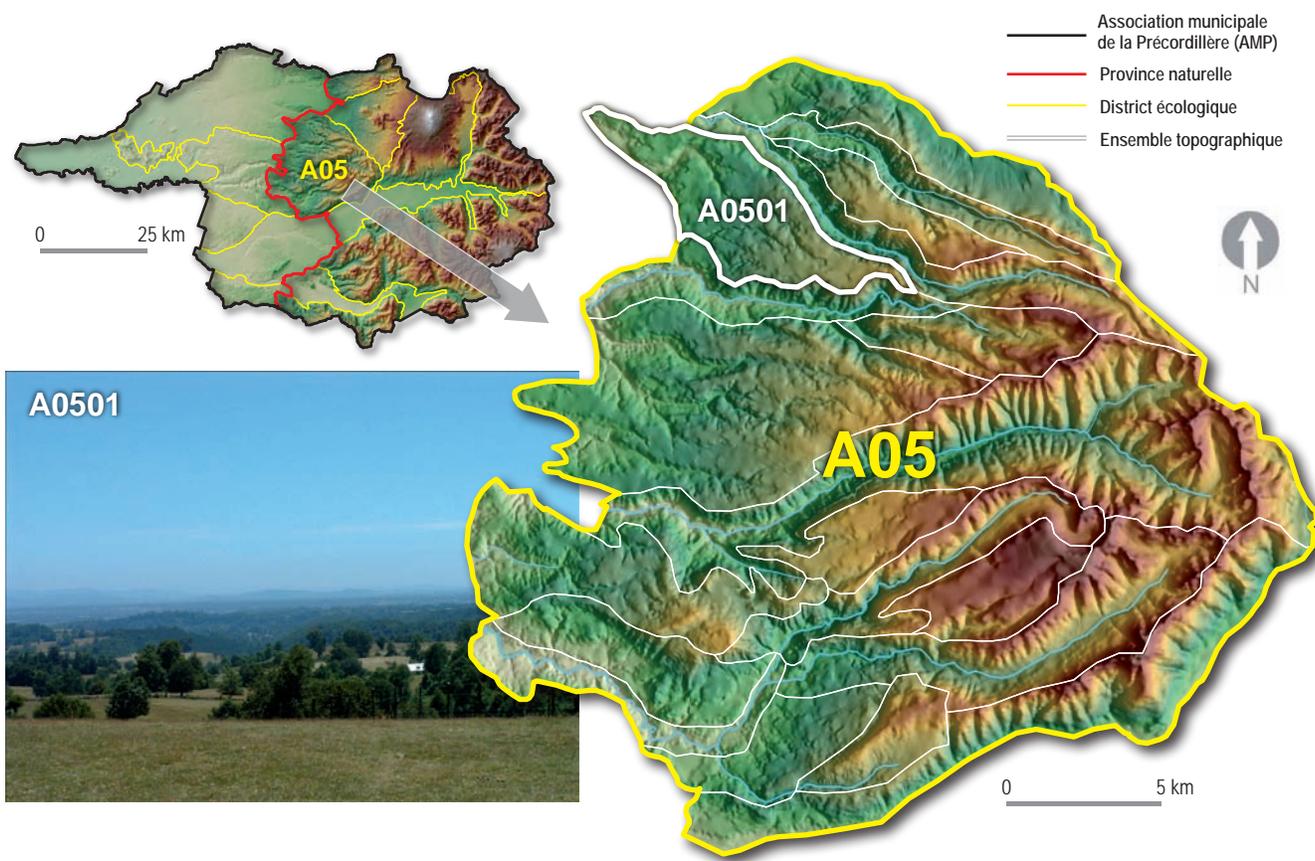


Figure 5.9. Cartographie des ensembles topographiques à l'intérieur d'un district écologique



Figure 5.10. Carte des ensembles topographiques de l'AMP

Tableau 5.2. Exemple de description des ensembles topographiques

District écologique	Ensemble topographique	Forme de terrain	Pente %	Série de sol	%*
A05	A05-05	Terrain ondulé	5 à 10	CBG 3	50
		Vallée en V	30 à 50	CBG 1	40
		Terrain plat	2 à 5	CBG 7	10

* pourcentage d'occupation dans le polygone

5.1.3 Le système d'information sur le territoire

Simultanément à la réalisation du CER, l'ensemble des données utilisées a été stocké dans un système d'information territorial (SIT). D'abord, les données auxquelles la réalisation du CER a fait appel (cartes topographiques, carte pédologique, carte géologique, carte des dépôts de surface, cartes et données climatiques, carte d'utilisation du sol, etc.) ont été les premières intégrées au SIT, suivies des données générées par le CER lui-même (données de terrain, découpage et description des polygones) et, enfin, des données nécessaires aux analyses et interprétations du CER ainsi que les résultats de leurs interprétations, etc.

5.1.4 Quelques interprétations du CER

Les informations jugées nécessaires à l'élaboration du plan d'aménagement et développement territorial ont guidé le choix des analyses et des interprétations. Trois types d'interprétations ont été retenus :

- des interprétations de nature productive (aptitude des sols à produire);
- des interprétations de nature physique (risques);
- la recherche de sites propices à l'enfouissement sanitaire.

Les interprétations de nature productive

Le travail s'est fait en deux temps. D'abord, nous avons repris des interprétations contenues dans le rapport pédologique de l'Araucanie (CIREN, 1999), soit :

- l'aptitude des sols à la production céréalière;
- l'aptitude des sols à la production d'arbres fruitiers;
- l'aptitude des sols à la production animale;
- l'aptitude des sols à la production forestière.

Ces quatre cartes interprétatives ont été dressées pour le territoire de l'AMP au niveau de l'ensemble topographique (figure 5.11).

Dans un deuxième temps, des interprétations plus spécifiques, qualifiées de « stratégiques » puisqu'elles répondaient à des préoccupations régionales actuelles, ont été élaborées :

- l'aptitude des sols à produire des bleuets (*Arandano*);
- l'aptitude des sols à produire des noisettes (*Avellano europeo*);
- l'aptitude des sols à produire du lupin;
- l'aptitude des sols à produire du châtaignier;
- l'aptitude des sols à produire de l'eucalyptus (deux espèces différentes);
- l'aptitude des sols à produire du pin.

C'est à partir d'une revue bibliographique, de consultations et de tables rondes avec des experts que les exigences édaphiques et climatiques de chaque espèce ont été établies. Ensuite, des grilles interprétatives ont été conçues et créées (tableau 5.3) en automatisant le processus de production cartographique de chaque interprétation.

Tableau 5.3. Modèle de grille interprétative

Classe Variable	Basse	Moyenne	Élevé
Climat			
Risques de gel			
Précipitations			
Sol			
Épaisseur			
Texture			
Drainage			
pH			
Pente			

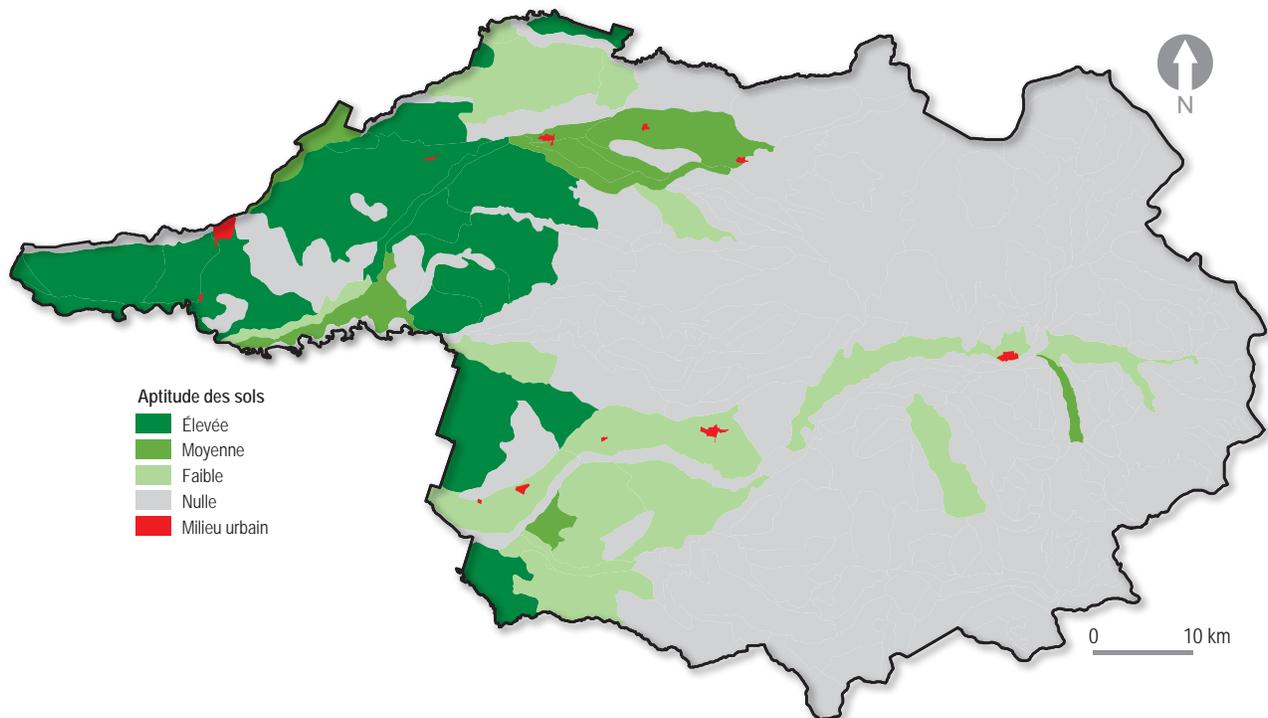


Figure 5.11. Aptitude des sols à la production d'arbres fruitiers

Au cours du processus, une fiche technique a été produite pour chaque espèce traitée dans laquelle étaient consignés les résultats des recherches bibliographiques et les valeurs des classes proposées pour chaque variable. Ce prototype pourrait ultérieurement être appliqué à d'autres interprétations envisagées, comme l'aptitude des sols à produire du blé, de l'avoine, des pommes de terre ou encore diverses essences forestières, etc.

Les interprétations de nature physique (*interpretaciones ambientales*)

Les interprétations de nature physique portent sur l'évaluation des risques :

- les risques d'érosion des sols;
- les risques d'inondation (par des cours d'eau);
- les risques d'enneigement (terres basses en hiver, en saison de pluie);
- les risques liés aux éruptions volcaniques (*aluviones volcanicos*);
- les risques liés aux tremblements de terre (tsunami).

Toutes ces interprétations étaient déjà traitées dans le « PRDUyT » (*Plan Regional de Desarrollo Urbano y Territorial*) (Peña-Cortes et coll., 2003). Disponibles en format numérique, elles ont été récupérées pour attribuer une valeur propre à chaque ensemble topographique.

La recherche de sites propices à l'enfouissement sanitaire

Le processus interprétatif pour la recherche de sites propices à l'enfouissement sanitaire suit à la lettre les recommandations de la CONAMA (*Comisión Nacional del Medio Ambiente*). Une cartographie des territoires « propices » a été produite en considérant les critères suivants :

- une zone tampon (*buffer*) de part et d'autre du réseau hydrographique selon deux scénarios : le premier avec une zone tampon de 300 m, le second avec une zone tampon de 600 m. Ce dernier apparaît irréaliste, car il soustrait près de 90 % du territoire;
- une zone tampon de 3 km à partir du périmètre de tout site d'intérêt écologique reconnu (principalement les aires protégées);
- la soustraction des terres indigènes;
- la soustraction des sols mal drainés;
- la localisation des terrains imperméables.

Ceci donne une cartographie des territoires « acceptables » pour l'installation d'un site d'enfouissement sanitaire.

5.1.5 Proposition du plan d'aménagement et de développement territorial

Le plan d'aménagement et de développement territorial (PADT) reprend à son compte les grandes orientations du cadre d'aménagement territorial de l'AMP. Ainsi, il sera éventuellement plus facile de le mettre en place en s'appuyant sur les arguments déjà mentionnés dans ces orientations.

L'aménagement du territoire (*el ordenamiento*) est défini comme « un accord des intérêts publics et privés en respect des affectations territoriales » (Medina Mena, 2006).

Objectifs du plan d'aménagement et développement territorial

Objectif général

Proposer une plateforme commune rigoureuse pour concrétiser les stratégies de développement implantées dans les quatre municipalités dans une perspective de « développement territorial harmonieux et équitable », pour le bien commun de la population et l'aménagement durable des ressources du territoire.

Objectifs spécifiques

- Proposer une organisation territoriale respectueuse des propriétés naturelles du territoire afin que la société en tire les meilleurs avantages tout en respectant les principes de l'utilisation durable des ressources.
- Consulter l'ensemble de la société civile des quatre municipalités de l'Association et lui faire part de la démarche.
- Promouvoir la participation citoyenne et l'associer à celle des différents acteurs publics et privés pour que tous s'intègrent à cette démarche innovatrice de l'aménagement et du développement de notre territoire.
- Déterminer, conserver ou revaloriser les sites d'intérêt socioculturel et écologique.

Les cinq grands principes à la base du PADT

Les cinq grands principes suivants ont guidé la réalisation du PADT :

1. Considérer les propriétés naturelles du territoire (les unités écologiques et leurs capacités ou potentiels) et son utilisation actuelle (utilisation et occupation des sols, infrastructures et voies de communication).
2. Passer de visions sectorielles partielles à une vision globale et intégrée du territoire et de ses ressources.

3. Favoriser un processus participatif de l'ensemble de la société civile et rechercher des consensus.
4. Affronter et prévenir les problèmes et les conflits liés à l'implantation d'activités de développement « incompatibles » avec le milieu récepteur, c'est-à-dire non respectueuses de la capacité de support du milieu et en négation avec les principes du développement durable.
5. Procurer des bénéfices à la société tout entière.

Les affectations territoriales

Les affectations territoriales sont définies comme « la délimitation normative du territoire en secteurs ou zones auxquels on assigne un usage du sol prédominant accompagné de certains usages secondaires bien déterminés » (Medina Mena, 2008).

Ainsi, une affectation particulière dont la nature repose sur les interprétations réalisées à partir des informations tirées du CER et de l'utilisation actuelle du sol a été attribuée à chaque unité écologique. Chaque affectation propose une activité ou une utilisation du sol dominante accompagnée d'utilisations « compatibles ».

Les principales étapes du travail

La démarche qui a mené à la proposition du PADT suit quatre étapes. Les deux premières sont très techniques, la troisième est une étape de consultation publique et de recherche de consensus, et la dernière conduit à la production de la version 1 du PADT.

Étape 1 : sur la base des résultats fournis par le CER (unités écologiques, interprétation des potentiels et vulnérabilités), les unités écologiques sont analysées et une affectation territoriale leur est attribuée. Ce travail a été réalisé par une équipe technique (des professionnels et techniciens) de l'AMP.

Étape 2 : les affectations attribuées sont révisées en considérant l'utilisation actuelle du sol et la nature des infrastructures existantes. Ces révisions permettent de mettre la touche finale à la proposition technique (figures 5.12, 5.13 et 5.14).

Étape 3 : elle débute par la diffusion de l'information dans la communauté (rapports, affiches et autres documents de vulgarisation). Ultérieurement, se met en branle un processus de consultation avec les élus, les fonctionnaires municipaux, les représentants des services publics de l'État chilien et l'ensemble de la population des quatre municipalités (figure 5.15).

Étape 4 : c'est la production de la première version du PADT. Les affectations territoriales auxquelles sont venus

s'ajouter les sites d'intérêt (patrimoniaux, historiques, archéologiques, écologiques, touristiques), les propriétés indigènes (Mapuche) et des corridors de service (figure 5.16) en constituant toujours le cœur.



Figure 5.12. Proposition technique pour les buttes de Maquehue (ensemble topographique)

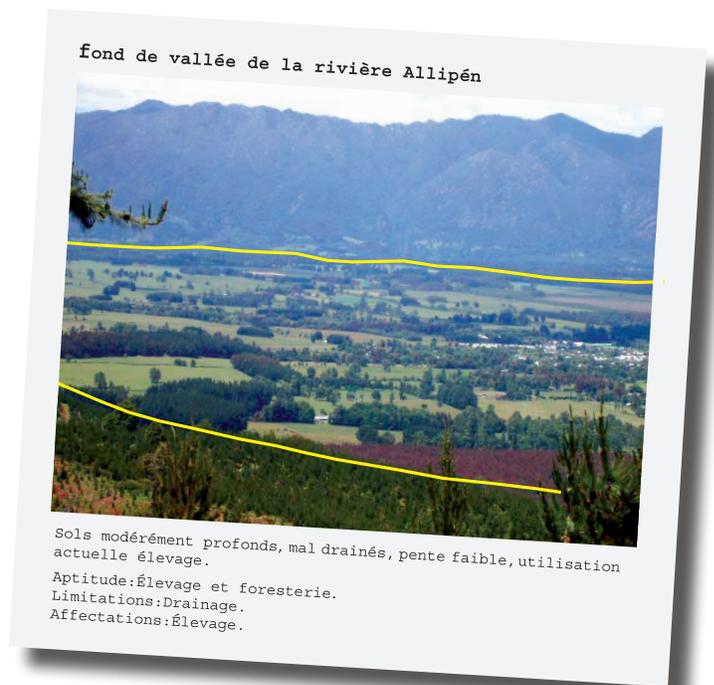


Figure 5.13. Proposition technique pour le fond de la vallée de la rivière Allipén (ensemble topographique)

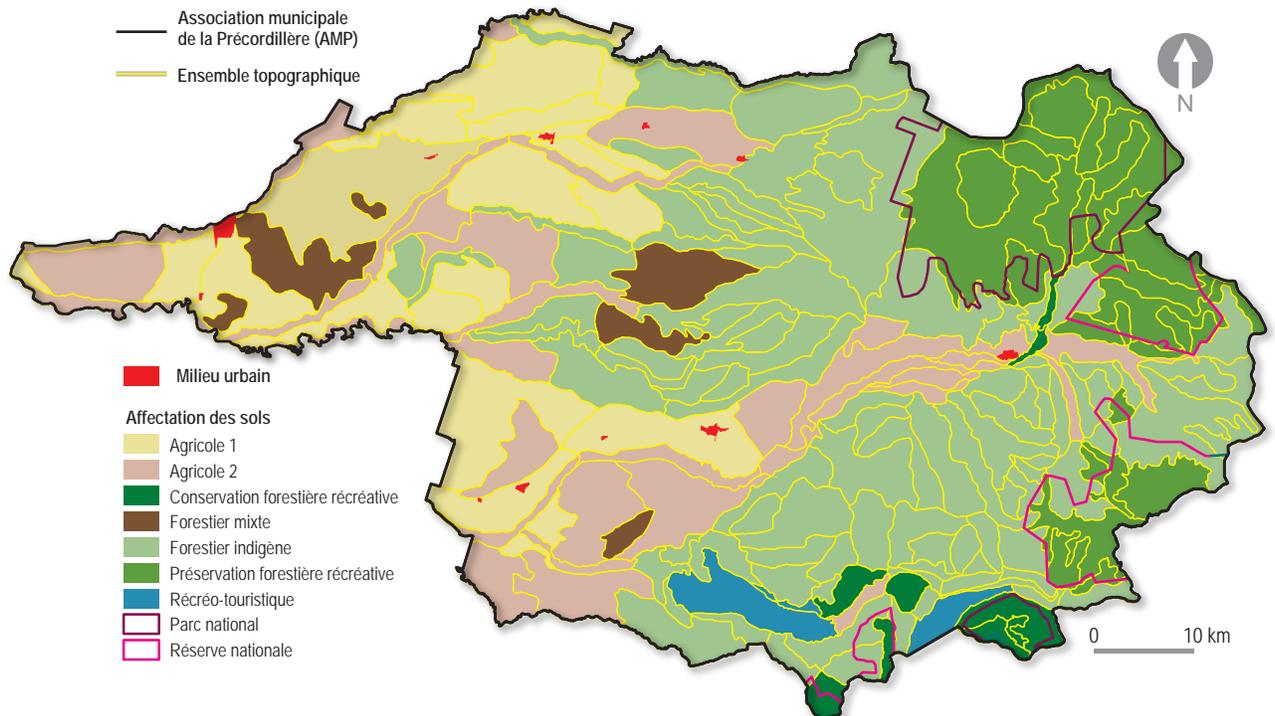
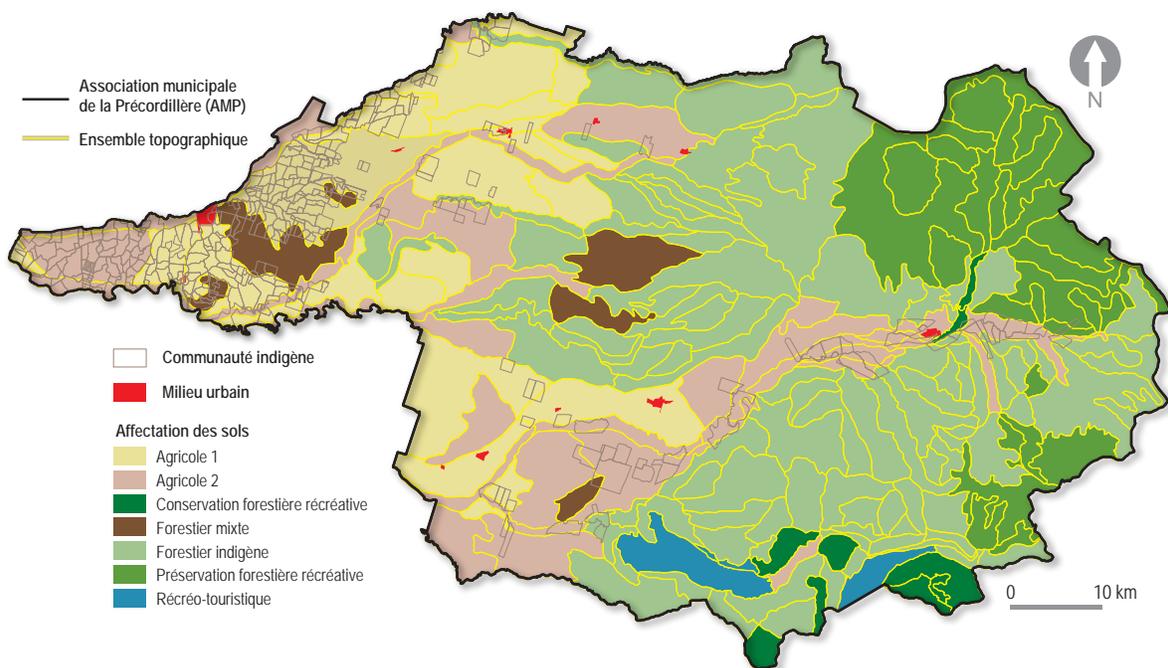


Figure 5.14. Les affectations territoriales de l'AMP

Affectations du territoire et sites d'intérêts Affectations au niveau communal et des communautés Mapuche



Sites particuliers Corridors de services et touristiques au niveau communal

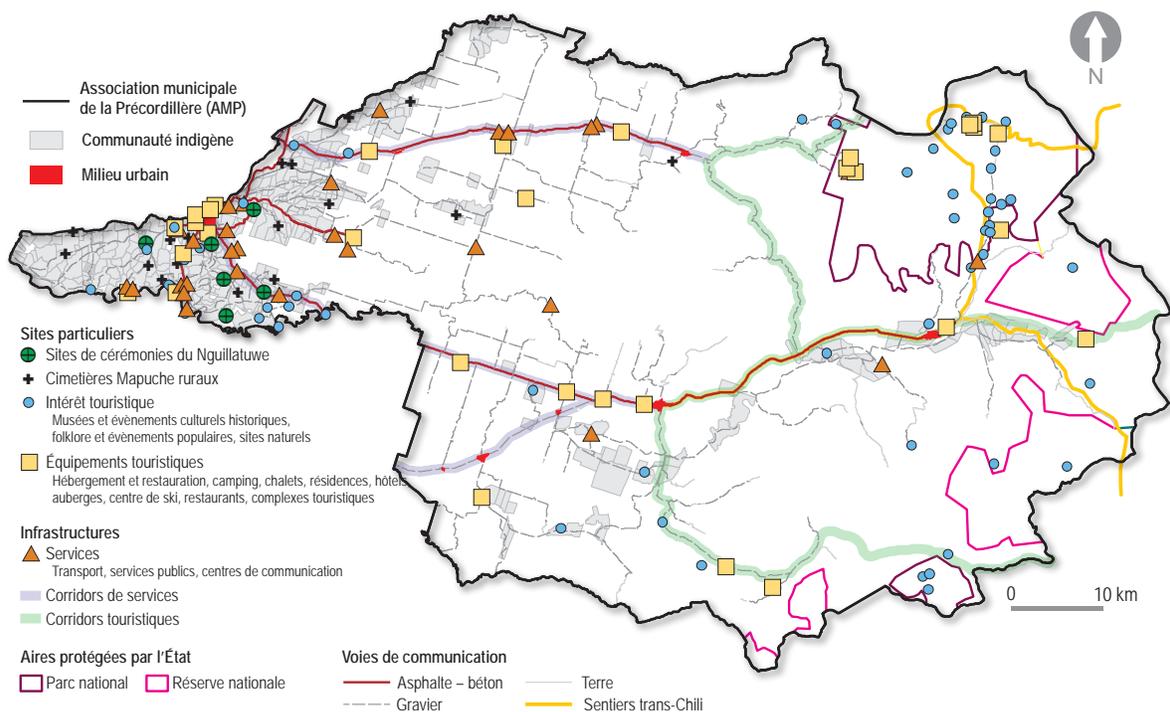


Figure 5.16. Sites d'intérêt et corridors de services

Tableau 5.4. Affectations territoriales de l'AMP (exemple des affectations agricoles)

Affectation intercommunale	Description	Utilisations compatibles
Agricole	Entités territoriales dont l'utilisation dominante est l'agriculture. Entités territoriales qui, par leurs conditions édapho-climatiques, sont favorables au développement de l'agriculture.	Toutes les utilisations du sol compatibles avec l'agriculture et l'élevage comme utilisation dominante.
Agricole 1	<p>Entités territoriales dont l'utilisation dominante est l'agriculture.</p> <p>Entités territoriales qui, par leurs conditions édapho-climatiques, favorisent le développement des cultures maraîchères et fruitières, des cultures en général et de l'élevage.</p> <p>Entités territoriales dans lesquelles prédominent les sols de capacité d'utilisation de classe I, II et III.</p>	<p>Productives : toute activité agricole et d'élevage comme utilisation dominante du sol.</p> <p>Possible de développer des activités forestières, mais sur de petites superficies et seulement sur des microreliefs de faible aptitude agricole.</p> <p>Possible aussi de développer des projets d'agrotourisme compatibles avec l'activité agricole comme utilisation dominante du sol.</p> <p>Bâti : seulement le bâti directement relié à l'activité agricole.</p> <p>Infrastructures : infrastructures complémentaires à l'activité agricole.</p> <p>Équipement : équipement complémentaire à l'activité agricole et aux services nécessaires à la population qui vit et travaille en territoire rural ayant cette affectation.</p> <p>Parcellaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> * la superficie minimale d'une parcelle indigène est de 3 ha selon la loi n° 19.253; * aucune parcelle ne peut être inférieure à 0,5 ha selon le décret de loi n° 3.516 du ministère de l'Agriculture.
Agricole 2	<p>Entités territoriales dont l'utilisation dominante est l'activité agricole. Entités territoriales qui, par leurs conditions édapho-climatiques, favorisent, mais avec certaines restrictions, le développement des cultures maraîchères et fruitières, des cultures en général et de l'élevage.</p> <p>Entités territoriales dans lesquelles prédominent les sols de capacité d'utilisation de classe IV et VI.</p>	<p>Productives : Toute activité agricole et d'élevage comme utilisation dominante du sol.</p> <p>Possible de développer des activités forestières, mais sur de petites superficies et seulement sur des microreliefs de faible aptitude agricole.</p> <p>Possible aussi de développer des projets d'agrotourisme compatibles avec l'activité agricole comme utilisation dominante du sol.</p> <p>Bâti : Seulement le bâti directement relié à l'activité agricole.</p> <p>Infrastructures : infrastructures complémentaires à l'activité agricole.</p> <p>Équipement : Équipement complémentaire à l'activité agricole et aux services nécessaires à la population qui vit et travaille en territoire rural ayant cette affectation.</p> <p>Parcellaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> * la superficie minimale d'une parcelle indigène est de 3 ha selon la loi n° 19.253; * aucune parcelle ne peut être inférieure à 0,5 ha selon le décret de loi n° 3.516 du ministère de l'Agriculture.

5.2 Planification écologique de l'Aire de développement indigène du lac Budi

Une aire de développement indigène (ADI) est un territoire géographiquement délimité avec une forte densité de population indigène dans lequel l'État chilien pose des actions préférentielles pour renforcer le caractère propre des populations indigènes et les motiver à rechercher une certaine autogestion. Ces mesures veulent faciliter la mise en place de processus de développement durable avec une identité propre définie par chaque communauté concernée et assurer un usage rationnel de leurs ressources naturelles, humaines, économiques et culturelles.

Les objectifs spécifiques d'une ADI sont de :

- respecter, protéger et promouvoir le développement des indigènes, de leur culture, de leurs familles et de leurs communautés;
- protéger les terres indigènes;
- veiller à l'exploitation adéquate des terres indigènes et au respect de leur équilibre écologique.

Medina Mena (2005)

5.2.1 Brève présentation géographique de l'Aire de développement indigène du lac Budi

L'Aire de développement indigène du lac Budi (ADI Budi) couvre une superficie de 397 km² dans le bassin versant de la rivière Budi, sur la façade occidentale de l'Araucanie, en bordure du Pacifique (figure 5.17). Le lac Budi, plan d'eau saumâtre qui communique avec l'océan Pacifique par la très méandreuse rivière Budi, constitue un système écologique unique prioritaire reconnu par l'État chilien en raison de sa très forte productivité et de sa diversité biologique très élevée (CONAMA, 2002).

Le climat est de type méditerranéen avec influences océaniques (Di Castri et Hayek, 1976). Les précipitations annuelles moyennes varient entre 1 000 et 1 200 mm. Les températures sont relativement homogènes, avec une moyenne annuelle de 11,8 °C, une température maximale moyenne de 20,2 °C et une température minimale moyenne de 5,5 °C (MOP, 1994.)

Les dépôts de surface sont d'origine fluviomarine dans les parties les plus basses de l'ADI Budi; sur les hauteurs, ils proviennent de la décomposition de roches

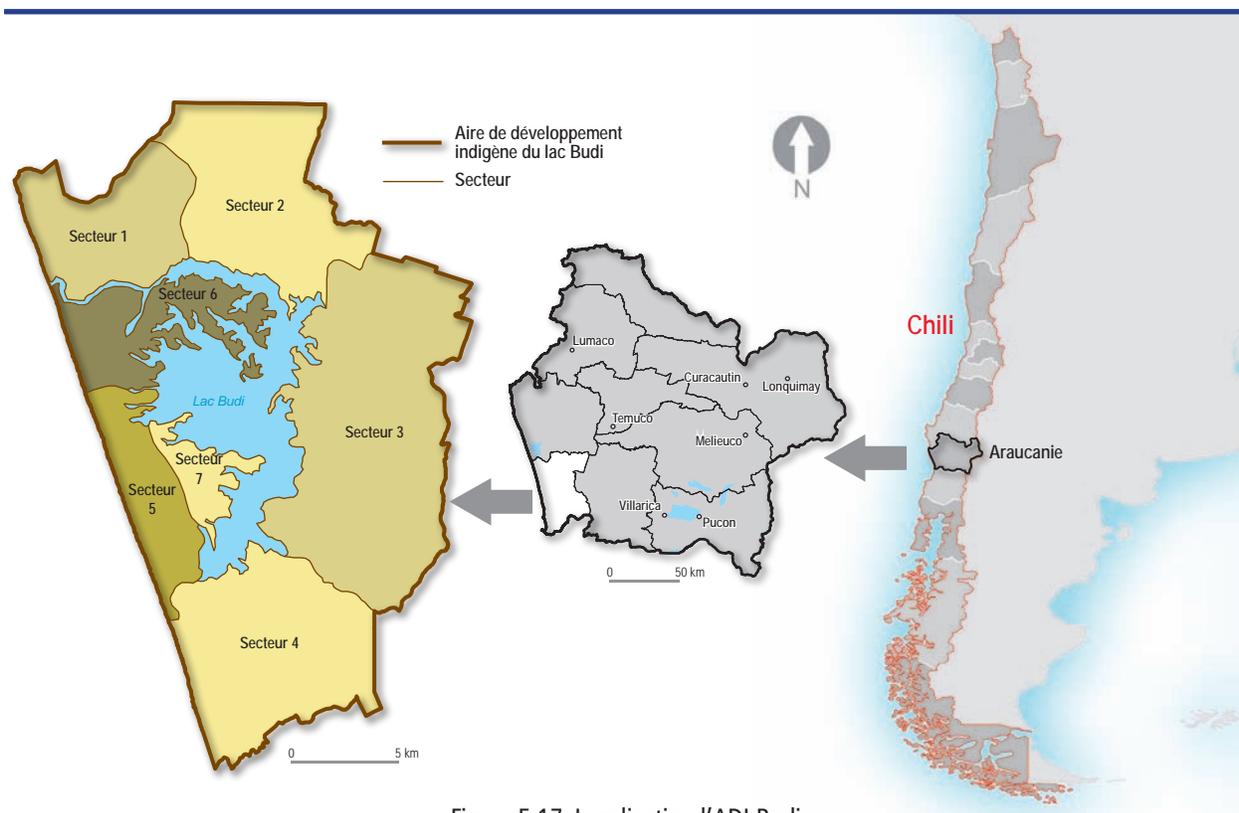


Figure 5.17. Localisation l'ADI Budi

métamorphisées (granitiques) d'âge paléozoïque et sont surmontés d'une épaisse couche d'argile. La majeure partie du territoire est fortement érodée.

L'ADI Budi se distingue par une forte densité de population indigène (90 %), une identité indigène propre due aux liens étroits entre les communautés mapuches et le lac Budi, la permanence historique de certains traits culturels (occupation du territoire depuis la fin du 16^e siècle), les conditions de pauvreté extrême des habitants qui pratiquent un mode de vie traditionnel basé sur une agriculture de subsistance (pommes de terres, céréales et quelques animaux) et une topographie très particulière.

Le problème environnemental crucial de l'ADI est la dégradation des sols causée par une forte érosion liée à la disparition de la couverture végétale, au surpâturage, à la texture argileuse de la partie superficielle des sols et à un relief très accidenté.

5.2.2 Brève présentation du CER de l'ADI Budi

Le CER de l'ADI Budi a été en grande partie réalisé par l'auteur principal de ce texte, un professionnel de l'Institut de l'environnement (*Instituto del Medio Ambiente, IMA*) de l'Université de la Frontera, à Temuco. Ce dernier avait, au préalable, bénéficié de la formation et de l'encadrement technique du projet précédent de l'AMP. La cartographie du territoire de l'ADI Budi s'est amorcée lors d'une mission scientifique de trois semaines en décembre 2004 : une semaine de photo-interprétation préliminaire en laboratoire, une semaine intensive de travaux de terrain et une semaine pour entreprendre la description systématique des unités écologiques, les seuls moments d'encadrement rapproché de la part du MDDEP³; l'encadrement s'est ensuite poursuivi à distance. Quant aux interprétations et applications, elles ont été conçues et élaborées par des professionnels et des techniciens de l'Institut de l'environnement de l'Université de la Frontera.

³ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

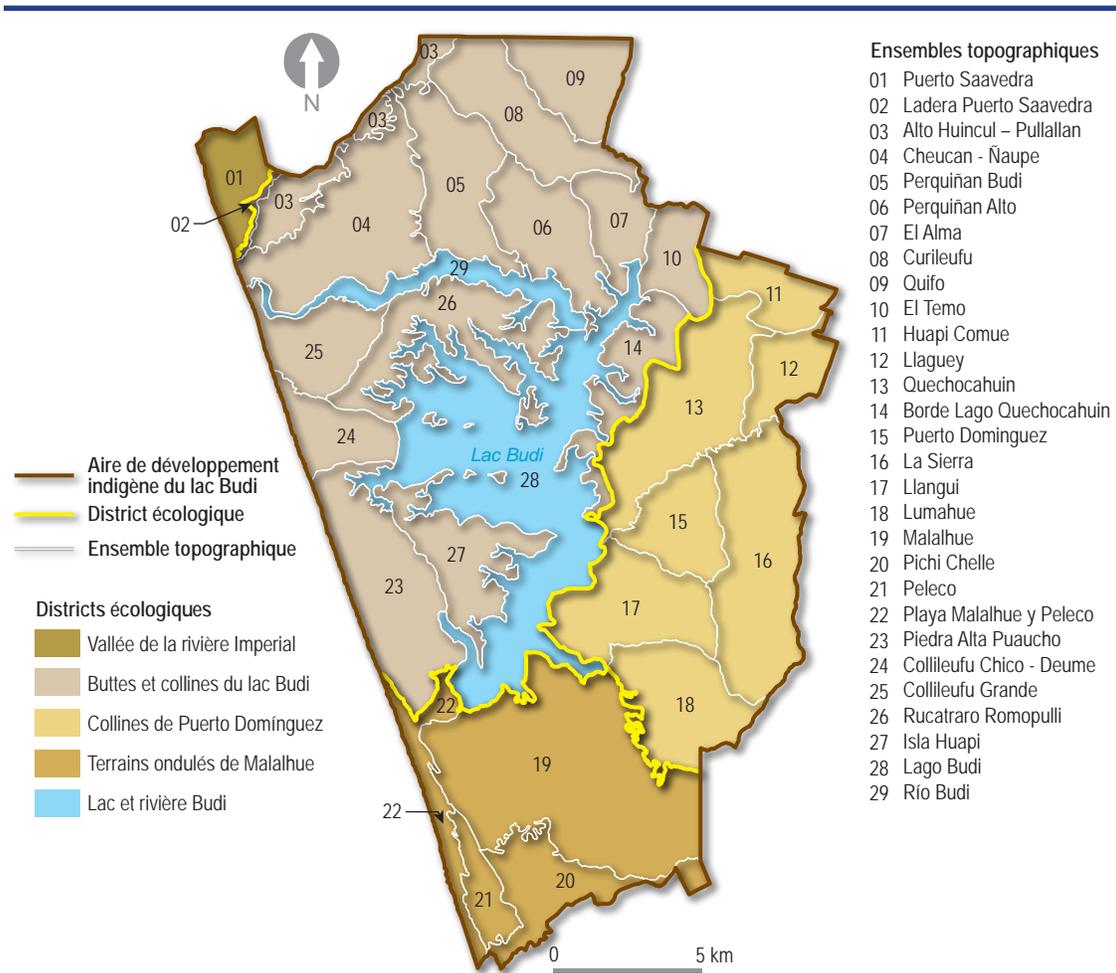
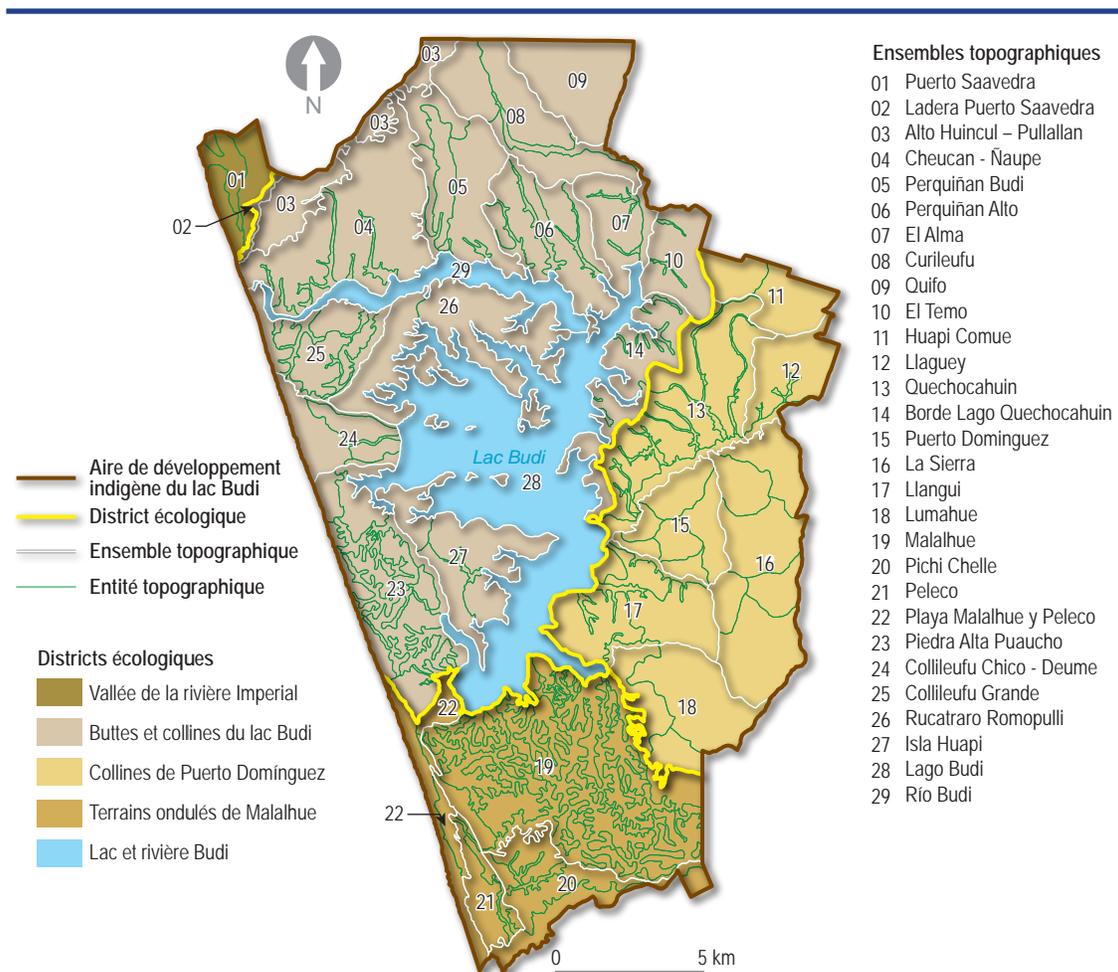


Figure 5.18. Le CER de l'ADI Budi : les ensembles topographiques (échelle originale 1 : 50 000)

Le territoire de l'ADI Budi fait partie de la Cordillère côtière, dont l'empreinte sur le relief régional est très effacée. On y a reconnu cinq districts écologiques dans lesquels ont été cartographiés 29 ensembles topographiques au 1 : 50 000 (figure 5.18) et 186 entités topographiques ici dénommées sous-ensembles topographiques au 1 : 20 000 (figure 5.19).

Les districts écologiques ont été seulement nommés par une forme générale de terrain accompagnée d'un toponyme régional (tableau 5.5). La description des

polygones cartographiques des deux autres niveaux repose, à l'instar du projet précédent, sur l'attribution d'une forme de terrain à laquelle est rattachée une déclivité, une série de sol (origine géologique et nature du matériel meuble [CIREN, 1999]) et un pourcentage d'occupation dans le polygone (figures 5.20 et 5.21). Les 29 ensembles topographiques ont aussi tous reçu un toponyme particulier (validé par les résidents lors d'ateliers de travail) reflétant une réalité et une perception territoriale locale et facilitant, à nouveau, l'appropriation des résultats du CER.



5.19. Le CER de l'ADI Budi : les entités topographiques (échelle originale 1 : 20 000)

Tableau 5.5. Les niveaux de perception de l'ADI Budi

Province naturelle	District écologique	Ensemble topographique	Entité topographique
1	5	29	186
Cordillère de la Côte	Vallée de la rivière Imperial	- Puerto Saavedra	4
	Buttes et collines du lac Budi	- Ladera Puerto Saavedra	1
		- Alto Huincul – Pullallan	1
		- Cheucan – Ñaupe	8
		- Perquiñan Budi	6
		- Perquiñan Alto	8
- El Alma		4	
- Curileufu		4	
- Quifo		1	
- El Temo		3	
- Borde Lago Quechocahuin		11	
- Piedra Alta Puacho		23	
- Collileufu Chico – Deume		6	
- Collileufu Grande		10	
- Rucatraro Romopulli	5		
- Isla Huapi	7		
Collines de Puerto Domínguez	- Huapi Comue	2	
	- Llaguey	4	
	- Quechocahuin	13	
	- Puerto Domínguez	6	
	- La sierra	6	
	- Llangui	8	
	- Lumahue	3	
Terrains ondulés de Malalhue	- Malalhue	25	
	- Pichi Chelle	8	
	- Peleco	7	
	- Playa Malalhue y Peleco	4	
Lac et rivière Budi	- Lago Budi	1	
	- Río Budi	1	



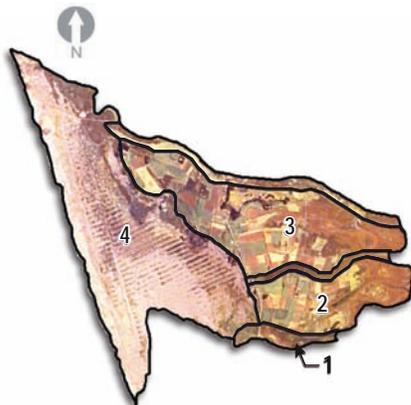
● Plaine légèrement ondulée de Collileufu Chico-Deume

Description de l'unité territoriale à l'échelle 1 : 50 000

Forme terrain	Pente (%)	Sol	%
Légèrement ondulé	2 - 5	MD-1	60
Plat	1 - 3	PRL-2	20
Plat	1 - 3	MP-1	10
Butte	30 - 50	PQN-1	10



Figure 5.20. Description des unités territoriales au 1 : 50 000 (ensemble topographique, exemple de la plaine légèrement ondulée de Collileufu Chico-Deume)



Plaine légèrement ondulée de Collileufu Chico-Deume

Description des unités territoriales à l'échelle 1 : 20 000

	Forme terrain	Pente (%)	Sol	%
1	Plat	1 - 3	MP	100
2	Plat	1 - 3	PRL-2	80
	Plat	1 - 3	MP-1	20
3	Plat	1 - 3	PRL-2	70
	Plat	1 - 3	MP-1	20
4	Butte	20 - 30	PQN-2	10
	Légèrement ondulé	2 - 5	MD-1	90
	Fortement ondulé	15 - 20	MD-1	10



Figure 5.21. Description des unités territoriales au 1 : 20 000 (entités topographiques à l'intérieur de l'ensemble topographique de la plaine légèrement ondulée de Collileufu Chico-Deume)

5.2.3 Objectifs et résultats attendus du projet de planification écologique de l'ADI Budi

L'objectif général du projet est de proposer un modèle d'analyse et d'évaluation du territoire permettant de définir des unités territoriales avec leurs limitations, leurs potentiels et leur capacité d'accueil pour planifier l'utilisation de leurs ressources dans une perspective de développement durable selon les valeurs de la culture indigène (mapuche). Capacité d'accueil est la traduction française proposée pour le terme espagnol *capacidad de acogida*.

Cet objectif général sous-tend des objectifs plus particuliers :

- constituer un système d'information sur le territoire avec toute l'information pertinente à l'évaluation de la terre de l'ADI Budi et de ses ressources selon les valeurs de la culture mapuche;
- déterminer, cartographier et classier des unités territoriales aptes à soutenir cette évaluation;
- évaluer et comparer différentes options d'utilisation de la terre et leur projection sur la base d'analyses multicritères;
- proposer des scénarios de planification territoriale selon les valeurs de la culture mapuche.

Les principaux résultats attendus sont :

- une cartographie écologique du territoire;
- une évaluation de la capacité d'accueil de différentes options d'utilisation du sol;
- la détermination des facteurs d'aptitude et des facteurs d'impact;
- la construction de scénarios d'utilisation du sol.

5.2.4 Méthodologie du projet de planification écologique de l'ADI Budi (présentation synthèse)

Le modèle d'analyse et d'évaluation du territoire repose sur l'évaluation de l'aptitude et de l'impact de différentes utilisations du sol en tenant compte des conditions écologiques, socioculturelles et économiques. L'évaluation porte sur les unités écologiques du CER qui, à la fin du processus, se retrouveront aussi être les unités de planification territoriale.

Quelques définitions

Aptitude : ensemble des conditions du milieu requises que doit posséder un lieu pour accueillir une activité ou un type particulier d'utilisation du sol.

Impact : ensemble des effets possibles (écologiques et socioéconomiques) provoqués par l'établissement d'une activité ou d'une utilisation du sol en un lieu donné.

Capacité d'accueil : résultat de l'analyse aptitude/impact; c'est le degré d'adéquation entre les propriétés du territoire et les conséquences d'une utilisation particulière en considérant les conditions requises et les effets de cette utilisation sur le milieu.

La recherche de la capacité d'accueil du territoire repose sur l'application d'un modèle hiérarchique d'aptitude et d'impact dans chaque unité du CER qui combine tous les facteurs utilisés par le modèle. Le modèle permet d'apprécier la contribution de chaque facteur et de leur attribuer une valeur relative qui exprime leur importance à l'égard d'une activité déterminée. Aptitude et impact ont été évalués en quatre classes (tableau 5.6).

On obtient une série de matrices pour chaque thème traité et pour chaque unité écologique du CER (au 1 : 50 000 et au 1 : 20 000). Elles réunissent les facteurs qui jouent un rôle important sur les usages du sol à évaluer et indiquent les caractéristiques souhaitables que doit réunir le territoire pour une utilisation particulière du sol (aptitude) ou les effets provoqués par cette utilisation (impact).

Les tableaux 5.7 et 5.8 présentent successivement les facteurs diagnostiques et les critères d'évaluation de l'aptitude et des impacts du thème « Écologie » pour une utilisation agricole. Un travail identique a été réalisé pour les autres thèmes (socioculturel et socioéconomique) et pour chaque utilisation envisagée. Pour chacun d'eux, facteurs diagnostiques et critères ont été retenus lors d'ateliers de travail réunissant experts et responsables locaux.

La figure 5.22 (page 155) propose un schéma simplifié de toute la démarche suivie jusqu'à la reconnaissance d'unités territoriales de planification.

Tableau 5.6. Capacité d'accueil du territoire : matrice interprétative (aptitude/impact)

Thème	Poids inter-critères	Facteur diagnostique	Critère	Intra-critères			
				Élevé (1)	Moyen (0,66)	Faible (0,33)	Nul (0)
Écologie							
Socioculturel							
Socioéconomique							

Tableau 5.7. Critères utilisés pour évaluer l'aptitude écologique du territoire pour un usage agricole

Facteur diagnostique	Critère
Capacité de labour du sol	Texture
Conditions d'enracinement	Profondeur
Possibilité de mécanisation	Topographie - Pente
Disponibilité d'oxygène	Drainage
Risques d'inondation	Inondation

Tableau 5.8. Critères utilisés pour évaluer les impacts écologiques d'un usage agricole

Facteur diagnostique	Critère
Biodiversité	Qualité de la biodiversité selon la couverture végétale liée à l'utilisation du sol
	Indice d'introduction d'espèces exotiques
Sol	Risques d'érosion
	Couverture végétale du sol (pression de l'utilisation)
Paysage visuel	Division parcellaire
	Indice de qualité selon le couvert végétal

Chronologie du travail et principaux résultats obtenus

En premier lieu, aptitude, impact et capacité d'accueil ont été évalués pour le thème « Écologie » pour les utilisations du sol consignées dans le tableau 5.9, pour chaque unité écologique cartographiée au 1 : 20 000.

Les figures 5.23 et 5.24 (pages 156 et 157) illustrent les résultats des utilisations C1 (conservation) et B3 (agroforesterie) présentées dans le tableau 5.9.

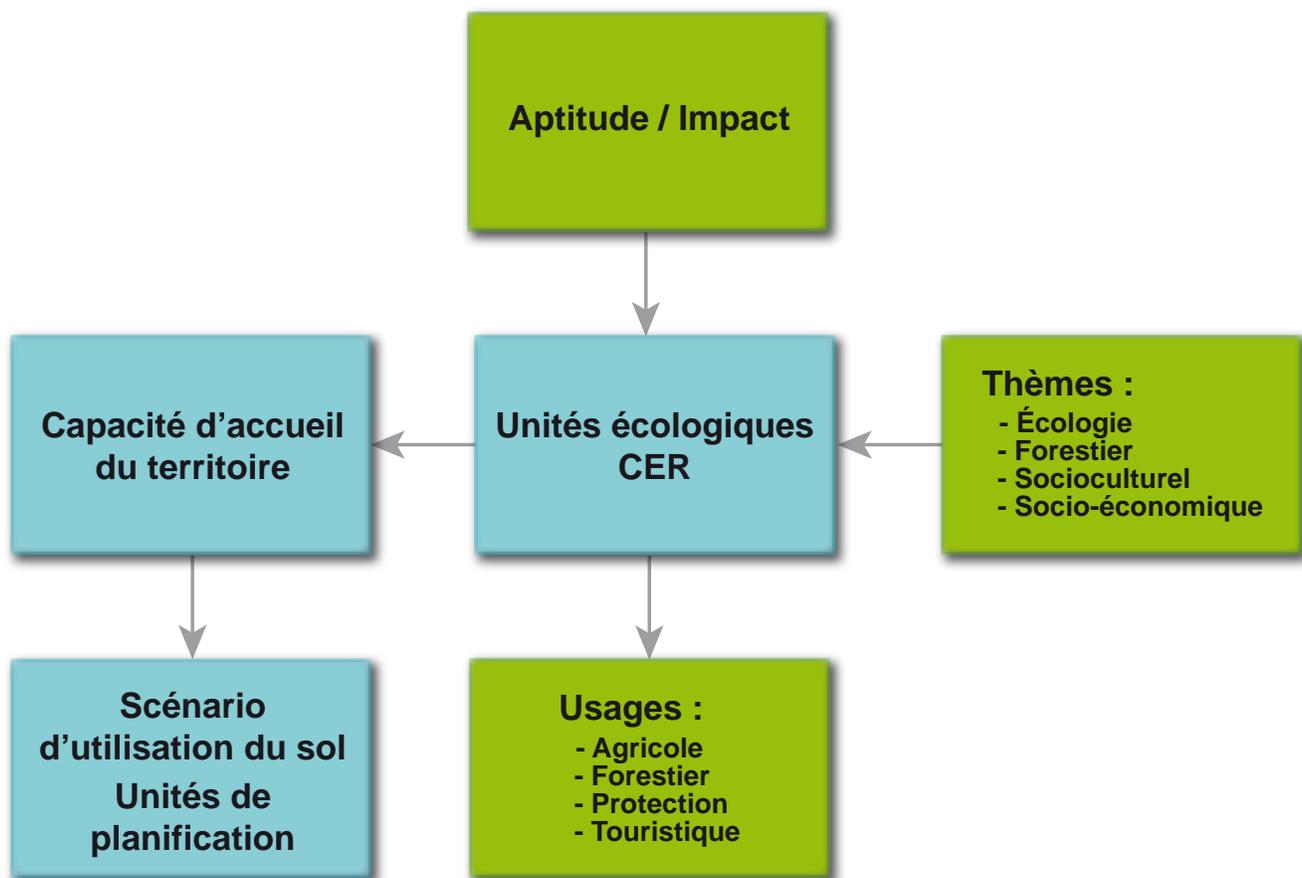


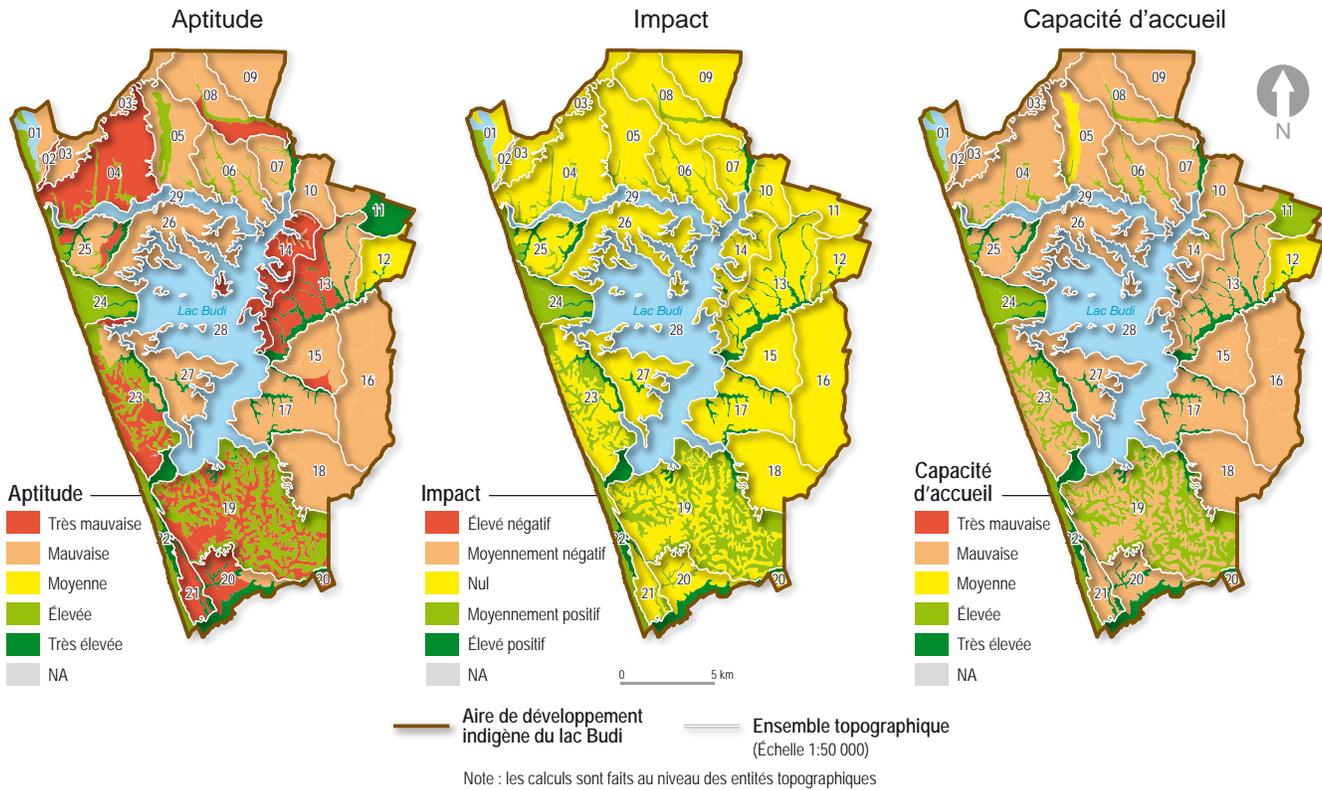
Figure 5.22. Logigramme de la capacité d'accueil du territoire appliqué à l'ADI Budi

Tableau 5.9. Autres utilisations du sol évaluées

Niveau I	Niveau II
A) Agricole	A1. Cultures annuelles de haute technologie et à forts revenus
	A2. Cultures annuelles traditionnelles
	A3. Petits fruits
	A4. Arbres fruitiers
	A5. Élevage intensif
	A6. Élevage extensif
	A7. Parcelle intégrale
B) Forestier	B1. Plantation d'espèces exotiques
	B2. Plantation d'espèces autochtones
	B3. Agroforesterie
C) Protection	C1. Conservation
	C2. Récupération
D) Tourisme	D1. Tourisme d'intérêts particuliers

Modèle d'évaluation et d'utilisation du territoire et de ses ressources dans l'ADI Budi
Évaluation de la capacité d'accueil écologique

Conservation (C1)



Ensembles topographiques

01 Puerto Saavedra	07 El Alma	13 Quechocahuin	19 Malalhue	25 Collileufu Grande
02 Ladera Puerto Saavedra	08 Curileufu	14 Borde Lago Quechocahuin	20 Pichi Chelle	26 Rucatraro Romopulli
03 Alto Huincul - Pullallan	09 Quifo	15 Puerto Dominguez	21 Peleco	27 Isla Huapi
04 Cheucan - Naupe	10 El Temo	16 La Sierra	22 Playa Malalhue y Peleco	28 Lago Budi
05 Perquiñan Budi	11 Huapi Comue	17 Llangui	23 Piedra Alta Puaicho	29 Río Budi
06 Perquiñan Alto	12 Llaguey	18 Lumahue	24 Collileufu Chico - Deume	

Modèle de capacité d'accueil

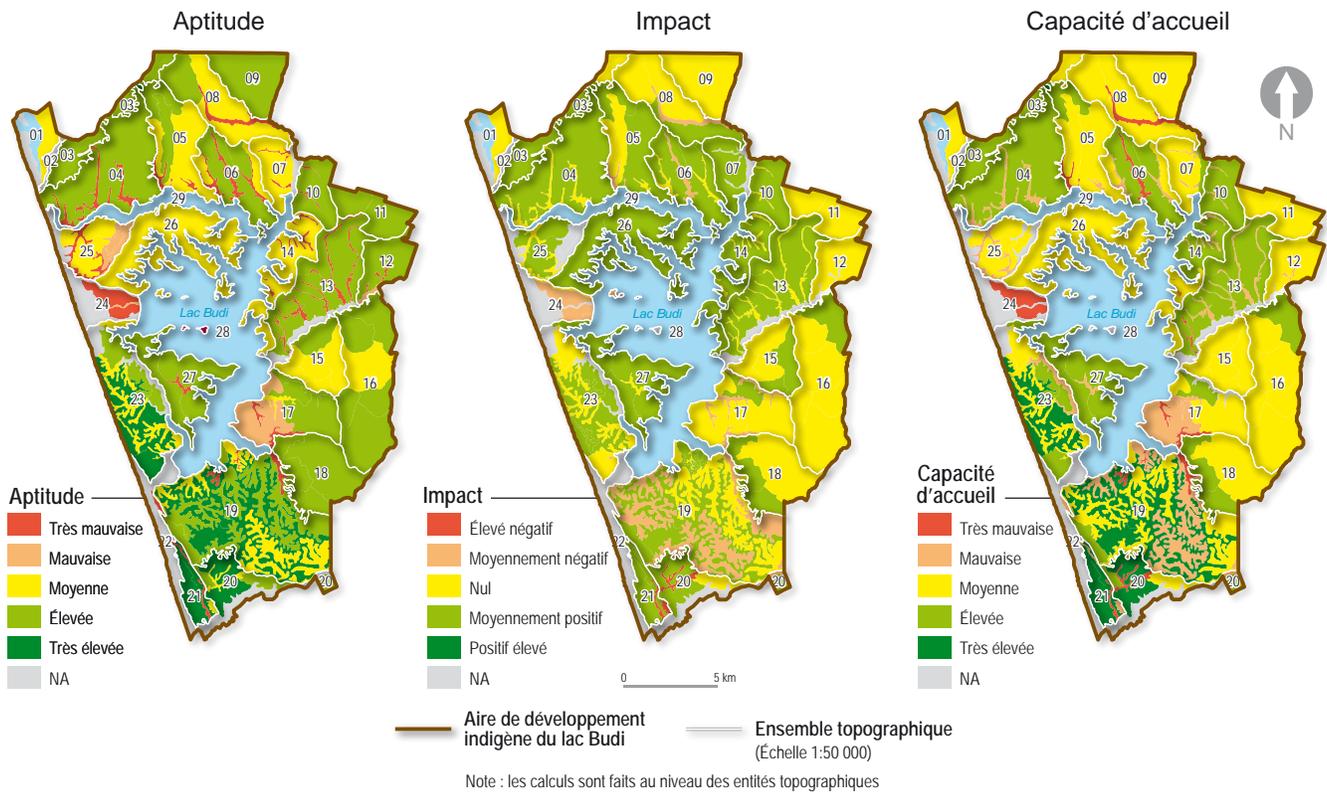
IMPACT

	Élevé négatif	Moyennement négatif	Nul	Moyennement positif	Élevé positif
APTITUDE	Très mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Moyenne
	Mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise	Moyenne	Moyenne
	Moyenne	Mauvaise	Moyenne	Moyenne	Élevée
	Élevée	Mauvaise	Moyenne	Élevée	Très élevée
	Très élevée	Moyenne	Moyenne	Très élevée	Très élevée

Figure 5.23. Évaluation de la capacité d'accueil écologique du territoire pour la conservation

Modèle d'évaluation et d'utilisation du territoire et de ses ressources dans l'ADI Budi
Évaluation de la capacité d'accueil écologique

Agroforestier (B3)



Ensembles topographiques

01 Puerto Saavedra	07 El Alma	13 Quechocahuin	19 Malalhue	25 Collileufu Grande
02 Ladera Puerto Saavedra	08 Curileufu	14 Borde Lago Quechocahuin	20 Pichi Chelle	26 Rucatraro Romopulli
03 Alto Huincul - Pullallan	09 Quifo	15 Puerto Dominguez	21 Peleco	27 Isla Huapi
04 Cheucan - Ñaupe	10 El Temo	16 La Sierra	22 Playa Malalhue y Peleco	28 Lago Budi
05 Perquiñan Budi	11 Huapi Comue	17 Llangui	23 Piedra Alta Puaicho	29 Río Budi
06 Perquiñan Alto	12 Llaguey	18 Lumahue	24 Collileufu Chico - Deume	

Modèle de capacité d'accueil

IMPACT

	Élevé négatif	Moyennement négatif	Nul	Moyennement positif	Élevé positif
APTITUDE	Très mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Moyenne
	Mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise	Moyenne	Moyenne
	Moyenne	Mauvaise	Moyenne	Moyenne	Élevée
	Élevée	Mauvaise	Moyenne	Élevée	Très élevée
	Très élevée	Moyenne	Moyenne	Élevée	Très élevée

Figure 5.24. Évaluation de la capacité d'accueil écologique du territoire pour l'agroforesterie

Les résultats de la capacité d'accueil écologique de chaque option d'utilisation du sol ont fait appel aux techniques d'analyse multicritères. Ils ont ensuite été repris et analysés par des tables d'experts qui, par regroupement d'unités homologues, ont proposé des

unités de planification territoriale. Ces unités sont des regroupements de polygones écologiques cartographiés au 1 : 20 000 interprétés dans le contexte supérieur des ensembles topographiques issus de la cartographie au 1 : 50 000 (figure 5.25).

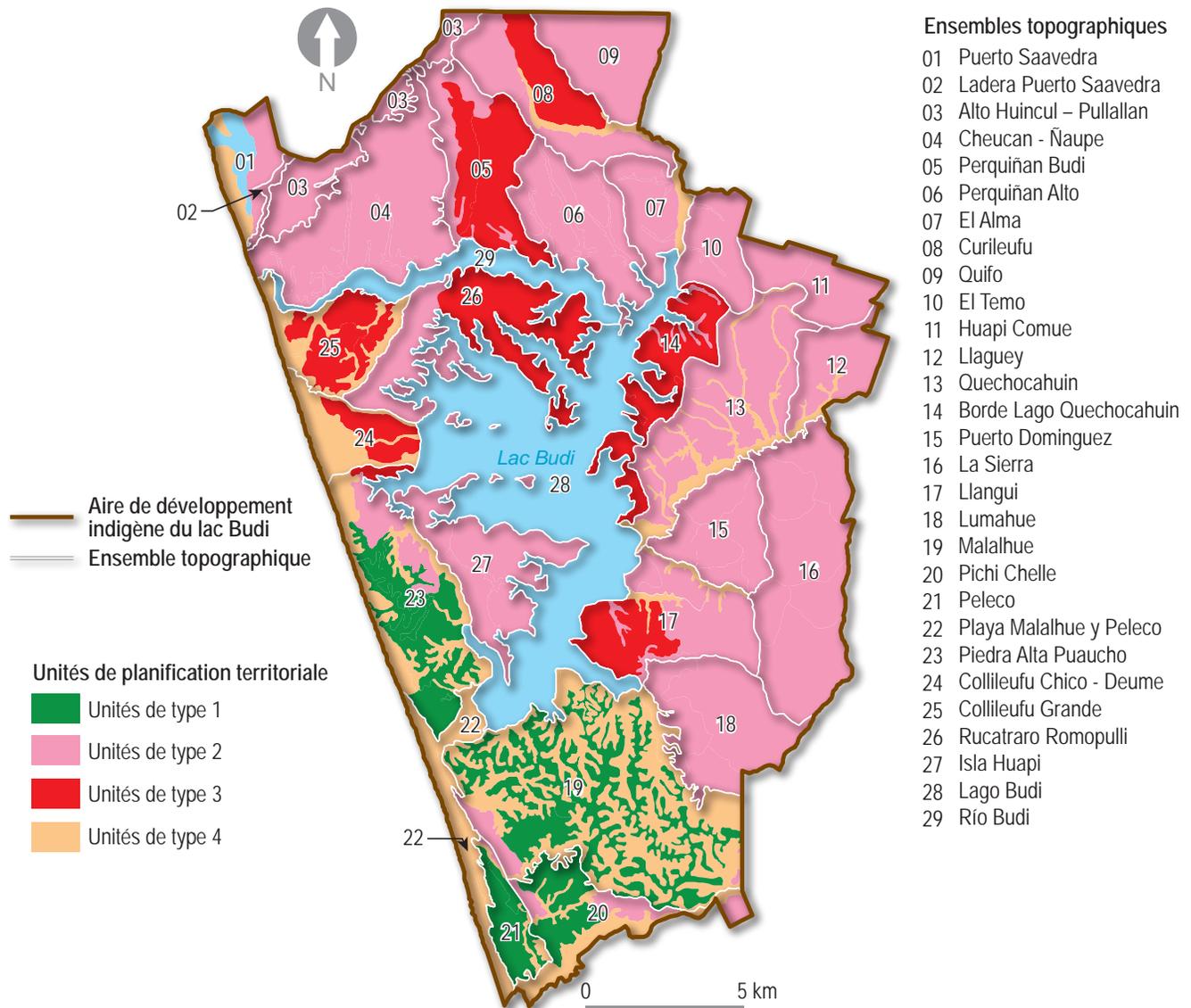


Figure 5.25. Les unités de planification territoriale

Capacité d'accueil agricole élevée



Figure 5.26. Les unités de planification territoriale de type 1

Les unités de planification territoriale de type 1 (figure 5.26) ont une excellente capacité d'accueil agricole; elles correspondent à des entités topographiques planes.

On les retrouve dans les ensembles topographiques 19, 20, 21 et 23 (cf. figure 5.25).

Capacité d'accueil agricole moyenne (élevage) et forestière élevée



Figure 5.27. Les unités de planification territoriale de type 2

Les unités de planification territoriale de type 2 (figure 5.27) ont une bonne capacité d'accueil agricole et une excellente capacité d'accueil forestière; elles correspondent à des entités topographiques planes,

ondulées ou à des buttes. On les retrouve dans les ensembles topographiques suivants : 01, 03, 04, 06, 07, 09, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 26 et 27.

Capacité d'accueil agricole (élevage) limitée et forestière moyenne



Figure 5.28. Les unités de planification territoriale de type 3

Les unités de planification territoriale de type 3 (figure 5.28) ont une capacité d'accueil agricole limitée, mais une bonne capacité d'accueil forestière; elles correspondent à des entités topographiques de versants

ou de pentes fortes et à des cuvettes humides inondables. On les retrouve dans les ensembles topographiques suivants : 05, 08, 14, 17, 24 et 25.

Unités vouées à la conservation



Figure 5.29. Les unités de planification territoriale de type 4

Les unités de planification territoriale de type 4 (figure 5.29) sont des unités vouées à la protection; elles regroupent les entités topographiques de plages, de dunes, de falaises et de milieux humides. On les retrouve

dans les ensembles topographiques suivants : 01, 07, 13, 19, 20, 22, 23, 24, 26 et 27. Le lac et la rivière Budi appartiennent aussi à cette catégorie.

Simultanément, une typologie des résidents ruraux a été établie après études et enquêtes de terrain (tableau 5.10).

Leur répartition spatiale n'est pas le fait du hasard : les catégories les plus défavorisées se retrouvent dans les unités écologiques à capacité d'accueil agricole faible, et les catégories les mieux nanties se concentrent dans les unités écologiques ayant une excellente capacité d'accueil agricole (figure 5.30, page suivante).

Ainsi, lorsqu'on analyse la répartition spatiale des familles de type 1 et 2, elles sont nettement plus fréquentes dans certaines unités écologiques 04, 06, 13, 14, 23, 25, 27 et 26 avec des pourcentages passant de 58,6 à 75,2. Ces unités écologiques se retrouvent principalement dans les unités de planification de type 3 et 4, les plus défavorables à l'agriculture (figures 5.28 et 5.29).

À l'opposé, certaines unités supportent une concentration de familles de type 3 et 4 (revenus proches ou supérieurs à la moyenne). C'est le cas des unités 08, 16, 18, 19, 20 et 21 avec des pourcentages allant de 53,9 à 77,2. Elles correspondent surtout à des unités de planification de type 1 et 2 (figures 5.26 et 5.27).

5.2.5 Conclusion

L'intégration du CER dans le projet ADI Budi a permis de définir, de cartographier et de classier des unités territoriales qui ont fourni l'information pertinente nécessaire à l'évaluation du territoire et de ses ressources. Les informations écologiques apportées par le CER et celles amenées par les interprétations ont été rassemblées et structurées dans une base de données à référence spatiale pour constituer l'ébauche d'un système d'information sur le territoire. Ceci facilitera, ultérieurement, l'ajout de nouvelles informations de nature écologique, administrative et socioéconomique qui, à leur tour, permettront de réaliser, dans le futur, d'autres analyses et interprétations territoriales.

Les résultats du CER ont aussi grandement facilité l'évaluation des différentes options d'utilisation du sol sur lesquelles reposaient les scénarios de planification territoriale respectueux des valeurs de la société mapuche et bâties sur de l'information des ressources naturelles, socioculturelles et économiques propres à l'ADI Budi.

Tableau 5.10. Typologie des producteurs agricoles de l'ADI Budi

Type 1	Revenu inférieur à la moyenne rurale, sans capacité d'emprunt, sans outillage, en excédent de main-d'œuvre, superficie de terres insuffisante pour couvrir les besoins familiaux, moins de 2 ha
Type 2	Revenu inférieur à la moyenne rurale, sans capacité d'emprunt, avec de l'outillage insuffisant, avec de la main-d'œuvre suffisante, superficie de terres qui permet de couvrir les besoins familiaux, de 2 à 6 ha
Type 3	Revenu proche de la moyenne rurale, capacité d'emprunt, outillage et main-d'œuvre suffisante, superficie de terres qui permet de couvrir les besoins familiaux, entre 6 et 12 ha; dispose d'un petit excédent destiné à la vente permettant de diversifier la consommation
Type 4	Revenu supérieur à la moyenne rurale, capacité d'emprunt, avec de l'outillage qui montre une capacité de capitalisation et d'investissement, manque de main-d'œuvre, production qui permet de satisfaire les besoins familiaux, supérieur à 12 ha; dispose d'un excédent important destiné à la vente

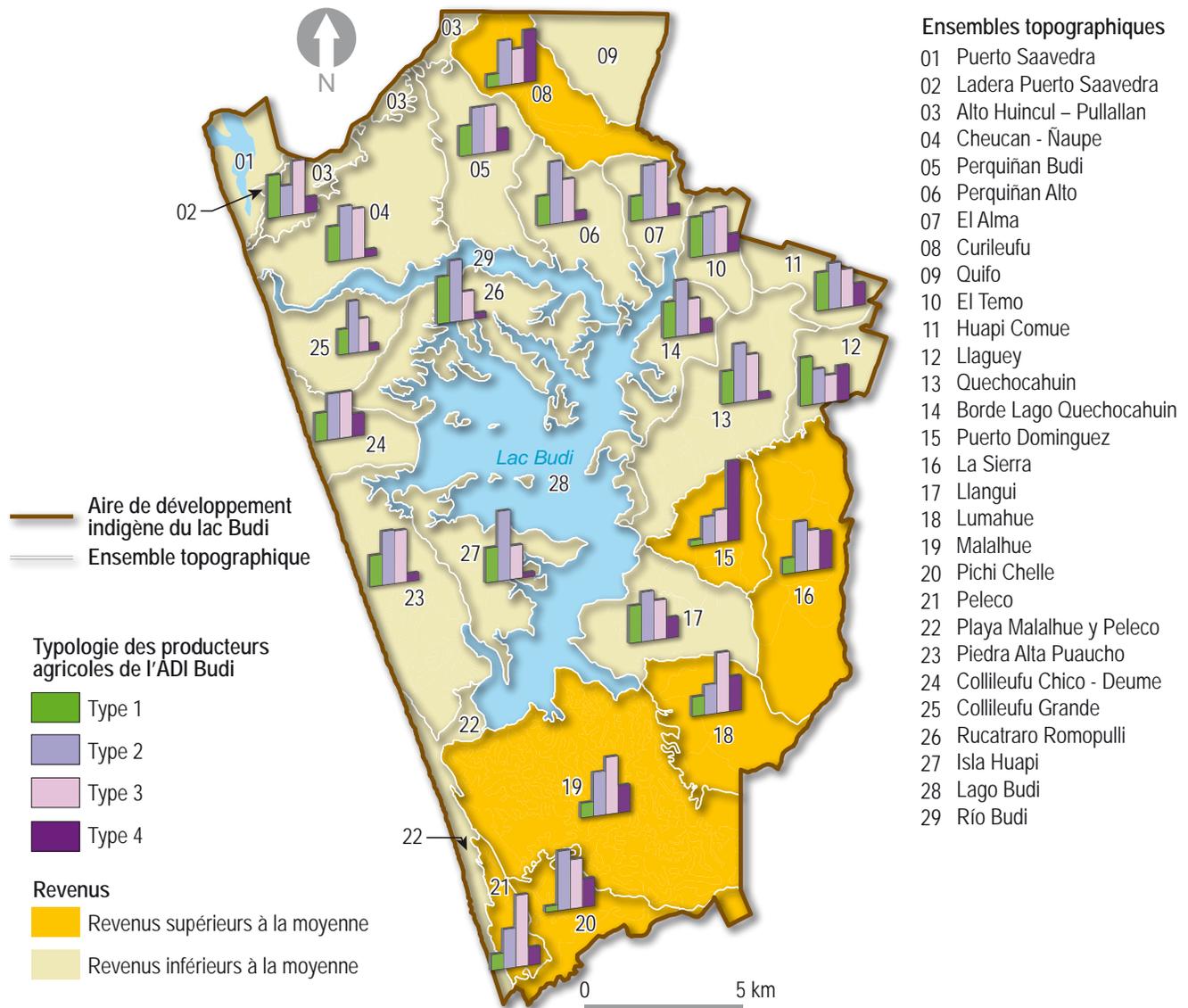


Figure 5.30. Typologie des producteurs agricoles de l'ADI Budi et leur niveau de revenu selon les ensembles topographiques

5.3. Références bibliographiques

CIREN, 1999. *Estudio Agrologico IX Región. Descripciones de Suelos: Materiales y Símbolos*. Chili, Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Publicación n° 122.

CONAMA, 2002. *Estrategia regional de conservación y uso sustentable de la biodiversidad*. Chili, Comisión Nacional del Medio Ambiente.

DI CASTRI, F., et E. R. HAYEK, 1976. *Bioclimatología de Chile*. Santiago, Chile, Ediciones Universidad Católica de Chile.

DONOVAN FORTIN, P., G. WILLIAMSON et E. DIAZ, 2000. *L'économie sociale dans la IX région de l'Araucanie (Chili) : une option pour le développement régional*. Chaire de recherche en développement communautaire, Université du Québec à Hull, Série de recherche n° 19, 28 p.

MEDINA MENA, J. E., 2008. *Ordenamiento territorial: una visión integral, municipal y asociativa*. Chili, Asociación de Municipios de la Precordillera, Región de la Araucanía, 220 p.

MEDINA MENA, J. E., 2006. *Plan de ordenamiento y desarrollo territorial. Version para el proceso de consulta y participación ciudadana*. Chili, Asociación de Municipios de la Precordillera, Región de la Araucanía, 180 p.

MEDINA MENA, J. E. 2005. *Levantamiento de metodología participativa para el ordenamiento territorial con comunidades Mapuche* del ADI-Budi. Temuco, Chili, Instituto del Medio Ambiente, Universidad de la Frontera, rapport final, 162 p.

MOP, 1994. *Atlas ambiental de Chile*. Chili, ministerio de Obras Públicas, Subsecretaría de Obras Públicas, Unidad Técnica de Medio Ambiente.

PEÑA CORTÉS, F., E. ALVAREZ, M. ESCALONA, G. REBOLLEDO, C. MELLADO, T. DURAN, M. PASTENE, C. RODRÍGUEZ, A. VIVALLO , G. DONOSO, C. FLEUR et J. ARANGUA, 2003. *Plan Regional de Desarrollo Urbano y Territorial. IX Región de La Araucanía*. Chili, ministerio de Vivienda y Urbanismo, Universidad Católica de Temuco, 220 p.

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

CONCLUSION

« Pour la suite du monde »¹

Vincent Gerardin

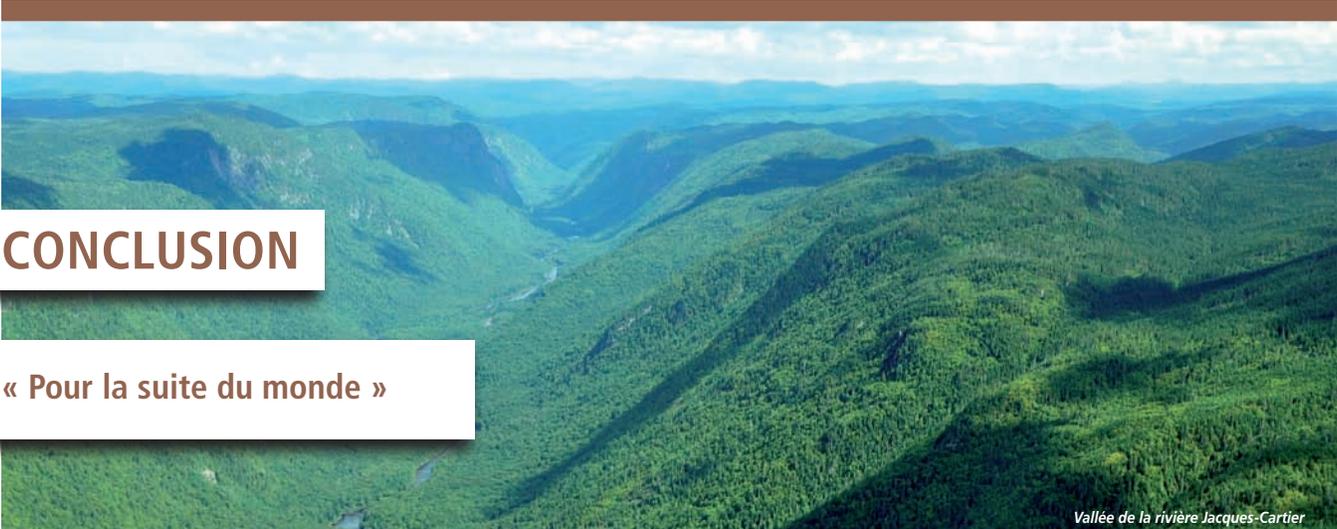
¹ Titre d'un film de Pierre Perreault et Michel Brault (Office national du film, Canada, 1962).

La loi est uniforme, les mœurs, les terres, les intelligences ne le sont pas.

Honoré de Balzac
Le Médecin de campagne

*Tous les discours et les livres à propos d'un monde unique ne pourront rien
contre la persistance du lieu.*

René Dubos
Les dieux de l'écologie



CONCLUSION

« Pour la suite du monde »

Vallée de la rivière Jacques-Cartier

Par Vincent Gerardin

Une pensée écologique enracinée de longue date

Le cadre écologique de référence du Québec (CERQ) prend sa source dans une pensée terrienne empirique longtemps transmise de génération en génération. Pendant les premières années d'expérimentation et de mise au point de ce qui deviendra le cadre écologique de référence, aux citoyens qui nous demandaient d'expliquer en quelques mots clairs ce CERQ, nous utilisons la métaphore suivante : *toute proportion gardée, le CERQ n'est ni plus ni moins ce qu'ont fait spontanément des générations d'agriculteurs désirant mettre en culture une nouvelle terre. Ils la parcouraient attentivement pour évaluer la nature et la qualité des sols, pour découvrir les formes de terrains qui la modèlent, les cours d'eau qui la drainent et l'irriguent, la végétation qui y pousse, etc. Tout cela, afin de décider avec intelligence où ils défricheraient, où ils établiraient leurs pâturages, où ils produiraient leurs céréales, où ils planteraient leurs pommes de terre, quels terrains ils devraient drainer, quels boisés ils aménageraient, etc.* Cela pour dire qu'avant la lettre, l'empirisme agricole a été à la base des premières réflexions écologiques. Aujourd'hui encore, malgré le cadastre, l'empreinte agricole sur le territoire reste un formidable révélateur de son écologie (figures C.1 et C.2).

Cette pensée écologique est aussi celle fortement enracinée chez les premiers peuples. De génération en génération, ils ont vécu des fruits de leur environnement grâce à une connaissance empirique de leurs milieux de vie développée au fil du temps. Ils avaient ainsi sauvé la biodiversité foisonnante qu'ont découverte les Européens à leur arrivée au début du 16^e siècle (Delâge, 1991). Malheureusement, nous n'avons pas encore su formaliser ces connaissances fines pour en enrichir le CERQ.

Bien que la logique portée par la connaissance empirique paraisse essentielle à qui veut comprendre l'essence de la nature du territoire, on s'explique mal le peu de place qui lui est encore accordée dans les actions de planification et d'aménagement du territoire.

Au fil de cet ouvrage, le lecteur attentif aura découvert, ou redécouvert, cette logique que beaucoup d'entre nous portent, logique du lien étroit entre organisation des écosystèmes et occupation du territoire, entre productivité des ressources et nature des écosystèmes. Cette logique est aujourd'hui trop fréquemment supplantée par une gestion technocratique reposant sur une confiance absolue en la haute technologie. Une telle gestion amène trop souvent les usages du territoire à contresens de leur organisation écologique naturelle, entraînant sa dégradation, voire une perte de capital-nature conduisant parfois à d'onéreuses actions de restauration.

Par exemple, l'agriculteur d'aujourd'hui bénéficie d'outils hautement technologiques pour exploiter sa ferme, comme ces modèles informatisés reliés à des satellites par le GPS de son tracteur pour fertiliser ses sols, ajuster la quantité des semences ou calculer en temps réel le rendement des récoltes. Ces outils modernes, certes utiles, vont parfois l'amener à transgresser, sans réellement en avoir conscience, l'écologie de ses terres, car leur objectif premier est d'adapter la production aux impératifs économiques du jour, quelle que soit la nature de ses sols. Ainsi, maïs et soya ont envahi la campagne québécoise à la recherche d'une production maximale en tous lieux. L'agriculture industrielle centrée sur les rendements à tout prix a pollué les nappes phréatiques, les eaux de surface et les écosystèmes aquatiques (eutrophisation et algues bleues) et a entraîné la dégradation des sols.

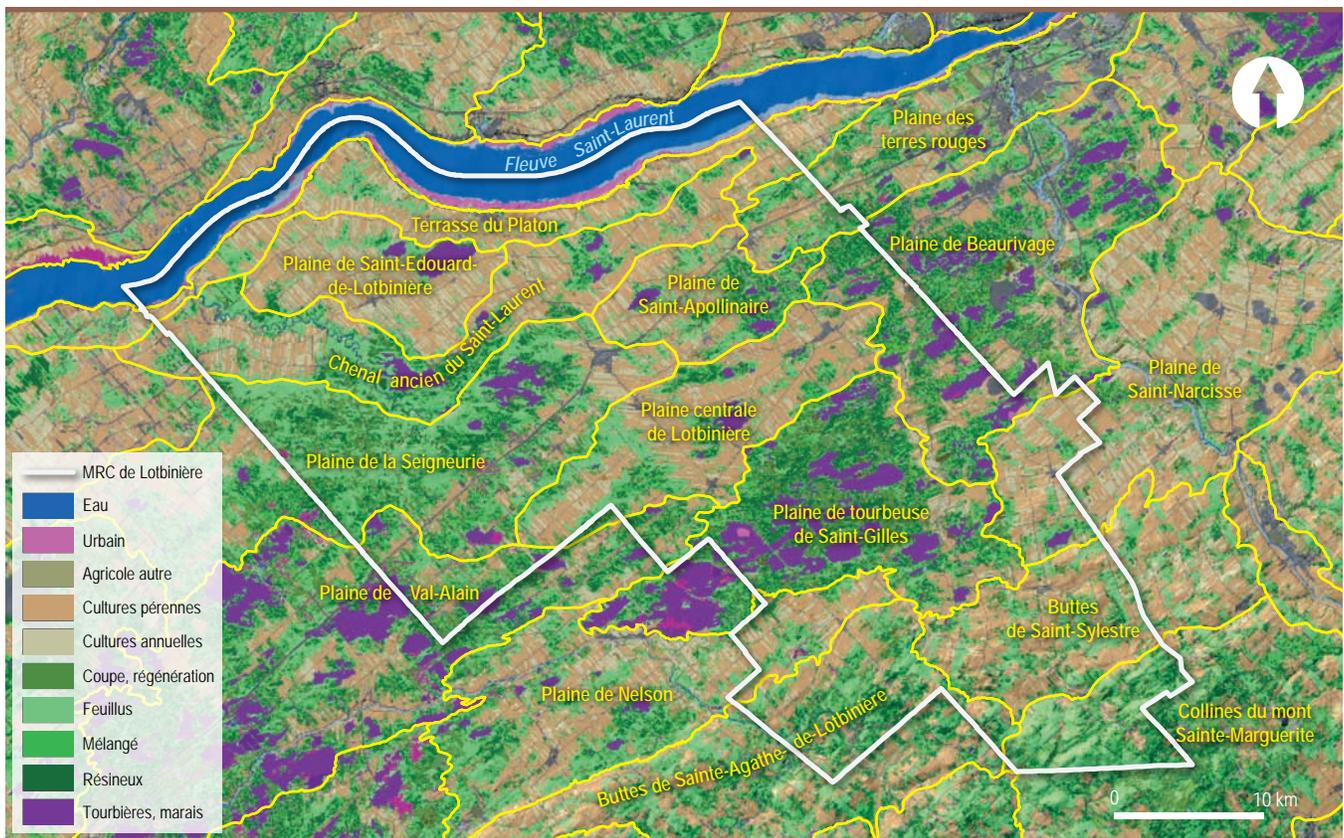


Figure C.1. Carte écologique des terroirs de Lotbinière et occupation des sols (Blais et coll., 2005)

Au bout du compte, ces transgressions ont toujours un coût écologique et des coûts financiers généralement assumés par l'ensemble de la société.

D'autres exemples ne manquent pas pour illustrer de tels coûts consécutifs au non-respect des lois écologiques. Prenons-en quelques-uns tirés du quotidien québécois :

- Une gestion de la forêt dissociée du fonctionnement des écosystèmes a mené à des diminutions récurrentes de la possibilité forestière, à des régénérations lentes ou indésirées, à des modifications profondes des populations animales.
- L'expansion urbaine qui minéralise les meilleures terres agricoles, simplifie et canalise le réseau hydrographique, voire défie l'entretien routier hivernal en faisant fi des pentes et de l'exposition dans les ensembles résidentiels en relief accidenté.
- Et que dire de l'emprise des villes et villages à l'intérieur des zones de liberté des cours d'eau (figure C.3), que nous payons de temps à autre, voire annuellement, d'un prix fort, comme dans le cas des inondations récurrentes et violentes

de la rivière Lorette, à Québec, ou des épisodes dramatiques d'inondation comme celui du printemps 2011 sur les rives de la rivière Richelieu.

De la connaissance empirique des terroirs à leur connaissance structurée

Le cœur de cet ouvrage porte sur la formalisation scientifique et technique d'une expression moderne et d'une application efficace de la connaissance des écosystèmes.

Son objectif principal est d'expliquer comment aborder la représentation des écosystèmes sur des territoires de superficie variable afin de les rendre, à des échelles appropriées, intelligibles aux responsables de leur mise en valeur et de leur aménagement, c'est-à-dire de rechercher la meilleure concordance entre écosystème et capacité de support. Ce livre explique aussi comment les démarches de classification et l'approche cartographique suivent des procédures rigoureuses qui font du CERQ un produit multiforme de haute qualité technique et scientifique.



Figure C.2. Enchevêtrement de terres agricoles planes (limons glaciolacustres) et de terrains boisés accidentés (buttes rocheuses) dans la région de Ville-Marie, dans le Témiscamingue, au Québec (Google Earth, 2010)

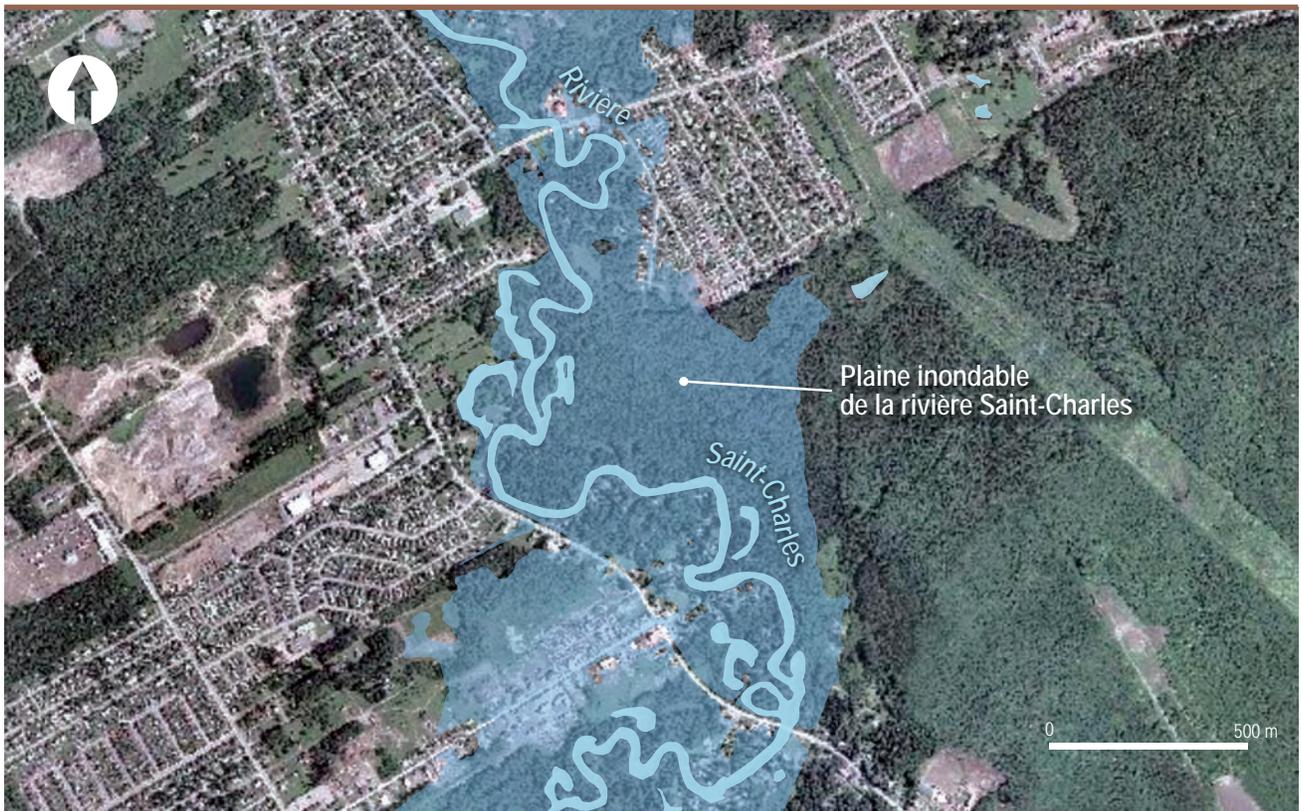


Figure C.3. Empiètement urbain dans la plaine inondable de la rivière Saint-Charles, à Québec (d'après Lajeunesse et coll., 1997, et Gerardin et coll., 2000)

On découvre dans ce texte les trois grandes qualités du CERQ que sont son universalité, sa lisibilité et sa capacité de réévaluation ou d'actualisation.

L'universalité du CERQ est bien démontrée par les applications au Québec et ailleurs dans le monde, ainsi que par la convergence des recherches menées un peu partout sur la planète sur la lecture structurée et explicite des écosystèmes. De prime abord, les produits premiers du CERQ, typologies et cartographies, peuvent paraître rébarbatifs. Ce n'est plus le cas dès lors qu'ils sont traduits en termes concrets répondant aux questions soulevées par la recherche d'un aménagement durable du territoire. Ainsi, les écosystèmes classifiés et cartographiés deviennent accessibles aux aménageurs lorsqu'ils sont interprétés en cotes d'aptitude et de potentiel (agricole, forestière, faunique, archéologique, etc.), et de vulnérabilité (érosion, glissement de terrain, pollution des nappes phréatiques), comme en font part les chapitres 4 et 5.

Dans un exercice de planification réunissant autour d'une même table élus, technocrates, experts, usagers du territoire, mouvements associatifs et citoyens, tous peuvent alors, sans difficulté, tirer profit des informations fournies par ces documents techniques grâce à leur lisibilité. En effet, ces documents sont devenus des images de la répartition territoriale des zones inondables, des risques d'érosion des sols, de la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine, des aptitudes à la production agricole, forestière ou faunique, des valeurs paysagères, des besoins de conservation et de protection des écosystèmes, etc. Ces documents interprétatifs offrent même la possibilité d'aller plus avant dans des analyses complexes où se croisent information écologique de base, information issue d'interprétations, données factuelles sur l'occupation et l'utilisation du territoire, données socioéconomiques, volontés et préférences citoyennes, etc. Ces croisements, généralement délicats, sont facilités par le recours aux outils statistiques multifactoriels et à la puissance de la géomatique.

Qui plus est, toutes ces analyses et tous ces documents dérivés des cartes et des typologies écologiques ne sont pas seulement de compréhension facile, ils peuvent aussi, selon les besoins des utilisateurs ou selon divers scénarios, être aisément adaptés et mis à jour par l'introduction de nouveaux paramètres, la modification des pondérations, ou le croisement de nouvelles couches d'information. Et ce, sans devoir revisiter les écosystèmes sur le terrain. C'est, après son universalité et sa facile lisibilité, une troisième particularité du CERQ, à savoir sa souplesse, sa capacité d'actualisation et de réévaluation.

Un intérêt largement partagé dans le monde

Un autre apport substantiel de cet ouvrage est de reconnaître que le CERQ est redevable à plusieurs écoles et chercheurs d'autres régions et pays. C'est dans le premier chapitre que l'on prend réellement conscience qu'il y a autour du monde depuis plus d'un siècle une même préoccupation pour l'écologie du territoire et des visions tellement proches qu'on est amené à penser que le cadre écologique de référence découle d'une logique terrienne universelle, comme nous l'écrivions au début de cette conclusion.

Au Québec, nous avons beaucoup appris des écoles australiennes, russes et étatsuniennes, et l'apport des écologues canadiens a été à un certain moment majeur. En retour, l'équipe constituée par l'écologue Michel Jurdant à la fin des années 1960 n'a pas été avare en partageant ses compétences au Québec et au Canada d'abord, mais aussi en d'autres lieux (Grèce, Nicaragua, Burkina Faso, Niger, Chili). Ces choses devaient être dites afin de souligner la convergence des vues et des approches en matière de connaissances pratiques des écosystèmes. Le CERQ n'est pas une particularité culturelle du Québec, c'est un besoin universel qui se situe au cœur de cette préoccupation profonde et générale de maintenir le fonctionnement des écosystèmes pour aujourd'hui et pour demain.

Instrument par excellence de la planification écologique

À l'heure de la planification écologique², qui a de plus en plus d'adeptes ici comme ailleurs, le CERQ est un incontournable absolu. Il est impératif que toute cette information et toutes ces connaissances sur les écosystèmes du Québec se retrouvent à la base de toute planification de l'aménagement du territoire. Les nombreux secteurs de planification du territoire et de l'utilisation des ressources naturelles pourraient tirer profit d'une utilisation accrue du CERQ. Nous pensons non seulement au choix des aires à protéger, mais particulièrement aux schémas d'aménagement et de développement des MRC, aux plans de développement de la zone agricole (MRC d'Argenteuil, 2011), aux plans directeurs de l'eau, comme ceux de la rivière L'Assomption (Côté et coll., 2004; CARA, 2014) ou de la rivière Châteauguay (Côté et coll., 2006), voire aux décisions d'aménagement liées au Plan Nord.

Pourvu que les compétences et les connaissances acquises en écologie du territoire depuis plus de 45 ans se maintiennent et se développent, que leurs applications

² À défaut d'une définition officiellement reconnue, on peut simplement dire de la planification écologique qu'elle intègre, à priori et en amont, des processus habituels de planification de l'aménagement du territoire, les potentialités et fragilités des écosystèmes.

s'élargissent aux quatre points cardinaux du Québec et à tous les champs de l'aménagement du territoire et des ressources! Toutefois, plusieurs signes laissent à penser que ce n'est pas forcément gagné, car...

Il faudrait à tout prix revaloriser l'expertise qui repose sur la fréquentation du terrain. Nous avons cette conviction profonde que l'on ne peut prétendre élaborer un CERQ crédible sans réellement salir ses bottes en marchant le terrain pour l'inventorier. Garder le fil nourricier de la connaissance fine du terrain — sans laquelle il devient difficile de soutenir et de défendre cartographies, typologies et interprétations techniques produites — est un enjeu majeur. Autrement dit, il faut parcourir le territoire, sonder, creuser, échantillonner et décrire les sols, mesurer les forêts, relever leur composition, sentir les reliefs et leur effet sur le drainage des sols et les microclimats, toutes des actions qui confèrent aux praticiens cette connaissance intime que certains jugeront peu scientifique, mais dont la possession permet de détecter et contrer les simplismes scientifiques. La connaissance du terrain est impérative, car, sans elle, point de compréhension concrète des écosystèmes qui autorise l'écologue à traduire le plus objectivement possible ces connaissances mesurées en potentialités territoriales.

Pourtant, cette expertise du contact avec le terrain est primordiale, car elle ne peut être totalement remplacée par les nouvelles technologies (imagerie aérienne de plus en plus précise, imagerie LiDAR, outils géomatiques de plus en plus conviviaux, etc.). En effet, la puissance très appréciable de la géomatique cache plusieurs vices fondamentaux allant à l'encontre de principes cartographiques de base, comme celui de superposer sans sourciller des documents cartographiques d'échelles incompatibles ou de natures difficilement conciliables.

Le fait que l'État se retire de ces études de base, qui permettent de soutenir l'aménagement du territoire, contribue aussi à la disparition de cette expertise. De plus en plus, au gré de projets d'intervention sur le territoire et sur les ressources, l'État et les grandes sociétés industrielles confient l'acquisition des connaissances nécessaires aux études d'impact à des bureaux de consultants qui, n'ayant pas la responsabilité d'entretenir la mémoire collective, ne diffusent pas les données de terrain qui soutiennent leurs analyses.

Quelles suites pour le CERQ?

Quelle suite peut-on souhaiter pour le CERQ? Certaines questions sont encore posées et certains besoins sont encore à combler. À de nouveaux territoires à caractériser, à de nouvelles ressources à explorer, l'évolution continue du CERQ doit pouvoir y répondre.

1. Les milieux aquatiques

Pour diverses raisons, cet ouvrage s'est concentré davantage sur les milieux terrestres que sur les milieux aquatiques. Toutefois, plusieurs travaux ont été menés pour structurer un cadre écologique de référence des hydrosystèmes d'eau douce dans la perspective d'une bonne gestion des bassins versants (Gerardin et Lachance, 1997; Lajeunesse et coll., 1997; Beauchesne et coll., 1998; Côté et coll., 2004).

Rappelons aussi que dès la première cartographie des provinces naturelles et des régions naturelles (Li et coll., 1994), l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ont été constitués en une province naturelle subdivisée en régions naturelles (carte de l'Annexe). Ultérieurement, les unités écologiques du littoral du Saint-Laurent ont été cartographiées (Desgranges et Ducruc, 1998; Gerardin et coll., 1998). Bien que le CERQ appliqué à l'estuaire et au golfe du Saint-Laurent n'inclut pas encore tous les niveaux de perception qu'offre le CERQ du milieu continental, il en couvre quand même les quatre premiers niveaux, de la province naturelle au district écologique (Le Rouzès et Bazoge, 2015). Ainsi, la figure C.4 présente une classification des districts écologiques de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent tirée de récents travaux (Poisson et Li, 2017; Li, 2017) visant la détermination des milieux marins à protéger.

Malgré tout, cette lacune pour les milieux marins et sous-marins se fait de plus en plus inquiétante, notamment au regard des projets d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent — pour l'instant suspendus — (Genivar, 2013). Or, le concept d'écosystème marin et sous-marin et les applications qui devraient en découler sont encore inconnus des directives fournies aux promoteurs de projets de forage pétrolier en milieu marin, comme c'est le cas dans les nombreux projets de forage exploratoire extracôtier au large de Terre-Neuve (Nutashkuan, 2018).

2. Maintenir les compétences

Dans la perspective de la poursuite du CERQ, nous avons établi qu'après le contact avec le terrain, la seconde expertise à conserver est celle des compétences qui relèvent des travaux réalisés dans les bureaux, au retour des campagnes de terrain. Photo-interprètes et cartographes, classificateurs, taxonomistes et statisticiens, agronomes, forestiers, biologistes, hydrologues, géographes et autres métiers de l'environnement et de la nature sont de plus en plus souvent remplacés dans leurs méthodiques analyses par des traitements automatisés. L'utilisation des outils modernes et efficaces n'est surtout pas à rejeter,

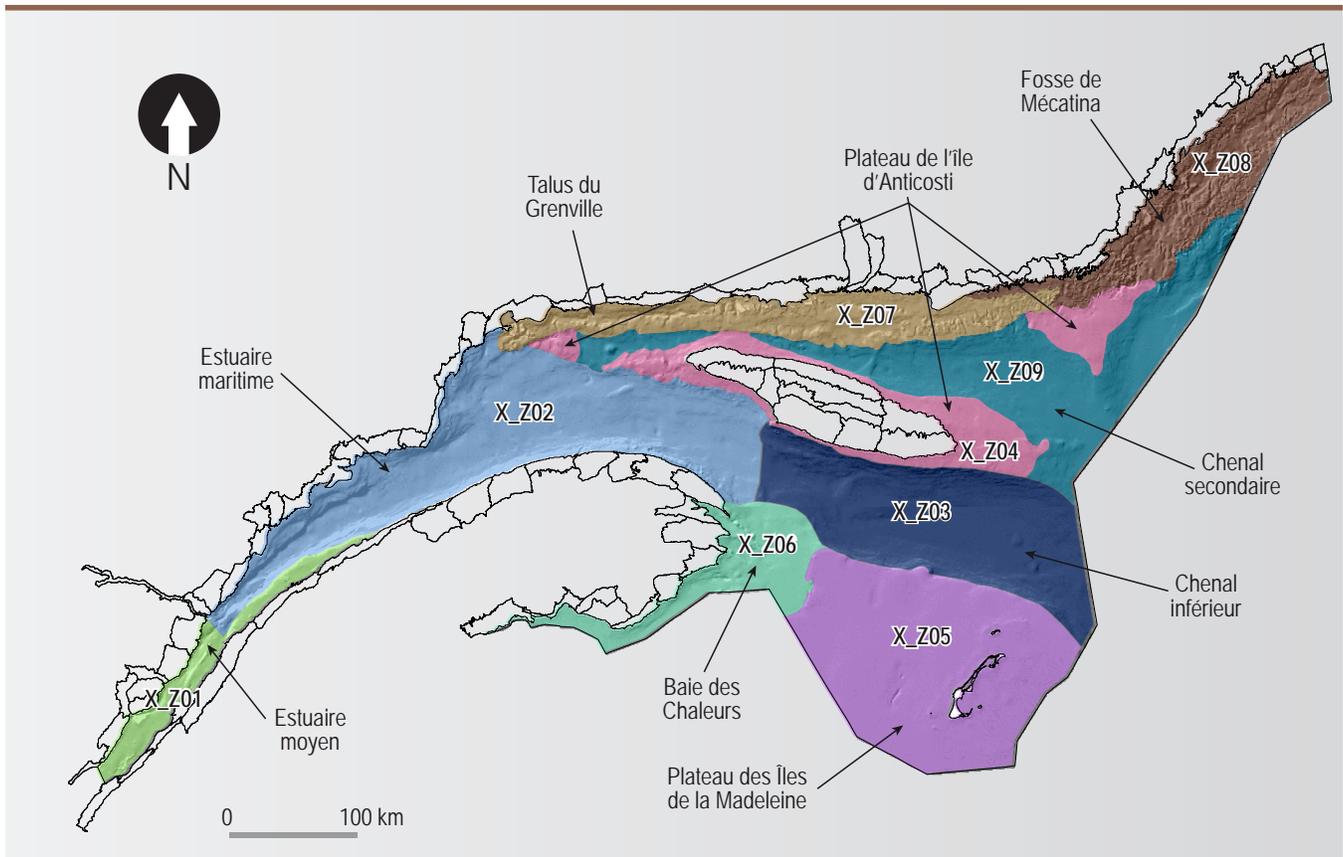


Figure C.4. Classification des districts écologiques de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent (Poisson et Li, 2017, dans Nutashkuan, 2018)

pour autant que ces outils soient utilisés par ceux qui ont l'expertise scientifique et technique, expertise soutenue par les enseignements du terrain.

La diffusion de l'art de la cartographie et de la classification, mais surtout celle des connaissances acquises, est une exigence à une époque de très grande sollicitation de notre environnement « naturel ». Ainsi, la mise en place progressive d'un réseau de la connaissance écologique, notamment par la création du site de données ouvertes du Québec (Données Québec³) où le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs⁴, comme celui de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques⁵, donnent accès gratuitement à plusieurs données de base, avantage dont les aménagistes peuvent profiter.

³ www.donneesquebec.ca

⁴ www.donneesquebec.ca/recherche/fr/group/d61e0cae-e722-4000-8fb1-88b28399e20c?organization=mffp

⁵ www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/cadre-ecologique-de-reference

3. Revaloriser le concept d'écosystème

On peut dire avec raison que nous avons généralement de bonnes mesures d'analyse et d'encadrement des grands projets industriels, comme le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement du Québec ou les divers programmes d'évaluation environnementale souvent accompagnés d'audiences publiques. Malgré cela, les unes après les autres, les études d'impact sur l'environnement se contentent systématiquement, dans des chapitres improprement intitulés « écologie du territoire d'étude », de décliner cette « écologie » par les paramètres de base des écosystèmes (climat, géologie, géomorphologie, végétation, faune, etc.), sans en présenter une description intégrée et cohérente (Genivar, 2013; Nutashkuan, 2018). C'est aussi le cas des nombreux plans d'aménagement forestiers intégrés, qu'ils soient tactiques ou opérationnels⁶, qui utilisent de manière minimale leurs propres données écologiques pour analyser les grandes unités d'aménagement forestier.

⁶ Ces plans peuvent être consultés sur le site Web du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs au mffp.gouv.qc.ca/les-forets/amenagement-durable-forets/planification-forestiere/plans-damenagement-forestier-integre/.

Enfin, à ceux qui se demandent comment les unités cartographiques et typologiques du CERQ qui n'intègrent pas à priori les composantes biologiques (flore et faune) peuvent représenter des écosystèmes, le travail de Fontaine et ses collaborateurs (2015) démontre la forte convergence des limites cartographiques entre les éléments physiques des écosystèmes marins (les biotopes) que décrit le CERQ et les éléments biologiques (les biocénoses), comme la faune benthique analysée dans cette recherche portant sur l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

4. Applications récentes du CERQ en matière de conservation

Dans la foulée du plan d'action 2015-2020 du Plan Nord à l'horizon 2035 (Secrétariat du Plan Nord, 2015) et du Plan d'action Saint-Laurent, les applications récentes du CERQ sont nombreuses. Pensons notamment à l'Atlas de la biodiversité du Québec nordique (Poisson et coll., 2016) qui, à partir du CERQ, vise à soutenir les analyses des territoires d'intérêt pour la conservation de la biodiversité. Des projets d'analyse de contribution/carences des aires protégées sont d'ailleurs en cours pour les territoires du Nunavik et d'Eeyou Istchee Baie-James. Dans le sud du Québec, le CERQ sert d'assise à la compréhension des contextes écologiques régionaux pour l'Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les basses-terres du Saint-Laurent (Jobin et coll., 2018). De plus, ce projet a permis de cartographier des unités écologiques aquatiques intégrées au Cadre de référence hydrologique du Québec (CRHQ), qui regroupe de l'information et des connaissances structurées spécifiques aux écosystèmes aquatiques.

Enfin, toujours dans le cadre des préoccupations de conservation, on peut souligner l'utilisation du CERQ, tant dans sa dimension terrestre que dans sa dimension aquatique, pour concevoir le plan de conservation de la réserve de biodiversité Akumunan, plan de conservation que les Innus Essipit ont soumis au MELCC en 2015 (Conseil de la Première Nation des Innus Essipit et gouvernement du Québec, 2015).

Pour que notre monde ait une suite, nous devons retrouver ce sentiment d'appartenance à la terre qu'avaient nos ancêtres. Non pas pour revivre leur époque et encore moins pour mettre la terre sous la coupe d'un « conservationnisme » pur et dur qui écarterait l'homme de la moitié de la planète (Leahy, 2009), mais pour retrouver le réflexe de prévoir et minimiser l'impact de nos interventions sur les écosystèmes en étayant nos analyses et nos décisions sur des connaissances structurées et faciles d'utilisation. Et, pour cela, nous ne pouvons plus nous contenter de parsemer plans et études d'impact de mots comme « écosystème » et d'expressions comme « approche holistique », ni de nous limiter à une description éclatée des paramètres biophysiques des écosystèmes; il faut au contraire mettre les connaissances écologiques intégrées dans un véritable concept d'écosystème au service d'un aménagement durable du territoire et de ses ressources.

Autrement dit, à l'instar du *Chat* de Geluck du chapitre 2 qui ne peut comprendre la musique en lisant note par note une partition, la somme des paramètres élémentaires des écosystèmes ne permet absolument pas de comprendre le tout écosystémique, vérité première de l'écologie, comme elle a été comprise, exprimée et formalisée par les Haeckel, Tansley, Odum et autre Dokuchayev.

Vincent Gerardin
Décembre 2018

Références bibliographiques

- BEAUCHESNE, P., M.-J. CÔTÉ, S. ALLARD, J.-P. DUCRUC et Y. LACHANCE, 1998. *Atlas écologique du bassin versant de la rivière L'Assomption : la partie des Basses-terres du Saint-Laurent*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, et Environnement Canada, 42 p.
- BLAIS, J.-S., J.-P. DUCRUC, Y. LACHANCE et M.-F. SAINT-LAURENT, 2005. *Les paysages de la MRC de Lotbinière – De la connaissance à l'aménagement*. Québec, MRC de Lotbinière et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs, 24 p.
- CARA, 2014. *Plan directeur de l'eau de la zone de gestion intégrée des ressources en eau L'Assomption*. Corporation de l'aménagement de la rivière L'Assomption, 321 p.
- CONSEIL DE LA PREMIÈRE NATION DES INNUS ESSIPIT et GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2015. *Plan détaillé de conservation et de mise en valeur de la réserve de biodiversité Akumunan (2015-2020)*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte aux Changements climatiques, Direction du patrimoine écologique et des parcs. 162 p.
- CÔTÉ, M.-J., Y. LACHANCE et J.-P. DUCRUC, 2004. *Le bassin versant de la rivière L'Assomption – Des paysages... à la gestion territoriale*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, 24 p.
- CÔTÉ, M.-J., Y. LACHANCE, C. LAMONTAGNE, M. NASTEV, R. PLAMONDON, et N. ROY, 2006. *Atlas du bassin versant du bassin versant de la rivière Châteauguay*. Collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 64 p.
- DELÂGE, D., 1991. *Le Pays renversé. Amérindiens et Européens en Amérique du Nord-Est, 1600-1664*. Montréal, Les éditions du Boréal, collection « Boréal Compact », 416 p.
- DESGRANGES, J.-L., et J.-P. DUCRUC (sous la direction de), 1998. *Portrait de la biodiversité du Saint-Laurent : Atlas de la diversité écologique potentielle et de la biodiversité du Saint Laurent au Québec*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Environnement Canada, Service canadien de la faune, région du Québec, et Pêches et Océans Canada, région du Québec, version provisoire, p. 12-20. [En ligne], [ftp://environnement.gouv.qc.ca/DONNEES_OUVERTES/Cadre_ecologique_reference/CERQ_Publications/CSIE_55_Desgranges_Ducruc1998_Portrait_de_la_biodiversite_du_Saint-Laurent_Atlas_scan.pdf] (consulté le 16 décembre 2018).
- FONTAINE, A., R. DEVILLERS, P. R. PERES NETO et L. E. JOHNSON, 2015. « Delineating marine ecological units: a novel approach for deciding which taxonomic group to use and which taxonomic resolution to choose ». *Diversity and Distributions*, vol. 21, n° 10, p. 1167-1180.
- GENIVAR, 2013. *Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs (EES2)*. Présentée au ministère des Ressources naturelles, 660 p. + annexes.
- GERARDIN, V., et Y. LACHANCE, 1997. *Vers une gestion intégrée des bassins versants. Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec, Canada*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et ministère de l'Environnement du Canada, 58 p.
- GERARDIN, V., J.-P. DUCRUC et P. BEAUCHESNE, 1998. « Le cadre écologique et les variables abiotiques : Les segments littoraux ». Dans Desgranges, J.-L., et J.-P. Ducruc (dir.), *Portrait de la biodiversité du Saint-Laurent : Atlas de la diversité écologique potentielle et de la biodiversité du Saint-Laurent au Québec*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Service canadien de la faune, Environnement Canada, région du Québec, et Pêches et Océans Canada, version provisoire, p. 12-20.
- GERARDIN, V., Y. LACHANCE, F. MORNEAU et J. ROBERGE, 2000. *Milieux humides et hydrosystèmes du bassin versant de la rivière Saint-Charles : de la nature à la ville, guide d'excursion*. Événement du millénaire sur les terres humides, excursion n° 17, gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 34 p.
- JOBIN, B., L. GRATTON, M.-J. CÔTÉ, O. PFISTER, D. LACHANCE, M. MINGELBIER, D. BLAIS, A. BLAIS et D. LECLAIR, 2018. *Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les Basses-terres du Saint-Laurent - Rapport méthodologique, version 1*. Environnement et Changement climatique Canada, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Plan d'action Saint-Laurent, Québec, 158 p.
- LAJEUNESSE, D., J.-BISSONNETTE, V. GERARDIN et J.-LABRECQUE, 1997. *Caractérisation écologique du lit majeur de la rivière Saint-Charles, Québec*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et ministère de l'Environnement du Canada, 151 p. + annexe cartographique.
- LEAHY, S., 2009. « Save Half the Planet, or Loose it All ». *Nature Needs Half* [En ligne], [natureneedshalf.org/news-item-1] (consulté le 14 décembre 2018).
- LE ROUZÈS, A., et A. BAZOGE, 2015. *Une connaissance intégrée pour soutenir la prise de décision dans un contexte d'urgence environnementale : application au golfe du Saint-Laurent en support à la question des urgences environnementales – Rapport technique*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale de l'écologie et de la conservation, 59 p.
- LI, T., J.-BISSONNETTE, J.-P. DUCRUC, V. GERARDIN, L. COUILLARD et Y. LACHANCE, 1994. *Le cadre écologique de référence du Québec : les régions naturelles*. Présentation générale, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, 20 p.
- LI, T. 2017. *Notes explicatives du cadre écologique de la province naturelle de l'Estuaire et du golfe du Saint-Laurent*. Version de diffusion, non publiée.
- MRC D'ARGENTEUIL, 2011. *Plan de développement de la zone agricole. MRC d'Argenteuil*. Municipalité régionale du comté d'Argenteuil, 72 p. [En ligne], [www.argenteuil.qc.ca/accueil/affichage.asp?langue=1&B=145] (consulté le 14 janvier 2014).

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 2012. *Plan d'aménagement forestier intégré tactique (PAFIT), période 2013 2018 – Région de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches, unité d'aménagement 031 51*. Québec, ministère des Ressources naturelles, 110 p. [En ligne], [www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/consultation/capitale-nationale/pafit-capitale-nationale-031-51.pdf] (consulté le 14 janvier 2014).

NUTASHKUAN, 2018. *Forages exploratoires extracôtiers au large de l'île de Terre-Neuve. Études d'impact environnemental des projets de Statoil Canada Ltée et d'ExxonMobil Canada Ltée*. Mémoire de la Première Nation des Innus de Nutashkuan, version non définitive, présenté à l'Agence canadienne d'évaluation environnementale, non publié, 42 p.

POISSON, F., L. COUILLARD ET M.-J. CÔTÉ, 2016. *Atlas de la biodiversité du Québec nordique : démarche méthodologique*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'expertise en biodiversité, 107 p.

POISSON, F., et T. LI, 2017. *Analyse de carence du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent*. Non publié.

RUIZ, J., G. DOMON, C. JAMBON, C. PAQUIN et L.-P. ROUSSELLE-BROSSEAU, 2012. *Connaître et comprendre les paysages d'aujourd'hui pour penser ceux de demain – Le diagnostic paysager de la MRC des Maskoutains*. Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal et Université du Québec à Trois-Rivières, 70 p.

SECRÉTARIAT AU PLAN NORD, 2015. *Le Plan Nord à l'horizon 2035 : plan d'action 2015-2020*. Québec, gouvernement du Québec, Secrétariat au Plan Nord, 47 p.

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications

ANNEXE

Carte des provinces naturelles et des régions naturelles
du Québec

LES PROVINCES ET LES RÉGIONS NATURELLES DU QUÉBEC

- Niveaux I et II du Cadre écologique de référence du Québec (CERQ) -



Source: Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, direction de la connaissance écologique, juin 2019

LES PROVINCES NATURELLES

A Les Appalaches	K Bassin de la baie d'Ungava
B Basses-terres du Saint-Laurent	L Massif du Labrador septentrional
C Les Laurentides méridionales	N Les Adirondacks*
D Les Laurentides centrales	O Hautes-terres d'Algonquin*
E Plateau de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord	P Basses-terres de la baie James
F Basses-terres de l'Abitibi	S Hautes-terres d'Algoma*
G Hautes-terres de Mistassini	U Plateau du Labrador central
H Collines de la Grande Rivière	X Estuaire et golfe du Saint-Laurent
I Plateau central du Nord-du-Québec	Y Détroit d'Hudson*
J Péninsule d'Ungava	Z Baie d'Hudson*

LES RÉGIONS NATURELLES

A01 Montagnes Vertes	F01 Basses-terres du lac Témiscamingue	K01 Collines de Schefferville
A02 Plateau d'Estrie-Beauce	F02 Plaine de l'Abitibi	K02 Collines de la De Pas
A03 Collines de Témiscouata	F03 Dépression de Matagami	K03 Dépression du lac Jeannin
A04 Péninsule de la Gaspésie	F04 Plaine de la Turgeon	K04 Basses-terres de la rivière à la Baleine
A05 Plateau de la Ristigouche*	G01 Collines du lac Mégiscane	K05 Collines du lac aux Feuilles
A07 Collines d'Aroostook*	G02 Dépression de la Chibougamau	L01 Collines de Mistastin
A08 Montagnes Blanches	G03 Plateau de la haute Rupert	L04 Haut plateau de la George
B01 Plaine du haut Saint-Laurent	G04 Lac Mistassini	L05 Bas plateau de la George
B02 Plaine du moyen Saint-Laurent	G05 Monts Otish	L06 Monts Torngat
B03 Plaine d'Ottawa	H01 Boutons de l'Opinaca	N01 Les Adirondacks*
C01 Plateau de la Dumoine	H02 Bas plateau du lac Sakami	O01 Graben Ottawa-Bonnehere*
C02 Collines La Vérendrye	H03 Basses-terres du lac Duncan	P01 Plaine de Waskaganish
C03 Dépression du réservoir Gouin	H04 Dépression de la Grande Rivière	P02 Plaine de la basse Harricana
C04 Dépression de Mont-Laurier	H05 Bas plateau du lac Julian	S01 Collines de Lake Temagami*
C05 Massif du mont Tremblant	H06 Plateau de la Grande rivière de la Baleine	U01 Plateau du lac Brûlé
C06 Plateau de Parent	H07 Plateau de la Nastapoka	U02 Plaine du lac Joseph
C07 Massif de la Windigo	I01 Plateau du lac Naococane	U05 Plateau de Wilson Lake
C08 Dépression de La Tuque	I02 Dépression du réservoir de Caniapiscau	X01 Estuaire du Saint-Laurent
C09 Massif du lac Jacques-Cartier	I03 Plateau du lac du Sable	X02 Chenal Laurentien central
D01 Graben du Saguenay	I04 Dépression du lac Bienville	X03 Plate-forme de la Côte-Nord
D02 Dépression du lac Manouane	I05 Plateau du lac Sérigny	X04 Île d'Anticosti
D03 Collines du lac Péribonka	I06 Collines du lac D'Iberville	X05 Plate-forme et chenal d'Anticosti
D04 Massif des monts Valin	I07 Plateau du lac Châteauguay	X06 Plate-forme des Îles de la Madeleine
D05 Massif de la Manouanis	J01 Plateau du lac Nedlouc	Y01 Baie d'Ungava*
D06 Plateau de la Manicouagan	J02 Plateau du lac Bacqueville	Y02 Plate-forme de Charles Island*
D07 Cuvette du réservoir Manicouagan	J03 Plateau du lac Faribault	Z01 Baie James*
D08 Plateau de la Sainte-Marguerite	J04 Basses-terres de Puvirnitq	Z02 Plate-forme de Belcher Islands*
E01 Massif du lac Magpie	J05 Plateau du lac Couture	Z03 Banc de Mansel*
E02 Collines du lac Watshishou	J06 Plateau du lac Lesdiguières	
E03 Plateau du Petit Mécatina	J07 Plateau de la Vachon	
E04 Collines de Mécatina	J08 Monts de Puvirnitq	
E05 Collines de la basse Saint-Augustin	J09 Plateau de Salluit	
E07 Plateau de la haute Saint-Augustin		

* Provinces naturelles ou régions naturelles dites « limitrophes » ayant une très petite superficie à l'intérieur des limites du Québec

Le cadre écologique de référence du Québec

Perspectives historiques, concepts et applications



Jean-Pierre Ducruc est aujourd'hui retraité de la fonction publique (fédérale puis provinciale). Durant sa vie professionnelle, il a dirigé de nombreux projets de cartographie écologique en vue d'une planification écologique du territoire, principalement au Québec, mais aussi à l'étranger (Mexique, Burkina Faso, Chili). Seul ou en collaboration, il a publié une centaine de textes et rapports scientifiques. Il a

enseigné à l'Université Laval comme professeur associé durant une dizaine d'années et a codirigé de nombreux étudiants à la maîtrise et au doctorat dans le domaine de l'écologie. Installé dans Lotbinière depuis de nombreuses années, il participe activement à la vie communautaire comme élu municipal (maire suppléant). À ce titre, il représente la municipalité dans plusieurs organismes et comités régionaux (OBV, MRC, tourisme, culture, forêt, etc.).



Titulaire d'une maîtrise en écologie végétale, **Frédéric Poisson** est écologue à la Direction de la connaissance écologique du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques depuis 2001. Les connaissances acquises sur le terrain lui ont permis de concevoir des analyses basées sur le Cadre écologique de référence du Québec. Il est coordonnateur de l'*Atlas de la*

biodiversité du Québec nordique, un outil de connaissance de l'organisation spatiale des grands écosystèmes et de la biodiversité du Québec au nord du 49^e parallèle. Il est aussi responsable des analyses de la représentativité du réseau d'aires protégées du Québec.



Ingénieur forestier de formation, **Vincent Gerardin** est titulaire d'un doctorat (Ph. D.) en écologie végétale. Fonctionnaire du Canada, puis du Québec, de 1967 à 2006, il travaille maintenant comme consultant, de manière étroite, avec trois communautés innues. Membre actif de la société Nature Québec, il a aussi été collègue de la première heure de l'équipe Jurdant puis membre majeur de l'équipe du cadre

écologique de référence, au développement duquel il a largement contribué. Entre 2002 et 2006, il a été responsable de la mise en œuvre de la Stratégie québécoise sur les aires protégées. Il a publié, seul ou en collaboration, de nombreux rapports et documents scientifiques dans le domaine de l'écologie et de la conservation.



Gérald Domon est professeur à l'École d'urbanisme et d'architecture de paysage et directeur scientifique associé de la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal. Spécialiste de l'écologie du paysage appliquée à l'aménagement du territoire, il a dirigé plusieurs recherches sur les méthodes de caractérisation des paysages, sur leur évolution et sur les approches et outils favorisant leur

protection et leur mise en valeur. Publiant régulièrement ses travaux dans des revues internationales, il est aussi l'auteur ou le coauteur de quatorze ouvrages. Parallèlement à ces publications, ses recherches ont été mises à profit dans le cadre des nombreuses collaborations menées avec plusieurs ministères, municipalités et municipalités régionales de comté.



Julie Ruiz est professeure au Département des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Trois-Rivières et codirectrice du Centre de recherche sur les interactions bassins versants – écosystèmes aquatiques (RIVE). Titulaire d'un doctorat (Ph. D.) en aménagement du territoire, elle s'intéresse aux enjeux socioculturels de la réhabilitation des agroécosystèmes, notamment aux difficultés que pose

l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques par les agriculteurs. Cet intérêt l'a amené à développer une expertise relative aux approches collaboratives qui réunissent agriculteurs, professionnels et chercheurs. Elle a notamment cofondé L'AcadieLab, un premier *laboratoire vivant* en réhabilitation des agroécosystèmes au Québec.



Ingénieur forestier et titulaire d'une maîtrise en planification du territoire rural, **Juan Edgardo Medina Mena** travaille au Service des évaluations environnementales du gouvernement du Chili depuis 2010. Chargé de l'évaluation environnementale des projets de développement, il a acquis une grande expertise dans les processus de participation citoyenne, particulièrement avec les populations indigènes. De

2001 à 2008, il était secrétaire exécutif de l'Association des municipalités de la précordillère (AMP) dans la région de l'Araucanie et coordonnateur technique du schéma d'aménagement et de développement de l'AMP, réalisé dans le cadre d'un projet de coopération internationale Canada-Chili.

Le cadre écologique de référence du Québec (CER) est une méthode de cartographie et de classification écologique du territoire. Il vise un aménagement du territoire à la fois respectueux de ses propriétés écosystémiques et de sa capacité à supporter un développement durable. Il est au diapason des méthodes élaborées ailleurs dans le monde depuis le milieu du XIX^e siècle.

Le premier chapitre souligne la convergence conceptuelle du CER avec toutes ces méthodes et leurs applications pratiques aux quatre coins du globe dans des conditions et des milieux très différents. Le chapitre 2 s'attarde sur la rigueur scientifique qui régit les bases de cette cartographie écologique et qui en fait un outil universel. En matière de développement, il propose donc au monde politique des solutions de rechange respectueuses du maintien des équilibres écologiques, comme le montrent les chapitres suivants. Ainsi, le chapitre 3 éclaire le lecteur sur l'importance de l'approche écologique dans la constitution d'un réseau d'aires protégées au Québec. Les auteurs du chapitre 4 soulignent que le CER s'avère un outil privilégié d'analyse, de compréhension et de gestion des paysages ruraux. Le chapitre 5 illustre clairement la manière dont les unités écologiques deviennent les unités spatiales d'application d'un schéma d'aménagement et de développement supramunicipal au Chili. Ce sont deux applications exemplaires que permet la rigueur conceptuelle et scientifique du CER.

Puisse le CER continuer à être mis à contribution pour que l'aménagement du territoire débouche sur une utilisation des ressources respectueuse des propriétés du milieu.