

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CONTRIBUTIONS MÉTHODOLOGIQUES À LA MODÉLISATION INTÉGRÉE
POUR LA PLANIFICATION TERRITORIALE ET ENVIRONNEMENTALE

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
JEAN-FRANÇOIS GUAY

AVRIL 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

Comment citer cet ouvrage :

GUAY, J.F. (2015). *Contributions méthodologiques à la modélisation intégrée pour la planification du territoire et de l'environnement* (Thèse de doctorat, non publiée), Université du Québec à Montréal, Institut des Sciences de l'environnement. UQAM, 319 p.

AVANT-PROPOS

L'auteur de cet ouvrage tient à porter à l'attention du lecteur plusieurs éléments de son cursus professionnel ainsi que du contexte de cette recherche qui permettront de mieux apprécier la justesse et la pertinence du propos qu'il s'apprête à lui exposer.

Dans un premier temps, il doit être signalé au lecteur que l'auteur de cette recherche possède une expérience significative du milieu de la planification territoriale et du développement régional et ce, à titre de praticien dans ce domaine, depuis plus d'une décennie au sein d'un important ministère provincial à vocation territoriale. Aussi, les propos tenus tout au long de ce travail, principalement ceux portant sur la nature du système agricole, la nature et l'identité des parties prenantes impliquées dans la concertation territoriale, les enjeux environnementaux, sociétaux, économiques et politiques du développement régional en zone agricole de même que la nature des interactions entre les parties prenantes, sont des thématiques qui font partie d'une réflexion quotidienne de la part de l'auteur dans le cadre de sa pratique. Pour cette raison notamment, l'auteur agit ici à la fois en tant que créateur original de cette recherche et décideur, dans le cadre de la démarche de planification qui est exposée.

Par ailleurs, l'auteur désire également mentionner que l'étude présentée ici relève d'une situation réelle et réaliste de planification territoriale et environnementale. D'une part, le cas est réel, car il repose sur des données d'enquête provenant d'un important travail de consultation réalisé en 2008 par son ministère

sur l'avenir de l'agriculture au Québec. De fait, l'ensemble des préoccupations et des enjeux, la nature des parties prenantes, le contexte général de sa problématique, les balises prescriptives, les normes et politiques, en résumé, toute la base de connaissances environnementale, sociale, économique et politique en fondements de ce travail, provient d'une synthèse de plusieurs centaines de mémoires et de rapports et qui ont été rédigés par les instances de son ministère dans le cadre de la commission Pronovost en 2008 ainsi que par un usage régulier de nombreux documents ministériels de planification et d'orientation qui forment le cadre légal et règlementaire de la planification territoriale et environnementale de la région d'étude.

De la même manière, le cas d'étude présentée ici est réaliste, dans la mesure où les scénarios de planification territoriale élaborés dans la dernière partie du travail, reposent tous sur une connaissance fine du système d'acteurs, de leurs préférences et de leurs valeurs en matière de développement du territoire, de développement de l'agriculture, d'exploitation et de conservation des ressources naturelles, de croissance économique et de santé générale des communautés. Enfin, l'auteur connaît bien la dynamique et de la nature des conflits qui peuvent émerger à l'occasion entre certains groupes d'acteurs à l'échelle des MRC et des municipalités en vertu de positions polarisées sur les différentes visions du développement du territoire et qui sont exposées ici.

REMERCIEMENTS

Jai toujours été émerveillé par le savoir humain. Encore aujourd'hui et même plus que jamais, ma fascination pour la complexité de notre monde reste inaltérable et absolue. C'est ce qui explique probablement que je me sois souvent dit, intérieurement et peut-être aussi un peu présomptueusement, « *qu'il est noble ce dessein de quête de la connaissance !* », en parlant de mon doctorat. Après tout, il s'agissait pour moi d'atteindre un haut niveau de connaissance scientifique et d'acquérir une expertise entière, remarquable et indiscutable.

Bien sûr, c'était il y a quelques années. Or, les deux dernières années de mon travail ont achevé de faire évoluer mon discours sur la « question », car loin de me douter de l'ampleur de la tâche qui m'attendait, je me suis investi dans mes études doctorales tout en étant pourvu d'attributions importantes comme professionnel. Ce ne fut pas une erreur, bien au contraire, et je ne regrette rien. Comment pourrait-il en être autrement ? Je ne connais rien de plus exaltant que de prendre la mesure de soi-même dans un défi à notre hauteur, quoique j'ai néanmoins pu apprécier le sens de l'expression « mettre les bouchées doubles ».

Sans l'encouragement et le soutien absolument indéfectible de quelques personnes importantes de mon entourage, je ne pense pas qu'il m'eût été possible de compléter ce périple intellectuel avec succès. Aussi, il m'aura fallu compter sur l'empathie et la bienveillance de tous ceux et celles qui n'ont jamais cessé de croire en moi, à commencer par Josée, mon amie de toujours, qui m'a encouragé à ne jamais abandonner ce projet malgré les difficultés, les passages à vide et les manques

d'inspiration. Dans les moments les plus obscurs de mon parcours, ces moments où l'on avance à tâtons, lorsque assailli par le découragement j'ai eu le goût de démissionner de mon projet, ce qui eût été une erreur totalement regrettable, elle a su d'instinct prendre les bons mots afin que je poursuive cette quête, qu'elle savait si importante pour moi. Elle a constamment renouvelé sa confiance en moi, en mes aptitudes et mes compétences, alors que j'étais parfois persuadé du contraire. C'est en grande partie grâce à ses encouragements sincères que j'ai persévéré. Merci Josée pour cette profession de foi à mon égard. Il en fut de même pour ma mère qui m'a toujours exhorté à ne pas laisser inachevé ce travail malgré les nombreux doutes ; « tu seras content de toi ! » me renouvelait-elle constamment. Aussi, je sais qu'aujourd'hui, elle est très fière de pouvoir goûter un peu de l'honneur qui m'échoit. Merci à vous deux. Vous participez à votre façon, à mon succès !

Je dois également souligner la confiance inébranlable que m'a témoignée mon professeur et directeur de recherche, mon mentor, mon ami, Jean-Philippe Waaub. Je connais Jean-Philippe depuis plusieurs années. Étudiant au deuxième cycle, nous avons rapidement « connecté », notamment lorsqu'il m'a donné ma première chance comme auxiliaire d'enseignement. Après un hiatus de quelques années, nous avons renoué pour mon doctorat, avec un plaisir que je crois partagé. À l'instar de Dieu, Jean-Philippe possède un don d'ubiquité extraordinaire : (1) il est universel (2) il est omnipotent (3) il est invisible. C'est le propre des grands esprits, semble-t-il. J'ai toutefois rapidement compris que cette invisibilité fait partie du jeu ; elle exacerbe la débrouillardise et fait mûrir tout autant le sujet traité que le sujet traitant. Sa contribution fut particulièrement importante dans les tout derniers moments de ma rédaction. Ceci fut d'ailleurs pour moi, le moment décisif de mon parcours : si je rédige ce passage aujourd'hui et pour cette raison principalement, il fût lui aussi un

des contributeurs bienveillants de cette thèse. Un merci très sincère Jean-Philippe. Quelle extraordinaire expérience ai-je pu vivre grâce à toi.

Par ailleurs, je désire tout particulièrement offrir cette thèse à mon fils Alexis. Certes, par cet exercice, j'ai voulu faire en sorte qu'il soit fier de son père ; toutefois j'avais à dessein de l'amener à concevoir que la réussite ne se concrétise que dans la persévérance. Or, voici ce que j'aimerais te dire, en guise de dédicace : je veux que tu saches que l'intelligence, si ardente soit-elle, n'est rien si tu ne peux, par un travail opiniâtre et méthodique, en canaliser toute l'énergie créatrice. Mon fils, je te souhaite de nobles aspirations qui te porteront aussi loin que tu voudras aller, à la condition d'y mettre le temps, le travail et la rigueur. En outre, je veux que tu sois toujours fier du nom que tu portes. Et comme le contexte m'apparaît s'y prêter, je reproduis ici pour toi et pour ta descendance (j'ose croire en effet que mon œuvre se retrouvera dans ta bibliothèque personnelle un jour...), quelques bribes de l'histoire de notre illustre famille, des morceaux rigoureusement authentiques et issus de l'étude généalogique de la famille Guay commandée en 1947 par l'abbé Antonio Guay, à l'ancien Institut Généalogique Drouin de Québec :

Vous êtes descendant de Guillaume Couillard par son fils Charles-Thomas dont le nom se voit deux fois sur votre arbre généalogique : d'abord branche paternelle, c'est-à-dire du côté gauche, à la septième génération, famille no.16, puis branche maternelle, c'est-à-dire du côté droit, à la huitième génération, famille no 48.

Les lettres de noblesse, accordées par le grand Louis XIV lui-même au pinacle de son règne, à la famille Couillard étaient POUR LA POSTÉRITÉ ET LIGNÉE, TANT MASLE QUE FEMELLES NEZ ET À NAISTRE EN LOYAL MARIAGE. Comme vous êtes descendant direct de cette famille, vous avez droit de vous réclamer de tous ses titres et privilèges.

Bien sûr, ces « titres et privilèges » ne veulent guère dire autant aujourd'hui qu'à cette époque. Néanmoins, soit fier de cet honneur immémorial et n'oublies jamais la devise officieuse de notre famille : *Tout bien ou rien*. Elle est de moi comme tu le sais et je la préfère à la devise authentique *Dieu aide au premier colon*, qui fait un peu trop vieillot et moins à propos !

Maintenant, il m'importe de mentionner que j'éprouve certaines déceptions à l'égard de mon cheminement dans ce projet. J'aurais aimé franchir toutes les étapes du doctorat haut la main, sans rencontrer d'obstacle. Est-ce réaliste ? Je ne crois pas. Sauf peut-être pour quelques-uns des plus brillants de mes confrères, les études doctorales sont une épreuve longue et ardue. En ce qui me concerne, tout ce projet fait état d'une somme de connaissances acquises et aussi, souvent, complètement nouvelles. De ne pas avoir été plongé à temps plein dans ce bassin de culture qu'est l'Université, a constitué sans doute le principal obstacle à une maturation plus rapide des idées. Note à moi-même : ne jamais sous-estimer l'effet d'émulation que génère la cohabitation avec de brillants collègues.

Néanmoins, il m'est agréable de croire, non sans une certaine et légitime fierté et que je peux enfin m'approprier, que cette contribution – cette modeste contribution devrait-je spécifier – s'ajoute aux milliers d'autres de par le monde qui concourent à faire reculer les frontières du Savoir humain. Participer à cette quête me connecte encore plus fortement à l'extraordinaire aventure de la vie, tout en me gratifiant d'une profonde leçon d'humilité : je comprends désormais en effet, tout comme Socrate, Galilée et nombre d'autres grands esprits l'ont déjà réalisés très longtemps avant moi, que plus j'apprends, plus je mesure l'insondable profondeur de mon ignorance. C'est tout à fait exaltant, mais plutôt ennuyeux.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES ACRONYMES	XIV
RÉSUMÉ	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE I	
CADRE CONCEPTUEL	
CHAPITRE I	
PROBLÈME ET OBJECTIFS	6
1.1 Principaux objets du problème	6
1.2 Objectif principal	10
1.3 Objectifs spécifiques.....	11
1.3.1 Revue de littérature sur les outils	11
1.3.2 Analyse conceptuelle du socioécosystème.....	12
1.3.3 Modélisation SIG et analyse multicritère.....	13
CHAPITRE II	
CADRE THÉORIQUE	15
2.1 Système, intégration, modélisation.....	15
2.1.1 L'approche systémique : aperçu des méthodes d'analyse.....	19
2.1.2 Systèmes souples vs systèmes « rigides ».....	21
2.1.3 Isomorphismes systémiques : le territoire et l'environnement	23
2.1.4 La systémique et le social?.....	27
2.2 De la prospective	28

2.3	Gestion et planification territoriale et environnementale	33
2.3.1	La planification rationnelle	35
2.3.2	La planification stratégique.....	36
2.3.3	La planification interactive ou participative (<i>connective planning</i>).....	38
2.3.4	La planification par petits pas	39
2.3.5	La planification environnementale.....	40
2.3.6	Choix conceptuel.....	41
2.4	Planification, système et décisions	44
2.4.1	Aspects théoriques de la décision.....	45
2.4.2	L'aide à la décision	48
2.4.3	L'aide multicritère à la décision ou AMCD.....	52
2.4.4	Méthodes d'analyse multicritère.	63
CHAPITRE III		
MÉTHODOLOGIE.....		74
3.1	Protocole de recherche.....	74
3.1.1	Énoncé de la problématique	74
3.1.2	Examen critique de la littérature	79
3.1.3	Cadre conceptuel	81
3.1.4	Question de recherche	83
3.2	Présentation générale du territoire d'étude	84
3.2.1	Caractérisation physique	84
3.2.2	Caractérisation socioéconomique.....	88
3.2.3	Contexte de planification	91
3.3	Outils d'investigation.....	95
3.3.1	Analyse systémique.....	95
3.3.2	Modélisation spatiale.....	97
3.3.3	Aide multicritère à la décision	101
3.3.4	Intégration systémique/SIG/AMCD et planification territoriale.....	102

PARTIE II	
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	
CHAPITRE IV	
REVUE CRITIQUE DE TROIS OUTILS DE MODÉLISATION DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT POUR LA PLANIFICATION EN AMÉRIQUE DU NORD	109
4.1 Introduction.....	110
4.2 L'espace naturel : la modélisation cartographique	112
4.3 L'espace visible : la modélisation visuelle	116
4.4 L'espace dynamique : la modélisation spatiale	122
4.5 Discussion.....	127
4.6 Conclusion	131
CHAPITRE V	
APPLICATION OF A TERRITORIAL SOFT SYSTEM APPROACH FOR CONCEPTUAL MODELING OF AN AGROECOSYSTEM.....	133
5.1 La méthodologie des systèmes souples	133
CHAPITRE VI	
CONTRIBUTIONS DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE ET DES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE POUR L'AIDE À LA DÉCISION EN PLANIFICATION TERRITORIALE ET ENVIRONNEMENTALE	154
6.1 Introduction.....	156
6.2 Territoire d'étude	158
6.3 Méthodologie.....	159
6.3.1 Système d'acteurs et enjeux	159
6.3.2 Élaboration des scénarios et simulation spatiale	161
6.3.3 Analyse multicritère	190
6.4 Résultats.....	193
6.5 Discussion.....	197
6.6 Conclusion	221
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	224

BIBLIOGRAPHIE	234
APPENDICE A	
DOSSIER CARTOGRAPHIQUE ET MODÉLISATION SPATIALE	262
APPENDICE B	
COMMISSION SUR L'AVENIR DE L'AGRICULTURE ET DE L'AGROALIMENTAIRE AU QUÉBEC (CRAAAQ)	272
APPENDICE C	
ANALYSE MULTICRITÈRE.....	274
APPENDICE D	
ARTICLE PUBLIÉ.....	280

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 4.1 Caractéristiques des agents	129
Tableau 6.1 Critères et indicateurs de mesure	184
Tableau 6.2 Évaluation des scénarios. Analyse spatiale	190
Tableau 6.3 Paramètres du modèle décisionnel pour le groupe des propriétaires	192
Tableau A.1 Règles de décision et contraintes de simulation.....	271

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 2.1 Types de critères généralisés.....	73
Figure 3.1 MRC de Bellechasse, localisation régionale.	85
Figure 3.2 Coupe stratigraphique des provinces naturelles du Québec.....	86
Figure 6.1 MRC de Bellechasse : situation générale et municipalité à l'étude.	160
Figure 6.2 Modèle conceptuel du système socioécologique et système d'acteurs.	164
Figure 6.3 Préoccupations des acteurs, identifiées lors des audiences de la CAAAQ 165	165
Figure 6.4 Modèle du territoire et variables d'état (Voir annexe A).....	183
Figure 6.5 Variables-clés du macro-environnement de planification	185
Figure 6.6 Représentation spatiale des scénarios de planification	186
Figure 6.7 Performances individuelles des scénarios de planification par groupe d'acteurs selon PROMETHEE II : rangement complet.....	199
Figure 6.8 Performances individuelles des scénarios de planification par groupe d'acteurs selon PROMETHEE I : analyse des incomparabilités (Voir annexe D) 202	202
Figure 6.9 Plan GAIA/critères par groupe d'acteurs.....	203
Figure 6.10 Performances globales des scénarios de planification pour tous les acteurs selon PROMETHEE II : rangement complet	208
Figure 6.11 Plan GAIA/acteurs	209
Figure 6.12 Profil des forces et des faiblesses des scénarios 2 (Croissance) et 3 (Écotopia) pour les acteurs forestiers.....	210

Figure 6.13	Profils des forces et des faiblesses des scénarios 2 (Croissance) et 1 (Statu Quo) pour les acteurs agriculteurs.....	213
Figure 6.14	Analyse de sensibilité globale, impact du poids des agriculteurs sur le rangement complet des options.....	220
Figure A.1	Zones concentriques du centroïde urbain : Incrément 100 mètres.....	263
Figure A.2	Dynamisme agricole – Densité des unités d'évaluation	264
Figure A.3	Ilôts d'urbanisation diffuse	265
Figure A.4	Modèle du territoire et variables d'états.....	266
Figure A.5	Scénario de base (Statu quo)	267
Figure A.6	Scénario économique (Croissance).....	268
Figure A.7	Scénario environnemental (Écotopia)	269
Figure A.8	Scénario d'exurbanisation (Rééquilibrage).....	270
Figure C.1	: Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : AGRICULTEURS	275
Figure C.2	: Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : ENVIRONNEMENTALISTES	276
Figure C.3	: Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : FORESTIERS	277
Figure C.4	: Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : NÉORURAUX.....	278
Figure C.5	: Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : PROPRIÉTAIRES	279

LISTE DES ACRONYMES

AHP	<i>Analytic hierachical process</i>
ANP	<i>Analytic network process</i>
BDI	<i>Belief/Desire/Intention</i>
CAAAQ	Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Québec
CATWOE	<i>Customer/Actor/Transformation/World/Owner/Environment</i>
CPTAQ	Commission de la protection du territoire agricole du Québec
LIDAR	<i>Light detection and ranging</i>
MRC	Municipalité régionale de comté
MSS	Méthodologie des systèmes souples
SIG	Système d'information géographique
SSE	Système socioécologique
TSG	Théorie du système général

RÉSUMÉ

Nos sociétés et leurs environnements constituent les composantes d'un système ouvert et complexe. Dans un effort d'abstraction visant à rationaliser la complexité inhérente de ces systèmes, l'usage d'outils de formalisation et de modélisation est nécessaire. Ces outils prennent en considération quatre éléments contextuels d'ordre général : (1) les multiples niveaux d'organisation structurels et fonctionnels du territoire et de l'environnement ; (2) les interactions entre les composantes naturelles, anthropiques, réelles et perçues de ces espaces ; (3) les rétroactions entre ces composantes ; et enfin (4) le caractère subjectif des règles qui contribuent à définir la dynamique spatio-temporelle de ces systèmes.

Dans ce contexte à fort ancrage territorial, l'objectif général de notre thèse est d'élaborer une plate-forme conceptuelle et méthodologique d'aide à la décision en planification du territoire et de l'environnement, en intégrant des outils de modélisation de l'espace avec ceux de la modélisation du processus décisionnel et en respectant ces quatre aspects fondamentaux de la formalisation et de modélisation de tous les systèmes socioécologiques.

Le premier sous-objectif est consacré à l'analyse critique de trois outils de modélisation utilisés en planification territoriale et environnementale au cours de ces 25 dernières années en Amérique du Nord : (1) la modélisation cartographique, d'inspiration naturaliste et axée sur l'objectivation du milieu physique ; (2) la modélisation visuelle ou géovisualisation, plutôt dirigée vers le paysage ; et (3) la modélisation spatiale proprement dite qui regroupe les automates cellulaires et les approches multiagents, destinés à la modélisation des interactions fines entre les individus, et entre les individus et leur territoire. Cette revue nous permet d'identifier les limites méthodologiques et opérationnelles actuelles de ces outils de modélisation ainsi que leurs contributions possibles pour l'aide à la décision.

Le deuxième sous-objectif est consacré à une application de la méthodologie des systèmes souples (MSS) pour la formalisation des structures et des processus géographiques du système socioécologique (SSE) du territoire de la municipalité de Sainte-Claire, située dans la MRC de Bellechasse dans la région de la Chaudière-Appalaches au Québec méridional. La méthodologie des systèmes souples est une des premières approches de modélisation systémique destinée à l'aide à la décision. Elle fut développée au cours des années soixante pour l'analyse heuristique de situations

complexes, floues ou mal définies en raison de la multiplicité des acteurs et de la pluralité des structures et des processus qui définissent une situation et un contexte donnés. Cette démarche analytique a été abondamment appliquée à la formalisation des structures et processus organisationnels, mais a été très peu utilisée en science géographique. Nous détaillons les principales étapes de la MSS, c'est-à-dire la reconnaissance de la situation, la caractérisation riche du contexte entourant cette situation, la définition de l'énoncé synthèse du système d'activité anthropique, la modélisation conceptuelle du SSE, et la validation du modèle. Ce modèle est utilisé par la suite au cours de la dernière portion du projet.

À ce titre, le dernier sous-objectif vise à simuler une démarche de planification territoriale et environnementale intégrant la modélisation spatiale avancée et l'aide multicritère à la décision. À partir de l'extrait obtenu à l'étape précédente du projet, nous formalisons le problème du choix d'alternatives en planification territoriale et environnementale pour la municipalité de Sainte-Claire dans la MRC de Bellechasse. Cette simulation nécessite notamment l'élaboration de quatre scénarios d'utilisation du sol et la détermination de douze critères de planification, qui prennent appui sur l'analyse de contenu de l'audit environnemental stratégique régional selon la méthodologie des systèmes souples. Quatre scénarios de planification territoriale et environnementale sont donc élaborés sur la base des objectifs régionaux et sont évalués sur la base des enjeux soulevés lors de cet audit et traduits en critères d'analyse et en indicateurs de mesure. Ces scénarios, à forte référence territoriale, sont modélisés dans le système d'information géographique ArcGIS. En plus de bénéficier d'une représentation cartographique des scénarios, cela nous permet aussi d'effectuer des analyses spatiales pour mesurer les critères correspondant par exemple à des impacts en matière de pertes ou de gains de superficies reliées à des usages du territoire valorisés de manière différente selon les acteurs. Chacun des scénarios est évalué selon une procédure d'aide multicritère à la décision basée sur les méthodes d'analyse PROMETHEE et GAIA, mise en œuvre dans le progiciel *DSight*. Cette procédure d'aide multicritère à la décision nous permet de formaliser le processus décisionnel dans un contexte multipréférences & multiacteurs, notamment par l'agrégation des préférences des acteurs, par le rangement des scénarios, et par l'identification des opportunités de négociations possibles.

L'ensemble de cette thèse, sous forme d'articles, fait l'objet d'une synthèse finale en conclusion qui permet de formuler des recommandations de nature générale, plus conceptuelles, et d'autres portants sur les aspects méthodologiques de la contribution. Par ailleurs, nous identifions les tout premiers fondements de ce que nous pourrions convenir d'appeler l'analytique territoriale qui constitue un nouveau champ de recherche précisément appliquée à la génération de connaissances évolutives en

contexte géographique et qui intègre des éléments conceptuels et méthodologiques en sciences des systèmes, en sciences du territoire, en sciences de l'information et en modélisation décisionnelle.

MOTS-CLÉS : scénario, acteurs, critères, planification, décision, système, territoire.

ABSTRACT

Human societies as well as the artefacts which rise from its interactions in a given environment are the components of a complex open system whose conceptual and operational range introduces an inescapable interdisciplinary question into the discourse of geographical sciences. The intrinsic nature rising from this systemic quality of geographical space imposes, in an effort of rational abstraction, the use of formalization and modeling tools which must allow taking into account four basic elements: (1) the interactions between natural and man-made components of regional space ; (2) the feedbacks between these components; (3) the multiple organization levels of the territory and the environment; (4) the subjective characteristic of the decisional rules which contributes to set the dynamics of the socio-ecological systems. In this geographical context, the general objective of our thesis is to work out a conceptual and methodological platform of decision aid in territorial and environmental planning, by integrating numerical spatial models with those used for the decision aid process and by respecting these four fundamental aspects of socioecologic system modeling.

On the first part of our work, we explore the use of spatial modeling approaches for regional planning situation. We evaluate the respective contributions of three tools, certain of which have been utilized for the purpose of this thesis namely GIS, but not limited to it : cartographic modeling, which put emphasis on biophysical environments; visual modeling or geovisualization as intended for landscape modeling and cellular automaton/agent-based models intended for the modeling of the fine interactions among individuals and the individuals and their environment. By doing so, we intend to examine the present methodological and operational limits of the existing modeling tools and foresee contributions of these three approaches for the future of decision sciences.

In the second part of the thesis, we present an application of the soft system methodology for the conceptual modeling of geographical processes of an agricultural socioecosystem of the city of Sainte-Claire in the MRC de Bellechasse situated in the Chaudière-Appalaches in southern Québec. The soft system methodology is an approach used for the heuristic analysis of complex, fuzzy or ill-defined situations involving individuals or groups. This tool was abundantly used for organisational purposes in a decision aid context but very few application are documented in the field of geographical sciences and regional planning. We will

expose the main stages of the approach, described as follow: addressing the situation; expressing the problem; formulating the root definition of the relevant social activity systems; building of the conceptual model of the socioecological system and validating the model. This model is used to fulfill the third objective of the thesis.

The last part of our work aims at simulating a territorial and environmental planning process in combinaison with advanced spatial modeling and multicriteria decision aid (MCDA). From outputs obtained at the previous stage of the project, we formalize a problem of scenario selection in the territorial and environmental planning process of Sainte-Claire municipality, in the MRC of Bellechasse, in the Chaudière-Appalaches region, southern Quebec. This simulation requires the development of four land use scenarios in accordance to the soft system methodology and the determination of twelve planning criteria and measurement indicators which are derived from content analysis of the regional strategic environmental audit. These scenarios, with strong territorial reference, are modelled in the ArcGIS geographical information system. Besides profiting from a cartographic representation of the scenarios, that also enables us to carry out spatial analyses to measure the criteria that correspond, for example, to impacts in terms of losses or gains of territorial areas linked to differential affectations valued by the stakeholders. Each scenario is evaluated according a multicriteria decision aid process based on the PROMETHEE and GAIA methods which are embedded in the DSight software package. This approach enables us to formalize the decision aid process corresponding to the multipreferences and multistakeholders context mainly by the aggregation of the stakeholder preferences, scenario rankings according stakeholders, and the identification of the opportunities for negotiations.

In the final phase of this contribution we will proceed to the global ranking of the four planning scenarios as constrained by a fictional but realistic multistakeholder context and similar to that typically encountered in real-life situations. This contribution will allow us to lay the very first foundations of what we could agree to call territorial analytic as a new field of research specifically applied to the generation of dynamic geographic knowledge in conjunction with some conceptual and methodological aspects of territorial sciences, information sciences and decision modeling.

KEYWORDS : MOTS-CLÉS : scenario, actors, criteria, planning, decision, system, territory.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« There is a pleasure in the pathless woods,
There is rapture on the lonely shore,
There is society, where none intrudes,
By the deep sea, and music in its roar,
I love not man the less, but Nature more »

Lord Georges Gordon Byron
Childe Harold

À l'heure où l'ensemble de la communauté scientifique et politique s'accorde sur la nécessité d'une gestion plus rationnelle des ressources territoriales, l'appréciation de la dynamique des systèmes socioécologiques passe inévitablement par une démarche d'intégration des connaissances et partant, par la modélisation du territoire et de l'environnement. Or, l'intégration du discours relié à la théorie des systèmes dans les disciplines ayant comme référentiel l'espace géographique a induit des mutations importantes sur le plan opérationnel, principalement dans le domaine de la gestion du territoire et de l'environnement. Processus d'organisation de la réflexion et de l'action, la gestion [de l'environnement] est, selon Lang et Armour (1980), un processus analytique qui réfère à l'ensemble des tâches de planification, d'organisation, de décision, de mise en œuvre (qui inclut des tâches de gestion des opérations) et de suivi. Par extension, cette définition peut, selon nous, s'appliquer à la gestion du territoire et aux tâches qui entourent un projet de mise en valeur collective de l'espace géographique. Une discussion approfondie sera tenue plus loin au cours de l'ouvrage sur la notion de planification territoriale, à la section 2.3 ; quant à eux, les concepts territoire et environnement seront analysés plus en détail à la section 2.1.3.

Ces trois notions — planification, territoire, environnement — constituent en grande partie l'assise sur laquelle notre ouvrage est construit. Ainsi, cette thèse vise principalement à élaborer une plate-forme conceptuelle et méthodologique d'aide à la décision en planification du territoire et de l'environnement, en intégrant des outils de modélisation de l'espace avec ceux de la modélisation du processus décisionnel. Une telle plate-forme serait ainsi utile à la gestion durable du territoire. Un ensemble de raisons économiques, sociales et accessoirement, politiques convergent en effet, *a priori*, pour donner progressivement aux territoires une place privilégiée dans les stratégies de développement durable (Theys, 2002), et, *a fortiori*, le territoire agricole, espace stratégique et intégré d'interactions et de production de biens s'il en est un, et ce à tous les égards : environnemental, social, culturel, économique, politique. Aujourd'hui, c'est essentiellement à l'échelle des territoires que les problèmes de développement durable sont perçus et c'est probablement également là qu'ils peuvent trouver des solutions à la fois équitables et démocratiques. De fait, plus on dispose d'information et plus on perçoit à quel point la dimension géographique et territoriale est centrale dans la caractérisation des problèmes en jeu.

S'agit-il comme Theys (2002) le soutient de contribuer à la solution des grands problèmes planétaires ou plutôt de garantir la viabilité et la sécurité à long terme des espaces régionaux ? Faut-il plutôt adapter les institutions existantes ou encore en créer d'autres, à partir de nouvelles solidarités écologiques ou communautaires (bassins hydrographiques, pays, communautés de quartier...) ? Faut-il donner la priorité à l'autonomie, à l'unicité, au développement endogène, à l'identité ou au contraire à l'équité, à la réduction des externalités négatives et au partage des risques entre collectivités souvent inégales ? La réponse n'est pas évidente qu'il puisse y paraître. En effet, comment dès lors articuler une démarche rationnelle et cohérente d'acquisition et d'abstraction de la connaissance sur ces

problèmes et les enjeux qui les caractérisent, considérant la singulière complexité de ces systèmes ?

Cet ensemble de questions se posera en filigrane de toute cette thèse. Ainsi, nous proposons trois objectifs spécifiques (voir section 1.3) contribuant à l'atteinte de notre objectif général. Ces trois objectifs ont été traités et tirés à part pour publication sous forme d'articles. Le premier sous-objectif sera consacré à l'exploration de trois outils de modélisation dans le contexte plus précis de la planification territoriale et environnementale. Pour ce faire, nous avons identifié, à partir d'une analyse critique commentée, trois outils de modélisation et de synthèse de l'information géographique qui sont souvent utilisés en planification territoriale et environnementale, sans réelles tentatives d'intégration multidisciplinaire toutefois.

Le deuxième objectif vise à élaborer, à partir de l'audit stratégique sur l'avenir de l'Agriculture mené par le gouvernement du Québec en 2008, un modèle conceptuel de l'espace géographique en zone agricole et qui soit, de plus, contraint par des exigences sociales envers la soutenabilité du développement. Nous avons tenté de positionner le développement du modèle dans un cadre d'analyse de type socioconstructiviste, qui met l'accent sur la participation sociale dans l'acquisition, le transfert, la formalisation et la synthèse de connaissances sur le système à l'étude. C'est dans cette optique que nous avons utilisé la méthodologie des systèmes souples (Checkland, 1981).

Le troisième objectif porte sur l'intégration du modèle dans une démarche cohérente et intégrée d'analyse spatiale et d'analyse multicritère en contexte multiacteurs d'aide à la décision. Pour ce faire, nous avons tenté de reproduire une analyse prospective d'un processus de planification territoriale et environnementale à l'aide de scénarios d'affectation de l'espace géographique, et ce, en vertu de critères

et d'indicateurs de mesure représentatifs. Il s'agira donc d'une démarche fictive, mais réaliste effectuée sur la base de critères et d'indicateurs de mesures représentatifs.

En guise de conclusion, le retour synthétique sur l'ensemble de notre démarche nous permettra de conclure sur trois plans : conceptuel, méthodologique et opérationnel. Cette première synthèse partielle par laquelle nous pourrions identifier puis évaluer les enseignements de la démarche, nous permettra d'établir d'une part, le potentiel de l'approche que nous proposons et d'autre part ses limites. Nous ouvrirons enfin sur des perspectives d'utilisation futures de cette approche intégrée de modélisation et sur sa place dans l'analytique territoriale c'est-à-dire l'usage d'outils d'analyse de modélisation et décision à des fins de résolutions de problèmes dans des systèmes à forts référents sociaux et environnementaux. C'est là, nous l'espérons, que nous pourrions promouvoir cette idée de la l'analytique territoriale au profit d'autres contributions qui, nous l'espérons, seront nombreuses.

PARTIE I

CADRE CONCEPTUEL

CHAPITRE I

PROBLÈME ET OBJECTIFS

1.1 Principaux objets du problème

La gestion territoriale, à l'instar de la gestion environnementale, englobe quatre fonctions connexes qui impliquent, à divers degrés, l'acquisition d'informations géographiques : (1) la planification soit la formulation d'objectifs en vue d'atteindre des buts, l'élaboration et la sélection de plans d'action possibles pour y parvenir ; (2) l'organisation des activités, des relations, des opérations ; (3) la direction permettant de mobiliser, d'informer ; et (4) le contrôle servant à l'évaluation et au suivi des projets, la rétroaction (Lang et Armour, 1980).

Comme fonction de base de la gestion, la planification revêt une importance fondamentale en aménagement du territoire. Aujourd'hui (voir section 2.2), elle ne saurait être envisagée sans impliquer les forces vives et les parties prenantes de la communauté.¹ Elle permet d'élaborer un cadre d'intervention cohérent pour la mise en œuvre d'une ambition commune, la *vision stratégique* que Caron et Martel (2005)

¹ Dans son ouvrage de 1984 (réédité en 2010) « *Strategic management : a stakeholder approach* », R. J. Freeman définit une partie prenante comme tout individu ou groupe qui peut affecter ou être affecté par la réalisation des objectifs d'une organisation. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes inspirés de cet ouvrage pour proposer une typologie de quatre parties prenantes : (1) les *propriétaires* du système : organisations gouvernementales, ministères appartenant aux pouvoirs publics et qui possèdent un pouvoir d'arrêt ou de maintien de l'agrosystème. Ce sont les *décideurs* ; (2) les *intervenants*, soit les *bénéficiaires directs* du système : agriculteurs, forestiers ; (3) les acteurs indirects ou les *consommateurs* des externalités du système : villégiateurs, néoruraux, urbains ; (4) les *acteurs d'influence* ou *latents* appartenant à la société civile : syndicats, groupes environnementaux, groupes d'intérêt et de pression.

définissent comme étant « une représentation du futur souhaité, à la fois rationnel et intuitif, englobante et prospective ».

L'intégration des connaissances et des représentations territoriales par les acteurs du milieu devient dès lors, dans ce contexte, un élément capital (Petak, 1980). En effet, afin d'être cohérente avec les principes mêmes du développement durable, une vision stratégique se fait de façon participative au sein d'une communauté. La participation du plus grand nombre de citoyens et de citoyennes permet la construction d'une vision stratégique riche et bien ancrée dans la réalité locale. Cette façon de fonctionner permet également que les citoyens et les citoyennes se sentent parties prenantes de la vision commune. Ils contribuent plus activement à la réalisation des actions qui en découleront. Ils sont partie intégrante de la solution (Simard et Gagnon, 2007).

Nous devons toutefois établir dès le départ que ces différents « compartiments » de la gestion du territoire et de l'environnement ne s'accommodent guère de l'empirisme (Coquillard et Hill, 1991). En effet, au moment où l'ensemble de la communauté scientifique et politique s'accorde sur la nécessité d'une gestion plus adéquate de nos ressources du territoire, il devient nécessaire de faire appel à une approche organique d'acquisition de la connaissance sur l'objet d'étude — la planification du territoire et de l'environnement —, et ce, en vertu de ce que Mermet (2005) appelle la « prospective ». (Voir section 2.1.1 sur ces sujets).

Par ailleurs, le territoire et l'environnement sont en effet des systèmes complexes. Or, la prolifération d'approches systémiques dans de très nombreux champs disciplinaires a été associée avec cette notion du « système général » de L.W. Bertalanffy, et ce, dès le milieu des années cinquante dans le domaine de la planification. (McLoughlin, 1985). Toutefois, comme nous verrons plus loin dans

l'ouvrage, la théorie du système général, très séduisante en raison des isomorphismes qu'elle permet introduire même dans les disciplines des sciences sociales, demeure inadaptée aux systèmes socioécologiques, du moins dans sa forme fondamentale.

Aussi, la gestion rationnelle — et nous entendons par là une gestion basée sur la génération puis l'intégration des connaissances (Waaub, 2015, comm.perso.) — de ces systèmes implique dès lors l'articulation d'outils et de méthodes — qu'elles soient nouvelles ou existantes — qui permettent de les traiter non pas comme un assemblage de composantes et de processus individuels, mais plutôt comme des entités autonomes intégrées avec cependant l'introduction d'un degré supplémentaire de complexité en raison du fort ancrage social de ces systèmes.

Mais cette prise en compte de la complexité accroît également le degré de complexité de la démarche que nous proposons. Cependant, aussi ardue que soit la tâche du spécialiste à cet égard, il s'agit néanmoins d'un élément absolument fondamental dans l'atteinte de la soutenabilité du développement de nos sociétés (Parrott et Meyer, 2012). Cependant, aucun acteur ne peut prétendre avoir une vision de l'ensemble des aspects constituant éventuellement le problème. Cela est encore plus vrai, comme le précise Parrott (2011) pour le spécialiste en systèmes socioécologiques qui doit être à la fois, géographe, écologiste, sociologue, programmeur informatique entre autres, tout en offrant notamment une expertise en géomatique, en cartographie, en théorie systémique.

La multidisciplinarité devient fondamentale dans ce genre d'exercice. Toutefois, comme le souligne Morin (1994, p.5) « bien qu'englobée dans un ensemble scientifique plus vaste, une discipline tend naturellement à l'autonomie, par la délimitation de ses frontières, le langage qu'elle se constitue, les techniques qu'elle est amenée à élaborer ou à utiliser, et éventuellement par les théories qui lui sont

propres ». Cette définition implique dès lors un cloisonnement disciplinaire duquel il faut s'affranchir considérant la complexité de notre objet d'étude. Cette démarche relève soit de la *multidisciplinarité*, de l'*interdisciplinarité*, voire à un niveau supérieur d'intégration et de synthèse, de la *transdisciplinarité*. Toujours selon Morin (*op.cit.* p. 10), la multidisciplinarité « constitue une association de disciplines en vertu d'un projet ou d'un objet qui leur est commun. Tantôt les disciplines y sont appelées comme techniciennes spécialistes pour résoudre tel ou tel problème, tantôt elles sont en profonde interaction pour essayer de concevoir cet objet ou ce projet ».

Plus que la multidisciplinarité, « l'interdisciplinarité implique plutôt l'idée d'un dialogue conceptuel quasi *organique* entre disciplines distinctes, chacune permettant une lecture différente sur un problème, un processus qui permet, dans une entreprise de synthèse, la création d'un corpus qui remplace l'empirisme et confère la qualité de « science » à une discipline qui en tire profit » (Morin, *op.cit.*) La géographie, l'écologie, parmi d'autres disciplines, constituent probablement les meilleurs exemples d'interdisciplinarité.

Finalement, la transdisciplinarité est beaucoup plus ambitieuse dans son dessein. Elle sous-entend une totale perméabilité des frontières disciplinaires aux idées, aux concepts ambiants (Morin, *op.cit.*). Par exemple, « la notion d'information, issue de la pratique sociale, a pris un sens scientifique précis, nouveau, dans la théorie de Shannon, puis elle a migré dans la biologie pour s'inscrire dans le gène ; là elle s'est associée à la notion de code, issue du langage juridique, qui s'est *biologisée* dans la notion de code génétique. La biologie moléculaire oublie souvent que sans ces notions de patrimoine, code, information, message, d'origine anthroposociomorphe, l'organisation vivante serait inintelligible ».

1.2 Objectif principal

Considérant le contexte défini par éléments précédents, l'objectif principal de notre thèse est d'identifier et de mettre en relation des outils efficaces et complémentaires d'analyse systémique du territoire et de l'environnement, et à intégrer leurs apports conceptuels et méthodologiques respectifs dans une démarche opérationnelle et multidisciplinaire de planification territoriale et environnementale transposable à plusieurs échelles. Cette démarche complétée pourra servir de plateforme préformatée pour la gestion adaptative du territoire et de l'environnement.²

Le travail proposé est tout à fait original ; le lecteur pourra y voir un intéressant rapprochement de modèles conceptuels et d'approches de planification issus de pratiques distinctes notamment de l'urbanisme, de la foresterie, de la géographie et des sciences de l'environnement. Par ailleurs, l'application de la méthodologie des systèmes souples et de son intégration avec deux méthodes en plein développement dans les sciences appliquées et les sciences sociales que sont les SIG et l'aide multicritère à la décision constitue un précédent qui ouvre une voie plus large sur la complexité de la planification territoriale.

² La gestion adaptative (Holling, 1978 ; Walter et Holling 1990 *in* Schreiber et coll. 2004) est une approche de gestion des ressources qui, à l'origine, insiste sur l'identification puis la réduction des incertitudes écologiques. Elle est basée sur un processus continu d'apprentissage par expérience. La GA appelle notamment à un processus d'acquisition itératif et non linéaire de connaissance et appuie ses fondements sur le caractère organique et complexe des systèmes dont la dynamique évolutive oblige à recentrer les objectifs des processus de la gestion — planification, organisation, direction et contrôle — autour des changements de conditions et des imprévus pouvant émerger. Aujourd'hui, la gestion adaptative s'ouvre sur des des objectifs et processus plus larges, dont notamment celui de la participation citoyenne (Rist et coll. 2013).

1.3 Objectifs spécifiques

1.3.1 Revue de littérature sur les outils

Le premier sous-objectif est consacré à la recension des écrits relatifs aux outils de modélisation qui présentent un bon potentiel d'intégration à une démarche appliquée de planification territoriale et environnementale. Cette partie de la thèse a pris la forme d'une synthèse classique de la documentation faite à partir du recensement des écrits nord-américains des trois dernières décennies sur ces aspects. La grille d'analyse utilisée pour cette contribution a été élaborée en trois temps. D'abord, nous avons procédé à l'identification de trois catégories d'outils, établies en vertu de leur potentiel et de leur usage confirmé pour la modélisation conceptuelle d'un des aspects de l'espace géographique : l'environnement physique, le paysage et le territoire en tant qu'espace d'interactions socioenvironnementales.

Ce choix a été raffiné en fonction de deux grands paramètres. Ainsi, pour chacune des approches de modélisation, le potentiel de caractérisation du système socioécologique en matière de structures et de fonctionnement, et l'utilité réelle de chaque outil dans un contexte de planification territoriale et environnementale ont été évalués. Cette grille d'analyse nous a permis d'identifier trois grandes approches : la cartographie écologique (Jurdant et coll. 1977) d'inspiration naturaliste et apparentée aux méthodes d'analyse paysagère russe et anglo-saxonne ; la géovisualisation (Batty et coll. 2000) qui repose sur l'analyse perceptuelle du paysage à des fins opérationnelles (Daniels, 2001), et les systèmes d'information géographique ; enfin, les modèles à référence spatiale parmi lesquels nous identifions les automates cellulaires (Von Neumann, 1965 ; Wolfram, 1982) et les modèles multiagents (Ferber, 1995 ; Wooldridge, 2002). Nous allons analyser les limites méthodologiques et opérationnelles actuelles de ces approches ainsi que leurs contributions actuelles et

futures aux domaines de la planification territoriale et environnementale, et de l'aide à la décision.

1.3.2 Analyse conceptuelle du socioécosystème

Le deuxième objectif vise à élaborer un modèle conceptuel du territoire et de l'environnement en zone agricole et qui soit, de plus, contraint par les exigences sociales en matière de soutenabilité du développement. Le cadre d'analyse utilisé est l'approche systémique combinée à une approche participative socioconstructiviste fictive, mais réaliste. La première approche repose sur les concepts fondamentaux de la *théorie du système général* à savoir, l'organisation, la hiérarchie, l'interaction et la rétroaction, alors que la seconde met l'accent sur la participation sociétale au processus d'acquisition, de transfert, de formalisation et de synthèse de connaissances sur le système à l'étude, ainsi que sur une validation, en temps réel, du modèle créé. Les données de base servant à l'élaboration du modèle seront obtenues à partir de l'analyse de contenu de l'audit environnemental régional gouvernemental qui s'est déroulé entre 2007 et 2008 dans la région de la Chaudière-Appalaches au Québec et dont la thématique était le positionnement stratégique de l'agriculture et de l'agroalimentaire de la province pour les prochaines années. À partir de l'analyse des mémoires déposés par les acteurs au cours de consultations régionales, nous allons procéder à l'identification des acteurs ainsi qu'à celle des objectifs et des enjeux de l'agriculture et de l'agroalimentaire dans les domaines de l'environnement, de la santé, de l'occupation du territoire, et du développement régional. Puis, nous mettrons en relation ces deux entités à l'intérieur du cadre formel de la *méthodologie des systèmes souples*, ce qui devrait nous permettre de compléter le modèle.

1.3.3 Modélisation SIG et analyse multicritère

Le troisième et dernier objectif vise le rattachement du modèle conceptuel à deux d'outils, celui de l'analyse spatiale et celui de l'analyse multicritère, dans une démarche cohérente et intégrée de prise de décision en contexte multiacteur. Une des procédures les plus communément utilisées pour la prise de décision en planification territoriale est en effet celle impliquant un couplage SIG et analyse multicritère (Malczewski, 1999, 2006) en un système intégré d'aide à la décision spatiale ou SIAD (Previl, 2003).

Le cadre opérationnel de cet objectif sera déterminé par une situation réelle et réaliste de planification territoriale et environnementale au sein de la municipalité de Sainte-Claire, dans la Municipalité régionale de comté (MRC) de Bellechasse, faisant partie de la région de la Chaudière-Appalaches, au Québec méridional. À partir de la connaissance obtenue lors de l'objectif précédent, sur la situation (acteurs/enjeux/interactions), nous allons élaborer quatre scénarios d'utilisation du sol, qui correspondent à autant de schémas d'affectation du territoire à différentes fonctions et usages. Ces scénarios seront cartographiés dans le système d'information géographique ArcGIS. Chaque groupe de variables de définition des scénarios intègre l'ensemble des objectifs identifiés précédemment, selon diverses modalités territoriales.

Les enjeux soulevés par les acteurs seront « traduits » sous la forme d'un ensemble de critères. Ainsi, les impacts quantitatifs et qualitatifs relatifs à chacun des critères retenus seront évalués pour les quatre scénarios, soit par analyse spatiale en fonction d'un ensemble d'indicateurs de mesure, soit par des indicateurs prenant en compte les attentes sociétales en matière de développement durable sur les plans :

environnemental, social (selon deux composantes distinctes : sociale et culturelle), économique, de gouvernance, et territorial (Theys, 2002).

Les méthodes PROMETHEE et GAIA (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations ; Geometrical Analysis for Interactive Aid ; Brans et Mareschal, 2005*) seront par la suite utilisées pour établir un rangement des scénarios les uns par rapport aux autres à partir de ces évaluations. Ces méthodes sont flexibles ; elles permettent d'introduire une évaluation des préférences des acteurs traduisant ainsi leurs « intensités » relatives ; sur ce point, elles sont plus compatibles avec les nuances du jugement humain ; par ailleurs elles sont d'utilisation beaucoup plus aisée que d'autres méthodes comme ÉLECTRE.

De fait, le choix d'une méthode par rapport à l'autre aurait requis de tester chacune d'elles sur un problème type afin d'en mesurer les performances respectives en matière de consistance de résultats, de quantité d'interactions ordinateur/humain requises durant le processus d'analyse, et de facilité d'utilisation. Or, une opération de cette nature aurait nécessité un dispositif et des moyens, notamment en temps, qui dépassent ceux impartis pour la complétion des objectifs de ce travail. Pour ces raisons, notre choix s'est arrêté a priori sur les méthodes PROMETHEE/GAIA.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

2.1 Système, intégration, modélisation.

L'entreprise visant à saisir les raisons de l'essor de la pensée systémique comme nouveau paradigme scientifique ne saurait se contenter de la seule évocation de quelques éléments très généraux et des prémisses à son épanouissement dans les années 70. En effet, dans l'appréciation du développement de cette pensée, une place doit être faite à de très grands esprits, de Platon à Aristote, de St-Thomas d'Aquin à René Descartes, de Blaise Pascal, Baruch Spinoza et Gottfried Leibnitz à Auguste Comte, de J.Piaget à L.W. Bertalanffy. Le paradigme systémique qui prend racine dans l'évolution de la pensée universelle, était déjà gestante plusieurs millénaires avant aujourd'hui, avec les concepts de globalité voire d'organisation qui faisaient déjà l'objet d'une quête intuitive ; même avant Aristote, les pythagoriciens et Héraclite avaient une conception du monde différente que l'on peut qualifier de globaliste par rapport à la vision analytique aristotélicienne (Durand, 2006).

Au 18^e siècle, les concepts d'organisation et d'interaction étaient déjà prégnants dans la pensée naturaliste alors Ritter et Von Humboldt élaboraient des modèles unifiés mettant en relation, selon un déterminisme que l'on sait aujourd'hui obsolète, la nature et les sociétés humaines (Dikshit, 2006) et Haeckel proposait en 1866 le terme d'*écologie* après avoir émis l'idée que l'origine de la vie fut déterminée par les facteurs physiques et chimiques intrinsèques au milieu. Durant cette même période apparaissent plusieurs travaux géographiques qui réfléchissent

sur la notion de paysage et sur son caractère global et intégratif. Ce fut le cas notamment en Russie avec l'émergence de l'école de la *Landschaftovedenie* (Rougerie et Beroutchachvilli, 1991) qui reconnaît graduellement l'importance des interactions entre les phénomènes de la vie (biosphère) et de la matière abiotique (atmosphère, hydrosphère, lithosphère).

Dans ce continuum de la pensée universelle, l'histoire de la systémique, de sa naissance à son avènement comme courant de pensée privilégié en sciences, se déroule pour l'essentiel, tout au long de la seconde moitié du XX^e siècle bien que toutefois un des grands concepts de la systémique — la conception organismique de la réalité — avait déjà été proposé dès les années trente par le biologiste Ludwig Von Bertalanffy en réaction contre le réductionnisme ambiant de l'époque alors en phase avec l'approche mécaniste³ de la réalité (Drack, 2008). Ainsi, Bertalanffy souligne à cette époque que la caractéristique essentielle de la vie ne réside pas dans une individuation de processus, mais plutôt dans un certain ordre parmi ces processus (Bertalanffy, 1934a *in* Drack, 2008). L'observation isolée d'évènements du réel ne révèle rien à propos de l'organisation d'une entité ; l'étude des faits vivants doit se faire en considérant le phénomène dans son intégralité, en tant que « tout », en tant que système. Ainsi, plutôt que de réduire une entité aux propriétés de ses parties, il se concentre sur l'organisation et les relations entre les parties qui les relient dans leur ensemble. Ce point de vue « organismique » mène sur la notion de système ouvert.

C'est de ce terreau fécond qu'en 1968, après plusieurs décennies de maturation d'idées et de contributions parallèles faites par Leibnitz, Marx, Piaget, Smuts sur les concepts de globalité, de structure, de finalité et avec l'apport de plusieurs auteurs marquants dont Wiener (cybernétique, 1948), Shannon (théorie de

³ Le principe aristotélicien du « tout étant plus que la somme des parties ».

l'information, 1948), Boulding (holisme et systémique 1956), MacCarthy (intelligence artificielle, 1959) et Minsky (intelligence artificielle, 1961), la systémique s'imposera comme un véritable paradigme unifié avec la publication par Bertalanffy de « *The General System Theory* » (Bertalanffy, 1968 ; LeMoigne, 1977).

Destinée à l'origine à la théorisation des systèmes biologiques, la systémique justifie son existence en raison de la difficulté sinon l'impossibilité d'étudier adéquatement la réalité en la divisant en autant de parties qu'il est nécessaire et d'analyser chacune de ces parties individuellement et ce, tel qu'édicte dans le premier principe cartésien du *Discours sur la méthode* (Guay, 1997). Or, le postulat en totale contradiction avec celui — atomiste — de la démarche scientifique classique, nous le verrons plus loin, présente des implications majeures en science de l'environnement et en science géographique et ce, tant aux niveaux conceptuels que méthodologique. Cette opposition va de pair avec une vision organique de la réalité qui amène à considérer cette dernière comme une entité dont le comportement global est en quelque sorte « plus que la somme des opérations de ses parties ».

La théorie du système général est transposable dans un domaine très vaste et hautement multidisciplinaire qui recoupe les champs de toutes les disciplines scientifiques de l'économie et la politique sociale, à la biologie et la physique (Forrester, 1968, 1969 ; Parott et Kok, 2000). Sur ce point, elle constitue l'aboutissement d'une quête entreprise par Bertalanffy pour faciliter la communication entre disciplines de plus en plus spécialisées, chacune générant des méthodologies spécifiques aussi bien théoriques qu'empiriques et dans le processus duquel émerge une multitude de jargons spécialisés, uniquement comprise que par des spécialistes et excluant *de facto* une communication fructueuse entre scientifiques

(Rapoport, 2002 *in* Parra-Luna, 2009). L'unification de différentes disciplines (physique, biologie, sociologie, etc.), sous les mêmes concepts et principes découlant du principe organismique, puis plus tard, dans le cadre d'un foisonnement d'idée à partir de ce concept, de ceux d'ouverture, d'émergence, de hiérarchisation notamment font aujourd'hui de la théorie du système général, un paradigme transdisciplinaire (Heylighen et Joslyn, 1992).

Les grands principes de la TGS selon les interprétations de J. LeMoigne (1977) se situeront en filigrane, partout au long de notre parcours :

1. la *globalité* qui amène à considérer toujours l'objet à connaître comme une partie immergée et active au sein d'un tout plus grand ; ce principe renvoie aux notions d'organisation et de hiérarchie, d'autonomie et d'autorégulation ;
2. la *circularité*, un principe qui, en opposition avec le principe de causalité, conduit aux notions d'interaction et de rétroaction ;
3. l'*équifinalité* édicte qu'un changement d'état d'un système, et ses conséquences dépendent tout autant des causes initiales que des structures et des processus au sein du système. Ce principe nous amène à la question de l'émergence.
4. Enfin, ajoutons un principe de *pertinence* aux trois précédents ; il stipule que tout objet que nous considérons se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur.

2.1.1 L'approche systémique : aperçu des méthodes d'analyse

La systémique est non seulement un savoir, nous venons d'en voir un aperçu, mais aussi une pratique et une manière d'entrer dans la complexité. En regard des aspects méthodologiques pratiques de l'approche systémique, Donnadiou et coll. (2003) identifient cinq outils de l'approche systémique : (1) la triangulation systémique (2); le découpage systémique (3); l'analogie de l'isomorphisme structurel ; (4) le langage graphique et (5) la modélisation.

La *triangulation systémique* part du constat qu'un système complexe peut généralement être observé sous trois angles différents, mais complémentaires, chacun lié à un point de vue particulier de l'observateur : structure, fonction, dynamique ; le *découpage systémique* consiste à identifier les sous-systèmes du système global, leurs frontières, leurs finalités et les connexions qui déterminent leur interdépendance. Dans cette tâche, nous nous appuyons sur l'existence de quelques critères : celui de la finalité, celui de la structure, celui du niveau d'organisation ou encore le critère historique ou dynamique.

Le terme d'*isomorphisme* désigne d'abord un concept mathématique selon lequel, lorsque deux structures peuvent être superposées de manière isomorphe, à chaque élément d'une structure correspond un élément de l'autre structure, en ce sens que chacun des éléments joue le même rôle dans leurs structures respectives (Pugnet, 2005). Par extension, cela revient à affirmer que les mêmes grands principes explicatifs de l'univers (structure, processus, dynamique, organisation, totalité, hiérarchie, etc.) peuvent s'appliquer, de manière générale, à toutes les réalités.

Selon l'analogie qu'offre cet isomorphisme, le territoire et l'environnement sont des systèmes ouverts caractérisés par de fortes interactions entre leurs composantes et par la présence de boucles de rétroaction ; le résultat de ces

interactions illustre la grande complexité de ces systèmes, laquelle est notamment caractérisée par la présence de discontinuités spatiales et temporelles sous forme de seuils, de limites et d'interfaces (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 ; Costanza et coll. 1993). En général, la plupart des systèmes vivants ou intelligents sont considérés comme complexes ; un biome, l'esprit humain, nos sociétés sont tous des exemples typiques de systèmes complexes.

Le *langage graphique*, sous forme de schéma et de carte, est largement utilisé en sciences et notamment en sciences du territoire, qui en font l'outil privilégié de représentation des réalités territoriales. Il permet une appréhension globale et rapide du système représenté ; il contient une forte densité d'information généralisée. Le *mind mapping*, la carte mentale ou carte heuristique (Buzan et Griffiths, 2003), la notion de *rich picture* (Checkland, 1990) constituent des modèles d'informations graphiques bien connus.

La *modélisation* est un processus technique qui permet de représenter, dans un but de connaissance et d'action, un objet ou une situation, ou un événement. La modélisation est aussi un art par lequel le modélisateur exprime sa vision de la réalité. En ce sens, c'est une démarche constructiviste, tout comme le *mind mapping* par ailleurs. Dans sa démarche, le modélisateur devra respecter plusieurs principes (Wikipédia, 2016) :

1. admettre qu'il ne peut tout connaître ;
2. cette reconnaissance l'amène dès lors à préciser d'emblée le but qu'il vise par la modélisation et les limites de son modèle ;
3. l'alternance de la théorie et de l'apprentissage par la pratique ;

4. apprendre à décomposer le système en niveaux d'observation, en sous-systèmes et en modules fonctionnels, et reconnaître sa frontière pour pouvoir distinguer ce qui fait partie du système de ce qui appartient à l'environnement ;
5. faire autant d'itérations que nécessaires pour assurer la cohérence entre fonctions et structures, entre global et local, entre synchronique et diachronique, entre vision externe et vision interne. Le processus de modélisation n'est pas linéaire ;
6. accepter de ne pas prétendre à l'exhaustivité et viser plutôt la pertinence. Il n'est pas nécessaire d'avoir tout compris pour décider.

2.1.2 Systèmes souples vs systèmes « rigides »

Le projet d'unification des sciences sous ce langage commun — celui des mathématiques — peut sembler avoir failli. C'est du moins ce que constate Checkland (2000), sans toutefois remettre en question l'actualité de la pensée systémique qui, elle, demeure plus que jamais pour éviter les dérives du réductionnisme dans l'étude des systèmes complexes. Le but de la théorie du système général et celui, plus large, de la l'approche systémique étant d'aboutir à une formalisation mathématique des systèmes, les succès de cette approche dans les domaines comme la biologie, la physique et par extension l'écologie (Costanza et coll. 1993 ; Boumans et coll. 2002 ; Voinov et coll. 2004) sont nombreux.

Toutefois ils demeurent liés à une vision plutôt matérialiste de la réalité dont Lavoisier décrivait pertinemment la nature au 18^e siècle en mentionnant que « rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après

l'opération » (Lavoisier, 1789 *in* Wikiquote, 2016). Si, dans l'histoire de la TGS, les modèles conçus essentiellement pour des systèmes physiques déterministes ou stochastiques fournissaient un cadre d'analyse tout à fait adéquat, l'introduction de la variable société dans la démarche d'analyse a par la suite nécessité une adaptation des approches de modélisation.

C'est dans ce creuset conceptuel que s'est développée la *méthodologie des systèmes souples* (MSS) (Checkland, 1981), une démarche d'analyse des systèmes sociaux qui permet de fournir rapidement une solution à des situations complexes et mal circonscrites. Elle constitue une approche de modélisation participative et est destinée à fournir un cadre d'analyse transposable dans un contexte d'aide à la décision. Elle permet d'obtenir une vision organisée et hiérarchisée d'un système territorial dont les propriétés dynamiques sont non vérifiables en raison des rationalités multiples qui existent parmi les acteurs.

Les systèmes dits « souples » répondent en tous points à la définition et aux critères propres à tous les systèmes complexes c'est-à-dire une collection organique d'objets en interaction et présentant un caractère hiérarchique, un comportement émergent, une capacité d'auto-organisation, une finalité. Les logiques de fonctionnement, les structures, les processus, les dynamiques et les environnements de ces systèmes sont flous, mal-définis et échappent au formalisme mathématique habituellement utilisé dans la modélisation des systèmes ouverts classiques. Leurs propriétés générales sont non ou difficilement quantifiables, car ces systèmes possèdent une forte composante anthropique. La modélisation des systèmes souples ainsi que leur validation sont problématiques du fait de leur nature particulière. Le concept puis l'étude des systèmes souples reposent sur les travaux Checkland au cours des années 1970. La méthodologie en elle-même est une approche de

modélisation participative destinée à fournir un cadre d'analyse systémique analogue à la théorie générale des systèmes et transposable à ces systèmes particuliers.

Dans le cadre de notre étude, la proposition que nous faisons est d'obtenir une vision organisée et hiérarchisée d'un système anthropique à fort ancrage territorial. Les activités humaines génèrent un niveau de complexité sociale régie par de très nombreuses pratiques de développement, de gestion et de conservation. Les niveaux sociaux et écologiques de ces pratiques peuvent être décrits en utilisant des attributs typiques de la complexité : espace, temporalité, structures, processus, comportements, dynamiques. Une pratique de gestion adéquate du territoire doit promouvoir une approche systémique qui devrait idéalement permettre d'intégrer ces deux niveaux de l'organisation dans leur régime de planification (Proulx, 2008).

2.1.3 Isomorphismes systémiques : le territoire et l'environnement

Sur la base de l'analogie que permet le concept d'isomorphisme, l'approche systémique est appliquée depuis plusieurs années dans plusieurs champs disciplinaires (Breiling, 1995). Ainsi, en sciences du territoire, les méthodes utilisées par l'école russe en science du paysage (« *Landschaftovedenie* »), par la *Landscape ecology* anglo-saxonne ou encore dans la cartographie écologique nord-américaine (Loveland et Merchant 2004 ; Sayre et coll. 2014) visent une compréhension organisée de la structure, des processus et de la dynamique des systèmes naturels selon une conception « thermodynamique » de l'espace territorial, en vertu finalement de cet isomorphisme.

Terme polysémique s'il en est un, depuis cette « origine », jamais le concept de territoire n'aura fait l'unanimité parmi ses penseurs, ses experts, ses pratiquants ou ses praticiens. Depuis son apparition dans la langue française au 13^e siècle le mot territoire a surtout été utilisé à partir du 17^e siècle dans un sens politico-administratif.

Issu des termes latins *territorium* et *terra* le mot territoire évoque l'idée d'une domination et d'une gestion d'une portion du substrat terrestre par une puissance qui, elle-même assoit son autorité et sa légitimité sur ce contrôle, qu'il s'agisse d'une collectivité territoriale ou d'un État (Hypergé, 2014).

La conception plus « scientifique » de territoire (Hypergé, 2014) est toutefois est apparue il y a plus de vingt ans dans la production de nombreux géographes dont notamment Raffestin et Lacoste. Raffestin (1986 *in* Hypergé, 2014) y voit un espace géographique transformé par le travail humain alors que Lacoste (2003) lui confère une valeur plus politique et administrative. Par ailleurs, l'acceptation du territoire comme une entité découlant d'une appropriation sociale de l'espace est assez récente (Lévy et Lussault, 2003). Selon cette conception, le territoire comme espace disposant, d'une manière ou d'une autre, d'un attribut de possession ou d'identification deviendrait la composante identitaire de n'importe quel espace.

Toutefois, avant toute définition, nous concevons le territoire comme un système complexe et c'est sous cet angle que allons l'aborder dans le contexte de cette thèse. Le concept de territoire est effectivement propre à la géographie, mais également à la sociologie urbaine, à l'économie territoriale et bien sûr à l'urbanisme. Sur ce point, si le terme existe au carrefour des écoles et des auteurs, Moine nous conforte dans notre entendement du concept (2006, p.32, *in* Hypergé, 2014) en mentionnant que « le territoire est un système complexe évolutif qui associe un ensemble d'acteurs d'une part, l'espace géographique que ces acteurs utilisent, aménagent et gèrent d'autre part ».

Le territoire repose donc sur l'existence, hormis de cet espace géographique absolu, d'un espace social à partir desquels se construisent l'appartenance, l'identité collective, car, aménagé par les sociétés qui l'ont successivement investi. Il offre dans

cette mesure un riche champ symbolique. La question de l'appropriation implique l'idée d'ajout de rationalité en vertu des exigences de ce projet d'appropriation ; par ailleurs, la question idéologique renvoie aux aspects plutôt subjectifs des mécanismes d'investissement des individus dans l'espace géographique.

Nous ne pouvons pas isoler dans une démarche telle que celle que nous proposons, le concept d'*environnement*. Simplement posé et étymologiquement parlant, le terme signifie *autour*. Par contre, il est très variable selon les disciplines qui en font usage. Ainsi, le terme sera souvent employé par les urbanistes pour décrire la zone de contact entre un espace bâti et le milieu naturel, une forme d'interface. Pour les phénoménologues, il s'agit davantage d'une notion esthétique qui implique un effet psychologique, voire pathologique, dans les cas extrêmes, sur l'individu. Le sociologue y verra plutôt l'ensemble humain dans lequel est plongé l'individu en y incorporant des éléments économiques et technologiques.

De fait, la difficulté principale à propos d'une définition de l'environnement, c'est que ce dernier peut être « tout, mais pas n'importe quoi », d'où l'impossibilité de lui fixer des limites (Charvolin, 2001). Douglas et Holland avaient déjà établi au milieu des années quarante que l'environnement décrit *toutes* les forces externes, les influences et les conditions qui affectent la vie, la nature le comportement, la croissance, le développement et la maturité des organismes (Douglas et Holland, 1947 in Aggarwal, 2008, p.75). Certes, à la base de cette conception matérielle de l'environnement, il y a des données physiques dont la nature est indéniable (Kiss et Sicault, 1972) et celles-ci forment un tout étroitement solidaire.

Le concept ne recouvre toutefois pas la seule nature au sens restreint du terme, pas plus qu'il n'est synonyme de géographie physique, pas davantage de faune et de flore, de pollutions et de dégradations. Il désigne les relations d'interdépendance

complexes existant entre l'homme, les sociétés et les composantes physiques, chimiques, biotiques du milieu et pourvues d'une double dimension spatiale et temporelle (Veyret, 1999 *in* Hypergé, 2014 p.1 et 2 ; Charvolin, 2001).

Ces deux définitions nous mènent inévitablement dans les sphères de la subjectivité de l'esprit humain, comme qualité intrinsèque inhérente à la perception puis à la cognition. Les *Sommets de la Terre* organisés sous l'égide de l'ONU qui se sont succédé depuis 1972 rapportent d'ailleurs constamment à l'esprit cette dimension de l'environnement. La *Déclaration finale de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement* à Stockholm ouvre sur ce principe en stipulant que « l'homme est à la fois créature et créateur de son environnement, qui assure sa subsistance physique et lui offre la possibilité d'un développement intellectuel, moral, social et spirituel » (ONU, 1972).

Par ailleurs, ce caractère de globalité a été en 1992 lors de la *Conférence de Rio* au cours de laquelle a été souligné la façon dont les différents facteurs sociaux, économiques et d'environnement sont interdépendants et évoluent ensemble. Ce durant cette conférence des Nations-Unies que fut reconnu que l'intégration et l'équilibre des préoccupations d'ordre économique, social et d'environnement dans la satisfaction de nos besoins sont vitaux pour le maintien de la vie humaine sur la planète et qu'une telle approche intégrée est réalisable dans la mesure où est consentie une concertation des efforts (ONU, 1992).

L'obtention de ce type d'intégration et d'équilibre entre les dimensions d'ordre économique, social et d'environnement nécessite de nouvelles manières dont nous prenons nos décisions. Il s'agit d'un élément d'importance dans le cadre de ce travail. Nous sommes effectivement d'avis qu'il serait mal avisé de soustraire cette qualité de notre compréhension du terme. Nous verrons plus en détail au cours de ce

travail toute l'importance de cette qualité des interactions socioenvironnementales, notamment au moment du *choix* d'alternatives et de la définition des structures de préférences des acteurs.

Afin d'introduire un degré de liberté supplémentaire dans le cadre très spécifique de notre travail, nous croyons qu'il est pertinent de définir ce que nous désignons comme *environnement*, en vertu de notre compréhension du concept comme est « un ensemble fini de conditions naturelles, sociales, économiques et politiques d'un système socioécologique et qui agit comme zone de convergence/divergence des flux qui interviennent entre les diverses composantes du système ». Nous invitons par ailleurs le lecteur à se référer à la figure 5.4 pour mieux saisir la nature de ce choix épistémologique que nous faisons. Cette signification du terme sera sans aucun doute contestée par plusieurs écologues qui y verront notamment une connotation trop anthropocentriste, mais nous n'aborderons pas cette question dans le cadre de la thèse.

2.1.4 La systémique et le social ?

L'approche systémique présente-t-elle des limitations pour rendre compte des systèmes socioécologiques ? Il est certes difficile, hors du champ spécialisé de l'épistémologie, de fournir une explication exhaustive et complète à cette question hautement philosophique. Néanmoins, nous pouvons citer Barel qui, déjà en 1971, constatait l'existence d'un profond clivage entre les systèmes physiques et les systèmes sociaux, lorsqu'examinés sous l'angle de l'isomorphisme systémique ; ces différences peuvent être ainsi « grossièrement résumées à partir des conditions différentes des déterminismes inhérents à l'un et l'autre type de systèmes » (Barel, 1971). Il poursuit affirmant que « les systèmes sociaux sont le domaine d'élection de l'aléatoire et, mieux encore, de l'incertain. Le déterminisme social (*sic*) n'est pas le

déterminisme des systèmes physiques ou même des systèmes économiques. Nous avons besoin d'une analyse de systèmes qui fournit la possibilité de prendre en compte ce déterminisme (*sic*) autrement dit d'une analyse de systèmes sociaux. Il n'existe pas de formule passe-partout de l'analyse de systèmes, mais une approche méthodologique qui doit s'adapter aux types de systèmes auxquels on a affaire ». C'est ainsi qu'à cette époque, on met en doute l'optimisme ambiant sur cette approche naissante dans les arcanes des sciences sociales, mais également son apparente universalité. Cette nature critique du propos a été réitérée depuis ce temps par de nombreux auteurs comme Checkland (1981, 1990), McLoughlin (1985); Hjørland et Nicolaisen (2005) et Jörg (2012).

Retenons en conclusion qu'il n'y a pas d'approches simples de nos réalités complexes. Il nous faut trouver une démarche cohérente permettant de comprendre ces réalités de la manière la plus fidèle possible. Nous sommes d'avis qu'en dépit de ses limitations conceptuelles émanant de ses origines la théorie du système général constitue un paradigme adéquat dans la mesure où nous serons à même de l'adapter à nos réalités territoriales. En ce sens, notre thèse présentera également un caractère transdisciplinaire, ce qui constitue à notre avis une avancée intéressante dans l'analyse des systèmes socioécologiques.

2.2 De la prospective

« La prospective [est une] discipline et [et une] attitude en vue de l'action (...) à la différence de la planification, elle ne prédétermine pas, elle éclaire » (Darcet, 1967). C'est dans ces mots que Darcet (1967) exprimait l'essence même d'un des caractères de notre thèse, celui de l'attitude prospective. Le terme et l'approche sont nés des contributions de Gaston Berger dans les années cinquante et ils ont remporté immédiatement beaucoup de succès (Darcet, 1967). « Nous avons à faire face à des

situations vraiment nouvelles » — soulignait Berger — « dans lesquelles nous ne saurions nous laisser guider sans examen par des habitudes de pensée ou d'action dont certaines sont devenues inadéquates ». En outre, si la prospective « ne prétend pas nous donner le moyen de supprimer tous les risques et de donner à nos actions une structure parfaitement rationnelle, elle nous invite à des actes aussi raisonnables que possible, à avoir une vue d'ensemble du problème et de sa situation » (Berger, 1953 in Darcet 1967). Or, « si l'on examine les procédés qui sont le plus couramment utilisés pour suggérer ou justifier les décisions, on constate qu'ils entrent généralement dans l'une des trois catégories suivantes : l'action entreprise invoque un *précédent*, s'appuie sur une *analogie* ou repose sur une *extrapolation*. La réflexion prospective nous fait saisir l'avenir comme tel, avec sa complexité, sa mobilité, ses risques, ses surprises » (Berger, 1953 in Darcet, 1967).

Les travaux sur la prospective ont été nombreux entre 1955 et 1966 toujours sous l'impulsion de Berger alors qu'il crée en 1957 une revue éponyme destinée à son approche et fonde le Centre d'études prospectives au sein duquel il œuvre jusqu'à sa mort. La filière riche en réflexion mène également aux contributions de Barel à partir des années 1970, au moment où est fait un lien solide entre l'approche prospective et l'approche systémique. Ainsi, d'après Barel (1971), la prospective pose globalement trois problèmes théoriques et méthodologiques majeurs : celui du passage de la partie au tout, celui de la nature de la réalité constituant l'objet d'étude, et celui du traitement scientifique de la décision. Il soutient que la prospective doit prendre en compte les dimensions de la société globale dans laquelle les problèmes sectoriels étudiés s'inscrivent. L'étude de la société et de son avenir conduit donc à étudier les relations dynamiques qui caractérisent son développement. La complexité du domaine alors étudié exige la mise en œuvre d'une méthode qui permette et favorise une lecture d'une réalité sociale complexe et diffuse. C'est ainsi qu'il formalise un

lien conceptuel majeur entre l'investigation prospective et l'analyse prospective des systèmes. D'une part l'approche systémique fournit des « outils » conceptuels utiles à l'approche intégrative : les concepts fondamentaux de système et d'environnement, de systèmes clos et ouverts, les liaisons entre systèmes ou entre éléments de système, l'intégration temporelle expliquant le comportement d'un système non seulement par les événements du présent, mais aussi par ceux du passé et du futur (mémorisation, apprentissage, intentionnalité ou quasi intentionnalité du comportement) constituent des notions tout à fait concomitantes avec l'attitude prospective. Dans la décennie suivante, plusieurs penseurs ont pris le relais de cette « ambition de concevoir les perspectives technologiques, économiques, anthropologiques et politiques des sociétés occidentales en régime démocratique dont B. de Jouvenel, H. Kahn, D. Bell, A. Peccei entre autres ont apporté de solides pierres à cet édifice » (ISCC, 2015).

Mais pourquoi la prospective dans notre travail ? Quelles en sont les raisons principales ? De quoi est faite la prospective et en quoi devient-elle utile dans un contexte comme le nôtre ? D'abord, il convient d'indiquer que les travaux des auteurs « prospectifs » ont abouti à une consécration prestigieuse avec la publication du premier rapport du Club de Rome en 1971, premier exercice de modélisation des perspectives mondiales de la civilisation occidentale (ISCC, 2015). Cette raison nous serait largement suffisante pour justifier cette approche dans le cadre de notre travail. De fait, la nature de notre travail, dans lequel complexité, émergence et changement sont les maîtres mots, est intimement liée avec celle d'une attitude prospective, suivant les éléments précédents que nous avons pu faire ressortir. Nous avons déjà abordé la question de la complexité et des contraintes qu'elle induit dans notre formalisation d'un problème de planification territoriale et environnementale, interdisciplinaire par définition. D'une part, les multiples rationalités qui caractérisent intrinsèquement le cursus opérationnel même du processus de planification nous

interdisent d'aborder la démarche avec une attitude par trop réductrice. Par ailleurs, le contexte multiacteurs, à lui seul, implique de devoir travailler à formaliser rapidement, problème éminemment complexe, flou et mal structuré. Enfin, le contexte multivarié du macrocosme de la planification — le territoire et l'environnement — ne peut être soustrait d'une approche à valeur intégrative.

Il n'y a dès lors qu'un pas à franchir entre vision prospective, modélisation et scénarios et c'est sur ces bases conceptuelles solides que Mermet définit en 2004, le terme de prospective en l'étendant à « toute démarche qui consiste à construire, en mettant en œuvre des méthodes clairement explicitées (méthodes des scénarios, de modélisation, de consultation d'experts...), des conjectures sur l'évolution future d'un système humain, économique, écologique, dans un contexte où existent des enjeux de décision sous controverse ».

La prospective peut être exploratoire ou stratégique (Loinger et Sphor, 2004). Dans le premier cas, elle permet d'envisager un ensemble de futurs possibles et d'identifier les moyens permettant de les atteindre. Dans le second cas, elle se situe dans l'action et est directement ancrée dans la planification. La distinction entre les deux formes repose sur les finalités respectives des deux variantes : l'une est destinée à la connaissance et à l'exploratoire ; l'autre repose sur l'ajout de rationalité dans la construction de ces futurs, l'action et la planification étant justement des artefacts. Les deux formes sont évidemment complémentaires.

La prospective permet globalement de construire des représentations du futur pour éclairer le processus décisionnel. Elle implique une dimension cognitive qui amène l'individu à s'appropriier le présent afin d'établir, par des bilans et des enquêtes, si la tendance doit être maintenue, interrompue ou infléchie ; elle implique une participation active du groupe d'où émerge, à travers les échanges et les points de

vue, l'intelligence territoriale ; enfin elle nécessite une appropriation des résultats par la société civile et par les décideurs afin de maintenir un contexte propice à l'action (Loinger et Spohr, 2004).

La prospective recouvre une grande variété de méthodes : méthode des scénarios, modélisation, consultations d'experts, participation publique (Julien et coll. 1975 a, 1975b ; Mermet 2005). Nous pourrions classer l'ensemble des outils de prospectives en deux catégories : (1) les méthodes orientées-actions, et (2) les méthodes dites de « fantaisies guidées » (Simard et Gagnon, 2007). Les méthodes orientées-action ou *action research* (voir section 5.1) sont ancrées dans un principe d'actualité (c.-à-d. ici, maintenant). Dans ce type de méthodes, il ne s'agit pas de formuler des objectifs liés à des actions concrètes, mais plutôt de préciser la conception globale de ce que l'on veut accomplir à travers une démarche collective de réflexion et d'échanges. Ceci permet d'identifier quelques grandes visées ou orientations communes au groupe.

La méthode de fantaisies guidées consiste en une sorte de voyage organisé dans le monde de l'imaginaire qui permet de découvrir les composantes de ce que serait le quartier, la ville ou le territoire souhaité par la population (Simard et Gagnon, *op.cit.*). L'outil « des scénarios » nous apparaît être un outil adéquat dans notre contexte ; d'ailleurs, cet outil occupe une place déterminante dans les travaux prospectifs depuis les travaux de Barel (1971) et Julien et coll. (1975). Il a donné lieu à une littérature très abondante au fil des décennies (ICIS, 2000 ; Kosow et Gassner, 2008). Nous y reviendrons plus loin.

2.3 Gestion et planification territoriale et environnementale

Sensu lato, on entend par gestion, la direction et le contrôle des affaires humaines (Lang et Armour, 1980). Il s'agit d'un processus qui englobe quatre fonctions connexes : (1) la planification soit la formulation d'objectifs en vue d'atteindre des buts, l'élaboration et la sélection de plans d'action possibles pour cette atteinte ; (2) l'organisation des activités, des relations, des opérations ; (3) la direction permettant de mobiliser, d'informer ; et (4) le contrôle servant à l'évaluation et au suivi des projets, la rétroaction. Comme fonction de base de la gestion, la planification peut être considérée comme étant l'ajout de rationalité à la prise de décisions collectives aux échelles infranationales de l'État central (Proulx, 2008). Sur le plan opérationnel, de manière globale, cette fonction englobe quatre grandes caractéristiques (Mintzberg, 1994) :

1. c'est une réflexion sur l'avenir ;
2. c'est un contrôle sur cet avenir ;
3. c'est un processus décisionnel ;
4. c'est processus social et politique de concertation.

Dans notre contexte, le caractère *territorial* de la planification introduit évidemment une dimension spatiale au contenu du processus. Or, l'introduction de cette composante amène un degré de difficulté supplémentaire pour le praticien ainsi que des exigences conceptuelles et méthodologiques nouvelles dont principalement l'usage d'outils destinés à la gestion de l'information géographique. Le processus de planification *territoriale* s'est en effet toujours positionné à mi-chemin entre des pratiques dédiées essentiellement à la détermination des usages du sol sur la base de contraintes et de potentiels géographiques « physiques » et des pratiques visant à

orienter le futur du territoire (Albrechts, 2004 ; Glasson et Marshall, 2007). De fait, la planification territoriale se définit de manière pluraliste, par un ensemble de théories, de concepts, de méthodes et d'outils propres à de nombreuses disciplines dans plusieurs grands domaines des sciences administratives, territoriales et environnementales. Entre outre, pour complexifier davantage l'idée, les différentes variations de la planification qu'elles soient urbaines, régionales, écologiques ou environnementales donnent lieu à une différenciation des professions qui y sont liées : architectes, ingénieurs, géographes, écologistes, etc.

La tendance actuelle dans le domaine, toujours selon Glasson et Marshall (2007), est une planification plus « spatiale ». Elle embrasse plus large que celles détaillées plus haut ; elle englobe des objectifs liés au développement social, économique et environnemental des territoires. Ce type de planification vise à coordonner les impacts géographiques de chacune de ces planifications sectorielles afin de créer une sorte de « métaplanification » complète. L'élément déterminant ici est celui qui porte sur l'évaluation des impacts des décisions, ce qui en fait, par définition, un type de planification très proche d'une planification stratégique telle que nous le verrons plus loin.

De fait, Hall et Tewdwr-Jones (2010) définissent la planification territoriale comme une entreprise difficile et ambiguë. De manière très succincte, retenons toutefois que les définitions présentées dans les ouvrages scientifiques, si elles sont nombreuses, convergent en général, vers le principe traditionnel de liaison entre connaissances et action. Par ailleurs, un fait demeure, c'est que la pensée systémique et la science des systèmes sont relativement bien intégrées dans le discours sur la planification (De Roo et coll. 2012).

À défaut de pouvoir apporter une définition de la planification territoriale, ce qui nous apparaît dépasser le cadre de cette thèse, nous allons discuter brièvement de cinq grands types de planifications du territoire qui ont été utilisés ou qui sont encore d'usage principalement au Québec : la planification dite rationnelle ; la planification stratégique ; la planification interactive aussi appelée participative, la planification par petits pas et la planification environnementale (Proulx, 2008). Chaque catégorie possède une propriété dominante qui nous permet de la positionner par rapport aux catégories concurrentes.

2.3.1 La planification rationnelle

La planification rationnelle s'inscrit dans une démarche procédurale systématique, composé de 6 étapes telles que définies par Proulx (2008) :

- 1) l'identification de finalités, de buts et des objectifs de planification, comme expression d'un ensemble de valeurs ;
- 2) le portrait de la situation du territoire ;
- 3) l'inventaire et l'analyse de toutes les options (politiques, stratégies, actions) éventuellement disponibles pour atteindre les buts et les objectifs ;
- 4) la prévision, l'évaluation et la comparaison de toutes les conséquences (résultats, moyens, contraintes) reliées à la faisabilité de chaque option ;
- 5) la sélection des options dont les conséquences correspondent le mieux à l'atteinte des buts et objectifs.

La mise en œuvre des actions découlant de ce type de planification pose souvent de nombreux problèmes notamment en raison de la lourdeur des étapes 3 et 4. Cependant, « l'expérience a illustré ses apports positifs importants en matière de finalités, de diagnostics, de pronostics » (Proulx, 2008, p.8). Elle est encore utilisée

aujourd'hui, principalement en région, entre autres dans l'élaboration des plans de développement de la zone agricole.

2.3.2 La planification stratégique

Il n'y a, selon Albrecht (2004) de définition unique et universellement reconnue de la planification stratégique ; elle varie selon les contextes et les acteurs. Néanmoins, cette forme de planification est apparue en Amérique du Nord à partir de la seconde portion des années soixante, en réponse au besoin en planification des grandes organisations et des sociétés qui doivent se positionner en regard de leurs desseins futurs, dans un environnement en changement rapide et croissant.

Elle a été le modèle de planification le plus utilisé, notamment aux États-Unis durant cette période, en réponse à des enjeux économiques importants (crise du pétrole, changements démographiques, volatilité économique, etc.). Au Québec, jusqu'au milieu des années 1980, la planification stratégique fixe comme objectif le positionnement essentiellement économique des métropoles (Simard et Gagnon, 2007).

L'essence plus « spatiale » de la planification stratégique répond d'une tradition plutôt européenne que nord-américaine et qu'il est possible de faire remonter aux années 1930 (Albrechts, *op.cit.*). En effet, en Europe préexiste un agenda environnemental lié en partie à l'ascension du mouvement environnemental qui met promeut certes le développement et l'utilisation durable des ressources, mais aussi à des mouvements citoyens concernés par la qualité de vie dans des « lieux » précis.

Il n'y a alors qu'un pas à franchir pour recadrer le processus dans un contexte territorial et qui sous-entend, du moins pour les géographes, un aspect spatial. L'accent est alors mis sur les relations spatiales et le processus de planification

devient un moyen efficace d'intégrer puis d'évaluer les différents enjeux locaux et de traduire l'aménagement du territoire dans les programmes d'investissement spécifiques et des pratiques règlementaires s'appuyant sur un apport en information adéquate et pertinente.

La planification stratégique territoriale doit être vue comme un processus continu de réactualisation des priorités plutôt qu'un schéma indicateur à très long terme. Depuis son apparition, cette forme de planification a été le sujet de plusieurs dizaines de modèles opérationnels (Risse, 2004). Globalement toutefois, elle repose sur un cadre opérationnel comportant sept étapes, telles qu'identifiées par Proulx (2008) :

1. le portrait global de la situation du territoire ;
2. les finalités et les buts décomposés en objectifs opérationnels ;
3. l'identification des diverses orientations stratégiques potentielles ;
4. l'évaluation en détail des coûts, bénéfices et impacts des orientations ;
5. la sélection et la priorisation des orientations selon les objectifs ;
6. l'établissement des mesures incitatives ou coercitives pour l'application ;
7. l'évaluation des objectifs atteints ainsi que la révision des priorités.

Ce type de planification a donné lieu au Québec à de nombreux exercices visant à permettre au gouvernement de moduler davantage l'allocation de ses ressources publiques sur la base de stratégies régionales conçues en régions (Proulx, 2008). Cependant, ce type de planification territoriale a fait émerger des lacunes voire des excès qu'il convient aujourd'hui de reconnaître afin d'en éviter la perpétuation : nombre d'action beaucoup trop élevée, absence d'engagement des parties prenantes envers les plans d'action, peu de mobilisation, participation restreinte des parties

prenantes impliquées, difficulté d'évaluer et de hiérarchiser les impacts des décisions en raison du trop grand nombre d'actions, notamment.

2.3.3 La planification interactive ou participative (*connective planning*)

C'est devant cet état lacunaire des lieux que la *planification interactive*, terme introduit par J. Friedmann dans les années soixante-dix (Proulx, *op.cit.*) a commencé à émerger. La démarche est tout à fait innovante dans la mesure où elle s'effectue au sein de territoires régionaux, voire subrégionaux et ce, par l'entremise d'un processus collectif d'apprentissage continu basé sur l'interaction. Constructiviste par essence, cette forme de planification intègre mieux, par rapport aux approches plus conventionnelles, les différents champs sectoriels, et surtout les préférences sociétaux.

En introduisant ainsi une nouvelle forme de légitimité de l'action publique par la mise en œuvre de processus participatifs allant de la consultation à la concertation, elle s'appuie sur des modes de représentation des groupes d'intérêt, et constitue ainsi une forme de démocratie participative se positionnant en relais et en complémentarité des processus existants de la démocratie représentative (Proulx, *op.cit.*).

La planification interactive se distingue des approches de planification plus « linéaires » par sa logique socioconstructiviste, nous l'avons évoqué, et qui favorise la définition puis la validation en temps quasi réel du contenu planifié, une meilleure appropriation des actions par les acteurs notamment par cette création d'une synergie relationnelle, et finalement, une prise de décisions collectives, beaucoup plus près de la réalité.

Cette forme de planification n'offre pas de structure organique systématique, mais présente plutôt les principes de base suivants :

1. L'intelligence collective est par essence dispersée et éclatée ; la planification interactive doit donc reposer sur une mobilisation sociale élargie ;
2. Les objectifs doivent être induits des problèmes réels vécus plutôt que déduits d'un ensemble de valeurs et de finalités *a priori* ;
3. Elle doit engendrer un processus de prise en main collective grâce au dialogue et à l'échange entre les acteurs de la communauté ;
4. Les échanges entre les parties prenantes doivent être équilibrés c.-à-d. entre la structure et l'évolution, entre l'ordre et le désordre, entre le statique et le dynamique ;
5. Enfin, l'interaction représente la seule possibilité de marier connaissances et actions.

2.3.4 La planification par petits pas

La planification par petits pas (PPP) est un type de planification se situant à mi-chemin entre la planification rationnelle et la planification stratégique. Sur un territoire infranational, les décisions sur les actions concrètes s'effectuent d'une manière éclatée ou disjointe (multiples décideurs) et selon un processus d'améliorations marginales et adaptatives successives et plus rarement par essais — erreurs — corrections.

Au Québec, ce type de modèle est très souvent utilisé dans le cas notamment des modifications des schémas d'aménagement. De nombreuses modifications des schémas ont lieu par ce processus avec l'adoption de règlements de contrôles intérimaires. Ces pièces légales permettent d'introduire rapidement de nouvelles normes ou dispositions entourant la planification territoriale dans le schéma d'aménagement existant, sans passer par l'adoption d'un nouveau schéma. Le processus présente cinq caractéristiques :

- 1) les valeurs et les finalités sont très souvent implicites pour les décideurs territoriaux ;
- 2) il n'y a pas de buts et d'objectifs fixés explicitement, mais plutôt des moyens identifiés et évalués ou à tout le moins réputés adéquats par expérience ;
- 3) les décisions s'appuient sur les résultats des actions passées plutôt que sur la programmation d'options nouvelles ;
- 4) il n'y a pas d'évaluation exhaustive des conséquences des options offertes ;
- 5) la correction de la situation problématique se fait en fonction des moyens disponibles ;

Selon Proulx (2008), et nous partageons son analyse sur ce point, « une grande faiblesse de la planification par petits pas éclatés réside souvent dans son absence de réflexion globale sur les finalités et les buts, ce qui empêche de projeter les planificateurs vers des scénarios de futur désirable ». En conséquence, cette planification se révèle insuffisamment innovatrice, car elle respecte l'ordre existant quel qu'il soit, encourage l'inertie et le conservatisme et ne tient pas suffisamment compte de la conjoncture, de la turbulence et des occasions à saisir éventuellement. Il fut par ailleurs illustré que les tactiques utilisées pour l'accès aux ressources représentent dans la réalité le principal facteur de prise de décisions sur des actions.

2.3.5 La planification environnementale

La *planification environnementale* est une branche de la planification territoriale qui, depuis les années 1970, s'est préoccupée de l'intendance collective d'une société donnée sur ses ressources (Selman, 2000). Les objectifs de la planification environnementale englobent de manière générale l'intégration des considérants traditionnels du développement urbain (ex. : transport, localisation

spatiale, distribution des services) avec ceux des réserves biophysiques à l'origine de la production des biens et services attribuables aux écosystèmes et qui constituent le capital naturel (Boumans et coll. 2002). Cette forme de planification vise le développement futur de l'espace géographique selon des visions autres que celles, purement économiques, concernant la localisation et la gestion, traditionnellement considérées par les urbanistes.

En conclusion, si globalement, le processus de planification doit produire des idées et non pas uniquement de l'information, cela est particulièrement vrai en *planification participative* où tout le processus de planification doit être intégré, un dessein qui passe par une compréhension par les acteurs, et par des outils et procédés menant à la décision. La légitimité des experts est directement tributaire de cet apprentissage social, lequel par ailleurs ne remet pas du tout en cause l'expertise, mais la rend davantage intelligible.

En outre, l'utilisation de la connaissance scientifique demeure toujours prescrite dans ce type de planification bien que celle-ci doit être cadrée en fonction d'enjeux bien définis, préalablement établis. La dérive d'une planification plutôt communicationnelle serait d'évacuer les outils de connaissance et d'évaluation pour donner toute la place aux échanges visant uniquement la concertation entre les parties. Ainsi, la réalisation d'études mandatées par des parties prenantes et ciblées prioritairement sur des enjeux doit être privilégiée, plutôt que de viser à ce que toute l'information soit connue *a priori* (Waub, comm. perso.).

2.3.6 Choix conceptuel

À la lumière de ce qui précède, nous désirons proposer notre modèle de planification territoriale, qui constituera le choix conceptuel que nous ferons pour cette thèse.

D'abord, ce modèle de planification répondra d'une conception intégrée de la réalité et ce en raison de deux éléments. Le premier est la *complexité* intrinsèque des situations auxquelles le praticien sera confronté au cours des prochaines décennies. Cette complexité est attribuable à la nature intimement systémique des questions soulevées par la planification et ce, en raison des innombrables interactions qui existent, à toutes les échelles temporelles et spatiales entre les acteurs, leurs préférences, les composantes du système étudié et les tous les enjeux, effets, impacts et conséquences qui en découlent. Or, nous sommes d'avis que cette complexité ne fera que s'accroître au cours des décennies futures et ce, en phase avec l'évolution *sensu lato* de nos sociétés.

Le second élément est la *diversité* des composantes intrinsèques de la réalité dans laquelle sera appelé à œuvrer le praticien. En effet, l'ensemble du processus de planification du territoire devra prendre en compte les nombreux schèmes de valeurs de parties prenantes distinctes, aux préférences souvent divergentes parfois mêmes hautement polarisées. Ces schèmes préférentiels devront être hiérarchisés de manière à introduire le plus de rationalité possible dans le processus. Cependant, le praticien sera confronté à une nécessaire prise en compte de la subjectivité dans l'ensemble de sa démarche pour se faire. Or, ceci constitue un élément de première importance. En effet, Gendron et coll. (2015) ont établi, par exemple dans le cas du développement des hydrocarbures, que de manière générale dans des exercices de cette nature, les enjeux *perçus* par les populations sont souvent mal distingués des enjeux identifiés dans le cadre d'une démarche scientifique plus objective. Or, ce constat pourrait très bien être étendu à n'importe quelle démarche de planification.

Or, sur ce point, il existe, selon Mintzberg (1994) un clivage est très significatif entre le *processus* de planification tel que pratiquée au cours des 50 dernières années et la *position* de planification. Le premier cas réfère beaucoup plus à

une *programmation* c'est-à-dire à l'élaboration puis à l'articulation d'actions dans un but précis : planification d'usages du sol à des fins de réduction de l'étalement urbain ou de préservation de terres agricoles, revalorisation de territoire dévitalisé pour accroître leur pouvoir attractif, etc. Il s'agit d'un processus beaucoup plus objectif par définition. Dans le second cas, la *position* de planification vise plutôt à « capturer », par un processus d'acquisition des connaissances, une vision globale et idéale vers laquelle tendre en fonction d'un ensemble de paramètres de planification de nature stratégique c.-à-d. qui favorise un *positionnement* d'une organisation dans un contexte évolutif et changeant. Cette *position* de planification est en amont du *processus* de planification et est beaucoup plus subjective par définition que ne l'est celui-ci. Nous suggérons en effet que son caractère systémique intrinsèque est beaucoup affirmé encore que celui d'une simple programmation d'actions, et ce dans la mesure où elle repose (1) sur un processus d'échange entre le planificateur et les parties prenantes et (2) sur la reconnaissance de l'existence d'un environnement — interne et externe — au système étudié.

En vertu de ces éléments, notre choix conceptuel pour un modèle de planification du territoire se définit de manière hybride. D'une part (1) il se situe à l'interface entre une planification *stratégique* c.-à-d. qui permet la hiérarchisation des actions et l'évaluation des impacts des décisions sur le territoire et (2) une *pensée* stratégique, de nature systémique/socioconstructiviste, qui favorise l'émergence d'une ou de visions et qui implique intuition, créativité et souplesse. D'autre part ce modèle hybride s'articule (3) avec une planification *spatiale* c.-à-d. qui englobe des éléments de planifications sectoriels à fort ancrage territorial, sous forme d'actions objectives et quantifiables ; une (4) planification *interactive* qui renvoie à la construction sociale et participative de la finalité même de la planification, soit le lieu commun de convergence entre les valeurs sociétales, les intentions citoyennes et

l'émergence d'un futur concerté. Enfin, notre modèle de planification prend également en compte tout l'environnement (social, biophysique, économique, institutionnel, politique) qui entoure la définition de ce futur partagé. Ce choix conceptuel va déterminer l'ensemble de la méthodologie intégrée que nous allons promouvoir au sein de cette thèse.

2.4 Planification, système et décisions

La planification territoriale consiste « en l'ajout de rationalité à la prise de décision collective aux échelles infranationales de l'État central ». Invariablement, cette action présente fondamentalement quatre dimensions : vision globale ; cadre d'orientation ; dynamique d'interaction ; prise de décisions opérationnelles sur des actions (Proulx, 2008). La *vision globale* appelle à bien saisir les grands enjeux et les grandes tendances socioéconomiques afin de prévoir l'avenir, de réduire l'incertitude face à l'évolution générale de l'environnement. Le *cadre* réfère au document de planification en lui-même et la mise en œuvre de la décision par le schéma d'aménagement et le plan d'urbanisme notamment. L'*interaction*, nous en avons discuté plus tôt, fait référence aux relations sociales. Enfin, la *prise de décisions* débouchant sur des actions est définie, dans le contexte de la planification territoriale, comme la mise en œuvre de quelque chose de nouveau, et pour laquelle l'esprit d'initiative et l'innovation deviennent les principaux déterminants.

Pour un territoire donné, les priorités décisionnelles relativement à l'aménagement du territoire, suivant la planification, peuvent être actualisées et mises en œuvre de trois manières : par la *coercition* (ex. : lois, réglementations, ordres et normes), l'*incitation* (ex. : subventions, fiscalité, tarification, aide technique), et l'indication ou la prescription (ex. : stratégies, orientations, objectifs ciblés). C'est du

moins que notre pratique nous enseigne. Nous reviendrons plus en détail sur cet important aspect plus loin au cours de l'ouvrage.

Nous avons établi plus tôt les raisons principales qui nous ont amenés à situer cette thèse à l'intérieur du paradigme systémique. Ainsi, dans les sections précédentes de ce chapitre nous avons pu apprécier l'intérêt de la transposition de l'isomorphisme structurel de la TSG à notre compréhension des concepts de territoire, d'environnement ainsi que dans la portée des notions de modèles et de modélisation. Par ailleurs, nous avons pu également mettre en perspective les interactions plus élaborées liées aux relations entre les êtres humains et leurs milieux, à partir du point de vue que permet la méthodologie des systèmes souples.

Toutefois, ce cadrage ne nous a pas encore permis d'aborder le problème du choix ou, comme le mentionne Proulx (2008), de la « décision collective » dans le contexte de la planification territoriale et environnementale. Il s'agit d'un aspect fondamental de notre thèse et duquel nous allons maintenant traiter.

2.4.1 Aspects théoriques de la décision

La théorie de la décision dont un des principaux architectes fut Herbert Alexander Simon (DeMarchi et coll. 2012) constitue un corpus de concepts et de techniques d'analyse mathématique qui étudie les décisions d'un agent, le plus souvent un individu, qu'elle suppose rationnel et pris isolément des autres (Mongin, 2009); avec la théorie des jeux et la théorie des choix collectifs, elle fait partie des outils élaborés pour aider à choisir une alternative parmi un ensemble d'alternatives, en considérant les conséquences possibles de ce choix (PCW, 2012). Elle résulte de plusieurs décennies de recherches académiques sur la formalisation du hasard, sur l'étude des jeux de société, sur l'analyse des problèmes économiques et politiques, et, plus récemment, sur les problèmes de gestion, mais aussi sur les fondements

psychologiques de la représentation du comportement humain. Ses applications sont aussi nombreuses et variées dans plusieurs domaines scientifiques notamment en informatique, en gestion, en économie, en sociologie, en psychologie, en sciences politiques, et en sciences de l'environnement, de la plus simple des démarches à la plus complexe.

Dans le contexte qui nous intéresse, nous devons parler de théories de la décision au pluriel puisque celles-ci peuvent être classifiées en deux grandes approches (Roy et Bouyssou, 1993 *in* Maystre et coll. 1994)

1. les approches prescriptives qui, reposant sur une démarche empirique/expérimentale, font l'hypothèse qu'il existe *a priori* dans l'esprit des intervenants pour qui s'adresse l'aide, un système de préférences qu'il s'agit d'appréhender de la manière la plus fidèle possible ;
2. les approches normatives de loin les plus utilisées, sans *a priori* quant à l'existence d'un hypothétique système de préférences dans l'esprit des intervenants, et qui reposent plutôt sur l'émergence de ce système préférentiel à partir d'une situation au demeurant mal définie et peu structurée, par suite d'une « construction » sociale de cette connaissance.

La *décision* vise donc le choix d'une option ou d'un cursus d'actions préférentielles parmi un ensemble d'actions potentielles et élaborées selon certaines des règles de conception. L'élaboration de la décision appartient au *processus décisionnel* qui consiste en l'articulation de trois instances dont la juxtaposition définit une méthode systématique d'investigation vers la finalité qu'est la décision. Ces instances sont : (1) les objectifs de la décision ; (2) un ensemble de choix alternatifs ou de scénarios ; (3) un ensemble de critères de sélection ou décisionnel. Lorsque ces trois instances sont clairement explicitées, le processus décisionnel peut

être convenu et appliqué de manière adéquate et rigoureuse soit par un ou plusieurs décideurs ou encore par un système expert permettant de substituer le ou les décideurs.

La *décision* repose sur l'axiome mathématique du *choix* dont l'énoncé est le suivant : « *Étant donné un ensemble X d'ensembles non vides, il existe une fonction définie sur X , appelée fonction de choix, qui à chacun d'entre eux associe un de ses éléments* » (Wang et Ruhe, 2007) : elle est la plupart du temps fondée sur les connaissances. C'est du moins dans ce sens qu'elle est abordée dans cette thèse.

Cette idée de prendre acte de la connaissance disponible et de bénéficier des apports de la recherche d'information pour la décision n'est effectivement pas nouvelle et est considérée comme valide dans un processus décisionnel. Historiquement, elle a donné lieu à de nombreux courants de pensée rationalistes allant du positivisme d'A. Comte en passant par le néo-positivisme ou empirisme logique jusqu'au constructiviste. Ces courants ont tous en commun la prémisse qu'un énoncé de connaissance est vérifiable par l'expérience (De Marchi et coll. 2012). C'est le cas par exemple de l'EBPM (*Evidence-based policy making*) qui relève d'une approche synthétique du problème en ce sens qu'elle repose notamment sur l'exploration de données (*data mining*) pour la formalisation d'une décision.

Cette approche, de facture assez récente, se révèle toutefois insuffisante dans certains secteurs de gouvernances, tels que ceux de l'administration publique par exemple, au sein desquels la décision et le processus qui la sous-tend sont beaucoup plus complexes socialement parlant que dans de nombreuses autres sphères (finance, ingénierie, etc.) pour lesquelles l'analyse de bases de données et « d'évidences » objectives, sont parfaitement adéquats. (Tsoukias et coll. 2013).

Aussi, en complémentarité avec une démarche synthétique telle que l'avons évoqué plus haut, le processus décisionnel puis la décision doivent s'appuyer sur les apports du jugement, de l'expertise et de l'expérience, des valeurs sociales, environnementales et autres, des habitudes et des traditions des individus, collectivités et institutions. Ces apports participent au processus et constituent ce que DeMarchi et coll. (*op.cit.*) appellent « l'analytique politique ».

2.4.2 L'aide à la décision

Politiques, normes et règlements constituent des mécanismes de régulation importants dans notre société. Ils influencent de nombreux aspects de notre vie individuelle et collective ainsi que toutes nos interactions avec le territoire et l'environnement. Ce contexte est particulièrement vrai dans le domaine de la planification territoriale et environnementale qui est soumise, dans la plupart des sociétés modernes, à un ensemble de règles, de prescriptions et de lois mises en place pour éviter le développement et la mise en valeur chaotique des espaces territoriaux par exemple, au Québec avec la Loi sur la Protection du territoire Agricole du Québec, la Politique de Protection des Rives, du Littoral et des Plaines inondables, les orientations gouvernementales agricoles, la loi sur l'Aménagement et l'Urbanisme du Québec, etc. L'ensemble de ces corpus provient fondamentalement de décisions souvent prises isolément et interreliées par des objectifs, des ressources, des secteurs d'activité, des zones d'intérêt multivariées (DeMarchi et coll. 2014). En outre, ils impliquent et concernent dans la très grande majorité des cas de nombreux acteurs aux préférences parfois divergents, aux attentes et aux besoins polarisés. Depuis quelques années toutefois ce contexte est devenu encore plus complexe : la participation citoyenne aux décisions politiques est beaucoup plus fréquente et plus intéressée ; le besoin d'être informé et d'être partie prenante dans les actions gouvernementales se juxtapose aux changements des valeurs environnementales qui

modifient les attentes sociétales en matière de développement durable. Il s'agit à notre avis d'un contexte qui se prête adéquatement à l'aide à la décision.

Globalement, l'objet de l'aide à la décision consiste en l'élaboration progressive de structures de préférence envers un ensemble d'actions potentielles. L'objectif derrière la démarche n'est pas uniquement de *prescrire* une solution, mais plutôt d'*éclairer* le décideur sur son choix c.-à-d. qu'elles sont les actions qu'il peut éliminer, celles qui doivent être considérées comme adéquates et celles enfin dont les caractéristiques particulières rendent la comparaison difficile avec les autres.

Plus spécifiquement, Roy (1985 *in* Maystre et coll. 1994, p.15), définit l'aide à la décision comme étant « l'activité menée par une personne qui, par l'usage de modèles explicites, mais pas nécessairement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse à des questions soulevées par une partie prenante au cours d'un processus décisionnel. Ces méthodes visent à accroître la cohérence entre l'évolution d'un processus ou d'un système d'une part et les objectifs et le système de valeurs au sein duquel les intervenants se trouvent placés d'autre part ».

Sur le plan opérationnel, l'aide à la décision offre : (1) un cadre d'analyse du contexte qui entoure la décision : acteurs impliqués, actions, conséquences, etc. ; (2) elle organise et structure le processus décisionnel pour faire émerger la cohérence entre ces éléments ; (3) elle amène les acteurs à se concerter ; (4) elle permet d'élaborer un ensemble de recommandations basées sur les extraits de modèles et de procédures informatisées ; et (5) elle permet d'assurer la légitimité de la décision.

Selon Brans et Mareschal (2002), il existe deux grands paradigmes de l'aide à la décision : le paradigme *monocritère* et le paradigme *multicritère*. Dans le premier cas de figure, le problème de décision se présente fondamentalement comme un problème d'optimisation c'est-à-dire comment trouver le meilleur élément d'un

ensemble au sens d'un critère quantitatif donné. Il implique ainsi que la modélisation des préférences⁴ se fait au moyen d'un critère unique qui synthétise à lui seul tous les objectifs du décideur et toutes les conséquences de la décision. Ce genre de problème est généralement bien posé et mathématiquement bien formalisé, car il n'existe qu'une seule solution optimale à laquelle le décideur pourra adhérer s'il estime que cette solution répond aux devis qu'il s'est fixé en regard d'une problématique de choix.

Avant l'apparition de l'analyse multicritère au tournant des années 1980, les problèmes de décision consistaient effectivement et le plus souvent, en l'optimisation mathématique d'un seul critère, souvent une fonction économique (Ben Mena, 2000). Les méthodes cout-bénéfice ou cout-efficience (DCLG, 2009), par exemple, constituent des approches de ce type parmi les plus connues. Si elles sont l'objet d'une formalisation adéquate du point de vue mathématique, elles demeurent très éloignées de la réalité, laquelle est caractérisée par une pluralité de points de vue, d'acteurs, d'interactions et d'actions. Cette démarche unicritère est ainsi peu adaptée à la résolution des problèmes multiacteurs complexes. Elles sont toutefois toujours utilisées (Farley et Costanza, 2010) et présentent des avantages : elles reposent souvent sur un déterminant fondamental de nos sociétés, c'est-à-dire l'argent comme unité d'équivalence des biens, des services ; en ce sens, elles offrent un formalisme quantitatif tangible des impacts des décisions, lequel est fort prisé par les

⁴ Le concept de *préférence*, central en AMCD, fait partie du corpus conceptuel des sciences économiques, notamment en théorie du comportement du consommateur dans laquelle il occupe, avec la notion de choix, une place cardinale. Succinctement, la préférence pourrait être définie comme un ensemble de règles cognitives qui concourent à la production d'un *choix*, lequel est basé sur le degré de bonheur, de satisfaction, de gratification, de jouissance ou d'utilité qu'il peut procurer, pour un agent. Conséquemment, l'individu agira, consciemment ou non, de manière à maximiser son choix, satisfaisant ainsi ses préférences de la manière la plus optimale possible. Le lecteur pourra se référer aux travaux de Arrow, Sen et Suzumora (2011) afin d'obtenir un exposé plus détaillé sur le concept de préférence et sur la théorie du choix social.

administrations publiques au moment de justifier une décision par rapport à une autre (Pearce et coll. 2006).

Cette approche est bien adaptée pour certains problèmes techniques. Elle présente toutefois des limitations très importantes dans nombres cas où le facteur humain est intégré dans le problème comme c'est le cas dans les systèmes socioécologiques au sein desquels les conséquences des décisions sont suffisamment complexes voire imprévisibles, pour qu'un seul critère puisse suffire à appréhender adéquatement toute l'information nécessaire à la comparaison globale des actions (Martel, 1999). En outre, selon Brans et Mareschal (2002), la notion de critère et la relation de dominance qui lui est associée dans l'approche monocritère sont peu souples et ne laissent place à aucune nuance dans l'intensité de la préférence d'un acteur pourra avoir. Il y aura soit préférence, soit indifférence envers un critère, ce qui est rarement le cas dans les problèmes à fort ancrage social.

Aussi, quelle que soit la manière par laquelle des éléments de réponse sont apportés à des questions ayant pour objet d'éclairer une décision, il est nécessaire de s'intéresser aux conséquences qu'entraîne la mise en œuvre de chacune des actions envisagées. En outre, les notions de critère et de relation de dominance doivent être enrichies et nuancées pour refléter la réalité selon laquelle il existe, dans un problème décisionnel impliquant des acteurs sociaux, plusieurs points de vue de nature conflictuelle,

L'approche *multicritère* diffère de la précédente notamment par la modélisation des *préférences* du décideur. Elle admet ainsi ce spectre de points de vue conflictuels susceptibles de structurer la décision. Par la construction de plusieurs critères (ex. emploi, profits et couts, respect de l'environnement, développement durable, durabilité, etc.) et de groupes de critères (sociaux, culturels, économiques,

environnementaux, éthiques, etc.) elle permet d'acquérir et de préserver un maximum d'information sur la situation problématique ce qui favorise l'évaluation objective de la situation.⁵ Enfin, sa nature socioconstructiviste favorise le débat et l'émergence de rationalité.

Ce genre de situation multicritère est généralement bien formalisée, mais présente de très sérieuses limitations opérationnelles (Brans et Mareschal, 2002). Parmi celles-ci, l'impossibilité mathématique d'optimiser plusieurs critères simultanément telle que le souhaite le décideur au moment de la prise de décision dans un problème multicritère. Toutefois, il n'existe pas dans un problème de cette nature, de solution optimale ; en effet (1) il est mathématiquement impossible d'optimiser tous les critères du problème en même temps ; (2) il existe toutefois un ensemble de solutions de compromis en vertu duquel le décideur pourra choisir la solution qui lui apparaît la plus adéquate en vertu du contexte de son problème.

2.4.3 L'aide multicritère à la décision ou AMCD

L'aide multicritère à la décision est un des domaines de la recherche opérationnelle ayant connu la plus forte progression au cours des deux dernières décennies (Behzadian et coll. 2009). Ces approches ont été très largement utilisées depuis plus de 30 ans dans plusieurs domaines de recherche notamment en gestion territoriale et environnementale des ressources naturelles, en logistique du transport et en gestion financière. Elles appartiennent au domaine de l'ingénierie de la décision

⁵ Selon Roy (2005), l'objectivité totale du processus est un artefact de l'approche et qui est totalement dépendant du relativisme, politique ou organisationnel du contexte dans lequel l'AMCD est performée. Figueira et coll. (2005) rappellent en effet que dans plusieurs cas d'analyse multicritère, il y a une prise de position, consciente ou non et *a priori*, en faveur d'une action sur une autre. En outre, dans un contexte réel d'aide à la décision, la ligne qui sépare ce qui est faisable de ce qui n'est pas faisable est floue et mutable la plupart du temps. Par ailleurs, même l'objectivité du décideur peut parfois être mise en doute sur la base de sa propre arbitrarité, de son ambivalence ou de l'ambiguïté de ses schémas cognitifs. Enfin, plusieurs données peuvent parfois s'avérer imprécises, incertaines ou mal explicitées. On comprend dès lors à la lumière de ces contraintes la rationalité limitée de l'approche.

dont un des plus prolifiques contributeurs est Bernard Roy. Ses très nombreux travaux, notamment *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* publiée en 1985, ont fait école en Europe et ont donné naissance aux nombreuses démarches d'aide à la décision (David et Damart, 2011).

L'approche multicritère en aide à la décision présente deux avantages significatifs par rapport aux approches monocritères (Maystre et coll. 1994) : elle améliore la transparence du processus décisionnel, et elle définit, précise et met en évidence la responsabilité du décideur. Prenons exemple sur un problème de planification territoriale. Dans ce genre de contexte, le décideur doit optimiser l'utilisation durable du territoire en vertu d'un ensemble de critères de nature environnementale, sociale, économique, politique, etc. L'objectif principal du décideur sera d'identifier un ensemble d'actions potentielles parmi plusieurs et qui optimisent *à la fois* tous ces critères, dans l'intérêt primordial des impératifs évoqués précédemment. Dans le contexte qui nous intéresse, cela signifierait qu'il doit identifier et choisir parmi plusieurs actions, la meilleure solution qui pourrait à la fois satisfaire les conditions, contraintes, potentiels, perceptions, croyances et intentions de tous les acteurs en vertu de tous les critères établis au préalable.

2.4.3.1 Contexte multiacteurs, concepts et notions fondamentales de l'AMCD

Simplement posé, selon Roy (1985, p.42) un individu ou un groupe d'individus est *acteur* d'un processus de décision si, par son système de valeurs, il influence directement ou indirectement la décision. Par ailleurs, un groupe d'individus peut être identifié comme un seul et même acteur, si le système de valeurs, les systèmes informationnels et réseaux relationnels des divers membres du groupe sont uniforme et non différenciables.

Une zone d'influence dans le processus est occupée par un type particulier d'acteur, c'est-à-dire l'*intervenant* dont la fonction sera d'interpeller et d'influencer le décideur en raison de ses valeurs et donc de son système de préférences ; les organismes de l'administration publique responsables de la gestion de l'environnement et des domaines concernés par la décision, la société civile (organisations non gouvernementales et associatives les groupes de préférences et les groupes de pression), les experts (institutions universitaires et de formation, bureaux de consultants nationaux et internationaux, etc.) et le secteur privé (investisseurs et organismes privés ou parapublics tirant profit de l'exploitation des produits et services concernés par la décision), constituent habituellement les intervenants.

Le *décideur* est la personne à qui s'adresse la décision. Son rôle est capital dans tout le processus et il est celui qui pourra apprécier les finalités de la décision principalement en maintenant la prévalence de son jugement sur l'ensemble le processus, de la définition du problème jusqu'à la justification de la décision.

Enfin, les acteurs *latents* interviennent dans le processus, bien qu'ils ne soient pas concernés par les conséquences de la décision, comme c'est le cas d'une personnalité politique importante (Roy, 1985 *op.cit.*).

2.4.3.2 Démarche d'aide multicritère à la décision

Selon Roy et Bouyssou (1993), toute démarche de l'aide multicritère à la décision structure le processus décisionnel en quatre phases au cours desquelles les questions décrites ci-dessous sont analysées :

Phase 1 : Définition de l'objet de la décision. Sous quelle forme convient-il de modéliser la décision ? Comment différencier les différentes possibilités d'action ? Quel est le type de problématique envisagée : choix, tri ou rangement ?

Phase 2 : Analyse des conséquences et élaborations des critères. Quelles sont les conséquences des décisions possibles susceptibles d'interférer avec les objectifs et systèmes de valeurs d'un intervenant versus un acteur ? Comment formaliser ces conséquences et discriminer ces conséquences ? Comment construire les critères capables de prendre en compte ces conséquences ?

Phase 3 : Modélisation des préférences globales et approches opérationnelles pour l'agrégation des performances. Comment sélectionner les critères qui permettent le mieux d'appréhender la totalité des conséquences ? Que convient-il d'exiger d'une telle de famille de critères pour qu'elle joue son rôle dans le travail d'étude proprement dit, tout en constituant une base de dialogue acceptable par les divers intervenants ? Quelles informations ayant trait, par exemple, à l'importance des critères est-il opportun de faire intervenir ? Comment agréger les performances d'une action sur les divers critères pour la déclarer bonne ou mauvaise, meilleure ou pire qu'une autre ?

Phase 4 : Procédure d'investigation et élaboration de la recommandation. Comment à partir du travail qui a été fait précédemment est-il possible de fournir des réponses, voire élaborer des recommandations ? Ces quatre phases de travail correspondent succinctement aux trois étapes résumées par Brans et Mareschal (2002). Elles sont décrites ci-dessous.

1. Identification des décisions potentielles. Si un problème de décision se pose, la première question est de savoir quelles sont les décisions (solutions ou actions) possibles. Il s'agit donc de construire l'ensemble A des actions potentielles. Dans le cas qui nous intéresse ici, il s'agit de quatre *scénarios* de planification du territoire.

2. Discrimination entre les actions potentielles. Le modèle doit donc être doté d'un instrument permettant de différencier les solutions. C'est l'étape de la modélisation des *préférences* du décideur (ou des acteurs).

3. Élaboration de la procédure mathématique d'analyse. Selon les problématiques (choix, rangement, tri), le décideur souhaite respectivement choisir la meilleure action dans A ; le décideur souhaite ranger les actions potentielles de la meilleure à la moins bonne ; le décideur souhaite classer les actions potentielles dans des catégories prédéfinies. La problématique β avec classement des alternatives « de la meilleure à la moins bonne » et résultant de l'agrégation des préférences constitue une des problématiques fondamentales de l'aide multicritère à la décision, et celle que nous allons privilégier dans le cadre de cette thèse. Il est important de noter qu'en planification territoriale et environnementale, le décideur unique n'existe pas, la décision (prise au sens large ici et portant sur des scénarios de planification du territoire et de l'environnement) est généralement entérinée minimalement par trois instances : les MRC, les ministères et le gouvernement⁶. Par ailleurs les acteurs, et tous les intervenants promeuvent des points de vue distincts et souvent conflictuels. Ils adhèrent à des positions et des préférences rarement consensuelles. Cette situation multiacteurs implique d'enrichir le processus d'analyse notamment en ajoutant un ensemble d'opérations et de procédures spécifiques au contexte et au problème, et qui visent à

⁶ Voir section 3.3.3

enrichir la formalisation du problème étudié (Roy et Bouyssou 1993 ; Kourouma 2005). Ces opérations et procédures (a) la recherche active d'acteurs ; (b) l'exploration du domaine des actions (options ou scénarios) possibles quant aux objectifs ; (c) l'identification des enjeux et leur traduction pour construire un ensemble restreint de critères ; (d) l'évaluation des critères (information intracritère, choix des indicateurs, échelles de mesure, structures de préférence) ; (e) la formalisation des systèmes de valeurs (information intercritère, pondération des critères) ; (f) l'agrégation des performances et la modélisation des systèmes de préférences globales, en tenant compte des convergences et des divergences exprimées par rapport à autre ; (g) la construction d'un groupe robuste de solutions par analyse de sensibilité et de robustesse.

2.4.3.3 Notions fondamentales de l'aide multicritère à la décision

L'application de l'aide multicritère à la décision repose, sur trois grands concepts fondamentaux (Roy, 2005) :

1. les actions ou scénarios (a) et l'ensemble des actions (A) ;
2. le critère (g) et la famille de critères (F) ;
3. la problématique (P).

L'**action** (nous dirons ici indifféremment scénarios) désigne l'objet de la décision, ce vers quoi l'aide à la décision est destinée : un lieu, un individu, un projet, une technologie, un plan, etc. Elle émerge sans aucun *a priori* quant aux moyens entourant sa mise en œuvre, tant qu'elle existe et est possible. Elle peut être réelle ou fictive et simulée. Elle est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale, susceptible, eu égard à l'état d'avancement du processus de décision, d'être envisagée de façon autonome et de servir de point d'application à

l'aide à la décision. L'action est avant tout, *potentielle* (Brans et Mareschal, 2002 ; Samoura, 2011) ; elle fait partie de l'ensemble actions possibles qui seront évaluées par le décideur. Elles sont formulées par l'analyste, qui doit s'appuyer sur la littérature, l'expérience et l'expertise disponibles en vue de proposer des actions potentielles réalistes. Suivant l'approche méthodologique utilisée pour le processus d'élaboration des actions potentielles cette formulation peut être participative (implication des parties prenantes), ou rester l'apanage du seul décideur et de son analyste.

En plus des *actions potentielles*, on définit aussi les *actions efficaces* c'est-à-dire des actions potentielles qui ne sont pas dominées par une autre. Ainsi, en considérant les $a_1 a_2 a_3 \dots a_j a_k$ comme une série d'actions possibles définies selon une série de critères (1, 2, 3... i, j) et $f(a_j)$ et $f(a_k)$ comme la fonction de dominance de l'action a sur le critère i et j , la relation de dominance est basée sur le fait qu'une action a_j domine une action a_k sur un critère si et seulement si $f(a_j)$ est supérieur à $f(a_k)$ pour ce critère (Brans et Mareschal, 2002 ; Simos, 1990). Enfin, l'action de *référence*, comme son nom l'indique, est l'action qui sert de référence dans l'étude et par rapport à laquelle les actions potentielles sont évaluées.

Lorsqu'un problème de décision se pose, la première tâche de l'analyste est de construire un espace A d'actions potentielles soient l'ensemble de décisions, solutions ou actions possibles (termes utilisés ici de manière indifférenciée comme l'admettent Brans et Mareschal, 2002). Selon la problématique de décision posée, les actions pourront être nommées *alternatives*, *options* ou *scénarios*. Lorsque le nombre d'actions est fini, l'ensemble A des actions est défini par :

$$A = \{a_1 a_2 a_3 \dots a_m\}.$$

Cet ensemble n'est pas stable et peut évoluer tout au long du processus d'aide à la décision. Cette évolution émane de l'environnement d'étude, mais également de l'étude elle-même du problème qui permet d'apporter de nouveaux éléments de réflexion, de revoir l'intégrité ou la validité des données de base et partant de modifier la limite entre ce qui est possible de ce qu'il ne l'est pas (Figueira et coll. 2005). En ce qui nous concerne, la décision est le choix d'un scénario d'affectation territoriale, parmi un ensemble fini.

Considérant la nature socioconstructiviste du processus de modélisation de la décision, le nombre des actions potentielles est évolutif. Aussi, il s'agit d'un processus itératif, qui peut se transformer selon les besoins exprimés par les acteurs durant la démarche, et qui s'enrichit d'informations et de données nouvelles. Cela permet une validation constante et presque en temps réel du modèle décisionnel et lui confère en ce sens, une certaine solidité en regard des questionnements qui pourraient survenir sur sa valeur d'analyse pour un problème donné. Les **critères** résument, à l'aide d'une fonction ou encore d'une valeur discrète, les évaluations d'un scénario sur divers aspects du problème de décision qui se rattachent à un même axe de signification. Le critère agit donc comme une traduction opérationnelle d'un point de vue et par lequel un scénario peut-être comparé à un autre. Chaque critère évalue l'impact cumulatif de toutes les dimensions qui définissent chacun des scénarios c.-à-d. dimensions environnementales, sociales, économiques, politiques, éthiques, etc. On parle alors de *performance* d'un scénario en regard d'un critère. Elle est définie par $g(a)$. Sa définition facilite l'atténuation des conflits en ce sens qu'elle permet d'explicitier les préférences des acteurs, celles-ci définissant ce point de vue (Roy et Bouyssou, 1993). Le critère doit être fiable, dans sa nature, dans le temps et l'espace et doit être monotone c'est-à-dire que sa signification originale ne doit pas changer par l'ajout d'informations supplémentaires (Maystre et coll. 1997).

La *construction des critères* est une étape cruciale dans une démarche d'analyse multicritère en raison de son implication dans la traduction des points de vue des acteurs et de l'enrichissement de la connaissance sur ceux-ci. Elle répond aux phases que Samoura (2011) a décrites et qui sont reprises ci-dessous :

- a. Identification des enjeux majeurs. L'enjeu désigne la valeur prise par une fonction ou un usage, un territoire, un milieu en regard des préoccupations écologiques, économiques, sociologiques, patrimoniales ou autres manifestées par les acteurs. Il s'agit donc des biens, services, valeurs et fonctions d'un système socioécologiques *dont la perte ou la dégradation n'est pas acceptable pour un ou plusieurs acteurs*. Les enjeux les plus préoccupants ou enjeux majeurs sont analysés pour produire une liste d'objectifs visant à minimiser les externalités et impacts négatifs ou à maximiser les externalités positives. L'identification des enjeux peut se faire sur la base de revues de littérature et du jugement d'experts ; elle peut également faire l'objet une démarche participative sous la forme de consultation publique. Les préoccupations soulevées par les différentes catégories d'acteurs sont ensuite synthétisées pour produire une liste restreinte d'enjeux qu'il est possible de documenter à partir de la littérature et des expériences pertinentes dans le domaine concerné.

- b. Formulation des critères. La formulation des enjeux sous forme de critères repose sur trois exigences et trois principes (Roy et Mousseau, 1996 ; Brans et Mareschal, 2002 *in* Samoura, 2011). En termes d'exigence, les critères choisis doivent bien décrire l'objectif ou l'impact concerné ; ils doivent être discriminants pour les actions potentielles et doivent être mesurables. De plus,

l'analyste devra respecter les trois principes suivants dans son choix final des critères (Roy 1985 *in* Samoura, 2011) :

1. principe d'exhaustivité : tous les critères devant refléter le plus fidèlement possible le contenu mesurable de tous les enjeux ou des préoccupations ;
 2. principe de cohérence : entre les préférences locales de chaque critère et les préférences globales ; le choix des critères devant être partagé par tous les acteurs à tous les niveaux ;
 3. principe de non-redondance : les critères devant être uniques et non corrélés entre eux afin d'éviter tout biais d'interprétation par l'analyste.
- c. Élaboration des indicateurs et de l'échelle de mesure du critère. Pour chaque critère, un ou plusieurs indicateurs sont identifiés. Les *indicateurs* sont des paramètres mesurables qui permettent de décrire l'évolution des actions en fonction du critère considéré. La notion de critère nous amène également à la question des échelles de mesure des critères, selon lesquelles les préférences des acteurs pour une alternative sont ordonnées. L'échelle *cardinale* s'applique aux mesures quantitatives des critères ; elle accepte tous les types de relations arithmétiques : plus grand, plus petit, plus grand ou égal, inférieur ou égal, différent de, égal. L'échelle de mesure *ordinaire* s'applique plutôt aux mesures qualitatives des critères lorsque celles-ci n'acceptent que deux formes de relations : une relation symétrique ou de type « égal à » (autant que) et une

relation asymétrique ou de type « plus que » ou « moins que » et qui sert à illustrer l'intensité de la préférence des acteurs. Les deux types d'échelles peuvent se combiner dans un modèle décisionnel pour une même alternative. Enfin, l'échelle *nominale* est non ordonnée et permet la mesure de critères dans des catégories exclusives parfois binaires (c.-à-d. oui ou non).

- d. Pondération des critères. Les préférences relatives d'un acteur pour les différents critères doivent tenir compte de son système de valeurs. Or, il est clair que, dans un contexte de planification territoriale et environnementale, les préférences des acteurs concernés peuvent être divergentes sinon fortement polarisées. Plusieurs points de vue sont confrontés au cours de la démarche et la nature conflictuelle de ces points de vue fait que les acteurs n'ont que rarement les mêmes objectifs ou encore ne considèrent pas les objectifs de la même façon. Leurs préférences pour chacun des critères ne sont pas forcément les mêmes et chaque acteur impliqué dans le processus est appelé à faire sa propre pondération des critères en vertu de l'importance relative qu'il leur accorde.

La **problématique décisionnelle** est le dernier des trois concepts fondamentaux de l'aide multicritère à la décision. Le terme fait référence à l'objet d'analyse par l'expert au cours du processus de décision (Schärlig, 1985) :

- $P\alpha$: sélection d'une action ou d'un ensemble d'actions parmi les « meilleures » ;
- $P\beta$: tri et le classement d'un ensemble d'actions possibles ;
- $P\gamma$: rangement des actions les unes par rapport aux autres.

Dans le cas d'une problématique *alpha* ou problématique de choix, le décideur sera appelé à rechercher et à identifier un sous-ensemble de A le plus restreint possible et contenant la meilleure ou le meilleur groupe d'actions. Les variantes de tracés ou de localisation constituent un exemple typique de problématique *alpha*. Dans le cas d'une problématique *bêta*, le décideur cherchera plutôt à trier puis à affecter différents sous-ensembles de A à des classes nominales, c.-à-d. bonnes, moins bonnes, envisageables, à rejeter, conflictuelles, consensuelles, etc. qu'il aura lui-même définies de manière arbitraire *a priori* ou encore *a posteriori* suite à l'agrégation de préférences. Cela correspond par exemple à l'identification de scénarios de planification en regard de leurs impacts possibles sur un caractère particulier de la décision (consensuel, conflictuel, *environmentally friendly*, etc.). Enfin, la problématique *gamma* consiste à ranger les alternatives selon un gradient de préférence «de la meilleure à la moins bonne» et établit, contrairement à la problématique *bêta*, de manière non arbitraire, mais plutôt formelle, à partir de l'agrégation des préférences. Il est à noter que comme pour l'ensemble du processus décisionnel dans sa globalité, la ligne de partage entre ces trois types de problématiques décisionnelles est parfois éminemment ténue.

2.4.4 Méthodes d'analyse multicritère.

Selon Brans et Mareschal (2002), il n'existe pas de méthode idéale pour traiter les problèmes multicritères et il appartient au décideur de choisir la méthode qu'il préfère en fonction de la clarté et de la pertinence des informations que celle-ci met à sa disposition, et de la nature du système anthropique considérée. Rappelons qu'un problème multicritère, s'il est généralement bien formalisé par le décideur, demeure mal posé au sur le plan mathématique en raison de l'impossibilité de trouver une solution optimisée au problème. Il est effectivement impossible d'optimiser tous les critères d'un problème en même temps. Aussi, les méthodes multicritères permettent

de délivrer des solutions de compromis, à défaut de pouvoir apporter une solution optimale, mathématiquement parlant. En ce sens, elles permettent de rendre cohérent un problème qui, à première vue, ne l'est pas pour le décideur. Il existe trois grandes familles de méthodes multicritères :

- 1) les méthodes d'agrégation,
- 2) les méthodes interactives,
- 3) les méthodes de surclassement.

À cette première et originale classification de Brans et Mareschal (*op.cit.*), Figueira et coll. (2005) rajoutent les méthodes dites *multiattributs*. D'autres approches à base de logique floue et de règles empiriques de décision ont également été documentées, mais demeurent marginales. Pour les besoins de cette thèse, nous allons faire porter notre propos sur la dernière catégorie, soit celle des approches de surclassements. Ces approches sont utiles lorsqu'un critère au moins n'est pas quantitatif, lorsque les unités des critères sont très hétérogènes et que leur codage en une échelle commune est difficile et lorsque des seuils de préférence ou de veto doivent être pris en compte (Mousseau, 2009).

Les principales méthodes ou familles de méthodes appartenant à l'approche de surclassement sont Electre, Oreste, Qualiflex et PROMETHEE et GAIA. Ces méthodes se sont développées en Belgique et en France, vers la fin des années soixante, principalement sous l'impulsion de Bernard Roy, en réponse aux difficultés rencontrées avec les deux premières approches dans le traitement de problèmes multicritères pratiques. En effet, dans le domaine de la planification du territoire et de la gestion environnementale, dans ce domaine, de nombreux aspects présentent un ou des caractères qualitatifs. Il importe donc d'utiliser des méthodes qui tiennent compte de cette caractéristique. En outre, les exemples de gestion du territoire traités par les

méthodes de surclassement sont beaucoup plus nombreux. Il nous apparaît ainsi plus intéressant d'utiliser ces méthodes. Enfin, ces méthodes sont plus simples d'approche et ne nécessitent pas de logiciels complexes et coûteux, requérant une longue courbe d'apprentissage (Mena, *inédit*). Pour ces raisons, nous avons préféré les méthodes de surclassement.

Les méthodes PROMETHEE I, II et III, utilisées dans cette thèse, sont des méthodes de surclassement, développées par Brans et présentées pour la première fois à l'Université Laval en 1982. Depuis ce temps, elles n'ont cessé de faire l'objet de développements et d'adaptations complémentaires (Brans et Mareschal, 2005). Ces méthodes sont fondées sur la comparaison des scénarios deux à deux et sur l'utilisation d'informations supplémentaires acquises auprès du décideur ou des acteurs. Ces informations permettent de prendre en compte d'une part, leur perception des échelles (fonctions de préférence) et une pondération des critères. Une structure de préférence est construite à partir de la mesure de l'intensité de la préférence $P(a, b)$ d'un scénario a par rapport à un scénario b , sur chaque critère au moyen d'une fonction $p(d)$ où d représente la différence des évaluations $g_{(a)} - g_{(b)}$ sur le critère considéré. Ainsi, pour un critère donné, une valeur $P(a, b) = 0$ traduit la non-préférence de a sur b (indifférence entre a et b); une valeur $P(a, b) = 1$ traduit la préférence forte de a sur b ; les valeurs intermédiaires croissantes entre 0 et 1 traduisant une préférence d'abord faible puis de plus en plus marquée pour a . Les méthodes PROMETHEE et GAIA. Elles s'adressent à un problème multicritère du type :

$$\text{Max } \{f_1(x), f_2(x) \dots f_j(x) \dots f_k(x) \mid x \in A\}$$

Où A est un ensemble fini énuméré de n actions potentielles et $f_j(\dots)$, $j = 1, 2, \dots, k$ critères qui sont des applications de A sur l'ensemble des nombres réels. Chaque

critère est assorti d'unités propres. Il n'y a pas d'objection à considérer le cas où certains critères sont à maximiser et d'autres à minimiser. Les données relatives à un tel problème peuvent être présentées sous forme d'un tableau comprenant $n \times k$ évaluations.

La méthode repose sur trois étapes fondamentales dont deux contribuent à l'enrichissement de la connaissance du problème.

1. Enrichissement de la structure de préférence : étape au cours de laquelle une fonction de préférence est sélectionnée pour chaque critère afin de tenir compte de l'amplitude des écarts entre les évaluations sur chacun des critères. Cet aspect fondamental de la démarche repose sur le postulat que les décideurs procèdent toujours en comparant des évaluations et attribuant des préférences aux *écarts* observés sur chaque critère et non sur leurs valeurs absolues. Par ailleurs, la fonction de préférence permet de standardiser les écarts entre les évaluations et ainsi d'éliminer tous les effets d'échelle liés aux unités dans lesquelles les critères sont exprimés.
 - a. La méthode propose six types de fonctions de préférence (Figure 2.1). Le choix d'une fonction de préférence est laissé à la discrétion de l'analyste en fonction de sa connaissance du problème. Par ailleurs, pour chaque critère, ces fonctions nécessitent la détermination d'un seuil d'indifférence, q , et d'un seuil de préférence stricte, p ; ou d'un paramètre s (Brans et Mareschal, 2002) et qui est établi de manière conjointe par l'analyste, le décideur et les acteurs.
 - b. Le paramètre q consiste en la plus grande déviation possible pouvant être « supportée » par une action avant de voir sa préférence modifiée ;

le paramètre p consiste en la plus petite déviation pouvant générer une modification de l'indifférence vers une préférence stricte.

- c. La sélection du type de fonction de préférence associée à un critère ou *critère généralisé* joue un rôle très important dans le processus d'analyse. Ce choix permet au décideur d'amplifier ou d'atténuer l'impact de ce critère sur le processus de décision.

2. Enrichissement de la relation de dominance : une relation de surclassement évaluée tenant compte de l'ensemble des critères est proposée. Pour chaque paire d'actions, un degré de préférence global d'une action sur l'autre est établi. Un indice de préférence multicritère $\pi(a, b)$ de a sur b et variant de 0 à 1 est ensuite défini en tenant compte de tous les critères et du poids normalisé ($w_i > 0, i = 1, \dots, k$) associé à chacun des critères :

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^k w_i P_i(a, b) \quad \left(\sum_{j=1}^k w_j = 1 \right)$$

La pondération des critères est extrêmement importante. Elle est propre à chaque décideur et représente ce que Brans et Mareschal (2002) appellent *l'espace de liberté* du décideur ou encore le *libre arbitre*. Il s'agit de nombre réel, sans unités et fixé par le décideur. L'indice de préférence multicritère π fournit le degré de préférence du décideur pour une action par rapport à une autre tout en envisageant l'ensemble de tous les critères. Il définit une relation de préférence évaluée sur A , à valeur sur $[0, 1]$. Si $\pi(a, b)$ est proche de 0 (ou respectivement 1) nous sommes en présence d'une préférence faible (ou respectivement forte) de a sur b sur l'ensemble des critères.

Cette relation de dominance va être exploitée dans les différentes méthodes de la famille PROMETHEE au moyen de flux de surclassement. Dans PROMETHEE I et PROMETHEE II, la relation de surclassement (*outranking*) est la composante fondamentale. Cette relation peut être définie de la façon générale suivante : face à deux actions a et b , a surclasse b , c'est-à-dire que a est au moins aussi bonne que b sur une majorité de critères sans être trop nettement plus mauvaise relativement aux autres critères (Roy, 1985 ; Ben Mena 2000).

Deux flux sont calculés afin de mesurer cette relation de surclassement entre deux actions : le flux sortant ou $\varphi^+(a)$ qui mesure le caractère surclassant de l'action ou encore sa puissance. Le flux entrant ou $\varphi^-(a)$ qui mesure le caractère surclassé de l'action ou encore sa faiblesse (Brans et Mareschal, 2002).

Le flux de surclassement **positif** exprime de combien une action a surclasse une autre ; plus la valeur du flux est élevée, plus l'action surclasse les autres actions potentielles. En d'autres termes, une action est d'autant meilleure que son flux sortant est élevé.

Le flux de surclassement **néгатif** exprime combien une action (a) est surclassée par toutes les autres ; plus la valeur du flux est élevée, plus l'action est surclassée par les autres. Autrement dit, une action est d'autant meilleure que son flux sortant est faible.

Le bilan des deux types de flux est désigné par le flux de surclassement **net**. Celui-ci exprime le bilan des flux entrant et sortant de l'action. Plus $\varphi(a)$ tel que $\varphi(a) = \varphi^+(a) + \varphi^-(a)$ est grand, meilleure est

l'action. Ce flux net peut être positif ou négatif. S'il est positif, l'action surclasse davantage les autres qu'elle n'est elle-même surclassée et à l'inverse si le flux est négatif.

PROMETHEE I exploite ces flux afin de ranger les actions de la meilleure à la moins performante tout en tolérant les incomparabilités entre les actions. Il s'agit ici d'un rangement *partiel* en ce sens qu'il ne permet pas toujours d'identifier l'action la meilleure parmi toutes les autres puisque toutes les actions sont comparables et comparées. Dans PROMETHEE I, certaines actions restent ainsi incomparables (*I*). Cette incomparabilité est nécessaire et doit être considérée. Elle permet ainsi au modèle de ne pas « décider » si l'information est insuffisante. Deux rangements des actions sont déduits des flux de surclassement positif et négatif, respectivement (S^+, I^+), et (S^-, I^-)⁷. Ainsi :

$a S^+ b$ ssi $\varphi^+(a) > \varphi^+(b)$: *a surclasse b*

$a I^+ b$ ssi $\varphi^+(a) = \varphi^+(b)$: *a est indifférente de b*

$a S^- b$ ssi $\varphi^-(a) < \varphi^-(b)$: *a est surclassée par b*

$a I^- b$ ssi $\varphi^-(a) = \varphi^-(b)$: *a est indifférente de b*

Le rangement partiel de PROMETHEE I est l'intersection de ces deux rangements sachant que *P*, *I* et *R* dénotent respectivement la préférence, l'indifférence et l'incomparabilité. Ainsi :

$a P b$ ssi $a S^+ b$ et $a S^- b$, $a S^+ b$ et $a I^- b$, $a I^+$ et $a S^- b$

⁷ *S* = Surclassement, *I* = Indifférence

C'est-à-dire que a est préférée à b dans la mesure où a est plus puissante et à la fois moins faible que b . L'information fournie par les deux flux est sûre.

$a I b$ ssi $a I^+ b$ et $a I^- b$

Dans ce cas, les deux actions sont indifférentes, en termes de préférence.

$a R b$ dans tous les autres cas.

Dans ce cas, une plus grande puissance d'une action est assortie à une moindre faiblesse de l'autre. L'information fournie par les flux est contradictoire. Cela arrive lorsque l'action a est nettement meilleure que b sur certains critères et que b est nettement meilleure sur d'autres. Les actions sont donc incomparables de telle sorte qu'un jugement arbitraire sera requis par le décideur pour trancher.

Avec PROMETHEE II, l'incomparabilité R des scénarios n'est pas admise, tous les scénarios sont comparables et comparés de telle sorte que seules les actions aux préférences clairement établies sont étudiées. Les actions incomparables sont rejetées. PROMETHEE II fournit ainsi un rangement complet des actions, si tel est le besoin requis par le décideur et si ce dernier désire obtenir un degré de confiance de plus dans la décision qu'il prendra. En d'autres termes, PROMETHEE II permet au décideur de conforter sa décision tout en lui évitant d'être confronté à des situations insolubles (c.-à-d. des actions qui ne peuvent pas être considérées étant donné qu'elles sont antithétiques et ne peuvent répondre que partiellement à ses préoccupations en vertu de groupe de critères ou d'autres). Selon Brans et Mareschal (2002), si le rangement par PROMETHEE II est plus facile à interpréter, son contenu est information est moins riche du fait de la disparition de l'incomparabilité des

actions. Elles peuvent dès lors, être plus discutables. La méthode fait appel au calcul d'un flux de surclassement Φ net pour chaque action tel que :

$$\Phi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

$$\Phi(b) = \varphi^+(b) - \varphi^-(b)$$

Ainsi,

a P b ssi $\Phi(a) > \Phi(b)$: a surclasse b

a I b ssi $\Phi(a) = \Phi(b)$: a est indifférente de b

3. L'élaboration de la démarche d'analyse multicritère doit permettre de fournir au décideur trois informations fondamentales :

- 1) un scénario *a* est préféré à un scénario *b* ;
- 2) les scénarios *a* et *b* sont indifférenciés quant à leur degré de préférence par les acteurs ;
- 3) les scénarios *a* et *b* ne sont pas comparables.

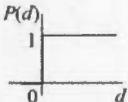
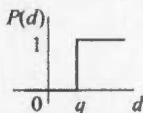
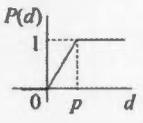
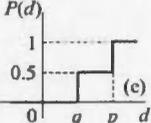
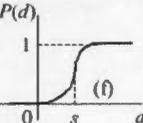
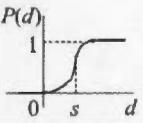
Dans le cas d'une problématique de rangement, le décideur fera appel à PROMETHEE II. Dans le cas d'une problématique de choix, les deux méthodes I et II pourront être utilisées en concomitance. Elles permettent alors d'apporter un maximum d'information pour l'aide à la décision proprement dite, dernière étape du processus d'analyse. Un troisième outil, la méthode GAIA, est généralement utilisé afin d'éclairer davantage le décideur et faciliter la prise de décision. Cette approche complète les méthodes d'analyse PROMETHEE en fournissant une information visuelle et qualitative. Elle permet l'identification des conflits et synergies entre acteurs (représentation de groupe), et entre critères pour chaque acteur. Elle met en évidence les positions relatives les plus fortes de ces éléments à l'échelle de tout le

problème. L'analyse GAIA est obtenue en appliquant une analyse en composantes principales à la matrice des flux nets de chacun des critères. Le produit résultant constitue un vecteur qui est projeté sur un plan à k dimensions correspondant au nombre de critères dans le modèle décisionnel. Six règles permettent d'interpréter les plans GAIA/critères (Brans et Mareschal, 2005) :

- 1) la longueur de l'axe détermine le pouvoir discriminant du critère ;
- 2) les critères qui traduisent des préférences similaires sont représentés par des axes globalement orientés dans la même direction ;
- 3) les axes des critères conflictuels sont en opposition sur le plan ;
- 4) les critères qui ne présentent pas de relation particulière en matière de préférences sont positionnés sur des axes orthogonaux ;
- 5) les scénarios similaires sont représentés par des points peu distants ;
- 6) les scénarios qui performant bien sur un critère donné sont représentés par des points localisés dans la direction de l'axe correspondant au critère.

En résumé, les procédures PROMETHEE I et II débutent par la comparaison par paires des critères sur chaque action et la détermination d'un critère généralisé (fonction de préférence pour chaque critère). La seconde phase met en œuvre le calcul d'un index global de préférence pour chaque action et le calcul de flux entrant et sortant pour chacune de celles-ci (PROMETHEE I). La procédure se termine par le calcul des flux nets et le rangement complet de chacune des alternatives, en matière de préférence globale (PROMETHEE II).

Figure 2.1 Types de critères généralisés

Type	Characteristics	Definition, $P(d) =$	Parameters
Usual-Shape		$\begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$	—
U-Shape		$\begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases}$	q
V-Shape		$\begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ d/p, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	p
Linear-Shape		$\begin{cases} 0, & d \leq q \\ (d - q)/(p - q), & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	p, q
Level-Shape		$\begin{cases} 0, & d \leq q \\ 0.5, & q \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	p, q
Gaussian-Shape		$\begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-d^2/2s^2}, & d > 0 \end{cases}$	s

Source : Brans et Mareschal (2005)

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Protocole de recherche

3.1.1 Énoncé de la problématique

La polarisation puis la cristallisation des positions souvent contradictoires et conflictuelles de la part d'acteurs qui interagissent au sein d'un espace de vie constituent des éléments des contexte macroenvironnemental et multiacteur dans lequel le praticien est appelé à œuvrer. Un des résultats de ce nouvel ensemble est la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité de planifier les utilisations du territoire, selon les modèles dépassés de planification territoriale et environnementale plus traditionnelle c.-à-d. sans participation publique. Cette question de l'acceptabilité sociale a notamment été soulevée, de manière particulièrement éloquente en matière agricole à l'égard du développement de la production porcine au milieu des années 2000, mais aussi lors de projets d'implantation d'infrastructures énergétiques dont les projets de ports méthaniers Rabaska de Lévis et Énergie-Est à Cacouna, l'exploitation des gaz de schiste, le transport d'hydrocarbure ou encore les parcs éoliens. Or, il est aisément prévisible que nos sociétés portent une attention tout aussi grande à tous les autres projets susceptibles d'interférer avec la vie de la communauté ou encore qui soulèvent des questionnements au regard des valeurs sociétales en matière de soutenabilité du développement. Dans cette mesure, les questions de la protection de la qualité de l'eau, des usages multiples du territoire rural, des problèmes de cohabitation ou encore de la protection de la biodiversité,

pour ne nommer que ceux-là, constituent autant d'éléments qui incitent nos sociétés et partant, les décideurs, à inviter aux débats qui précèdent les décisions. Cet intérêt constitue une tendance lourde qui posera un défi constant et grandissant pour le développement social, culturel et économique de nos collectivités.

Dans la première section du chapitre 1 (section 1.1), nous avons succinctement traité de la problématique de la thèse sous son angle conceptuel : gestion et planification du territoire, modélisation, prospective, complexité, multidisciplinarité et intégration des connaissances. Ces thèmes sont tous ancrés dans un contexte géographique dont les particularités générales forment l'assise situationnelle du travail. Ainsi, il existe un constat unanime sur les nombreux facteurs qui concourent à la détérioration plus ou moins marquée des milieux de vie et à la dilapidation des ressources naturelles depuis la révolution industrielle. L'étalement urbain constitue sans doute un de ces facteurs qui comptent parmi les plus sérieux (Romano, 2002 ; Davis et coll. 2009). Ses effets sur la dynamique territoriale ont été largement documentés au cours des dernières années : exode des villes-centres vers les secteurs les moins chers de la périphérie (Vogt et Marans, 2004), détérioration de l'environnement naturel (Hasse et Lathrop, 2003 ; Fontaine et Rounsewell, 2009), dégradation de la qualité des cadres de vie (Sullivan et Lowell, 2006), disparition d'importantes superficies de terres arables (Brabec et Smith, 2002 ; Doygun, 2008). Combinés avec l'explosion de la population mondiale, le développement accéléré de l'agriculture amplifiant la pollution diffuse et la déforestation accélérant l'érosion, ces phénomènes ont eu pour résultat de graves problèmes de dégradation de l'environnement qui ont incité les gouvernements à prendre des mesures correctives, à éliminer graduellement les sources de pollution, puis à agir de façon proactive afin de protéger les écosystèmes et la biodiversité.

Dans la plupart des pays développés, la population participe désormais de plus en plus activement au processus de décision au sujet des projets de développement économique (QUÉBEC, 2008) et ce tant aux niveaux municipal, régional ou provincial, selon les enjeux des projets en cause et la portée de leurs impacts potentiels. Au Québec, la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (LAU) établit les bases en matière d'information et de consultation publique permettant d'associer les citoyens à la prise de décision et à la gestion de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. Cette participation est assurée par des mécanismes formels et des institutions et structures consultatives qui guident le législateur dans la prise de décision en matière de territoire et d'environnement. Ainsi, la LAU prévoit que toute MRC ou communauté métropolitaine dont le territoire comporte une zone agricole délimitée en vertu de la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles (LPTAA) est dotée d'un comité consultatif agricole (CCA). Toute autre communauté ou MRC peut également instituer un tel comité. Le CCA a pour mandat d'étudier, à la demande du conseil de la MRC ou de la communauté ou encore de sa propre initiative, toute question relative à l'aménagement du territoire agricole, à la pratique des activités agricoles et aux aspects environnementaux rattachés à l'aménagement de ce territoire et à la pratique de ces activités. Il fait au conseil les recommandations qu'il estime appropriées sur les sujets qu'il a étudiés. Un tel éclairage permettra à la MRC ou à la communauté de prendre les décisions qui s'imposent dans le cadre des responsabilités particulières qui lui sont confiées à l'endroit de l'aménagement ou de la mise en valeur du territoire agricole. La contribution attendue du CCA à l'aménagement de la zone agricole est particulièrement importante dans le cadre de la révision du schéma d'aménagement et de développement. Les orientations gouvernementales relatives à la protection du territoire et des activités agricoles adoptées en décembre 2001 insistent sur la nécessité d'une contribution active du

CCA à cet exercice. Bien que la MRC ou la communauté ne soit pas tenue à une obligation de résultat, ces orientations précisent que la voie à privilégier lors du processus de révision du schéma s'avère être la recherche d'un consensus entre les milieux municipal et agricole (QUÉBEC, 2015).

Le comité consultatif d'urbanisme (CCU) est un autre organisme mandaté par le conseil municipal pour donner des avis sur les demandes qui lui sont soumises en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire. Le CCU est un groupe de travail composé d'au moins un membre du conseil municipal et de résidents choisis par ce dernier pour guider, orienter et soutenir son action en matière d'urbanisme. Les recommandations et les avis du CCU permettent au conseil municipal de profiter de la contribution d'élus et de citoyens, lesquels peuvent faire valoir leur expérience de vie dans la municipalité et leurs préoccupations particulières pour l'aménagement de leur territoire. La mise sur pied d'un CCU permet donc de rapprocher le citoyen des questions d'urbanisme. Dans certains cas, les élus et les citoyens peuvent en plus fournir une expertise spécifique ou refléter les préférences de certains groupes socioéconomiques concernés par le développement commercial, la protection de l'environnement, la conservation du patrimoine, etc. Son rôle est indéniable dans la mission de planification et d'administration du territoire municipal, principalement pour ce qui est de la planification et de l'administration du territoire municipal, particulièrement depuis que le législateur a établi comme condition essentielle à l'approbation des plans d'aménagement et des demandes d'autorisation pour usages conditionnels du territoire, pour des projets de construction d'immeubles ou encore des projets de lotissement, notamment (QUÉBEC, 2015).

D'autres acteurs interviennent, par leurs prérogatives consultatives, dans le processus de planification territoriale et environnementale au Québec. La commission

conjointe d'aménagement par exemple a pour principales fonctions de donner son avis aux MRC et de leur faire des recommandations afin que leurs schémas d'aménagement et de développement se complètent tout en reflétant une vision globale, commune et harmonieuse de l'aménagement et de l'urbanisme des deux territoires sur lesquels ils s'appliquent. Ses pouvoirs habilitants sont également attribués en vertu de la LAU. Les conseils de quartier sont des organismes consultatifs constitués de citoyens susceptibles d'engendrer une plus grande participation de la population à la vie municipale notamment en suscitant une mobilisation plus grande en regard des enjeux et des projets qui concernent le quartier. Leur pouvoir habilitant n'est toutefois pas tributaire de la LAU, mais plutôt en vertu des chartes de certaines villes, notamment celles de Québec, de Rouyn-Noranda et de Val-d'Or (QUÉBEC, 2010).

Dans le domaine environnemental, la *Loi modifiant la Loi sur la qualité de l'environnement* adoptée en décembre 1978 par l'Assemblée nationale du Québec a eu pour effet d'instituer le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), de prévoir sa composition et son rôle et d'établir, pour certains projets, une procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement faisant appel à la participation du public. En créant le BAPE, l'Assemblée nationale affirmait le droit des citoyens à l'information et à la consultation, et sollicitait leur participation aux décisions ayant une incidence sur l'environnement. Ce faisant, elle reconnaissait officiellement la valeur et la pertinence de la contribution de la population au processus d'évaluation environnementale en raison de l'expertise concrète qu'elle a de son milieu de vie. L'action du BAPE, notamment par les possibilités qu'elle offre à la population d'intervenir dans les processus d'autorisation des projets, s'inscrit d'emblée dans la perspective du développement durable. Toutes les personnes concernées, dont les citoyens susceptibles de profiter des retombées de ces projets ou

d'en subir les répercussions, peuvent ainsi faire valoir leur point de vue et contribuer à fournir aux décideurs un éclairage complet. Elle permet aussi aux promoteurs de bonifier leur projet en tenant compte des préoccupations de la population et ainsi de tendre vers une cohabitation plus harmonieuse avec le milieu. En ce sens, le BAPE a pour mission d'éclairer la prise de décision gouvernementale dans une perspective de développement durable, lequel englobe les aspects écologique, social et économique. Pour réaliser cette mission fondamentale, le BAPE informe, enquête et consulte la population sur des projets ou des questions relatives à la qualité de l'environnement que lui soumet le ministre. Il produit par la suite des rapports d'enquête qui sont rendus publics (QUÉBEC, 2014).

3.1.2 Examen critique de la littérature

Notre revue de littérature a pour objectif d'une part, d'exposer notre positionnement paradigmatique et théorique, et d'autre part, de clarifier les concepts clefs relatifs aux approches, aux outils, et de manière générale, aux connaissances liées à la planification du territoire et de l'environnement dans ce contexte multiacteurs et multiéchelles. Notre thèse s'inscrivant dans une démarche interdisciplinaire, il apparaît difficile, voire impossible d'effectuer une recension exhaustive des écrits. En effet, les concepts et méthodes foisonnent et s'interpénètrent aux carrefours de chacune des disciplines, complexifiant ainsi la tâche. La nature interdisciplinaire de cette recherche nous impose l'obligation d'un savoir maîtrisé par une personne dans plus d'une discipline. Une telle approche de l'interdisciplinarité n'implique pas de travail d'équipe, et ne peut fonctionner que lorsque les questions traitées ont un degré de complexité relativement limité.

Évidemment, un tel profil devient difficile à assumer même pour des spécialistes notamment en sciences du territoire, pour qui ces questions d'intégration

disciplinaires ne sont pas inconnues. En raison des sommes de savoirs générés par chaque discipline, et de leur fragmentation en sous-disciplines, il devient de plus en plus difficile pour quiconque de prétendre être spécialiste de tous les domaines à prendre en compte. Compte tenu de cette limitation attribuable à l'interpénétration des concepts et des outils, nous invitons le lecteur à se reporter au chapitre précédent où une revue succincte de la littérature de base sur trois grands aspects qui forment le corps de la thèse, à savoir le paradigme systémique, la gestion du territoire et l'aide à la décision est présentée. Les points suivants y sont abordés :

- la théorie du système général et l'approche systémique ;
- la question de la modélisation ;
- la gestion du territoire et les différentes formes de planification ; et,
- les aspects théoriques de l'aide à la décision.

Compte tenu de notre démarche interdisciplinaire, seule la question des outils propres aux aspects méthodologiques de la planification territoriale et environnementale est abordée au chapitre IV de la seconde partie de la thèse consacrée aux résultats, et ayant fait l'objet d'un article scientifique publié dans la revue « Développement durable et territoires » et intitulé « *Revue critique de trois outils de modélisation du territoire et de l'environnement pour la planification en Amérique du Nord* » (Guay et Waub, 2010, Annexe B.1). Cette contribution nous permettra de trouver les modalités d'une articulation fonctionnelle entre ces outils, lorsque ceux-ci sont utilisés dans une démarche de la planification territoriale et environnementale. La réflexion porte sur (1) la caractérisation de chacun des outils, sur (2) le potentiel d'intégration des interactions et des contingences

environnement/société par chacun des outils et sur (3) le potentiel de synthèse de l'information géographique, en termes d'enjeux soutenant l'aide à la décision.

3.1.3 Cadre conceptuel

Cette thèse, nous l'avons mentionné précédemment, se veut interdisciplinaire ; elle mobilise de nombreux et importants concepts provenant des domaines suivants : l'aménagement du territoire, l'environnement, la géomatique, et l'aide à la décision. Or si dans un travail de cette nature, les points de vue de disciplines distinctes sur un seul et même problème sont considérés et en permettent une lecture globale et intégrée, la transdisciplinarité est beaucoup plus ambitieuse (Morin, 1994) ; elle est le propre de la théorie du système général. En effet, hormis son caractère interdisciplinaire, notre thèse trouve son ancrage conceptuel principal dans le paradigme systémique. La raison principale de cet ancrage réside dans la nature même du processus de planification tout autant que celle de l'objet planifié. D'ailleurs, la grande majorité des praticiens en planification territoriale pourra sans doute l'affirmer : même avec une démarche simple et directe de planification, il arrive un moment au cours du processus où émergent de nombreuses incertitudes et qui peuvent résulter en incohérences légales, réglementaires et opérationnelles, et ce, à tous les niveaux de la gouvernance territoriale : provinciale, régionale, municipale (DeRoo et coll. 2012).

De même, des changements contextuels rapides, signifiés par l'évolution des valeurs sociétales et des perceptions, parfois en moins de quelques mois — tous les sondeurs pourront le confirmer — contribuent, encore une fois, à complexifier l'objet de la planification tout autant que le processus de planification. Aussi, le paradigme systémique est aujourd'hui considéré comme un des paradigmes les plus acceptés en planification territoriale l'édifice théorique qui soutient le développement d'une

approche durable de la planification dans certains domaines des sciences du territoire (Hall, 2008). Cette prégnance du paradigme systémique dans notre ouvrage se trouve matérialisée dans une dichotomie constitutive très importante soit celle de la planification *substantive* versus celle de la planification *procédurale*. Dans le premier cas, nous touchons à *ce qui est* planifié ; or dans le cadre de notre thèse, nous parlons du territoire et de l'environnement ; dans le second cas, nous touchons au *processus* en lui-même.

Il y aurait lieu de dissenter également sur la question de la complexité. Cette notion découle de la nature même des systèmes et elle est sous-jacente à tout notre ouvrage. Mais qu'est que la complexité au juste ? De très nombreux ouvrages ont été consacrés à cette notion (Page, 2010 ; Bonchev et Rouvray, 2005 ; Rosen, 1987) et nous n'avons pas comme ambition immédiate d'en faire la recension. Néanmoins, et très succinctement, nous pourrions définir la complexité comme étant une propriété de tous les systèmes et essentiellement les systèmes « ouverts ». Cette complexité se définit selon le nombre de composants du système, le nombre et de la variété des interactions entre ces composants, selon le taux de changement temporel de ces interactions ou plus précisément la dynamique du système ; la complexité se définit également en vertu de la non-linéarité des relations entre les composants, par l'existence de boucle de rétroaction dans les relations qui s'établissent entre les composants en vertu de leurs interactions (Cilliers, 1998 ; Collinson et Jay, 2012).

Le but de définir ce qu'est la complexité est essentiellement ici de s'assurer que le lecteur comprenne aisément ce que signifie cette notion. Là d'arrête toutefois notre ambition, car la complexité possède intrinsèquement tout un cortège de concepts et surtout d'outils permettant de la saisir puis de la comprendre. La modélisation l'outil générique qui permet cette tâche et c'est la raison principale pour laquelle nous abordons ce travail sous l'angle des « modèles ». Il semble, à la lumière

de ces éléments, que le territoire et l'environnement répondent à la définition d'un système complexe. Par conséquent ils sont abordés en tant que tels, en vertu des grands principes fondamentaux de la systémique et que sont organisation, hiérarchie, interaction et rétroaction. De manière opérationnelle tout autant le sera le processus de planification en lui-même en vertu cette fois de quatre grands principes opérationnels de l'analyse systémique : la globalité, la circularité, l'équifinalité et la pertinence (J.LeMoigne, 1977, voir section 2.1 p.16).

3.1.4 Question de recherche

Dans un contexte systémique, interdisciplinaire, multicritères et multiacteur, nous voulons fournir une approche intégrée de planification territoriale/environnementale et qui permet d'assumer les questions fondamentales de la complexité, de l'organisation, de la hiérarchie et de la logique floue qui caractérisent les systèmes socioécologiques. L'hypothèse exploratoire qui sous-tend notre projet est que la planification territoriale/environnementale, dans le contexte préalablement invoqué, suppose une formalisation poussée des grands processus et des interactions entre les composantes d'un système socioécologique. Ces processus sont, fondamentalement, flous ou mal compris. Aussi, cette formalisation doit s'appuyer d'une part (1) sur une prise en compte de données factuelles et objectives du territoire, d'autre part (2) sur les valeurs et préférences sociétales en matière de développement du territoire ; (3) sur l'analyse prospective qui permet de construire des futurs souhaitables et les soumettre aux jugements des parties prenantes afin de renforcer la justification de la décision d'aménagement.

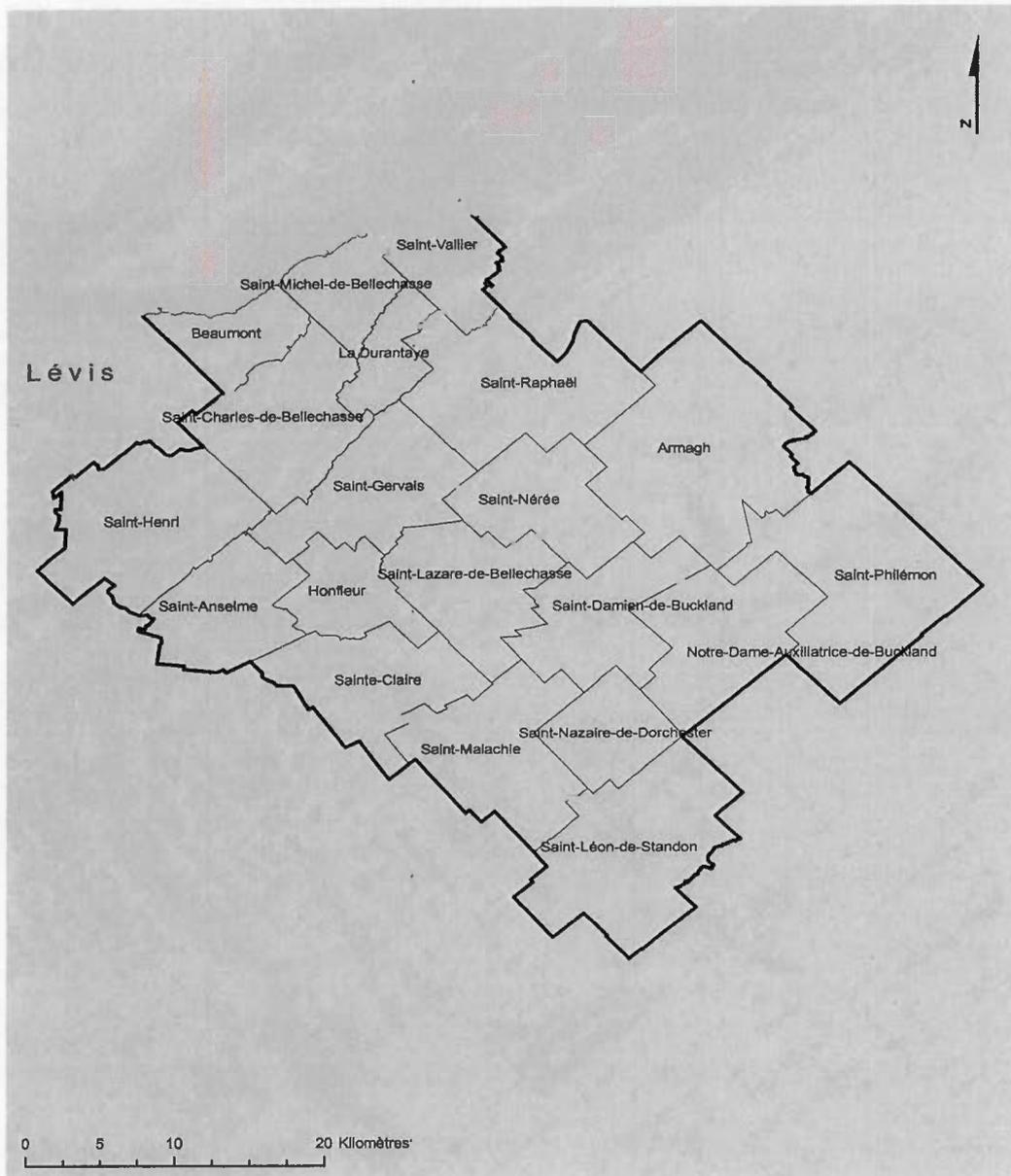
3.2 Présentation générale du territoire d'étude

3.2.1 Caractérisation physique

Situé au centre de la région Chaudière-Appalaches, le territoire de la MRC de Bellechasse, composé de 20 municipalités, couvre une superficie de 1 759 km² et est borné au Nord par le fleuve Saint-Laurent, au sud par la MRC Les Etchemins, au nord-ouest par la Ville de Lévis, à l'ouest par les MRC Nouvelle-Beauce et Robert-Cliche et à l'est par la MRC de Montmagny (Figure 3.1).

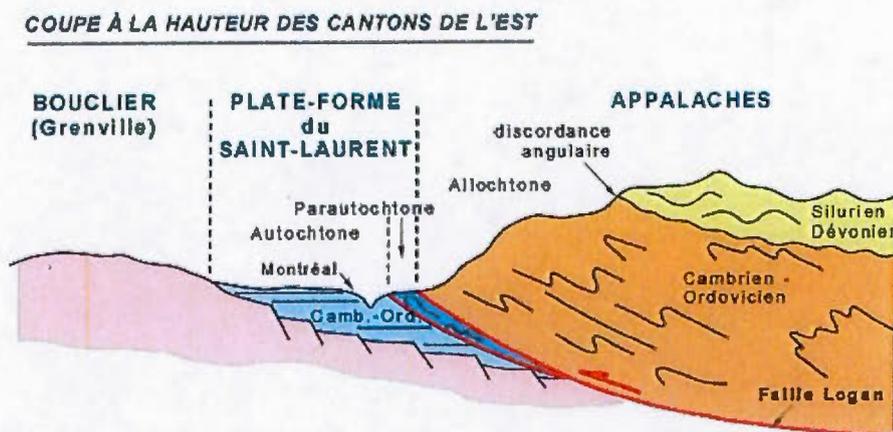
Sur le plan structural, le territoire de la MRC chevauche deux grandes provinces naturelles (Québec, 1999), soit la province des Appalaches qui forme l'essentiel de la structure physique de la MRC et la province des Basses-Terres du Saint-Laurent qui se retrouve uniquement dans la portion nord de la MRC ainsi que sur son littoral. La province des Appalaches est constituée de roches sédimentaires et volcaniques déposées sur le socle du Grenville et qui ont été plissés au cours des différentes phases orogéniques qu'a connu le Québec depuis l'Ordovicien. La province naturelle des Basses-Terres du Saint-Laurent appartient à la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent. Elle est constituée de roches pratiquement non déformées datant, dans l'ensemble, du Cambrien au Dévonien. Ces roches reposent en concordance sur le socle précambrien et ont été recouvertes par des dépôts marins (mer de Champlain), des dépôts glaciaires et des tourbières, attribuables aux événements bioclimatiques du Quaternaire. Elles sont coupées en deux par le Saint-Laurent, lequel reçoit les eaux des affluents qui naissent dans les Appalaches ou dans le Bouclier canadien (Figure 3.2). Sur ce point, la MRC possède un réseau hydrographique riche avec plusieurs cours d'eau d'importance : les rivières

Figure 3.2 MRC de Bellechasse, localisation régionale.



Source : Système d'information géographique ministériel en alimentation (2013)

Figure 3.3 Coupe stratigraphique des provinces naturelles du Québec.



Source : Bourque (2004).

Boyer et des Mères au niveau de la plaine et les rivières Etchemins, du Sud, des Abénakis, Armagh et du Pin au niveau du plateau. Plusieurs ruisseaux, de même que des lacs, sont largement utilisés au profit de la villégiature. Ces cours d'eau drainent les bassins versants de la rivière Etchemins, de la rivière du sud et de la rivière Boyer (sous-bassin de la rivière du sud) et que l'on retrouve sur le territoire de la MRC.

Au niveau de la géomorphologie et de l'écologie, la géologie structurale sous-jacente de la MRC surimpose à celle-ci cinq unités de paysages physiques (Québec, 1998), dont trois constituent la majeure portion du territoire :. L'unité de paysage de Montmagny, d'une superficie de près de 1600 km² est située à une altitude inférieure à 150 m et qui s'étend du fleuve au piémont des Appalaches. Il s'agit d'une mince bande côtière de faibles pentes (0 à 3 %) qui s'amenuise d'ouest en est pour couvrir qu'une largeur ne dépassant pas 15 km à la limite est de la MRC. Elle correspond à la

plaine du fleuve Saint-Laurent. Cette unité est parsemée de nombreuses crêtes rocheuses alignées sud-ouest/sud-est. Les dépôts de cette unité, constitués majoritairement de dépôts marins sableux, forment des terrasses en gradins dont l'altitude varie entre 30 et 150 m. Les matériaux étalés en position inférieure à 15 m sont des alluvions d'origine récentes sur lesquels sont exploités les sols de classes 1 et 2 (IRDA, 2013) sans limitations sérieuses. L'unité est comprise dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul avec climat subpolaire subhumide continental. Le secteur reçoit entre 900 et 1000 mm de précipitation annuellement, dont 300 à 400 cm de neige (QUÉBEC, 1998) et jouit d'une longue saison de croissance de 180 jours. Le couvert forestier est plus fragmenté que partout ailleurs dans le secteur. Marquée par le développement urbain et agricole de même que par la mise en place de nombreuses infrastructures (lignes de transport d'énergie, routes diverses, etc.), la présence de la forêt se retrouve aujourd'hui surtout en zone agricole où les érablières et divers groupements à dominance de feuillus ont été épargnés par la colonisation.

L'unité de paysage de Sainte-Marie borde la plaine du Saint-Laurent. Elle correspond *grosso modo* au piémont des Appalaches. D'une superficie de près de 1800 km², l'unité de Sainte-Marie présente un modelé vallonné, avec une pente moyenne de 7 % et une altitude intermédiaire entre celle de la plaine et celle des Appalaches plus au sud, qui varie autour d'une moyenne de 276 m. Le dépôt principal de cette unité est un till épais sur plus de la moitié de sa superficie et des épandages fluvioglaciaires recouvrent les principales vallées. L'unité est comprise dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune, avec un climat subpolaire subhumide continental (Proulx, 1987) et qui caractérisée par une longue saison de croissance de 180 jours. L'unité reçoit un peu plus de précipitations que l'unité plus au nord avec près de 1000 mm de précipitation annuellement, un peu moins sous forme de neige toutefois (250 à 300 cm). À partir de ce secteur et vers le

sud de la MRC, le couvert forestier croit en importance et en biodiversité. Aux feuillus de la plaine se sont ajoutées plusieurs espèces de résineux tels le sapin baumier, l'épinette, etc.

Enfin, l'unité de paysage de Lac-Étchemin plus au sud, d'une superficie totale de près de 2560 km² est généralement vallonnée et formée de coteaux aux sommets arrondis et aux versants en pente douce et régulière. Le centre de l'unité est toutefois formé de hautes collines aux sommets arrondis, mais à pente forte. Le mont Saint-Magloire avec ses 900 mètres est le point culminant de toute la région. La pente moyenne de l'unité est de 8 % pour une altitude moyenne de près de 450 m mètres. Le till épais constitue également ici la majeure partie des dépôts de surface, mais le till mince est plus abondant que dans les unités précédentes. L'unité est comprise dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune, mais le climat local du massif des monts Notre-Dame au centre s'apparente plutôt à la sapinière à bouleau jaune. Le climat est également subpolaire subhumide continental et est caractérisé par une saison de croissance de longueur moyenne variant entre 160 et 170 jours. L'unité reçoit entre 1000 mm et 1100 mm de précipitations annuellement dont 300 cm à 350 cm de neige. Dans les collines, les groupements mélangés côtoient des groupements résineux et des érablières de grandes superficies. Avec l'altitude, le gradient de température favorise l'appauvrissement des peuplements au profit de la sapinière à bouleau blanc, un groupement exceptionnel pour cette latitude et qui est observé uniquement dans le secteur du Massif du Sud.

3.2.2 Caractérisation socioéconomique

La MRC par sa localisation à proximité de la Ville de Lévis et du grand bassin de population de la région métropolitaine de Québec est soumise à une forte pression du front d'urbanisation. Ceci est principalement le cas pour les municipalités situées à

moins de 30 km des secteurs urbanisés de Lévis : Saint-Henri, Saint-Anselme, Sainte-Claire, Beaumont. Ces municipalités ont enregistré de fortes augmentations de leur population au cours de 10 dernières années et, selon l'Institut de la Statistique du Québec, vont continuer de voir leur contingent de nouveaux résidents s'apprécier au cours des 25 prochaines années. En 2013, la MRC accueillait une population de 36 373 habitants, la situant ainsi au 4^e rang par rapport aux huit autres MRC de la région de la Chaudière-Appalaches (QUÉBEC, 2014). La projection de la population de la MRC pour la période 2006-2031 nous permet de constater que sur un horizon de vingt-cinq ans, la population de la MRC devrait augmenter de 6 % et ce, en autant que la tendance actuelle se maintienne. Cette variation positive de la population constitue un des cas rares pour l'ensemble des MRC de la région où, dans de nombreux secteurs, les variations projetées de la population sur l'horizon 2006-2031 sont la plupart du temps négatives. En outre, dans de nombreux secteurs de la région, les variations durables et à long terme sont souvent remplacées par des fluctuations positives, significatives, mais ponctuelles de la population. Les secteurs à forte vocation récréotouristique, notamment le secteur littoral ainsi que les secteurs pourvus en plans d'eau d'importance vivent ce phénomène.

Le MAPAQ recensait 914 exploitations agricoles (QUÉBEC, 2010) sur le territoire de la MRC. Ces entreprises sont localisées dans une très vaste zone agricole provinciale occupant tout près de 85 % du territoire de la MRC soit environ 146 283 hectares ou 1 462 km² de cette superficie, 59 200 ha se trouvent cultivés en cultures annuelles ou en pâturages. Ces espaces sous cultures se retrouvent majoritairement dans la portion nord de la MRC où on dénombre le plus d'exploitations dans la MRC. Dans ce secteur de la MRC, l'agriculture est généralement très dynamique en termes de revenus comme en font foi les revenus bruts totaux des exploitations agricoles sont

très importants se chiffrant à tout près de 245 M⁸ de dollars, soit environ 75 % du revenu brut agricole total de la MRC (MAPAQ, 2010). C'est dans ce secteur également que se concentrent un peu plus de 70 % des 914 entreprises agricoles de la MRC dont, entre autres, les très lucratives entreprises laitières et porcines. Sous d'autres aspects, le dynamisme agricole de cette portion de la MRC est établi notamment au regard de critères comme (1) le potentiel des sols — majoritairement des sols de potentiels 1, 2, 3 et 4 selon les données de l'ARDA avec 90 % des superficies tombant dans ces strates — (2) l'utilisation des sols — plus de 71 % des cultures assurées par la Financière Agricole du Québec se retrouvent dans le secteur nord de la MRC et (3) la localisation des unités d'évaluation soit toute parcelle de terre agricole dénommée par un numéro matricule auprès de la MRC et pour lesquelles sont assujetties des taxes foncières — 65 % des unités de la MRC se retrouvent dans ce secteur.

Ce sont ces critères qui permettent de caractériser le dynamisme de cette portion du territoire de la MRC. Par ailleurs, sur le plan socioéconomique, en comparaison avec les secteurs dynamiques, les secteurs viables sont la réciproque des indicateurs invoqués préalablement : superficies en cultures assurées moins élevées, superficies en friches plus importantes, contingent moins important d'entreprises agricoles et d'unité d'évaluation, faible potentiel des sols selon l'ARDA (sols de catégories 1, 2, 3 et 4 beaucoup moins abondants en termes de superficies avec 85 % de sols de catégorie 5, 6 voire 7), signes d'abandon de l'agriculture en certains endroits. C'est le cas dans la portion sud de la MRC, en partant d'une ligne imaginaire formée par les limites sud des municipalités de Sainte-Claire, Saint-Gervais et Saint-Raphaël, soient en fait, les municipalités situées dans le piémont des

⁸ Millions de dollars canadiens

Appalaches la dynamique est toute autre dans la partie sud de la MRC où on observe, en plus de ces éléments de contexte, une plus grande fragmentation des espaces cultivés. Le paysage est agroforestier et offre plusieurs secteurs de déprise agricole qui favorisent les demandes de reboisement de terres abandonnées ou encore les reprises forestières naturelles sur des terres auparavant exploitées. L'activité agricole y est toutefois toujours rentable, mais moins dynamique que dans le secteur nord, avec un revenu moyen annuel par ferme de près de 250 000 \$ comparativement à près de 430 000 \$ pour le secteur de la plaine. Succinctement, alors que la portion nord supporte une agriculture plus intensive et spécialisée, la portion sud de la MRC présente une agriculture plus marginale et plus diversifiée.

3.2.3 Contexte de planification

Les facteurs que nous avons préalablement évoqués confèrent un caractère périurbain à la MRC de Bellechasse avec les tenants et aboutissants que cela implique. C'est ce que nous pourrions appeler le « contexte de planification ». Or, une planification territoriale efficiente — à notre sens, qui entraîne une bonne cohabitation et l'harmonie des *usages* et *affectations*⁹ — requiert que le décideur, dans ce cas la MRC et le législateur, possèdent une connaissance des diverses dimensions et des problématiques qui touchent ce territoire et ce, notamment dans les secteurs de l'aménagement, du développement économique et de la protection de l'environnement. Cette connaissance permet de partager une vision commune de la

⁹ Selon le Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du Territoire (1995), l'*affectation* est une vocation que la MRC attribue à l'endroit d'un territoire donné et du rôle subséquent qu'elle lui assigne. Ce choix peut refléter la vocation actuelle de ce territoire ou encore celle vers laquelle il doit tendre vers le futur. Dans tous les cas, ces affectations sont la translation spatiale des orientations d'aménagement du territoire de la MRC et lesquelles peuvent être par exemple, l'amélioration de la qualité de l'environnement ou des eaux de surface, la conservation hydrique, le rendement économique des activités primaires de la MRC, une meilleure cohabitation entre les milieux agricoles et périurbains, l'augmentation des superficies boisées du territoire, la mise en valeur des friches agricoles, etc. Les *usages* ou utilisations du sol concernent plutôt la manière avec laquelle le sol, notion prise ici dans le sens large d'espace géographique, est mis en valeur. L'utilisation du sol fait dès lors appel à deux concepts fondamentaux : 1) la localisation et 2) l'activité pratiquée.

réalité du territoire et d'en déterminer les enjeux afin que la MRC puisse planifier, dans le respect des spécificités d'un milieu, le développement durable de son espace.

Si l'on examine la question des caractéristiques socioéconomiques de la MRC sous un angle dynamique, il est à noter qu'une augmentation de population s'accompagne souvent de l'obligation, pour la plupart de municipalités qui en bénéficient, d'agrandir leurs périmètres d'urbanisation afin d'accueillir les nouveaux ménages. Ces agrandissements de périmètres d'urbanisation impliquent souvent des pertes de superficies agricoles aux profits de secteurs pouvant supporter l'implantation de nouvelles résidences. En outre, le rapprochement du front urbain entraîne souvent des problèmes de cohabitation entre les nouveaux résidents et les producteurs agricoles et forestiers qui exploitent les ressources territoriales et qui génèrent, par le fait même, des externalités négatives liées notamment aux odeurs, aux bruits et à la poussière.

Le développement des activités et des exploitations agricoles en zone agricole est notamment déterminé par l'existence de conditions spatiales particulières, à savoir la présence d'un territoire sur lequel la pression résultant du développement des activités non agricoles est réduite. Sur ce plan, deux phénomènes présentent des contraintes au développement de l'agriculture : l'étalement urbain et la déstructuration du milieu agricole (QUÉBEC, 2001). Dans le cas de l'étalement urbain, nous l'avons mentionné en début du présent chapitre, les effets sur la dynamique territoriale ont été largement documentés au cours des dernières années. Une des principales manifestations de ce phénomène est sans aucun doute la disparition des terres agricoles au profit du tissu urbanisé. Ainsi, dans certains secteurs, particulièrement en milieu périurbain, des sols agricoles ont fait place à des superficies exclues de la zone agricole provinciale pour le développement résidentiel. Bien qu'il ne soit pas possible d'obtenir de quantification exacte du phénomène pour

la MRC de Bellechasse, diverses sources non officielles parlent de 7000 hectares depuis 25 ans. Il s'agit là d'une décision irréversible.

Un second phénomène a trait à la diffusion inconsidérée d'usages non agricoles en zone agricole. Outre les problèmes de cohabitation qui en découlent, ce phénomène s'accompagne en certains endroits, d'une déstructuration de la zone agricole qui peut accélérer la dévitalisation du milieu rural et à long terme, avoir des impacts négatifs sur la viabilité des noyaux villageois. Au fil du temps, l'ajout d'usages autres qu'agricoles en zone agricole aura pour effet de créer des superficies enclavées et irrécupérables pour l'agriculture. Des « ilots » de déstructuration émergent ainsi dans la zone agricole. Depuis plus de 20 ans, le législateur a fait connaître à plusieurs reprises à l'ensemble des MRC de la province ses attentes en ce qui touche le contrôle de l'empiètement des usages non agricoles en zone agricole. La délimitation puis la circonscription des ilots de déstructuration constituent une de ces attentes. Ainsi, même si la détermination des ilots n'est pas une obligation légale des MRC, l'intérêt de cette question est liée à trois raisons principales : la première est d'éviter toute extension de ces entités ponctuelles en zone agricole et ainsi créer des contraintes aux activités agricoles en place ; la seconde étant d'assurer aux résidences implantées dans ces ilots, un approvisionnement suffisant en eau potable de bonne qualité et la disposition adéquate des eaux usées ; la troisième est de s'assurer que l'extension des ilots ne nuit pas à l'objectif gouvernemental visant la consolidation des périmètres urbains.

Par ailleurs, l'Union des Producteurs Agricoles, c'est vers la fin des années 1980 qu'ont émergé les premiers conflits de cohabitation entre des activités agricoles et non agricoles. Ce phénomène coïncidait en quelque sorte avec la spécialisation croissante de l'agriculture et l'augmentation de la population (UPA, 2007). En outre, depuis quelques années, on assiste à une augmentation de grands

projets, d'utilité publique ou privée, particulièrement dans le secteur énergétique. La plupart de ceux-ci cherchent à s'implanter en zone agricole. À titre d'exemple, mentionnons les parcs éoliens, les ports méthaniers, les gazoducs et pipelines, les lignes de transport d'énergie, les autoroutes et même l'implantation des puits de captage des eaux souterraines des municipalités. Ces projets amènent avec eux trop souvent une réglementation gouvernementale et municipale applicable au secteur agricole de plus en plus sévère ayant pour effet de limiter le développement de l'agriculture et la perte d'usage agricole. Sur le plan de la protection de l'environnement, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2015), l'agriculture, comprenant également la foresterie, deux activités fortement présente en Bellechasse, « dépendra en grande partie sur l'utilisation rationnelle des ressources naturelles. L'agriculture durable doit trouver un équilibre entre la protection et l'utilisation durable des ressources naturelles tout en même temps répondre aux besoins croissants de la société en offrant des moyens de subsistance décents et résilients ». Parce que les activités agricoles engendrent inévitablement des conséquences sur l'environnement, les municipalités locales et le milieu agricole doivent poursuivre les efforts consentis par le législateur, pour favoriser l'instauration d'une agriculture durable. Les principaux acteurs doivent être vigilants au regard des diverses problématiques environnementales de manière à s'assurer que le développement de l'agriculture — tout comme toutes les autres fonctions du territoire — permette de préserver ou encore de mettre en valeur les ressources territoriales (eau, air, sol, faune et flore) afin de maintenir la qualité de l'environnement. L'atteinte de cet objectif requiert de la part de la MRC, l'acquisition d'une bonne connaissance des problématiques liées à ces ressources ainsi que des solutions à apporter aux problèmes constatés ou appréhendés. Entre autres, il importe ainsi de contribuer à la survie des composantes écologiques et biologiques des rives,

du littoral et des plaines inondables en assurant une protection adéquate du milieu. Aussi, le respect de distances d'éloignement — principalement par l'aménagement de bande riveraine de protections — et la protection de l'intégrité de ces milieux doivent faire partie d'une planification adéquate. Par ailleurs, la population et un nombre de plus en plus grand de MRC s'intéressent à la protection des boisés, au déboisement et au reboisement, en milieu agricole comme urbanisé. Dans certaines régions, le déboisement peut résulter des pressions de l'urbanisation. C'est effectivement le cas dans de nombreux endroits en Amérique du Nord et cette problématique a été largement documentée au cours de 25 dernières années, comme nous l'avons vu à la section 3.1 du présent chapitre. Cependant, dans d'autres régions, au Québec en Montérégie par exemple, il est occasionné par le développement de l'agriculture. La conséquence de ce déboisement est un morcèlement du couvert forestier en zones fragmentées isolées les unes des autres, sans connexions écologiques. De nombreuses études (Duchesne et coll. 1999 ; Fahrig 2003 ; CANADA, 2004) semblent établir un seuil de 30 % de superficies boisées dans un territoire donné et sous lequel il y a perte significative de biodiversité.

3.3 Outils d'investigation

3.3.1 Analyse systémique

Les systèmes socioécologiques sont des organisations qui partagent la plupart des caractéristiques des systèmes complexes : ouverture et environnement proximal, interaction et rétroaction, structures et processus, évolution et finalité. Dans un problème de haute complexité, tout comme la planification territoriale et environnementale en est un en raison des multiples compartiments qu'il englobe, il convient d'adopter, selon nous, une stratégie d'analyse qui s'articule avec les

concepts de la théorie générale des systèmes et plus spécifiquement sur l'approche systémique (Maldague, 2004).

Nous avons vu précédemment toutefois (section 2.1) que l'analyse systémique dans son acceptation fondamentale se prête originalement à des systèmes complexes dominés par des processus matériels mécanistes pour la plupart et quantifiables. Cette nature n'est pas nécessairement celle des systèmes d'interface socioécologique au sein desquels les processus, quels qu'ils soient, s'articulent entre eux autour d'une finalité immanente, soit celle d'un maintien de l'ordre et de l'organisation. Toutefois, c'est la nature intrinsèquement sociale de ces systèmes qui introduit un très fort degré de complexité dans leur analyse, qui demande *de facto* une méthodologie adaptée à cette nature particulière.

La méthodologie des systèmes souples (*soft system methodology*) pourrait permettre de résoudre le premier problème qu'est celui de la formalisation du système socioécologique en tant que système territorial complexe d'interface. Cette démarche, tout comme l'AMCD par ailleurs, procède d'une approche systémique en ce sens qu'elle répond aux trois postulats de l'approche : l'isomorphisme ou le point de vue organismique sur l'objet ; la triangulation systémique qui part du postulat qu'un système complexe peut généralement être observé sous trois angles différents, mais complémentaires, chacun lié à un point de vue particulier de l'observateur : structure, fonction, dynamique ; et le découpage systémique qui consiste à identifier les sous-systèmes du système global, leurs frontières, leurs finalités et les connexions qui déterminent leur interdépendance.

Par ailleurs, la MSS est un outil pertinent en recherche-action (Simard et Gagnon, 2007) pour aider à la définition de la vision stratégique du territoire. Elle fut développée au cours des années soixante pour l'analyse heuristique de situations

complexes, floues ou mal définies en raison de la multiplicité des acteurs et de la pluralité des structures et des processus qui définissent une situation et un contexte donnés. Cette démarche analytique a été abondamment appliquée à la formalisation des structures et processus organisationnels, mais a été très peu utilisée en science géographique. Nous allons l'appliquer ici, dans ce contexte spécifique.

3.3.2 Modélisation spatiale

La modélisation peut être définie, dans le contexte des systèmes d'information géographique (SIG), comme une émulation des processus du monde réel, de manière statique ou dynamique (Goodchild, 2005). À cet égard plusieurs arguments militent en faveur de l'utilisation des SIG pour la modélisation spatiale. La première utilisation de l'expression « *système d'information géographique* » est d'ailleurs attribuée au Canadien Roger Tomlison à la fin des années soixante. Il est le premier auteur à avoir exposé à la communauté scientifique un nouvel outil de stockage et de manipulation de données territoriales à des fins de gestion et de planification territoriale (ESRI, 2012). D'une part, le SIG et son environnement de gestion, de manipulation, de transformation et de visualisation permettent de représenter avec grande précision les conditions initiales et les sorties de modèles du territoire. En outre, le SIG comprend de nombreux outils d'acquisition et de prétraitement des données de modélisation, y compris la gestion des données, les conversions de format, les modifications de projections, tous les outils de conversion *raster*-vecteur en fait, tous les outils qui seraient nécessaires pour recueillir des données à des fins de simulation. Le SIG intègre également d'excellents outils de visualisation, de rendu, d'analyse et de requêtes statistiques.

Parallèlement, beaucoup de progrès ont par ailleurs été réalisés depuis les travaux pionniers de McHarg dans les années soixante. À l'époque, McHarg a

initialement développé des techniques de planification écologique sur le principe du SIG tel que défini par Tomlison, c'est-à-dire par une représentation cartographique thématique et la superposition des facteurs de décision. Aujourd'hui, les mêmes principes fondamentaux demeurent sous-jacents aux innombrables analyses effectuées à l'aide de SIG (Burroughs et McDonnell, 1998 ; Berry, 2013).

Aujourd'hui et depuis une dizaine d'années, les architectures de données, orientées-objet notamment, permettent de représenter les événements, les transactions, les flux et toutes autres catégories d'information dynamique difficilement visualisable cartographiquement. Enfin, bon nombre des techniques utilisées en analyse spatiale (krigeage, interpolation, voisinage, calcul de densité, optimisation de réseau, allocation, etc.) sont beaucoup plus éloquentes lorsqu'elles sont couplées avec les outils et extensions des progiciels SIG.

La modélisation spatiale appliquée à la planification territoriale et environnementale constitue l'autre avenue que nous allons utiliser. Globalement, l'usage du SIG dans le cadre de notre thèse permet la manipulation, la visualisation et le traitement de données géoréférencées sur le territoire et l'environnement, c'est-à-dire la gestion des composants structurels du modèle. L'analyse spatiale proprement dite permet de mettre en relation les attributs géographiques de cet espace et de constituer un modèle cartographique de simulation visuelle. Ce modèle spatial sera soumis à un ensemble d'opérations logiques booléennes et arithmétiques additives et soustractives, de même que de requêtes d'extraction et de production statistiques qui permettront de simuler divers scénarios d'affectation territoriale et d'utilisation du sol.

L'usage du SIG ici se justifie par la notion de scénario qui, comme nous l'avons vu précédemment, s'inscrit dans la catégorie des outils utilisés dans l'élaboration de la vision du territoire selon l'approche par fantaisie guidée (Simard et

Gagnon, 2007). La première définition du scénario — et la plus fréquemment citée — est celle de Kahn et Wiener (1967 *in* ICIS 2000) : « les scénarios sont des séquences hypothétiques d'évènements construits qui permettent de mettre l'accent sur les processus causaux et les nœuds de décisions ». Julien et coll. (1975 b) précisent davantage cette conception en affirmant que « les scénarios sont des instruments réflexifs, critiques et rétroactifs de stimulation et d'expérimentation d'un système social qui s'approchent des méthodes scientifiques (...) c'est une démarche synthétique qui stimule, étape par étape et d'une manière plausible et cohérente, une suite d'évènements conduisant un système à une situation future (...). Elle se fonde sur des analyses synchroniques et diachroniques ; les premières stimulent l'état du système à un moment donné et sont donc orientées par la nécessité d'une description cohérente, tandis que les secondes se penchent sur l'enchaînement des évènements et sont amenées à mettre l'accent sur la causalité et les interrelations qui les lient » (Julien et coll. 1975 a, p.2).

Pour Slocum (2006), le scénario est une description narrative de futurs possibles illustrant les relations entre les évènements et les prises de décision et mettant en évidence les possibilités d'évolution et l'ampleur des imprévus probables. Cette définition intègre à nouveau la dimension décisionnelle, tout comme pour Kahn et Wiener (1967 *in* ICIS, 2000). Enfin, c'est la définition de l'ICRA (2013) qui retient ici notre attention et qui nous apparaît la plus intégrative dans notre contexte propre à la planification du territoire et de l'environnement. Selon l'ICRA (2013, p.1), le scénario est un artefact issu d'un processus créatif « au cours duquel les hypothèses sur les différentes tendances ou les situations futures sont émises et combinées afin d'élaborer une série (limitée) de futurs possibles, qui nécessiteront chacun divers types d'actions (stratégies) de la part des acteurs ».

Tout comme pour les définitions du concept, il existe aussi de nombreuses typologies du concept du scénario. Nous avons retenu celle de l'ICIS (2000), laquelle classifie les scénarios en trois grandes catégories : les scénarios *exploratoires*, les scénarios *normatifs*, et les scénarios *qualitatifs* ou *quantitatifs*. La première catégorie de scénarios permet le développement d'alternatives (ou de futurs souhaitables ou souhaités) à partir d'une situation de base, sans *a priori* toutefois quant à la finalité des futurs désignés par celles-ci ; dans les scénarios rétrospectifs le futur possible est le point de départ du processus ; des stratégies et actions sont ensuite élaborées en vue d'atteindre ce futur souhaité. Les scénarios normatifs permettent plutôt de définir des alternatives possibles sans *a priori* quant au degré de volonté ou de souhait envers l'une ou l'autre d'entre elles ; prennent en considération les préférences et valeurs des individus. Enfin, les scénarios quantitatifs sont souvent formalisés au sein de modèles de simulation numérique. À l'opposé, les scénarios qualitatifs sont basés sur le pouvoir narratif dans le cas notamment où les données sont fragmentées ou absentes. Ces modèles permettent une meilleure structuration de la pensée, la reconnaissance de problèmes et une première mise en relation des composantes du système étudié (Parrott, 2011).

L'ensemble de ces définitions nous amène à introduire ici une précision importante sur la nature des scénarios et sur leur usage dans une démarche prospective. En effet, une distinction est à faire entre la prévision et la prospective. La question des données sur l'état antérieur et sur l'état initial du système doit ici être considérée. Alors que la prévision est davantage liée à des outils mathématiques déterministes, stochastiques, ou autre, d'extrapolation de situations passées et présentes, la prospective nécessite des hypothèses sur diverses visions possibles du futur à partir d'un état présent, mais qui n'est pas en lien avec les données passées (Mermet 2004).

3.3.3 Aide multicritère à la décision

L'aide multicritère à la décision fait référence à une approche, à un processus composé d'étapes, d'acteurs et de décisions à différents niveaux. Elle utilise un ensemble de méthodes analytiques appliquées à la prise de décision en présence de critères multiples, et généralement, contradictoire. Comme *approche*, l'aide multicritère à la décision permet de fournir une aide à la formalisation du processus décisionnel ainsi qu'à l'identification d'éléments qui concourent à la décision, sans toutefois remplacer le décideur ultime qui garde l'entière responsabilité de son jugement et de la décision proprement dite. De leur côté, *les outils techniques* en appui de l'AMCD, fournissent différents moyens de factorisation, de pondération et d'agrégation des attributs informatifs d'un problème complexe. De manière générale, lorsqu'on pose un problème multicritère, il s'agit d'en trouver la solution la plus adéquate compte tenu d'un certain ensemble de critères, cette solution pouvant prendre diverses formes selon la problématique décisionnelle privilégiée (choix, affectation, classement).

Il existe des limites de l'intellect humain à pouvoir résoudre un problème de nature multicritère et multiacteur (Brans et Mareschal 2002). La décision, qui consiste en l'évaluation d'un ensemble A d'actions potentielles et la sélection d'une action en regard d'un certain nombre de critères constituent un problème mathématique complexe du fait de l'impossibilité d'optimiser tous les critères dans le choix d'une alternative. Il existe en effet rarement une alternative qui soit la meilleure pour tous les critères à la fois. Par ailleurs, il ne serait ni réaliste ni équitable d'identifier une décision qui ne reposerait que sur un seul critère. Dans la très grande majorité des cas, et cela est encore plus vrai en planification territoriale, un ensemble F de critères (ex. : environnementaux, économiques et sociaux) doit être considéré par le décideur. Par ailleurs, un problème multicritère ne peut pas être traité sans introduire

d'informations additionnelles liées aux préférences et aux priorités du décideur. La situation est encore plus complexe en contexte participatif multiacteurs même si en dernier ressort, le décideur ultime est dépositaire des orientations et politiques entourant la planification territoriale et environnementale.

En planification territoriale et environnementale, le décideur unique n'existe pas, la décision (prise au sens large ici et portant sur des scénarios de planification du territoire et de l'environnement) consiste en une conjonction des points de vue de trois instances : les MRC, les ministères et le gouvernement et cela en vertu du degré de compétences qui appartient à chacun de ces paliers ¹⁰. Ainsi les MRC peuvent planifier l'utilisation de leur territoire et de leurs ressources sous forme de scénarios d'usages, mais uniquement de manière conforme aux orientations gouvernementales en matière d'agriculture et de protection du territoire agricole, notamment. Cette règle est assortie de la conformité, supplémentaire de toutes les autres orientations ministérielles sectorielles : énergie, foresterie, environnement, etc.

C'est, globalement, le contexte dans lequel prendra forme le processus décisionnel que nous allons élaborer. Pour ces raisons, l'aide multicritère à la décision s'impose d'emblée dans notre démarche.

3.3.4 Intégration systémique/SIG/AMCD et planification territoriale.

L'idée d'utiliser les SIG comme outil d'aide à la décision n'est pas nouvelle. Celle-ci s'est lentement mise en place durant les années 1970 puis a grandement évolué depuis le milieu des années 1980 avec la démocratisation des outils SIG pour

¹⁰ Les responsabilités des MRC portent sur leur obligation de (1) favoriser l'utilisation prioritaire du sol à des fins agricoles (2) assurer la pérennité d'une base territoriale pour la pratique de l'agriculture dans une perspective de développement durable et de favoriser la protection et (3) le développement des activités et exploitations agricoles. La MRC doit également déterminer des orientations d'aménagement et des affectations du sol qu'elle estime appropriées pour assurer, en zone agricole, la compatibilité des normes d'aménagement et d'urbanisme avec ces trois objectifs (QUÉBEC, 2001).

atteindre une reconnaissance complète au tournant des années 1990 (Keenan, 2003 *in* Mora et al. 2003). C'est toutefois au cours de la dernière décennie que les avancées les plus significatives ont été faites sur les *systèmes intégrés d'aide à la décision*. Ces approches intègrent certes les SIG, de manière convenue à la lumière de leurs apports documentés sur leur utilité pour l'aide à la décision, mais également d'autres outils d'aide à la décision plus sophistiquée telle que notamment, l'analyse multicritère. De nombreux travaux, antérieurs à notre contribution, et ayant pour objet la thématique de la planification territoriale et l'analyse multicritère ou encore le couplage SIG/analyse multicritère et planification territoriale et environnementale, ont eu lieu au Québec ainsi qu'un peu partout ailleurs dans le monde au cours des 25 dernières années (Martel et Rousseau, 1993 ; Côté et Waub, 2000 ; Simao et coll. 2009 ; Kordi, 2012 ; Lewis et coll. 2014). Nous pouvons d'ailleurs de plus en plus parler aujourd'hui d'un réel paradigme des systèmes de décision spatiaux, avec leurs concepts, outils et méthodes (Figueira et coll. 2010).

Malczewski (2010 *in* Figueira et coll. *op. cit.*) note toutefois que les contributions des dernières années dans ce champ d'études ont d'ailleurs beaucoup porté sur les aspects techniques de l'intégration SIG/AMCD ce qui a fait que notre compréhension des bénéfices de cette approche demeure limitée par un manque de recherche sur les questions conceptuelles et opérationnelles reliées la résolution de problèmes territoriaux réels. Néanmoins, de nombreuses contributions d'avantages axées sur la perspective sociopolitique et participative, en l'occurrence portant sur des problèmes plus ancrés dans le « ici/maintenant » ont pu être produites depuis ce temps et nous pouvons parler maintenant de ces deux perspectives du paradigme en devenir SIG/AMCD (Malczewski, *op. cit.*).

De plus en plus présentes dans le domaine SIG/AMCD, les approches d'exploration plus cartographiques, permettent au décideur d'enrichir sa connaissance du problème sur lequel il est appelé à se prononcer. Ces approches utilisent le SIG à des fins de visualisation explicite des alternatives, de leurs impacts et leurs effets dans une perspective systémique territoriale. Un autre avantage de cette approche SIG/AMCD réside dans l'opportunité qu'elle offre aux parties prenantes de visualiser presque en temps réel, les effets des décisions qui seront prises sur leur territoire lorsque ces effets ne peuvent pas être appréhendés par des méthodes plus conventionnelles de consignation tabulaire ou encore littérale d'information (Malczewski, *op. cit.*).

Si le créneau demeure potentiellement très intéressant pour le praticien en planification territoriale/environnementale, il semble, selon Joerin et Waaub (2013) que cette progression des travaux demeure encore limitée. En effet, l'intégration des outils, dans ce cas précis, consiste encore essentiellement à cartographier les critères et le résultat de l'analyse multicritère, de telle sorte que la spatialité de la décision reste sous-exploitée. Or, une interprétation géographique consisterait, par exemple, à critiquer le résultat d'une analyse multicritère en considérant sa logique spatiale.

En outre, la très grande majorité des contributions dans cette niche disciplinaire hormis certaines assez récentes (Prévil et coll. 2003.; Samoura, 2011; De Lourdes Vazquez et coll. 2013) demeure souvent confinée à un seul groupe d'acteur, c'est-à-dire en vertu des préférences d'un seul décideur alors qu'il est notoire que la planification du territoire et de l'environnement implique nécessairement d'une part l'analyse de plusieurs scénarios et d'autre part, la prise en compte de plusieurs parties prenantes dont les préférences sont souvent très fortement polarisées et conflictuelles (Chakhar et Mousseau, 2008 a).

Or, c'est très précisément ce que nous ambitionnons de faire dans le cadre de cette étude. D'une part, les scénarios de planification qui seront construits, bien qu'*a posteriori*, l'auront été à partir d'une situation où le décideur a été directement impliqué par les enjeux de ces choix. Nous verrons plus loin en quoi consiste cette implication. D'autre part, il ne s'agira pas pour nous de reproduire visuellement le résultat d'une analyse multicritère faite *a priori* sur un ensemble des scénarios, mais plutôt de comprendre le pourquoi « géographique » de la performance des scénarios. Il s'agit, d'une avancée intéressante sur les façons de planifier, de gérer et d'évaluer la performance des territoires en apportant un réel éclairage spatial et à la fois écologique, environnemental, social, économique et politique, sur la performance des actions.

Sur ce dernier point, il nous apparaît important de souligner que l'ensemble de la démarche répond d'une approche socioconstructiviste. Simplement et strictement posé, le socioconstructivisme (Berger et Luckmann, 1966) envisage la réalité sociale et les phénomènes sociaux comme étant construits, c'est-à-dire créés, objectivés ou institutionnalisés et, par la suite, transformés en traditions. Le constructivisme social se concentre ainsi sur la description des institutions et des actions en s'interrogeant sur la manière dont ils construisent la réalité. Dans le constructivisme social, connaissance et action vont de pair. Plus spécifiquement, le socioconstructivisme permet de traiter de manière rationnelle de nombreuses questions, telles que celles décrites ci-dessous.

- Quels sont les discours ?
- Quel est leur rôle dans la construction de la vie sociale c.-à-d. du système social ?

- Quelle est la relation entre discours et pouvoir : qui peut imposer son discours ?
- Quels discours permettent/empêchent quelles actions sociales ?

Aussi, le socioconstructivisme met l'accent sur le rôle des interactions sociales multiples dans la construction des savoirs. Nous pouvons étendre la portée de cette définition du socioconstructivisme à la modélisation du système sur lequel nous travaillons. En effet, partant de ce grand principe, nous avons été en mesure de soutenir l'usage de ce courant de pensée dans l'acquisition des savoirs de nature scientifique, requis dans la formalisation du système à l'étude. La construction d'un savoir, essentiellement scientifique dans le cas qui nous concerne, répond aux mêmes règles générales puisque nous sommes en présence de groupes d'acteurs, de groupes de préférences, d'acteurs latents, de décideurs et dont les champs sémantiques peuvent être analysés.

Les trois outils d'investigation dont nous avons succinctement traité dans les sections précédentes s'intègrent au sein d'un système intégré d'aide à la décision ou SIAD qui fera appel à trois types de modélisation : une modélisation conceptuelle du système étudié ; la modélisation spatiale de différents scénarios d'usage du sol ; et la modélisation du processus décisionnel. Ces trois types de modélisation se rapportent (1) à l'architecture et à l'organisation des composantes du territoire et plus précisément du *système* socioécologique. À cet égard, on peut parler ici d'un « modèle d'affaire » du système socioécologique, pour reprendre l'expression de Prévil et coll. (2004), dans la mesure où il y a production et consommation de biens et services liés à l'espace agricole et dont bénéficient de manière plus ou moins directe, un ensemble de parties prenantes : agriculteurs, forestiers, néoruraux, villégiateurs, etc. Ce système regroupe l'ensemble des composantes spatiales du territoire c.-à-d.

les zones d'affectations différentielles, les lieux de convergence et de transformation de la ressource « espace géographique », les grands processus à la base de cette transformation ainsi que l'environnement dans lequel ce système opère.

Ce système socioécologique comprend également un positionnement des parties prenantes dans l'espace, mais également les interactions que ces parties prenantes entretiennent. C'est par la définition du (2) *système d'acteurs* qu'il nous est possible d'obtenir cette compréhension synthétique, hiérarchique et organisée sur la nature des parties prenantes et des interactions entre celles-ci et avec le territoire. Cette information, que nous inférerons à partir d'une analyse systémique conventionnelle et poussée, constitue un élément de connaissance fondamental qui nous permet dégager, les grands enjeux relatifs à la démarche de planification, les foyers d'information, les zones conflictogènes, etc. Il s'agit là d'un élément très intéressant de la démarche que nous proposons et qui ne semble pas avoir fait l'objet de beaucoup de considération dans le cadre des contributions antérieures à notre travail.

Le (3) *système d'information géographique* permet d'assurer un lien sémantique entre le système d'acteur et le système socioécologique par la fonction de production d'un document ou d'une information c.-à-d. dans le cas qui nous intéresse, des sorties de simulations d'utilisation du territoire, pour appuyer le processus décisionnel notamment en simulant différentes visions du territoire, en évaluant la « performance » des scénarios retenus et qui seront soumis au jugement des parties prenantes (Previl et coll. 2004).

PARTIE II

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

« Il y a des systèmes partout »

L.W. Bertalanffy

La théorie du système général : Fondations, développement, applications

CHAPITRE IV

REVUE CRITIQUE DE TROIS OUTILS DE MODÉLISATION DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT POUR LA PLANIFICATION EN AMÉRIQUE DU NORD ¹¹

Résumé. Le processus de planification territoriale et environnementale doit produire des idées et non pas uniquement de l'information. Ce processus n'a pas pour but de se substituer aux décideurs en leur proposant des solutions « toutes faites », mais plutôt à les éclairer et à les guider vers des décisions dont ils conservent la responsabilité. Il en résulte une complexité tant aux niveaux conceptuel que méthodologique qui impose l'usage d'outils et de méthodes nombreux et variés : méthodes d'enquêtes et de statistiques, systèmes d'information géographique, aide multicritère à la décision, modèles physiques ou conceptuels, méthodes de gestion participative, etc. Trouver les modalités d'une articulation fonctionnelle entre ces outils et leurs objets nécessite une réflexion sur (1) l'objet d'étude lui-même, (2) le potentiel d'intégration des interactions et des contingences environnement/société par l'outil de modélisation, et (3) le potentiel de synthèse de l'information géographique, en termes d'enjeux soutenant l'aide à la décision. Notre contribution vise à présenter trois outils de modélisation utilisés en planification territoriale et environnementale au cours de ces 25 dernières années en Amérique du Nord. Ces trois outils sont (1) la modélisation cartographique, d'inspiration naturaliste et axée sur l'objectivation du milieu physique, (2) la modélisation visuelle ou géovisualisation, plutôt dirigée vers le paysage, et (3) la modélisation spatiale proprement dite qui regroupe les automates cellulaires et les approches multiagents, destinés à la modélisation des interactions fines entre les individus, et entre les individus et leur territoire. Chacune de ces approches de modélisation permet une formalisation adéquate d'un aspect du système étudié : importance mise sur la structure et le fonctionnement (implicite) dans la modélisation cartographique, sur la structure et sur la cognition spatiale dans la

¹¹ GUAY, J.-F., WAAUB, J.-P. « Revue critique de trois outils de modélisation intégrée du territoire et de l'environnement pour la planification en Amérique du Nord. *Développement durable et territoires* [en ligne], vol.1 no. 2, septembre 2010, URL : <http://developpementdurable.revues.org/8566> pp.1-18. (Voir Appendice B.1).

géovisualisation et sur la dynamique et les interactions systémiques en modélisation spatiale. Ces trois approches constituent un corpus d'outils dont l'intérêt d'utilisation réside dans le traitement qu'ils permettent d'un aspect en particulier de l'espace géographique : le milieu naturel, le paysage, le territoire, lesquels composent le système socioécologique.

Mots-clés : planification, méthodologie, paysage, environnement, modélisation, simulation, système multiagent, géovisualisation.

Abstract. Regional and environmental planning process must produce ideas, not only geographical information. Moreover, this process is not intended to substitute to the role of decision-makers but rather to inform them and guide them towards decisions for which they preserve responsibility. There is a large set of tools and methods existing to assume the inherent complexity of regional planning process: statistics and surveys, GIS, multicriteria decision aid, physical and/or conceptual model, participatory methods etc. Finding a functional articulation between these tools and their objects requires a reflection on (1) the object of study itself, (2) the integration capabilities of the tools, and (3) their synthesis capabilities. Here, we are addressing three modeling tools used in territorial and environmental planning during the past 25 years in North America. This tool set is based on (1) ecological mapping where focus is put on the description of natural/physical landscape, (2) landscape-oriented visual modeling or geovisualization, and (3) spatial modelling which includes cellular automata and multiagent systems, intended for specific modeling of interactions between individuals and between individuals and their living space. These three approaches are forming a corpus of tools that allow us to address one of the aspects of geographical space: the natural environment, the landscape, the territory, which built-up the geosystem.

Keywords : regional planning, geosystem, landscape, modeling, simulation, system, agent-based model, geovisualizing.

4.1 Introduction

Dans cet article, nous allons présenter trois outils de modélisation de l'espace, utilisés en planification territoriale et environnementale au cours de ces 25 dernières années en Amérique du Nord. La modélisation cartographique (1) d'inspiration naturaliste et axée sur les notions développées en écologie du paysage. Ce type de modélisation propose un formalisme conceptuel des écosystèmes. La modélisation

visuelle ou géovisualisation (2) traitant de la visualisation à des fins scientifiques du territoire. Ce type particulier de modélisation propose un formalisme représentationnel limité, dans lequel les interactions entre les composantes — un individu ou un groupe et une représentation visuelle du territoire — ne sont pas explicites, mais implicites. La modélisation spatiale (3) proprement dite, regroupe les automates cellulaires, les approches orientées-individus et multiagents. Ce type de modèle représentationnel computationnel permet de mettre en relation les composantes du système étudié selon un ensemble de règles associatives ou décisionnelles. Chaque approche constituant une tentative de formalisation d'un aspect du système spatial étudié. Ainsi, la cartographie écologique constitue selon nous un prérequis absolu en planification et qui répond à un besoin particulier, soit celui de mieux comprendre la structure du milieu physique, support aux activités anthropiques. À cette objectivation du milieu naturel il est possible d'apposer toute la question du paysage, tel que nous admettons sa nature en tant que processus et foyer d'intégration des interactions entre la société et son environnement. Aussi, une importance réelle doit être attribuée à cette valeur « visuelle » du paysage, une exigence à laquelle la géovisualisation et les SIG permettent de répondre. Enfin, la compréhension des changements d'état du système, de leurs significations et de leurs impacts sur la dynamique globale du territoire et du milieu devient une préoccupation majeure qui confère au praticien toute la légitimité de son message auprès des acteurs. Cette étude prospective du territoire (Mermet, 2005) introduit l'acteur dans le système et c'est ici qu'interviennent les SMA, de facture plus récente, destinés à la modélisation des interactions fines entre les individus, et entre les individus et leur territoire.

4.2 L'espace naturel : la modélisation cartographique

Collectivement, la décennie 1970 a été marquée par l'émergence d'une conscience environnementale dont l'expression la plus tangible a été l'établissement d'un rapport de force entre les tenants de visions opposées du développement mettant aux prises une philosophie plutôt tournée vers les impératifs de croissance perpétuelle du modèle productiviste et la vision « écologique » du développement, soutenant implicitement que le maintien de la qualité de vie des collectivités repose sur le maintien de l'intégrité des écosystèmes. Si les premiers adhèrent à l'idéologie classique de la croissance économique dans laquelle le capital construit se substitue au capital naturel, les seconds plaident pour un développement durable pour lequel cette substitution n'a pas lieu d'être, mais prend plutôt la forme d'une complémentarité, sans perte de capital naturel.

Selon Rougerie et Beroutchachvili (1991), cette période est également marquée par une rupture avec les discours déterministe et possibiliste classique, et par l'émergence d'une nouvelle approche de l'espace plutôt fondée sur l'actualisation des potentiels du territoire pour un meilleur usage social de l'espace. Dans ce contexte, les premières expériences de caractérisation visuelle du territoire de K. Lynch avec ses descriptions des paysages urbains font apparaître la notion de paysage. C'est aussi avec les travaux de MacHarg notamment dans « Design with nature » paru en 1969 que se confirme cette vision « écologique » du milieu par l'usage d'une méthode qui repose d'une part sur des séries de cartes des caractéristiques écologiques, paysagères et culturelles, superposables et permettant d'évaluer les aptitudes et les contraintes du territoire selon les usages souhaités, et leurs incidences sur le milieu. Le « land suitability » fait ainsi reposer son concept sur la mise en correspondance de l'utilisation du sol avec les attributs physiques du territoire.

C'est à l'époque les premières tentatives pour faire émerger les potentiels d'utilisation rationnelle des ressources du milieu et pour identifier les contraintes limitant cette utilisation. L'information dérivée par le croisement de ces couches thématiques permet de localiser les meilleurs emplacements c.-à-d. les sites les mieux adaptés et les plus viables aux divers scénarios d'utilisation des ressources physiques du milieu. Dès lors, on parle de planification écologique et l'essentiel de cette approche mise en œuvre par McHarg et Lynch s'est répandu en moins d'une décennie un peu partout dans le monde anglo-saxon en Angleterre ainsi qu'aux États-Unis. Dès ce moment, partout où on se préoccupe d'aménagement, les notions de paysage et d'écologie deviennent associées l'une à l'autre et ce, dans la continuité des intuitions de Dansereau quelques années auparavant (Dansereau, 1957).

C'est dans cette mouvance que s'est développée toute une discipline de la cartographie écologique en Amérique du Nord à partir des années 1970. Chez-nous au Québec, l'approche s'est imposée comme outil d'inventaire du capital naturel des territoires nordiques, aux premiers moments d'acquisition de données écologiques fondamentales à des fins exploratoires, entreprises par la communauté scientifique dans le territoire du Nouveau-Québec (Jurdant et coll. 1977 ; Ducruc, 1985). Ailleurs sur le continent, la cartographie écologique a émergé comme un incontournable relativement à la planification du territoire, mais aussi — et surtout — de la planification environnementale (Rowe et Sheard, 1981 ; Robitaille et Saucier, 1996) Les écorégions issues des travaux de Bailey et coll. (1994) et de l'USDA (2008), les écozones du Canada (ESWG, 1996 ; Rankin et coll. 2011) sont quelques-uns des nombreux travaux de cartographie écologique qui ont donné lieu à des exercices de caractérisation du territoire.

Le principe fondamental qui sous-tend ce type d'exercice se définit par la nécessité de « penser » et de planifier l'utilisation du sol en termes écosystémiques. Cette approche nécessite dès lors un « cadre écologique » permettant de fournir aux praticiens et aux scientifiques un modèle spatial cohérent des écosystèmes, à divers niveaux de généralisation cartographique. L'utilisation d'un tel cadre d'unités écologiques standards permet de fournir une passerelle transdisciplinaire entre l'écologie, le développement durable, la planification territoriale et la protection des ressources naturelles (Marshall et Schut, 1999).

Conceptuellement, la démarche repose sur les préceptes fondamentaux de l'écologie du paysage à savoir que la configuration du milieu — ses caractéristiques permanentes à un niveau de perception de l'espace donné, telle que la topographie, le modelé, le relief — révèle en fait une mosaïque d'écosystèmes dont les limites virtuelles sont fondées sur la répartition et la nature de ces éléments permanents (Forman et Godron, 1986). La structure, la composition puis le fonctionnement (implicite) des écosystèmes terrestres sont ainsi déduits à partir de ces formes de terrain lesquelles forment des « limites » écologiques immuables fortement dépendantes de la structure géologique et de la répartition des dépôts de surface (Bailey, 1980 ; Rowe 1992).

Ces grands principes de la cartographie écologique peuvent être poussés à un niveau d'intégration plus avancée en vertu de la *classification écologique*. La délimitation des unités de paysages forme la toute première étape de la cartographie écologique. Elle sert de cadre à la classification écologique qui s'ensuit, en vertu des potentiels et contraintes écologiques de chacune de celles-ci. Cette classification permet de voir en chacune de ces unités de paysage, un écosystème élémentaire, spatialement discrétisé et qui offre, en vertu de leurs composantes internes et de leur

structure spatiale à ce niveau d'organisation, des potentiels et des contraintes et qui peuvent être invoqués au moment de planifier les usages du sol et des ressources.

Il y a 4 grands principes élémentaires en cartographie écologique (Marshall et coll. 1999) :

- 1) Principe holistique : les unités de paysage sont spatialement définies par un *ensemble* de facteurs biotiques et abiotiques
- 2) Principe de la variance d'échelle : le nombre et l'importance relative de ces facteurs varient d'un secteur à l'autre du territoire, peu importe le niveau de perception auquel ils se situent.
- 3) Principe de hiérarchie : la délimitation cartographique des unités de paysage repose sur un système hiérarchique et dont les taxons s'imbriquent les uns dans les autres.
- 4) Principe de discontinuité : les lignes de partage entre ces unités constituent des zones de rupture entre écosystèmes distincts.

Pour ce qui est de la classification écologique, nous comprenons que si elle repose dans un premier temps sur l'ensemble des principes précédents, elle en introduit d'autres :

- 5) Principe d'intégration : la classification écologique des unités de paysage préalablement cartographiées incorpore *a posteriori* tous les principaux facteurs écologiques biotiques et abiotiques.
- 6) Principe de globalité : le fonctionnement des écosystèmes élémentaires répond à l'axiome systémique du « tout est plus que la somme des parties »
- 7) L'intégration des facteurs écologiques ne constitue donc pas une simple addition de variables, mais une réelle intégration systémique

La cartographie écologique a généré un intérêt considérable dans le sillage duquel plusieurs méthodologies et approches apparentées ont été développées (Marshall et Schut, 1999; Loveland et Merchant, 2004; Sayre et al. 2008). Plusieurs organisations gouvernementales poursuivent également toujours des travaux de cartographie basée sur les grands principes de la cartographie écologique. Ainsi, plusieurs provinces canadiennes et territoires nord-américains (MacMillan et coll. 2005; Huettman et Diamond, 2006) se sont dotées d'outils similaires à des fins de gestion des ressources naturelles de leur territoire (YUKON, 2013; NOVA SCOTIA, 2007; Lajeunesse et coll. 1997; Gerardin et coll. 2002; Bellavance, 2014; Sayre et coll. 2014) et des applications récentes continuent toujours d'être produites à des fins de connaissances intrinsèques des écosystèmes terrestres et aquatiques (;) de même que pour la planification environnementale proprement dite notamment dans le domaine des aires protégées, de la gestion de la biodiversité et des habitats (CANADA, 2010) et de l'aménagement forestier (Beauchesne et coll. 1996) où les questions d'échelles spatiales sont fondamentales pour les communautés biotiques.

4.3 L'espace visible : la modélisation visuelle

Le paysage — objet esthétique empreint d'expression et d'émotion pour les uns, système matériel chargé de flux et de structures pour les autres — revêt une importance fondamentale en regard des questions d'appartenance, d'identification et de perception sous-jacentes à la prise de décision en planification territoriale. Pour les fins de cet article, la valeur sémantique que nous lui accordons est celle de la portion visible de l'espace géographique constituée d'artefacts et de structures naturelles et à partir desquels s'établira un ensemble de relations, beaucoup moins tangibles en termes matériels, entre un observateur et son environnement. Ces relations subjectives, mais tout aussi porteuses de sens s'élaborent en vertu d'une chaîne

cognitive complexe mettant en relation plusieurs processus propres aux individus : perception spatiale, mémoire, appartenance, affectivité, etc.

La modélisation visuelle du territoire et de l'environnement ou géovisualisation s'est avérée, depuis une vingtaine d'années, une approche de modélisation largement utilisée pour évaluer les impacts visuels des prises de décision à composante spatiale (Appleton et Lovett, 2005) et les états actuels et futurs d'un territoire (Sheppard, 1986 ; Sheppard et Meitner, 2003 ; Macfarlane et coll. 2005). Une distinction doit être établie entre la préparation de l'information à des fins de géovisualisation, soit l'extraction de l'information, et son rendu. Si l'extraction concerne davantage l'exploitation des moyens techniques et de l'information géographique pour identifier les éléments structuraux, les patrons texturaux et le positionnement des entités dans l'espace géographique, le rendu, fait plutôt appel à la représentation et à la diffusion de cette information. C'est sur cet aspect que nous nous attarderons .

Selon Lovett et coll. (2015) les techniques de visualisation du paysage incluent traditionnellement, dessins et peintures. Depuis les années 1960 toutefois, les photographies et les photomontages ont été largement utilisés alors qu'au milieu des années 1990, les capacités émergentes des SIG ont notablement amélioré les possibilités de représentations numériques du territoire. À l'heure actuelle, trois approches sont couramment utilisées. Le drapage consiste en une superposition d'images ou une combinaison d'images satellitaires ou d'orthophotographies sur une surface 3D, générée par un modèle numérique d'élévation. Le principal intérêt de ce type de visualisation réside dans le fait qu'il ne requiert pas d'importants volumes de données et qu'il permet la visualisation de vastes superficies de territoire, principalement si une image satellite est utilisée plutôt qu'une orthophotographie.

Le rendu photoréaliste offre une visualisation haute-fidélité du territoire. Ce type de rendu confère au modélisateur un contrôle sur tous les paramètres du modèle visuel du paysage : couleur, texture et taille des artefacts, luminosité, éclairage de l'environnement, etc. À cet égard, la compilation du rendu peut-être onéreuse en temps, notamment si un grand nombre d'effets visuels est requis. Par ailleurs, les réalités virtuelles constituent des représentations tridimensionnelles et immersives d'espaces réels ou fictifs. L'avantage principal de ces technologies sur les autres types de rendu est de permettre d'intégrer l'univers visuel généré, notamment à l'aide d'interfaces sensorielles et de sonomètres. Les gants de données, les lunettes de navigation virtuelles constituent des interfaces personne-machine qui permettent actuellement de naviguer dans des environnements virtuels (Appleton et Lovett, 2003 ; Sang Cho et coll. 2007). La nature intrinsèquement visuelle du paysage, l'importance des interactions entre les individus et celui-ci de même que la valeur indicielle qu'il revêt en écologie du paysage autorisent l'usage de la visualisation scientifique à des fins qualitatives en planification territoriale et environnementale.

Batty et coll. (2000 ; 2004) définissent la géovisualisation comme les représentations et les procédés de représentation de données géoréférencées, de photographies, de vidéos et autres artefacts qui accentuent la communication non textuelle d'information. Or, nous l'avons vu en introduction, une des interprétations du concept de paysage est celle de la portion visible de l'espace constitué de structures naturelles et anthropiques à partir desquelles s'établira un ensemble de relations, beaucoup moins tangible en termes matériels, entre un observateur et son environnement. Ces relations subjectives, mais tout aussi porteuses de sens s'élaborent en vertu d'une chaîne cognitive complexe mettant en relation plusieurs processus : perception spatiale, mémoire, sentiment d'appartenance, affectivité, valeurs, etc. Aussi, c'est par ce regard et cette perception que s'établiront certaines

des interactions parmi les plus solides entre les communautés, leur territoire et leur milieu, et c'est sur ce postulat que repose la pertinence de la géovisualisation en planification territoriale et environnementale.

Comme outil lié à la planification participative du territoire et de l'environnement, la visualisation du paysage a démontré son utilité en permettant aux acteurs de comprendre les impacts des décisions de planification sur leur territoire et ce, notamment dans le domaine de la foresterie. Ainsi, l'approche du Visual Resources Management a émergé au début des années soixante-dix dans les pratiques de planification des opérations forestières. Cette approche de modélisation du territoire prend assise sur deux théories en architecture du paysage nommément l'esthétique scénique (Carlson, 1977) et l'esthétique écologique (Gobster 1999). C'est toutefois surtout dans le contexte de ce que Sheppard (2001 ; 2003) appelle l'intendance visible (« visible stewardship ») que la géovisualisation prend un sens plus stratégique.

Dans son principe, l'intendance visible fait référence à des techniques qui permettent aux gestionnaires des ressources naturelles d'illustrer concrètement la valeur qu'ils accordent à l'environnement et ce, en accord avec les perceptions du public, lesquelles sont par ailleurs généralement à l'opposé des enjeux économiques de l'exploitation d'une ressource. Ces pratiques, dont les effets sont directement perceptibles sur le terrain par des configurations particulières du paysage (un parterre de coupe forestière par exemple) constituent un symbolisme qui équivaut, dans l'esprit du public, à une bonne gestion des ressources (Hull et coll. 2009).

En d'autres termes, toutes interventions dans un milieu, pour qu'elles soient rendues acceptables par la société, devraient clairement refléter un respect pour cet environnement. À certains égards, l'acceptabilité sociale d'un projet dont l'empreinte

écologique est importante pourra être fonction, en partie, de la capacité du public de voir les preuves tangibles que ce projet est écologiquement durable et soigneusement planifié par des individus qui partagent avec eux, le même engagement envers un milieu naturel sain.

On ne peut pas aborder la géovisualisation en oblitérant la place des systèmes d'information géographique (SIG) dans ce contexte. Ces systèmes déploient des fonctionnalités de capture, de manipulation, de stockage, d'extraction, de manipulation, d'analyse et de visualisation de données géoréférencées (Aronoff 1989) à des fins d'analyse et de modélisation de la distribution spatiale de phénomènes (André et coll. 2010). Ces aspects sont liés aux enjeux opérationnels de la géovisualisation. En foresterie par exemple, l'intégration de l'imagerie aérienne dans les SIG matriciels puis un peu plus tard de l'imagerie satellitaire ont révolutionné le traitement, la manipulation et l'interprétation d'une information visuelle qui jusque-là s'effectuait de manière analogique (Iverson et coll. 1989 ; Gustafson et coll. 1998 ; White et coll. 2006). En outre, les données d'imagerie provenant de capteurs de troisième génération comme le LIDAR (Renslow et coll. 2000) permettent aujourd'hui d'évaluer la structure et le volume de biomasse des surfaces forestières en 3D (St-Onge et coll. 2004 ; Van Aardt et coll. 2008 ; Palace et coll. 2015).

Il existe toutefois une limite au potentiel de ces outils et elle est directement liée à la qualité du processus de validation terrain de l'information qu'ils permettent de générer. En outre, les extraits typiques du SIG — la carte, les diagrammes et les flux de données — ne sont pas toujours accessibles, cognitivement parlant, pour les acteurs impliqués dans le processus de planification. Une translation sur un support de visualisation constitue la façon adéquate de communiquer « l'intelligence » issue de la modélisation territoriale et environnementale par SIG. C'est ainsi que le

collectif « Collaborative for Advanced Landscape Planning (CALP) » de l'Université de Colombie-Britannique explore depuis quelques années le potentiel de la géovisualisation en planification environnementale l'intégrant dans un système d'aide à la décision en gestion forestière, lequel permet d'évaluer divers scénarios de coupe (Sheppard et Meitner, 2004). À partir de critères et d'indicateurs, développés en consultation avec le public, il devient possible de synthétiser les objectifs économiques, écologiques et sociaux, d'optimiser l'activité de coupe tout en minimisant son impact. La géovisualisation a servi notamment pour induire la discussion, dégager les points de vue des acteurs et faciliter la comparaison des impacts visuels des différents scénarios de coupe.

Les avancées les plus récentes (Foo et coll. 2015) dans le domaine de la modélisation visuelle du territoire ont dramatiquement accru les capacités théoriques et appliquées des spécialistes du domaine pour représenter les conditions passées, actuelles et futures du territoire. L'utilisation de la visualisation s'est désormais étendue au domaine de la participation publique et la visualisation du paysage fait maintenant partie de tout projet nécessitant une évaluation des impacts environnementaux (Schroth et coll. 2015 ; Sheppard, 2015). Toutefois, selon Lovett et coll. (2015), dans un contexte de planification territoriale et environnementale, l'utilisation de la visualisation se doit de dépasser la simple représentation visuelle de l'espace ; elle doit être intégrée dans tout le processus c.-à-d. de la détermination des objectifs, actions et scénarios jusqu'au suivi post-planning. En outre, elle doit s'intégrer dans une optique socioconstructiviste qui implique la participation du public. Une des limitations de l'usage de la visualisation. Les réponses perceptuelles et le réel effet constructiviste de la visualisation sur les jugements des acteurs demeurent toutefois toujours questionnés (Downes et Lange, 2015).

4.4 L'espace dynamique : la modélisation spatiale

Le spectacle d'un assortiment d'objets dans l'espace et de la manière dont ceux-ci sont organisés est, intrinsèquement, neutre. Il ne devient paysage que lorsqu'intervient, chez l'individu une finalité quant à l'usage de ce paysage (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). C'est initialement ce type de regard que le praticien doit porter sur le milieu au moment de « planifier » l'espace. Au sein des systèmes à forte composante sociale, la phénoménologie comme expérience de la conscience intentionnelle des individus, des groupes, des institutions et de la culture, constitue un paradigme qui fait dire à Walliser (2006) que (1) tout acteur humain est doté d'intentionnalité lui permettant de se forger des croyances primaires sur son environnement, mais aussi sur les autres acteurs et sur lui-même ; (2) tout acteur humain est doté de réflexivité au sens où il peut analyser sa propre intentionnalité tout comme celle d'autrui. L'intention et la finalité deviennent les corollaires des croyances et des valeurs, des désirs et des objectifs de l'individu ou du groupe. Ce sont la nature puis l'organisation de ces valeurs intrinsèquement subjectives que la planification territoriale et environnementale doit permettre d'apprécier avant de générer « l'intelligence » requise dans la prise de décision. Or dans ce contexte le problème fondamental émergent est celui de comprendre et appréhender les interactions entre les individus et leurs milieux. La planification territoriale et environnementale, avant de constituer son « intelligence », sur laquelle repose la décision, doit initier un regard sur ces questions par l'analyse prospective de deux catégories d'interaction celles qui s'établissent (1) entre les individus, et (2) entre les individus et leur espace.

Par ailleurs, la dynamique des systèmes « socio-environnementaux » que sont le territoire et le milieu est souvent tributaire d'une classe particulière de phénomènes non prévisibles, souvent contre-intuitifs, qualifiés d'émergents. Ces manifestations

peuvent prendre la forme (1) d'une singularité statistique (un regroupement d'individus en cluster sous l'influence d'une distribution aléatoire de facteurs d'incidence) (2) structurelle (l'apparition spontanée d'un réseau de relations nouvelles qui s'établissent entre des entités), ou (3) qualitative, s'il se manifeste sous la forme de propriétés nouvelles acquises par les entités : normes sociales, consensus, comportements, etc. (Dessalles et Phan, 2005 ; Dignum et Dignum, 2009). D'ailleurs, un des aspects fondamentaux de ces processus est le pouvoir d'adaptation qu'ils possèdent en vertu des aléas et changements de l'environnement. Ces processus puisent donc leur nature dans l'interaction dynamique avec l'environnement duquel ils ne sont pas totalement dépendants ni auquel ils ne sont restreints. Ils s'en détachent par des propriétés et des régularités génériques applicables dans d'autres environnements. L'environnement est là pour paramétrer des règles comportementales et structurales de base conduisant à l'émergence du phénomène global (Jean, 1997).

C'est sur ces prémisses que nous orientons notre réflexion sur des modèles qui doivent permettre d'apprécier, d'une manière dynamique et visuelle, le comportement de ces systèmes à forte composante anthropique. En particulier, l'accent a été mis sur les modèles orientés-objet, de facture récente et grâce auxquels le système, à fort ancrage territorial est représenté à un niveau élevé de la résolution comme une collection de plusieurs milliers d'éléments en interaction. Ces modèles permettent de reproduire les dynamiques complexes des écosystèmes et des socioécosystèmes contraints par des conditions environnementales faisant office de règle décisionnelle. Il en existe trois catégories : les modèles orientés-individus, les modèles orientés-agents, aussi appelés modèles multiagents et les automates cellulaires (Parott et Kok, 2000). Deux de ces catégories de modèles cadrent dans une problématique de planification territoriale/environnementale, soient les automates cellulaires et les

modèles orientés-agents. D'une part, l'automate cellulaire est un modèle spatial à deux dimensions qui s'appuie sur la propriété topologique de connectivité entre les entités d'un environnement donné (Shirabe, 2005). Initialement découvert en 1940 par J. Von Neumann, le concept a gagné la faveur du milieu académique au cours des années 1960 (Von Neumann, 1965). On attribue au mathématicien S. Wolfram la très grande majorité des travaux théoriques sur les automates cellulaires portant le concept à maturité au cours de la décennie 1980 (Wolfram, 1982, 1983). Aujourd'hui, les automates cellulaires sont utilisés dans de nombreux domaines des sciences physiques et biologiques et, en ce qui nous concerne, en planification territoriale et environnementale, en foresterie ainsi qu'en urbanisme (White et Engelen, 1993 ; Batty, 1999 ; Torrens et Nara, 2007).

Dans sa forme la plus schématique, l'automate cellulaire est formalisé par un ensemble (i) de cellules formant une grille ; chaque cellule possède un voisinage Ω , constitué minimalement des 4 (voisinage de Neumann) ou 8 (voisinage de Moore) cellules cardinales. Chacune des cellules porte une valeur discrète choisie à partir d'un ensemble de possibilités. Ces valeurs sont mises à jour selon un pas de temps donné selon des règles logiques qui varient en fonction du voisinage de chaque site. Chaque cellule peut être ainsi caractérisée par un état, fonction des états des cellules de son voisinage (Wolfram, 1988). Un assemblage de cellules et d'états détermine une configuration du système. Cette configuration est mise à jour à intervalles précis lorsque certaines ou toutes les cellules voient leur état modifié en vertu de règles de transition qui prennent habituellement la forme de structures logiques imbriquées du genre « If (état $\Omega = x$) Then (état $i = y$) ». Selon le phénomène étudié, ces règles de transition seront plus ou moins complexes.

Le projet iCity (Stevens et coll. 2007) constitue un exemple type d'utilisation d'automates cellulaires destinés à la planification territoriale. Dans ce modèle, l'espace urbain est discrétisé en parcelles (cellules) d'utilisation du sol. Ce découpage est basé sur le cadastre et chacune des cellules est caractérisée par l'affectation territoriale sous-jacente : résidentielle, commerciale, industrielle, réseau routier, espace vert, notamment. La variable d'état de la cellule est le niveau de développement atteint par celle-ci (totalement non-développé ↔ totalement développé). À chaque itération du modèle, cet état est modifié en vertu de 4 phénomènes déterministes : (1) la croissance prévue de la population ; (2) un indice d'attractivité résidentielle ; (3) le nombre de logements requis pour supporter la croissance prévue de la population, et (4) le stock existant de logements. C'est la coordination entre ces phénomènes d'échelle supra-parcellaire — reposant sur des critères objectifs, mais également sur des schèmes perceptuels et des représentations — qui va induire la dynamique globale au système socioenvironnemental. Chaque changement d'état d'une cellule (totalement non-développé ↔ totalement développé) induit un changement d'état des cellules adjacentes en vertu de règles décisionnelles particulières ; par exemple, SI le seuil de la population atteint un certain niveau ALORS sélectionner les parcelles à développer dans d'autres affectations.

L'automate cellulaire répond adéquatement aux exigences méthodologiques induites par la structure naturelle de certains processus ou conditions ponctuels ou continus qui ont cours dans un territoire ou un milieu : diffusion, dispersion, transition, migration, affectation, isotropie, etc. Il permet de simuler l'évolution spatiale d'un territoire à partir de ses conditions intrinsèques c.-à-d. l'état de cellules qui le composent. Mais qu'arrive-t-il si ces conditions initiales sont conférées, non pas par un état statique et ponctuel d'une grille de cellules immobiles, mais plutôt par

l'interaction entre des agents qui se meuvent dans un environnement donné comme le font normalement des populations humaines ?

C'est ce postulat qui engage l'usage des modèles multiagents. Ces modèles héritent des concepts de l'intelligence artificielle dite distribuée et sont encore relativement récents. Ils sont toutefois sortis de la sphère des sciences cognitives et informatiques depuis quelques années et sont maintenant exploités pour la modélisation des systèmes complexes à forte composante anthropique. Leurs potentialités de modélisation quasi illimitées en font des outils maintenant reconnus (Bommel, 2009 ; Monarché et coll. 2009 ; Parott et coll. 2012).

Au sens strict, l'agent est l'équivalent d'un robot logiciel qui accomplit des tâches en fonction de ce que lui a demandé son auteur (Wooldridge, 2002). Au contraire des modèles orientés-individus, dont l'activité repose sur les comportements innés d'entités (un animal, une proie, un arbre, etc.) établit selon un schéma binaire de type « stimulus-réponse », les agents des modèles orientés-agents présentent un comportement beaucoup plus sophistiqué (Franklin et Graesser, 1997 ; Wooldridge, 2002). Ainsi, s'ils peuvent être uniquement réactifs, réagissant simplement aux stimuli environnementaux, ces agents peuvent « percevoir » cet environnement ; pour les agents plus évolués un comportement proactif pourra être modélisé. (Tableau 4.1). Ces interactions peuvent être formalisées selon plusieurs types d'architecture et de protocoles (Bousquet et Le Page, 2004). Les architectures basées sur les réseaux neuronaux dans lesquels l'importance est mise sur les capacités d'apprentissage des agents, les architectures à fonctions paramétriques reposant sur un rationnel économique déterministe (Deffuant, 2001), et le modèle BDI ou « belief – desire – intention » (Haddadi et Sundermeyer, 1996 ; Fasli, 2003 ; Mathevet et coll. 2003) sont les plus couramment utilisées dans l'élaboration des modèles multiagents. Les

protocoles d'interactions entre agents seront établis à partir de modèles communicationnels (Carlsson et Johansson, 1997) ou encore d'interactions sociales (Moulin, 1997).

L'utilisation des modèles multiagents à des fins de planification territoriale est bien documentée (Gimblett et coll. 2000 ; Gimblett et coll. 2005 ; Anwar et coll. 2007) ; par exemple le Recreation Behaviour Simulator (RBSim) est un progiciel développé pour analyser les impacts environnementaux des activités de plein air en milieu naturel. RBSim fait le lien entre les SIG, pour la représentation de l'environnement physique, et la technologie multiagent pour la simulation du comportement des individus. Dans RBSim, l'environnement est modélisé par un SIG matriciel. Chaque cellule possède un état déterminé par des variables de terrain (pente, érosion, etc.). Les agents (randonneurs) sont de deux types. Ils ont été statistiquement agrégés à partir d'un échantillonnage fait sur les fréquentations du secteur : randonneurs experts et randonneurs sociaux. Ces deux types d'agents possèdent des capacités cognitives. Ils peuvent aussi percevoir leur environnement, prendre des décisions sur les informations obtenues et modifier leur comportement selon les conditions qui se présentent à eux dans le terrain virtuel : pente, présence de point de vue, densité de la fréquentation, etc. Ces paramètres contribuent à la mise œuvre de règles de décision, lesquelles modulent le comportement des agents. Ces règles ont été établies à partir d'un échantillonnage permettant de faire ressortir les préférences des deux types, et ainsi gérer et planifier adéquatement la circulation des randonneurs afin de minimiser les impacts de leurs activités sur le milieu naturel.

4.5 Discussion

La cartographie écologique constitue une approche de modélisation dont les fondements conceptuels sont solides (Jurdant et coll. 1977 ; Allen et Starr, 1982 ;

Forman et Godron, 1986). Le découpage structurel du milieu selon ses lignes de force permanentes et l'identification d'un ou des processus dominants à un niveau d'échelle donné permettent d'inférer une dynamique d'ensemble de l'écosystème sous-jacent à l'unité de paysage. La complexité structurelle du milieu est assumée avec cet outil et le fonctionnement du système, même s'il demeure implicite, peut être apprécié. Ce point ouvre sur possibilités qu'offre cette approche de mieux saisir l'impact des décisions sur la dynamique d'ensemble du milieu. Au final, la cartographie écologique demeure pour nous la plus objective des méthodes exposées ici en termes de connaissance, le milieu étant considéré comme un système aux structures bien définies. Elle vise à minimiser les biais de subjectivité inhérents aux autres approches. Sur ce point, la cartographie écologique permet l'intégration objective *a priori* des interactions entre les variables abiotiques et biotiques en un tout cohérent, sans le biais qui peut caractériser les approches qui s'apparentent du type « *land suitability* ». Elle autorise, mais uniquement *a posteriori*, des typologies et des classifications écologiques plus fonctionnelles. En comparaison, ce degré d'intégration ne nous apparaît pas avoir été atteint par les démarches « *land suitability* » et selon lesquelles l'architecture physique du milieu n'est pas réellement prise en compte, l'accent étant mise davantage sur les potentiels et les contraintes actuelles du milieu. Or, les effets de cette façon de comprendre le milieu naturel sont souvent d'autant plus questionnables que les indicateurs utilisés par cette méthode concernant la classification des potentiels et contraintes ne sont pas d'une impartialité rigoureuse, mais plutôt établis par l'expert (Rougerie et Beroutchachvili 1991). Après une collecte plus ou moins orientée de l'information, le modèle auquel on parvient se trouve réduit à une expression numérique, matricielle ou cartographique.

Tableau 4.1 Caractéristiques des agents (Adapté de Franklin et Graesser, 1997)

Propriétés	Qualités	Description comportementale
Réactivité	Stimulation	Réagit aux modifications de son environnement.
Autonomie	Régulation	Exerce un contrôle sur ses actions.
Efficiencie	Proaction	Modifie son environnement.
Communicativité	Diffusion	Communique avec d'autres agents.
Cognitivité	Adaptation	Modifie son comportement sur la base d'expériences antérieures.
Mobilité	Motion	Se déplace dans un environnement
Labilité	Individuation	Stabilité cognitive de l'agent

En ce qui concerne la géovisualisation, son utilité repose sur la prémisse qu'elle génère des réponses chez les utilisateurs qui sont similaires à celles induites par l'exposition des utilisateurs aux véritables paysages. Mais, c'est sans aucun doute dans la capacité d'explorer visuellement et d'une manière dynamique un scénario de planification et de constater les impacts des décisions en temps réel qu'elle est particulièrement informative du point de vue des acteurs (Salter et coll. 2007) et

qu'elle apparaît très utile comme outil d'aide à la décision (Sheppard et Meitner, 2005 ; Domon et Ruiz, 2009). D'importantes questions d'ordres conceptuel et méthodologique demeurent toutefois dans l'usage de la géovisualisation et elles portent notamment sur la façon dont les individus et les groupes sociaux vont interagir avec la visualisation 3D en fonction de leurs propres expériences et perceptions du paysage, entre autres. Un cadre théorique serait nécessaire pour comprendre la réponse des individus face aux issues de la géovisualisation et pour standardiser les effets de cette approche de modélisation sur les perceptions, les émotions et les comportements des individus, ce que nous pourrions appeler plus justement la cognition spatiale. L'aspect « boîte noire » de l'usage de la géovisualisation est également soulevé. En effet, le choix d'un niveau adéquat de réalisme, la recherche d'un consensus avec les communautés sur les points de vue et les éléments à visualiser, la présentation aux acteurs d'un ensemble de points de vue, d'angles et de directions de vue, et d'incrément de temps pour les fins de la visualisation doivent à cet égard faire partie du « code d'éthique visuel » du praticien. Nous avons classé l'usage des SIG sous la rubrique géovisualisation ; ainsi, relativement à cet aspect, l'utilité des SIG est fondamentalement similaire à celui des cartes analogiques, bien qu'ils soient beaucoup plus sophistiqués (Al-Kodmany, 2002).

Enfin, les approches spatiales (automates cellulaires, systèmes multiagents) offrent un formalisme adapté au caractère spatio-temporel de la planification et de la gestion du territoire et de l'environnement : les automates cellulaires permettent de modéliser avec une certaine acuité l'évolution spatiale du territoire ou de l'environnement, principalement l'utilisation du sol. Le formalisme de cette approche, qui repose notamment sur une discrétisation de l'espace, est en adéquation avec les structures et les dynamiques intrinsèques des phénomènes à la base du

processus d'utilisation du sol, pour un territoire : transition, diffusion, migration, affectation, etc. Nous parlons ici de processus matériels inhérents à la dynamique du territoire et du milieu. L'utilité de cette approche se trouve concentrée dans l'effet de voisinage, la dynamique de chaque portion du territoire ayant une incidence sur la portion adjacente. Toutefois, les processus perceptuels plutôt subjectifs et plus élaborés tels que ceux qui sont à la base des interactions sociopaysagères comme la valorisation, les jugements et les choix doivent être pris en compte d'une manière beaucoup plus élaborée. C'est par les approches multiagents qu'il devient possible de formaliser ce spectre le plus raffiné d'interactions société/environnement. Ces approches reposent en effet sur des notions de choix, d'intention, de décisions prises par des acteurs et de leurs impacts sur la dynamique entre acteurs et sur la dynamique territoriale. Ces approches nous apparaissent particulièrement indiquées en planification et en gestion du territoire et de l'environnement et, plus particulièrement, pour l'évaluation environnementale notamment lorsque les protocoles d'interactions entre agents ou individus sont fondés sur un schéma de type BDI (belief – desire – intention) et sur un ensemble de considérants dont la nature relève de besoins préalablement identifiés et qualifiés a priori d'importants par les acteurs.

4.6 Conclusion

L'information colligée au cours de la planification territoriale et environnementale est exploitée à divers moments durant les différentes phases du processus afin de réduire au minimum les incertitudes relatives au milieu (structure, dynamique), les incertitudes relatives aux « valeurs » à sauvegarder, valeurs aussi bien factuelles que perceptuelles (biens et services des écosystèmes, symbolisme, etc.), et les incertitudes relatives au chevauchement des impacts des décisions dans des secteurs connexes (Lang et Armour, 1980). Cette connaissance s'articule autour

de ces trois axes et peut être accomplie par l'usage des trois outils de modélisation que nous avons analysés ici. En filigrane, cette tâche imposait d'amorcer ou de continuer une réflexion théorique sur (1) l'objet d'étude lui-même, soit l'environnement, le territoire, le paysage considérés ici comme des systèmes complexes (2) le potentiel d'intégration des interactions et des contingences environnement/société par l'outil de modélisation choisi, et (3) le potentiel d'agrégation de l'information en termes d'enjeux soutenant l'aide à la décision. À cet effet, nous avons retenu trois grands courants de modélisation qui se prêtent ou qui présentent un potentiel d'utilisation dans ce contexte : la modélisation cartographique par le biais de l'approche de la cartographie écologique, la modélisation visuelle ou géovisualisation axée sur la « virtualisation » de l'espace et la modélisation spatiale permettant une intégration plus poussée des interactions environnement/société. À la lumière de nos constatations, chacun de ces courants de modélisation permet une formalisation adéquate d'un aspect du système étudié : accent mis sur la structure et le fonctionnement (implicite) dans la modélisation cartographique, sur la structure et sur la cognition spatiale dans la géovisualisation, et sur la dynamique et les interactions systémique en modélisation spatiale. Leur juxtaposition dans une démarche de planification territoriale et environnementale pourrait fournir aux praticiens un cadre opératoire adéquat pour assumer la complexité du milieu. D'autres contributions doivent toutefois être apportées afin d'évaluer comment articuler ces trois approches au sein d'un cadre opératoire intégré.

CHAPITRE V

APPLICATION OF A TERRITORIAL SOFT SYSTEM APPROACH FOR CONCEPTUAL MODELING OF AN AGROECOSYSTEM

5.1 La méthodologie des systèmes souples

La méthodologie des systèmes souples ou MSS est une approche d'analyse systémique et transdisciplinaire qui vise à introduire certaines des notions fondamentales de la théorie générale des systèmes (Bertalanffy, 1968) dans l'analyse de systèmes anthropiques dont les propriétés dynamiques sont par ailleurs non-prouvables du fait de l'appropriation de l'espace par l'individu, le groupe. La littérature sur l'usage de la MSS en planification territoriale et environnementale est toutefois peu abondante hormis quelques apports ponctuels dans le temps (Oreilly et Rennie, 1983 ; Breiling, 1995 ; Bunch, 2003 ; Nidomulu et coll. 2006 ; Rohes et Navarro, 2008) souvent hors du contexte nord-américain. Les applications de la méthodologie dans le domaine spécifique de la gestion des organisations sont par ailleurs beaucoup mieux décrites (Prévost, 1983 ; Checkman et Scholes, 1990 ; Staker, 1999 ; Robert-Angers, 2000 ; Winkhelofer, 2002 ; Bucheli, 2006 ; Bjerke, 2008).

La MSS constitue une avenue intéressante à explorer en sciences du territoire pour une raison principale : en effet, malgré ses critiques liées notamment à l'usage de l'analogie dans les systèmes sociaux, le cadre d'analyse qu'offre l'approche systémique — et dont elle se réclame — s'il était inégalé sur le plan conceptuel comme le disait Chapman au milieu des années soixante-dix (Chapman, 1977),

demeure également inchangé considérant l'immutabilité des concepts de hiérarchie et d'échelle des problèmes géographiques, d'absence de frontières fermées entre ces systèmes et bien sûr de complexité (Haggett 1980). Si nous étendons cette réflexion à notre démarche, ces éléments justifient amplement d'aborder l'analyse des systèmes socioécologiques, à des fins de planification, dans le cadre d'analyse que nous offre l'approche par systèmes souples. Dans sa formulation originale, la MSS présente sept phases opérationnelles décrites ci-dessous (Checkland, 1999).

Étapes 1 et 2 : reconnaissance du problème et caractérisation riche du contexte (*rich picture*).

C'est au cours de cette étape qu'est élaborée une image aussi riche et complète que possible du problème ou de la situation. Les données colligées au cours de cette phase de travail proviennent de diverses sources dont : revues de littérature, entretiens réels ou virtuels, ateliers thématiques, sondages, etc. La tâche du praticien à cette étape est d'acquérir une vision la plus globale possible de la situation en mettant en relation les observations factuelles et les préoccupations des acteurs, et ce, sans a priori en ce qui touche la nature du problème.

Étape 3 : énoncé de base.

Il s'agit d'une phase fondamentale et le cœur de la méthodologie des systèmes souples. C'est au cours de cette étape que le praticien établit le contexte et formule le problème à l'origine de la démarche d'analyse. Ce système existe objectivement en tant que *système pertinent d'activité humaine*. Checkland (1990) utilise le modèle CATWOE comme outil d'analyse et de caractérisation du système d'activités humaines (Tableau 2.1). Décrit comme une des méthodes d'analyse des processus d'affaire dans le domaine des sciences de la gestion, et parmi lesquelles on retrouve

aussi les méthodes FFOM et PESTLE ¹², le modèle CATWOE (*Customer, Actor, Transformation, World, Owner, Environment*) est défini par les composantes suivantes :

- **usagers (C)** : individus ou groupes qui bénéficient ou qui sont victimes des extrants issus de (T) ;
- **acteurs (A)** : individus ou groupes impliqués dans le système ;
- **transformation (T)** : processus de conversion d'un intrant en extrant ;
- **vision (W)** : croyances, désirs, intentions, valeurs des individus ou groupes ;
- **propriétaires (O)** : individus ou groupes contrôlant la finalité du système ;
- **environnement (E)** : contraintes extrinsèques au système ayant un effet de rétroaction sur la dynamique globale de (T).

Étape 4 : Modélisation conceptuelle.

La modélisation proprement dite consiste à mettre en relation les processus du sous-système de transformation en intégrant toutes les variables définies dans le *CATWOE*. Il s'agit de modéliser une transformation d'intrant en extrant, au sein du territoire. Trois enjeux préexistent pour la réalisation de cette étape de travail : (1) la hiérarchisation des composantes du système (2) l'identification des interactions potentielles entre ces composantes ; (3) l'organisation cohérente de ces relations au sein du système. C'est ici qu'entre en jeu l'expertise disciplinaire, une connaissance

¹² Selon le JISC (2014), la méthode PESTLE (Political, Economic, Social, Technological, Legal, Environnemental) est utilisée pour l'analyse du positionnement d'une organisation en relation avec son environnement externe. La méthode FFOM (*Forces, faiblesses, opportunités et menaces*) est également une méthode de planification mise au point à la fin des années soixante (CIPD, 2013) et est attribuée à A. Humpfrey de l'Université Stanford et sur ses travaux portant sur la planification à long terme des multinationales. Elle permet d'évaluer si une organisation a la capacité de répondre aux modifications rapides de cet environnement (Fertel et coll. 2012). Les deux méthodes peuvent être logiquement utilisées en concomitance.

adéquate du système modélisé étant requise pour l'analyse et la formalisation du modèle. Au final, cette étape doit permettre de répondre aux trois questions suivantes, relatives à la dynamique globale du système étudié.

1. Quels sont les processus entretenus par les acteurs et les usagers du système pour accomplir la ou les transformations identifiées dans le système d'activité humaine ?
2. Quelles sont les variables qui contribuent à maintenir l'équilibre du système de transformation ?
3. Quels sont les facteurs externes, dans l'environnement du système, qui imposent des contraintes au maintien de cette dynamique ?

Étape 5 : validation du modèle, comparaison avec la réalité terrain.

Cette phase consiste à valider le modèle en comparant son comportement avec la réalité terrain. Le processus de validation vise à établir la crédibilité du modèle sur deux fronts : celui de sa validité interne et de sa validité externe. Très tôt toutefois au cours de cette étape, nous sommes confrontés à une difficulté fondamentale soit celle d'établir la validité d'un modèle non déterministe d'un système aux propriétés dynamiques non prouvables. Dans notre domaine d'intérêt, l'univers présente généralement deux caractères fondamentaux : celui du réel objectif — l'écosystème et le paysage possédant leurs structures, leurs processus implicites ainsi qu'une dynamique spatio-temporelle, et celui du réel subjectif découlant du rapport à une nature humanisée c.-à-d. dès lors qu'elle provient de l'émergence des valeurs, perceptions, et idéologies territoriales entretenues par les individus et leurs relations à l'environnement.

Contrairement aux modèles physiques pour lesquels de nombreuses méthodes de validation éprouvées existent déjà, il n'existe pas de procédure unique pour les

systèmes de cette nature (Macal, 2005; Bommel, 2009). Dans cette mesure, il devient nécessaire de faire reposer la démarche de validation du modèle davantage sur une méthode empirique plutôt qu'analytique. Une démarche itérative et participative du type *focus group* permet de valider le modèle « en temps réel » notamment par la rétroaction obtenue par les acteurs impliqués en cours de modélisation dès les premières étapes du processus ; l'analyse exhaustive de similarités entre les cas spécifiques, et l'expertise critique constituent également des avenues adéquates de validation de modèles socioécologiques (Macal, 2005).

Étape 6 : application du modèle et aide à la décision.

Au cours de cette étape, nous travaillons de manière autonome en évaluant plusieurs scénarios de changement, tout en ayant en tête deux questions importantes : quels sont les changements qui sont *désirables* dans le système socioécologique et qui sont culturellement *faisables*. Cette connaissance implicite est basée sur l'expertise disciplinaire ; elle est également acquise et repose sur l'ensemble de la démarche, et nous permet d'identifier sur quels aspects travailler pour modifier la dynamique du système. Sur ce point, il existe cette distinction très subtile, mais fondamentale entre une approche analytique classique selon laquelle l'optimisation d'un paramètre matériel est la clef pour modifier la trajectoire du système, et une approche systémique « souple » où c'est plutôt un paramètre culturel qui devient limitant dans la dynamique du système : une valeur, une perception, un but.

La prochaine contribution, sous forme d'article publié, porte sur une application de la méthodologie des systèmes souples pour l'analyse heuristique d'un système socioécologique agricole. La méthodologie des systèmes souples a été adaptée ici à un système présentant un fort ancrage territorial c'est-à-dire que la dynamique du système étudié est déterminée par les fortes interactions qui existent

entre les parties prenantes et le territoire, support physique des activités anthropiques de transformation de l'espace géographique. Notre démarche nous permet de conclure que la MSS constitue une approche d'analyse systémique simple, adéquate et peu coûteuse en temps et en infrastructure pour les spécialistes en sciences géographiques qui sont confrontés à un problème requérant une aide à la décision. Le caractère socioconstructiviste de cette approche permet une validation presque en temps réel du modèle décisionnel ainsi conçu. En outre, nous expliquons comment le modèle constitue un module pouvant être intégré à une démarche de modélisation plus élaborée, destinée à l'évaluation environnementale stratégique des impacts de scénarios de planification territoriale.

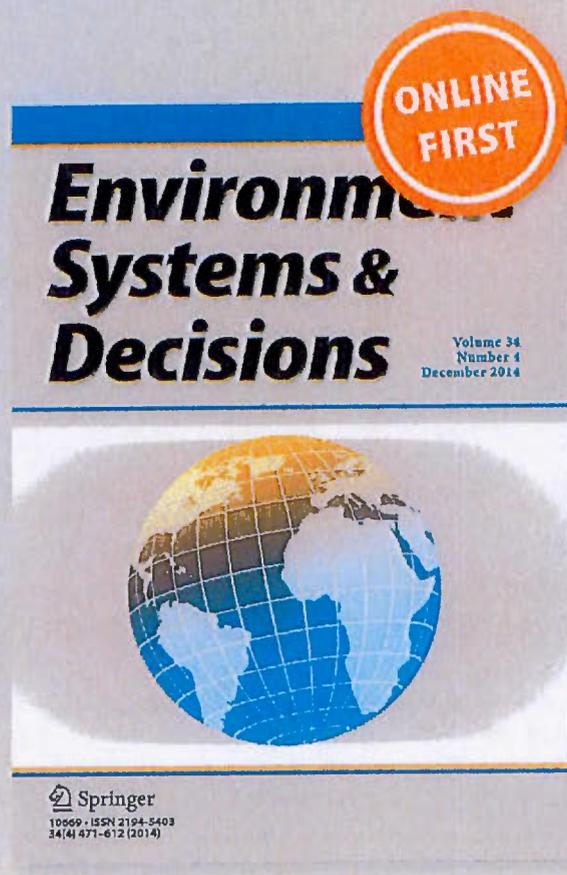
Application of a territorial soft system approach for conceptual modeling of an agroecosystem

Jean-François Guay & Jean-Philippe Waaub

Environment Systems and Decisions
Formerly The Environmentalist

ISSN 2194-5403

Environ Syst Decis
DOI 10.1007/s10669-015-9536-7



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Science +Business Media New York. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Application of a territorial soft system approach for conceptual modeling of an agroecosystem

Jean-François Guay · Jean-Philippe Waaub

© Springer Science+Business Media New York 2015

Abstract In the province of Québec in Canada, in accordance with the Land Use Planning and Development Act of 1987, every regional county municipality must maintain in force, at all times, an RCM plan applicable to its whole territory. An RCM plan must, regarding the territory of a regional county municipality, determine the general aims of land development policy for the region and identify the public policies on land use of the territory for the different parts of it. Along with the baseline information and the interlinking of the environmental components of the territory, one of the most significant operations involved in planning is the identification of best scenarios or options that involve, very early in the process, conceptualization and formalization of the system under study. However, in accordance with the systemic nature of this problem, several methodological questions have to be addressed before entering the procedure. Among these, how does one gather intelligence on a complex geographical system in an integrated and systematic approach? How can we formalize environmental, social and political interactions and feedback running within these complex systems? How can we point out the fundamental challenges of these interactions? For the specialist in regional planning, these

questions can be difficult to manage in an operational context, mainly because of efficiency reasons. The main objectives of this contribution are to show the relevance of an adapted soft system methodology to gather intelligence on the overall functioning and structure of a geographical system at the subregional level scale. The case study is part of a wider academic research project. Thus, the participative process, very particular to Checkland's SSM, has been partially simulated for the purpose of our demonstration, as we postulated that the stakeholders shared the same views about the problem. In that, we saw the SSM as an adaptable methodology, and with the problems experienced individually by regional planners, we add some of our ideas to the method as we adapted it to this particular context.

Keywords Modeling · Soft system · Decision support · Territory · Environment · Regional planning

1 Introduction

In the province of Québec in Canada, in accordance with the Land Use Planning and Development Act (LUPDA) of 1987, every regional county municipality must maintain in force, at all times, an RCM plan applicable to its whole territory. An RCM plan must, regarding the territory of a regional county municipality, determine the general aims of land development policy for the region and identify the public policies on land use of the territory for the different parts of it. Moreover, it must allow the identification of zones where land occupation is subject to special restrictions for public safety or environmental issues. Finally, regional planning relates to decision-making. Thus, along with the baseline information and the interlinking of the environmental components of the territory, one of the most

J.-F. Guay (✉)
Sous-ministériat au développement régional, et au développement durable, Direction régionale de la Chaudière-Appulache, 675 route Cameron, Sainte-Marie, QC G6E 3V7, Canada
e-mail: jean-francois.guay@mapaq.gouv.qc.ca

J.-P. Waaub
Département de géographie, Université du Québec à Montréal, succursale Centre-ville, Case postale 8888, Montréal, QC H3C 3P8, Canada

significant operations involved in planning is the identification of best scenarios or options that involve, very early in the process, conceptualization and formalization of the system under study.

In accordance with the systemic nature of this problem, several methodological questions have to be addressed before entering the procedure. Among these, how does one gather intelligence on a complex geographical system in an integrated and systematic approach? How can we formalize environmental, social and political interactions and feedback running within these complex systems? How can we point out the fundamental challenges of these interactions? For the specialist in regional planning, these questions can be difficult to manage in an operational context, mainly because of efficiency reasons. In fact, land use planning is time-consuming. This complex task involves multiple challenges and various stakeholders. Soft system methodology (SSM) is one of the most widely documented methods in action research (Checkland and Scholes 1990; Staker 1999). This approach allows the specialist to get efficient knowledge about ill-defined situations that involve human interactions in a complex system. It is a participative approach that can be utilized in a decision-making context; it contributes to providing an organized conception of territorial systems that dynamical properties remain unverified most of the time. According to Morgan (1981 in Agnew 1984), the types of problems that form the basis of geographical research fall mainly into the soft system category. Despite this tool having proven to be a relevant systemic approach for intelligence production on complex environmental systems (Bunch 2003; Hopkins et al. 2012), a review of the literature in the field of geographical and environmental sciences shows very few applications of SSM for regional planning and for describing agrosystems. In response to this context, we are proposing an adapted territorial soft system methodology (TSSM) based on Checkland's SSM for the characterization and conceptual modeling of a subregional agrosystem in southern Quebec. The main objectives of this contribution are to gather intelligence on the overall functioning and structure of a geographical system at the subregional level scale. Moreover, we are proposing a conceptual model to be useful for more elaborate decision-making procedures. The case study is part of a wider academic research project. It illustrates a fictional but realistic simulation of the application of an adapted form of SSM. Thus, the participative process, very particular to the SSM, has been partially simulated for the purpose of our demonstration, as we postulated that the stakeholders shared the same views about the problem. In that, we saw the SSM as an adaptable methodology as it was recognized by Mobach (2000) and Bergvall-Kareborn et al. (2004). Starting with the problems experienced by regional planners, we add some of our ideas to SSM as we adapted it to this particular context.

2 Methodology

Soft systems have poorly defined objectives or goals, poorly defined boundaries and structures and fuzzy decision procedures. Compared with "hard systems" that have defined structures and processes, soft systems are difficult to apprehend in a quantitative way (Agnew 1984). One of the main principles of Checkland's methodology is that it takes place in real-world situation. Initially, the overall method consists of seven steps (Checkland and Scholes 1990). For the purpose of our demonstration, we will rely on the first four steps of the methodology (entering the problem, the rich picture, the root definition and the model) as we hypothesize that SSM can be part of more elaborate decision process. According to Roy (1985) and Brans and Mareschal (2002), decision-making is an activity that, through the use of explicit but not completely formalized models, help obtain elements of response to the questions raised by a stakeholder. With that in mind, we believe TSSM can be useful for the decision-maker, in the very first step of the decision process.

2.1 Data source

In 2007, the Québec government set up its Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois. The mandate of this forum was to review the issues and challenges now facing the agriculture and agri-food sector in Québec through environmental, health, land use, regional development. The Commission met with farmers, economic development organizations, ecologists, elected municipal officials, professionals involved in agricultural production, researchers, educators, citizens and consumers. The Commission held public hearings in all regions of the province. It received some 660 briefs and presentations reflecting a great diversity of viewpoints. These documents expressed the concerns, hopes, expectations and ambitions of many hundreds of people from all professional milieus (Quebec 2008a, b). The Commission also held 2 weeks of general public hearings where it received 110 briefs presented mostly by regional or Québec-wide organizations. The Chaudière-Appalaches region was the host of one of the regional hearings as well, during which have received 50 briefs and reports from all the stakeholders.

We used another data source coming from an exhaustive database counting more than 200 experts' opinions on all planning decisions taken by the metropolitan regions, the RCM and its communities between 2009 and 2014. These views, in the form of professional advices, are intended for the Quebec Department of Municipal Affairs and Land Occupancy which is the responsible for administering and enforcing the province LUPDA of 1987. These advices are made in accordance with the government agricultural

guidelines and the regional office reforestation policy of farm acreages (Quebec 2001). To be acceptable for the Quebec Department of Municipal Affairs and Land Occupancy and the stakeholders as well, they have to gain their conformity to these guidelines. According to the LUPDA, these strategic decisions must be endorsed by the Quebec Department of Municipal Affairs and Land Occupancy before they are effective. Finally, since 2009, we participated in ten working sessions on agricultural regional development plans with all the stakeholders in the region. At the moment, four RCM are currently involved in the production of these plans called Plan de développement de la Zone Agricole or plan for the agricultural zone of the RCM (Quebec 2014). We did not personally conduct these hearings and working sessions, but we were playing a prominent role in the overall accomplishment of the plans as a stakeholder and part of the specialist's panels (Table 1).

2.2 Data analysis

We drew on the some 50 briefs and presentations received during the regional hearing held in the Chaudière-Appalaches region during the autumn 2007. We, therefore, shed light on the concerns and the challenges raised by the public participants. The typological classification of the concerns was made by counting the occurrence of words or expressions which we assumed deeply rooted in the values schemes and goals of stakeholders about regional planning and territorial development topics (Fig. 1). According to J.

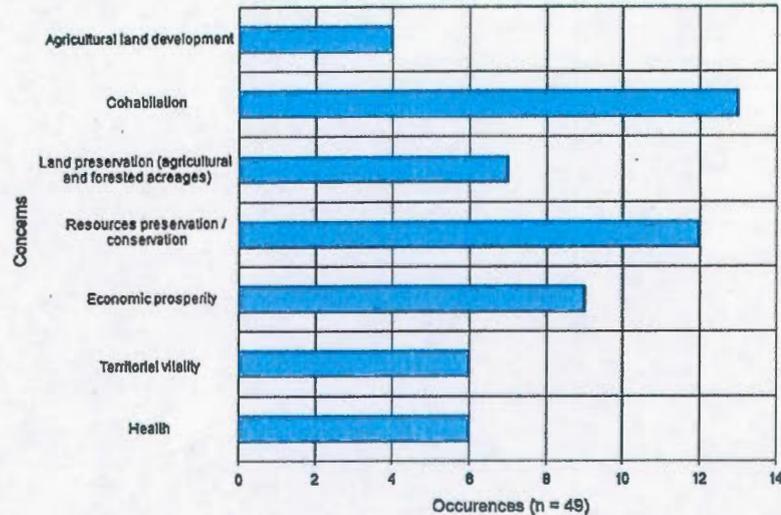
Ruiz (pers.comm.), content analysis makes a simple yet valid method for pointing out concerns among stakeholders during environmental hearings. Moreover, these observations allowed us to identify the actors involved in the sector as well as the other stakeholders that are interested in the amenities provided by the sectors. To this first set of information, we added some valuable insights into interaction issues between the actors. We extracted the expert advices from the "Territoire" database maintained by the Quebec Department of Municipal Affairs and Land Occupancy. This web-based platform contains all of the advices produced over the years in response to planning decisions taken by the region's RCM. Those advices focus on the appreciation, by regional planning specialists, of detailed planning decision and scenarios and their aftermath on the region's agricultural zone in term of losses or gains of agricultural acreages. We extracted and review all the advices we performed over the years on many issues. Such decisions include agricultural spot zoning, territorial land use dispositions and modifications, non-agricultural uses of agricultural acreages, deforesting policies and shorelines protection policies. We were then able to synthesize the general problem context, the actors concerned by the decisions, the territorial issues and the general outcomes of it. Finally, the governmental guidelines on agricultural planning and the regional reforesting policy allowed us to make a more accurate assessment of the actors involved in the systems and more specifically in their prerogatives, rights or constraints. In accordance with these guidelines, we were able to point out important characteristics and processes that are undergoing in the agricultural zone: diffuse urbanization, water resource, woodlands preservation and land occupancy distribution. Moreover, it is explicitly acknowledged by the guideline that the agricultural zone belongs to the farmers. They are the main actors involved in the overall dynamic of it along. Along with the foresters, they share exploitation activities of the resources of the agricultural zone: woodlands, farmlands, water resources mainly. At the subregional scale, the outcomes of the exploitation processes are a transformed geographical space by production of amenities through landscapes evolution. For example, those amenities are attractive for hedonists actors like city dwellers, seasonal residents, sportsmen, etc., who appreciate the amenities of such landscapes but not the negative externalities of it: noise, dust, odors, etc.

A qualitative analysis of these three sources of information gave us sufficient knowledge to identify the actors in the system, their roles, functions, concerns and values. Moreover, we gathered insights into general structures and processes of the system and their hierarchy and the environment of the system as well. The careful analysis of the professional advices combined with the information

Table 1 Data sources and information contents

Data source	Inferred information content
(a) Briefs/reports	Typology of actors
(b) Plan for the agricultural zone of the RCM	Concerns, issues, societal values Analysis one, two, three General structure of the system
(a) Experts advices	Interactions between urban zones/ agricultural protected zone (APZ) Interactions between actors Spatial interaction between actors and land Conflicting area issues, Land use harmonization issues Deforesting issues Active processes of the system
(a) Agricultural zone planning policy guideline and regional reforesting policy guidelines.	Non-agricultural use planning limitations in the APZ APZ planning standards Farmers' and foresters' rights Intentions of the owner of the system

Fig. 1 Typology of the concerns raised by the public during the hearing



gathered from participation to agricultural regional development plans committees enabled us to point out some emergent phenomena like land use conflicts that are a part of the overall dynamic of the socioecological system. In fact, many of these planning decisions are often made to avoid conflicting situations or to resolve overt conflicts. These conflicts involve actors and decision-makers and their interactions at the spatial level. Thus, we were able to establish the main interactions between the agricultural zone and the non-agricultural zone, generally speaking, between the actors and the actors and the geographical space at a more local scale.

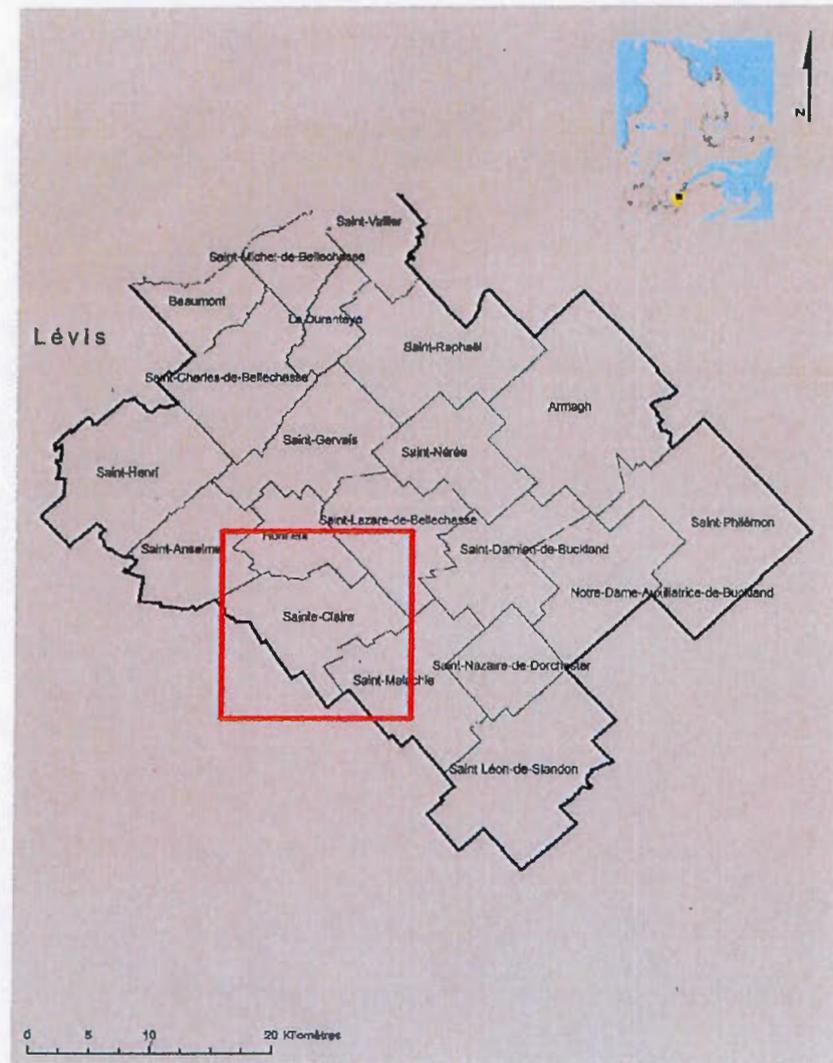
3 Case study

In recent years, there have been great upheavals in the agriculture and agrifood sector of the Bellechasse RCM (Fig. 2), like anywhere in Quebec. The domestic and international contexts have changed, mainly due to the spectacular increase in global commerce and the emergence of new agricultural exporting powerhouses. These changes have made it increasingly hard for our agricultural goods to compete at every territorial level. The outcomes of this context were the rise of new uncertainties raising troubling questions about farming practices and their environmental sustainability. For example, modifying ecosystems more than necessary for sustainable farming can destroy or alter habitats. Aquatic environments are particularly sensitive to various types of pollution and human activity (farming, urbanization, transportation). For example, the number of breeding and bird migration

habitats has declined in the St. Lawrence Valley in recent years, and 480 plants and animal species are considered in danger (Canada 1999). Along with these biodiversity issues, many cities in the RCM are continuing to expand, and the tendency to move to the outskirts of cities has given rise to extensive urban sprawl. Today, even though the economic and environmental costs of urban sprawl are well documented (Brabec and Smith 2002; Wilson and Chakraborty 2013), the attraction of living in the country has not wavered. Agricultural land and immediately adjacent areas are affected by this longing to move beyond urban boundaries. Simply put, if the laws of supply and demand or respective demographic weight were left to govern urban sprawl, agriculture would not stand a chance. On the other hand, while agricultural production must clearly be the priority in the green zone, agrotourism and other related projects that stimulate sustainable land occupancy as well as communities dynamism and foster the rational exploitation of natural resources must also be possible in this zone or its immediate outskirts.

The social acceptability of an economic activity is among the imperatives of sustainable development. However, there is an erosion of citizen and consumer trust in agricultural production and the entire agrifood sector, which is accused of polluting the environment and overemphasizing short-term economic gain to the detriment of food quality. As farmers can legitimately produce when agroenvironmental conditions permit, they must openly cooperate to find solutions that make this activity compatible with the economic life of their communities. In addition, other residents must accept that they live in the agricultural zone that is a place where agriculture with all

Fig. 2 Bellechasse MRC and municipal units, Chaudière-Appalaches region



Credits : SIGMA, Ministerial geographical information system (2013).

its distinctive characteristics is a priority. However, the development and revision of planning in the agricultural zone is a democratic and participatory exercise carried out locally or regionally. It gives rise to extensive discussions between elected officials and civil society stakeholders.

3.1 The rich picture

According to Checkland and Scholes (1990), the rationale for the rich picture building lies in the fact that the complexity of human affair is always a complexity of multiple

interacting relationships. Thus, pictures are a better medium than linear monographic description of the situation for expressing those relationships and the wholeness of it. The rich picture illustrated is how is the situation at present, the stakeholders and the issues, in accordance with the insights given by the qualitative analysis of the data. The core of the analysis rests on analysis one, two and three of the SSM process. Analysis one focuses on the owners of the system; analysis two draws attention on the social analysis, i.e., roles, norms and values of the stakeholders; and finally, analysis three covers the distribution of power in the

situation and the transformation system. From the data we gathered and the meetings we were involved in between 2009 and 2014, we learned our way in the problem situation and the picture building. Some important themes emerged from that analysis process and are summarized in Fig. 3.

3.2 The root definition

Model building of a complex, purposeful activity system for use in a study using SSM requires a precise definition of what is a "purposeful system." These statements or "root definitions" are constructed from the expression of a purposeful activity as a transformation process. The root definition was described by Smyth and Checkland (1976 in Agnew 1984) as "concise verbal descriptions of systems." Soft systems are poorly defined systems. The only way to ensure a proper description of this purposeful system is the identification of a transformation system, which is relevant to the stakeholders as well as to the analyst. This purposeful human activity system is a set of processes connected together in such a way that it connects all the stakeholders together. The definition must make sense at the territorial level as well since we are working on geographical system. It must encompass the spatial characteristic of that system. In other words, this purposeful system involves a transformation process of an input into an output by all the stakeholders but not for the same motivations.

Accordingly to the original method, the process is essentially a dialog between the analyst and various interested groups. As we stated earlier though, this participatory process has been partly simulated since we assumed the discussions between the stakeholders are complete. The root definition is achieved by the identification of the transformation process by which a given resource (the input) is converted into a modified resource within the human activity system. We considered the agricultural zone as the core of the relevant system and the resource coveted. All the stakeholders, including the analyst, have concerns about land use planning of the agricultural zone, even if they do not share the same beliefs, desires and activities for it. We know that the biophysical resources and some of the characteristics of the agricultural zone were coveted by every stakeholder, for different reasons. Therefore, we recognize the spatiotemporal transformations of the agricultural zone as the primary process of activity in the socioecological system, through several and various sub-processes maintained by the actors in the whole system.

Throughout knowledge integration acquired from the qualitative analysis of the available data and intuitive reflexion, we postulate this root definition for the purposeful system as a transformation system of ecosystem

goods and services whose overall dynamic depends on human actions accomplished by primary stakeholders (farmers, foresters) and, through feedback mechanisms, by secondary stakeholders (urban residents, neorurals, seasonal residents). The evolution of the system is influenced by latent stakeholders (trade unions, regional interest groups). Each one of these groups of actors of the system has a distinct vision of the living environment in which it evolves. The process of transformation implies an input—agricultural acreages—that converted into one output—a modified territory—which is supporting a characteristic living environment and the resulting concrete landscape.

3.3 Model proposal of the agrosystem

A model is a scientific tool or intellectual devices, intended for the simplified representation of the reality. By definition, it has a resemblance to real-world system, but it remains an overall simplification of the reality. We see earlier that a hard system does not share the same characteristics with soft systems. It is, therefore, reasonable to assume that soft system models are neither similar to hard system models nor designed for the same purposes. In a soft system approach, the model's role will be to help structure an exploration of the problem situation being addressed (Checkland 2000). For the decision-maker, this task of "problem setting" is of paramount importance in any decision-making process he has to undertake. As long as the decision process is not entirely completed, many fundamentals questions about the context of the decision problem have to be kept in mind at every step of the procedure. Who are the actors involved? What kind of interaction is taking place between actors? What are the challenges and the issues linked to the decision, the outcomes of one decision among another, have to be addressed even before the formalization of the procedure? Surprisingly, this requirement, is outcome of participation and discussion processes. It agrees that in every decision-making process, these steps are crucial; however, the ultimate ruling remains in the hand of the decision-maker who becomes fully accountable for the choice made. He must be able to explain its decision for every stakeholder and to adopt a relevant rationale for doing it.

In the previous steps, we specify the general nature of the system under study by the rich picture. Giving the system a relevant definition allowed us to dig deeper into its core by highlighting and verbally describing the processes that are operating within. In this step, we are crossing the real-world boundary and get into the systemic thinking for the conceptual modeling of the system. There is no particular methodology use to model the socioecological system of the RCM but experience and intuition. However, some very specific elements have to be taken

situation and the transformation system. From the data we gathered and the meetings we were involved in between 2009 and 2014, we learned our way in the problem situation and the picture building. Some important themes emerged from that analysis process and are summarized in Fig. 3.

3.2 The root definition

Model building of a complex, purposeful activity system for use in a study using SSM requires a precise definition of what is a "purposeful system." These statements or "root definitions" are constructed from the expression of a purposeful activity as a transformation process. The root definition was described by Smyth and Checkland (1976 in Agnew 1984) as "concise verbal descriptions of systems." Soft systems are poorly defined systems. The only way to ensure a proper description of this purposeful system is the identification of a transformation system, which is relevant to the stakeholders as well as to the analyst. This purposeful human activity system is a set of processes connected together in such a way that it connects all the stakeholders together. The definition must make sense at the territorial level as well since we are working on geographical system. It must encompass the spatial characteristic of that system. In other words, this purposeful system involves a transformation process of an input into an output by all the stakeholders but not for the same motivations.

Accordingly to the original method, the process is essentially a dialog between the analyst and various interested groups. As we stated earlier though, this participatory process has been partly simulated since we assumed the discussions between the stakeholders are complete. The root definition is achieved by the identification of the transformation process by which a given resource (the input) is converted into a modified resource within the human activity system. We considered the agricultural zone as the core of the relevant system and the resource coveted. All the stakeholders, including the analyst, have concerns about land use planning of the agricultural zone, even if they do not share the same beliefs, desires and activities for it. We know that the biophysical resources and some of the characteristics of the agricultural zone were coveted by every stakeholder, for different reasons. Therefore, we recognize the spatiotemporal transformations of the agricultural zone as the primary process of activity in the socioecological system, through several and various sub-processes maintained by the actors in the whole system.

Throughout knowledge integration acquired from the qualitative analysis of the available data and intuitive reflexion, we postulate this root definition for the purposeful system as a transformation system of ecosystem

goods and services whose overall dynamic depends on human actions accomplished by primary stakeholders (farmers, foresters) and, through feedback mechanisms, by secondary stakeholders (urban residents, neorurals, seasonal residents). The evolution of the system is influenced by latent stakeholders (trade unions, regional interest groups). Each one of these groups of actors of the system has a distinct vision of the living environment in which it evolves. The process of transformation implies an input—agricultural acreages—that converted into one output—a modified territory—which is supporting a characteristic living environment and the resulting concrete landscape.

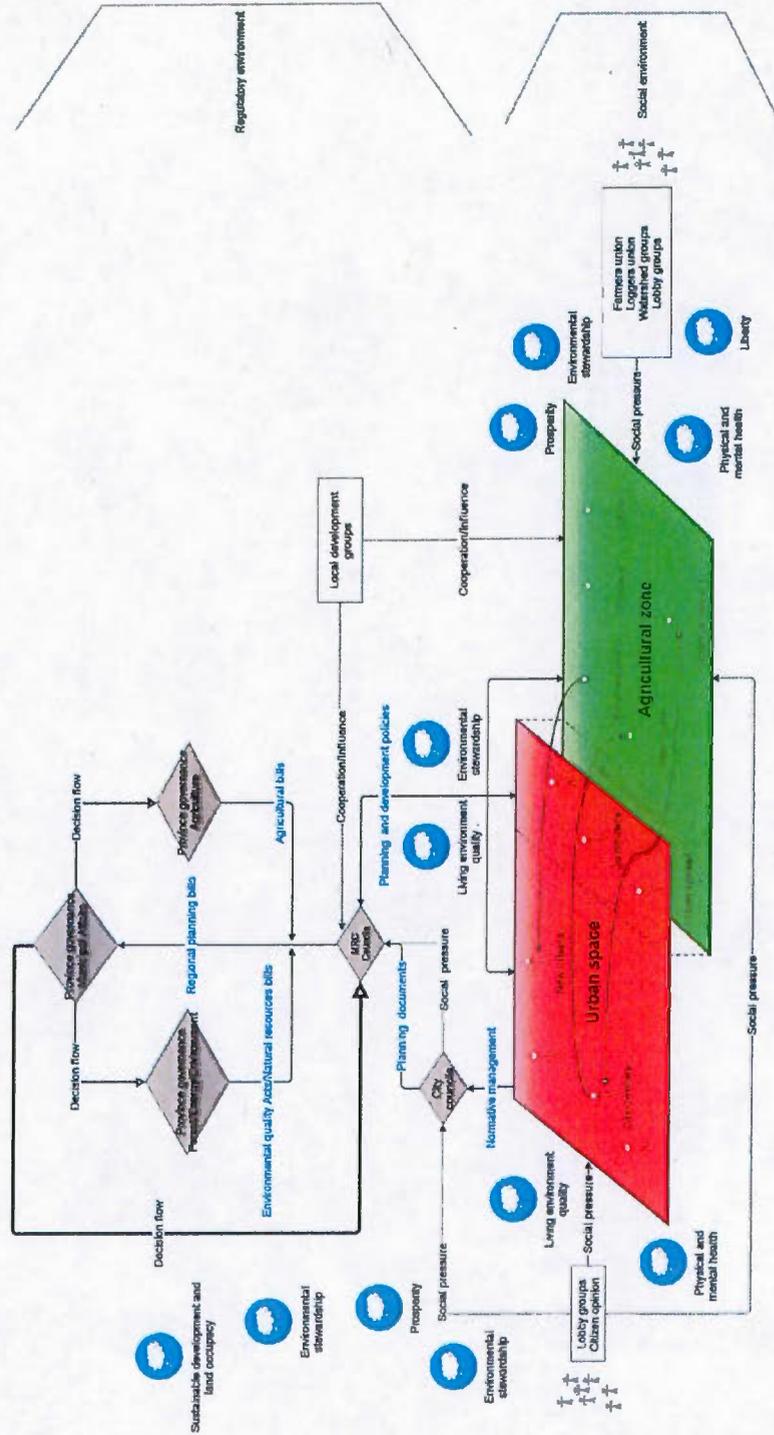
3.3 Model proposal of the agrosystem

A model is a scientific tool or intellectual devices, intended for the simplified representation of the reality. By definition, it has a resemblance to real-world system, but it remains an overall simplification of the reality. We see earlier that a hard system does not share the same characteristics with soft systems. It is, therefore, reasonable to assume that soft system models are neither similar to hard system models nor designed for the same purposes. In a soft system approach, the model's role will be to help structure an exploration of the problem situation being addressed (Checkland 2000). For the decision-maker, this task of "problem setting" is of paramount importance in any decision-making process he has to undertake. As long as the decision process is not entirely completed, many fundamentals questions about the context of the decision problem have to be kept in mind at every step of the procedure. Who are the actors involved? What kind of interaction is taking place between actors? What are the challenges and the issues linked to the decision, the outcomes of one decision among another, have to be addressed even before the formalization of the procedure? Surprisingly, this requirement is outcome of participation and discussion processes. It agrees that in every decision-making process, these steps are crucial; however, the ultimate ruling remains in the hand of the decision-maker who becomes fully accountable for the choice made. He must be able to explain its decision for every stakeholder and to adopt a relevant rationale for doing it.

In the previous steps, we specify the general nature of the system under study by the rich picture. Giving the system a relevant definition allowed us to dig deeper into its core by highlighting and verbally describing the processes that are operating within. In this step, we are crossing the real-world boundary and get into the systemic thinking for the conceptual modeling of the system. There is no particular methodology use to model the socioecological system of the RCM but experience and intuition. However, some very specific elements have to be taken

Environ Syst Decis

Fig. 3 Rich picture of the Bellechasse socioecological system



into account in this procedure. Along with the rich picture and the root definition, the CATWOE (Smyth and Checkland 1976) is the third element to consider into the modeling process. The CATWOE is a mnemonic for customers/actors/transformation/weltanschauung/owner/environment. It is an implicit and formal representation of the root definition. The core of this analysis is to pair the CATWOE (Table 2) with the transformation process of the root definition and the vision (weltanschauung) that makes it meaningful (Checkland and Scholes 1990).

To design the model, we took, as a starting point, the UML language or Unified Modeling Language as a standard modeling notation of the system. UML has emerged as the standard notation for object-oriented modeling and design. It is a standard language for specifying, visualizing and constructing models for, but not exclusively, non-specialist software scientists. The UML represents a collection of engineering best practices that have proven successful in the modeling of large and complex systems. It uses mostly graphical notations to express the design of software projects. It thus provides interesting dialog opportunities between the modeler and the computer scientist if the modeling process has to go further. It intuitively takes into account the organization, complexity, interaction and hierarchy that are the systemic main features of the real world (Booch 1994). For the purpose of our contribution, we used a standard simple class diagram. Simple UML diagram makes it possible to visualize the structures, processes and interactions of the system. Because of their simplicity, UML diagrams are useful communication tools for the decision-makers as well as other stakeholders (actors and customers) that are directly or indirectly, positively or negatively affected by the decisions made (Bonnafous-Boucher and Pesqueux 2006;

Parker and Gemino 2009). Figure 4 provides the model of the system as per UML formulation.

3.4 Model validation

Model validation is essential part of the model development process if models to be accepted and used to support decision-making (Macal 2005). The ultimate goal of model validation is to make the model useful in the sense that the model addresses the right problem and provides accurate information about the system being modeled, and to make the model used. The conventional approach to validation assessment in deterministic model is to measure the agreement between model predictions and experimental data from appropriately designed and conducted experiments. However, validating socioecological models is a sensitive operation in the overall modeling process, and contrary to deterministic models, there are no such tools for anthropogenic systems (Bommel 2009). According to Checkland (1995), "relevance" is the central aspect in validating a soft system model. However, there are no answers to figure out whether the model (and the root definition as well) is relevant. In fact, SSM is all about the learning process; therefore, "we learned" relevance by listening and analyzing what the stakeholder's view and perceptions about the situation were. We see this validation process as methodological validation. It was carried out in part during the environmental hearing when the Commission called upon external expert consultants and other all stakeholders. Given that, we assumed that the content analysis of the hearings is an adequate reflection of the real issues and values of the stakeholders. In addition, expert's opinions on planning decision scenarios and their aftermath on agricultural acreages used for the building of the root

Table 2 CATWOE analysis of the Bellechasse socioecological system

Components	Variables	Process attributes
(C) Customers	Farmers, foresters, rural resident, new rurals, seasonal residents.	Deforestation, afforestation, urbanization culture, immigration.
(A) Actors	Watershed groups, environmental groups, farmers and forestry unions	Perceive, influence, facilitate (T)
(T) Transformation system	<i>Input</i> Agricultural lands, timbered/woodlands/waste lands <i>Output</i> Modified land use and landscape	Internal to the socioecological system
(W) Vision	Sustainable development, human landscape quality, agricultural acreages integrity, biodiversity and environmental protection, multifunctionality, economic prosperity, health.	Confers a meaning to (T)
(O) Owners	Public agencies, MRC, cities	Controls (T)
(E) Environment	Belief conflicts, land use conflicts, dialog and conciliation	Influences the dynamic of (T)

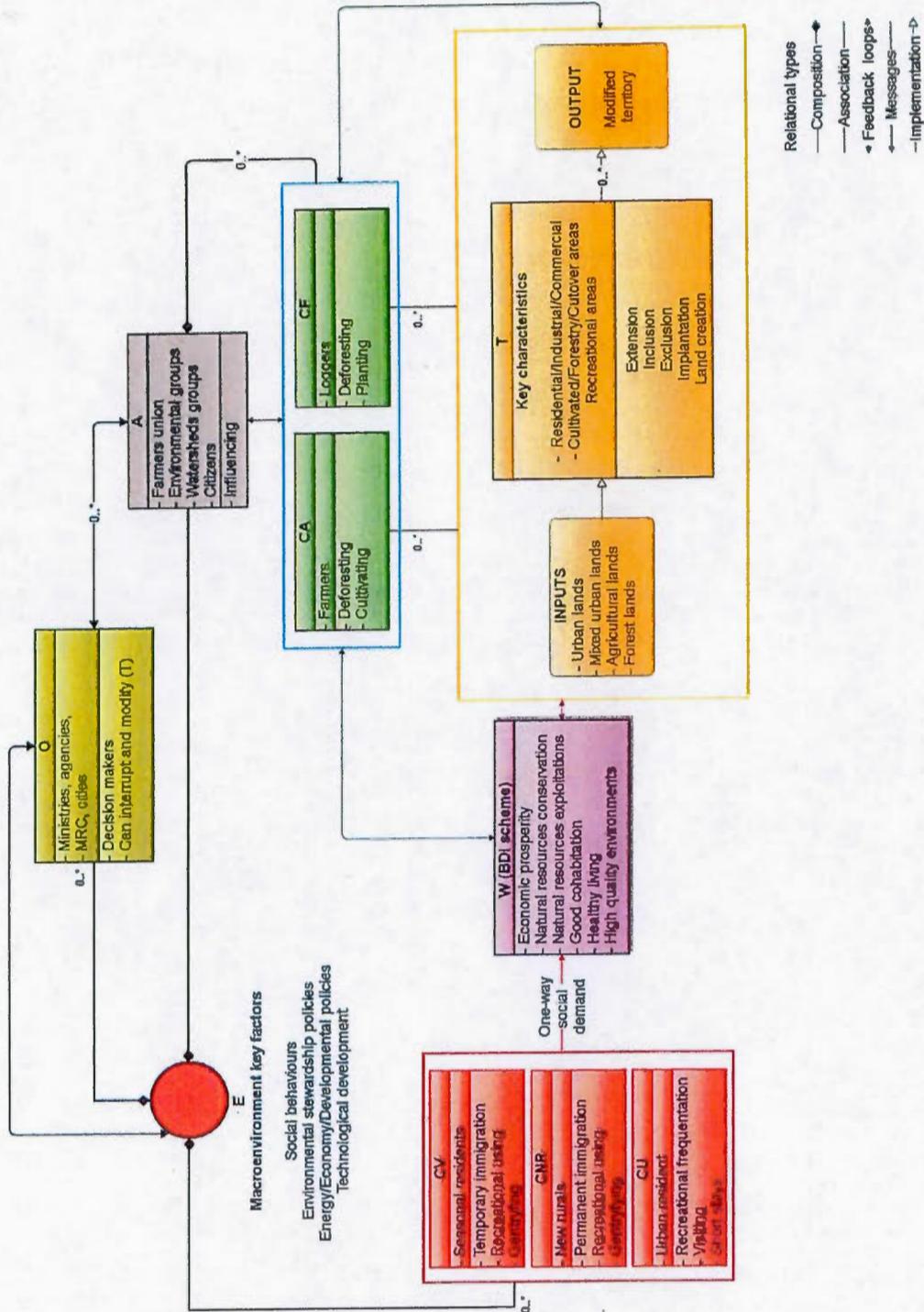


Fig. 4 Bellechasse MRC socioecological conceptual model

definition are deep-rooted in real-life situation and the territory. These planning decisions are taken by the RCM in accordance with the exact nature of the planning problem and to rule out actual regional issues and conflicts. For that, there can be no better validation approach than this one. Finally, we submitted our model for comments from three regional planning experts from two different regions of the province after mentioning the scale level of the model and the purpose of it. Despite there has been one observation about the lack of detail on the economic subsystem, and for which we agree with, there was an overall agreement over the structure and processes the model. Given the above considerations, we are confident that our model is pertinent.

4 Discussion

Can we use TSSM as a stand-alone application for decision-making as it is primarily meant to be? As we previously stated in the introduction, we did not fully address these steps in this paper but only give a brief insight into how TSSM can be useful for scenario definition. But first, let us start with a description of the model. In the CATWOE, the customers (C) are those who may benefit or be the victim of (T). The actors (A) are individuals, groups or communities who carry out the primary activities within the system (T) mainly by facilitating the process and influencing the owner. The transformation process (T) is the conversion process of an input to an output in accordance with a world view (W) made up of beliefs, desires and intentions of the individual, group or organizations. The owner (O) of the system is the decision-maker who controls the activity of (T) and has the power to stop and resume it. Finally, the environment (E) is potential or constraints from the real world in which the activity of the transformation system takes place. Table 1 synthesizes the components of the CATWOE as we understand it. In our model, the input and output of (T) are the agricultural space, as we explained earlier. We have identified six sub-processes in (T) participating in that dynamic of the transformation of agricultural space. All the individuals or groups whose long-term impacts contribute to the transformation of the agricultural zone from its initial state to its modified state are driving these processes. These five processes are deforestation, afforestation, cultivating, urbanization (diffuse and concentric lead by city dwellers, new rural or seasonal residents) and immigration. These transformations are taking place in a supra-regional environment (E). The environment of (T) acts as a point of convergence for all the stakeholders concerned with the agricultural zone. Therefore, all the stakeholders are linked

in one way or another to this environment. In return, this environment also acts on the perception of the users (C) with respect to their BDI scheme as well as for the system owners (O). It is also through this process that the vision (W) maintained by the stakeholders was elaborated. For the purpose of this demonstration, we assume all the stakeholders share the vision. This vision is a regulating mechanism allowing (T) to maintain in time and space. For that reason, the role of the actors (A) as regulating agents is of paramount importance to understanding the overall dynamic of the socioecological system. The owners (O) can shutdown, resume or modulate the evolution of the socioecological system by means of political, administrative or normative processes that have a determining impact on its dynamic. In that way, they might be seen as a decision-maker. This role is devoted to provincial, regional and local agencies that belong to the owner group. Provincial agencies are the custodians of all governmental planning policies.

In accordance with the real picture and the model, we postulate that the vision (W) is the driving variable of the dynamic of the overall socioecological system. In a conflicting environment, there are two ways to rule out the conflicts: (1) by changing the vision of the actors outside of (T) or (2) by adopting good practices by the actor directly involved in (T). In the first case, we think the most efficient way to change the dynamic of (T) would be, for the owners (O) to modify (W) for example by promoting the impact of environmental and territorial assets by farmers and foresters (Ca and Cf). As we know, these actors contribute significantly to landscape qualification and highly desirable living environments for new rural and seasonal residents (Cnr and Cv) with their economic activities. A strong message is sent to these latter for whom agricultural acreages are mostly looked for pleasant living environments to invest. This perception is in full contradiction with the fact that agricultural acreages are also a production space. The decision-maker should then explore ways of changing this perception and bring the new rural to consider the agricultural territory not only as a bucolic environment, but also as a space of economic production. This culturally feasible change arises from a modification of the perception of the individuals living outside the agricultural activity by maintaining the dynamism of certain elements of (T). This scenario can, however, prove to be inadequate. For example, for city dwellers residing in urban areas, the increase of agricultural pressure in the agricultural zone can be perceived in rather a negative way (W) by reinforcing the idea of environmental issues (sound pollution, air pollution, diffuse pollution of surface, ground waters, etc.). These phenomena are said to be having effects on his health and his overall quality of life. We

frequently observe this kind of conflicting values situation in our context. It is a situation that agriculture found in these last years. They constitute a substantial tendency in most industrialized countries (Rogge et al. 2007; Natori and Chenoweth 2008a, b; Pacione 2013). When this situation occurs, the environment (E) of (T) becomes adverse and the owner (O) of the system must act on the customers (C) whose role in the dynamics of (T) is paramount with regard to sustainable resources exploitation: farmers and foresters. Thus, the reinforcement of the capacities of (C) to adopt sustainable practice by means of financial, technical or even coercive mechanisms or politics can contribute to modify, by way of positive feedback, the dynamics of (T) since it is shown that the implementation of normative policies of ecoconditionality can increase the ecological and economic efficiency of these stakeholders (Schroeder et al. 2013).

5 Conclusion

In this paper, we attempted to adapt Checkland's SSM to respond to a territorial problem that involves two issues: One is the formalization of baseline information about relevant aspects of the current state of an explicit territorial system. The second is the interlinking of the components of the system under study. These operations are knowledge-based in a sense that they rest on the gathering of intelligence about the system's components, structures, process and dynamics, by social learning. Our findings suggest that TSSM can be a simple and relevant tool to assess the structural characteristics of the system. It can help the practitioner to gain some insights into its sociodynamical properties using proxy data instead of performing a full-scale participatory process. It allows the systematic identification of the stakeholders and the systemic formatting of their interactions between them and their environments. In addition, by "capturing" the implicit dynamic of the system within transformation system (T) of the model, we can integrate ecological and anthropological processes into one interface sub-system. Essentially, the conceptual interfacing between the components of the system in the model can be valuable for problem area identifications such as land use conflict or values, perceptions and goals conflicts. Finally, as a tool for decision-making aid, TSSM can provide the decision-maker to gain more insight into the outcomes of his planning decision. It can help define criteria and indicators that could be derived from that knowledge base and integrated into a more sophisticated multicriteria decision approach. However, further investigations are needed to find out how to transpose TSSM into more powerful decision modeling process.

References

- Agnew CI (1984) Checkland's soft system approach: a methodology for geographers? *Area* 16(2):167–174
- Bergvall-Kareborn B, Mirjamdotter A, Basden A (2004) Basic principles of SSM modeling: an examination of CATWOE from a soft perspective. *Syst Pract Action Res* 17(2):55–73
- Bommel P (2009) Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multi-agents adaptée à la gestion des ressources renouvelables. Thèse de l'université de Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc
- Bonnafous-Boucher M, Pesqueux Y (2006) Décider avec les parties prenantes, Paris, La Découverte Recherches
- Booch G (1994) Object-oriented analysis and design with applications. Addison-Wesley Object Technology Series, 2nd edn. Addison-Wesley, Boston
- Brabec E, Smith C (2002) Agricultural land fragmentation: the spatial effects of three land protection strategies in the eastern United States. *Landsc Urban Plan* 58(2–4):255–268
- Brans J-P, Mareschal B (2002) Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples. Éditions de l'Université de Bruxelles
- Bunch MJ (2003) Soft systems methodology and the ecosystem approach: a system study of the coom river and environs in Chennai, India. *Environ Manag* 31(2):182–197
- Canada (1999) Environment Canada. Canadian Wildlife Service, Québec City Region
- Checkland P (1995) Model validation in soft systems practice. *Syst Res*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.3850120108/abstract>
- Checkland PB (2000) Soft system methodology: a thirty-years retrospective. *Syst Res Behav Sci* 17:11–58
- Checkland PB, Scholes J (1990) Soft systems methodology in action. Wiley, New-York
- Hopkins TS, Bailly D, Elmgren R, Glegg G, Sandberg A, Støttrup JG (2012) A systems approach framework for the transition to sustainable development: potential value based on coastal experiments. *Ecol Soc* 17(3):39
- Macal CM (2005) Model verification and validation. Workshop on "Threat Anticipation: Social Science Methods and Models", The University of Chicago and Argonne National Laboratory, Chicago
- Mohach MP (2000) The art of modeling in SSM. In: Conference proceedings of international society for the social science, Toronto
- Morgan RK (1981) Systems analysis: a problem of methodology? *Area* 13:219–223
- Natori Y, Chenoweth R (2008a) Differences in rural landscape perceptions and preferences between farmers and naturalists. *J Environ Psychol* 28(3):250–267
- Natori Y, Chenoweth R (2008b) Differences in rural landscape perceptions and preferences between farmers and naturalists. *J Environ Psychol* 28(3):250–267
- Pacione M (2013) Private profit, public interest and land use planning—a conflict interpretation of residential development pressure in Glasgow's rural-urban fringe. *Land Use Policy* 32:61–77
- Parker D, Gemino A (2009) Use case diagrams in support of use case modeling: deriving understanding from the picture. *J Database Manag* 20:1–24
- Quebec (2001) Les orientations du gouvernement en matière d'aménagement : La protection du territoire et des activités agricoles. Direction de l'aménagement et du développement local du ministère des Affaires municipales et de la Métropole, avec la collaboration du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries

- et de l'Alimentation et du ministère de l'Environnement. http://www.mamrot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/orientations_gouvernementales/orientations_amenagement_agricole.pdf
- Québec (2008a) Agriculture et Agroalimentaire : Assurer et bâtir l'avenir. Rapport final de la Commission sur l'Avenir de l'Agriculture et l'Agroalimentaires du Québec, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
- Québec (2008b) Agriculture et Agroalimentaire : Assurer et bâtir l'avenir, ce qu'on nous a dit. Rapport de la Commission sur l'Avenir de l'Agriculture et l'Agroalimentaires du Québec, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
- Québec (2014) Les plans de développement de la zone agricole, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentations du Québec. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/developpementregional/Pages/PDZA.aspx#guide>
- Rogge E, Neveas F, Gulinck H (2007) Perception of rural landscapes in Flanders: looking beyond aesthetics. *Landscape Urban Plan* 82(4):159–174
- Roy B (1985) *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, Paris
- Schroeder LA, Isselstein J, Chaplin S, Peel S (2013) Agri-environment schemes: farmers' acceptance and perception of potential 'Payment by Results' in grassland—a case study in England. *Land Use Policy* 32:134–144
- Smyth D, Checkland P (1976) Using a systems approach: the structure of root definitions. *Appl Syst Anal* 5:75–83
- Staker RJ (1999) An application of Checkland's soft systems methodology to the development of a military information operations capability for the Australian Defence Force, Information Technology Division Electronics and Surveillance Research Laboratory, Department of Defence, Defence Science and Technology Organization, Australia
- Wilson B, Chakraborty A (2013) The environmental impacts of Sprawl: emergent themes from the past decade of planning research. *Sustainability* 5(8):3302–3327

CHAPITRE VI

CONTRIBUTIONS DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE ET DES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE POUR L'AIDE À LA DÉCISION EN PLANIFICATION TERRITORIALE ET ENVIRONNEMENTALE ¹³

RÉSUMÉ. La planification territoriale et environnementale rend possible l'ajout de rationalité à la prise de décision collective. Conformément à la théorie, la planification implique l'élaboration et l'évaluation de différents scénarios d'aménagement du territoire en vue de déterminer pour un secteur donné, un scénario à mettre en œuvre, considérant le contexte imposé par le capital territorial et environnemental, les perceptions des acteurs impliqués, et les attentes sociétales en matière de gestion des ressources. Par sa nature intrinsèquement complexe, tout ce processus peut grandement bénéficier des apports méthodologiques de l'aide à la décision et des systèmes d'information géographique. Cette contribution propose une démarche intégrée d'évaluation environnementale stratégique de scénarios de planification territoriale, selon une approche d'aide multicritère à la décision et d'analyse spatiale. Elle est illustrée par une étude de cas portant sur la municipalité de Sainte-Claire située dans la MRC de Bellechasse, région administrative de Chaudière-Appalaches, au Québec. Le matériel provenant des audiences publiques tenues en Chaudière-Appalaches a constitué un important matériel de base et a notamment permis d'examiner les attentes sociétales envers cet important secteur d'activité économique. La formalisation du problème, la définition des scénarios d'utilisation du sol et des critères ont été effectuées à partir de ce matériel soumis à une analyse heuristique issue de méthodologie des systèmes souples. Chaque scénario est construit selon une hiérarchisation d'objectifs. Il est évalué selon douze critères décisionnels et autant d'indicateurs de performance. La translation spatiale puis

¹³ GUAY J.F. et J.P. WAAUB (2015). « SOMERSET-P: An integrated modelling platform for territorial and environmental planning » *International Journal of multicriteria decision making (IJMDM)*, Special Issue on New Developments in PROMETHEE Methods Inderscience Publishers. To be submitted.

l'analyse spatiale des impacts des scénarios ont été réalisées avec le système d'information géographique ArcGIS puis intégrées dans le logiciel d'analyse multicritère DSIGHT mettant en œuvre les méthodes PROMETHEE et GAIA. Les résultats fournissent les éléments d'aide à la décision suivants : une représentation des forces et des faiblesses de chaque scénario ; un rangement des scénarios par acteur, prenant en compte ses préférences ; un rangement des scénarios pour l'ensemble des acteurs ; une analyse visuelle des conflits et des synergies entre les critères (plans GAIA-critères) et entre les acteurs (GAIA-acteurs). Sur la base de ces éléments, nous avons simulé une négociation entre les acteurs en vue de déterminer un ou des scénarios de compromis à proposer au décideur ultime. À partir d'analyses de sensibilité, nous discutons de la robustesse de la solution proposée face aux variations des poids des critères, et à celles de certaines hypothèses d'évaluation des options. Cette contribution à valeur académique, transposable en milieu pratique, illustre le potentiel intégrateur de trois outils d'analyse au sein d'un modèle décisionnel opérationnel d'évaluation environnementale stratégique de scénarios de planification territoriale.

MOTS-CLÉS : aide à la décision, analyse multicritère, utilisation du sol, SIG, méthodologie des systèmes souples.

ABSTRACT. Territorial and environmental planning provides rationality to collective decision at sub-national levels of the central government. In accordance with theory, territorial and environmental planning implies the elaboration and the evaluation of various scenarios in order to determine the best scenario to be implemented. This implementation is performed considering the context imposed by environmental capital, perceptions of the stakeholders and their expectations as regards for resources management. The process of scenario building and evaluation can largely profit from the decision-making aid and geographical information systems. This contribution proposes an integrated strategic environmental assessment approach of regional planning scenarios. It combines soft system methodology, spatial analysis and multi-criteria decision aid support. It is illustrated by the municipality of Ste-Claire (Quebec, Canada) case study. The work of Commission on the Future of Agriculture of Quebec, held across the whole province from 2006 to 2009, provided data on stakeholder and societal expectations. Problem setting, definition of land use scenarios and assessment criteria were made out from this material and subjected to a heuristic analysis with the Soft Systems Methodology. Each scenario is built according to a hierarchy of objectives. Scenarios are then assessed in accordance to twelve decision criteria and related indicators of performance. The spatial translation and spatial analysis of the impacts of the

scenarios were performed within ArcGIS geographic information system. The outputs of the spatial modelling were integrated into multicriteria analysis software implementing the PROMETHEE and GAIA methods. The following main elements were computed to support the stakeholder negotiations: scenario strengths, weaknesses, individual and multi-stakeholder scenario rankings, visual analysis of conflicts and synergies between criteria, and between stakeholders, sensitivity, and robustness analysis. The negotiation process was simulated in order to determine a compromise proposition to the ultimate decision maker.

KEYWORDS : decision-making aid, multicriteria analysis, land use, GIS, soft system methodology.

6.1 Introduction

Les incertitudes nouvelles entretenues quant à la concurrence de l'agriculture québécoise avec celle plus performante des économies émergentes combinées à la nécessité mondiale d'en augmenter la productivité de 60 % d'ici 2050 (ODCE, 2012) pour répondre aux besoins d'une population plus nombreuse et plus urbaine, ont contribué à faire naître depuis près d'une décennie, un sentiment généralisé de malaise envers cette activité notamment en regard des impératifs du développement durable que sont la soutenabilité environnementale, la performance économique et l'acceptabilité sociale (QUÉBEC 2007 a). L'agrosystème québécois est un système socioécologique d'interface et, par définition un système complexe. L'organisation, l'interaction, la hiérarchie des composantes et des processus lui confèrent sa complexité. Ces caractéristiques imposent aux décideurs la nécessité d'une mise en place graduelle de politiques et de règlements qui poursuivent des objectifs de développement durable des activités agricoles. C'est là un des points de départ de la réflexion qui a servi à la préparation des audiences de la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Québec, lesquelles ont réuni sur une période de 18 mois, plusieurs centaines d'acteurs du milieu dans le but d'établir un diagnostic et de formuler des recommandations sur les adaptations à faire, compte tenu

notamment des attentes sociétales en matière de développement durable de l'agriculture.

De nombreux travaux sur la question des systèmes intégrés d'aide à la décision (SIAD) ont donné lieu à un raffinement toujours plus poussé de leur utilisation en planification du territoire et de l'environnement (Martel et Rousseau, 1993 ; Côté et Waaub, 2000 ; Côté et coll. 2001 ; Prével et coll. 2004 ; De Lourdes Vasquez et coll. 2013). Toutefois, comme le font remarquer Joerin et Waaub (2013), l'usage de cet outil hybride consiste encore essentiellement à cartographier les critères et le résultat de l'analyse multicritère de telle sorte que la spatialité de la décision reste sous-exploitée. Or, une interprétation géographique consisterait, par exemple, à critiquer le résultat d'une analyse multicritère en considérant sa logique spatiale. Dans cette contribution, en plus de reproduire visuellement le résultat d'une analyse multicritère faite *a priori* sur un ensemble de scénarios, nous avons tenté de comprendre le pourquoi « géographique » de la performance des scénarios. Il s'agit, d'une avancée intéressante sur les façons de planifier, de gérer et d'évaluer la performance de scénarios d'affectations des territoires en apportant un réel éclairage spatial et à la fois écologique, environnemental, social, économique et politique.

Dans cette contribution, nous démontrons l'utilité de trois outils de modélisation pour l'aide à la décision relative à l'évaluation environnementale stratégique de scénarios de planification territoriale et environnementale : la méthodologie des systèmes souples (MSS), l'analyse multicritère, et la modélisation spatiale. L'accès au matériel provenant des audiences de la Commission sur l'avenir de l'agriculture et agroalimentaire au Québec et notamment les séances tenues dans la région administrative de Chaudière-Appalaches au Québec ont représenté des atouts importants pour la définition du problème et l'identification des principaux enjeux. À

partir de l'analyse heuristique de l'agrosystème de la municipalité de Sainte-Claire dans la région de la Chaudière-Appalaches, nous avons élaboré quatre scénarios de planification territoriale et environnementale qui intègrent les principales préoccupations des acteurs à l'égard de la planification durable du territoire agricole. Ces scénarios de planification sont modélisés dans le système d'information géographique ArcGIS afin de quantifier leurs performances relatives. Les scénarios sont comparés par analyse multicritère avec les méthodes PROMETHEE et GAIA afin d'obtenir un rangement ordonné en fonction des préférences des parties prenantes. Une discussion est produite sur le rangement des scénarios afin d'apporter une lecture spatiale et une interprétation géographique des résultats de l'analyse en regard des conflits potentiels, de l'émergence de coalition et de possibilités de négociation entre les parties prenantes dans le choix final d'un scénario de planification du territoire et de l'environnement.

6.2 Territoire d'étude

La municipalité de Sainte-Claire (Figure 6.1) est située au sein de la municipalité régionale de Comté (MRC) de Bellechasse dans la région administrative de Chaudière-Appalaches au Québec. Cette municipalité est représentative des autres municipalités de la MRC situées dans la vallée de la rivière Etchemins, en matière de répartition géographique des affectations du territoire, de dynamisme économique, et de diversité des activités agricoles. Elle regroupe la typologie complète des cadres de vie agricoles, représentatifs de la région de la Chaudière-Appalaches : milieu agricole dynamique, viable, dévitalisé et déstructuré. Par sa situation, à proximité de plusieurs municipalités d'importance de la région de la Chaudière-Appalaches, cette municipalité possède un caractère périurbain important ; notamment par sa proximité de la ville centre de Lévis, Sainte-Claire est soumise à une forte croissance de sa population et de l'extension de son périmètre urbain depuis 10 ans.

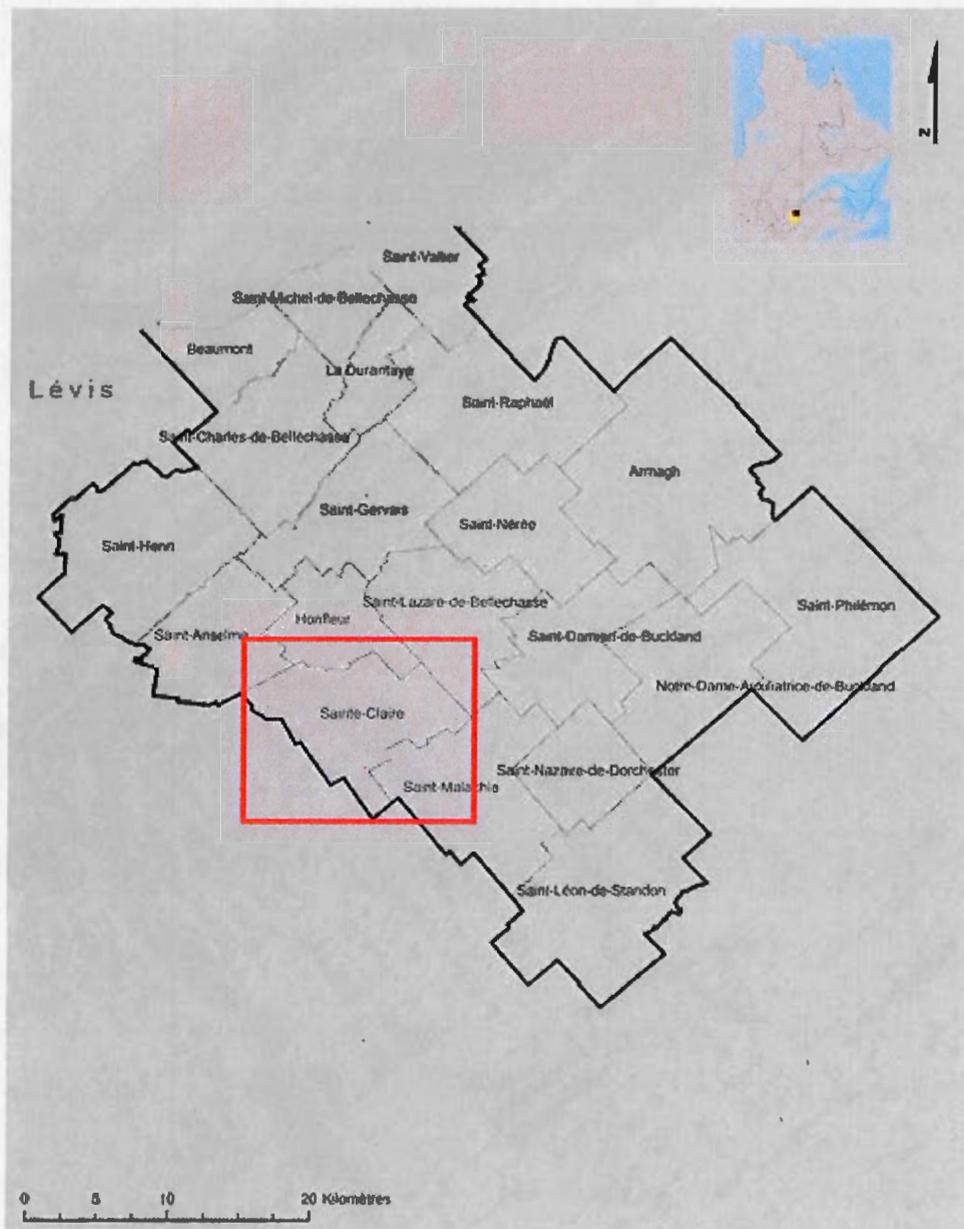
6.3 Méthodologie

Notre approche incorpore trois outils de modélisation pour l'aide à la décision relative à l'évaluation environnementale stratégique de scénarios de planification territoriale et environnementale : la méthodologie des systèmes souples, la modélisation spatiale et l'analyse multicritère. La mise en œuvre de la démarche a été effectuée à partir d'une situation réelle de planification territoriale et environnementale. Toute la question de la simulation de la démarche participative à la base de la réflexion sur les préoccupations des acteurs et sur les enjeux qui s'en dégagent s'est fait grâce à du matériel existant et ce pour des raisons de logistiques et d'économie de temps (Annexe B). La translation spatiale puis l'analyse spatiale des impacts des scénarios ont été produites à partir d'un ensemble fini de critères et d'indicateurs, et réalisées avec le système d'information géographique ArcGIS. Les résultats des simulations des scénarios, en termes d'impacts territoriaux, ont été analysés dans le logiciel d'analyse multicritère DSIGHT mettant en œuvre les méthodes PROMETHEE et GAIA afin d'obtenir plusieurs éléments d'information qui nous ont permis notamment d'identifier une solution de meilleur compromis de planification du territoire.

6.3.1 Système d'acteurs et enjeux

En 2006, la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Québec (CAAAQ) a invité les citoyens, les organismes et les autres acteurs intéressés par l'agriculture et l'agroalimentaire à se prononcer sur l'avenir du secteur dans l'ensemble du Québec pour les prochaines années (Annexe B). Des consultations publiques régionales se sont déroulées dans l'ensemble des régions de la province, dont celle de la Chaudière-Appalaches à St-Joseph de Beauce, à Saint-Agapit et à Montmagny. Nous avons fait le recensement de près de cinquante

Figure 6.1 MRC de Bellechasse : situation générale et municipalité à l'étude.



Source : SIGMA, système d'information géographique ministériel (2013)

mémoires (QUÉBEC, 2007) qui ont été présentées durant les séances régionales de consultations. En accordant un pointage unitaire pour chaque occurrence d'un terme ou d'une expression thématique qui ressortait dans chacun des mémoires présentés, nous avons été en mesure d'identifier, par simple sommation, sept grandes préoccupations soulevées par les participants aux audiences de la Commission (Figure 6.3) : la mise en valeur des terres agricoles, la cohabitation en territoire agricole, la protection ou la conservation des ressources naturelles, la prospérité économique, la vitalité territoriale et la santé des individus. Ces éléments synthétiques du contenu de l'audience régionale de l'audience régionale constituent les principales variables d'élaboration de nos scénarios de planification territoriale.

6.3.2 Élaboration des scénarios et simulation spatiale

La démarche de construction des scénarios est de nature exploratoire, l'objectif premier étant ici de faire varier de façon contrastée des hypothèses concernant l'évolution de tendances lourdes que nous assumons être permanentes et prédominantes à l'échelle du système socioécologique que nous étudions. Ces tendances lourdes ont été mises en évidence lors des audiences de la CAAAQ et constituent les variables macroenvironnementales du système (Figure 6.5). La démarche se déroule en trois grandes étapes : (1) l'identification des critères et des indicateurs ; (2) la modélisation spatiale du territoire et la définition des scénarios ; (3) les simulations spatiales.

Étape 1 : identification et sélections des critères et indicateurs.

Les critères et les indicateurs jouent un rôle double dans la démarche hybride cartographique/décisionnelle que nous proposons. Dans un premier temps, ils permettent de de simuler divers scénarios de planification du territoire, de les

visualiser puis d'en évaluer puis les impacts territoriaux ; ils permettent également — et c'est ici que ces deux notions prennent toute leur importance, soumettre l'analyse des scénarios au « test » de préférence des acteurs. Nous avons ainsi procédé à l'identification et au choix de critères qui correspondent à la traduction des enjeux et préoccupations exprimées par l'ensemble des parties en un nombre restreint d'éléments d'évaluation des scénarios, établis et partagés par l'ensemble des acteurs. L'évaluation des impacts des scénarios de planification par le biais des critères prend en compte l'impact cumulatif de l'ensemble des actions constituant chaque scénario.

Les 7 grandes préoccupations identifiées par les acteurs du secteur à l'étape lors de l'analyse par la méthodologie des systèmes souples constituent la synthèse des points de vue sur une planification territoriale et environnementale « idéale » dans la mesure où nous assumons qu'elles sont partagées par tous les acteurs. Nous avons procédé à la traduction de ces points de vue en un ensemble de critères quantitatifs et qualitatifs ainsi que d'indicateurs de mesures.

La sélection de chacun des critères (Tableau 6.1) a été effectuée sur la base de trois éléments de justification, à savoir :

1. le principe d'exhaustivité et de pertinence, tous les critères devant refléter le plus fidèlement possible le contenu mesurable de tous les enjeux ou des préoccupations ;
2. le principe de cohérence entre les préférences locales de chaque critère et les préférences globales. Si une action a une performance égale à celle d'une autre action sur tous les critères sauf un sur lequel elle est plus performante, elle est donc globalement plus performante que l'autre action ;

3. le principe de non-redondance, les critères devant être uniques et non corrélés entre eux afin d'éviter tout biais d'interprétation par l'analyste. Ils ne doivent ni se dupliquer ni être trop nombreux.

Nous avons retenu un ensemble de critères sélectionnés sur la base de notre connaissance pratique du milieu de planification en zone agricole et à partir des éléments d'information obtenus par la modélisation par la méthode des systèmes souples : critères économiques, critères d'urbanisme, critères environnementaux, critères ressources naturelles et critères sociaux. Les indicateurs de mesure, attribués à chacun des critères, ont permis d'évaluer la performance des actions sur chacun des critères. Le choix des indicateurs a été déterminé par la disponibilité des données géographiques ou la possibilité de générer ces données à partir de fonctions d'analyse spatiale au sein du SIG utilisé pour la modélisation des scénarios de planification. Les propositions que nous faisons ici reposent à la fois sur la connaissance du milieu que nous avons acquise sur 10 années de pratiques aménagistes et, pour certains critères et indicateurs, sur une validation dans la littérature. La plupart des critères ont été analysés sur une échelle cardinale, la cardinalité étant une propriété s'appliquant aux mesures quantitatives des critères et qui accepte toutes les types de relations arithmétiques. Trois critères de nature qualitative ont été évalués sur une échelle ordinale et un critère a été évalué sur une échelle nominale.

Figure 6.2 Modèle conceptuel du système socioécologique et système d'acteurs.

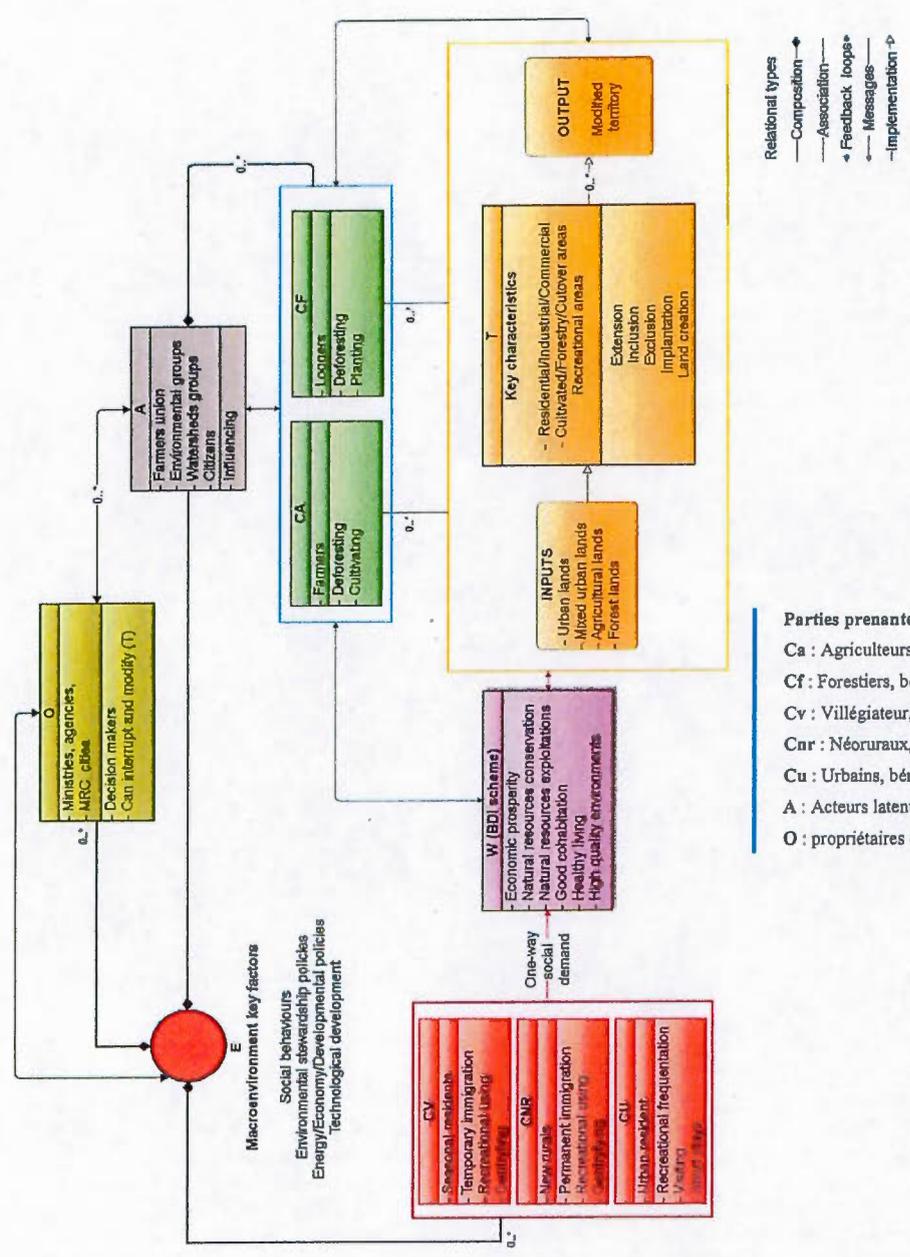
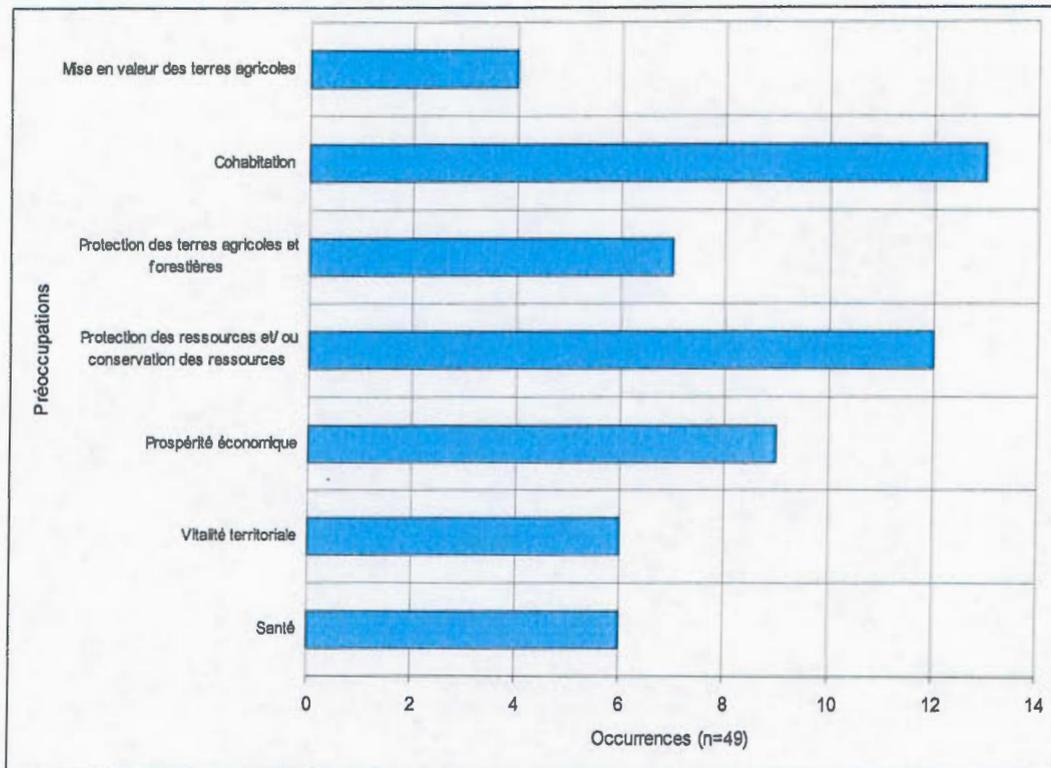


Figure 6.3 Préoccupations des acteurs, identifiées lors des audiences de la CAAAQ



▪ Critères économiques

(ViAg) : Vitalité agricole.

- Indicateur : total des superficies sous cultures commerciales, soit le maïs, le soya et le canola, notamment (à maximiser).
- Données : extraites de la base de données des cultures généralisées provenant du système d'information géographique SIGMA.

- Justification : pour les producteurs agricoles, les grandes cultures constituent des productions très lucratives, la très grande proportion des volumes produits étant écoulée sur le marché selon les prix d'examen, actuellement élevés. Les composantes locales de la MRC, c'est-à-dire les municipalités revendiquent toutefois la prérogative de maintenir un zonage des productions végétales qui restreindrait le total des surfaces en production commerciale pour garantir la protection et la conservation des ressources physiques, pédologiques, et hydrologiques du milieu.

(Coup) : Coupes forestières.

- Indicateur : total des superficies forestières exploitables, peu importe l'essence (à maximiser).
- Données : extraites du quatrième inventaire forestier du ministère des Ressources naturelles du Québec et intégrées dans le système d'information géographique SIGMA du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MRN, 2008).
- Justification : le « parc de coupe » disponible est basé sur la superficie totale de boisés, disponible pour l'exploitation. Un rapport médian constitue un élément de gestion stratégique de la biodiversité du territoire agricole (Québec, 2004). Pour respecter les exigences internationales de certification des territoires forestiers, l'aménagement écosystémique suppose en effet un retour des vieilles forêts à la hauteur des conditions avant les premières coupes commerciales ce qui suggère le maintien d'un rapport variant entre 30 et 50 % de ces forêts protégées (RQGE, 2011).

(Lc12) : Implantation agrotouristique.

- Indicateur : distance d'implantation d'un marché public en fonction du centroïde du périmètre d'urbanisation (à minimiser).
- Données : localisation du centroïde urbain et calcul des distances linéaires du centroïde par « bufferisation » (Annexe A, fig. A.1).
- Justification : comme pôle d'attraction, le marché public constitue un des éléments des stratégies agroalimentaires de proximité ; ils offrent un point de chute pour les produits agricoles frais provenant du terroir et créent un achalandage local. De nombreux critères permettent de mesurer l'optimalité de l'implantation des marchés de proximité. La localisation spatiale en est un très important (AMPQ, 2104). Le site doit être central, situé au cœur d'une zone à forte densité démographique, à proximité d'un lieu de rassemblement (école, église, etc.) ou d'attractions complémentaires (artère commerciale, musée, parc, etc.). Cette localisation doit se faire de manière à favoriser un emplacement accessible et assurer une certaine affluence ce qui permet de pérenniser son existence. Pour ces deux raisons de nature géographique, la localisation constitue un élément stratégique de l'activité économique agricole et agrotouristique d'un territoire.

(Lc11) : Implantation agroindustrielle.

- Indicateur : dynamisme agricole de la zone d'implantation industrielle (à maximiser).
- Données : calcul de la densité des unités d'évaluation (UEV) par km² à l'aide de la fonction « *point density* » qui permet de calculer une

grandeur par unité de surface à partir d'entités ponctuelles qui se trouvent dans un voisinage donné de chaque cellule ; la donnée de sortie a été agrégée en trois classes de dynamisme agricole (Annexe A, Figure A.2).

- Justification : le dynamisme agricole est une donnée agrégée à partir de données multivariées de nature économique, agronomique et territoriale : parmi celles-ci, la répartition et la densité spatiale des unités d'évaluation agricole constituent deux des facteurs les plus importants. Ces deux paramètres constituent un indicateur du dynamisme agricole. En effet, ces n'étant généralement appartenent à des producteurs actifs qui les exploitent (Annexe A, Figure A.2). En appui à cet argumentaire, il est reconnu de façon générale en géographie économique que le cout des transports des intrants est un des déterminants parmi d'autres (rente du sol, cout de la main-d'œuvre, couts des externalités négatives liées à l'agglomération versus la dispersion des activités de l'entreprise). Généralement, les entreprises cherchent à se positionner à une distance optimale des intrants et des marchés (Gaigné, 2002). Une entreprise œuvrant dans le domaine de l'agroalimentaire industriel pourra théoriquement chercher à maximiser sa localisation à proximité des zones agricoles dynamiques où sont localisés les bassins d'intrants, ou encore, elle se délocalisera pour se rapprocher des zones industrielles près des secteurs concentrant des activités de transformation.

▪ Critères d'urbanisme.

(UrC) : Urbanisation concentrique.

- Indicateur : superficies cultivées perdues suite à l'extension du périmètre d'urbanisation de la municipalité de Sainte-Claire (à minimiser).
- Données : générées par zonages concentriques différentiels autour du périmètre urbain selon le type de scénario. Les données sur les périmètres urbains sont issues des affectations urbaines de la municipalité, telles que définies au schéma d'aménagement et de développement révisé de la MRC de Bellechasse.
- Justification : le périmètre d'urbanisation est une entité spatiale à laquelle se rattachent notamment des notions de densité et d'utilisation du sol. La définition de ces territoires contribue notamment à la différenciation des milieux rural et urbain. Au niveau de la planification territoriale, l'agrandissement des périmètres urbains constitue le moyen privilégié par les municipalités pour agrandir l'espace consacré aux fonctions résidentielles, commerciales et industrielles. En l'absence de mesures de densification de l'espace urbain existant (superficie des terrains, nombre de logements à l'hectare, etc.) ou d'espaces disponibles, les agrandissements des périmètres urbains se font souvent à même la zone agricole.

(UrD) : Urbanisation diffuse.

- Indicateur : nombre d'ilots d'urbanisation ponctuels (résidences) identifiés (à maximiser), qui répondent à deux conditions :

- ils sont détachés du périmètre urbain de la municipalité,
 - ils sont situés en zone agricole.
- Données : générées par sélection ciblée des lots non occupés par des activités agricoles à partir du cadastre de la municipalité et classification des lots en 5 ha, 10ha, 30ha 50ha. Selon le scénario retenu et la dynamique agricole locale du secteur dans lequel ils sont situés, tous les lots, uniquement les lots de 5ha, de 10ha, 30ha et de 50ha, sous certaines conditions, seront urbanisés en fonction des superficies de lotissement règlementaire équivalent à 2500 m²/résidences.
 - Justification : la perception généralisée selon laquelle la zone agricole provinciale est un bloc homogène et immuable de superficies uniquement destinées à l'agriculture s'est effritée au cours des 15 dernières années dans le monde municipal. Des pressions toujours plus importantes se sont manifestées en provenance des municipalités pour permettre la construction résidentielle en zone agricole provinciale. Une des solutions actuellement en cours est de permettre le lotissement de lots vacants en zone agricole à des fins résidentielles notamment afin de maintenir une masse critique de résidents en zone agricole dévitalisée et assurer une forme d'occupation dynamique du territoire (Annexe A, Figure A.3).

- Critères environnementaux

(Hy1) : Largeur de la bande riveraine.

- Indicateur : largeur de bande riveraine appliquée à chaque scénario (à maximiser). (Tableau 6.2)

- Données : les valeurs prescrites dans les scénarios sont en accordance avec la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (3 m) ; les autres valeurs sont celles effectivement mises en place par les agriculteurs et les forestiers ou soit selon des mesures ayant déjà été proposées par des acteurs municipaux.
- Justification : la protection de la bande riveraine est une des pratiques agroenvironnementales les plus utilisées en zone agricole en combinaison avec la substitution des types de cultures afin d'assurer la protection des cours d'eau contre la pollution diffuse, la dégradation puis l'érosion des berges ainsi que la prolifération des cyanobactéries en milieu lacustre sous l'effet des apports de phosphore sous forme particulaire ou dissoute (Gangbazo et coll. 2006).

(Cbio) : Cultures biologiques.

- Indicateur : superficies totales de terres agricoles dans la zone agricole qui sont sous cultures biologiques (à maximiser).
- Données : chacun des lots cultivés sous régie standard dans la situation initiale a été reclassifié, selon le scénario retenu, en cultures biologiques, sans égard au type de culture retenu.
- Justification : la performance environnementale des systèmes de production biologique et leur contribution à l'agriculture durable ont été récemment documentées pour le Québec par l'évaluation de leurs impacts sur plusieurs indicateurs agroenvironnementaux : qualité des sols, qualité de l'eau, biodiversité, bénéfice d'exploitation des

entreprises agricoles et, de manière plus générale, sur les préoccupations sociétales relatives aux enjeux de la santé. Il est établi aujourd'hui que cette contribution est mesurable et positive dans chacune des dimensions reconnues du développement durable (MDDEP, 2011).

▪ Critères de gestion forestière

(Db) : Déboisement pour l'agriculture.

- Indicateur : réfère à la possibilité (valeur 0) ou la non-possibilité (valeur 1) d'effectuer des coupes forestières à blanc à des fins de mise en culture des sols sur le territoire de la municipalité (à maximiser).
- Données : binaire, attribuée selon le jugement d'expert en fonction de la logique des différents scénarios.
- Justification : le déboisement de superficies importantes à des fins de mise en culture constitue un changement d'utilisation du sol qui peut avoir des impacts majeurs dans certains secteurs agricoles en raison de la rareté des boisés de ferme : diminution de la valeur des indices d'écodiversité et de biodiversité, diminution de la superficie des corridors fauniques, fragmentation d'habitat d'espèces menacées ou vulnérables. Sur ce point, plusieurs études démontrent que le seuil sous lequel il y a une perte significative de la biodiversité se situe autour de 30 % de superficie boisée (Flather et Bevers, 2002 ; Fahrig, 2003).

(Fri) : Récupération des friches.

- Indicateur : superficies en friches qu'il est possible de reboiser (à maximiser).

- Données : superficies en friches de l'inventaire écoforestier (MRN, 2008) qu'il est possible de reboiser. Selon le scénario évalué, ces superficies en friches sont croisées avec le dynamisme agricole afin d'établir les modalités du reboisement selon leur localisation dans la zone agricole. Dans un secteur de fort dynamisme agricole, les possibilités de reboisement sont moins élevées puisque ces superficies constituent un actif potentiel pour la remise en culture. À l'opposé, la déprise agricole dans les secteurs viables ou dévitalisés entraîne l'enfrichement de certaines terres lesquelles deviennent disponibles au reboisement. En ce cas, le reboisement constitue une perte d'actif potentiel puisque les terres reboisées ne peuvent plus être remises en culture une fois le travail sylvicole accompli.
- Justification : l'*enfrichement* des terres agricoles constitue un processus socioécologique qui prend place en raison de l'abandon des terres agricoles auparavant cultivées et de l'absence d'activité de conversion. Si ce processus présente des avantages sur les plans écologiques et environnementaux (accroissement de la biodiversité, reforestation des corridors fauniques), dans la sphère économique, l'enfrichement des terres constitue une perte de valeur foncière du territoire, une terre en friche ayant une valeur moins élevée qu'une terre cultivée ou une terre entièrement boisée d'essence commerciale. De manière globale, la présence de terre en friche constitue une préoccupation importante pour trois acteurs : les forestiers y voient un potentiel forestier de reboisement ; les propriétaires qui y voient des superficies présentant un potentiel de conversion vers des affectations autres qu'agricoles, notamment résidentiel ; les agriculteurs qui y voient un patrimoine à

préserver pour des usages futurs. En outre, si elles sont situées à proximité des territoires urbains, ces superficies sont sujettes à la spéculation.

▪ Critères sociaux.

(Str) : Harmonie sociale.

- Indicateur : niveau d'harmonie sociale (à maximiser). C'est un concept complexe et multivarié dont la nature réside, notamment, dans la cohabitation harmonieuse des individus et des collectivités au sein d'un même territoire ; elle repose sur la notion de cohésion sociale, elle-même étant liée à celle de la mixité sociale (voir justification ci-dessous).
- Données : évaluation empirique à partir de notre connaissance du milieu et postulat sur des classes attribuées à chaque scénario ; trois classes sont établies en fonction de l'homogénéité de la population : faible homogénéité valeur de (1) homogénéité moyenne (valeur de 2) forte homogénéité (valeur de 3).
- Justification : la cohésion sociale désigne globalement les liens qui unissent les personnes tant à l'échelle communautaire que nationale. Elle repose sur une série de mécanismes sociaux qui comprennent notamment, mais de manière non limitative, des valeurs communes et un sentiment d'appartenance (Jenson, 1998). Pour justifier l'usage de ce critère nous nous reportons à Bernard (1999) qui explique qu'en raison de la concurrence des individus et collectivités pour des biens communs (ici l'espace agricole), l'harmonie sociale sera modulée au sein d'un

territoire, en fonction de l'intensité de la cohésion sociale. À notre avis, celle-ci repose notamment sur le partage d'un genre de vie commun et homogène du point de vue des activités qui le caractérisent. En ce sens, nous postulons que la progression du front d'urbanisation dans la zone agricole ou l'implantation ponctuelle de fonctions résidentielles apportant un nouveau genre de vie dans un espace homogène pourrait contribuer à modifier l'harmonie sociale de manière défavorable. Il s'agit d'une conception classique de l'harmonie sociale à laquelle nous adhérons pour le besoin de cette contribution : l'harmonie sociale reposant sur l'interdépendance, l'homogénéité et la solidarité partagée. D'autres écoles préconisent une définition différente : celles du libéralisme classique (l'harmonie sociale comme résultante des forces du marché) ou de la théorie de la démocratie (l'harmonie sociale résultant de l'intervention des institutions démocratiques pour réguler l'émergence des inégalités et favoriser l'équité) (Jenson, 1993).

(Emp) : Contribution à l'autonomisation (*empowerment*)

- Indicateur : contribution à l'autonomisation (à maximiser). L'autonomisation est généralement définie comme un processus ou qui vise à permettre aux individus, aux communautés ou aux organisations d'avoir plus de pouvoir d'action et de décision et plus d'influence sur leur environnement. On doit à Ninacs (2008) les principaux jalons théoriques de cette notion. L'autonomisation peut être individuelle, communautaire ou organisationnelle, les trois formes souvent étant liée.
- Données : évaluation empirique à partir de notre connaissance du milieu et postulat sur des classes attribuées à chaque scénario ; quatre

classes sont établies en fonction de la contribution du scénario à l'autonomisation : aucune contribution, faible contribution, contribution moyenne, forte contribution.

- Justification : la contribution à l'autonomisation renvoie à une situation en vertu de laquelle la communauté est capable d'agir en fonction de ses propres choix et où elle favorise le développement du pouvoir d'agir de ses propres membres. La participation, les compétences, la communication et le capital communautaire sont les quatre plans sur lesquels il se déroule. L'autonomisation individuelle contribue à réaliser celui de la communauté. En favorisant la contribution à l'autonomisation communautaire par l'implémentation de mesures d'incitation financière, règlementaires ou législatives, il est possible de favoriser la mise en valeur non traditionnelle des ressources agricoles et de maintenir une activité territoriale dans des milieux dévitalisés et délaissés par l'agriculture traditionnelle.

Étape 2 : Modélisation spatiale du territoire et définition des scénarios

Conceptuellement, les scénarios sont des artefacts issus d'un processus créatif au cours duquel différentes hypothèses sur les situations futures sont émises et combinées afin d'élaborer un ensemble fini de futurs possibles, qui nécessiteront chacun divers types d'action de la part des acteurs. Les scénarios consistent en des états contrastés de l'utilisation du territoire et sont de nature normative *c.-à-d.* ils permettent de définir quatre alternatives potentielles, sans *a priori* quant au degré de volonté envers l'une ou l'autre d'entre elles. Toutefois, ils prennent en considération les préférences et valeurs des individus (Guay et Waaub 2015).

Le système socioécologique de la municipalité de Sainte-Claire est constitué de sept variables d'états : (1) usages actuels du sols, (2) polygones forestiers (3) localisation du centroïde de la municipalité (4) la localisation des unités d'évaluation agricole (5) polygones des cultures assurées ¹⁴ (6) distribution du réseau routier, et (7) réseau hydrographique (Fig. 6.4). Chacun des scénarios correspond à une vision de la planification du territoire (fig. 6.5) et qui modifient certaines de ces variables. Quatre scénarios distincts de planification territoriale et environnementale à l'horizon 2030 ont été élaborés (Figure 6.6a, b, c et d et annexe A). L'horizon temporel de quinze années correspondant généralement à celui retenu dans les documents de planification municipaux et mercéens.

Les scénarios retenus font référence à des visions différentielles et contrastées d'occupation du territoire. Ces futurs possibles ont été arbitrairement élaborés et sont fondés sur la connaissance approfondie que nous avons, à titre de praticien régional, des usages et valeurs des parties prenantes en matière de développement du territoire en zone agricole. Ces schémas préférentiels des groupes d'acteurs sont tirés des enseignements exhaustifs de la commission Pronovost et du modèle conceptuel du système socioécologique de la municipalité que nous avons produit à partir de ces données.

Globalement, chacun des scénarios présente le caractère général d'une vision large du territoire (statu quo, axée sur la croissance économique, axée sur des considérants environnementaux, axée sur une position durable) et dont les modalités spécifiques ont toutefois été établies en vertu des valeurs promues par chacun groupe

¹⁴ Cultures assurées par la Financière Agricole du Québec : Maïs, blé, orge, avoine, soya, canola, foin, cultures mixtes.

et par les décisions et actions concomitantes qui en découlent. Aussi, sur le plan méthodologique, la modélisation des scénarios respecte trois grands postulats :

- A. les valeurs des indicateurs relatifs à chacun des critères sont variables selon le scénario retenu ;
- B. chaque critère fait l'objet d'une préférence relative de la part de chacun des groupes d'acteurs ;
- C. cette préférence est stable au sein du même groupe d'acteurs et variable entre chacun des groupes d'acteurs.

- *SCNI : Scénario de base (Statu quo)*

Ce scénario (Figure 6.6a) correspond au maintien de la situation actuelle et à la consolidation des acquis agricoles. La municipalité peut agrandir son périmètre urbain au besoin et aucune contrainte territoriale ne s'y oppose. La zone agricole est néanmoins toujours réservée à l'agriculture et aux activités agricoles dites traditionnelles : monoculture, élevage intensif. Il y a peu de cultures sous régie biologique. La coupe forestière est permise à de nombreux endroits de même que le déboisement à des fins agricoles et le reboisement. Les considérations environnementales sont standards et se résument à l'application d'une bande de protection sur les rives des cours d'eau. Les activités de remplacement de l'agriculture traditionnelle sont peu implantées et la multifonctionnalité de la zone agricole n'est pas souhaitable. De façon générale l'harmonie sociale n'est pas une préoccupation importante ; les genres de vie interfèrent et globalement, l'autonomisation de la communauté est peu favorisée.

- *SCN2 : Scénario de croissance (Économique)*

La croissance des villes tout comme la croissance des activités agricoles et des activités forestières sont les principaux déterminants de ce scénario (Figure 6.6b). L'étalement urbain est intense et parallèlement, le déboisement à des fins de mise en culture est permis. Une contestation citoyenne émerge devant les torts, déclarés ou appréhendés causés par l'agriculture : déboisement au-delà du seuil adéquat pour la biodiversité, le déboisement à des fins agricoles ou d'urbanisation est permis et fait baisser le ratio superficie territoire/superficie forêts à un seuil critique, pollution des cours d'eau, faibles considérations pour la préservation et la conservation des ressources. De fait, les considérations environnementales sont réduites au minimum. Néanmoins, le reboisement des terres en friche est largement favorisé. Des conflits d'usages peuvent surgir entre les différentes affectations territoriales. La stratification des genres de vie est forte ce qui favorise une certaine harmonie sociale dans les secteurs homogènes.

- *SCN3 : Scénario environnemental (Écotopia)*

La recherche des bénéfices environnementaux de l'agriculture devient le considérant fondamental dans ce scénario (Figure 6.6c). La protection de la biodiversité et des ressources (forêt, espace, qualité de l'eau) sont des critères en constante recherche dans toutes les interventions préconisées par le propriétaire du système. Le maintien de l'intégrité spatiale de la zone agricole est un élément capital de ce scénario. L'équilibre est maintenu par les revendications des groupes de pression environnementaux et les mesures d'écoconditionnalité sont poussées à l'extrême : forte protection des bandes riveraines, pas de construction résidentielle en zone agricole, large part accordée à l'agriculture biologique, aucune extension du périmètre urbain. Les groupes de nouveaux résidents participent aux revendications des environmentalistes et contribuent à l'émergence de conflits d'usage devant les

exigences d'une agriculture toujours plus performante et nécessitant des intrants et un prélèvement de ressources plus intenses.

- *SCN4 : Scénario d'exurbanisation (Rééquilibrage)*

L'agriculture ne se justifie plus uniquement par sa fonction alimentaire dans ce scénario (Figure 6.6d). On lui reconnaît des externalités dans l'ensemble positives pour le territoire et qui englobent des fonctions environnementales économiques et sociales. La gestion de l'urbanisation est beaucoup plus serrée afin de préserver l'intégrité de la zone agricole et perpétuer les des externalités économiques (activités agrotouristiques notamment), sociales (vitalités du tissu social, occupation du territoire, héritage culturel du genre de vie) et environnementales (biodiversité, paysage et cadre de vie valorisé). La densification des périmètres d'urbanisation combinée aux agrandissements consentis à même la zone agricole ayant toutefois atteint leurs limites spatiales, un exode se produit vers la zone agricole et de nombreuses résidences s'implantent, favorisant du même coup une hétérogénéisation des genres de vie en milieu rural. Les nouveaux résidents sont plus souples dans leurs revendications et comprennent mieux le rôle de l'agriculture sur le territoire.

Étape 3 : Simulations spatiales

Le processus de simulation, suivant la logique de chaque scénario, a été fait de manière analogique soit (1) par modifications géométriques des limites cartographiques des variables d'état; (2) soit par positionnement manuel d'infrastructures commerciales et industrielles sur le territoire en vertu de contraintes d'implantation générées *a priori* par analyse spatiale (3) soit par sélection cartographique ciblée puis reclassification thématique.

Les quatre scénarios ont été simulés en vertu d'un ensemble de règles décisionnelles variant selon la logique respective des scénarios. Sur ce point, certaines des variables d'état ont été utilisées pour générer une donnée de caractérisation territoriale comme dans le cas du dynamisme agricole et des bandes riveraines, dans le premier cas à partir des centroïdes des unités d'évaluation et dans le deuxième cas par bufferisation autour des plans d'eau et cours d'eau.

Le modèle n'incorpore pas de module dynamique de la démographie ou de module économétrique permettant d'offrir des règles de décisions/contrainte basées sur une simulation évolutive de ces paramètres. Aussi, tout le rationnel des simulations repose sur des hypothèses de base qui sont demeurées implicites au cours du processus, notamment l'urbanisation pour laquelle nous avons postulé que des variations positives de la démographie se mettraient en place durant la période de référence 2015-2030, soit 15 années. Le résultat de ces fluctuations positives de la population est une densification des périmètres d'urbanisation (PU) jusqu'à un point de saturation autour duquel des agrandissements sont nécessaires et incontournables pour absorber la construction de nouveaux logements. Le même principe a été appliqué à l'implantation de résidences en zone agricole en vertu d'une urbanisation diffuse. Ce processus est également contraint par des règles d'implantations qui varient selon la logique des scénarios (Annexe A, tableau A.1).

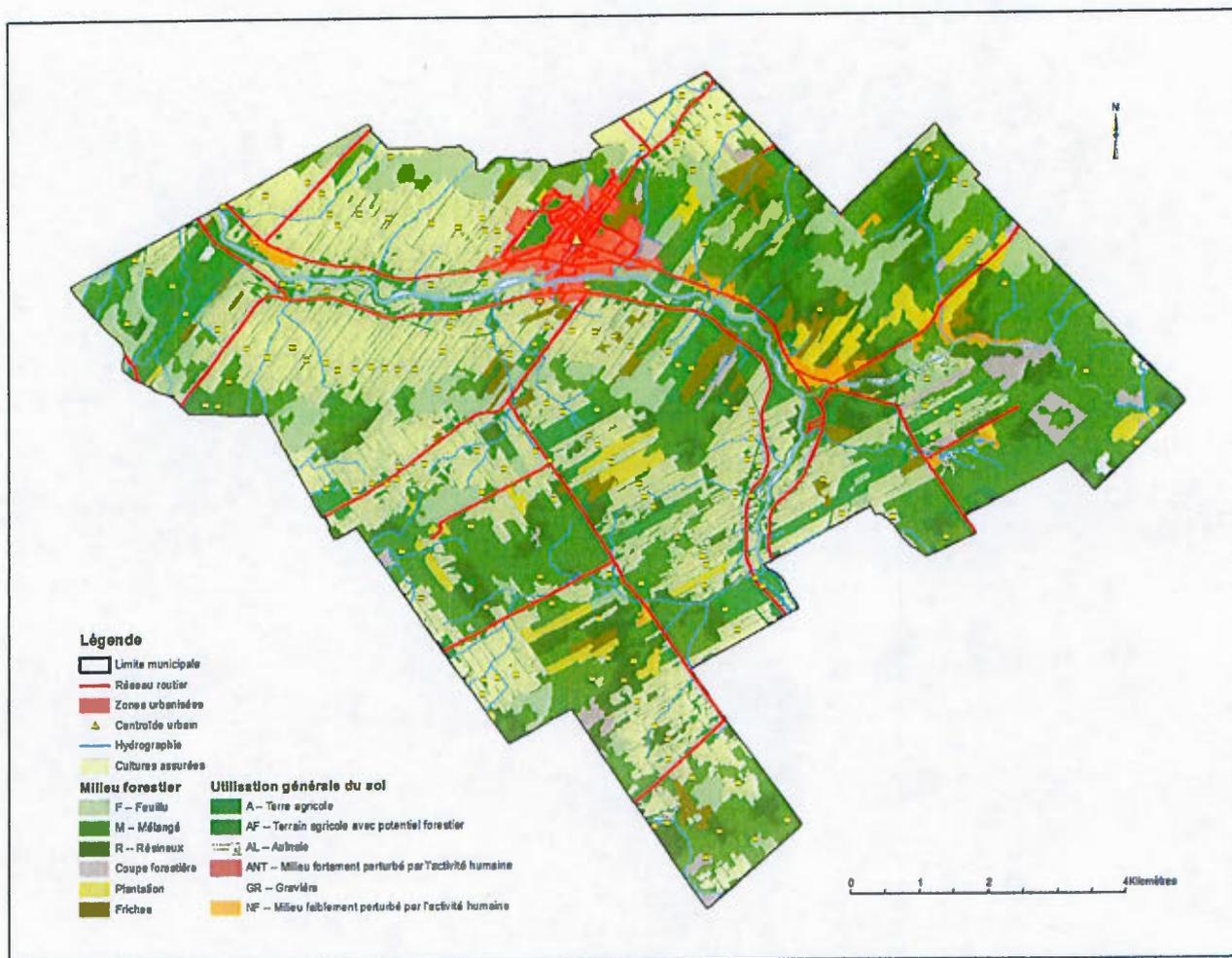
Ce rationnel a également été appliqué aux parterres de coupes, ainsi qu'aux superficies en cultures industrielles, afin de simuler les impacts d'une croissance de l'activité économique associée à l'hypothèse d'un accroissement des besoins en ressources forestières et alimentaires. Pour ce qui est du déboisement à des fins agricoles et de la récupération des friches agricoles aux fins de reboisement, ils ont

également été contraints par des règles de décision particulières que le lecteur pourra consulter à l'annexe A.

Des mesures de protection ont été implantées sur tous les cours d'eau, traduisant une préférence envers la protection des ressources hydriques, différentes en termes d'intensité, selon le groupe d'acteurs. C'est également cette notion de préférences environnementales qui est à la base de la simulation de l'accroissement des superficies en cultures biologiques, reflétant des préoccupations accrues envers une agriculture plus durable.

L'implantation d'infrastructures de commerce et d'infrastructures industrielles à forte valeur ajoutée a été simulée par placement cartographique manuel d'un centroïde. Cette manipulation a été faite en vertu de préférences liées à leur localisation et à la distance centre-ville, et en vertu de contraintes de positionnement particulières selon le scénario retenu. Les simulations des mesures liées à l'autonomisation et celles liées à l'appréciation du degré d'harmonie sociale dans la communauté ont été faites en attribuant une valeur cardinale selon chaque scénario pour le premier de ces deux critères et une classe ordinale pour le second. Ces deux critères permettent de simuler l'importance des enjeux relatifs à la santé des communautés. Les simulations cartographiques nous ont permis d'évaluer les impacts territoriaux des différents scénarios en matière de gains ou de pertes de superficies ou de localisation d'infrastructures. Au cours de cette phase, la performance de chacun des scénarios de planification a été évaluée sur chacun des critères en fonction des indicateurs de mesure. L'ensemble des évaluations est présenté dans la matrice de performance (Tableau 6.2).

Figure 6.4 Modèle du territoire et variables d'état



SIGMA, système d'information géographique ministériel (2013)

Tableau 6.1 Critères et indicateurs de mesure

Groupe de critères	Critères	Indicateurs	Unité	Échelle
Prosperité économique	Vitalité agricole (ViAg)	Superficie culture commerciales	Hectares	Cardinale
	Coupes forestières (Coup)	Superficie forestières exploitables disponibles	Hectares	Cardinale
	Impl. agrotouristique (Lcl2)	Distance d'un marché public au centroïde urbain	Mètres	Ordinale
	Impl. agroindustrielle (Lcl1)	Niveau de dynamisme agricole	Classe d'UEV/km ²	Ordinale
Gestion urbanisation	Urban. concentrique (UrC)	Superficie cultivée perdue	Hectares	Cardinale
	Urban. Diffuse (UrD)	Nombre de résidences en ZA	Entiers	Cardinale
Biodiversité & environnement	Prot. Ressources hydriques 1. (Hy1)	Largeur des bandes riveraines	Mètres	Cardinales
	Cultures biologiques (Cbio)	Superficie cult. biologique	Hectares	Cardinale
Gestion forestière	Déboisement agriculture (Db)	Autorisation de déboisement	Booléen	Nominale
	Récup. des friches (Fri)	Superficie reboisables	Hectares	Cardinale
Santé morale communauté	Harmonie sociale (Str)	Niveau d'harmonie	Classe	Ordinale
	Contri. autonomisation (Emp)	Valeur associée à la contribution à l'autonomisation	Entiers	Cardinale

Figure 6.5 Variables-clefs du macro-environnement de planification

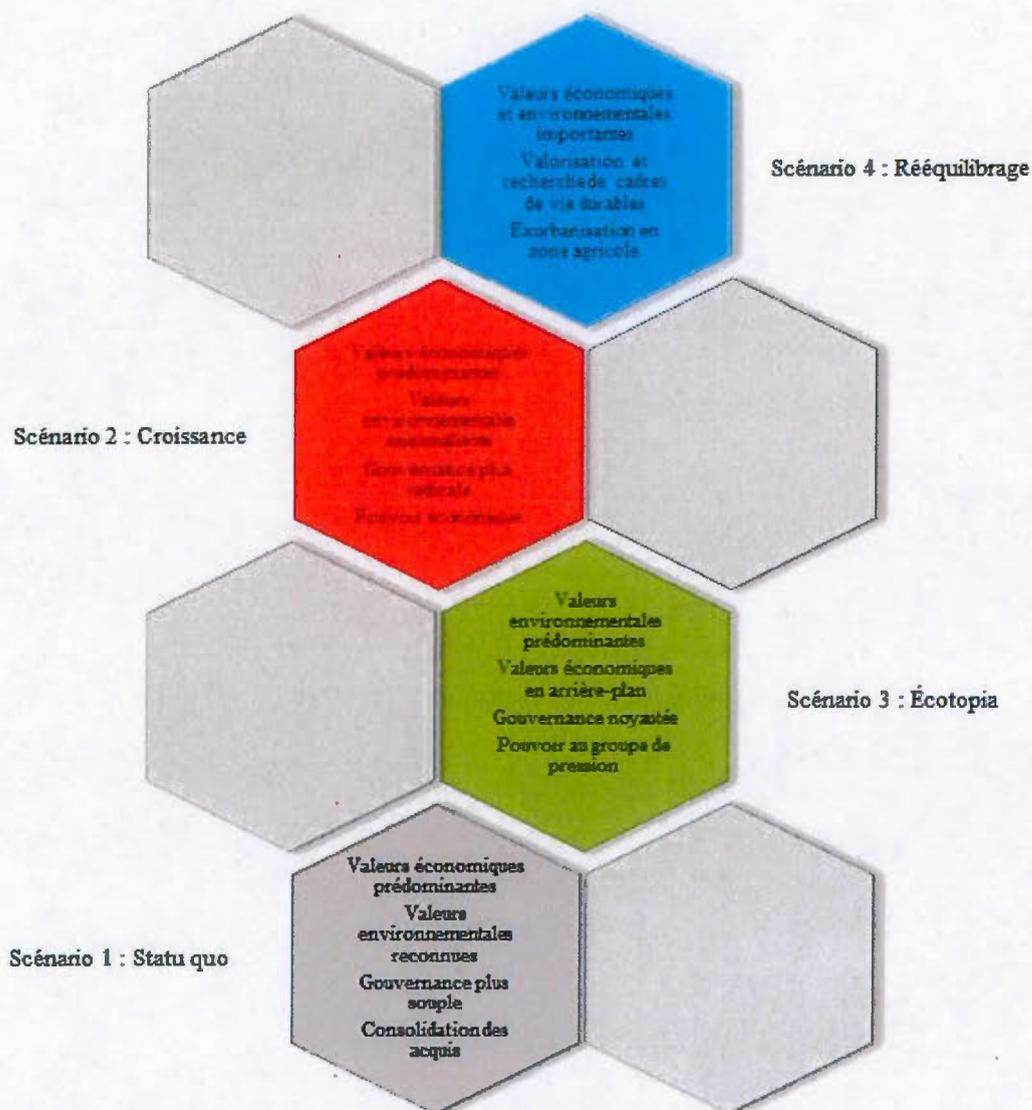
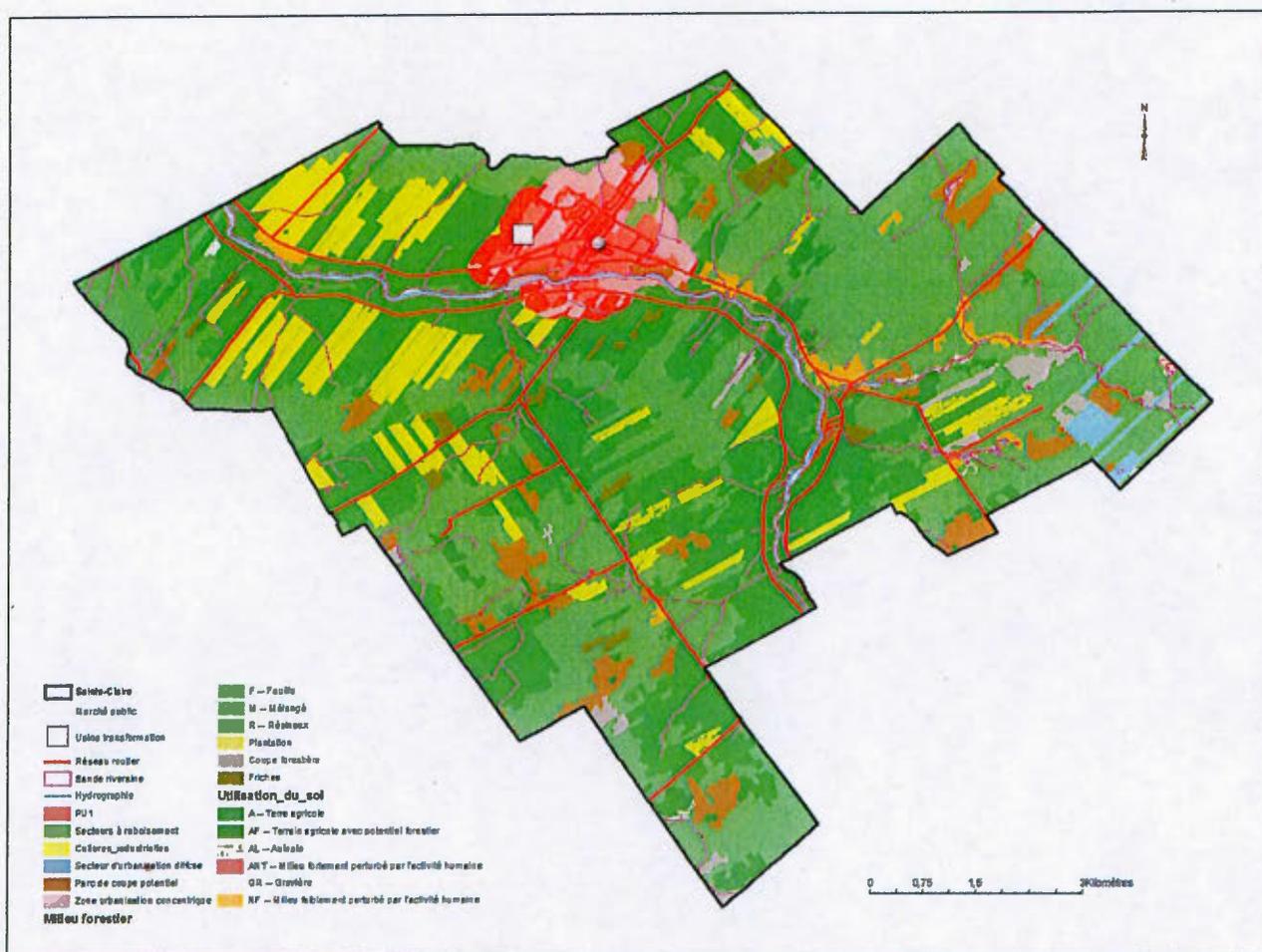


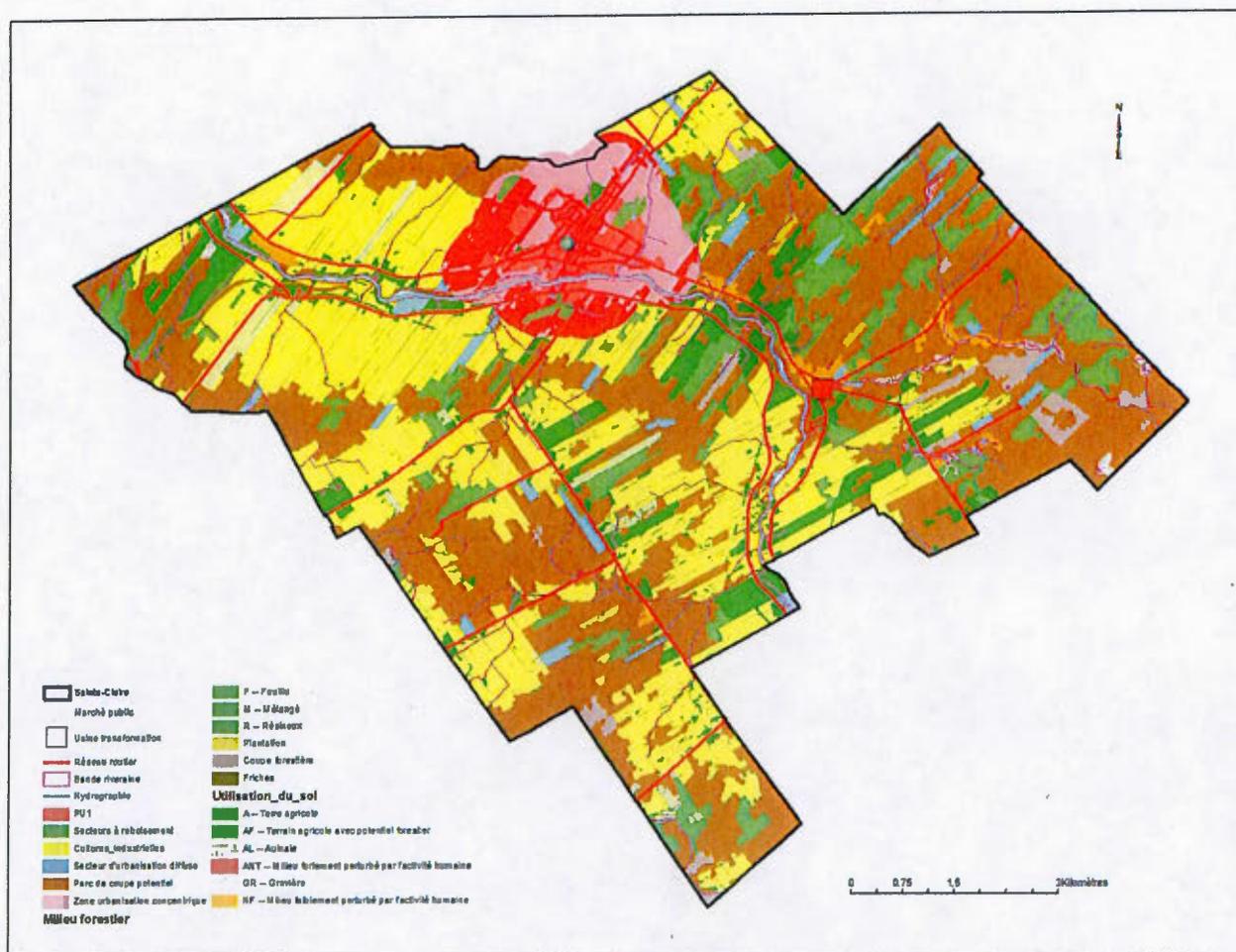
Figure 6.6 Représentation spatiale des scénarios de planification

a) Scénario de base (Statu quo)



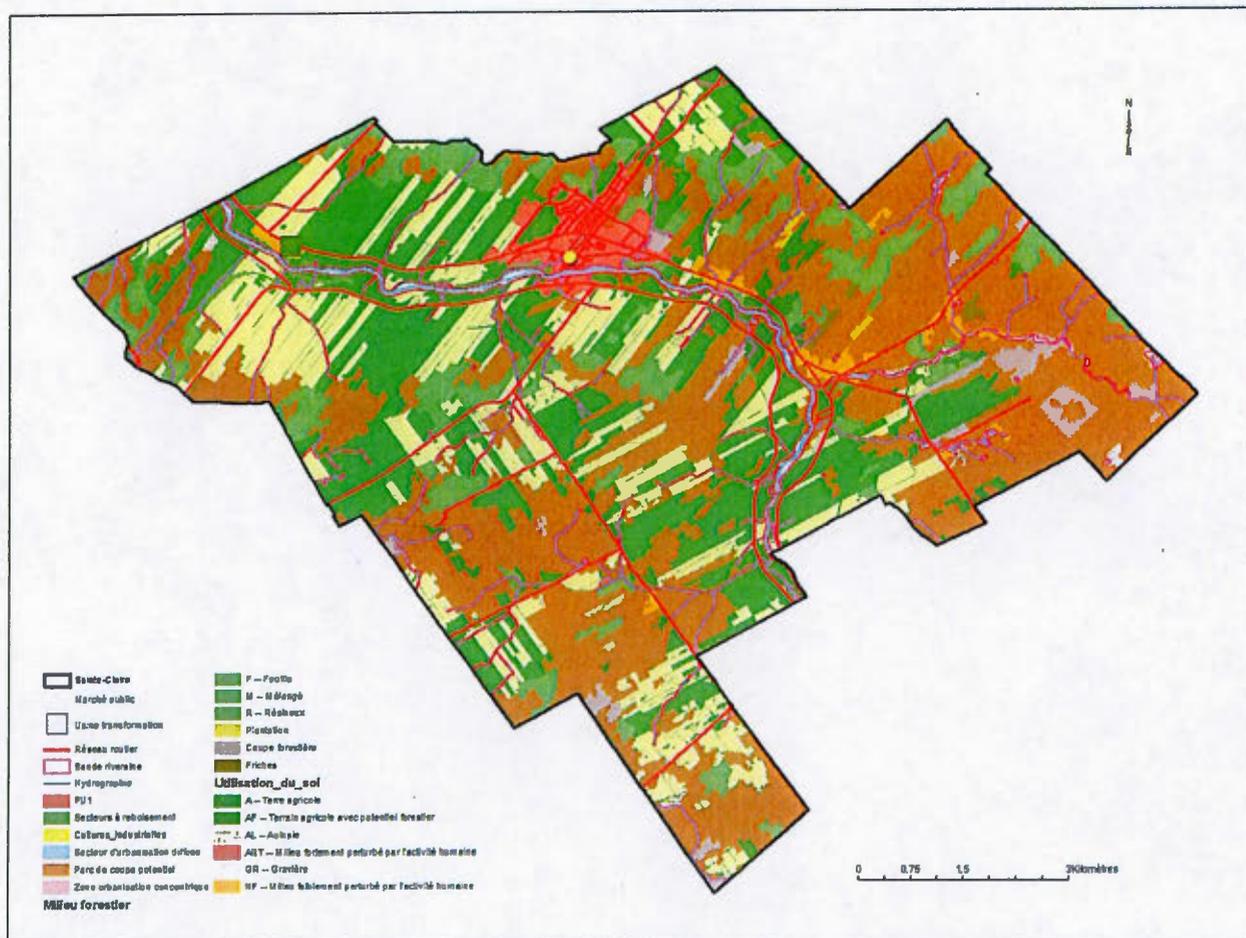
SIGMA, système d'information géographique ministériel (2013)

b) Scénario de croissance (Économique)



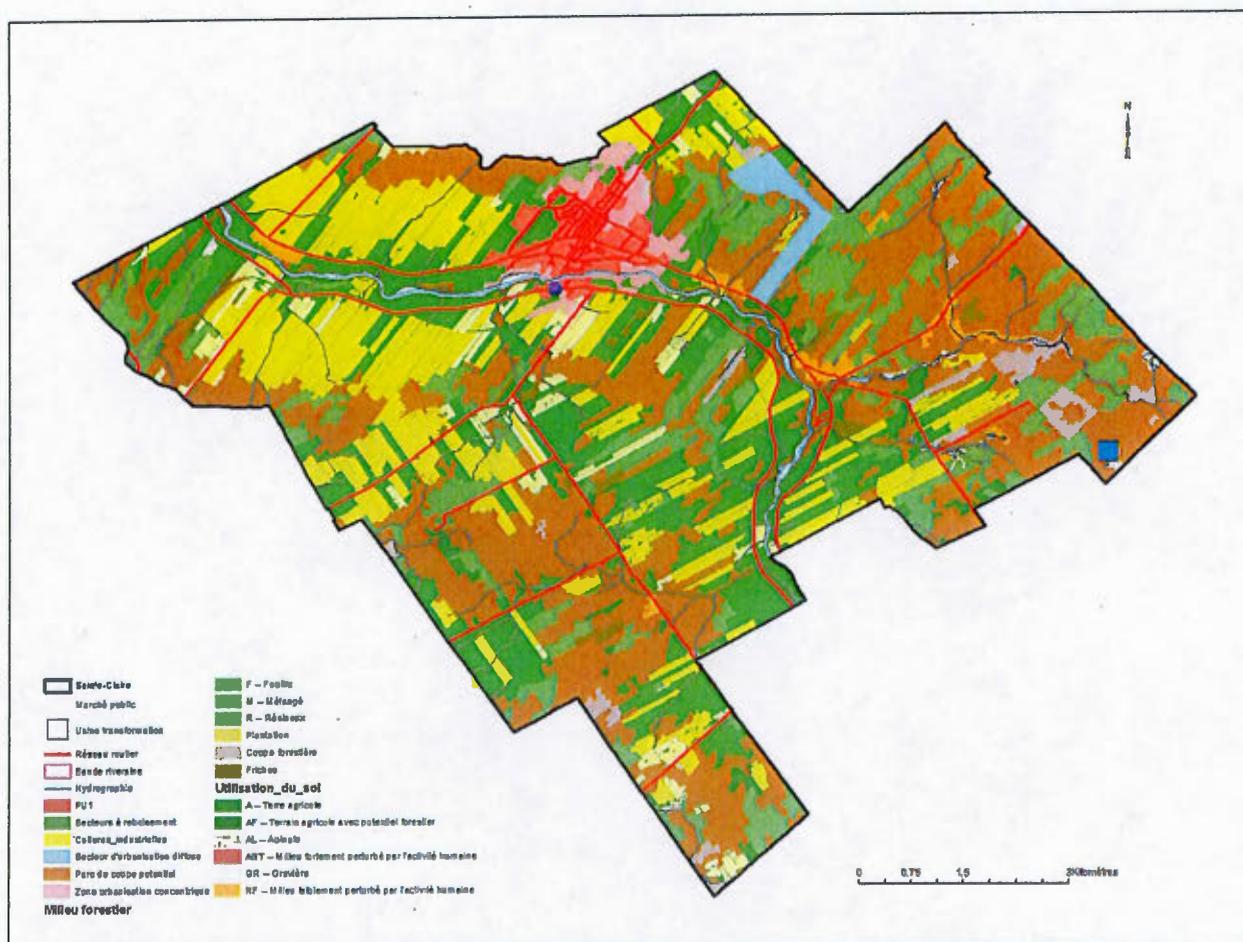
SIGMA, système d'information géographique ministériel (2013)

c) Scénario environnemental (Écotopia)



SIGMA, système d'information géographique ministériel (2013)

d) Scénario d'exurbanisation (Rééquilibrage).



SIGMA, système d'information géographique ministériel (2013)

Tableau 6.2 Évaluation des scénarios. Valeurs réelles obtenues par analyse spatiale

Critères	ViAg	Coup	Lcl1	Lcl2	UrC	UrD	Hy1	Cbio	DbA	Fri	Str	Emp
Scénarios												
Scn1	720	428	1	225	92	8	3	10	1	61	1	1
Scn2	2 883	3 769	2	290	209	43	1	144	1	281	2	2
Scn3	288	1 739	3	500	0	100	5	1 641	0	183	1	4
Scn4	1 441	2 998	0	900	0	190	5	721	0	1	1	2

6.3.3 Analyse multicritère

L'analyse multicritère des scénarios repose sur deux importantes phases de travail qui permettent l'enrichissement du modèle de décision : (1) la pondération des critères et (2) le choix des fonctions de préférence. Les fonctions de préférence (voir section 2.3.2.5) permettent de prendre en compte les seuils de préférence et d'indifférence des acteurs dans l'évaluation des scénarios de planification. Elles permettent de traduire les différences dans les évaluations des scénarios sur chacun des critères par chacun des acteurs en un degré de préférence allant de 0 à 1. Le choix d'un type de fonction de préférence est fait en tenant compte de la nature quantitative ou qualitative des critères. Ce choix requiert habituellement un travail sur le terrain qui implique l'expert et les acteurs. Dans le cadre de notre contribution, cette phase n'a pas été réalisée pour de raison de temps ; nous avons plutôt sélectionné une fonction de préférence de type *V-shape* pour les critères quantitatifs et une fonction de préférence de type *Usual* pour les critères de nature qualitative (Mareschal, 2012). Pour le *V-shape*, un seuil de préférence p est introduit pour chaque critère ; ce seuil a

été fixé par nous et correspond à la différence entre les valeurs minimale et maximale de l'indicateur pour ce critère. Selon ce type de fonction, l'indice de préférence s'échelonne entre 0 et 1. Il n'y a pas de seuil d'indifférence pour ce critère, mais des valeurs de préférences intermédiaires et continues. Pour les critères qualitatifs, la fonction *Usual* a été utilisée. Ce type de fonction est prescrit pour effectuer une évaluation binaire (c.-à-d. oui/non) ou une évaluation selon une classe attribuée selon une échelle ordinale. La préférence entre deux possibilités ou deux classes est déterminée de manière absolue sans valeur intermédiaire c.-à-d. 0 = aucune préférence, 1 préférence absolue. Les fonctions de préférence et les seuils ont été considérés les mêmes pour tous les acteurs.

La définition de coefficients de pondération pour chacun critères permet d'établir l'importance relative des critères pour chacun des acteurs en présence. Il s'agit d'une phase sensible de l'analyse multicritère notamment en raison du fait que la définition du poids constitue une évaluation subjective de l'importance d'un critère dont la valeur est ramenée sur une échelle numérique. Bien que ce paramètre n'a pas toujours de signification claire et qu'il prête à interprétation par définition, son importance est relevée du fait qu'il influence directement les résultats de l'analyse, en fonction de la méthode utilisée (Mareschal, 1988). Il existe diverses méthodologies de détermination des jeux de poids.

L'échange participatif et l'expertise du modélisateur constituent ici les principaux moyens d'évaluation de l'importance relative des critères. Pour les besoins de notre contribution, nous avons assumé que la consultation participative était complétée et avons assigné une pondération à chacun des critères, pour chacun des acteurs, en vertu de notre connaissance de la dynamique sociale et territoriale du milieu agricole et des acteurs en présence. Il s'agissait notamment d'illustrer le

potentiel de l'approche selon des systèmes de valeurs potentiellement contrastés et conflictuels. Le tableau 6.4 illustre, pour chaque groupe d'acteurs, la formulation des jeux de poids respectifs eu égard aux catégories de critères.

Tableau 6.3 Paramètres du modèle décisionnel pour le groupe des propriétaires

Critères	Type	Min/max	Fonction	Préf.	Poids (%)	Unité	Échelle
Vitalité agricole	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	1000	15	Hectares	Cardinale
Coupes forestières	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	500	12	Hectares	Cardinale
Implantation agroindustrielle	Pair	Max	<i>Usual</i>	2	2	Entiers	Ordinale
Implantation agrotouristique	Pair	Min	<i>V-Shape</i>	250	2	Mètres	Cardinale
Urbanisation concentrique	Pair	Min	<i>V-Shape</i>	200	26	Hectares	Cardinale
Urbanisation diffuse	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	150	9	Entiers	Cardinale
Protection ressource hydrique	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	5	15	Mètres	Cardinale
Cultures biologiques	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	700	4	Hectares	Cardinale
Déboisement agricole	Pair	Max	<i>Usual</i>	1	3	Entiers	Nominale
Récupération des friches	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	100	6	Hectares	Cardinale
Harmonie sociale	Pair	Max	<i>Usual</i>	1	3	Entiers	Ordinale
Contribution autonomisation	Pair	Max	<i>V-Shape</i>	4	3	Entiers	Ordinale

6.4 Résultats

Nous avons utilisé le progiciel D-Sight dans un premier temps pour établir la structuration multicritère du problème en établissant d'une part les scénarios, et d'autre part, les critères, leur évaluation (commune pour tous les acteurs), et leurs pondérations en fonction des acteurs. Dans un deuxième temps, nous avons établi des fonctions de préférences, et finalement nous avons réalisé le traitement multicritère des données et la visualisation des résultats. Le tableau 6.3. illustre les différents paramètres utilisés pour la définition du modèle décisionnel. Connaissant les performances des scénarios de planification territoriale sur chacun des critères, les profils des scénarios permettent une analyse de leurs points forts et de leurs points faibles, ainsi que de leurs ressemblances et de leurs différences. Nous avons ensuite agrégé ces informations pour déterminer deux rangements des scénarios du meilleur au moins bon, acceptant ou non, les situations d'incomparabilité. PROMETHEE I permet d'identifier les scénarios incomparables, pour chacun des acteurs. PROMETHEE II fournit le rangement complet des scénarios pour chacun des acteurs selon ses préférences. Finalement, d'un point de vue qualitatif, une analyse visuelle des projections GAIA *acteurs* et GAIA *critères* permet d'apprécier d'une part les coalitions et oppositions d'acteurs, et d'autre part les conflits et les synergies entre les critères ainsi que leur importance relativement à la performance des scénarios sur chacun des critères et pour chacun des groupes d'acteurs. L'analyse GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) correspond à une analyse en composante principale représentée sous forme de plan pour chaque acteur ainsi que pour le groupe afin de représenter l'ensemble du problème en deux dimensions. Ce type d'analyse visuelle de nature qualitative et descriptive facilite la compréhension des résultats en faisant émerger cinq nouvelles observations qui permettent d'enrichir l'analyse :

- la position des alternatives les unes par rapport aux autres ;

- la position relative des critères les uns par rapport aux autres ;
- la position relative des alternatives par rapport aux critères ;
- l'identification de coalitions d'acteurs ;
- un axe de décision permettant d'identifier le meilleur compromis possible.

L'ensemble du processus d'agrégation est résumé dans Martel et Rousseau (1993) et comprend les éléments suivants :

- l'agrégation des performances des différentes options de façon à refléter les préférences individuelles de chacun des acteurs ;
- la synthèse de l'ensemble des préférences des acteurs pour un même secteur de préférences ou groupe de critères ;
- l'agrégation des préférences des différents secteurs de façon à représenter un système de préférences globales à partir duquel des recommandations sont élaborées.

Ces trois formalités sous-entendent de répondre à six questions fondamentales présentées ci-dessous.

- Comment se classe l'ensemble des scénarios pour chacun des groupes d'acteurs ?
- Quels sont les scénarios incomparables pour certains acteurs ?
- Quelles sont les forces et les faiblesses de chacun des scénarios ?
- Quelles sont les actions favorisées par certains scénarios ?
- Quelles sont les actions défavorisées par certains scénarios ?
- Comment se classe, globalement, l'ensemble des scénarios ?

Tableau 6.4 Hiérarchisation des objectifs des scénarios en fonction des jeux de poids des groupes d'acteurs. Pondération en pourcentage de l'importance accordée (Échelle sur 100)

Groupes de critères					
Groupes d'acteurs	GrF	Urb	San	Ecn	Bio
Propriétaires	9	35,4	5,1	30,3	20,2
Forestiers	45	5	5	15	30
Agriculteurs	40	10	5	40	5
Néoruraux	10	5	35	5	45
Environnementalistes	20	10	5	25	40

Le rangement complet de chacun des scénarios pour chacun des groupes d'acteurs a également été calculé en fonction de leurs jeux de poids respectif (Figure 6.6 a, b, c, d, e). Ce résultat établi selon PROMETHEE II permet de déterminer comment se classent l'ensemble des scénarios pour chacun des groupes d'acteurs. Le tableau 6.4 consigne les différents groupes d'acteurs ainsi que leur jeu de poids respectifs.

Les rangements partiels des scénarios selon PROMETHEE I nous ont permis d'évaluer les situations d'incomparabilité pour chacun des acteurs, selon leurs jeux de poids respectifs. PROMETHEE I permet de classer les actions (a, b... n) par flux négatifs φ^- et positifs φ^+ tels que :

$$1) a P b \Leftrightarrow \varphi^+(a) \geq \varphi^+(b) \text{ et } \varphi^-(a) \leq \varphi^-(b)$$

$$2) a I b \Leftrightarrow \varphi^+(a) = \varphi^+(b) \text{ et } \varphi^-(a) = \varphi^-(b)$$

3) sinon $a R b$ (incomparabilités)

Le croisement de deux ou plusieurs axes nous signale que deux ou plusieurs scénarios sont incomparables. La figure 6.7 illustre une situation semblable au sein de trois groupes d'acteurs, soit les forestiers, les néoruraux et les propriétaires. Pour le premier groupe, l'option *Croissance* est incomparable avec l'option *Écotopia*. Pour le groupe des néoruraux le scénario de *Croissance* et le scénario *Rééquilibrage* sont incomparables ; enfin, chez les propriétaires, le scénario *Rééquilibrage* et le scénario *Écotopia* ne sont pas comparables et quasi indifférents.

Nous avons également procédé à l'analyse GAIA pour chacun des cinq groupes d'acteurs. La figure 6.8 permet de visualiser chacun des plans. La matrice des évaluations est partagée par tous les acteurs. Chaque acteur a par contre son jeu de poids témoignant de l'importance relative des critères selon ses priorités. Dans notre cas, les fonctions de préférence sont les mêmes pour tous les acteurs, mais chaque acteur a ses propres seuils de préférence correspondant à sa valorisation des différences entre les évaluations de chaque critère. Au sein de ce plan, la caractéristique la plus importante est l'axe de décision. Selon Brans et Mareschal (2005) :

- plus l'axe de décision est long, plus son pouvoir discriminant sur l'ensemble des scénarios est important ; le choix d'une bonne solution doit alors être fait dans la direction générale de l'axe ;
- plus l'axe de décision est court, moins son pouvoir discriminant sur l'ensemble des alternatives est important ; le choix d'une bonne solution est alors plus difficile, puisque les critères sont fortement conflictuels, suivant leur poids relatif.

La figure 6.9 illustre le rangement complet des scénarios selon PROMETHEE II tel que $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$ soit le bilan net total entre les flux de surclassement positif $\phi^+(a)$ et négatif $\phi^-(a)$ de chacun des scénarios sur l'ensemble des critères. Les flux positifs expriment la force ou la dominance d'un scénario sur tous les autres alors que les flux négatifs permettent d'exprimer l'intensité avec laquelle un scénario est dominé par les autres. Le calcul est basé sur une définition simple et claire de l'information sur les préférences des acteurs et ce, par le biais des fonctions de préférence (information intracritère) et de la pondération des critères (information intercritère). Aucun des groupes d'acteurs ne se distingue par son poids relatif au sein de l'ensemble du groupe d'intervenants. Chacun des cinq groupes d'acteurs reçoit ainsi un poids équivalent à 20 % du total des poids pour l'ensemble des intervenants. Un plan GAIA a également été produit pour l'ensemble groupe afin d'évaluer globalement quel scénario pourrait constituer le meilleur compromis (Figure 6.10).

6.5 Discussion

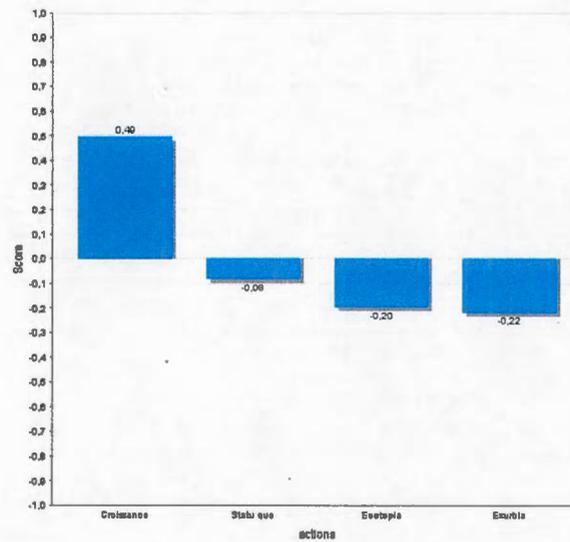
Selon PROMETHEE I, le croisement de deux ou plusieurs axes nous signale que deux ou plusieurs scénarios sont incomparables selon la structure de préférence d'un acteur. La figure 6.7 fait état de telles situations pour trois groupes d'acteurs, soient les forestiers, les néoruraux et les propriétaires quoique pour ces derniers, comme nous l'avons dit plus haut, il s'agit d'une situation indiquant une quasi-indifférence entre les scénarios concernés (*Écotopia* et *Rééquilibrage*).

Pour le groupe des forestiers, nous observons que le scénario axé sur la *croissance* est incomparable avec le scénario *écotopia* à tendance plus environnementale bien que les deux scénarios se classent bien. En effet, la figure 6.11 illustre que les forces du scénario *croissance* sont pour la plupart les faiblesses du scénario *écotopia* et inversement. De plus, le rangement complet PROMETHEE II

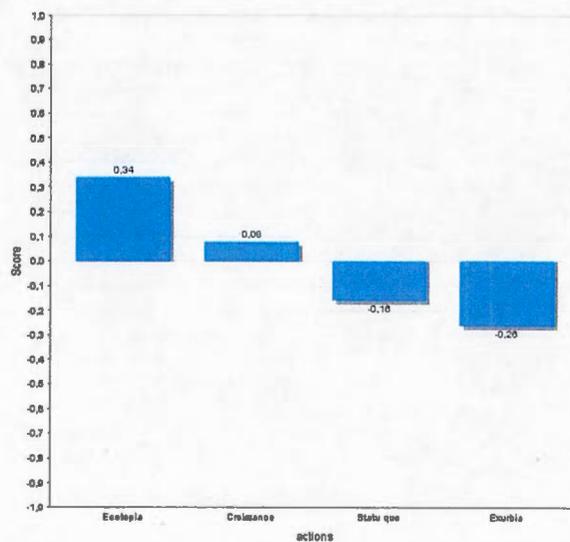
confirme aussi une légère domination du scénario axé sur la croissance par rapport à celui axé sur l'environnement (Figure 6.6c).

Chez ce groupe d'acteur, les options incomparables sont performantes pour certains groupes de critères alors que les autres ne le sont pas et *vice-versa*. La figure 6.11 permet ainsi de constater que les critères liés à la prospérité économique performant beaucoup mieux chez ce groupe dans le scénario de croissance que dans le scénario environnemental alors que les critères liés à la protection de la biodiversité et ceux liés à la gestion de l'urbanisation performant mieux dans le scénario environnemental. Cette situation peut être interprétée chez ce groupe comme une volonté de protéger les ressources environnementales et la biodiversité, mais pas à n'importe quel coût économique.

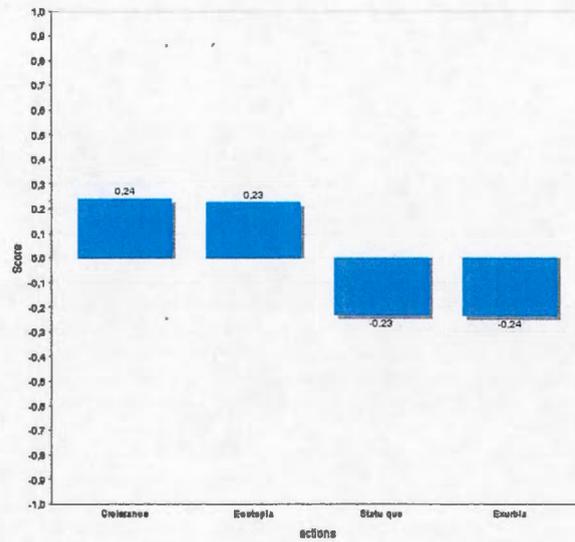
Figure 6.7 Performances individuelles des scénarios de planification par groupe d'acteurs selon PROMETHEE II : rangement complet



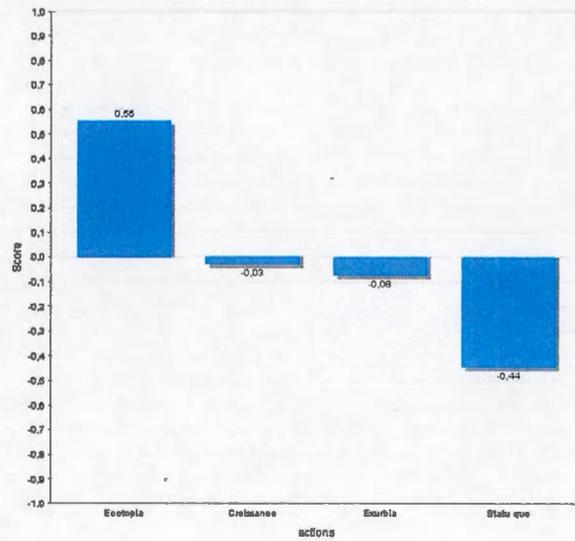
a) Agriculteurs



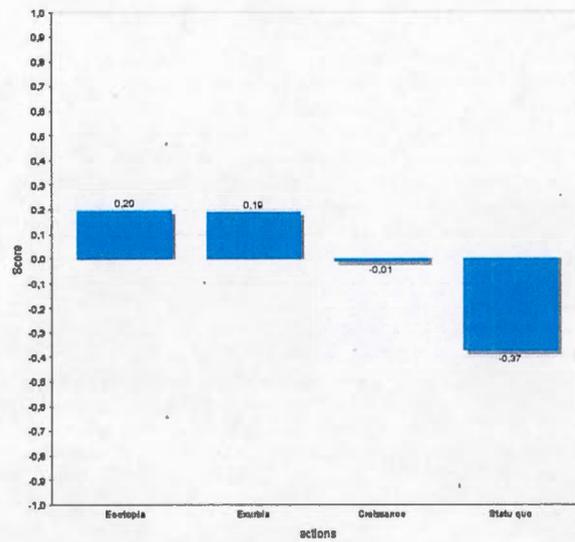
b) Environnementalistes



c) Forestiers



d) Néoruraux



e) Propriétaires

Figure 6.8 Performances individuelles des scénarios de planification par groupe d'acteurs selon PROMETHEE I : analyse des incomparabilités

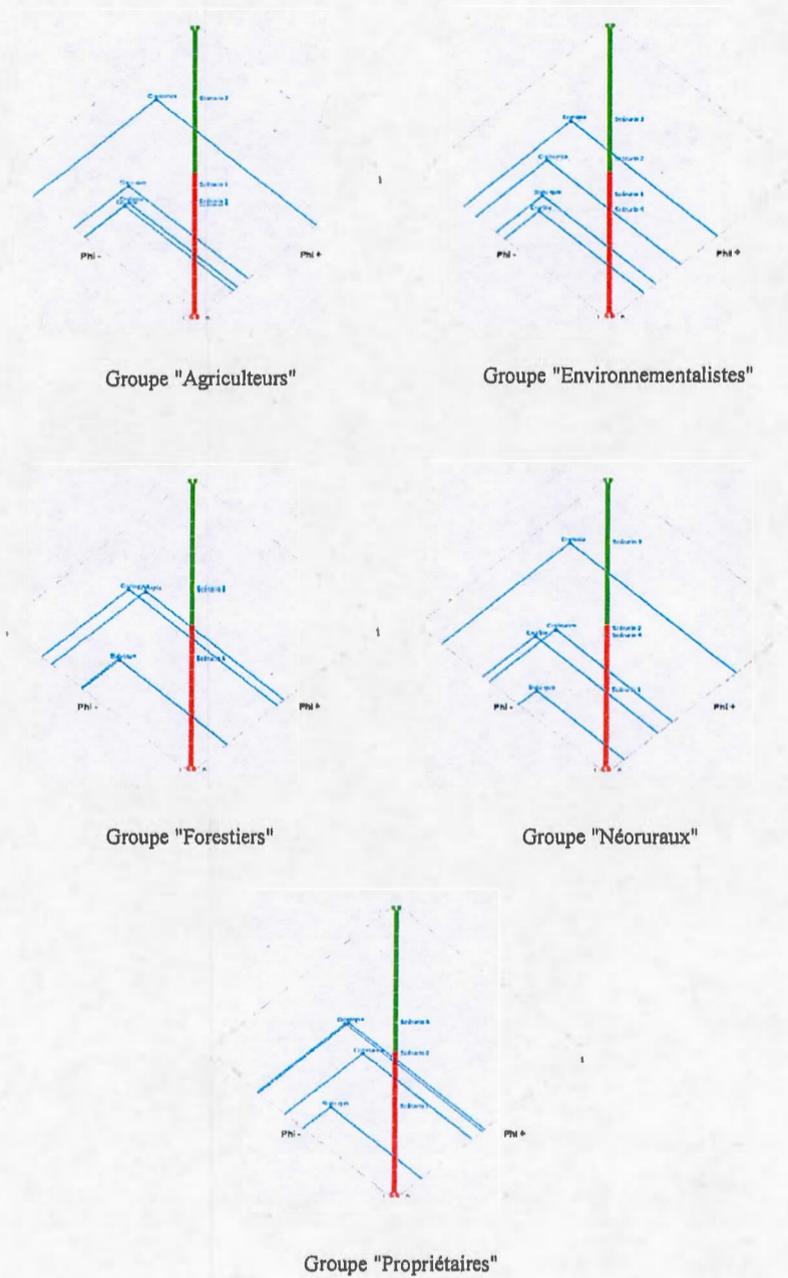
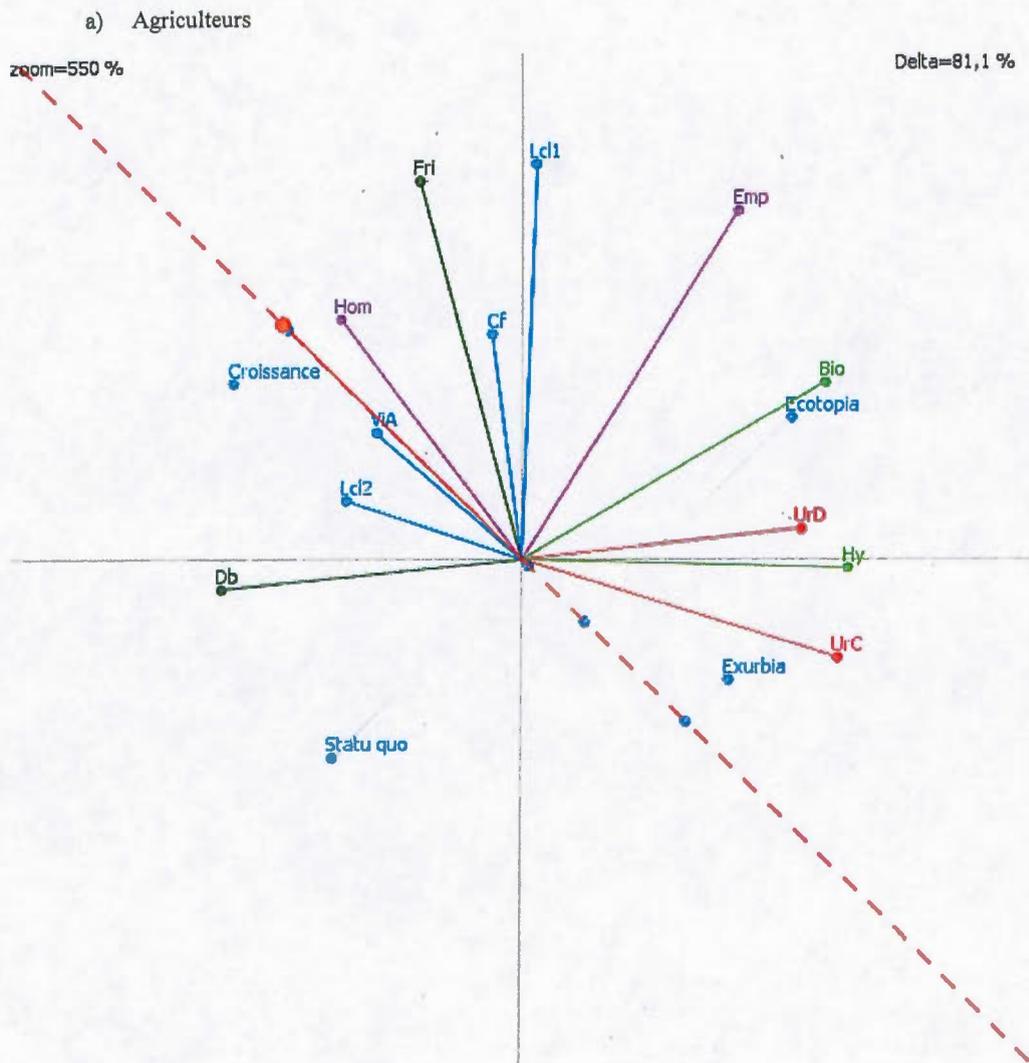
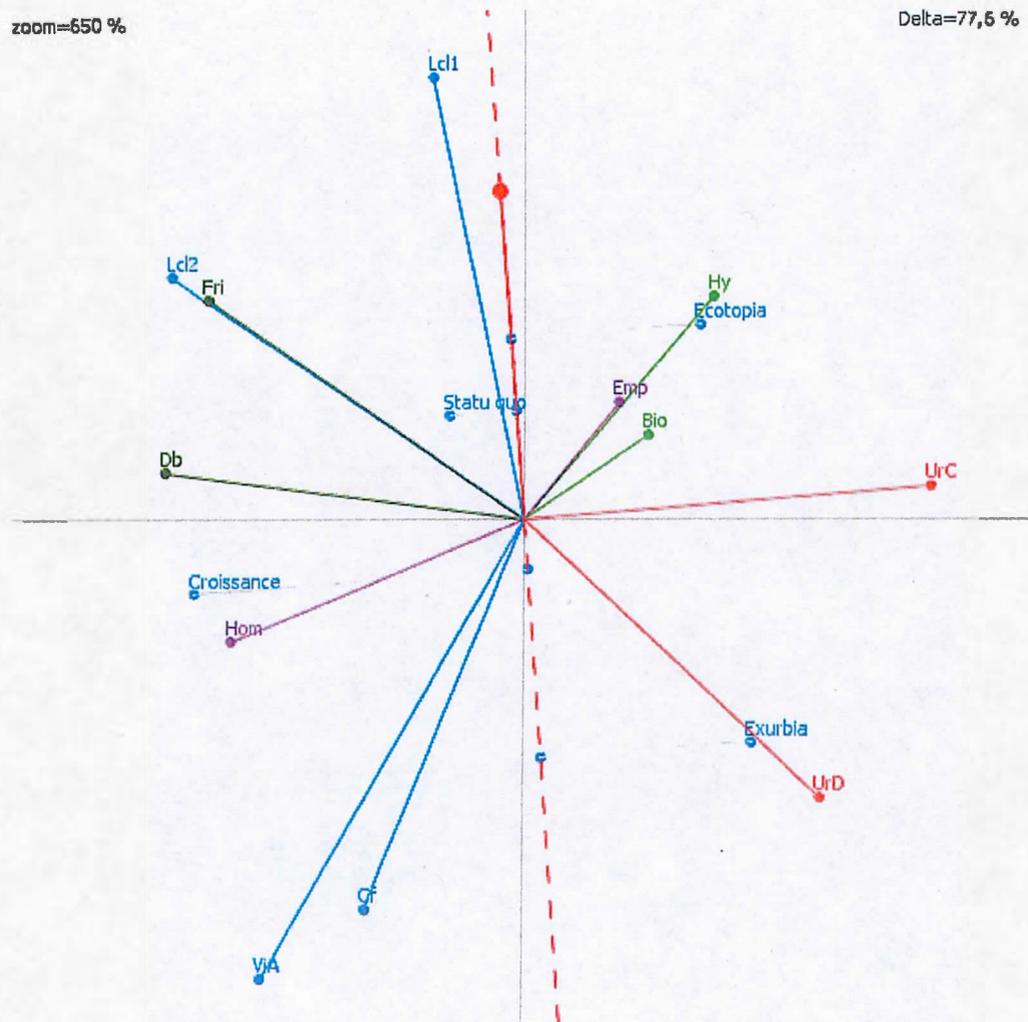


Figure 6.9 Plan GAIA/critères par groupe d'acteurs



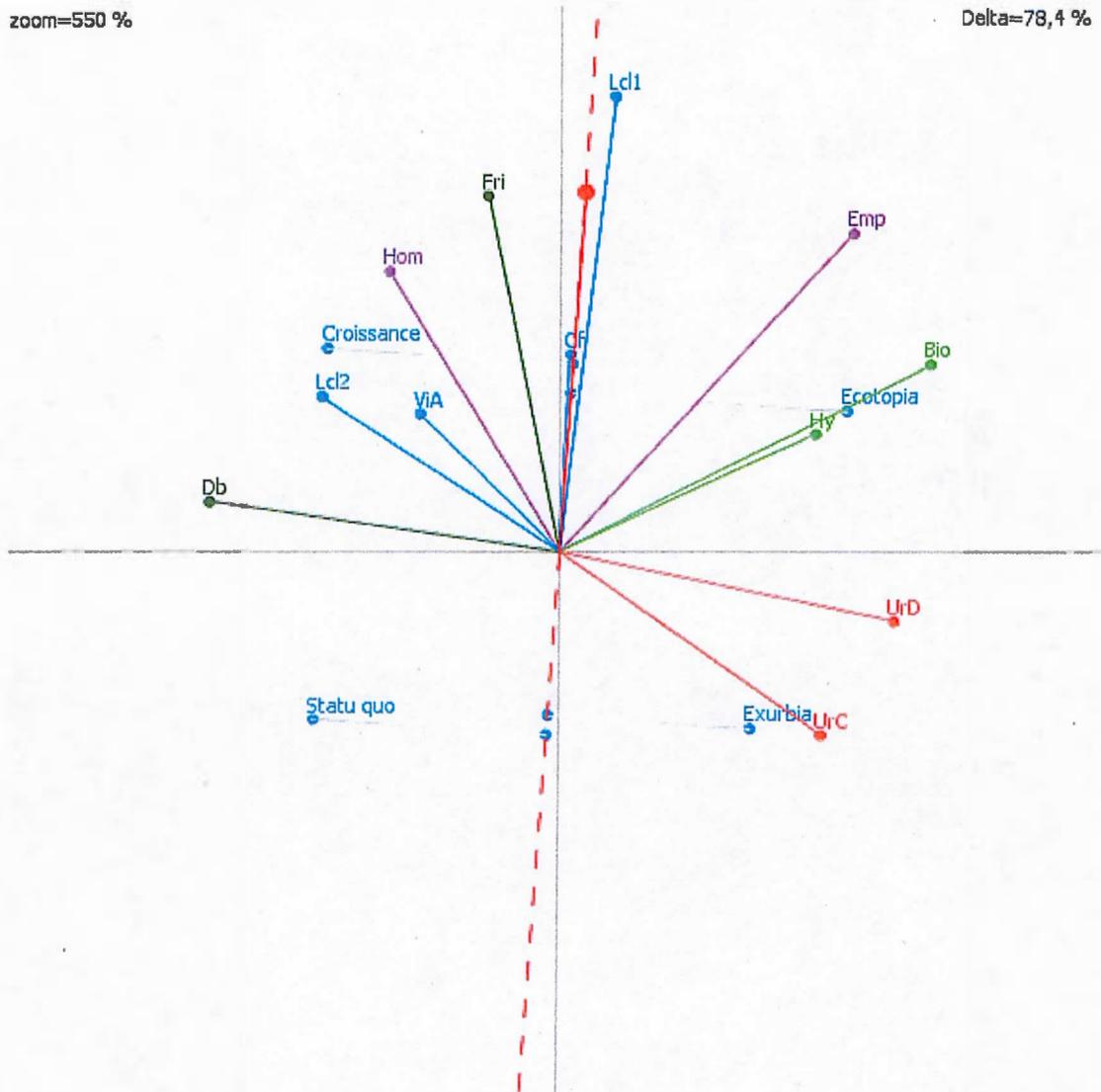
b) Environnementalistes



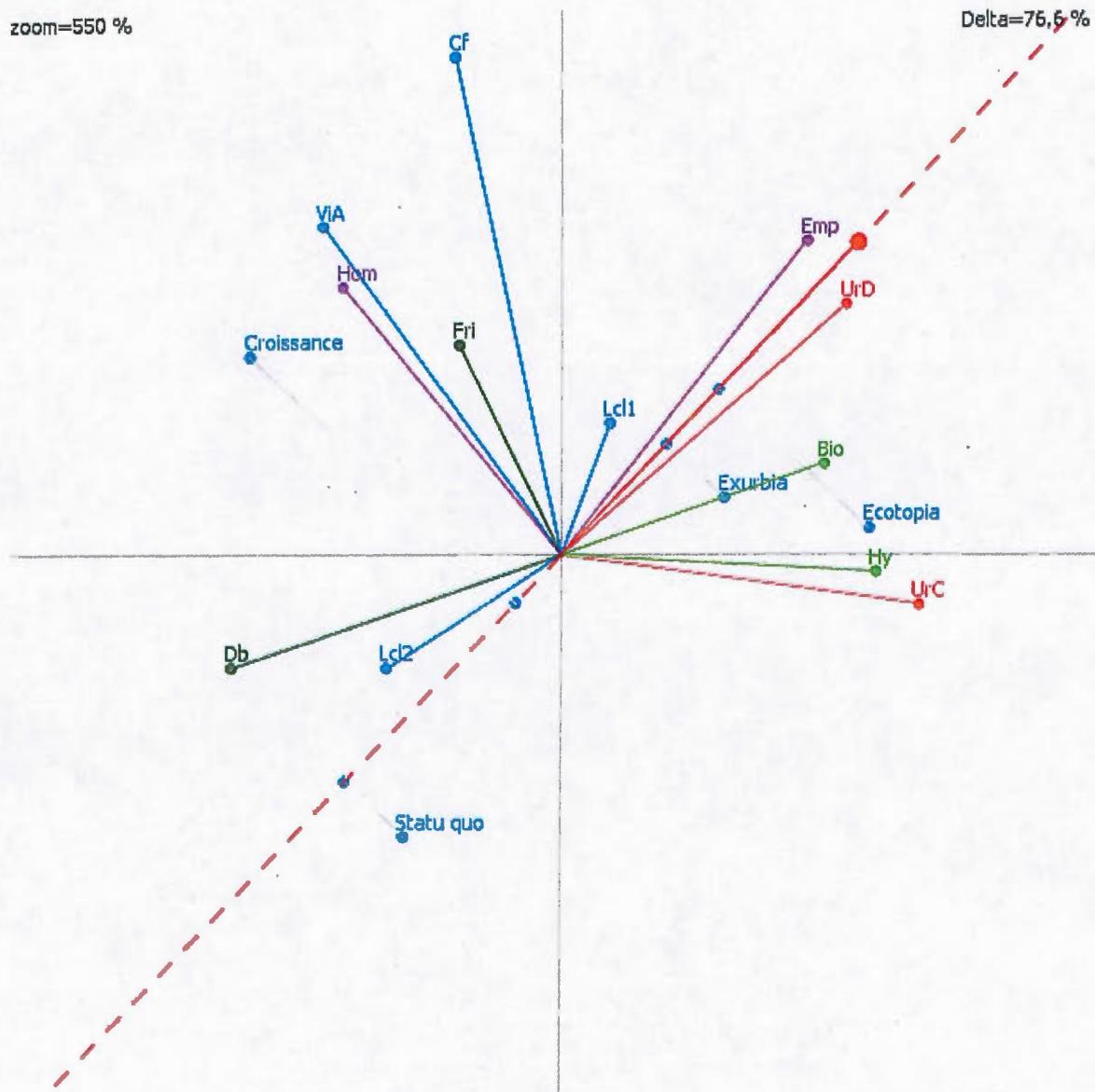
c) Forestiers

zoom=550 %

Delta=78,4 %



d) Néoruraux



e) Propriétaires

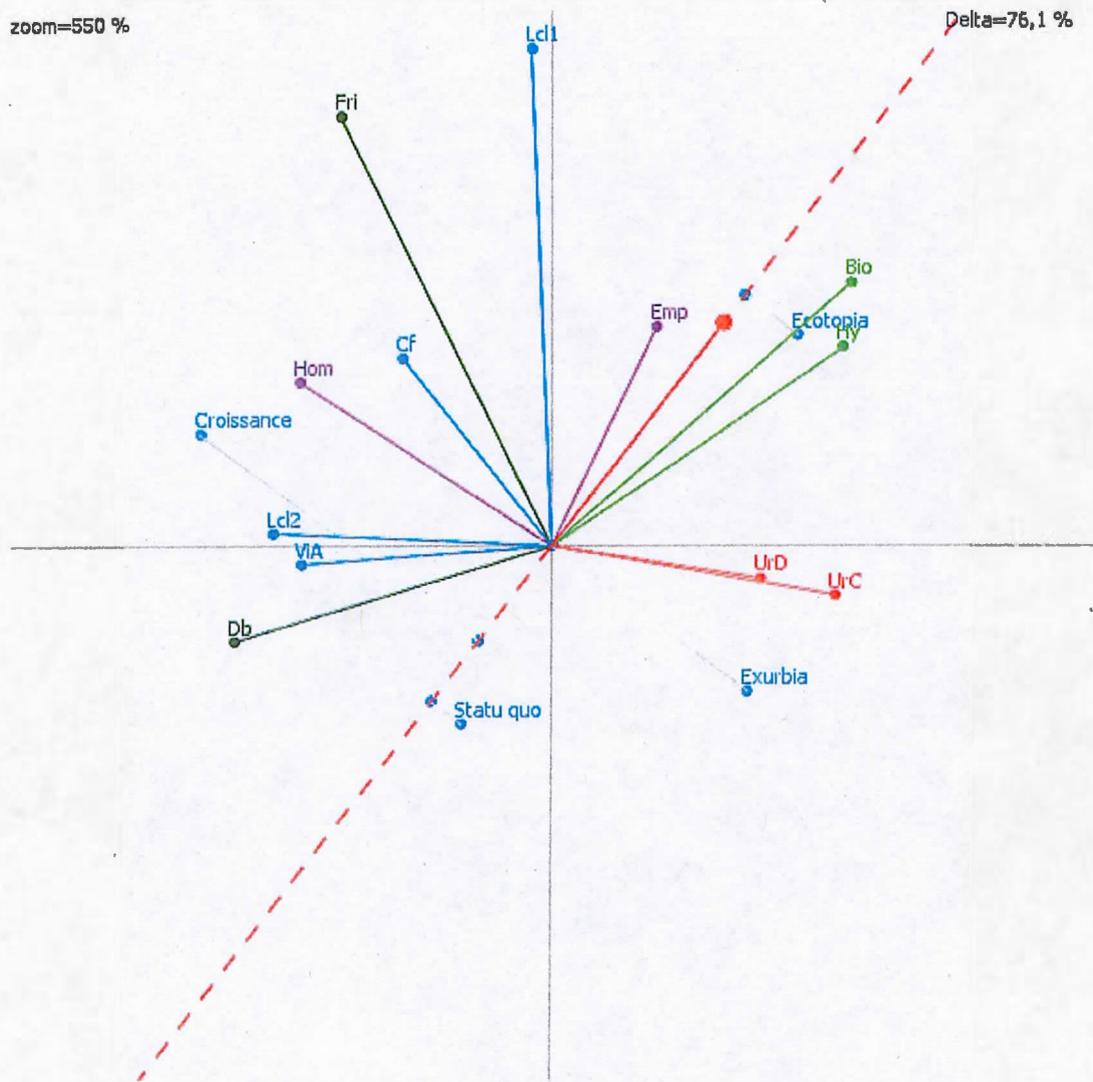


Figure 6.10 Performances globales des scénarios de planification pour tous les acteurs selon PROMETHEE II : rangement complet

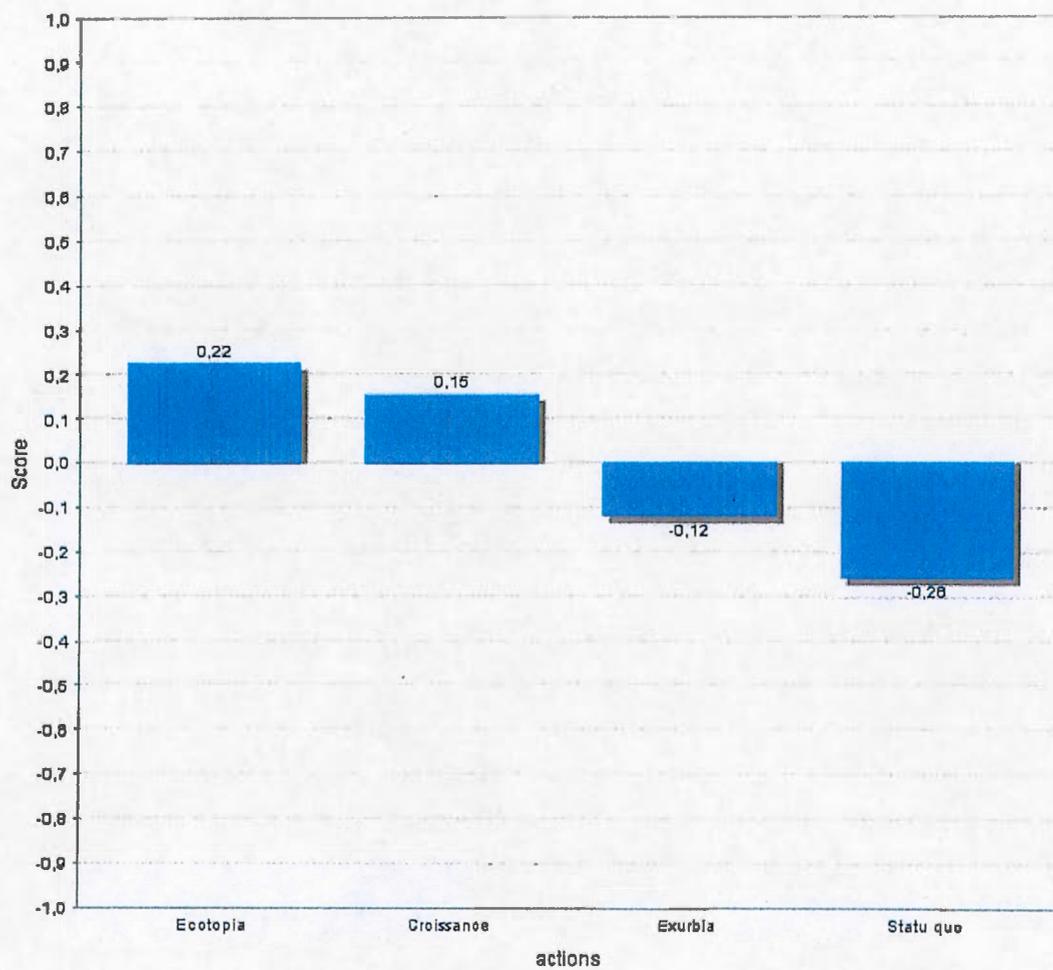


Figure 6.11 Plan GALIA/acteurs

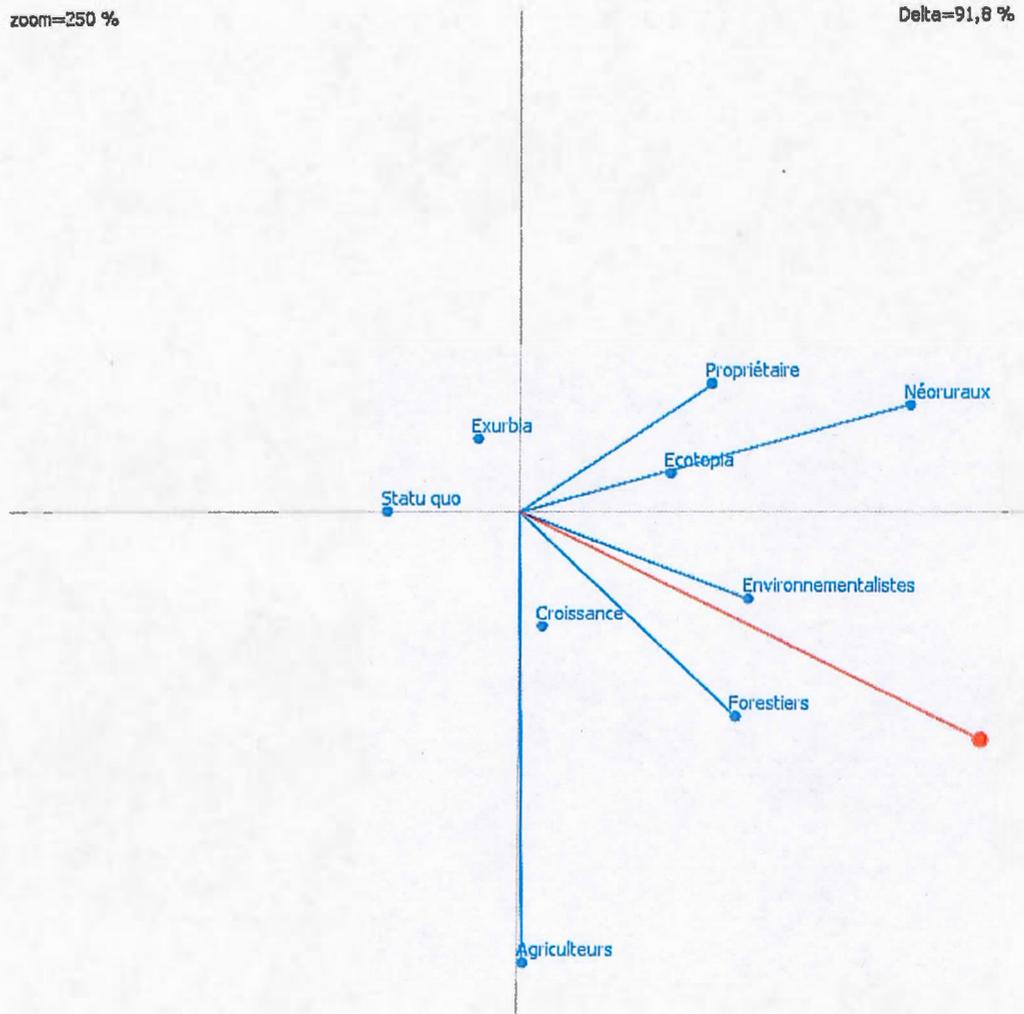
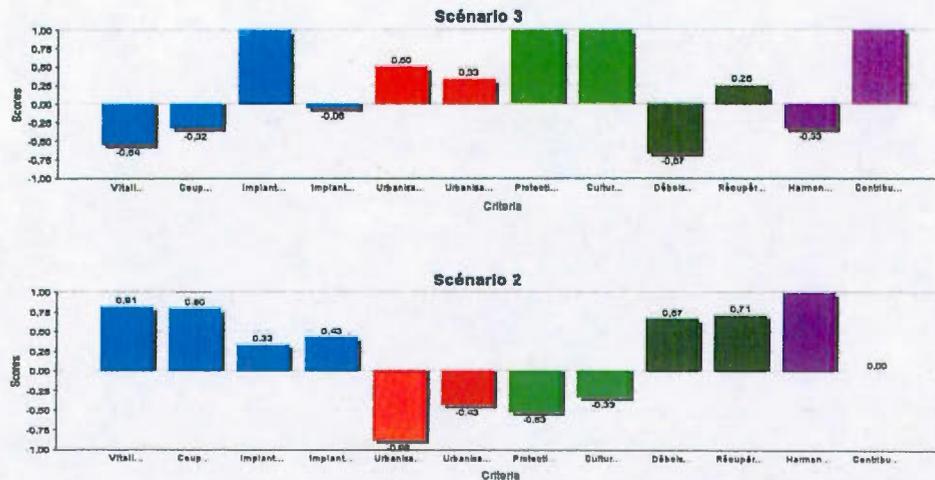


Figure 6.12 Profil des forces et des faiblesses des scénarios 2 (Croissance) et 3 (Écotopia) pour les acteurs forestiers



En observant le classement complet des scénarios chez ce groupe d'acteurs (Figure 6.6c), nous constatons d'ailleurs que les deux options sont pratiquement indifférenciées et les plus fortes en matière de préférence globale. Cela pourrait signifier que l'un ou l'autre des deux scénarios serait viable chez ce groupe avec le risque toutefois de causer d'importantes tensions entre les membres de ce groupe d'acteurs si un enjeu prenait le pas sur un autre. Par ailleurs, contrairement au groupe des agriculteurs, la gestion de l'urbanisation est un enjeu moins sensible en matière de performance dans l'option préférentielle pour ce groupe. La figure 6.8c permet de constater le positionnement orthogonal de ces critères par rapport à l'axe décisionnel. Cela signifie que si l'un ou l'autre des scénarios environnemental ou équilibré était globalement préféré à l'échelle de l'ensemble du groupe des acteurs, cet enjeu de la gestion urbaine ne constituerait pas un facteur de mobilisation important pour le groupe des forestiers.

La situation des néoruraux est particulière et intéressante alors que ce sont plutôt les options *Rééquilibrage* et *Croissance* se classant respectivement 2^{ème} et 3^{ème} (assez proches) qui sont incomparables, l'option économique dominant légèrement l'option de rupture. En effet, pour ce groupe d'acteurs, ce sont les critères liés aux enjeux économiques de la planification du territoire qui demeurent les plus attractifs dans l'option de *Croissance* que dans l'option *Rééquilibrage* alors que les critères environnementaux performant mieux dans le scénario de *Rééquilibrage* (Exurbanisation) que dans le scénario de *Croissance* (Économique); aussi, nous y voyons là une incomparabilité importante. À l'inverse, les modalités de la gestion de l'urbanisation et principalement l'urbanisation concentrique dans les secteurs boisés apparaissent beaucoup plus attractives pour ce groupe dans le scénario *Rééquilibrage* que dans le scénario *Croissance*. En effet, pour ces acteurs, la perte de superficies agricoles au profit de l'agrandissement des superficies de fonction résidentielle et, plus globalement l'étalement urbain, que l'on observe dans le scénario *Croissance*, constitue un compromis inacceptable.

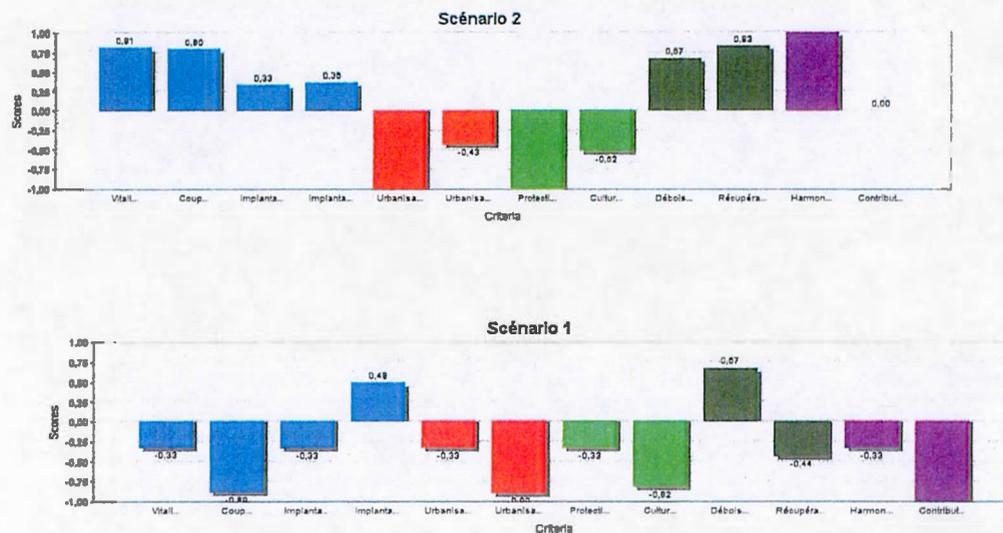
Par ailleurs, chez ce groupe, ce sont plutôt les actions liées à la gestion des ressources forestières du scénario environnemental par rapport au scénario de rupture et qui déclenchent une préférence marquée pour *Écotopia*. Cependant, les deux scénarios incomparables sont très peu différenciés selon le rangement complet des scénarios pour cet acteur. La figure 6.6d illustre la faible préférence du scénario économique sur celui d'*Exurbanisation* de telle sorte que ce résultat ne saurait être particulièrement décisif puisque ces deux scénarios sont très largement dominés en matière de flux globaux par *Écotopia* ce qui n'est pas le cas pour le groupe des forestiers où les deux scénarios incomparables sont ceux qui performant le mieux pour eux.

Chez les agriculteurs, sans surprise c'est le scénario *Croissance* qui se différencie le plus en matière de préférence (Figure 6.6a) ; du même coup, il est possible d'observer pour ce groupe d'acteurs un rejet du *Statu quo*, ainsi qu'une forte domination des scénarios environnemental (*Écotopia*) et de rupture (*Rééquilibrage*). Le scénario environnemental et le scénario de rupture sont quasi indifférents entre eux et totalement rejetés, de sorte que si, à l'échelle de l'ensemble des acteurs, l'un ou l'autre de ces scénarios était globalement préféré, le groupe des agriculteurs serait soumis à des tensions internes relevant du même coup le potentiel d'occurrence de conflits intragroupe. Il est à noter que le plan GAIA/Acteurs illustre que cette source de conflit peut apparaître pour le scénario *Écotopia* qui est notamment préféré par les acteurs néoruraux et les propriétaires (Figure 6.10). Par ailleurs, le fait que le *statu quo* se positionne derrière le scénario de croissance illustre un désir chez ce groupe de préserver les acquis de cette situation du *statu quo*, notamment en matière de relâchement de la protection des ressources hydriques, dont l'indicateur, au sein de ce scénario, est beaucoup moins contraignant que celui des scénarios *Écotopia* et *Rééquilibrage* en matière de largeur de bande riveraine. Cependant, les groupes de critères associés à l'économie et au social performant moins bien pour le scénario *Statu quo* que pour le scénario préféré de *Croissance*. Par contre, il en est autrement en ce qui a trait à la gestion de l'urbanisation concentrique qui obtient une moins mauvaise performance dans le *Statu quo* que celle du scénario *Croissance* (Figure 6.12 et annexe A). Globalement pour ce groupe, l'alternative de croissance domine en regard de ses performances sur les enjeux économiques (vitalité agricole, coupe forestière, localisation du marché public et localisation agroindustrielle), les enjeux de gestion des ressources forestières (déboisement à des fins agricoles, récupération des friches) et sur les enjeux sociaux notamment en regard de l'homogénéité de la population. De l'autre côté du plan GAIA/critères, les enjeux environnementaux

(protection des ressources hydriques, cultures biologiques) et les enjeux de la gestion de l'urbanisation sont tous deux en position orthogonale ou opposée par rapport à l'axe décisionnel.

Le groupe d'acteurs des *propriétaires* possède une prérogative décisionnelle plus élargie que tous les autres groupes d'acteurs réunis. Il est dépositaire du corpus légal qui balise la gestion du territoire ainsi que du capital foncier. À cet égard, ce groupe intègre les préoccupations directes des instances de gouvernances municipale et régionale en termes d'enjeux de planification, lesquelles sont toutefois opposables face au législateur, dans ce cas-ci le gouvernement et ses différents ministères, responsables des orientations d'aménagement et de planification territoriale. Ce groupe joue ainsi trois rôles, soit ceux de décideur, d'acteur et d'intervenant.

Figure 6.13 Profils des forces et des faiblesses des scénarios 2 (Croissance) et 1 (Statu Quo) pour les acteurs agriculteurs



Le classement PROMETHEE II pour cet acteur laisse voir une faible incomparabilité entre les scénarios *Écotopia* et *Rééquilibrage*. Ces deux scénarios dominent par ailleurs, en ce qui concerne les préférences globales, celui de *Croissance* ainsi que le *Statu quo*. Il est possible d'expliquer cette particularité par la complexité du rôle des propriétaires dans la prise de décision. En effet, étant tenus de répondre aux valeurs sociétales relatives à la protection des ressources naturelles et de l'environnement physique et tout à la fois de celles des élus municipaux en matière d'urbanisation et de croissance économique, les propriétaires doivent consentir à un choix difficile. La figure 6.8e permet ainsi d'établir que les critères liés aux enjeux environnementaux — cultures biologiques, protection des ressources hydriques, contribution à l'autonomisation — performant bien dans le scénario environnemental pour ce groupe d'acteurs. Dans le cas de l'option de rupture toutefois, ces préoccupations sont moins « populaires » si on considère leur positionnement orthogonal comparativement à l'axe de projection de ce scénario. Par contre, les enjeux de gestion de l'urbanisation sont mieux appréhendés dans l'alternative *Rééquilibrage* pour ce groupe, toujours en fonction du positionnement des critères reliés à cet enjeu par rapport à l'axe de projection de ce scénario. Ceci explique l'incomparabilité des deux options.

Souvent associé à un cumul d'impacts environnementaux négatifs, le scénario de *Croissance* est dominé par *Écotopia* et *Rééquilibrage* pour ce groupe. Pour ce groupe d'acteurs comme pour tous les autres excepté les néoruraux, l'urbanisation, surtout celle de type diffus au sein des terres agricoles n'est pas bien perçue ; elle est souvent considérée comme un empiètement de la fonction résidentielle dans le macrocosme agricole, même si cet enjeu est mieux reçu par les néoruraux. Sur ce point cependant, la réalité nous enseigne que le législateur et la régulation qu'il impose par le biais de ses orientations d'aménagement sur les intentions

d'urbanisation manifestées par les instances de gouvernances locales et régionales sont fréquemment opposées. Cette donnée doit donc être interprétée avec discernement.

La figure 6.10 illustre le rangement complet des alternatives selon PROMETHEE II et révèle le classement de chacun des scénarios pour l'ensemble des acteurs, en considérant que chacun des acteurs est représenté de manière équivalente en matière de pondération. À l'analyse, le scénario *Écotopia*, à forte connotation environnementale constitue le scénario le mieux reçu au sein de tout le groupe, surclassant de loin les scénarios portant de *Croissance* et d'*Exurbanisation*. À l'opposé, le *Statu quo* ne constitue pas une alternative viable pour l'ensemble du groupe : sa situation à l'autre bout du spectre témoigne de sa forte domination par tous les autres scénarios et son rejet marqué par tous les groupes d'acteurs. Le rejet massif de ce scénario illustre le refus de maintenir les conditions de la situation actuelle, sauf pour le groupe des agriculteurs (Figure 6.6a). Ces derniers voient en effet dans ce scénario une préservation des acquis actuels, laquelle se révèle toujours préférable à un changement pour des normes et politiques plus coercitives, notamment en ce qui concerne la protection du milieu hydrique, de la biodiversité, et des ressources naturelles, et les opportunités de croissance agricole. Cet état de fait est bien illustré par le plan GAIA/acteurs (Figure 6.11). L'axe caractérisant le groupe des agriculteurs est en position orthogonale par rapport à ceux des autres acteurs, révélant ainsi la position spécifique des agriculteurs, totalement à l'opposé de l'ensemble des autres acteurs.

En position médiane, les scénarios *Croissance* et *Rééquilibrage*, sont significativement opposés ; le scénario économique constitue en effet la deuxième option préférée et domine le scénario de rupture. En comparant avec les analyses

selon PROMETHEE II pour chaque acteur, la situation globale illustrée ici ne fait qu'exprimer la préférence individuelle de l'option de croissance dans chacun des groupes. Ainsi, tant pour les agriculteurs, que pour les forestiers, et les environnementalistes, le scénario économique se positionne au deuxième rang (Figure 6.6). Cette position est toutefois différente chez les propriétaires et chez les néoruraux par son flux total négatif; cela est révélateur que, pour ces deux groupes, ce scénario est un des « moins mauvais » et non pas un des meilleurs qui pourraient être favorisés. De fait, le meilleur scénario pour les deux groupes, tout comme pour tous les autres, entraîne un rejet de l'urbanisation comme moyen de croissance économique (Figure 6.8d et 6.8e), même si dans le scénario *Rééquilibrage*, ce processus prend place dans les zones de moindre impact du territoire agricole, c'est-à-dire les zones boisées. Ce rejet est toutefois moins marqué chez les néoruraux et chez les propriétaires que chez les autres groupes d'acteurs, car ils accordent généralement une plus grande importance à l'urbanisation du territoire agricole.

Les rangements partiel et complet, proposés par PROMETHEE I et PROMETHEE II, sont influencés entre autres par la pondération accordée aux critères, par les seuils de préférence ainsi que par la pondération accordée à chaque groupe d'acteurs, les uns par rapport aux autres. Les valeurs accordées à ces trois paramètres sont établies principalement sur la base de la connaissance empirique du problème modélisé, laquelle est enrichie par l'échange et la confrontation de points de vue et de valeurs, entretenus par les acteurs sur le système. Ces derniers peuvent rester constants ou procéder à des modifications de leurs jugements, après les échanges avec d'autres parties prenantes.

C'est dans ce contexte que nous avons produit une analyse de sensibilité, qui s'avère essentielle afin d'enrichir l'exploitation puis l'interprétation des résultats

d'agrégation multicritère. Cette opération a permis d'examiner la stabilité des résultats en fonction de la variation de deux paramètres : le poids des critères et le poids des groupes d'acteurs, et de s'assurer dans un premier temps que ces modifications légères n'entraîneraient pas un bouleversement des résultats obtenus, et dans un second temps, d'évaluer les conséquences de modifications importantes des paramètres sur la sensibilité des résultats et la robustesse de la solution retenue. Pour simuler cet exercice, nous avons utilisé les fonctions d'intervalle de stabilité et de *walking weights* du logiciel D-SIGHT.

Dans un premier temps, les intervalles de stabilité des poids donnent une indication sur les critères *sensibles* à considérer dans les analyses ; les *walking weights* permettent de visualiser l'influence des modifications apportées aux poids sur le rangement des scénarios. Cet exercice nous a permis d'améliorer notre compréhension du problème, à la fois du point de vue du décideur et des acteurs. Dans certains cas, cette analyse pourrait conduire à la remise en question du rangement des scénarios par les acteurs ou le décideur.

- Chez le groupe d'acteurs des propriétaires, les critères de vitalité agricole, du déboisement pour l'agriculture et de l'urbanisation diffuse, sont les plus sensibles et les plus susceptibles de modifier, chez ce groupe, les préférences envers un scénario. Toutefois, la modification de ces critères n'entraîne que des modifications mineures, bien que la hausse de l'importance de l'enjeu de la gestion de l'urbanisation se traduise également par une modification du rangement complet des scénarios : le scénario de rupture se positionne alors au premier rang, et le scénario environnemental passe en deuxième place. Cependant, l'un et l'autre ne sont pas fortement dominants ni dominés, et à la

limite, ces deux scénarios demeurent incomparables même advenant un changement de point de vue chez ces acteurs concernant ces critères.

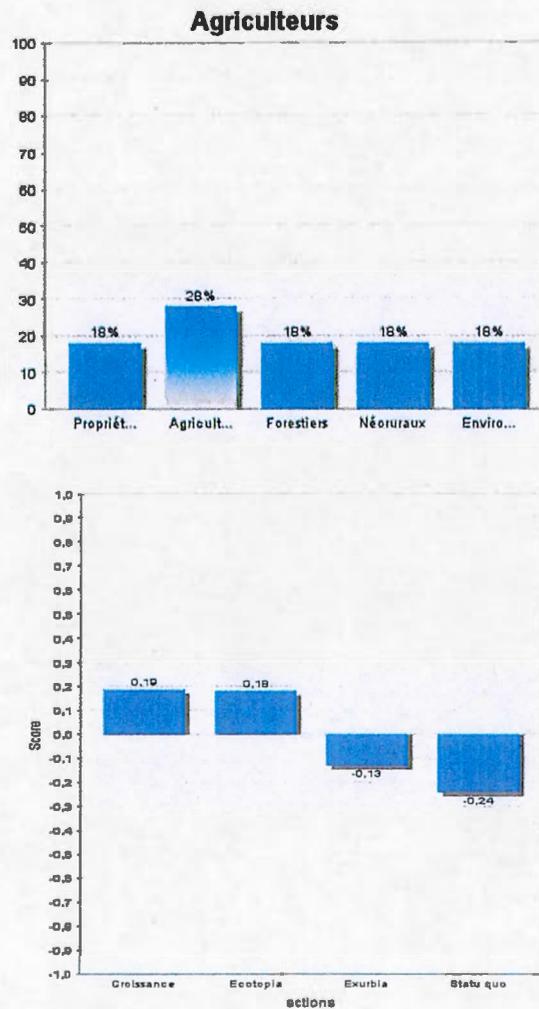
- Pour les agriculteurs, tous les critères sont stables. La plage possible de modification de la pondération de tous les critères, chez ces acteurs, est large. Une hausse de 10 % dans la pondération des critères liés à la protection de la biodiversité suffirait toutefois à modifier le rangement complet des scénarios pour ces acteurs; une hausse concomitante de 7 % de la pondération des critères économiques aboutirait à un déclassement du *Statu quo* au profit du scénario *Écotopia* qui prendrait la deuxième place. Dans tous les cas toutefois, le scénario économique est celui qui est le plus fort. Cependant, dans le cas d'une forte hausse de la pondération des critères urbanistiques, tous les scénarios deviennent quasi indifférents.
- Plusieurs critères sont très sensibles pour les forestiers. Ainsi, de faibles modifications du poids relatif des critères liés à la gestion de l'urbanisation en général ainsi qu'à la gestion des ressources forestières contribuent rapidement à faire basculer la préférence entre les scénarios économique et environnemental. Toutefois, ces deux scénarios demeurent incomparables, ce qui témoigne d'un certain « déchirement » parmi ce groupe envers la protection de l'environnement et la croissance économique.
- Chez le groupe des néoruraux et celui des environnementalistes, les critères sont majoritairement stables. Peu de critères présentent des intervalles de stabilité trop faibles ce qui témoigne de la robustesse de la solution retenue pour ces groupes à savoir le scénario environnemental qui domine totalement les trois autres (Figure 6.6d et 6.6b). Toutefois, dans le cas des néoruraux, c'est encore la gestion de l'urbanisation qui est problématique. Pour ce

groupe, une pondération supérieure de 3 % à celle existante de 5 % suffit à modifier la préférence du scénario de *Croissance* pour celui d'*Exurbanisation*. Rappelons que la gestion de l'urbanisation détermine les modalités de progression du front urbain dans les terres agricoles, notamment, dans le cas de l'urbanisation concentrique, par la perte de terres au profit de la fonction résidentielle. Cependant, dans le scénario *Rééquilibrage*, l'urbanisation concentrique se fait à même les secteurs boisés, abaissant du même coup le taux de perte de terres cultivées.

À l'échelle de l'ensemble des groupes d'acteurs, aucun groupe ne possède le « pouvoir » de modifier le rangement complet des alternatives. Ainsi, même en faisant varier de manière marquée l'importance relative de chacun des groupes en matière de poids décisionnel, simulant ainsi une plus forte revendication de la part du groupe concerné, la solution globale selon PROMETHEE II reste remarquablement stable. Le scénario environnemental demeure au premier rang et il domine le scénario économique alors que les deux derniers scénarios, *Rééquilibrage* et *Statu quo*, sont fortement dominés par les deux premiers. Ceci exprime un rejet massif de ces derniers par l'ensemble des acteurs. Le seul groupe qui aurait un réel pouvoir en ce sens est le groupe des agriculteurs : une légère et supérieure représentation de ce groupe modifie le classement des scénarios et permet au scénario de *Croissance* de se ranger en première place tout en faisant passer le scénario *Écotopia* en deuxième place (Figure 6.13). Ceci est attribuable au poids important que ces acteurs accordent à la prospérité économique et, plus spécifiquement, à la vitalité agricole en comparaison avec tous les autres enjeux. Cette forte polarisation des enjeux économiques ne se retrouve nulle part ailleurs dans le reste du groupe. D'ailleurs, la position marginale du groupe des agriculteurs par rapport à l'ensemble dans le plan GAIA témoigne bien de cette situation et relève d'une relation probablement très

spécifique et distincte chez ce groupe d'acteurs en ce qui concerne la zone agricole. Par ailleurs, il est possible d'observer sur le plan GAIA/acteurs, la présence de groupes coalisés, les forestiers et les environnementalistes dans un premier temps, les

Figure 6.14 Analyse de sensibilité globale, impact du poids des agriculteurs sur le rangement complet des options.



Propriétaires et les néoruraux dans un second temps. Ces deux sous-groupes ont des positions respectives limitrophes sur le plan, ce qui laisse présumer que les croyances, les intentions et les buts dans l'espace géographique agricole sont hautement comparables même si leurs modalités sont différentes.

6.6 Conclusion

Dans cette contribution, après avoir utilisé la modélisation des systèmes souples pour définir et structurer le problème à analyser, soit celui de la planification territoriale et environnementale, nous avons appliqué la modélisation SIG et l'analyse multicritère à une problématique décisionnelle de type *gamma* consistant à ranger les scénarios de planification du meilleur au moins bon. À la lumière du traitement effectué, en tenant compte de la présence de plusieurs groupes d'acteurs et des préférences distinctes, voire parfois polarisées (comme dans le cas des agriculteurs et des néoruraux), le meilleur scénario possible, celui qui rallie le plus d'acteurs, se situe à mi-chemin entre un scénario de croissance économique pure et le scénario environnemental. Ainsi, il serait vraisemblable de croire que le décideur (c.-à-d. le propriétaire du système, au premier chef les municipalités puis les MRC) a avantage à favoriser la performance économique du territoire dans la mesure où les scénarios retenus à cet égard sont soutenus par des politiques visant la protection des ressources naturelles et le maintien de la biodiversité, *sensu lato*. Par ailleurs, les enjeux les plus sensibles sont justement ceux liés à la gestion de l'urbanisation en zone agricole et la protection des ressources physiques à l'échelle de tous les groupes d'acteurs. En effet, de faibles modifications de la pondération de ces enjeux chez la plupart des acteurs suffisent à réorganiser le rangement complet des scénarios et à faire basculer le scénario environnemental préféré vers un scénario de croissance uniquement (fig. 6.12 et 6.13).

Les agriculteurs constituent un groupe d'acteurs particulier ; il est le seul qui privilégie ouvertement la croissance économique comme enjeu territorial et qui préfère le maintien du statu quo comme alternative. Afin de favoriser la conciliation entre ce groupe et le reste des acteurs, le décideur devrait permettre la mise en culture de nouvelles superficies par le déboisement à des fins agricoles tout en favorisant l'implantation de la récupération des friches agricoles pour le reboisement. Cette politique permettrait l'adhésion du groupe des agriculteurs à une stratégie de gestion durable des ressources forestières plus adéquate ce qui entrainerait des externalités positives à la gestion du territoire, dont une meilleure concertation entre ce groupe et le reste des acteurs. Toutefois, une mesure semblable devrait être analysée à partir d'une démarche multicritère individuelle c'est-à-dire à partir de scénarios uniquement axés sur cette question. De fait, cette remarque doit nous amener à nous interroger sur la question des échelles de modélisation. Il ressort de manière évidente que le choix de l'échelle d'analyse possède des implications importantes en ce qui concerne l'enrichissement du problème puis de la décision, et possiblement sur tous les paramètres du modèle décisionnel : choix des critères et des indicateurs, identification des acteurs, poids décisionnels différentiels des acteurs, notamment.

En outre, nous avons pu observer la présence d'acteurs coalisés à l'échelle de l'ensemble des groupes d'acteurs. Les forestiers et les environnementalistes, en raison de leurs préférences mutuelles en ce qui a trait à la gestion des ressources forestières, notamment la récupération des friches ainsi que la protection de la biodiversité et la protection des ressources hydriques, forment un sous-groupe d'intervenants importants dans l'établissement de politiques de gestion intégrées des ressources. Toutefois, plusieurs efforts devront être consentis par le décideur pour rapprocher ces deux groupes d'intervenants concernant la coupe forestière, un critère qui les oppose complètement. Les néoruraux et les propriétaires du système forment le second

groupe de coalisés en raison de leurs préférences mutuelles relativement à la gestion de l'urbanisation.

Globalement, nous pouvons conclure que la modélisation spatiale et la représentation visuelle des scénarios d'utilisation du sol à l'aide des SIG ainsi que de l'analyse multicritère constituent une démarche méthodologique intégrée qui nous permet d'envisager de nouvelles applications, notamment dans le domaine de la gestion des impacts des changements climatiques. En effet considérant que les changements d'utilisation du sol peuvent générer des impacts climatiques locaux et régionaux importants (Pielke et coll. 2011 ; Burkett et coll. 2013), la planification de l'utilisation du sol dans pareil contexte, revêt une importance particulière dans les efforts de mitigation et les choix stratégiques que devront consentir les gouvernements au cours des prochaines décennies, dans la foulée de l'accord de Paris.

CONCLUSION GÉNÉRALE

OINOS

Mais, pendant cette dernière existence,
j'avais rêvé que j'arriverais d'un seul coup
à la connaissance de toutes choses, et du même
coup au bonheur absolu.

AGATHOS

Ah ! Ce n'est pas dans la science qu'est le bonheur,
mais dans l'acquisition de la science ! Savoir pour toujours,
c'est l'éternelle béatitude ; mais tout savoir, ce serait
une damnation de démon.

Edgar Allan Poe
La puissance de la parole

L'organisation, la complexité, l'évolution sont les caractères prévalents des systèmes géographiques que sont le territoire et l'environnement. L'effort intellectuel devant être consenti pour obtenir une vision rationnelle de la nature et de l'articulation de ces concepts dans un contexte opérationnel peut apparaître parfois déficitaire par rapport à la véritable compréhension qu'il nous est possible d'en avoir après coup. Or, cette création d'*intelligence* est la condition *sine qua non* qui rend possible l'ajout de rationalité à la décision collective, comme Proulx (2008) le mentionne en parlant de la planification territoriale. La démarche que nous avons proposée ici répond à une nécessité, soit celle de la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité. Ce caractère de notre recherche est rendu nécessaire par la complexité, certainement de la question dont nous avons traité, mais également et surtout par la complexité de l'objet de l'étude, les relations socioenvironnementales. Or cette complexité n'est pas statique, mais évolutive et est tributaire d'une classe particulière de phénomènes non

prévisibles, souvent contre-intuitifs, qualifiés d'émergents. Ces manifestations peuvent prendre la forme d'une singularité statistique (un regroupement d'individus en cluster sous l'influence d'une distribution aléatoire de facteurs d'incidence), structurelle (l'apparition spontanée d'un réseau de relations nouvelles qui s'établissent entre des entités), ou qualitative, s'il se manifeste sous la forme de propriétés nouvelles acquises par les entités : normes sociales, consensus, comportements, etc. (Dessalles et Phan, 2005 ; Dignum et Dignum, 2009).

En introduction, nous avons établi d'emblée que la complexité et l'organisation des systèmes territoriaux socioécologiques pouvaient constituer un obstacle à une gestion efficiente et efficace des ressources et à la planification du territoire et de l'environnement. À cet égard, nous avons déterminé qu'il existait un besoin d'intégration d'outils conceptuels et techniques nous permettant d'appréhender ces réalités inhérentes à l'espace géographique dans une démarche opérationnelle. Nous avons posé comme objectif principal de notre thèse celui de mettre en relation des outils efficaces et complémentaires d'analyse du territoire et de l'environnement et à intégrer leurs apports conceptuels et méthodologiques respectifs dans une démarche interdisciplinaire de planification territoriale et environnementale. Cet objectif a été atteint en trois temps :

- 1) la recension critique de certains des outils de modélisation existants et en utilisation ;
- 2) une démarche de modélisation conceptuelle du socioécosystème à l'étude ;
- 3) une démarche intégrée d'aide à la décision spatiale.

Suivant le travail accompli jusqu'ici, nous sommes en mesure de produire les conclusions décrites ci-dessous.

- Niveau conceptuel
 - a. Les spécificités conceptuelles et techniques de certains outils de modélisation constituent une limite importante pour leur implémentation dans une démarche de planification qui devrait être efficiente en ressources matérielles, temporelles et humaines.
 - b. La complexité des systèmes socioécologiques d'une part et le niveau de détails requis par le modélisateur dans le contexte d'une planification territoriale des usages du sol et des ressources d'autre part, font qu'il est difficilement envisageable de modéliser *tous* les processus du système à fine échelle.
 - c. Une distinction importante doit être faite entre les conditions réelles de fonctionnement du système et celles perçues par ses composantes sociales. Cette distinction est essentielle pour l'aide à la décision, dans le contexte de la planification territoriale.
 - d. Cette prise en compte de la dimension sociale dans ces systèmes nécessite davantage que la quantification des processus dans une démarche opérationnelle de connaissance; en outre, elle doit impliquer l'ensemble des composantes sociales du système pour assurer la validation des connaissances acquises
 - e. Niveau méthodologique.
 - f. La recherche-action et l'aide à la décision ont en commun l'étude de la transformation de la réalité, l'une par la construction *in situ*

du point de vue et la prise en compte de la subjectivité et du savoir des acteurs, l'autre par l'usage de moyens techniques et méthodologiques permettant d'aboutir à un choix à partir de données qui traduisent, de manière objective, des points de vue. Il ressort de notre recherche que la démarche utilisée permet d'accomplir les deux volets.

- g. À notre avis, l'usage de la méthodologie des systèmes souples se pose en amont dans ce que Roy (1985) entend par « l'usage de modèles explicites, mais pas nécessairement formalisés » dans un processus d'aide à la décision. Or, si ce modèle n'est « pas nécessairement formalisé » dans une démarche d'aide à la décision, plus ce degré de formalisation est élevé dès les premières interventions du décideur, plus le processus d'aide à décision s'en trouve enrichi notamment avec la formalisation, même partielle, des rôles et contributions des acteurs du socioécosystème puis l'identification de voies de rétroactions qui existent entre les acteurs et les acteurs et leur milieu. En outre, comme outils d'analyse de la dynamique des systèmes, la MSS encourage l'effort de *penser* le territoire et l'environnement comme un ensemble de variables interdépendantes. Elle favorise l'émergence d'une connaissance sur les interactions des acteurs entre eux et avec leur environnement. Elle permet l'interface des sous-systèmes et la détermination des zones conflictuelles; elle enrichit la connaissance de l'analyste sur la dynamique, même implicite, du système.

- h. L'aide multicritère à la décision permet d'envisager le problème de la complexité de manière hiérarchisée : en introduisant un paramétrage d'importance relative des familles de critères et des critères, d'importance relative des acteurs, puis en agrégeant de manière partielle puis complète selon une approche *bottom-up* des informations obtenues sur les préférences des individus envers une action/scénario. Ceci est tout à fait conforme avec les exigences méthodologiques que peuvent requérir l'analyse des systèmes complexes en raison d'une part de leur nature organique et de la nature à objective puis subjective des interactions sociales et environnementales.
- i. L'ensemble de la démarche que nous avons proposée constitue un processus cohérent, systématique et intégré d'acquisition de la connaissance d'un système complexe. Cette démarche pourrait être applicable à n'importe quelle autre situation impliquant un faisceau d'interactions entre des individus et un environnement physique naturel ou construit. Elle est donc *transposable*.
- j. Nous retenons que la modélisation est un *processus* : de connaissance, d'abstraction, de synthèse. Les implications de ce point sur la nature et la qualité du modèle conceptuel et en corollaire sur la nature et la qualité du modèle de décision que nous avons proposé sont nombreuses. Notamment, le processus de modélisation d'un système complexe est évolutif. En ce sens, tous les modèles que nous avons utilisés ici — modèle conceptuel par la MSS, modèle spatial par SIG et modèle de décision par analyse

multicritère — sont inévitablement incomplets et sujets à discussion.

- k. Cette reconnaissance du caractère inachevé des modèles suggérés ne doit pas être vue comme un constat d'incapacité à aborder une réalité complexe, mais plutôt comme une contrainte méthodologique liée à la nécessité de « fermer » le modèle en cours de processus. Cette fermeture — purement théorique — est nécessaire pour des raisons d'efficacité opérationnelle, plus que par limitation de nos connaissances des phénomènes.
- Niveau opérationnel
 - a. La planification vise l'ajout de rationalité à la prise de décision. Nous sommes parvenus à extraire, à partir d'une situation complexe, aux contextes flous, aux limites mal définies et perméables — le système socioécologique — un modèle intelligible et *rationnel* d'un système d'interface socioécologique.
 - b. Comme outils d'ajout d'information au modèle décisionnel, l'utilité de la méthodologie des systèmes souples dans le cas de la MRC de Bellechasse nous apparaît avoir été démontrée; à notre avis, cet outil, qui vise la translation du problème en termes systémiques se pose en amont de la définition du problème et contribue à enrichir le point de vue du décideur sur la question.
 - c. La modélisation spatiale à l'aide du SIG nous a permis d'élaborer des états possibles du territoire et de l'environnement. Le processus demeure toutefois sujet à la disponibilité des données.

Dans le cas de la municipalité de Sainte-Claire, nous avons à notre disposition plusieurs ensembles de données fondamentales sur l'utilisation du sol, sur le couvert forestier, sur la distribution des unités de production, le réseau routier, l'hydrographie, la zone agricole. Les données inexistantes (dynamique agricole, densité spatiale des unités de production, zone de reboisement caractérisation des îlots d'urbanisation diffuse notamment) ont pu être générées par analyse spatiale.

- d. L'utilité de l'analyse multicritère dans la planification de l'utilisation du territoire et de l'environnement nous apparaît également avoir été démontrée dans un contexte multiacteur et multicritère. Cet outil nous a permis d'envisager un problème à base décisionnelle de manière organique et structurée ; elle ne se substitue pas à notre raisonnement, mais nous aide à élaborer un argumentaire cohérent et appuyé pour la prise de décision ; elle n'est pas destinée à remplacer le jugement du décideur ; celui-ci demeure tributaire et dépositaire du choix final qui sera fait. Dans le cas qui nous intéressait, l'objectif était de produire un rangement de différents scénarios de planification territoriale à partir de structure de préférences individuelles et collectives, lesquelles ont été inférées par analyse de contenu de l'audience environnementale de la CAAAQ et traduite en matière de critères et d'indicateurs.
- e. L'élaboration des structures de préférences et qui découle notamment du choix des critères et des indicateurs, est tributaire de la qualité puis de disponibilité des données. Si un effort a été fait pour assurer l'exhaustivité, la non-redondance et la cohérence des

critères, cet effort a été limité par la disponibilité de données valides. L'apport des SIG à cet égard peut s'avérer avantageux pour générer de nouvelles données inexistantes ou incomplètes.

La nature même de la démarche de modélisation, prise au sens large – processus d'abstraction de la réalité – est par essence, intégrative. Elle permet, ou du moins devrait permettre la synthèse des contenus conceptuel, spatial et phénoménologique de notre réalité territoriale et environnementale. Ceci nous amène à identifier des limites et des contraintes à notre approche. Ainsi, la question de l'*évolution* du territoire n'a pas été abordée, bien que ce soit là un des caractères fondamentaux de tous les systèmes complexes. La construction de scénarios spatio-temporels *évolutifs* imposerait en effet l'usage d'autres types d'outils de modélisation et de simulation plus élaborés comme les automates cellulaires ou encore les modèles multiagents et qui requièrent de la part de l'analyste, la composition d'une démarche plus informatique que géographique. Pour cette raison principalement, l'implémentation de ce type de modèle jusqu'à la simulation proprement dite est beaucoup plus complexe en termes méthodologiques et plus exigeante en temps. Cependant, il nous apparaît évident qu'une modélisation de cette nature rehausserait d'un niveau de « précision » le modèle décisionnel en découlant. À notre avis, ce genre de problématique évolutive constitue la prochaine étape à franchir dans l'appariement des technologies SIG et de l'aide multicritère à la décision.

En outre, si cette dimension évolutive du territoire appartient à la modélisation *prospective*, la modélisation SIG de type rétrospective ou *backcasting* (Haslauer et coll. 2012), doit être soulignée. L'intérêt de ce type de démarche réside dans la perspective temporelle tout à fait originale qu'elle permet. Contrairement à une démarche de type *prospective* qui repose sur un principe de continuité des tendances

actuelles pour simuler un futur prochain, dans le *backcasting*, les acteurs imaginent *au départ* un futur souhaité et déterminent qu'elles seraient les actions à poser afin de l'atteindre. Ces actions sont traduites en scénarios lesquels sont pourraient être soumis à analyse multicritère standard impliquant comme telle la définition de critères, d'indicateurs, l'agrégation des préférences. L'introduction de la dimension AMCD dans une démarche de cette nature nécessite sans doute l'appropriation d'un *workflow* différent, mais celui-ci repose sur les mêmes préceptes que ceux liant SIG et AMCD dans notre travail. Cette piste d'analyse devrait être privilégiée. Enfin, nous avons établi qu'il existe toute une dimension phénoménologique dans les interactions sociales environnementales (voir section « Niveau méthodologique » point *c*). Ces aspects doivent être appréhendés d'une manière ou d'une autre dans un processus de planification territoriale et environnementale, mais leur nature intrinsèquement subjective impose probablement à l'analyste d'introduire dans sa démarche la question du « paysage » et de la modélisation visuelle. Toutefois, ce type de modélisation commande encore une fois, un investissement important en ressource informatique ainsi qu'en temps, notamment si l'on désire faire usage de la visualisation 3D ou des réalités virtuelles. Encore une fois, les SIG sont des outils tout à fait adaptés pour ce type de modélisation.

REMARQUE FINALE

À la lumière de cette recherche, nous pouvons raisonnablement conclure que la plateforme que nous avons proposée répond adéquatement à la question que nous avons posée en introduction de notre ouvrage à savoir :

Comment pouvons-nous, dans une démarche stratégique et intégrée, utiliser la théorie générale des systèmes, l'analyse spatiale et l'aide à la décision pour la formalisation rationnelle d'un problème mal défini et mal structuré, soit celui de la planification du territoire et de l'environnement des systèmes d'interface socioécologique en connaissant, d'une part par nos observations, les caractères multiacteur et conflictuel de ce processus, et d'autres part, par le survol de la littérature, les potentiels et les contraintes des outils d'intégration existants ?

De même, nous établissons que les perspectives futures de cette approche MSS-SIG-AMCD sont nombreuses et applicables à un ensemble de contextes territoriaux, environnementaux, politiques et sociaux. De cette complexité inhérente à nos réalités et dont la croissance est inéluctable, nous formulons le souhait que la *cognitive spatiale*, comme nous pourrions l'appeler, devienne une thématique riche en contribution au cours des prochaines années en sciences de l'environnement ■

BIBLIOGRAPHIE

- AGGARWAL, J.C. (2008) *Essential of educational psychology, 2nd edition*. Vikas Publishing House Ltd. 596p.
- ALBRECHTS L. (2004) Strategic (Spatial) Planning Reexamined, *Environment and Planning B: Planning and Design* 31: 743-758.
- ALLEN, T. F. H. & STARR, T. B. (1982) *Hierarchy: Perspectives* Chicago, IL, USA, University of Chicago Press, 344 pages.
- AMPQ (2014). *Caractérisation des marchés publics membres de l'AMPQ*, Rapport final de l'Association des Marchés Publiques du Québec, Saint-Rédempteur, QC, 44 p.
- ANWAR M., JEANNERET C., PARROTT L., MARCEAU D.J. (2007) Conceptualization and implementation of a multiagent model to simulate whale-watching activities in the St. Lawrence estuary in Quebec, Canada *Environmental Modeling and Software* 22 (12) : 1775-1787.
- APPLETON, K.J. & LOVETT, A.A. (2003) GIS-based visualisation of rural landscapes : defining « sufficient » realism for environmental decision-making. *Landscape & Urban Planning*, 65, 117-131.
- APPLETON, K.J. & LOVETT, A.A. (2005) GIS-based visualisation of development proposals: reactions from planning and related professionals, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 321-339.
- APPLETON, K.J. & LOVETT, A.A. SÜNNENBERG, G. & DOCKERTY, T. (2002) Visualising Rural Landscapes From GIS Databases: a comparison of approaches, options and problems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, 141-162.
- ARONOFF, S. (1989) *Geographic Information Systems : A Management Perspective*. Ottawa, ON. 294 pages
- ARROW K.J., SEN, K.A. ET SUZUMURA K. (2011). *Handbook of Social Choice and Welfare*, Elsevier, édition 2, volume 2, number 2.

- BAILEY, R. G.; AVERS, P. E.; KING, T.; MCNAB, W. H., eds. (1994). *Ecoregions and subregions of the United States (map)*. Washington, DC: USDA Forest Service. 1:7, 500,000. W. H. McNab and R. G. Bailey Ed.
- BAILEY, R.G. (1980) *Descriptions of the Ecoregions of the United States*. USDA Forest Service Misc. Publ. No. 1391, Washington, DC. <http://www.fs.fed.us/land/ecosysmgmt/index.html>
- BAREL, Y. (1971) « Prospective et analyse de systèmes » *In Travaux et Recherches de Prospective*, Coll. Schéma général d'aménagement de la France, n°14, février 1971, 175 p
- BATTY, M. (1999) Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 23, 205-233.
- BATTY, M., CHAPMAN, D., EVANS, S., HAKLAY, M., KUEPPERS, S., SHIODE, N., SMITH, A. & TORRENS, P. M. (2000) *Visualizing the City : Communicating Urban Design to Planners and Decision Makers*. Center of Advanced Spatial Analysis (CASA) Working Papers Series. London, University College, 38 pages.
- BATTY, M., STEADMAN, P. & XIE, Y. (2004) *Visualization in Spatial Modeling*. Center of Advanced Spatial Analyst (CASA) Working Paper Series. London, University College, 29 pages.
- BEAUCHESNE, P., J.-P. DUCRUC & V. GERARDIN. (1996) Ecological mapping : a framework for delimiting forest management units. *Environmental Monitoring and Assessment* 39 : 173-186.
- BELLAVANCE, D. (2014). Caractérisation écologique du projet de parc national de la Baie aux feuilles, Direction de l'écologie et de la conservation, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, document interne, 120 p. + cartes.
- BENMENA, S. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agron.Soc. Environ.* 4 (2), p. 83-93
- BERGER, G. (1953) La source philosophique. Inédit *in* Darcet, J. *Étapes de la prospective*, 2 p.

- BERGER, G. (1957a) Sciences humaines et prévisions. *Revue des Deux Mondes*, n° 3, in Darcet, J. *Étapes de la prospective*, pp 16-27
- BERKE, P. H, D. GODSHALK & E. J. KAISER (2006), *Urban Land Use Planning*, 5 th. ed. Urbana IL. University of Illinois Press.
- BERNARD, P. (1999) *La cohésion sociale : critique dialectique d'un quasi-concept*. Rapport de recherche du Réseau Canadien de Recherche en Politique Publique. Canada, 23p.
- BERTALANFFY, L.W. (1968). *General System theory: Foundations, Development, Applications*, New York : George Braziller, revised edition 1976
- BOMMEL P. (2009) *Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multiagents adaptée à la gestion des ressources renouvelables*. Thèse de l'université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc. 288 pages + annexes
- BONCHEV, D. D. ET ROUVRAY, D. (2005) *Complexity In Chemistry, Biology, and Ecology Mathematical and Computational Chemistry*, Springer Science & Business Media. 348 p.
- BOULDING, K.E. (1956) *The Image: Knowledge in Life and Society*, University of Michigan Press.
- BOUMANS, R., COSTANZA, R., FARLE, J., WILSON, M. A., PORTELA, R., ROTMANS, J., VILLA, F. & GRASSO, M. (2002) Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. *Ecological Economics*, 41, 529-560.
- BOUSQUET, F. & LE PAGE, C. (2004) Multiagent simulations and ecosystem management : a review. *Ecological Modelling*, 176, 313-332.
- BOUTIN, D., SANSCARTIER, R., BRUNELLE, J.A., (2011). *Contribution des systèmes de production biologique à l'agriculture durable* Rapport de recherche, ministère du développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 125 p. [En ligne] : http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/rapport-contribution-systeme-prod-bio-agriculture-durable.pdf

- BOUYSSOU, D., MARCHANT, TH. PERNY, P. (2005). *Social Choice Theory and Multicriteria decision aiding*, In Decision-making Process Concepts and Methods, D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot, H. Prade (Eds.), pp. 779-81. [En ligne] : <http://11.lamsade.dauphine.fr/~bouyssou/socchoicepp.pdf>, document consulté le 22 octobre 2013.
- BRANS, J.P. & MARESCHAL, B. (2005). *Promethee Methods In: Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Survey* J.R. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.), 112-131, Springer, ISBN 038723067X, New York, USA
- BRANS, J.P. ET MARESCHAL, B. PROMETHEE-GAIA. *Une Méthodologie d'Aide à la Décision en Présence de Critères Multiples*. Ellipses, Paris, France,
- BREILING, M. (1995) *Systems Analysis and Landscape Planning*, ERASMUS Landscape Studies Network ICP UK 2028/02, 12p.
- BURKETT, V.R., KIRTLAND, D.A., TAYLOR, I.L., BELNAP, JAYNE, CRONIN, T.M., DETTINGER, M.D., FRAZIER, E.L., HAINES, J.W., LOVELAND, T.R., MILLY, P.C.D., O'MALLEY, ROBIN, THOMPSON, R.S., MAULE, A.G., MCMAHON, GERARD, AND STRIEGL, R.G., (2013), U.S. Geological Survey climate and land use change science strategy — *A framework for understanding and responding to global change*. U.S. Geological Survey Circular 1383A, 43 p.
- BUZAN, T. ET GRIFFITHS, B. (2003). *Mind map : dessine-moi l'intelligence*, Paris, Éditions d'Organisation.
- CANADA (2010). *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*. Conseils canadiens des ministres des Ressources. Ottawa (Ont.) vi + 148 p.
- CANADA, Département de la foresterie et du développement rural. (1967). *The Canada land inventory : Land capability classification for forestry*. Report no.4, 26 pages.
- CARLSSON, B. & JOHANSSON, S. (1997) An Iterated Hawk-and-Dove Game. In WOBCKE, W., PAGNUCCO, M. & ZHANG, C. (Eds.) Agents and Multi-Agent Systems Formalisms, Methodologies, and Applications, Based on the AI'97 Workshops on Commonsense Reasoning, Intelligent Agents, and Distributed Artificial Intelligence, Perth, Australia, December 1, 1997. Springer, 240 pages.

- CARON, A et R.P MARTEL. (2005) [La vision stratégique du développement culturel, économique, environnemental et social. Québec](#), ministère des Affaires municipales et des régions ([MAMR](#)), 38 p.
- CARON, A. et MARTEL, R. (2005). *La vision stratégique du développement culturel, économique, environnemental et social* ministère des Affaires municipales et des Régions, 38 p. [en ligne] www.mamrot.gouv.qc.ca/publications/amenagement/visi_stra.pdf
- CHAKHAR, S. ET V. MOUSSEAU. 2008a. GIS-based multicriteria spatial modeling generic framework. *International Journal of Geographical Information Science*, 22, (11): 1159-1196.
- CHAPMAN, P.G. (1977) *Human and environmental systems : a geographer's appraisal*, London, New York : Academic Press, 421p.
- CHARVOLIN, F. (2001) 1970 : L'année clef pour la définition de l'environnement en France. La revue pour l'histoire du CNRS. [En ligne] vol.4 no.21 mit en ligne le 23 février 2006. Page consulté le 16 septembre 2014.
- CHECKLAND, P. & WINTER, M C. (2000). The relevance of soft systems thinking *In: Human Resource Development International*. 3, 3, p. 411-417. 7 p.
- CHECKLAND, P.B. & SCHOLLES, J. (1990) *Soft systems methodology in action*. John Wiley & Sons. New-York, USA, 320 p.
- CHECKLAND, P.B. (1981) *System thinking, System practice*, John Wiley & Sons, New-York
- CIPD, (2013). *SWOT analysis, resource summary*. [En ligne] <http://www.cipd.co.uk/hr-resources/factsheets/swot-analysis.aspx>. Page consultée le 18 août 2014.
- COQUILLARD P. & HILL. D. R. C. (1991) *Modélisation et Simulation d'Écosystèmes : des modèles déterministes aux simulations à évènements discrets*, Collection « Recherche en Écologie », 273 pages, Masson Éd., Paris.

- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE-GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEIL, R., PARUELO, J., RASKIN, R., SUTTON, P., VAN DEN BELT, J., (1998). The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. *Ecol. Econom.* 25 (1), 67 – 72
- COSTANZA, R., L. WAINGER, C. FOLKE, AND K-G MÄLER. (1993). Modeling complex ecological economic systems: toward an evolutionary, dynamic understanding of people and nature, *BioScience* 43:545-555.
- CÔTÉ, G. ET J.-P. WAAUB (2000) L'évaluation des impacts d'un projet routier : l'utilité de l'aide multicritère à la décision, *Cahiers de géographie du Québec*, 44 (121), pp.43-64
- DAMBOISE, G. (1996) « Les perspectives de recherche » *In* Le projet de recherche en administration : un guide général à sa préparation, pp 13-75. Faculté des sciences de l'administration, Pavillon Palasis-Prince, Presse de l'Université Laval, 6 pages.
- DANIEL T. (2001). Whither scenic beauty? Visual landscape quality assessment in the 21st century, *Landsc. Urban Plann.* 56 pp. 267–281
- DANSEREAU, P. (1957) *Biogeography, An Ecological Perspective*, New York, Ronald Press Co., 1957.
- DARCET, J. (1967) *Étapes de la prospective*, Coll. Bibliothèque de la prospective, PUF, Paris, 335 p.
- DAVID A., DAMART S., 2011, Bernard Roy et l'aide multicritère à la décision, *Revue française de Gestion série Management : les constructeurs*, vol 37/214, pp. 15-28.
- DCLG (2009). *Multicriteria analysis: a manual*, Document en ligne <http://www.communities.gov.uk/publications/corporate/multicriteriaanalysis>
- DE MARCHI G., LUCERTINI G., TSOUKIÀS A., (2014) From evidence based policy making to policy analytics » ', submitted to *Annals of Operations Research*, Preliminary version.
- DE ROO, G., HILIER J., VAN WEZEMAEL, J. (eds) (2012). *Complexity and planning : systems, assemblages and simulations*, Ashgate, Burlington.

- DEFFUANT, G. (2001) Improving agri-environmental policies : a simulation approach to the cognitive properties of farmers and institutions. Final report of the FAIR3 CT 2092 project, Cemagref, Aubière, France, 191 pages
- DESSALLES J.L. & PHAN D. (2005). Emergence in multi-agent systems : Cognitive hierarchy, detection, and complexity reduction, [En ligne] *Computing in Economics and Finance*, 2, 57, Society for Computational Economics.
- DIKSHIT, R.D. (2006) *Geographical thoughts : a contextual history of ideas*, New-Delhi, Prentice-Hall, 290p.
- DONNADIEU G., DURAND, D., NEEL, D., NUNEZ, J., SAINT-PAUL, L. (2003) *L'approche systémique : de quoi s'agit-il ?* Synthèse des travaux du Groupe AFSCET Diffusion de la pensée systémique, Inédit. 11 p.
- DOWNES, M. & E. LANGE (2015): What you see is not always what you get: A qualitative, comparative analysis of ex ante visualizations with ex post photography of landscape and architectural projects. *Landscape and Urban Planning*, 142 : 136-146,
- DRACK, M. (2009) Ludwig von Bertalanffy's early system approach. *Syst. Res.*, 26 : 563-572. doi : 10.1002/sres.992
- DUCRUC, J.-P. (1985) L'analyse écologique du territoire au Québec : l'inventaire du capital-nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord. Ministère de l'Environnement du Québec, Série de l'inventaire du capital-nature N° 6, 192 pages.
- DURAND DANIEL, (2006) *La systémique*, 10^e éd., Paris, Presses Universitaires de France « Que sais-je ? » 128 pages.
- ECOLOGICAL STRATIFICATION WORKING GROUP. (1996). *A National Ecological Framework for Canada*. Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch, Centre for Land and Biological Resources Research, and Environment Canada, State of the Environment Directorate, Ecozone Analysis Branch, Ottawa/ Hull. Report and national map at 1:7 500 000 scale.
- ESRI, (2012) Roger Tomlinson, geographer. *ESRI Insider*, en ligne : <http://blogs.esri.com/esri/esri-insider/2014/02/14/roger-tomlinson-geographer/>, Page consultée le 12 décembre 2015

- FAHRIG L., (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity, *Hannut. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34:487-515.
- FARLEY, J. AND R. COSTANZA (2010). Payments for Ecosystem Services: From the Local to the Global. *Ecological Economics* 69:2060-2068;
- FASLI, M. (2003) Interrelations between the BDI primitives : Towards heterogeneous agents. *Cognitive Systems Research*, 4, 1-22.
- FERBER. J. (1995). *Les systèmes multiagents. Vers une intelligence collective.* InterEditions, Paris, [En ligne], http://www2.lirmm.fr/~ferber/publications/LesSMA_Ferber.pdf
- FERTEL, C., BAHN, O., VAILLANCOURT, K., WAAUB, J.-Ph. (2012). Canadian Energy and Climate Policies: A SWOT Analysis in Search for Federal/Provincial Coherence. *Les Cahiers du GERAD*, G-2012-13, HEC, Montréal, 21 p
- FIGUEIRA, J., S. GRECO, AND M. EHRGOTT, (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art, Annotated Surveys*, International Series in Operations, Research and Management Science Volume 76, chapter, 11, pages 445–470. Springer, New York
- FLATHER C. H. & M. BEVERS, (2002) Patchy reaction-diffusion and population abundance: the relative importance of habitat amount and arrangement, *The American Naturalist*, Vol. 159, no.1, 17 p.
- FOO, K., GALLAGHER, E., BISHOP I., KIM A. (2015). *Landscape and Urban Planning*, Special Issue: Critical Approaches to Landscape Visualization, 142, Pages 1-244,
- FOO, K., GALLAGHER, E., BISHOP, I., KIM, A. (2015). Critical landscape visualization to LAND in Critical Approaches to Landscape Visualization, Special issue of *Landscape and Urban Planning*, 142: 80-84 ARENA, C., FORTUNATO, A., MAZZOLA M.R. (2009) « Simulation versus optimization in the assessment of the resource opportunity cost in complex water resources systems – the case of Agri-Sinni in southern Italy », 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009
- FORMAN R. T. T. et M. GODRON (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Son, New York. 619 pages.

- FRANKLIN, S. & GRAESSER, A. (1997) Is it an agent, or just a program? : A taxonomy for autonomous agents. Third International Workshop on Agent Theories, *Architectures and Languages*. Berlin, Springer-Verlag, 10 pages.
- GAIGNÉ, C. et GOFFETTE-NAGOT F. (2003) Localisation rurale des activités industrielles. Que nous enseigne l'économie géographique? *Review of Agricultural and Environmental Studies* 02/2008; 87(2).
- GANGBAZO, G., VALLÉE, P., ÉMOND, C., ROY, J., BEAULIEU, R., & GAGNON, E. (2006). *Contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole : quelques réflexions basées sur la modélisation de scénarios de pratiques agricoles pour atteindre le critère du phosphore pour la prévention de l'eutrophisation dans la rivière aux Brochets Québec, Québec*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
- GAUTHIER, M. GARIÉPY, M. ET M.-O. TRÉPANIÉRIER (dir.) (2008). *Renouveler l'aménagement et l'urbanisme. Planification territoriale, débat public et développement durable*, Montréal, Presses de l'Université de Montréal, 329 p.
- GENDRON, C., FRISER, A., GARIÉPY, M., EL-DEJ, M., ET MEYER, A. (2015) *L'évaluation environnementale stratégique (ÉES) globale sur les hydrocarbures au Québec*. Revue de littérature critique sur l'acceptabilité sociale du développement des hydrocarbures. Chaire de responsabilité sociale et de développement durable ESG-UQAM, 106 p.
- GERARDIN, V. & DUCRUC J.-P. (1990) The ecological reference framework for Québec : a useful tool for forest site evaluation. *Vegetatio* 87 : 19-27.
- 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*, vol. 3, no 1, <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/groulx-levasseur/documents/DA4.pdf>
- GIMBLETT, R. (2005) *Human-Landscape Interactions in Spatially Complex Settings : Where are we and where are we going ?* In ZERGER, A. & ARGENT, A. (Eds.) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation Melbourne, Australia, 10 pages.

- GIMBLETT, R., DANIEL, T. & MEITNER, M. J. (2000) *An Individual-Based Modeling Approach to Simulating Recreation Use in Wilderness Settings*. In : Cole, David N.; McCool, Stephen F.; Borrie, William T.; O'Loughlin, Jennifer, comps. 2000. Wilderness science in a time of change conference, Volume 4 : Wilderness visitors, experiences, and visitor management ; 1999 May 24-27; Missoula, MT. Proceedings RMRS-P-15— VOL-4. Ogden, UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 99-106
- GLASSON J. ET MARSHALL, T. (2007) *Regional Planning*, Routledge, 336 p.
- GOBSTER, P. H. (1999) An ecological aesthetic for forest landscape management *Landscape Journal*. 18(1) : 54-64.
- GOODCHILD M.F. (2005) GIS and modeling overview. In D.J. Maguire, M. Batty, and M.F. Goodchild, editors, *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Redlands, CA: ESRI Press, pp. 1-18.
- GRABISCH, M. ET PERNY A. (2002). Agrégation multicritère. Document inédit [En ligne] : <http://ces.univ-paris1.fr/membre/Grabisch/articles/decision.pdf>. Page consultée le 21 octobre 2013.
- GRAILLOT D. et WAAUB J.P. (2006) Aide à la décision pour l'aménagement du territoire : méthodes et outils. Paris : Lavoisier : Hermès Sciences, 436 pages
- GREENE, R., DEVILLERS, R., LUTHER, J. E., & EDDY, B. G. (2011). GIS-based multiple-criteria decision analysis. *Geography Compass*, 5 (6): 412-432
- GREEUW, S.C.H., ET AL., (2000). *Cloudy crystal balls: an assessment of recent European and global scenario studies and models*. European Environmental Agency (EEA): Copenhagen.
- GUAY J.F. ET WAUB J.P. (2015) Application of a territorial soft system approach for conceptual modeling of an agroecosystem. *Environment Systems and Decisions*, 1-12.

- GUAY, J.F. (1997) *Le géosystème pour la connaissance intégrée des systèmes socio-naturels fondements conceptuels, définition, principes et méthode de cartographie*, Collections : Mémoire de maîtrise en géographie (Université du Québec à Montréal) M4990 Thèse (M. en géographie), Université du Québec à Montréal, 1 997 120 feuillets ill., cartes
- HADDADI, A. & SUNDERMEYER, K. (1996) *Belief-desire-intention agent architectures*. In O'HARE & JENNINGS (Eds.) *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. Wiley, New-York, 169-187.
- HALL, C.M. (2008). *Tourism planning : policies, process and relationship*. 2^d edition, Paerson-Prentice-Hall, Harlow, UK
- HALL, P. ET TEWDWR M. (2010). *Urban and Regional Planning*, Routledge, 304 p.
- HASLAUER, E., M. BIBERACHER, T. BLASCHKE, (2012). GIS-based Backcasting: An innovative method for parameterisation of sustainable spatial planning and resource management, *Futures*, Volume 44, Issue 4, Pages 292-302,
- HEYLIGHEN, F. (2000). « What is system theory » in: F. Heylighen, C. Joslyn and V. Turchin (editors): *Principia Cybernetica Web* (Principia Cybernetica, Brussels), URL: <http://pespmc1.vub.ac.be/systheor.html>.
- HJORLAND, B. ET J. NICOLAISEN (2005). The epistemological lifeboat *In* Epistemology and Philosophy of Science for Information Scientists, [En ligne] http://www.iva.dk/jni/lifeboat_old/home.htm, page consultée le 16 septembre 2013
- HOLLING C. S. (1978) *Adaptive Environmental Assessment and Management*. John Wiley & Son, Chichester
- HUETTMANN, F. ET DIAMOND A.W. (2006) Large-scale effects on the spatial distribution of seabirds in the Northwest Atlantic *Landscape Ecology* 21 :1089–1108
- HUGGETT R. (1980) *Systems analysis in geography*. Oxford: Clarendon Press. 208p.

- HULL, B., S.F. ASHTON, R. M. VISSER, ET M. C. MONROE. (2008). Forest Management in the Interface: Practicing Visible Stewardship. Florida Cooperative Extension Service Fact Sheet, FOR 177. University of Florida, UF/IFAS EDIS (Electronic Data Information Source) Database, <http://edis.ifas.ufl.edu/FR237>
- HYPERGÉO (2004) [encyclopédie électronique]. Adresse URL : <http://www.hypergeo.eu/> Page consultée le 10 janvier 2014.
- ICRA (2013). *Scénarios et Stratégies : concepts-clefs*. Ressource pédagogique préparée par N. Sellamna pour l'ICRA (www.icra-edu.org). Richard Hawkins, ed. [Publication internet]. Adresse URL : www.icra-edu.org/objects/francolearn/Scenstratcon.pdf, Page consultée le 15 janvier 2014.
- INSTITUT D'URBANISME DE GRENOBLE. (2008) « La planification territoriale : imaginer, anticiper et organiser » In Actes du 4^e Rencontres internationales de Recherche en urbanisme de Grenoble (Grenoble, 7 et 8 février 2008).
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (ISQ) (2012). Profil des régions et des municipalités régionales de comté (MRC) du Québec. [En ligne] : http://www.stat.gouv.qc.ca/regions/profils/region_00/impr_region_12.htm
- IRDA, 2013 *Inventaire des terres du Canada (ARDA) Aménagement rural et développement de l'agriculture*, ARDA — Inventaire des terres du Canada. Classement des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole.
- ISCC (2015) L'anthropologie prospective selon Gaston Berger : une philosophie de l'anticipation pour le XXI^e siècle ? En-ligne : <http://www.iscc.cnrs.fr/spip.php?article2050>, page consultée le 19 décembre 2015
- IVERSON, L.R., COOK, E.A. ET GRAHAM R.L. (1989). A Technique for Extrapolating and Validating Forest Cover Across Large Regions Calibrating AVHRR Data With TM Data. *International Journal of Remote Sensing* 10(11) : 1805-1812.

- JALLAS E., CRÉTENET M.. (2003). Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles : note introductive In : Jamin Jean-Yves (ed.), Seiny Boukar L. (ed.), Floret Christian (ed.). Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun, 27-31 mai 2002. Montpellier : CIRAD, 8 pages.
- JEAN, M.R. (1997) Émergence et SMA. In Actes des 5ième Journées francophones sur l'Intelligence artificielle distribuée et les systèmes Multi-Agents, Quinqueton, Thomas, Trousse (eds), Hermes, p. 323-342
- JENSON, J. (1998). *Mapping social cohesion : the state of Canadian research*. Rapport de recherche CF Study F03, Canadian policy research network, Ottawa, 48p. [En ligne] : http://www.cccg.umontreal.ca/pdf/CPRN/CPRN_F03.pdf
- JEROEN C.J.M. VAN DEN BERGH (2001). Ecological Economics: Themes, Approaches, and Differences with Environmental Economics. *Regional Environmental Change*, 2(1), pp. 13-23
- JISC. (2014). *PESTLE and SWOT analysis*. [En ligne] <http://www.jiscinfonet.ac.uk/tools/pestle-swot/> Page consultée le 18 août 2014.
- JOERIN, F., WAAUB, J.P. (2013) Éditorial, *Revue Internationale de géomatique*, Art. 23, no.1 pp. 7-11
- JOKL, M.V. (1981) Theory of the physical environment : an introduction. *Environmental Management*, 5, 4, pp 295-299
- JÖRG, T. (2012). *New thinking in complexity for the social sciences and humanities: a generative transdisciplinary approach*. Springer Science & Business Media, 2, 341 p.
- JULIEN, P.A. LAMONDE, P., LATOUCHE D. (1975 b). La méthode des scénarios en prospective, *L'Actualité économique*, vol. 51, n° 2, p. 253-281
- JULIEN, P.A. LAMONDE, P., LATOUCHE D. (1975 a) La méthode des scénarios, une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective in Travaux et Recherche de Prospective, coll. Schéma général d'aménagement de la France n° 59, La documentation française, Paris

- JURDANT, M., BÉLAIR, J.L, GÉRARDIN, V. & DUCRUC, J.P. (1977) *L'inventaire du Capital — Nature. Ottawa, Environnement Canada, série Classification écologique n° 2, 202 pages.*
- KAHN, H. ET WIENER, A. (1967). *The Year 2000.* New York, MacMillan.
- KEENAN, P. (2003). Spatial Decision support systems. *In* MORA, M., FORGIONNE, G.A., GUPTA, J.N. (2003) *Decision making support system: Achievement, Trends and Challenges for the new decade.* Idea Group Publishing, London, pp. 28-39.
- KISS, A.C., SICAULT, J.D. (1972) La Conférence des Nations Unies sur l'environnement (Stockholm, 5/16 juin 1972) *Annuaire français de droit international* 18 (1) : 603-628
- KORDI, M., & BRANDT, S. A. (2012). Effects of increasing fuzziness on analytic hierarchy process for spatial multicriteria decision analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(1) : 43-53.
- LACOSTE, Y. (2003). *De la Géopolitique aux Paysages. Dictionnaire de la Géographie*, A. Colin. Paris.
- 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 — ministère de l'Environnement du Canada, 151 p. + annexes cartographiques.
- LANG, R. et ARMOUR, A (1980). *Livre-ressource de la planification De de l'environnement.* Direction générale des terres, Multiscience. Publication Limitée, Montréal, 387p
- LAVOISIER, A., (1789). *Wikiquote*, Page consultée le 22 janvier 2016, depuis https://fr.wikiquote.org/w/index.php?title=Antoine_Lavoisier&oldid=227249.
- LEMOIGNE J.L. (1977). *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, PUF. Édition [en ligne], <http://www.mcxapc.org/inserts/ouvrages/0609tsgtm.pdf>

- LÉTOURNEAU, A. (2008). « La transdisciplinarité considérée en général et en sciences de l'environnement », *VertigO — la revue électronique en sciences de l'environnement* [en ligne], Volume 8 Numéro 2 | Octobre 2008 mis en ligne le 5 juin 2008, consulté le 16 avril 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/5253> ; DOI : 10.4000/vertigo.5253
- LEWIS, S. M., GROSS, S., VISEL, A., KELLY, M., & MORROW, W. (2014). Fuzzy GIS-based multi-criteria evaluation for US Agave production as a bioenergy feedstock. *GCB Bioenergy*.
- LOINGER G. ET SPOHR C. (2004). *Prospective et planifications territoriales : état des lieux et propositions*. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Direction de la recherche et des affaires scientifiques, 164 p
- LOVELAND, T.R. et MERCHANT M.J. (2004). Ecoregions and Ecoregionalization : Geographical and Ecological Perspectives, *Environmental Management* vol. 34, Suppl. 1, pp. S1–S13
- LOVETT, A.; APPLETON K., WARREN-KRETZSCHMAR B, VON HAAREN, C. (2015) Using 3D visualization methods in landscape planning: An evaluation of options and practical issues, *Landscape and Urban Planning*, Volume 142, October 2015, Pages 85-94,
- LUSSAULT, M., LÉVY J. (dir.), (2003). *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Paris, Belin, 1033p.
- MACAL, C.M. (2005) Model verification and validation. Workshop on "*Threat Anticipation: Social Science Methods and Models*", The University of Chicago and Argonne National Laboratory, April 7-9, 2005, Chicago, IL
- MACFARLANE, R., STAGG, R., TURNER, H. & LIEVESLEY, M. (2005) Peering through the smoke? Tensions in landscape visualization. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 341-359.
- MACMILLAN, R. A., MOON, D.E., COUPÉ, R.A. (2005) Automated predictive ecological mapping in a Forest Region of B.C., Canada, 2001–2005 *Geoderma*, 140, 4, 353-373.

- MAJID BEHZADIAN, R.B. KAZEMZADEH, A. ALBADVI, M. AGHDASI. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research*, Volume 200, Issue 1, 1 January 2010, Pages 198-215,
- MALCZEWSKI J. (2006) GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (7): 703-726,
- MALCZEWSKI J. (2010). Multiple criteria decision analysis and geographic information systems. In J. Figueira, S. Greco & M. Ehrgott (Eds.), *Trends in multiple criteria decision analysis* pp. 369–395
- MALDAGUE, M. (2004). Science du développement et analyse systémique. Texte de conférence présenté à l'Académie Nationale de Sciences, Kinsasha, décembre 2004. 35 p.
- MARESCHAL, B. (1988). Weight stability intervals in multicriteria decision aid, ULB Institutional Repository 2013/9317, ULB, Université Libre de Bruxelles.
- MARESCHAL, B. (2012). The Promethee Method : Using PROMETHEE & GAIA, choosing the right preference function. [En ligne] : http://www.promethee-gaia.net/faq-pro/?action=article&cat_id=003002&id=4&lang=
- MARESCHAL, J-L., P. MEYER, AND M. ROUBENS. (2005). Sorting multiattribute alternatives: The TOMASO method, *Computers & Operations Research* 32 (4), 861-877, Elsevier (preliminary [pdf](#)), ([doi : 10.1016/j.cor.2003.09.002](https://doi.org/10.1016/j.cor.2003.09.002)).
- MARGERUM, P. RICHARD D. AND STEPHEN M. BORN. 1995. Integrated environmental management: Moving from theory to practice. *Journal of Environmental Planning and Management*. 38, 3 : 371-391.
- MARSHALL, I.B. ; SCHUT, P.H. (1999) *Un cadre écologique national pour le Canada*. Environnement Canada, Direction générale de la science des écosystèmes, et Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction de la recherche. Ottawa (Ontario).

- MARTEL, J.M (1999). « L'aide multicritère à la décision : méthodes et applications »
Texte de conférence du CORS/SCRO 1999 ANNUAL CONFÉRENCE, JUNE 7-9, 1999, WINDSOR, ONTARIO.
- MARTEL, J.M., ROUSSEAU A. (1993) *Cadre de référence d'une démarche multicritère de gestion intégrée des ressources en milieu forestier*, Rapport préparé pour le Gouvernement du Québec, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, ministère des Forêts et ministère de l'Environnement, gestion intégrée des ressources, document technique 93/11,49 p. [En ligne] : <ftp://ftp.mrnfp.gouv.qc.ca/Public/Bibliointer/Mono/2012/05/1112628.pdf>
- MATHEVET, R., BOUSQUET, F., PAGE, C. L. & ANTONA, M. (2003) Agent-based simulations of interactions between duck population, farming decisions and leasing of hunting rights in the camargue (southern France). *Ecological Modelling*, 165, 107–126.
- MAYSTRE L.Y., (1997). Une démarche pour négocier les décisions relatives à l'aménagement des territoires et à la gestion de l'environnement. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 1, p. 248–256.
- MAYSTRE L.Y., PICTET J., SIMOS J., 1994. *Méthodes multicritères ELECTRE : Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. 321 pages. [
- MCCARTHY, J. 1959. Programs with Common Sense at the Wayback Machine (archived October 4, 2013). In *Proceedings of the Teddington Conference on the Mechanization of Thought Processes*, 756-91.
- MCHARG, I. (1969) *Design with nature*, Natural History Press, Garden City, NY. 197 pages.
- MCLOUGHLIN, J.B. (1985). *The system approach to planning : a critique*. Working Paper 1, University of Hong-Kong , Centre of Urban Studies and Urban Planning. 25 p.
- MERMET L. (2005). *Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales*. P.I.E.-Peter Lang, EcoPolis. vol. 5, 411 pages.

- MERMET, L. (2004) prospective : un objet d'étude pour les SIC. *Hermès*, numéro 38, pp.207-214
- MICHAEL W. PALACE, FRANKLIN B. SULLIVAN, MARK J. DUCEY ET COLL. (2015) Estimating forest structure in a tropical forest using field measurements, a synthetic model and discrete return LIDAR data, *Remote Sensing of Environment*, 161: 1-11,
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC, (2008). *Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois Agriculture et agroalimentaire québécois [ressource électronique] : assurer et bâtir l'avenir : rapport*, Texte en français et en anglais [en ligne] <http://www.caaaq.gouv.qc.ca/documentation/rapportfinal.fr.html>
- MINSKY M. (1961) *Symposium on Artificial Intelligence*. IFIP Congress 1962: 478-484
- MINTZBERG, H., The fall and rise of strategic planning. *Harvard Business Review*, (1994, January-February), 107-114.
- MONGIN, P. (2009) La théorie de la décision et la psychologie du sens commun, 3e Congrès de la société de philosophie des sciences (SPS) : « Sciences et décision » École Normale Supérieure de Paris, novembre 2009.
- MONMARCHÉ N., GUINAND F., SIARRY P. (2009) *Fourmis Artificielles, Volume 1 : des bases de l'optimisation aux applications industrielles*, Hermès-Lavoisier, 2009, ISBN 978-2-7462-2119-2.
- MORA, M., FORGIONNE, G.A., GUPTA, J.N. (2003) *Decision making support system: Achievement, Trends and Challenges for the new decade*. Idea Group Publishing, London, 414 p.
- MORIN, E. (1994) Sur l'Interdisciplinarité. *Bulletin interactif du Centre International de Recherches et Études transdisciplinaires* n° 2 [En ligne] <http://ciret-transdisciplinarity.org/bulletin/b2c2.php>

- MOULIN, B. (1997) The Social Dimension of Interactions in Multiagent Systems. IN W. Wobcke, M. Pagnucco, C. Zhang (eds), *Agents and Multi-Agent Systems, Formalisms, Methodologies and Applications, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1441*, Berlin : Springer Verlag, pp. 109 – 122.
- MOUSSEAU, V. (2009) *Méthode de surclassement*, Note du cours « Aide multicritère à la décision : concepts, outils et applications ». École Centrale de Paris, document [En ligne]
- MRN, QUÉBEC (2008). Données du 3^e inventaire forestier [fichiers numériques. shp], 1 : 20 000, Direction des Inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles du Québec. Québec.
- MRN, QUÉBEC (2013). Géologie de la Chaudière-Appalaches, structure géologique. Ministère des Ressources naturelles du Québec. [En ligne] : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/Chaudiere-Appalaches/mines/mines-structure.jsp>, consulté le 28 octobre 2013.
- NINACS W.A. (2008). *Autonomisation et intervention : Développement de la capacité d'agir et de solidarité*. Presse de l'Université Laval, Québec, 140 p.
- NOVA SCOTIA, (2009) A Procedural Guide For Ecological Landscape Analysis An Ecosystem Based Approach to Landscape Level Planning in Nova Scotia *Approved Guide for the Nova Scotia Department of Natural Resources Integrated Resource Management (IRM) Planning Process* Department of natural resources
- ODCE, (2012). *Perspective de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050, Chapitre 2 : Développement socioéconomique*. Publication de l'Organisation de la Coopération et du Développement Économique 335 p. [en ligne] : <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/socio-economicdevelopmentschapteroftheoecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm>
- ONU (1972) Déclaration finale de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, United Nation Environment Program, en-ligne <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/=/fr>, page consultée le 26 novembre 2015

- ONU (1992) Déclaration de Rio sur l'Environnement et le développement des principes de gestion des forêts, SOMMET PLANÈTE TERRE Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement Rio de Janeiro, Brésil 3-14 juin 1992, en-ligne <http://www.un.org/french/events/rio92/rio-fp.htm>, page consultée le 7 janvier 2016
- ONU (2001). *Building Bridges between citizens and local governments to work more effectively together Through participatory planning*, Part I CONCEPTS AND STRATEGIES, F. Fisher (Dir.), UN-Habitat Publisher.
- PAGE, S. (2010) *Diversity and complexity: Primers in complex systems*, Princeton University Press, 340 p.
- PALACE M., SULLIVAN, F.B., DUCEY, M.J., TREUHAFT, R.N., HERRICK, C., SHIMBO, J.S., MOTA-E-SILVA, J. (2015) Estimating forest structure in a tropical forest using field measurements, a synthetic model and discrete return lidar data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 161, May 2015, Pages 1-11,
- PARROTT, L. (2011). Hybrid modelling of complex ecological systems for decision support: Recent successes and future perspectives. *Ecological Informatics*, 6: 44-49.
- PARROTT, L., CHION, C., GOZALES, R. and LATOMBE G.. (2012). Agents, individuals, and networks; modeling methods to inform natural resource management in regional landscapes. *Ecology and Society* 17(3): 32. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04936-170332>
- PARROTT, L., MEYER, W. (2012). Future Landscapes: Managing within complexity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(7): 382–389. [En ligne] http://complexity.ok.ubc.ca/files/2013/04/ParrottMeyer2012_Frontiers.pdf
- PEARCE, D., ATKINSON, G., MOURANO, S. (2006) *Cost-benefit analysis of the environment : Recent developments*. OCDE Publishing, Paris, 315 pages [en ligne] http://www.lne.be/themas/beleid/milieueconomie/downloadbare-bestanden/ME11_cost-benefit%20analysis%20and%20the%20environment%20oeso.pdf

- PIELKE, R. A., PITMAN, A., NIYOGI, D., MAHMOOD, R., MCALPINE, C., HOSSAIN, F., GOLDEWIJK, K. K., NAIR, U., BETTS, R., FALL, S., REICHSTEIN, M., KABAT, P. AND DE NOBLET, N. (2011), Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. *WIREs Clim change*, 2 : 828–850. doi : 10.1002/wcc.144
- PRÉVIL, C., SAINT-ONGE B. ET WAAUB, J.-P. (2004). Aide au processus décisionnel pour la gestion par bassin versant au Québec : Étude de cas et principaux enjeux. *Cahiers de Géographie du Québec*, 48 (134) : 209-234
- PRINCIPIA CYBERNETICA WEB (2012). Decision theory in Web Dictionary of Cybernetics and Systems [en ligne] http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/DECISI_THEOR.html, page consultée le 12 juin 2013.
- PROULX H., JACQUES G., LAMOTHE, A.-M., LITYNSKI, J. (1987). *Climatologie du Québec méridional*. Rapport de recherche, ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la météorologie. 94 pages.
- PROULX, M.-U. (2008) « Quatre décennies de planification territoriale au Québec », IN Gauthier, M., Gariépy, M. & Trépanier, M.O. (Ed.) *Renouveler l'aménagement et l'urbanisme. Planification territoriale, débat public et développement durable*, P.U.M. Montréal, pp. 23-54
- QUÉBEC (PROVINCE). (1998). *Paysages régionaux du Québec méridional*. Direction de la gestion des stocks forestiers, André Robitaille, Jean-Pierre Saucier, Québec (Province). Ministère des Ressources naturelles. Direction des relations publiques
- QUÉBEC (PROVINCE). (1999). *Le cadre écologique de référence*. Ministère de l'Environnement et de la Faune [Publication internet]. Adresse URL : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/cadre-ecologique/index.htm>. Page consultée le 15 janvier 2014
- QUÉBEC (PROVINCE). (2008) *Agriculture et Agroalimentaire : Assurer et bâtir l'avenir*. Rapport final de la Commission sur l'Avenir de l'Agriculture et l'Agroalimentaire du Québec, gouvernement du Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 274 p.

- QUÉBEC (PROVINCE). (2010). Données d'enregistrement des productions agricoles 2010, ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Système d'Information Géographique Ministériel en Alimentation (SIGMA). Version 2.
- QUÉBEC (PROVINCE). (2010). *Les orientations du gouvernement en matière d'aménagement : la protection du territoire agricole*. Document complémentaire révisé. Direction de l'aménagement et du développement local. Ministère des Affaires municipales et de la Métropole & ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 43 pages + annexes.
- QUÉBEC (PROVINCE). (2013). *Statistiques et publications : coup d'œil sur les régions et les MRC. La Chaudière-Appalaches ainsi que ces municipalités régionales de comté*. Institut de la statistique du Québec. [Publication internet]. Adresse URL : http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/region_12/region_12_00.htm Page consultée le 2 septembre 2014.
- RAFFESTIN, C. (1986) « Écogenèse territoriale et territorialité » [Publication internet]. Adresse URL : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article336> (mercredi 26 octobre 2005). Page consultée le 10 janvier 2014.
- RANKIN, R., AUSTIN, M. AND RICE, J. (2011). Ecological classification system for the ecosystem status and trends report. Canadian Biodiversity: Ecosystem Status and Trends 2010, Technical Thematic Report No. 1. Canadian Councils of Resource Ministers. Ottawa, ON. ii + 14 p. <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=En&n=137E1147-1>
- RAPOPORT, A. (2002) General system theory *In* Parra-Luna, F. Eds. (2009) *System science and cybernetic*, vol.1, *Encyclopedia of Life Support Systems* (EOLSS), pp.112-121
- RIKALOVIC, A., COSIC, I, LAZAREVIC, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*, 69 : 1054-1063.
- RISSE, N. (2004). *Évaluation environnementale stratégique et processus de décision publics : contributions méthodologiques*. Thèse de doctorat. Bruxelles, Université libre de Bruxelles. 324 p. et annexes.

- RIST, L., A. FELTON, L. SAMUELSSON, C. SANDSTRÖM, AND O. ROSVALL. (2013). A new paradigm for adaptive management. *Ecology and Society* 18(4): En-ligne <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06183-180463>
- ROBITAILLE. A. & SAUCIER, J.-P. (1996). Land district, ecophysiological units and areas : The landscape mapping of the Ministère des Ressources naturelles du Québec. *Environmental Monitoring and Assessment* 39, pages 127- 148.
- ROSEN, R. (1987). On complex systems, *European Journal of Operational Research*, Volume 30, Issue 2, Pages 129-134.
- ROUGERIE, G. & BEROUTCHACHVILI, N. (1991) *Géosystèmes et paysages : bilan et méthodes*, Paris, Armand Colin, 302 pages
- ROWE, J.S. 1992. Site classification : Prologue. *The Forestry Chronicle* 68 :(1) : 22-24.
- ROWE, J.S., & J.S. SHEARD. 1981. Ecological Land Classification : A survey approach. *Environmental Management*. 5 (5) : 451-464.
- ROY, B. ET BOUYSSOU, D. (1993) : *Aide à la décision : méthodes et cas*. Economica, Collection Gestion, 695 p.
- ROY, B. (1985) *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Paris, Economica,
- ROY, B. (2005). «Paradigms and challenges», In *Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art Surveys*, (José Figueira, Salvatore Greco, Matthias Ehrgott), Springer, pages 3-24,
- RQGE, (2011). *Perspectives critiques de l'aménagement durable des forêts du Québec*. Mémoire présenté au Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec lors de la consultation publique sur l'aménagement des forêts, 25 p. [en ligne] : http://www.rqge.qc.ca/sites/www.rqge.qc.ca/files/RQGE_memoire_SADF-1.pdf
- RUIZ J. et G. DOMON (2009) Aménagement des paysages en zone d'agriculture intensive, Conférence dans le cadre de la Réunion de la table des conseillers en aménagement et en développement rural du MAPAQ, 9 avril 2009, Orford.
- RURALYS (2013). *Les paysages de la Chaudière-Appalaches. Vers la connaissance et la mise en valeur*. Rapport final, vol. 1. 253 pages.

- SAATY T.L. (1996), *Decision-making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS Publications, 4922, Ellsworth Avenue, Pittsburgh, PA. 15213
- SAATY, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. International, Revised editions, Paperback (1996, 2000) Pittsburgh: RWS Publications
- SAATY, T.L. (2008). Decision-making with the analytic hierarchy process, *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1
- SALTER J. D., CAMPBELL, C., JOURNEY, M., SHEPPARD, S. R.J. (2008). The digital workshop : Exploring the sea of interactive and immersive visualisation tools in participatory planning, *Journal of Environmental Management* doi :10.1016/j.jenvman.2007.08.023
- SAMOURA, K. (2011). « Contributions méthodologiques à l'évaluation environnementale stratégique de l'exploitation du potentiel hydroélectrique des bassins côtiers en milieu tropical : cas du Konkouré, en Guinée » Thèse. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Doctorat en sciences de l'environnement
- SANG CHO H., PARKK.S., KIM Y., KIM, C.S., MINSOO H. (2007) « Effects of Virtual Reality Display Types on the Brain Computer Interface System » In SPRIGER-BERLIN (Ed.) *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction*.
- SAYRE, R., BOW, J., JOSSE, C., SOTOMAYOR, L., AND TOUVAL, J., (2008). « Terrestrial Ecosystems of South America In J.C., K. Bruce Jones, and J.H. Smith (eds.), *North America Land Cover Summit - Special Issue of the Association of American Geographers*.
- SAYRE, R., DANGERMOND, J., FRYE, C. *et coll.* (2014). A new map of global ecological land units — an ecophysiological stratification approach. *Association of American Geographers, Washington, DC*
- SCHÄRLIG, A. (1985). *Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère*. 1^{re} éd. Presses polytechniques et Universitaires romandes. Lausanne. 235 pages.

- SCHREIBER, E. S. G., BEARLIN, A. R., NICOL, S. J. AND TODD, C. R. (2004), Adaptive management: a synthesis of current understanding and effective application. *Ecological Management & Restoration*, 5 : 177–182
- SCHROTH, O., POND, E., MARCEAU D., DANAHY, J., FLANDERS, D., CORNISH, L. SHEPPARD, S. TATEBE, K., FEICK, R. (2013). Scenario Modeling and Visualization for Climate Change Planning: A Cross-Case Study of four Canadian Community Contexts. *Journal of American Planning Association*
- SCHROTH, O., POND, E., SHEPPARD S.R.J., (2015) Evaluating presentation formats of local climate change in community planning with regard to process and outcomes, *Landscape and Urban Planning*, Volume 142, October 2015, Pages 147-158,
- SELMAN P. H., (2000) Environmental planning: The Conservation and Development of Biophysical Resources, Sage Publications Ltd ; 2de edition, 320 pages.
- SHANNON, C.E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656
- SHEPPARD, S. R. J (1986) « Simulating changes in the landscape » In SMARDON, R., PALMER, J. & FELLEMAN, J. (Eds.) Foundations for Visual Project Analysis. New-York, Wiley, 14 pages.
- SHEPPARD, S. R. J. & MEITNER, M. (2005) Using multicriteria analysis and visualization for sustainable forest management planning with stakeholder groups. *Forest Ecology and Management*, 207, 171-187.
- SHEPPARD, S.R.J. (2001) Guidance for crystal ball gazers : Developing a code of ethics for landscape visualization. *Landscape & Urban Planning* 54 (1-4), 183-199.
- SHEPPARD, S.R.J. (2015). Making climate change visible: A critical role for landscape professionals, *Landscape and Urban Planning*, 142: 95-105,
- SHIRABE, T. (2005) Modeling Topological Properties of a Raster Region for Spatial Optimization. In FISHER, P. F. (Ed.) *Developments in Spatial Data Handling*. Berlin, Springer, 407-421.

- SIMÃO, A., DENSHAM, P.J., AND HAKLAY, M., (2009), Web-based GIS for collaborative planning and public participation: An application to the strategic planning of wind farm sites: *Journal of Environmental Management*, 90: 2027-2040.
- SIMARD, P., et C., GAGNON (2007) « La vision stratégique. Se donner une vision commune de notre avenir ». In GAGNON, C. (Éd) et E., ARTH (en collab. avec). *Guide québécois pour des Agendas 21^e siècle locaux : applications territoriales de développement durable viable* [en ligne] http://www.a211.qc.ca/9577_fr.html Page consultée le 13 octobre 2013.
- SIMARD, P., et C., GAGNON (2007) « La vision stratégique. Se donner une vision commune de notre avenir ». IN GAGNON, C. (Éd) et E., ARTH (en collab. avec). *Guide québécois pour des Agendas 21^e siècle locaux : applications territoriales de développement durable viable* [en ligne] http://www.a211.qc.ca/9577_fr.html
- STEVENS, D., DRAGICEVIC, S. & ROTHLEY, K. (2007) iCity : A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision-making. *Environmental Modelling & Software*, 22, 761-773.
- STEWART, T.J. (2005a). "Dealing with uncertainties" in MCDA. In J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, editors, *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art, Annotated Surveys*, International Series in Operations, Research and Management Science Volume 76, chapter, 11, pages 445–470. Springer, New York
- ST-ONGE, B., J. JUMELET, C. VEGA ET M. COBELLO, (2004). Measuring individual tree height using a combination of stereophotogrammetry and lidar, *Canadian Journal of Forest Research*, 34 : 2122-2130.
- TORRENS, P. M. & NARA, A. (2007) Modeling gentrification dynamics : A hybrid approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 337-361.
- TSOUKIÀS A., MONTIBELLER G., LUCERTINI G., BELTON V., (2013) *Policy Analytics: an agenda for research and practice*. Cahier du LAMSADE No 335

- USDA FOREST SERVICE, (2002) "Proceedings: Land Type Associations Conference: Development and Use" In Natural Resources Management, Planning and Research, Smith, M.J. (ed). April 24 – 26, 2001 University of Wisconsin Madison, Wisconsin
- VAN AARDT, J.A.; WYNNE, R.H.; SCRIVANI, J.A., (2008) Lidar-based Mapping of Forest Volume and Biomass by Taxonomic Group Using Structurally Homogenous Segments, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74, 8, pp: 1033-1044
- VÁZQUEZ RASCÓN, M., WAAUB J.P., ILINCA, A.(2013) Territorial intelligence modelling for energy development (TIMED) — A case study for the Baie-des-Sables (Canada) wind farm *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 3(2-3): 236–255
- VEYRET, Y. (1999) *Géoenvironnement*. Campus. Colin, [Publication internet]. Adresse URL : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article468#> (mercredi 26 octobre 2005). Page consultée le 10 janvier 2014.
- VOINOV, A., C.FITZ, R. BAUMANN, R. COSTANZA. (2004). Modular ecosystem modeling. *Environmental Modelling and Software*, 19, 3: p.285-304
- VON NEUMANN, J. AND A. W. BURKS (1966). *Theory of self-reproducing automata*. Urbana, University of Illinois Press
- WAAUB, J.-P. (2003). L'évaluation environnementale stratégique : processus, outils, évolution, Communication présentée dans le cadre du séminaire intitulé : L'évaluation environnementale stratégique: enjeux et défis. Semaine de l'UQAM à l'ULB. Bruxelles. 6 mai 2003
- WALLISER, B. (2006). Les phénomènes émergents. [En ligne] Inédit. <http://www.pse.ens.fr/walliser/pdf/phenom.pdf>
- WALTERS C. AND HOLLING C. S. (1990) Large-scale management experiments and learning by doing. *Ecology* 71, 2060–2068.
- WANG, Y.& G. RUHE (2007), The Cognitive Process of Decision-making, *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 1(2).

- WHITE, J., WULDER, M. et GRILLS, D. (2006); Detecting and mapping mountain pine beetle red attack damage with SPOT-5 10 m multispectral imagery, *BC Journal of Ecosystems and Management*, vol. 7, No. 2, pp. 105-118.
- WHITE, R. & ENGELEN, G. (1993) Cellular Automata and Fractal Urban Form : A Cellular Modeling Approach to the Evolution of Urban Land Use Patterns. *Environment and Planning A*, 25, 1175-1199.
- WIENER, N. (2014). *Cybernétique et société : L'usage humain des êtres humains* Points, coll. « Points Sciences ».
- WIKIPÉDIA, L'ENCYCLOPÉDIE LIBRE. *Approche systémique*. (2015). Page consultée le janvier 22, 2016 à partir de http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Approche_syst%C3%A9mique&oldid=118003523.
- WOLFRAM, S. (1982) Caltech preprint CALT-68-938. Page consultée le 15 octobre 2012 <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/88-cellular/index.html>
- WOLFRAM, S. (1983) Los Alamos Science, 9 (Fall 1983) 2-21. Page consultée le 15 octobre 2012 <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/83-cellular/index.html>
- WOLFRAM, S. (1988). High-Speed Computing: Scientific Applications and Algorithm Design, ed. Robert B. Wilhelmsen (University of Illinois Press, 1988). Page consultée le 15 octobre 2012 <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/88-cellular/index.html>
- WOOLDRIDGE, M. (2002) *An Introduction to Multiagent Systems*, Cambridge, Wiley, 348 pages.
- WOOLDRIDGE, M. (2002) *An Introduction to Multi-agent Systems*, Cambridge, Wiley, 348 pages.
- YUKON, (2013) Ecological and Landscape Classification Supervisory Committee. Yukon Ecological and Landscape Classification (ELC) Program: Five-Year Strategic Plan. Environment Yukon, Whitehorse, Yukon. 27 p.
- ZONNEVELD I. (1989) The land unit : a fundamental concept on landscape ecology. *Landscape ecology*, 3 (2) : 67-89

APPENDICE A

DOSSIER CARTOGRAPHIQUE ET MODÉLISATION SPATIALE

Figure A.1 Zones concentriques du centroïde urbain : Incrément 100 mètres.

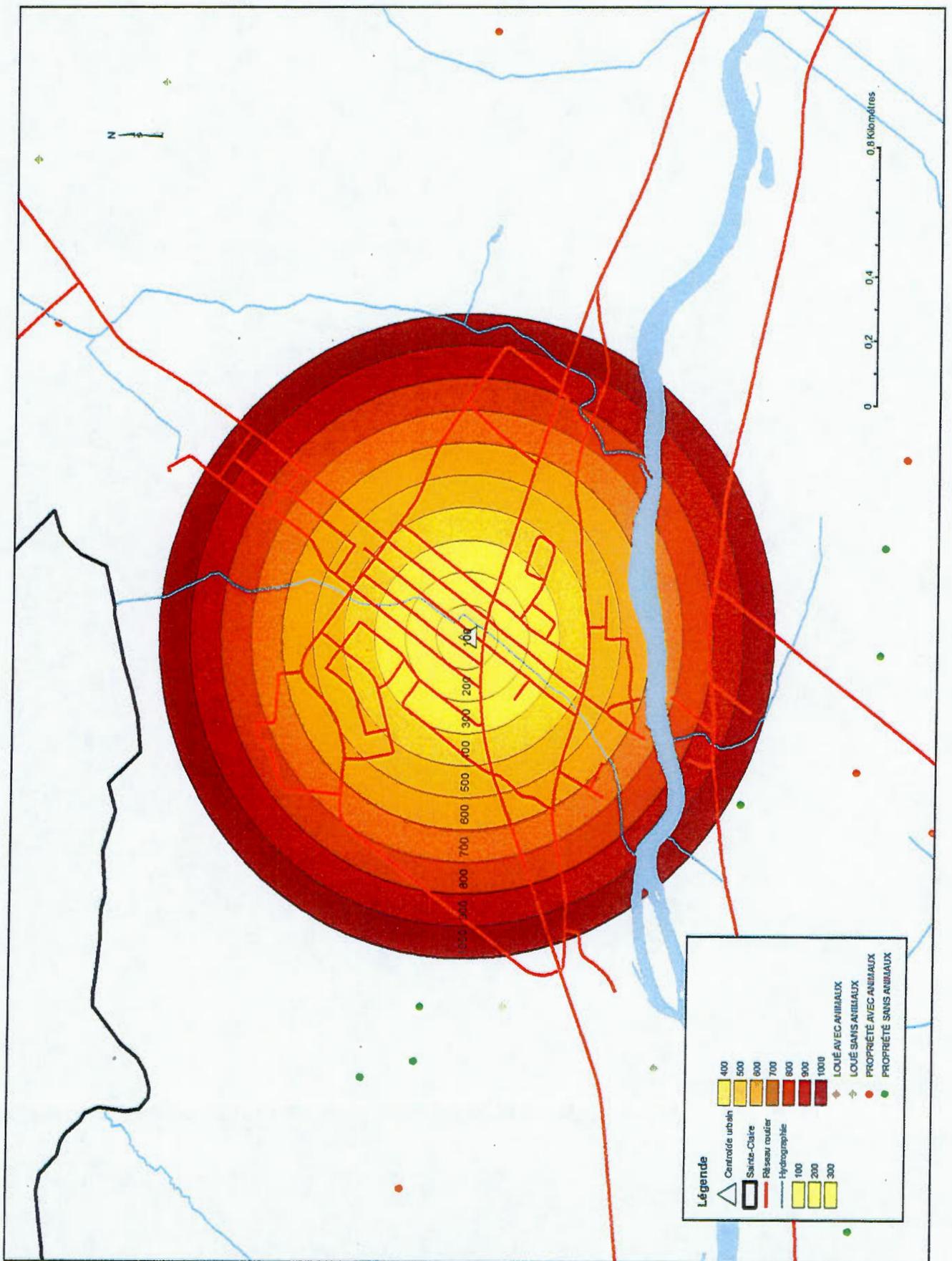


Figure A.2 Dynamisme agricole — Densité des unités d'évaluation

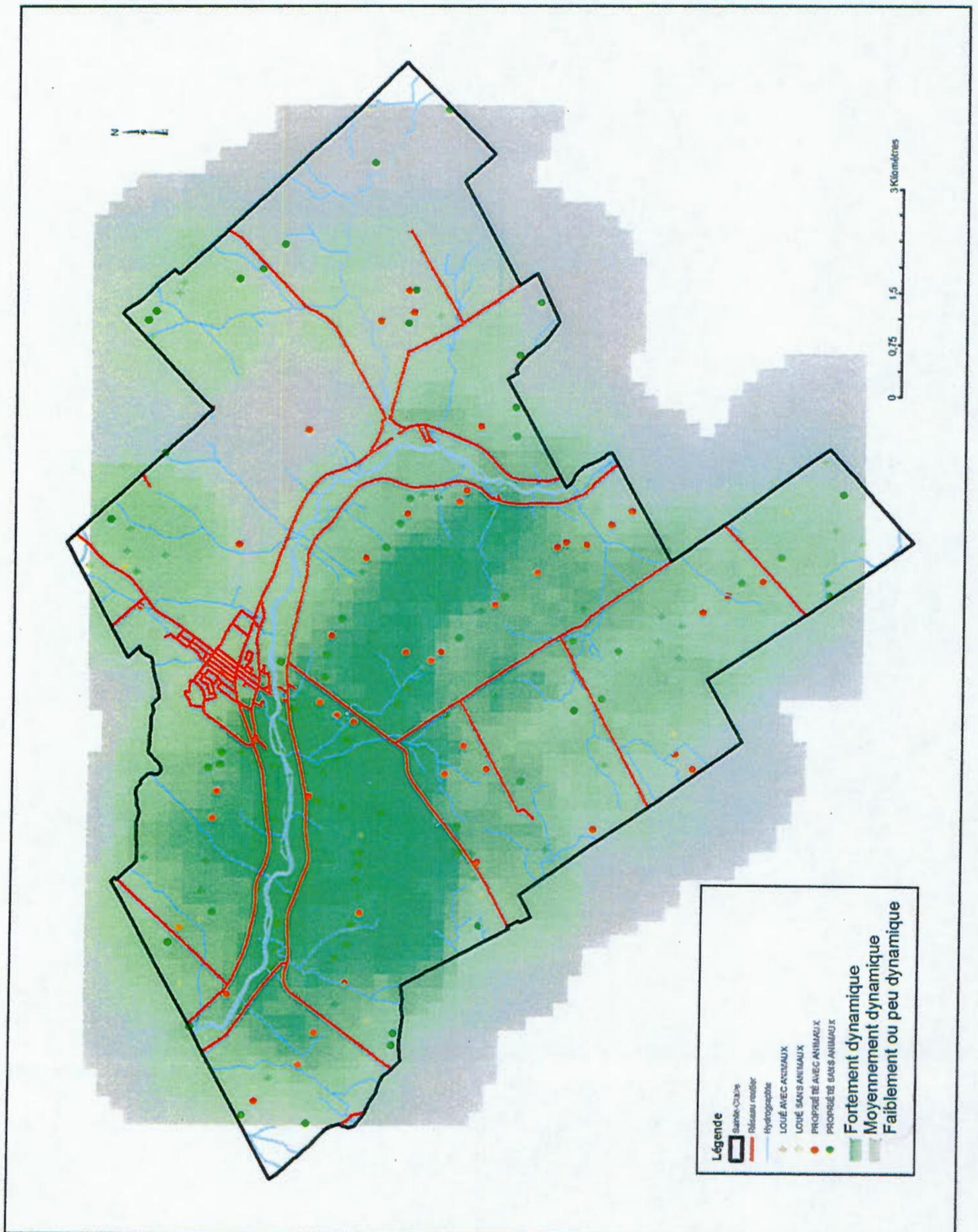


Figure A.3 Ilots d'urbanisation diffuse

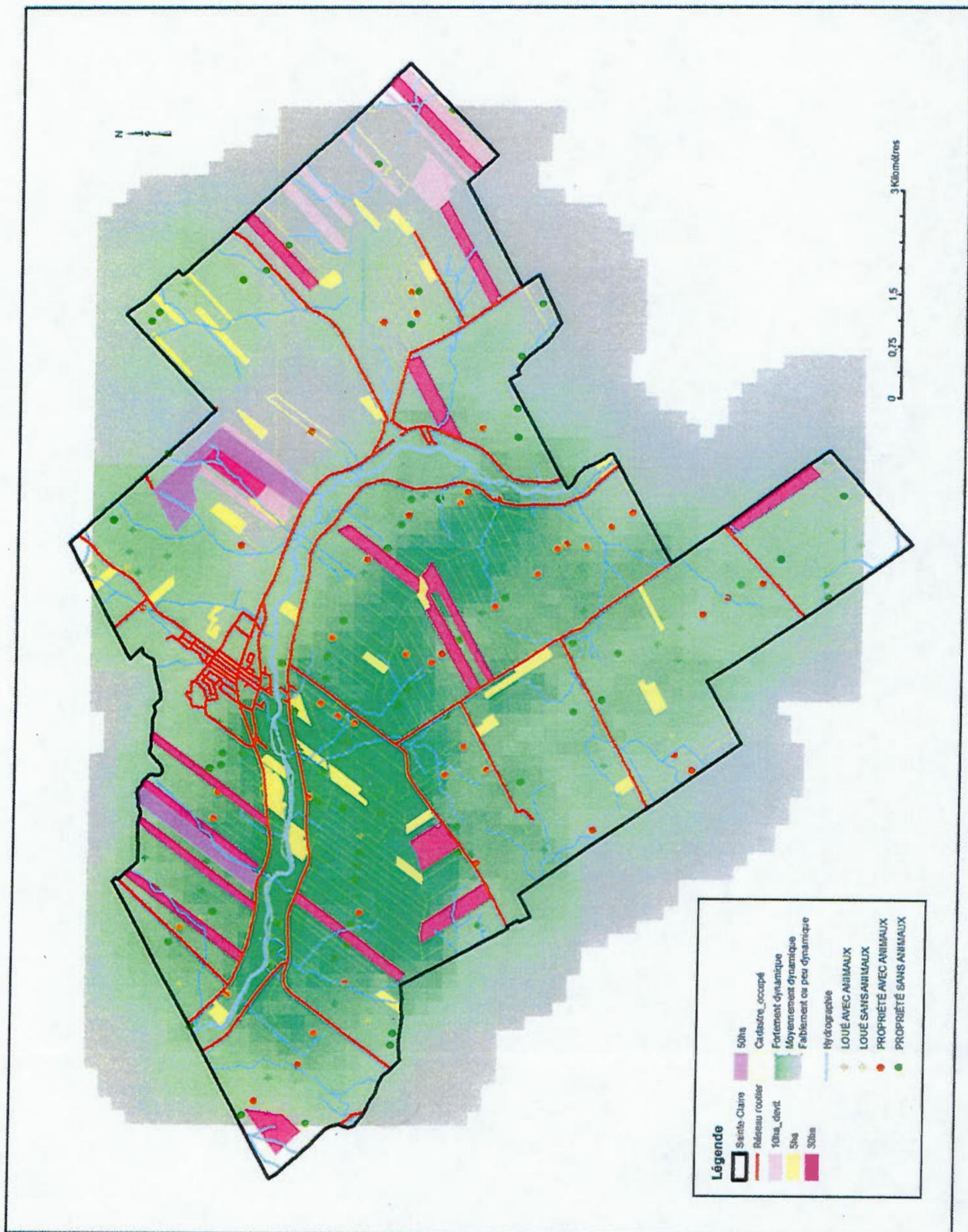


Figure A.4 Modèle du territoire et variables d'états

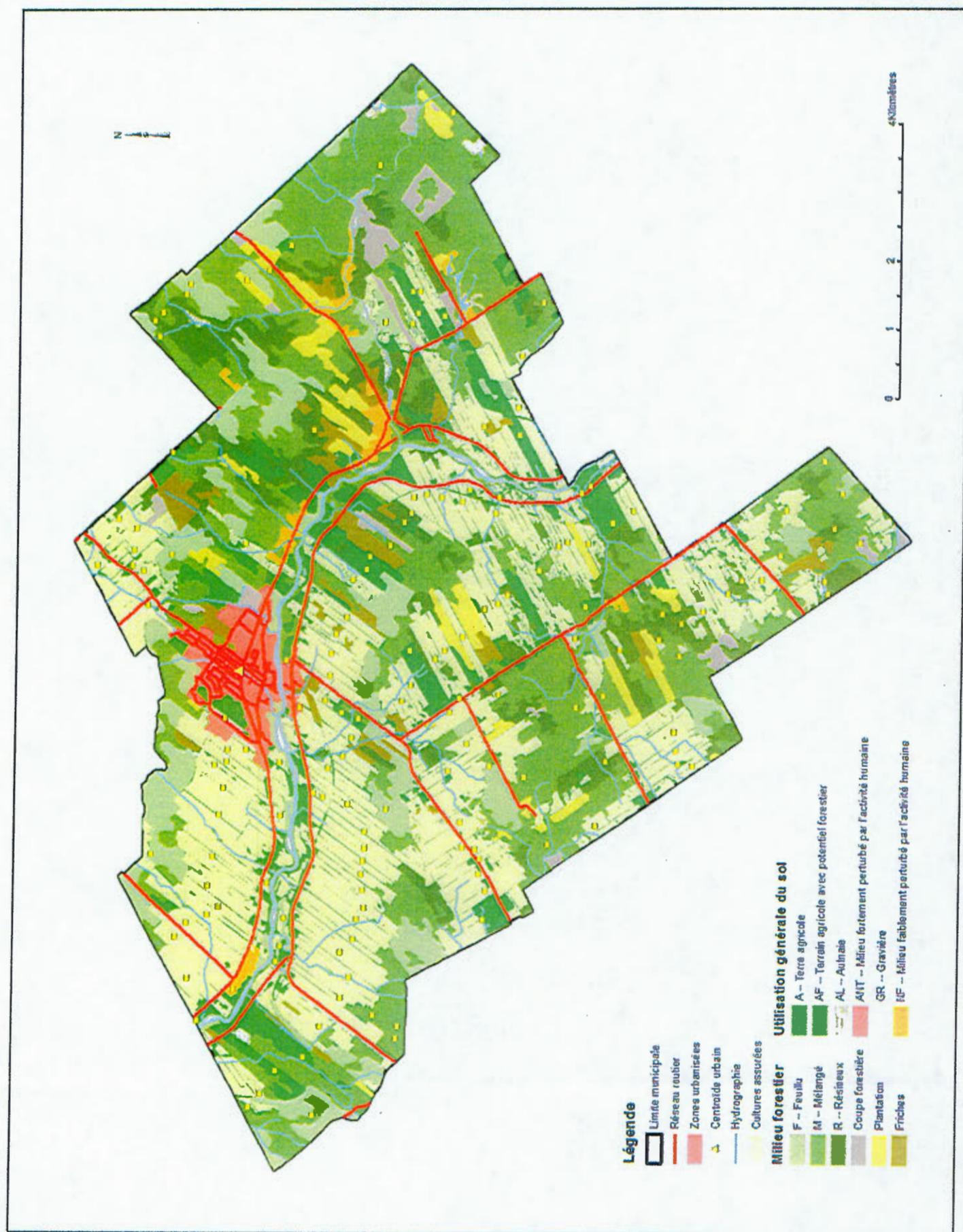


Figure A.5 Scénario de base (Statu quo)



Figure A.6 Scénario économique (Croissance)

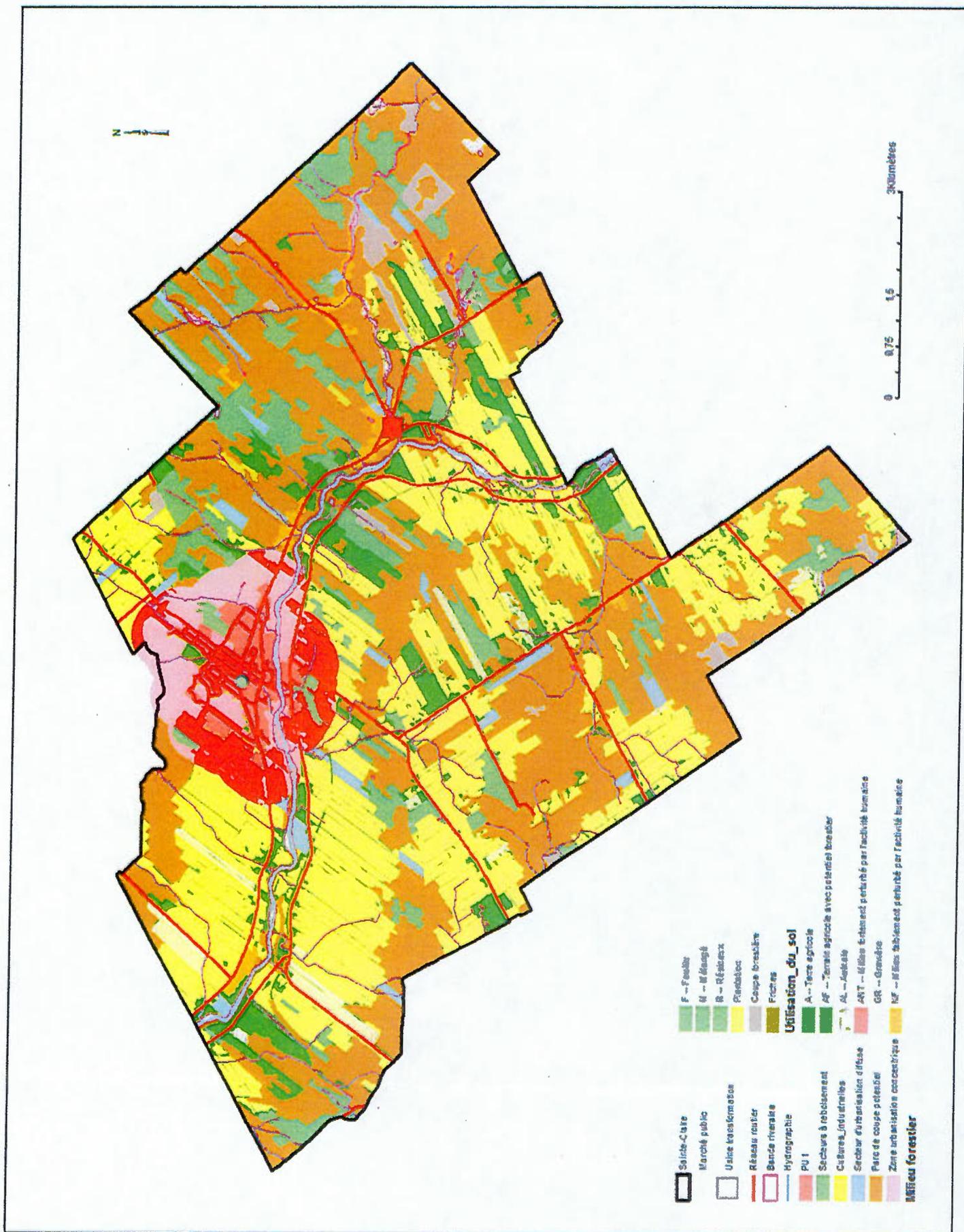


Figure A.7 Scénario environnemental (Écotopia)

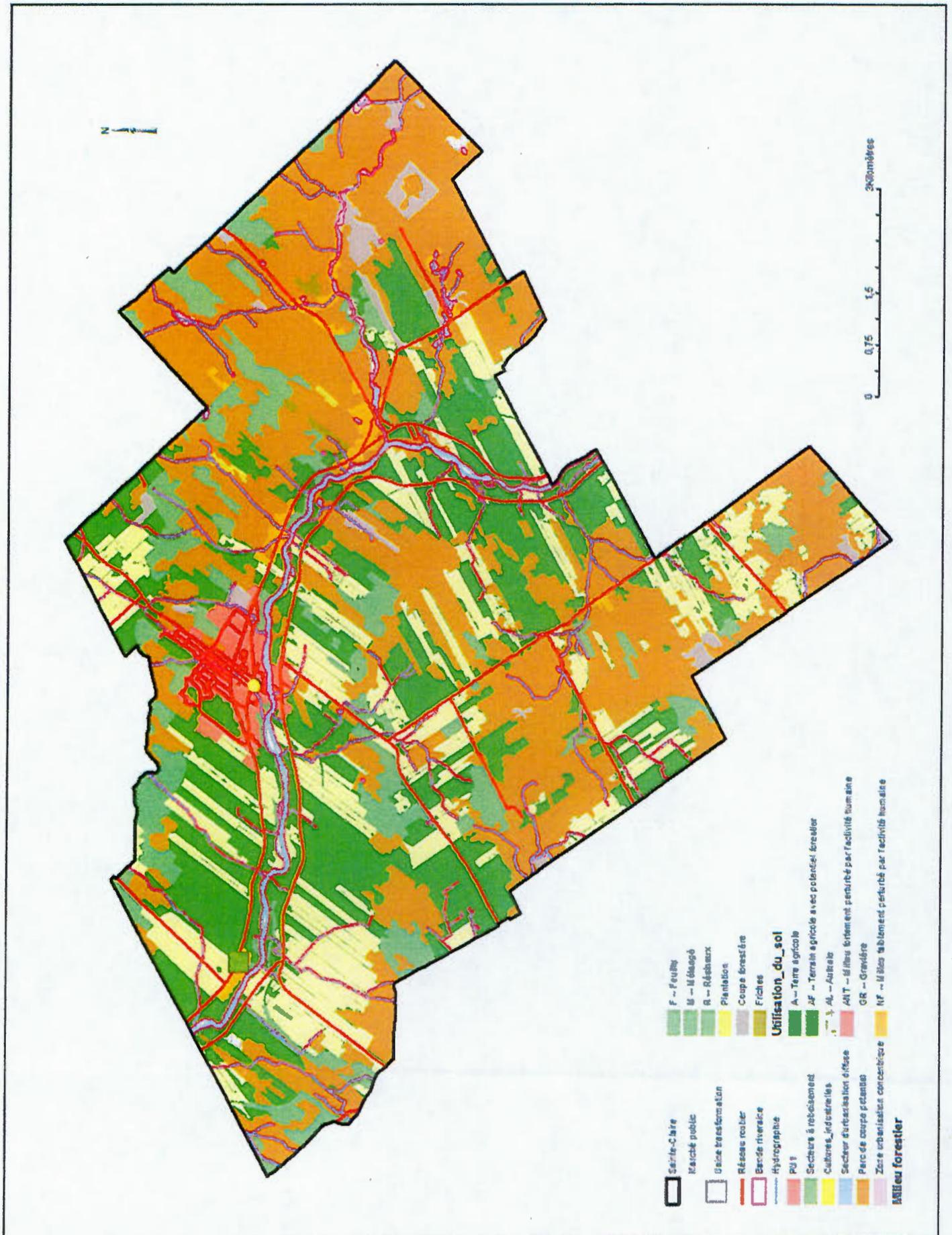


Figure A.8 Scénario d'exurbanisation (Rééquilibrage)

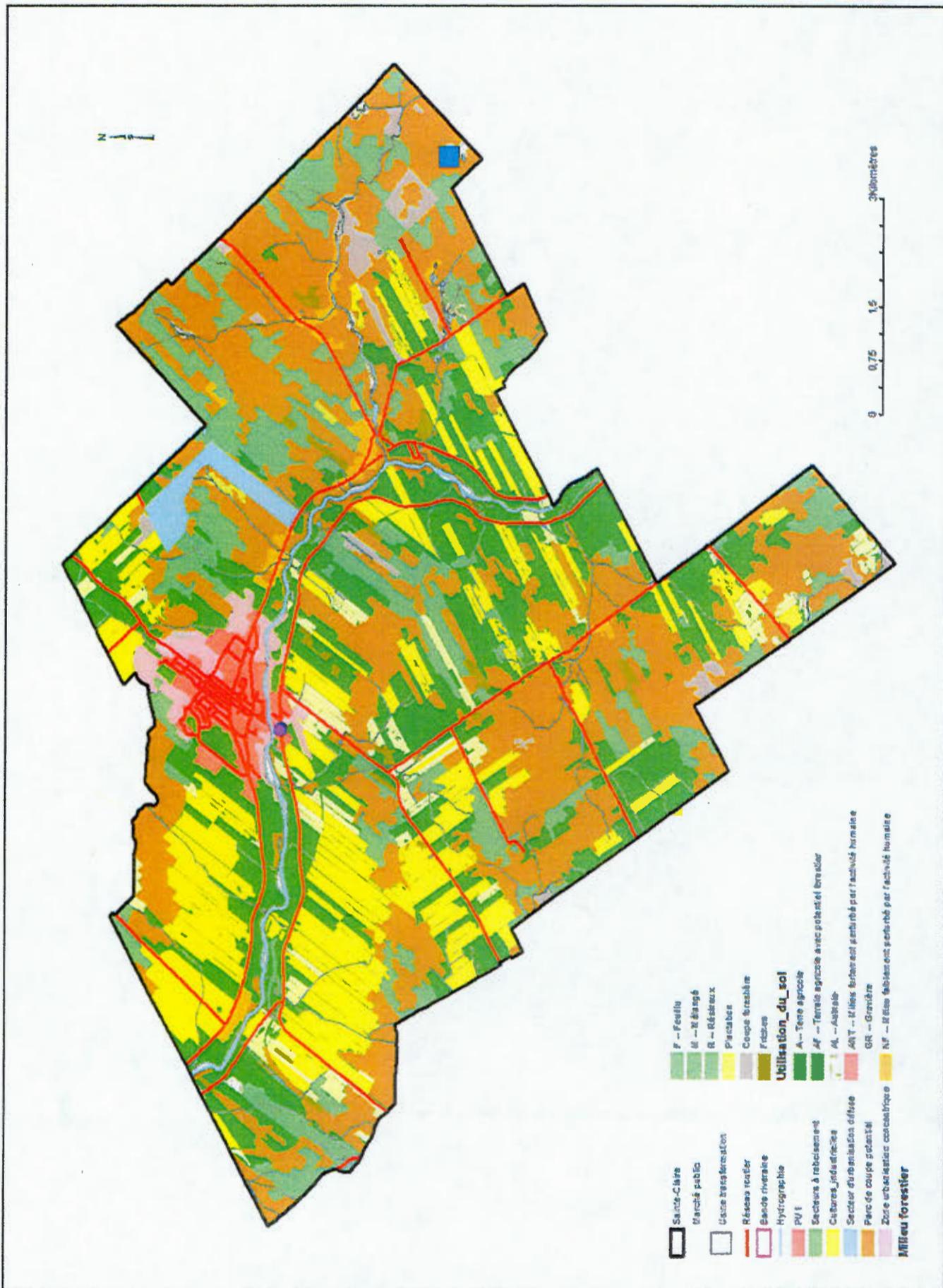


Tableau A.1 Règles de décision et contraintes de simulation

Enjeux	Critères	Scénarios			
		<i>Statu quo</i>	<i>Croissance</i>	<i>Écotopia</i>	<i>Exurbia</i>
Biodiversité et environnement	Bandes riveraines	3 m	1 m	10 m	5 m
	Superficies bio.	5 %	0 %	50 %	25 %
Gestion forestière	Reboisement	Zone agricole faiblement dynamique	Partout	Zone agricole dynamique/très dynamique	Aucun reboisement
	Déboisement agricole	oui	oui	non	non
	Parterre coupe disponible	30 %	50 %	10 %	40 %
Gestion urbanisation	Urbanisation concentrique	Rayon de 250 m du périmètre existant	Rayon de 500 m du périmètre existant	Aucune extension du périmètre urbain	Rayon de 500 m du périmètre existant – uniquement en secteur forestier
	Urbanisation diffuse	Lots de 5ha (2500 m ² /résidence) partout	Lots de 10ha sans morcellement en zone dévitalisée	Lots de 50ha et 9500m ² /résidence) avec projet agricole	Lots de 50ha à 2500 m ² /résidences en zone dévitalisée
Prosperité économique	Cultures industrielles	75 %	95 %	0 %	50 %
	Implantation agroindustrielle	En zone agricole faiblement dynamique	En zone agricole dynamique	En zone agricole très dynamique	En zone agricole dévitalisée
	Implantation agrotouristique	225 m du centroïde urbain	290 m du centroïde urbain	500 m du centroïde urbain	900 m du centroïde urbain
Santé	Harmonie sociale	Moyenne	Forte	Moyenne	Moyenne
	Contribution à l'autonomisation	Faible	Moyenne	Forte	Moyenne

APPENDICE B

COMMISSION SUR L'AVENIR DE L'AGRICULTURE ET DE L'AGROALIMENTAIRE AU QUÉBEC (CRAAAQ)

1. **Mandat de la commission :**
<http://www.caaaq.gouv.qc.ca/commission/mandat.fr.html>
2. **Document préparatoire :** L'objectif du document de consultation était de dresser un tableau synthèse susceptible de déclencher et de soutenir la discussion. Le document servi à dresser notre **portrait riche** de la situation :
http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Doc_consultation_CAAAQ.pdf
3. La Commission a invité les citoyens, les organismes et les autres acteurs intéressés par les secteurs de l'agriculture et de l'agroalimentaire à se rencontrer au cours d'audiences provinciales et régionales qui ont eues lieu de 2007 à 2008. La liste des audiences est consignée à cette adresse :
<http://www.caaaq.gouv.qc.ca/consultations/audiences.fr.html>
4. Près de 700 mémoires et rapports ont été présentés au cours de ces audiences. Cette source d'information nous a permis d'identifier les **parties prenantes** impliquées au sein du territoire agricole, leurs **rôles** sociaux, économiques et politiques, leurs **préoccupations** et **valeurs**. La liste des

mémoires et rapports (non-triée) notamment ceux soumis lors des rencontres régionales en Chaudière-Appalaches (Saint-Joseph de Beauce, Saint-Agapit et Montmagny) est consultable ici :

<http://www.caaaq.gouv.qc.ca/consultations/memoires.fr.html>

5. Synthèse de propos recueillis par la Commission. Ce document révèle de manière synthétique, les préoccupations des **parties prenantes** et les **enjeux** en matière de maintien et croissance des activités agricole, de protection du territoire agricole, de protection et conservation des ressources, de santé des communautés notamment.

<http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Dossiers%2012%20fevrier/Ce%20quon%20nous%20a%20dit.pdf>

6. Rapport final de la Commission : La Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois a rendu public son rapport le 12 février 2008. Durant son mandat, la commission a notamment (1) fait état de situation sur les enjeux et défis de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Québec et (2) établi un diagnostic et formulé des recommandations sur les adaptations à faire, compte tenu des défis de la compétitivité et des revenus agricoles, des attentes sociétales et de la mise en valeur des potentiels régionaux :

http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Dossiers%2012%20fevrier/RapportFr_haute.pdf

APPENDICE C

ANALYSE MULTICRITÈRE

Figure C.1 : Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : AGRICULTEURS

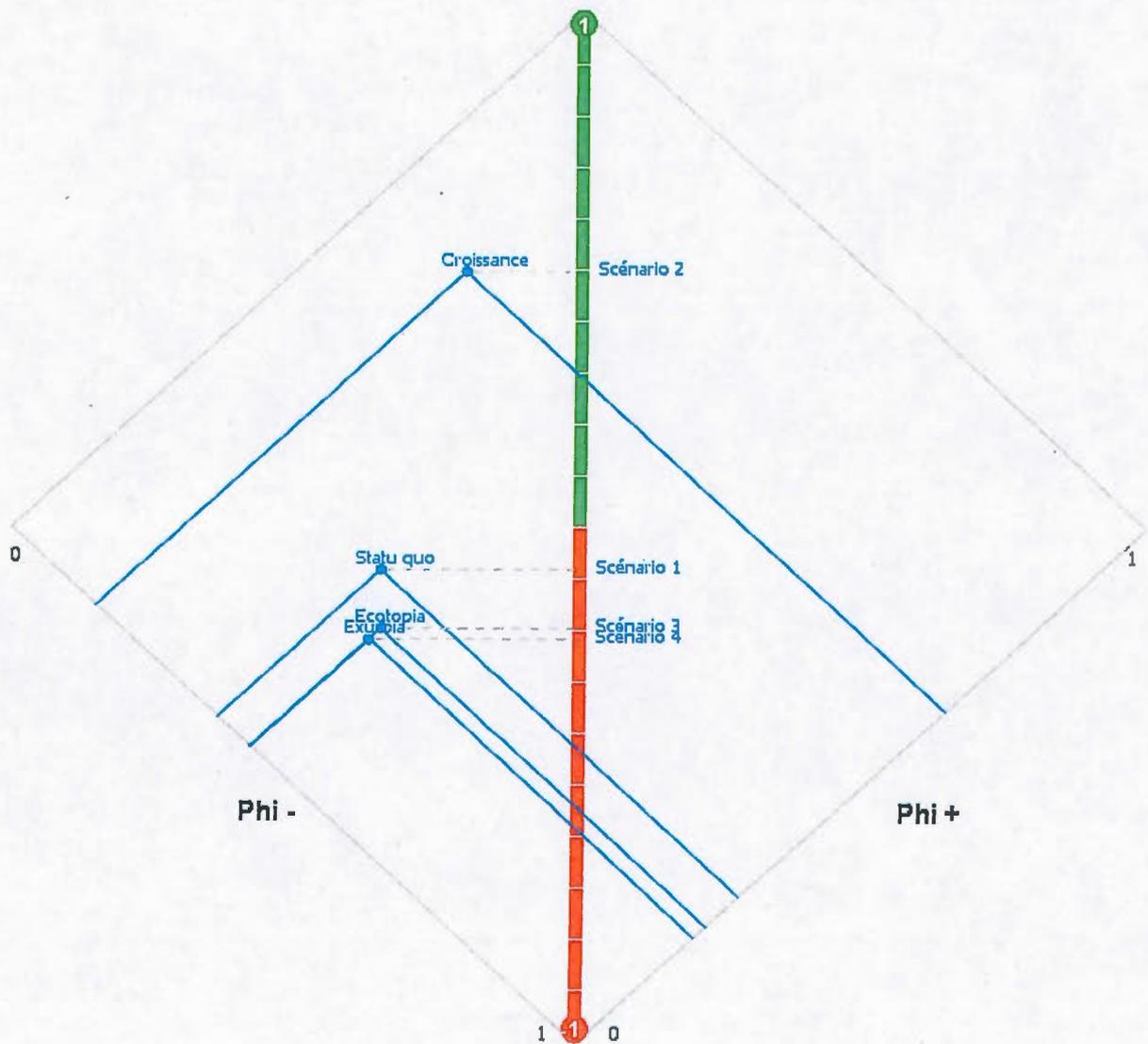


Figure C.2 : Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : ENVIRONNEMENTALISTES

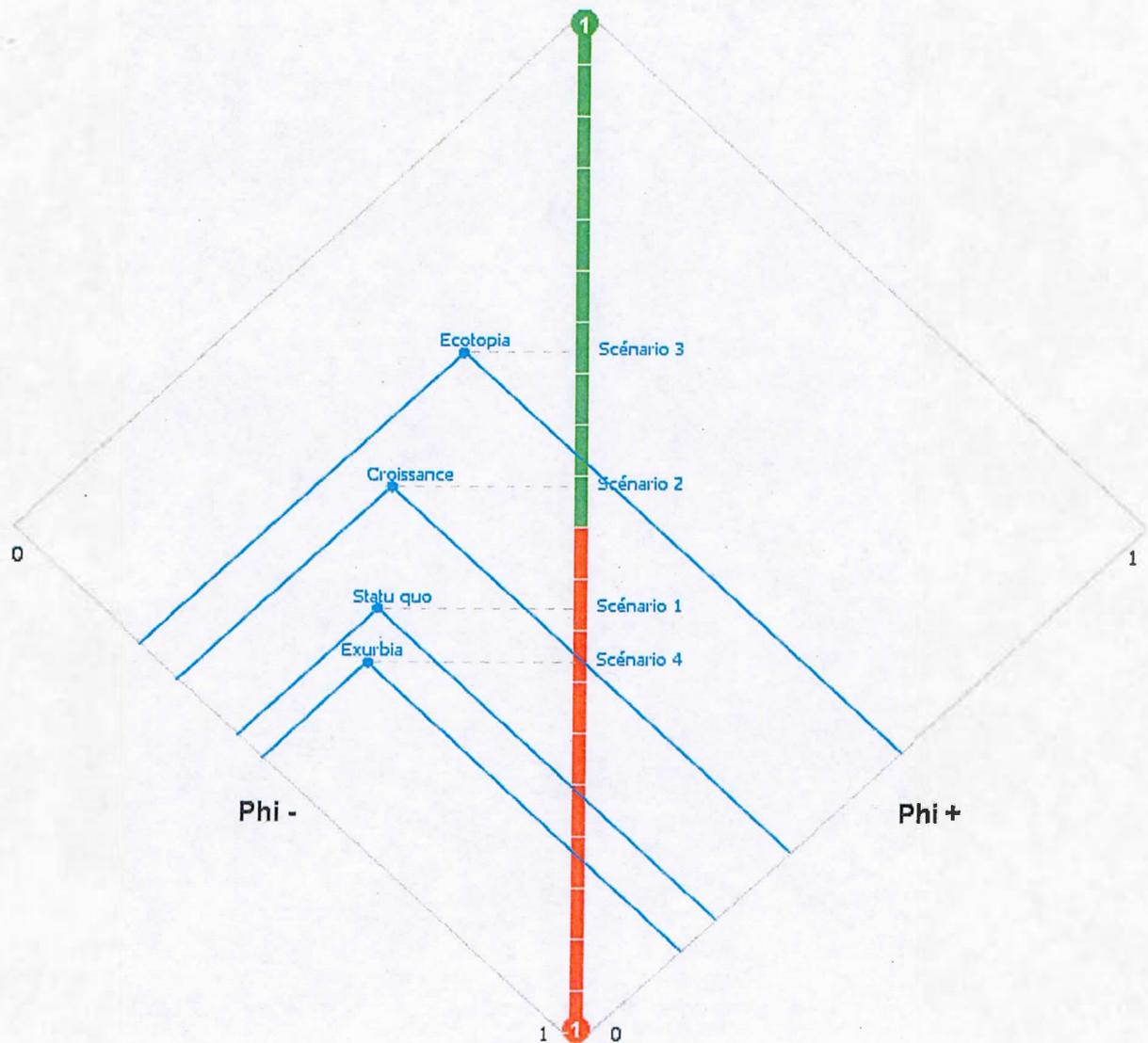


Figure C.3 : Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : FORESTIERS

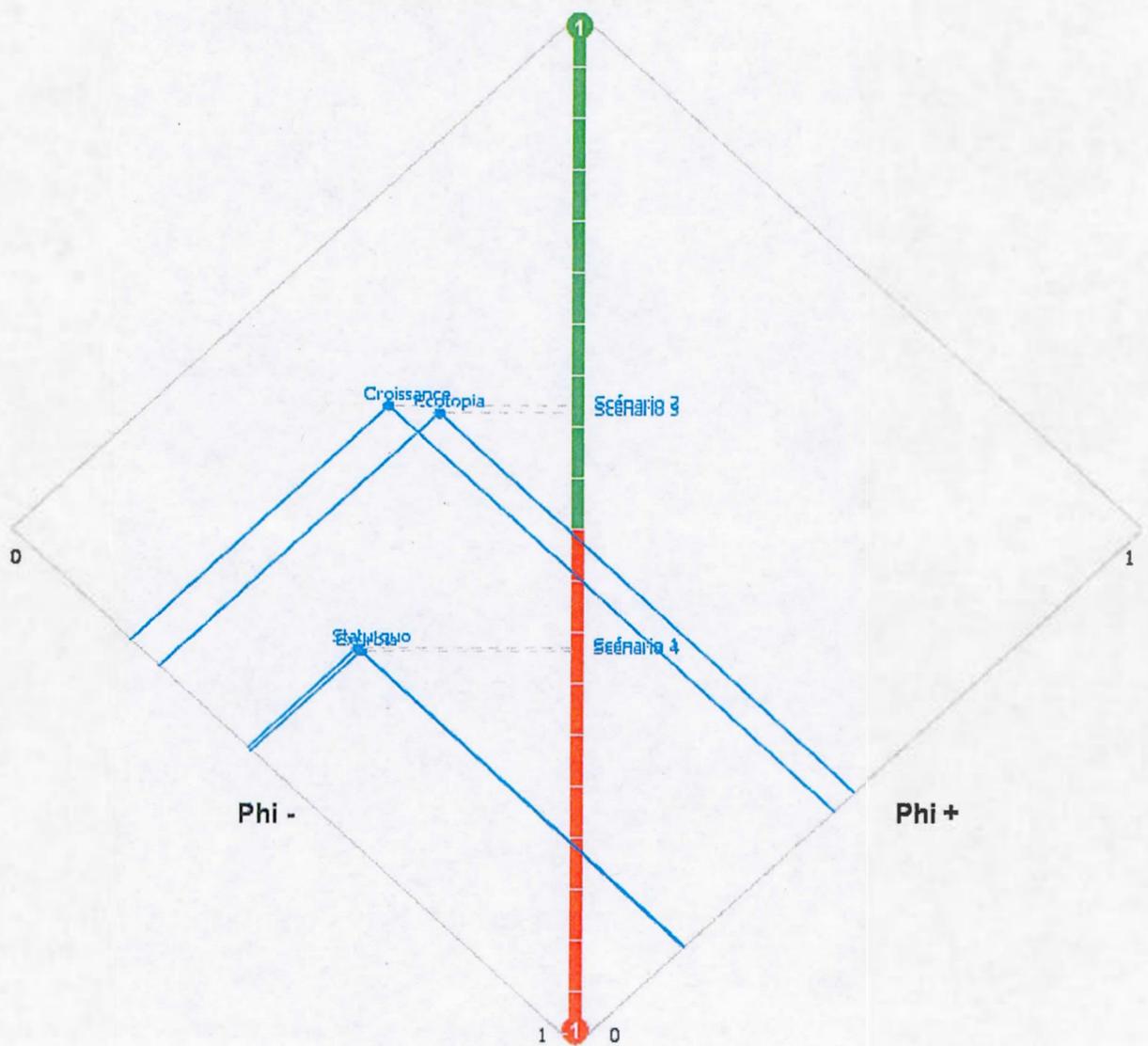


Figure C.4 : Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : NÉORURAUX

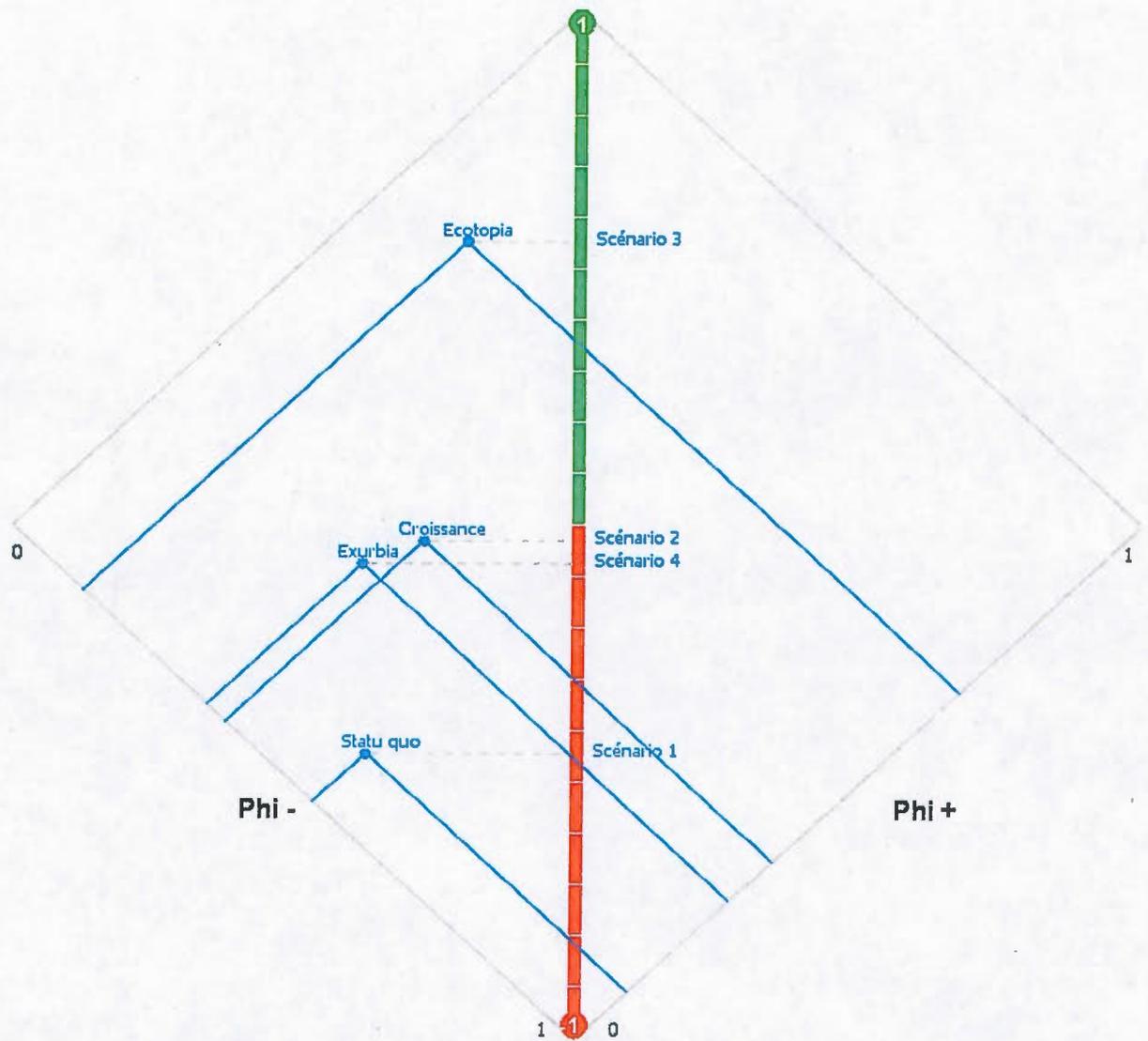
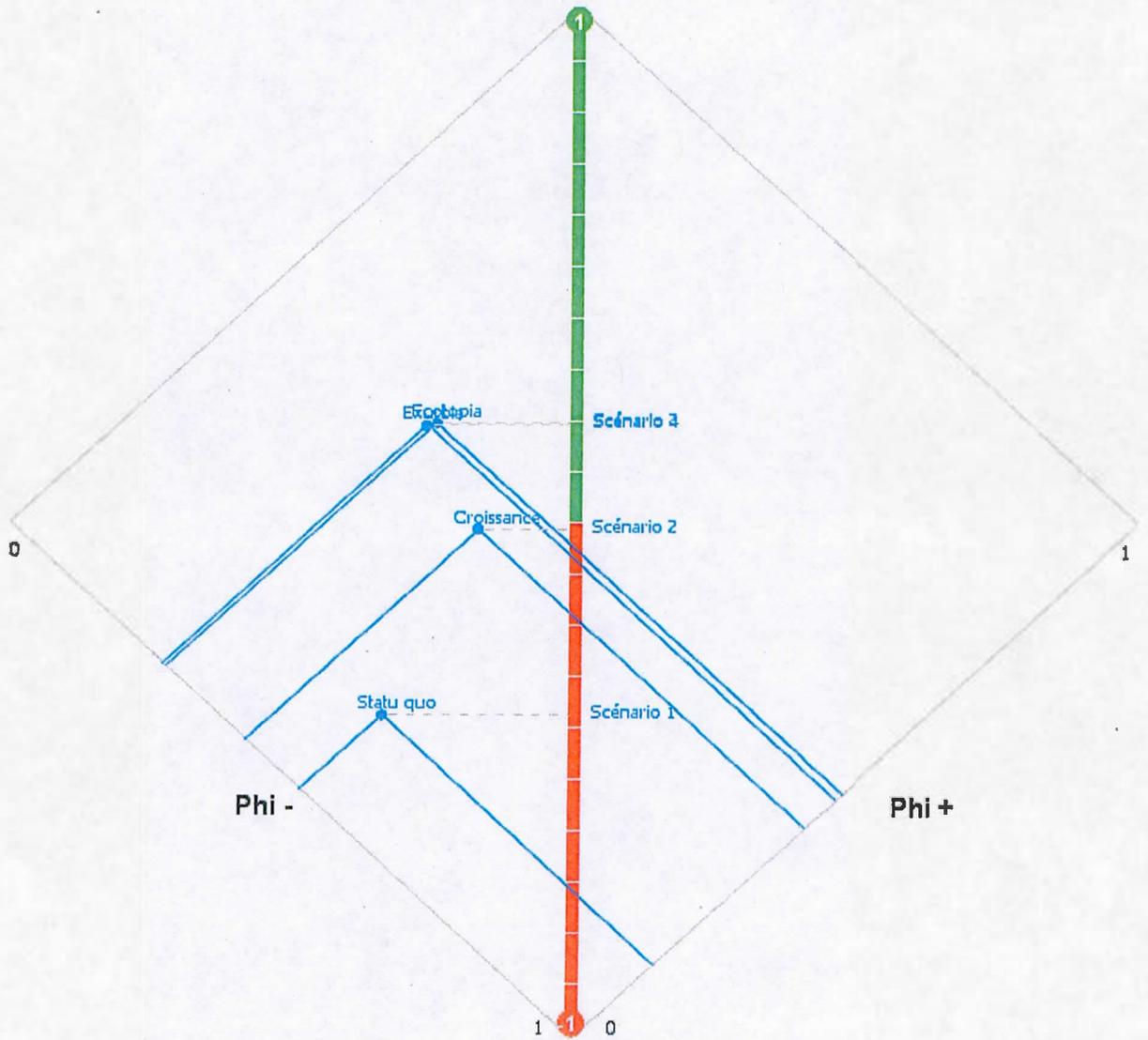


Figure C.5 : Performance individuelle des scénarios par groupe d'acteurs et analyse d'incomparabilité : PROPRIÉTAIRES



APPENDICE D

ARTICLE PUBLIÉ



Développement durable et territoires

Vol. 1, n° 2 (Septembre 2010)
Paysage et développement durable

Jean-François Guay et Jean-Philippe Weaub

Revue critique de trois outils de modélisation intégrée du territoire et de l'environnement pour la planification en Amérique du nord.

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le C4éo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Jean-François Guay et Jean-Philippe Weaub, « Revue critique de trois outils de modélisation intégrée du territoire et de l'environnement pour la planification en Amérique du nord. », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 1, n° 2 | Septembre 2010, mis en ligne le 23 septembre 2010. URL : <http://developpementdurable.revues.org/8566>
DOI : en cours d'attribution

Éditeur | Réseau « Développement durable et territoires fragiles »
<http://developpementdurable.revues.org>
<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :
<http://developpementdurable.revues.org/8566>
Document généré automatiquement le 24 novembre 2011.
© Développement durable et territo.res

Jean-François Guay et Jean-Philippe Waaub

Revue critique de trois outils de modélisation intégrée du territoire et de l'environnement pour la planification en Amérique du Nord.

- 1 *Sensu lato*, on entend par *gestion*, la direction et le contrôle des affaires humaines (Lang et Armour, 1980). Il s'agit d'un processus qui englobe quatre fonctions connexes : (1) la *planification* soit la formulation d'objectifs en vue d'atteindre des buts, l'élaboration et la sélection de plans d'action possibles pour cette atteinte ; (2) l'*organisation* des activités, des relations, des opérations ; (3) la *direction* permettant de mobiliser, informer ; et (4) le *contrôle* servant l'évaluation et le suivi des projets, la rétroaction. Comme fonction de base de la gestion, la planification peut être considérée comme étant l'ajout de rationalité à la prise de décisions collectives aux échelles infranationales de l'État central (Proulx, 2008).
- 2 La planification territoriale est l'objet de débats nombreux. Si traditionnellement le processus est centré sur la gestion réglementaire de l'espace et la maîtrise de la croissance urbaine, cette approche plus radicale ne fait aujourd'hui plus recette (IGU, 2008). D'un autre côté, la planification stratégique (Caron et Martel, 2005 ; Simard et Gagnon, 2007) fixe comme objectif le positionnement essentiellement économique des métropoles. À cet égard, elle se voit reprocher la faible prise en compte des impératifs de préservation de l'environnement et de développement durable bien que éléments soient mieux intégrés que par le passé dans le processus. La planification participative (Margerum et Born, 1995 ; Slocombe, 1998) d'une facture plus récente, intègre mieux que par le passé, les différents champs sectoriels de l'action publique (déplacement, urbanisme, environnement, paysage...). Toutes ces « mutations » se sont traduites par la recherche de nouvelles façons de penser et de traiter un espace. Aujourd'hui, la planification territoriale est synonyme d'approches plus négociées, plus souples, plus intégrées et plus évolutives.
- 3 La planification environnementale par ailleurs est une branche de la planification territoriale qui, depuis les années 1970, s'est préoccupée de l'intendance collective d'une société donnée sur ses ressources (Selman, 2000). Les objectifs de planification environnementale englobent de manière générale l'intégration des considérants traditionnels du développement urbain (transport, localisation spatiale, distribution des services) avec celle des réserves biophysiques à l'origine de la production des biens et services attribuables aux écosystèmes et qui constituent le capital naturel (Boumans et al. 2002). Cette forme de planification vise le développement futur de l'espace géographique selon des visions autres que celles, purement économiques, concernant la localisation et la gestion, et traditionnellement considérées par les urbanistes.
- 4 Globalement, le processus de planification doit produire des idées et non pas uniquement de l'information. Cela est particulièrement vrai en planification « participative » où tout le processus de planification doit être intégré, un dessein qui passe par une compréhension, par les acteurs, par des outils et procédés, et menant à la décision. La légitimité des experts est directement tributaire de cet apprentissage social, lequel par ailleurs ne remet pas du tout en cause l'expertise, mais la rend davantage intelligible. L'utilisation de la connaissance scientifique demeure toutefois prescrite en planification bien que celle-ci doit être cadrée en fonction d'enjeux bien définis. La dérive d'une planification davantage communicationnelle serait d'évacuer les outils de connaissance et d'évaluation pour donner toute la place aux « discussions ». Ainsi, la réalisation d'études mandatées par des parties prenantes et ciblées

prioritairement sur des enjeux doit être privilégiée, plutôt que de viser à ce que toute l'information soit connue a priori comme dans le « comprehensive planning ».

5 Une planification participative mais qui utiliserait à bon escient les outils de connaissance et d'évaluation, se positionnerait vraisemblablement dans le même courant que la démarche que Berke et al. (2006) nomment « intelligence planning » et au sein de laquelle l'information est structurée en concomitance avec des outils informatiques d'analyse, de synthèse et de simulation afin de permettre au praticien de générer une « intelligence » i.e. déterminer les enjeux qui seront ultimement sollicités par les parties prenantes au cours du processus de prise de décision. Le processus n'a pas pour but de se substituer aux décideurs en leur proposant des solutions « toutes faites » mais plutôt de les éclairer et de les guider vers des décisions dont ils conservent la responsabilité (Jallas et Cretenet, 2002).

6 Qu'il s'agisse d'aide à la décision *sensu stricto*, de négociation ou de concertation territoriale, le processus aboutissant à la décision est très fortement transdisciplinaire et fait appel aux sciences de l'environnement, à l'ingénierie ainsi qu'aux sciences sociales et à la gestion de projet (Graillet et Waaub, 2006). Il en résulte une complexité tant aux niveaux conceptuel que méthodologique qui impose l'usage d'outils et de méthodes nombreux et variés : méthodes d'enquêtes et de statistiques, systèmes d'information géographique, aide multicritère à la décision, modèles physiques et/ou conceptuels, méthodes de gestion participative. Les systèmes les plus évolués intègrent aujourd'hui des représentations spatiales, les SIG, les outils multicritères ainsi que les systèmes multiagents (SMA).

7 Trouver les modalités d'une articulation fonctionnelle entre ces outils nécessite une réflexion théorique sur (1) l'objet d'étude lui-même, soit l'environnement, le territoire, le paysage considérés ici comme des systèmes complexes, (2) le potentiel d'intégration des interactions et des contingences environnement/société par l'outil de modélisation, et (3) le potentiel de synthèse de l'information géographique, en terme d'enjeux soutenant l'aide à la décision. Notre contribution vise à présenter trois outils de modélisation de l'espace utilisés en planification territoriale et environnementale au cours de ces 25 dernières années en Amérique du Nord et qui permettent, à notre avis, de détailler cette articulation fonctionnelle : (1) la modélisation cartographique, d'inspiration naturaliste et axée sur les notions développées en écologie du paysage ; (2) la modélisation visuelle ou géovisualisation, portée sur une « virtualisation » du territoire ; et (3) la modélisation spatiale proprement dite, plus intégrée, qui regroupe les automates cellulaires, les approches orientées-individus et multiagents. Chaque approche constitue isolément une tentative de formalisation d'un aspect du système spatial étudié. Ainsi, la cartographie écologique constitue selon nous un pré-requis absolu en planification et qui répond à un besoin particulier, soit celui de comprendre la structure du milieu physique, support aux activités anthropiques. Cependant, cette objectivation du milieu naturel ne doit pas occulter la question du paysage comme processus et foyer d'intégration des interactions entre la société et son environnement. La valeur sémantique que nous lui accordons est celle de la portion visible de l'espace géographique constituée d'artefacts et de structures naturelles et à partir desquels s'établira un ensemble de relations, beaucoup moins tangibles en terme matériel, entre un observateur et son environnement. Ces relations subjectives mais tout aussi porteuses de sens, s'élaborent en vertu d'une chaîne cognitive complexe mettant en relation plusieurs processus propres aux individus : perception spatiale, mémoire, appartenance, affectivité, etc. Aussi, une importance réelle doit être attribuée à cette valeur « visuelle » du paysage, une exigence à laquelle la géovisualisation et les SIG permettent de répondre. Enfin, la compréhension des changements d'état du système, de leurs significations et de leurs impacts sur la dynamique globale du territoire et du milieu devient une préoccupation majeure qui confère au praticien toute la légitimité de son message auprès des acteurs. Cette étude prospective du territoire (Mermet, 2005) introduit l'acteur dans le système

et c'est ici qu'interviennent les SMA, de facture plus récente, destinés à la modélisation des interactions fines entre les individus, et entre les individus et leur territoire.

La modélisation cartographique : l'espace naturel

- 8 Collectivement, la décennie 1970 a été marquée par l'émergence d'une conscience environnementale dont l'expression la plus tangible a été l'établissement d'un rapport de force entre les tenants de visions opposées du développement mettant aux prises une philosophie davantage tournée vers les impératifs de croissance perpétuelle du modèle productiviste et la vision « écologique » du développement, soutenant implicitement que le maintien de la qualité de vie des collectivités repose sur le maintien de l'intégrité des écosystèmes. Si les premiers adhèrent à l'idéologie classique de la croissance économique dans laquelle le capital construit se substitue au capital naturel, les seconds plaident pour un développement durable pour lequel cette substitution n'a pas lieu d'être mais prend plutôt la forme d'une complémentarité, sans perte de capital naturel.
- 9 Selon Rougerie et Beroutchachvili (1991), cette période est également marquée par une rupture avec les discours déterministe et possibiliste classique, et par l'émergence d'une nouvelle approche de l'espace davantage fondée sur l'actualisation des potentiels du territoire pour un meilleur usage social de l'espace. Dans ce contexte, les premières expériences de caractérisation visuelle du territoire de K. Lynch avec ses description des paysages urbains, font apparaître la notion de paysage. C'est aussi avec les travaux de MacHarg notamment dans « Design with nature » paru en 1969 que se confirme cette vision « écologique » du milieu par l'usage d'une méthode qui repose d'une part sur des séries de cartes des caractéristiques écologiques, paysagères et culturelles, superposables et permettant d'évaluer les aptitudes et les contraintes du territoire selon les usages souhaités, et leurs incidences sur le milieu. Le « land suitability » fait ainsi reposer son concept sur la mise en correspondance de l'utilisation du sol avec les attributs physiques du territoire. C'est à l'époque les premières tentatives pour faire émerger les potentiels d'utilisation rationnelle des ressources du milieu et pour identifier les contraintes limitant cette utilisation. L'information dérivée par le croisement de ces couches thématiques permet de localiser les meilleurs emplacements i.e. les sites les mieux adaptés et les plus viables aux divers scénario d'utilisation des ressources physiques du milieu. Dès lors, on parle de planification écologique et l'essentiel de cette approche mise en œuvre par McHarg et Lynch s'est répandu en moins d'une décennie un peu partout dans le monde anglo-saxon. Dès ce moment, partout où on se préoccupe d'aménagement, les notions de paysage et d'écologie deviennent associées l'une à l'autre et ce, dans la continuité des intuitions de Dansereau quelques années auparavant (Dansereau, 1957).
- 10 Par ailleurs, la cartographie écologique, approche qui s'est imposée comme outil d'inventaire du capital naturel des territoires nordiques au Québec (Jurdant et al. 1977 ; Ducruc, 1985), mais aussi ailleurs en Amérique du Nord (Rowe et Sheard, 1981 ; Robitaille et Saucier, 1996), s'inscrit dans un courant similaire, dans la mesure où il est intégrateur, mais davantage axé cette fois sur une conception naturaliste du milieu (Zonneveld, 1989). Conceptuellement, la démarche repose sur les préceptes fondamentaux de l'écologie du paysage à savoir que la configuration visuelle du milieu – ses caractéristiques permanentes à un niveau de perception de l'espace donné, telles que la topographie, le modelé, le relief – révèle en fait une mosaïque d'écosystèmes dont les limites virtuelles sont fondées sur la répartition et la nature de ces éléments permanents (Forman et Godron, 1986). La structure, la composition puis le fonctionnement (implicite) des écosystèmes terrestres sont ainsi déduits à partir de ces formes de terrain lesquelles forment des « limites » écologiques immuables fortement dépendantes de la structure géologique et de la répartition des dépôts de surface (Bailey, 1980 ; Rowe 1992). De nombreuses applications de la cartographie écologique, telle que développée au Québec, ont été réalisées pour un spectre très diversifié d'usages allant de

la connaissance du territoire (Gerardin et Ducruc, 1990), à l'aménagement du territoire, la gestion des bassins versants, ainsi que la planification des activités sylvicoles (Beauchesne et al. 1996). Dans ce cas d'application, les unités de paysage sont décrites par un ensemble de variables permanentes et de variables dynamiques (i.e. dépôts de surface, drainage, pente, etc.) auxquelles sont associées des caractéristiques écologiques comme la texture du sol, la granulométrie, l'humidité, etc. Ces facteurs sont en partie déterminants dans la distribution et la croissance des essences commerciales et sont également fortement corrélés avec certaines contraintes opérationnelles liées aux opérations forestières. Il devient possible avec cette information de dériver des indicateurs écologiques utiles pour le choix de solutions de gestion des écosystèmes forestiers : identification des unités les plus productives, unités les plus sensibles aux opérations forestières, etc. La cartographie écologique a généré un intérêt considérable dans le sillage duquel plusieurs méthodologies et approches ont été développées (Marshall et Schut, 1999 ; USDA, 2002 ; Loveland et Merchant, 2004). Des applications récentes continuent toujours d'être produites (MacMillan et al. 2005 ; Huettman et Diamond, 2006) principalement dans le domaine de la planification écologique des aires protégées où les questions d'échelles spatiales sont fondamentales pour les communautés animales.

La modélisation virtuelle : l'espace visible

- 11 Batty et al. (2000 ; 2004) définissent la géovisualisation comme les représentations et les procédés de représentation de données géoréférencées, de photographies, de vidéos et autres artefacts qui accentuent la communication non textuelle d'information. Or, nous l'avons vu en introduction, une des interprétations du concept de paysage est celle de la portion visible de l'espace constitué de structures naturelles et anthropique à partir desquelles s'établiront un ensemble de relations, beaucoup moins tangibles en terme matériel, entre un observateur et son environnement. Ces relations subjectives mais tout aussi porteuses de sens s'élaborent en vertu d'une chaîne cognitive complexe mettant en relation plusieurs processus : perception spatiale, mémoire, sentiment d'appartenance, affectivité, valeurs, etc. Aussi, c'est par ce regard et cette perception que s'établiront certaines des interactions parmi les plus solides entre les communautés, leur territoire et leur milieu, et c'est sur ce postulat que repose la pertinence de la géovisualisation en planification territoriale et environnementale.
- 12 L'approche du Visual Resources Management a émergé au début des années soixante-dix dans les pratiques de planification des opérations forestières. Cette approche de modélisation du territoire prend assise sur deux théories en architecture du paysage nommément l'esthétique scénique (Carlson, 1977) et l'esthétique écologique (Gobster 1999). C'est toutefois surtout dans le contexte de ce que Sheppard (2001 ; 2003) appelle l'intendance visible (« visible stewardship ») que la géovisualisation prend un sens plus stratégique. Dans son principe, l'intendance visible fait référence à des techniques qui permettent aux gestionnaires des ressources naturelles d'illustrer concrètement la valeur qu'ils accordent à l'environnement et ce, en accord avec les perceptions du public, lesquelles sont par ailleurs généralement à l'opposé des enjeux économiques de l'exploitation d'une ressource. Ces pratiques, dont les effets sont directement perceptibles sur le terrain par des configurations particulières du paysage (un parterre de coupe forestière par exemple) constituent un symbolisme qui équivaut, dans l'esprit du public, à une bonne gestion des ressources (Hull et al. 2009). En d'autres termes, toutes interventions dans un milieu, pour qu'elles soient rendues acceptables par la société, devraient clairement refléter un respect pour cet environnement. À certains égards, l'acceptabilité sociale d'un projet dont l'empreinte écologique est importante pourra être fonction, en partie, de la capacité du public de voir les preuves tangibles que ce projet est écologiquement durable et soigneusement planifié par des individus qui partagent avec eux, le même engagement envers un milieu naturel sain.

- 13 Techniquement, la modélisation « visuelle » du territoire et de l'environnement s'est avérée, depuis une vingtaine d'année, une approche de modélisation largement utilisée pour évaluer les impacts visuels des prises de décision à composante spatiale (Appleton et Lovett, 2005) et les états actuels et futurs d'un territoire (Sheppard, 1986 ; Sheppard et Meitner, 2003 ; MacFarlane et al. 2005). Une distinction doit être établie entre la préparation de l'information à des fins de géovisualisation, soit l'extraction de l'information, et son rendu. Si l'extraction concerne davantage l'exploitation des moyens techniques et de l'information géographique pour identifier les éléments structuraux, les patrons texturaux et le positionnement des entités dans l'espace géographique, le rendu, fait plutôt appel à la représentation et à la diffusion de cette information. C'est sur cet aspect que nous nous attarderons.
- 14 Appleton et al. (2002) recensent trois grandes catégories de rendus 3D du paysage. Le drapage est une technologie fréquemment utilisée. Elle consiste en une superposition d'images ou une combinaison d'images satellitaires ou d'orthophotographies sur une surface 3D, générée par un modèle numérique d'élévation. Le principal intérêt de ce type de visualisation réside dans le fait qu'il ne requiert pas d'importants volumes de données et qu'il permet la visualisation de vastes superficies de territoire, principalement si une image satellite est utilisée plutôt qu'une orthophotographie. Le rendu photoréaliste offre une visualisation haute-fidélité du territoire. Ce type de rendu confère au modélisateur un contrôle sur tous les paramètres du modèle visuel du paysage : couleur, texture et taille des artefacts, luminosité, éclairage de l'environnement, etc. À cet égard, la compilation du rendu peut-être onéreuse en temps, notamment si un grand nombre d'effets visuels est requis. Par ailleurs, les réalités virtuelles constituent des représentations tridimensionnelles et immersives d'espaces réels ou fictifs. L'avantage principal de ces technologies sur les autres types de rendu est de permettre d'intégrer l'univers visuel généré, notamment à l'aide d'interfaces sensorielles et de sonomètres. Les gants de données, lunette de navigation et plus récemment les DBCI (« direct brain-computer interface ») constituent des interfaces homme-machine qui permettent actuellement de naviguer dans des environnements virtuels (Appleton et Lovett, 2003 ; Sang Cho et al. 2007).
- 15 On ne peut pas aborder la géovisualisation en oblitérant la place des systèmes d'information géographiques (SIG) dans ce contexte. Ces systèmes déploient des fonctionnalités de capture, de manipulation, de stockage, d'extraction, de manipulation, d'analyse et de visualisation de données géoréférencées (Aronoff 1989) qui cadrent adéquatement dans les enjeux opérationnels de la géovisualisation. Ainsi, en gestion puis en planification territoriale et environnementale, les SIG ont ouvert d'immenses perspectives pour l'identification des enjeux et l'étude prospective. Ils permettent l'analyse spatiale des interactions, la cartographie numérique, facilitent la modélisation et la communication. En foresterie par exemple, l'intégration de l'imagerie aérienne dans les SIG matriciels puis un peu plus tard de l'imagerie satellitaire ont révolutionné le traitement, la manipulation et l'interprétation d'une information visuelle qui jusque là s'effectuait de manière analogique (Iverson et al. 1989 ; Gustafson et al. 1998 ; White et al. 2006). En outre, les données d'imagerie provenant de capteurs de troisième génération comme le LIDAR (Renslow et al. 2000) permettent aujourd'hui d'évaluer les structures et le volume de biomasse des surfaces forestières en 3D (St-Onge et al. 2004 ; Van Aardt et al. 2008). Il existe toutefois une limite au potentiel de ces outils et elle est directement liée à la qualité du processus de validation terrain de l'information qu'ils permettent de générer. En outre, les extraits typiques du SIG – la carte, les diagrammes et les flux de données – ne sont pas toujours accessibles, cognitivement parlant, pour les acteurs impliqués dans le processus de planification. Une translation sur un support de visualisation constitue la façon adéquate de communiquer « l'intelligence » issue de la modélisation territoriale et environnementale par SIG.

- 16 Le collectif « Collaborative for Advanced Landscape Planning (CALP) » de l'Université de Colombie-Britannique explore depuis quelques années le potentiel de la géovisualisation en planification environnementale l'intégrant dans un système d'aide à la décision en gestion forestière, lequel permet d'évaluer divers scénarios de coupe (Sheppard et Meitner, 2004). À partir de critères et d'indicateurs, développés en consultation avec le public, il devient possible de synthétiser les objectifs économiques, écologiques et sociaux, d'optimiser l'activité de coupe tout en minimisant son impact. La géovisualisation a servi notamment pour induire la discussion, dégager les points de vue des acteurs et faciliter la comparaison des impacts visuels des différents scénarios de coupe.

La modélisation spatiale : l'espace intégré

- 17 Le spectacle d'un assortiment d'objets dans l'espace et de la manière dont ceux-ci sont organisés est, intrinsèquement, neutre. Il ne devient paysage que lorsqu'intervient, chez l'individu une finalité quant à l'usage de ce paysage (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). C'est initialement ce type de regard que le praticien doit porter sur le milieu au moment de « planifier » l'espace. Au sein des systèmes à forte composante sociale, la phénoménologie comme expérience de la conscience intentionnelle des individus, des groupes, des institutions et de la culture, constitue un paradigme qui fait dire à Walliser (2006) que (1) tout acteur humain est doté d'intentionnalité lui permettant de se forger des croyances primaires sur son environnement mais aussi sur les autres acteurs et sur lui-même ; (2) tout acteur humain est doté de réflexivité au sens où il peut analyser sa propre intentionnalité tout comme celle d'autrui. L'intention et la finalité deviennent les corollaires des croyances et des valeurs, des désirs et des objectifs de l'individu ou du groupe. Ce sont la nature puis l'organisation de ces valeurs intrinsèquement subjectives que la planification territoriale et environnementale doit permettre d'apprécier avant de générer « l'intelligence » requise dans la prise de décision.
- 18 Dans un contexte de planification territoriale et environnementale, le problème est généralement de savoir comment simuler les interactions entre les individus, les groupes et la dynamique d'une ressource. Il existe bien sûr plusieurs méthodes empiriques qui conviennent à cette fin, mais une en particulier nous intéresse et permet d'adresser trois questions fondamentales : quel est le lien entre la perception des individus, leur représentation du territoire et de l'environnement et leurs actions ? Quelles sont les relations hiérarchiques qui existent entre les agents, sont-elles synchronisées ou non ? La planification territoriale et environnementale, avant de constituer son « intelligence », sur laquelle repose la décision, doit initier un regard sur ces questions par l'analyse prospective deux catégories d'interaction celles qui s'établissent (1) entre les individus, et (2) entre les individus et leur espace.
- 19 Par ailleurs, la dynamique des systèmes « socioenvironnementaux » que sont le territoire et le milieu est souvent tributaire d'une classe particulière de phénomènes non-prévisibles, souvent contre-intuitifs, qualifiés d'émergents. Ces manifestations peuvent prendre la forme (1) d'une singularité statistique (un regroupement d'individus en cluster sous l'influence d'une distribution aléatoire de facteurs d'incidence), (2) structurelle (l'apparition spontanée d'un réseau de relations nouvelles qui s'établissent entre des entités), ou (3) qualitative, s'il se manifeste sous la forme de propriétés nouvelles acquises par les entités : normes sociales, consensus, comportements, etc. (Dessalles et Phan, 2005 ; Dignum et Dignum, 2009). Un des aspects fondamentaux de ce processus est le pouvoir d'adaptation qu'ils possèdent en vertu des aléas et changements de l'environnement. Ces processus puisent donc leur nature intrinsèque dans l'interaction dynamique avec l'environnement duquel ils ne sont pas totalement dépendants ni auquel ils ne sont restreints. Ils s'en détachent par des propriétés et des régularités génériques applicables dans d'autres environnements. L'environnement est là pour paramétrer des règles comportementales et structurales de base conduisant à l'émergence du phénomène global (Jean, 1997). C'est sur ces considérants que nous orientons notre

réflexion sur des modèles qui doivent permettre d'appréhender, d'une manière dynamique et visuelle, le comportement de ces systèmes à forte composante anthropique. Nous avons identifié deux approches dans cette catégorie dont le formalisme est adapté à ces fins : les automates cellulaires et les modèles orientés-agents.

- 20 L'automate cellulaire est un modèle spatial à deux dimensions qui s'appuie sur la propriété topologique de connectivité entre les entités d'un environnement donné (Shirabe, 2005). Initialement introduit par Von Neumann au milieu des années soixante, les automates cellulaires ont été utilisés à ce jour en planification territoriale et environnementale, en foresterie ainsi qu'en urbanisme (White et Engelen, 1993 ; Batty, 1999 ; Torrens et Nara, 2007). Dans sa forme la plus schématique, l'automate cellulaire est formalisé par un ensemble (i) de cellules formant une grille ; chaque cellule possède un voisinage Ω , constitué minimalement des 4 (voisinage de Neumann) ou 8 (voisinage de Moore) cellules cardinales. Chaque cellule est caractérisée par un état, fonction des états des cellules de son voisinage. Un assemblage de cellules et d'états détermine une configuration du système. Cette configuration est mise à jour à intervalles spécifiques lorsque certaines ou toutes les cellules voient leur état modifié en vertu de règles de transition qui prennent habituellement la forme de structures logiques imbriquées du genre « If (état $\Omega = x$) Then (état $i = y$) ». Selon le phénomène étudié, ces règles de transition seront plus ou moins complexes.
- 21 Le projet iCity (Stevens et al. 2007) constitue un exemple type d'utilisation d'automates cellulaires destinés à la planification territoriale. Dans ce modèle, l'espace urbain est discrétisé en parcelles (cellules) d'utilisation du sol. Ce découpage est basé sur le cadastre et chacune des cellules est caractérisée par l'affectation territoriale sous-jacente : résidentielle, commerciale, industrielle, réseau routier, espace vert, notamment. La variable d'état de la cellule est le niveau de développement atteint par celle-ci (totalement non-développé \leftrightarrow totalement développé). À chaque itération du modèle, cet état est modifié en vertu de 4 phénomènes déterministes : (1) la croissance prévue de la population ; (2) un indice d'attractivité résidentielle ; (3) le nombre de logements requis pour supporter la croissance prévue de la population, et (4) le stock existant de logement. C'est la coordination entre ces phénomènes d'échelle supra-parcellaire – reposant sur des critères objectifs mais également sur des schèmes perceptuels et des représentations – qui va impulser la dynamique globale au système socio environnemental. Chaque changement d'état d'une cellule (totalement non-développé \leftrightarrow totalement développé) induit un changement d'état des cellules adjacentes en vertu de règles décisionnelles particulières ; par exemple, SI le seuil de la population atteint un certain niveau ALORS sélectionner les parcelles à développer dans d'autres affectations.
- 22 L'automate cellulaire répond adéquatement aux exigences méthodologiques induites par la structure naturelle de certains processus ou conditions ponctuels ou continus qui ont cours dans un territoire ou un milieu : diffusion, dispersion, transition, migration, affectation, isotropie, etc. Il permet de simuler l'évolution spatiale d'un territoire à partir de ses conditions intrinsèques i.e. l'état de cellules qui le composent. Mais qu'arrive-t-il si ces conditions initiales sont conférées, non pas par un état statique et ponctuel d'une grille de cellules immobiles, mais plutôt par l'interaction entre des agents qui se meuvent dans un environnement donné comme le font normalement des populations humaines ? C'est ce postulat qui oriente l'usage des modèles multiagents. Cette approche de modélisation est exploitée depuis quelques années pour la modélisation des systèmes complexes à forte composante anthropique. Au sens strict, l'agent est l'équivalent d'un robot logiciel. C'est un programme qui accomplit des tâches en fonction de ce que lui a demandé son auteur (Wooldridge, 2002). Toutefois, leur comportement est caractérisé par des modalités d'interaction avec leur environnement, beaucoup plus sophistiquées que celles qui émergent dans un automate cellulaire (Franklin et Graesser, 1997 ; Wooldridge, 2002). Ils peuvent être réactifs, réagissant simplement aux stimuli environnementaux. Ils peuvent « percevoir » cet

environnement. Les agents les plus évolués pourront adopter un comportement proactif leur permettant d'entreprendre des actions orientées vers un but (Table 1). Ces interactions peuvent être formalisées selon plusieurs types d'architecture et de protocoles (Bousquet et Le Page, 2004). Les architectures basées sur les réseaux neuronaux dans lesquels l'emphase est mise sur les capacités d'apprentissage des agents, les architectures à fonctions paramétriques reposant sur un rationnel économique déterministe (Deffuant, 2001), et le modèle BDI ou « belief – desire – intention » (Haddadi et Sundermeyer, 1996 ; Fasli, 2003 ; Mathevet et al. 2003) sont les plus couramment utilisées dans l'élaboration des modèles multiagents. Les protocoles d'interactions entre agents seront établis à partir de modèles communicationnels (Carlsson et Johansson, 1997) ou encore d'interactions sociales (Moulin, 1997).

Propriétés	Qualités	Signifiants
Réactif	Stimulable	Réagit aux modifications de son environnement.
Autonome	Régulation	Exerce un contrôle sur ses actions.
Efficace	Proactivité	Répond et modifie son environnement.
Communicatif	Diffusion	Communique avec d'autres agents.
Cognitif	Adaptation	Modifie son comportement sur la base d'expériences antérieures.
Mobilité	Mouvement	Capacité de se déplacer dans un environnement
Labilité	Individualité	« Personnalité » de l'agent, état émotionnel.

Tableau 1 : Nature et fonction des agents (Adapté de Franklin et Graesser 1997).

- 23 L'utilisation des modèles multiagents à des fins de planification est bien documentée (Gimblett et al. 2000 ; Gimblett et al. 2005 ; Anwar et al. 2007). Le *Recreation Behaviour Simulator* (RBSim) est un progiciel développé pour analyser les impacts environnementaux des activités de plein-air en milieu naturel. RBSim fait le lien entre les SIG, pour la représentation de l'environnement physique, et la technologie multiagent pour la simulation du comportement des individus. Dans RBSim, l'environnement est modélisé par un SIG matriciel. Chaque cellule possède un état déterminé par des variables de terrain (pente, érosion, etc.). Les agents (randonneurs) sont de deux types. Ils ont été statistiquement agrégés à partir d'un échantillonnage fait sur les fréquentations du secteur : randonneurs experts et randonneurs sociaux. Ces deux types d'agents possèdent des capacités cognitives. Ils peuvent aussi percevoir leur environnement, prendre des décisions sur les informations obtenues et modifier leur comportement selon les conditions qui se présentent à eux dans le terrain virtuel : pente, présence de point de vue, densité de la fréquentation, etc. Ces paramètres contribuent à la mise en action de règles de décision, lesquelles modulent le comportement des agents. Ces règles ont été établies à partir d'un échantillonnage permettant de faire ressortir les préférences des deux types, et ainsi gérer et planifier adéquatement la circulation des randonneurs afin de minimiser les impacts de leurs activités sur le milieu naturel.

Discussion

- 24 L'information colligée au cours de la planification territoriale et environnementale est exploitée à divers moments durant les différentes phases du processus afin de réduire au minimum les incertitudes relatives au milieu (structure, dynamique), les incertitudes relatives aux « valeurs » à sauvegarder, valeurs aussi bien factuelles que perceptuelles (biens et services des écosystèmes, symbolisme, etc.), et les incertitudes relatives au chevauchement des impacts

des décisions dans des secteurs connexes (Lang et Armour, 1980). Cette démarche heuristique d'aide à la décision s'articule autour de ces trois axes et peut être accomplie par l'usage des trois outils de modélisation que nous avons analysés ici. La cartographie écologique constitue une approche de modélisation du milieu dont la validité, sous ses aspects purement théoriques, est bien fondée (Jurdant et al. 1977 ; Allen et Starr, 1982 ; Forman et Godron, 1986). Se situant à mi-chemin dans l'esprit du « land use » et de l'optique écologique, et utilisée en gestion et en planification environnementale, la cartographie écologique fournit un cadre d'analyse comparatif permettant de faire face à des problèmes environnementaux complexes (Loveland et Merchant, 2004 ; Huettmann et Diamond, 2006). Le découpage structurel du milieu selon ses lignes de forces permanentes et l'identification d'un ou des processus dominants à un niveau d'échelle donné, permet d'inférer une dynamique d'ensemble de l'écosystème sous-jacent à l'unité de paysage. Les interprétations écologiques que cette méthode fournit, constituent une assise adéquate pour la planification de l'utilisation des ressources. Il s'agit d'une approche « a priori » qui permet une réelle intégration des interactions entre les variables abiotiques et biotiques sans le biais de l'obligatoire planification qui caractérise les approches qui s'apparentent au « land suitability » (CANADA, 1967). Elle autorise mais uniquement « a posteriori » des typologies et des classifications écologiques plus fonctionnelles. En comparaison, ce degré d'intégration ne nous apparaît pas avoir été atteint par les démarches « land suitability » et selon lesquelles l'architecture physique du milieu n'est pas réellement prise en compte, l'emphase étant mise davantage sur les potentiels et les contraintes actuelles du milieu. Or, les effets de cette façon de comprendre le milieu naturel sont souvent d'autant plus questionnables que les indicateurs utilisés par cette méthode concernant la classification des potentiels et contraintes ne sont pas d'une impartialité rigoureuse mais plutôt établis par l'expert (Rougerie et Beroutchachvili 1991). Après une collecte plus ou moins orientée de l'information, le modèle auquel on parvient se trouve réduit à une expression numérique, matricielle ou cartographique.

- 25 La question du traitement des aspects objectifs et subjectifs de la connaissance intégrée du milieu demeure donc centrale et il faut donc chercher ailleurs la complémentarité entre ces deux aspects. L'utilisation de la visualisation 3D repositionne un peu plus le processus de planification territoriale et environnementale autour de cette intégration en introduisant la cognition spatiale des individus comme élément de structuration du territoire et de l'environnement. Considérant cette dimension, il apparaît que l'étape de la visualisation doit être un passage obligé pour évaluer les impacts visuels des scénarios de planification territoriale. En contexte opérationnel, la simulation prospective par géovisualisation consistera à modifier la composition et la structure du paysage par l'ajout ou le retrait d'éléments naturels ou anthropiques, et de déterminer comment la perception des individus s'en trouve modifiée. C'est sans doute à cet égard que la réelle utilité de la géovisualisation se trouve justifiée, le spectre des diverses perceptions individuelles et collectives servant ici à constituer une base de données qui pourra nourrir une autre forme de modèle. Le choix d'une démarche et d'un outil de géovisualisation requièrent toutefois une analyse minutieuse, à la mesure de la complexité de la planification notamment participative. Elle nécessite de la créativité mais également beaucoup d'expérimentation afin d'établir son seuil réel d'utilité.
- 26 Les approches spatiales (automates cellulaires, systèmes multiagents) offrent un formalisme adapté au caractère spatio-temporel de la planification et de la gestion du territoire et de l'environnement : les automates cellulaires permettent de modéliser avec beaucoup d'acuité l'évolution spatiale du territoire ou de l'environnement, principalement l'utilisation du sol. Le formalisme de cette approche, qui repose notamment sur une discrétisation de l'espace, est en adéquation avec les structures et les dynamiques intrinsèques des phénomènes à la base du processus d'utilisation du sol, pour un territoire : transition, diffusion, migration, affectation, etc. Nous parlons ici de processus matériels inhérents à la dynamique du territoire

et du milieu. L'utilité de cette approche se trouve concentrée dans l'effet de voisinage, la dynamique de chaque portion du territoire ayant une incidence sur la portion adjacente. Toutefois, les processus perceptuels davantage subjectifs et plus élaborés tels que ceux qui sont à la base des interactions socio-paysagères comme la valorisation, les jugements et les choix doivent être pris en compte d'une manière beaucoup plus élaborée. C'est par les approches multiagents qu'il devient possible de formaliser ce spectre le plus raffiné d'interactions société/environnement. Ces approches reposent en effet sur des notions de choix, d'intention, de décisions prises par des acteurs et de leurs impacts sur la dynamique entre acteurs et sur la dynamique territoriale. Ces approches nous apparaissent particulièrement indiquées en planification et en gestion du territoire et de l'environnement et, plus particulièrement, pour l'évaluation environnementale notamment lorsque les protocoles d'interactions entre agents ou individus sont fondés sur un schéma de type BDI (belief – desire – intention) et sur un ensemble de considérants dont la nature relève de besoins préalablement identifiés et qualifiés a priori d'importants par les acteurs. Nous sommes d'avis toutefois, que c'est la structure de modélisation (bottom-up) de ces approches qui constitue un critère discriminant. En effet, une démarche de type hypothético-déductive i.e. qui va du général au particulier et qui implique l'existence d'une théorie de portée générale précédant la vérification, ne semble pas totalement adéquate (Damboise, 1996) dans un contexte opérationnel de planification territoriale. Il n'existe pas en effet de théories préalables, disponibles et admises pour expliquer le comportement des systèmes d'interface société et environnement. Les « lois » qui régissent ces systèmes ne permettent tout simplement pas d'établir adéquatement leur phénoménologie. Une approche davantage inductive i.e. qui va du particulier au général, et qui débute par l'observation de phénomènes particuliers pour ensuite essayer de dégager une théorie plus générale de ces observations, s'impose ici et les approches multiagents sont particulièrement intéressantes dans ce contexte. D'une part, elles reposent sur la façon dont les composants du système sont organisés et interagissent entre eux, plutôt que sur une approche qui tente de recréer et de simuler le comportement du système étudié. Ces approches présentent à cet égard un avantage sur les autres courants de modélisation. La combinaison des modèles multiagents aux filtres multicritères ouvre de nouveaux horizons en lien avec la théorie du choix social.

Conclusion

- 27 Susciter parmi les individus, un regard plus précis et une compréhension accrue des enjeux constitue un aspect fondamental de la planification et partant, du choix des actions à entreprendre pour le praticien. Mais au-delà de ces aspects méthodologiques, c'est à un problème en particulier que nous devons répondre dans cette contribution à savoir comprendre les modalités d'une articulation fonctionnelle entre trois outils de modélisation utilisés dans un contexte opérationnel de planification du territoire et de l'environnement. En filigrane, cette tâche imposait d'amorcer ou de continuer une réflexion théorique sur (1) l'objet d'étude lui-même, soit l'environnement, le territoire, le paysage considérés ici comme des systèmes complexes, (2) le potentiel d'intégration des interactions et des contingences environnement/société par l'outil de modélisation choisi, et (3) le potentiel de sublimation de l'information en terme d'enjeux soutenant l'aide à la décision. À cet effet, nous avons retenu 3 grands courants de modélisation qui se prêtent ou qui présentent un potentiel d'utilisation dans ce contexte : la modélisation cartographique par le biais de l'approche de la cartographie écologique, la modélisation visuelle ou géovisualisation axée sur la « virtualisation » de l'espace et la modélisation spatiale permettant une intégration plus poussée des interactions environnement-société.
- 28 À la lumière de nos constatations, chacun de ces courants de modélisation permet une formalisation adéquate d'un aspect du système étudié : emphase mise sur la structure et le fonctionnement (implicite) dans la modélisation cartographique, sur la structure et sur la

cognition spatiale dans la géovisualisation, et sur la dynamique et les interactions systémiques en modélisation spatiale. Ainsi, la cartographie écologique offre un avantage qui nous apparaît concurrentiel sur l'approche utilitariste du « land suitability ». À notre avis, elle favorise une approche beaucoup plus rigoureuse du milieu naturel ; elle se positionne davantage dans la mouvance de l'approche de l'écologie du paysage dont les fondements scientifiques sont universellement reconnus. La complexité organisationnelle du milieu est plus facilement concevable avec cet outil, et le fonctionnement du système, même s'il demeure implicite, peut être évalué, ce qui ouvre du même coup sur les aptitudes de cette approche à mieux saisir l'impact des décisions sur la dynamique d'ensemble du milieu. Au final, cette approche demeure pour nous la plus objective en termes de connaissance, le milieu étant considéré ici comme un système aux structures bien définies. Elle vise à minimiser les biais de subjectivité.

29 En ce qui touche la géovisualisation, les argumentaires sur la pertinence de cette approche en planification territoriale et environnementale demeurent malheureusement contradictoires à ce jour. Plusieurs auteurs prétendent que la véritable utilité de la visualisation 3D reste ambiguë, l'aspect strictement ludique de cette expérience reste toujours un élément questionnable comparativement aux réels avantages opérationnels qu'elle offre (MacFarlane et al. 2005). Certains auteurs suggèrent toutefois que l'utilisation de la visualisation 3D génère des réponses chez les utilisateurs qui sont similaires à celles induites par l'exposition des utilisateurs aux véritables paysages. Mais, c'est sans aucun doute dans la capacité d'explorer visuellement et d'une manière dynamique un scénario de planification et de constater les impacts des décisions en temps réel, qu'elle est particulièrement informative du point de vue des acteurs (Salter et al. 2007) et apparaît très utile comme outil d'aide à la décision (Sheppard et Meitner, 2005 ; Domon et Ruiz, 2009). Par ailleurs, l'usage des SIG dans un contexte de planification territoriale et environnementale est fondamentalement similaire à celui des cartes analogiques, bien qu'ils soient beaucoup plus sophistiqués (Al-Kodmany, 2002). D'importantes questions d'ordre conceptuel et méthodologique demeurent toutefois dans l'usage de la géovisualisation et des extraits des SIG. Elles portent notamment sur la façon dont les individus et les groupes sociaux vont interagir avec la visualisation 3D en fonction de leurs propres expériences et perceptions du paysage, entre autres. Un cadre théorique serait nécessaire pour comprendre la réponse des individus face aux extraits de géovisualisation et pour standardiser les effets de cette approche de modélisation sur les perceptions, les émotions et les comportements des individus, ce que l'on appelle plus justement la cognition spatiale. L'aspect « boîte noire » de l'usage de la géovisualisation est également soulevé. En effet, le choix d'un niveau adéquat de réalisme, la recherche d'un consensus avec les communautés sur les points de vue et les éléments à visualiser, la présentation aux acteurs d'un ensemble de points de vue, d'angles et de directions de vue, et d'incrément de temps pour les fins de la visualisation doivent à cet égard faire partie du « code d'éthique visuel » du praticien.

30 Un type d'information nous apparaît avoir une importance particulière en planification et il concerne les phénomènes émergents. Ces manifestations sont relatives à certains aspects structurels et dynamiques du système qui échappent à toute rationalisation a priori en raison du fait qu'ils sont révélés uniquement suite aux interactions entre les composants. Nous sommes d'avis que ces phénomènes constituent une information fondamentale en planification et en gestion du territoire et de l'environnement. Leur importance émane du fait qu'ils renseignent sur le degré de stabilité et de résilience d'un système donné à de nouvelles conditions d'environnement, qu'elles soient naturelles, sociales, économiques ou politiques. En outre, et il s'agit ici sans doute de l'aspect le plus important pour le praticien, ces nouvelles conditions s'expriment souvent par l'apparition – l'émergence – de structures adaptatives dans l'espace : réseaux, processus, etc. À cet égard et à défaut d'être rigoureusement prévisibles, ces phénomènes doivent pouvoir être explorés. Ils constituent selon nous une excellente donnée indirecte prospective que nous devons être en mesure d'exploiter.

- 31 Au final, il nous apparaît clair qu'aucune approche n'est totalement intégrative. L'organisation du territoire est de plus en plus complexe à mesure de la graduation dans l'échelle de la hiérarchie des processus. L'existence de ce gradient de complexité ne peut pas être évacuée d'une démarche de planification : complexité dans les processus, et les interactions mais aussi complexité dans l'ensemble des idéologies des acteurs. Or, la simple juxtaposition de modèles ne suffit évidemment pas à rendre compte des enjeux d'un système semblable. Ce dernier point est absolument fondamental. Le territoire, vu ici comme un espace d'investissement social, est un système complexe, une « boîte noire » qui a une finalité et qui pour atteindre cette finalité utilise des éléments endogènes et exogènes (forces, potentiels, contexte, acteurs) et les transforme (en leur donnant une valeur ajoutée) par du travail et des outils. Aussi, les approches de modélisation que nous avons détaillées ici doivent être comprises comme des outils d'aide à la décision. Si elles offrent des avantages indéniables du point de vue de la gestion de l'information et de la génération de « l'intelligence » requise pour la planification, il sera toujours du travail du praticien de les juxtaposer à un protocole permettant une négociation en vue d'une décision dont l'intérêt réside dans la convergence entre les croyances, les valeurs, les intentions des acteurs territoriaux.

Bibliographie

- Allen, T. F. H. & Starr, T. B. (1982) *Hierarchy : Perspectives in Ecological Complexity*. Chicago, IL, USA, University of Chicago Press, 344 pages.
- Anwar M., Jeanneret C., Parrott L., Marceau D.J. (2007) Conceptualization and implementation of a multi-agent model to simulate whale-watching activities in the St. Lawrence estuary in Quebec, Canada *Environmental Modeling and Software* 22 (12) : 1775-1787.
- Appleton, K.J. & Lovett, A.A. (2003) GIS-based visualisation of rural landscapes : defining « sufficient » realism for environmental decision-making. *Landscape & Urban Planning*, 65, 117-131.
- Appleton, K.J. & Lovett, A.A. SÜNNENBERG, G. & DOCKERTY, T. (2002) Visualising Rural Landscapes From GIS Databases : a comparison of approaches, options and problems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, 141-162.
- Appleton, K.J. & Lovett, A.A. (2005) GIS-based visualisation of development proposals : reactions from planning and related professionals. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 321-339.
- Aronoff, S. (1989) *Geographic Information Systems : A Management Perspective*. Ottawa, ON, 294 pages
- Bailey, R.G. (1980) *Descriptions of the Ecoregions of the United States*. USDA Forest Service Misc. Publ. No. 1391, Washington, DC. <http://www.fs.fed.us/land/ecosysmgmt/index.html>
- BATTY, M. (1999) Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 23, 205-233.
- BATTY, M., CHAPMAN, D., EVANS, S., HAKLAY, M., KUEPPERS, S., SHIODE, N., SMITH, A. & TORRENS, P. M. (2000) Visualizing the City : Communicating Urban Design to Planners and Decision Makers. *Center of Advanced Spatial Analysis (CASA) Working Papers Series*. London, University College, 38 pages.
- BATTY, M., STEADMAN, P. & XIE, Y. (2004) Visualization in Spatial Modelling. *Center of Advanced Spatial Analyst (CASA) Working Paper Series*. London, University College, 29 pages.
- Beauchesne, P., J.-P. Ducruc & V. Gerardin. (1996) Ecological mapping : a framework for delimiting forest management units. *Environmental Monitoring and Assessment* 39 : 173-186.
- Berke, P. H., D. Godshalk & E.J. Kaiser (2006), *Urban Land Use Planning*, 5th. ed. Urbana IL. University of Illinois Press.
- BOUMANS, R., COSTANZA, R., FARLE, J., WILSON, M. A., PORTELA, R., ROTMANS, J., VILLA, F. & GRASSO, M. (2002) Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. *Ecological Economics*, 41, 529-560.

- BOUSQUET, F. & LE PAGE, C. (2004) Multiagent simulations and ecosystem management : a review. *Ecological Modelling*, 176, 313-332.
- CANADA, Département de la foresterie et du développement rural. (1967). *The Canada land inventory : Land capability classification for forestry*. Report no.4, 26 pages.
- CARON, A et R.P MARTEL.(2005) *La vision stratégique du développement culturel, économique, environnemental et social*. Québec, Ministère des Affaires municipales et des régions (MAMR), 38 p.
- CARLSSON, B. & JOHANSSON, S. (1997) An Iterated Hawk-and-Dove Game. In WOBCKE, W., PAGNUCCO, M. & ZHANG, C. (Eds.) *Agents and Multi-Agent Systems Formalisms, Methodologies, and Applications, Based on the AI'97 Workshops on Commonsense Reasoning, Intelligent Agents, and Distributed Artificial Intelligence*, Perth, Australia, December 1, 1997. Springer, 240 pages.
- DAMBOISE, G. (1996) « Les perspectives de recherche » In *Le projet de recherche en administration : un guide général à sa préparation*, pp 13-75. Faculté des sciences de l'administration, Pavillon Palasis-Prince, Presse de l'Université Laval, 6 pages.
- DANSEREAU, P. (1957) *Biogeography, An Ecological Perspective*, New York, Ronald Press Co., 1957.
- DEFFUANT, G. (2001) *Improving agri-environmental policies : a simulation approach to the cognitive properties of farmers and institutions*. Final report of the FAIR3 CT 2092 project, Cemagref, Aubière, France, 191 pages
- Dessalles J.L. & Phan D. (2005). Emergence in multi-agent systems :Cognitive hierarchy, detection, and complexity reduction, Publication en-ligne du *Computing in Economics and Finance 2005*257, Society for Computational Economics.
- Ducruc, J.-P. (1985) *L'analyse écologique du territoire au Québec : l'inventaire du capital-nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord*. Ministère de l'Environnement du Québec, Série de l'inventaire du capital-nature N° 6, 192 pages.
- FASLI, M. (2003) Interrelations between the BDI primitives : Towards heterogeneous agents. *Cognitive Systems Research*, 4, 1-22.
- FORMAN R. T. T. et M. GODRON (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Son, New York. 619 pages.
- FRANKLIN, S. & GRAESSER, A. (1997) Is it an agent, or just a program ? : A taxonomy for autonomous agents. *Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*. Berlin, Springer-Verlag, 10 pages.
- Gerardin, V. & Ducruc J.-P. (1990) The ecological reference framework for Québec : a useful tool for forest site evaluation. *Vegetatio* 87 : 19-27.
- GIMBLETT, R. (2005) Human-Landscape Interactions in Spatially Complex Settings : Where are we and where are we going ? In ZERGER, A. & ARGENT, A. (Eds.) *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation* Melbourne, Australia, 10 pages.
- GIMBLETT, R., DANIEL, T. & MEITNER, M. J. (2000) An Individual-Based Modeling Approach to Simulating Recreation Use in Wilderness Settings. In : Cole, David N. ; McCool, Stephen F. ; Borrie, William T. ; O'Loughlin, Jennifer, comps. 2000. *Wilderness science in a time of change conference, Volume 4 : Wilderness visitors, experiences, and visitor management* ; 1999 May 24-27 ; Missoula, MT. Proceedings RMRS-P-15-VOL-4. Ogden, UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 99-106
- Gobster, P. H. (1999) An ecological aesthetic for forest landscape management *Landscape Journal*. 18(1) : 54-64.
- GRILLOT D. et WAAUB J.P. (2006) *Aide à la décision pour l'aménagement du territoire : méthodes et outils*. Paris : Lavoisier : Hermès Sciences, 436 pages
- HADDADI, A. & SUNDERMEYER, K. (1996) Belief-desire-intention agent architectures. In O'HARE & JENNINGS (Eds.) *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. Wiley, New-York, 169-187.
- Huettmann, F. et Diamond A.W. (2006) Large-scale effects on the spatial distribution of seabirds in the Northwest Atlantic *Landscape Ecology* 21 :1089-1108
- Hull, B., S.F. Ashton, R. M. Visser, et M. C. Monroe. (2008). *Forest Management in the Interface : Practicing Visible Stewardship*. Florida Cooperative Extension Service Fact Sheet, FOR 177. University

of Florida, UF/IFAS EDIS (Electronic Data Information Source) Database, <http://edis.ifas.ufl.edu/FR237>

Institut d'urbanisme de Grenoble. (2008) « La planification territoriale : imaginer, anticiper et organiser » In *Actes du 4^e Rencontres internationales de Recherche en urbanisme de Grenoble*, (Grenoble, 7et 8 février 2008).

Iverson, L.R., Cook, E.A. et Graham R.L. (1989). A Technique for Extrapolating and Validating Forest Cover Across Large Regions Calibrating AVHRR Data With TM Data. *International Journal of Remote Sensing* 10(11) :1805-1812.

JALLAS E., CRÉTENET M.. (2003). Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles : note introductive In : Jamin Jean-Yves (ed.), Seiny Boukar L. (ed.), Floret Christian (ed.), *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun, 27-31 mai 2002*. Montpellier : CIRAD, 8 pages.

JEAN, M.R. (1997) Emergence et SMA. In *Actes des 5^{ème} Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Quinqueton, Thomas, Trousse (eds), Hermes, p. 323-342

JURDANT, M., BÉLAIR, J.L., GÉRARDIN, V. & DUCRUC, J.P. (1977) *L'inventaire du Capital-Nature*. Ottawa, Environnement Canada, série Classification écologique n° 2, 202 pages.

LANG, R., ARMOUR, A. (1980) *Livre-ressource sur la planification de l'environnement*. Environnement-Canada, Ottawa, Multiscience Publications Ltée, 388 pages.

LOVELAND, T.R. et MERCHANT M.J. (2004) Ecoregions and Ecoregionalization : Geographical and Ecological Perspectives. *Environmental Management* vol. 34, Suppl. 1, pp. S1-S13

MACFARLANE, R., STAGG, R., TURNER, H. & LIEVESLEY, M. (2005) Peering through the smoke ? Tensions in landscape visualization. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 341-359.

MacMillan, R. A., Moon, D.E., Coupé, R.A. (2005) Automated predictive ecological mapping in a Forest Region of B.C., Canada, 2001-2005 *Geoderma*, 140, 4, 353-373.

Margerum, Richard D. and Stephen M. Born. 1995. « Integrated environmental management : Moving from theory to practice. » *Journal of Environmental Planning and Management*, 38, 3 : 371-391.

Marshall, I.B. ; Schut, P.H. (1999) Un cadre écologique national pour le Canada. Environnement Canada, Direction générale de la science des écosystèmes, et Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction de la recherche. Ottawa (Ontario).

MATHEVET, R., BOUSQUET, F., PAGE, C. L. & ANTONA, M. (2003) Agent-based simulations of interactions between duck population, farming decisions and leasing of hunting rights in the camargue (southern France). *Ecological Modelling*, 165, 107-126.

MCHARG, I. (1969) *Design with nature*, Natural History Press, Garden City, NY. 197 pages.

Mermet L. (2005). *Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales*. P.I.E.-Peter Lang, EcoPolis. vol. 5, 411 pages.

MOULIN, B. (1997) The Social Dimension of Interactions in Multiagent Systems. IN W. Wobcke, M. Pagnucco, C. Zhang (eds), *Agents and Multi-Agent Systems, Formalisms, Methodologies and Applications*, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1441, Berlin : Springer Verlag, pp. 109 - 122.

Proulx, M.-U. (2008) « Quarante ans de planification territoriale au Québec », IN Gauthier, M., Gariépy, M. & Trépanier, M.O. (Ed.) *Renouveler l'aménagement et l'urbanisme. Planification territoriale, débat public et développement durable*. P.U.M. Montréal, pp. 23-54

Robitaille, A. & Saucier, J.-P. (1996). Land district, ecophysiographic units and areas : The landscape mapping of the Ministère des Ressources naturelles du Québec. *Environmental Monitoring and Assessment* 39, pages 127- 148.

ROUGERIE, G. & BEROUCHACHVILI, N. (1991) *Géosystèmes et paysages : bilan et méthodes*. Paris, Armand Colin, 302 pages.

Rowe, J.S. 1992. Site classification : Prologue. *The Forestry Chronicle* 68 : (1) : 22-24.

Rowe, J.S., & J.S. Sheard. 1981. Ecological Land Classification : A survey approach. *Environmental Management*. 5(5) : 451-464.

Ruiz J. et G. Domon (2009) Aménagement des paysages en zone d'agriculture intensive. *Conférence dans le cadre de la Réunion de la table des conseillers en aménagement et en développement rural du MAPAQ*, 9 avril 2009, Orford.

Salter J. D., Campbell, C., Journeay, M., Sheppard, S. R.J. (2008). The digital workshop : Exploring the sea of interactive and immersive visualisation tools in participatory planning, *Journal of Environmental Management* doi :10.1016/j.jenvman.2007.08.023

SANG CHO H., PARKK.S., KIM Y., KIM,C.S., MINSOO H. (2007) Effects of Virtual Reality Display Types on the Brain Computer Interface System In SPRIGER-BERLIN (Ed.) *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction*.

SELMAN P. H., (2000) *Environmental planning : The Conservation and Development of Biophysical Resources*, Sage Publications Ltd ; 2nd edition, 320 pages.

SHEPPARD, S. R. J (1986) Simulating changes in the landscape In SMARDON, R., PALMER, J. & FELLEMAN, J. (Eds.) *Foundations for Visual Project Analysis*. New-York, Wiley, 14 pages.

SHEPPARD, S. R. J. & MEITNER, M. (2005) Using multicriteria analysis and visualization for sustainable forest management planning with stakeholder groups. *Forest Ecology and Management*, 207, 171-187.

Sheppard, S.R.J. (2001) Guidance for crystal ball gazers : Developing a code of ethics for landscape visualization. *Landscape & Urban Planning* 54 (1-4), 183-199.

SHIRABE, T. (2005) Modeling Topological Properties of a Raster Region for Spatial Optimization. In FISHER, P. F. (Ed.) *Developments in Spatial Data Handling*. Berlin, Springer, 407-421.

SIMARD, P., et C., GAGNON (2007) « La vision stratégique. Se donner une vision commune de notre avenir ». IN GAGNON, C. (Éd) et E., ARTH (en collab. avec). *Guide québécois pour des Agendas 21^e siècle locaux : applications territoriales de développement durable viable*, [En ligne] http://www.a21l.qc.ca/9577_fr.html

Slocombe, D. S. (2008) « Forty Years of Institutional Change and Canadian Protected Areas, or, Are things getting better or just more complicated ? » Paper Commissioned for Canadian Parks for Tomorrow : 40th Anniversary Conference, May 8 to 11, 2008, University of Calgary, Calgary, AB.

STEVENS, D., DRAGICEVIC, S. & ROTHLEY, K. (2007) iCity : A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision making. *Environmental Modelling & Software*, 22, 761-773.

St-Onge, B., J. Jumelet, C. Vega et M.-Cobello. (2004). Measuring individual tree height using a combination of stereophotogrammetry and lidar. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 : 2122-2130.

TORRENS, P. M. & NARA, A. (2007) Modeling gentrification dynamics : A hybrid approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 337-361.

USDA FOREST SERVICE, (2002) *Proceedings : Land Type Associations Conference : Development and Use in Natural Resources Management, Planning and Research*, Smith, M.J. (ed). April 24 – 26, 2001 University of Wisconsin Madison, Wisconsin

van Aardt, J.A. ; Wynne, R.H. ; Scrivani, J.A., (2008) Lidar-based Mapping of Forest Volume and Biomass by Taxonomic Group Using Structurally Homogenous Segments, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74, 8, pp. 1033-1044

WALLISER, B. (2006). Les phénomènes émergents. Publication en-ligne. Inédit. <http://www.pse.ens.fr/walliser/pdf/phenom.pdf>

White, J., Wulder, M. et Grills, D. (2006) ; Detecting and mapping mountain pine beetle red attack damage with SPOT-5 10 m multispectral imagery, *BC Journal of Ecosystems and Management*, vol. 7, No. 2, pp. 105-118.

WHITE, R. & ENGELEN, G. (1993) Cellular Automata and Fractal Urban Form : A Cellular Modeling Approach to the Evolution of Urban Land Use Patterns. *Environment and Planning A*, 25, 1175-1199.

WOOLDRIDGE, M. (2002) *An Introduction to Multi-agent Systems*, Cambridge. Wiley, 348 pages.

Zonneveld, I. (1989) The land unit : a fundamental concept on landscape ecology. *Landscape ecology*, 3 (2) : 67-89

Pour citer cet article

Référence électronique

Jean-François Guay et Jean-Philippe Waaub, « Revue critique de trois outils de modélisation intégrée du territoire et de l'environnement pour la planification en Amérique du Nord. », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 1, n° 2 | Septembre 2010, mis en ligne le 23 septembre 2010.
URL : <http://developpementdurable.revues.org/8566>

À propos de**Jean-François Guay**

Jean-François Guay est géographe. Il occupe comme fonction principale le poste de conseiller scientifique au sein du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et est chercheur-doctorant à l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université du Québec à Montréal. Ses travaux portent principalement sur la modélisation spatiale du territoire et de l'environnement ainsi que sur la simulation de scénario de planification territoriale à l'aide des SIG et systèmes multiagents. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Direction générale du développement régional et du développement durable - Région Chaudière-Appalaches, 675, route Cameron, Sainte-Marie (Québec), G6E 3V7, Téléphone : (418) 386-8116 #1521, Courriel : jean-Francois.Guay@mapaq.gouv.qc.ca

Jean-Philippe Waaub

Jean-Philippe Waaub est professeur titulaire au département de géographie de l'Université du Québec à Montréal. Il est directeur du Groupe d'études interdisciplinaires en géographie et environnement régional (GEIGER) ainsi que membre du Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (GERAD). Ses travaux portent principalement sur l'évaluation environnementale (impacts, suivi, participation, évaluation stratégique), l'aide multicritère à la décision, ainsi que la modélisation énergie et environnement (changements climatiques). Il est l'auteur de Gauthier, M., Simard, L., Waaub, J.-P. 2010, "Public participation in strategic environmental assessment (SEA) : critical review and the Quebec (Canada) approach". Accepted for publication 31-01-10 in *Environmental Impact Assessment Review*. Boubacar, D., Waaub, et J.-P., 2007, « Études d'impacts des projets routiers et protection des ressources forestières en milieu de savane africaine : l'exemple du Niger », *BELGEO*, no 2. Manuscrit 2005. De Jong, M., Waaub, J.-P., 2007, "Policy models and Developing Countries". Special issue in *Knowledge, Technology and Policy*. vol. 19, No 4. Graillet, D., Waaub, J.-P., 2006, « Aide à la décision pour l'aménagement du territoire : méthodes et outils ». Série Aménagement du territoire (Traité IGAT), Hermès, Lavoisier, London, Royaume-Uni. Département de géographie, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succ. Centre-ville, Montréal (Québec) H3C 3P8, Canada. Tél. (514) 987-3000 #8908. Courriel : waaub.jean-philippe@uqam.ca

Droits d'auteur

© Développement durable et territoires

Résumé / Abstract

Le processus de planification territoriale et environnementale a pour objectif de produire à la fois des idées tout autant que de l'information afin d'éclairer et de guider les praticiens en aménagement du territoire vers des décisions dont ils conservent, ultimement, la responsabilité. Il en résulte une complexité tant aux niveaux conceptuel que méthodologique qui impose l'usage d'outils et de méthodes nombreux et variés : méthodes d'enquêtes et de statistiques, systèmes d'information géographique, aide multicritère à la décision, modèles physiques et/ou conceptuels, méthodes de gestion participative etc. Trouver les modalités d'une articulation fonctionnelle entre ces outils et leurs objets nécessite une réflexion sur (1) l'objet d'étude lui-même, (2) le potentiel d'intégration des interactions et des contingences environnement/société par l'outil de modélisation, et (3) le potentiel de

synthèse de l'information géographique, en termes d'enjeux soutenant l'aide à la décision. Notre contribution vise à présenter trois outils de modélisation utilisés en planification territoriale et environnementale au cours de ces 25 dernières années en Amérique du Nord. Ces trois outils sont (1) la modélisation cartographique, d'inspiration naturaliste et axée sur l'objectivation du milieu physique, (2) la modélisation visuelle ou géovisualisation, davantage dirigée vers le paysage, et (3) la modélisation spatiale proprement dite qui regroupe les automates cellulaires et les approches multiagents, destinés à la modélisation des interactions fines entre les individus, et entre les individus et leur territoire. Ces trois approches constituent un corpus d'outils dont l'intérêt d'utilisation réside dans le traitement qu'ils permettent d'un aspect en particulier de l'espace géographique : le milieu naturel, le paysage, le territoire, lesquels composent le géosystème.

Mots clés : géovisualisation, système multiagent, simulation, modélisation, environnement, paysage, méthodologie, planification

Regional planning process must produce ideas, not only geographical information. Moreover, this process is not intended to substitute to the role of decision-makers but rather to inform them and guide them towards decisions for which they preserve responsibility. There is a large set of tools and methods existing to assume the inherent complexity of regional planning process : statistics and surveys, GIS, multicriteria decision aid, physical and/or conceptual model, participatory methods etc. Finding a functional articulation between these tools and their objects requires a reflection on (1) the object of study itself, (2) the integration capabilities of the tools, and (3) their synthesis capabilities. Here, we are addressing three modeling tools used in territorial and environmental planning during the past 25 years in North America. This tool set is based on (1) ecological mapping where focus is put on the description of natural/physical landscape, (2) landscape-oriented visual modeling or geovisualization, and (3) spatial modelling which includes cellular automata and multiagent systems which use are intended for the detailed modeling of interactions between individuals and between individuals and their living space. These three approaches are forming a corpus of tools that allow us to address one of the aspects of geographical space : the natural environment, the landscape, the territory, which built-up the geosystem.

Keywords : regional planning, method, landscape, geosystem, simulation, modeling, system, agent-based model, geovisualization