

**APPROCHE SYSTÉMIQUE ET PARTICIPATIVE
DU DIAGNOSTIC URBAIN.
PROCESSUS DE REPRÉSENTATION COGNITIVE
DU SYSTÈME URBAIN EN VUE DE L'ÉLABORATION
D'INDICATEURS GÉOGRAPHIQUES.**

THÈSE N° 3216 (2005)

PRÉSENTÉE À LA FACULTÉ ENVIRONNEMENT NATUREL, ARCHITECTURAL ET CONSTRUIT

Institut du développement territorial

SECTION DES SCIENCES ET INGÉNIERIE DE L'ENVIRONNEMENT

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

Gilles DESTHIEUX

ingénieur du génie rural diplômé EPF
de nationalités suisse et française et originaire de Genève (GE)

acceptée sur proposition du jury:

Prof. F. Golay, Prof. F. Joerin, directeurs de thèse
Prof. B. Debarbieux, rapporteur
Prof. J. Lévy, rapporteur
Dr R. Prélaz-Droux, rapporteur

Lausanne, EPFL
2005

Remerciements

Ce travail de thèse est le fruit d'une synergie entre les compétences, la disponibilité, les encouragements et l'affection de nombreuses personnes que je désire toutes remercier chaleureusement.

J'exprime tout d'abord ma grande gratitude à mes directeurs de thèse, Françoise Golay et Florent Joerin, qui m'ont aidé, par leur encadrement et leur disponibilité, à relever le défi d'un sujet vaste et audacieux. Ils m'ont accordé leur pleine confiance et ont été de véritables partenaires dans des échanges d'idées très fructueux et stimulants pour mon travail. Comment ne pas remercier aussi Roland Prélaz-Droux qui m'a accompagné au départ de l'aventure.

Je tiens à également à remercier Bernard Debarbieux et Jacques Lévy qui ont évalué mon travail en jouant pleinement le jeu de l'interdisciplinarité.

Le projet CITYCOOP, dans lequel s'inscrit le travail, s'est déroulé dans une atmosphère très amicale durant quatre années. Je tiens ainsi à remercier celles et ceux qui ont fait partie de l'équipe : Florent Joerin, Aurore Nembrini, Sandrine Billeau, Sylvie Mouquin, Marie-Claire Rey, Hy Dao, ainsi que les membres du comité de pilotage. Je ne désire pas oublier non plus le Centre universitaire d'écologie humaine (CUEH) de l'Université de Genève et ses collaborateurs qui m'ont accueilli durant certaines périodes.

J'exprime ma reconnaissance aux différentes personnes à Genève et à Québec qui ont été d'une grande disponibilité en m'accordant des entretiens, qui constituent la matière première de mon travail.

Un grand merci aussi à ceux qui ont contribué à la réalisation du travail : Flourentzos Flourentzou pour ses éclairages dans le domaine passionnant du constructivisme, Alexandre Repetti et Joël Chételat pour les échanges en matières d'indicateur, respectivement de diagnostic. Aux personnes qui m'ont permis d'améliorer la qualité du rapport par leur relecture et leurs remarques pertinentes : Alexandre Repetti, Flourentzos Flourentzou, Hy Dao, Abram Pointet et Jean-Pierre Desthieux, pour les corrections de forme.

Je souhaite avoir une pensée pour les collègues des deux structures d'accueil successives qui m'ont procuré de très bonnes conditions de travail, à savoir l'HYDRAM et le LASIG, en particulier les personnes avec lesquelles j'ai partagé mon bureau : Nicolas Roost et Gilles Gachet. Sans oublier le CRAD et l'ESAD de l'Université Laval à Québec qui m'ont accueilli pour un stage doctoral très enrichissant.

Toute ma reconnaissance va à l'Office fédérale de l'éducation et de la science (OFES) qui a assuré la majeure partie du financement de cette recherche.

Enfin, j'adresse toute mon affection à ma famille et en particulier à Gloria, mon épouse, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette aventure.

Les phénomènes, tant sociaux et économiques qu'environnementaux, de même que la présence de groupes d'acteurs ayant des intérêts divergents et contradictoires, mettent en évidence la complexité de la conduite de projets urbains. Face à ces difficultés, les instruments traditionnels de gestion urbaine, souvent mis en œuvre selon une approche sectorielle et d'expert, ne sont pas toujours adaptés. De plus, les informations mises à disposition sur le territoire sont paradoxalement en trop grande quantité, mais pas suffisamment pertinentes et synthétiques pour une compréhension de la complexité urbaine.

Dans ce contexte, la présente recherche s'est fixée pour objectif de développer une méthode d'élaboration de systèmes d'indicateurs pertinents à partir des représentations cognitives que se construisent les acteurs de la complexité urbaine ; ceci, en vue de renforcer les diagnostics territoriaux dans le cadre des processus participatifs de décision sur le territoire. Or, les divergences sur les représentations de la complexité sont souvent sources de conflits, chaque acteur utilisant sa propre représentation pour défendre son point de vue dans un débat.

La prise en compte de ces divergences dès les étapes initiales du processus décisionnel devrait alors contribuer à mieux structurer le débat et gérer les conflits autour d'un projet territorial, en mettant à plat les points de vue et en identifiant un espace de discussion entre différents groupes de représentations. Cela permet de formuler un diagnostic cohérent avec le mode de fonctionnement cognitif des acteurs et leurs perceptions du contexte territorial.

Notre réflexion méthodologique se concrétise par le développement d'un prototype d'interface de conception qui aide les acteurs à construire formellement les représentations qu'ils se font des phénomènes complexes, en les organisant sur une base à la fois dialectique (discours, discussion) et didactique (apprentissage sur la complexité). Le système de phénomènes ainsi produit se présente sous la forme d'un modèle causal. L'interprétation de ce modèle permet de mettre en évidence les phénomènes critiques en considérant les cheminements causaux préférentiels, et de faire ressortir les enjeux défendus par l'acteur. A travers sa représentation cognitive de la complexité urbaine, l'acteur s'affirme dans son individualité. Il peut ensuite débattre et discuter avec d'autres acteurs ayant eux aussi construit leur propre représentation.

A partir des représentations individuelles, il se pose la question de comment les rapprocher dans l'optique d'une représentation collective du territoire. Ce rapprochement peut se faire dans une forme délibérative. Mais il est proposé au préalable d'accompagner et de structurer les débats en effectuant un regroupement des modèles individuels à l'aide d'outils analytiques (classification, agrégation). Les modèles de groupe font ressortir les éléments convergents et divergents de compréhension de la complexité urbaine, dans l'optique de créer un espace de discussion et de préparer la négociation sur les solutions de décision.

Des systèmes d'indicateurs sont proposés à partir des groupes de représentation. Les indicateurs sont sélectionnés afin de traduire d'une part les convergences sur les principaux phénomènes identifiés, d'autre part les relations causales pour lesquels de fortes divergences existent. Sur ces dernières, les indicateurs peuvent contribuer à résoudre une partie des conflits en apportant un éclairage sur les faits territoriaux. Les indicateurs sont élaborés en utilisant les opérateurs spatio-thématiques des systèmes d'information géographique. Un concept d'interface est proposé pour faciliter la communication de systèmes d'indicateurs géographiques.

Pour appuyer notre raisonnement, nous avons illustré et appliqué la méthodologie de modélisation systémique des phénomènes urbains à travers des entretiens individuels, d'une part auprès d'acteurs ayant participé à un processus de diagnostic dans un quartier à Genève,

d'autre part auprès d'acteurs impliqués dans la problématique des banlieues à Québec. Ces entretiens ont montré l'intérêt de la démarche pour aider les acteurs à formaliser leur représentation des dynamiques urbaines complexes. De même, les méthodes analytiques de regroupement ont montré leur capacité de faire émerger des modèles de représentation cohérents et différenciés entre les groupes.

La méthode présente un intérêt pour l'aide à la décision participative, en créant un cadre favorable à l'interaction entre les acteurs autour de la représentation de la réalité urbaine. Le système d'indicateurs contribue à ce processus en mettant en rapport la représentation du territoire apportée par les indicateurs et les représentations cognitives des acteurs, ce qui peut contribuer à faire évoluer ces représentations cognitives selon un processus d'apprentissage. C'est sur cette base plus solide et objectivée que peut aboutir la formulation d'un diagnostic et que le processus décisionnel peut se poursuivre vers des phases plus opérationnelles.

Social, economic and environmental phenomena as well as the presence of groups of stakeholders with diverging and contradictory interests highlight the complexity of urban projects. Traditional instruments of urban management are seldom adapted to these challenges, as they are often founded on sector- and expert-based approaches. Furthermore geographical information is paradoxically often available in a very large quantity, but not sufficiently relevant and synthetic for an understanding of urban complexity.

In this context the goal of this thesis is to develop a method for the elaboration of relevant indicators systems from different stakeholders' cognitive representations of urban complexity; and thus to reinforce territorial diagnosis in the context of participative decision-making processes. However these differences of representations are often sources for conflicts. Each stakeholder uses his own representation in order to defend his point of view in a debate.

The notice of these differences, from the "problem setting" - phase of the decision-making process should contribute to a better structured debate and to a better management of the conflicts around a territorial project. This goal can be reached through consideration of all opinions and through an establishment of a discussion-space between different groups of representations. This allows the development of a coherent diagnosis framework which includes different stakeholders' cognition and perception of the territorial context.

Our reflection is concretized by the developing of a prototype of interface that help a stakeholder to construct his own representation of urban phenomena, by organizing them in a dialectic (discussions) and didactic (complexity-training) manner. The phenomena-systems created are in the form of a causal model. The interpretation of this model permits to highlight critical phenomena through considering the preferred causal axes in order to output the stakeholder's goals. On this basis the stakeholder can debate and discuss with other stakeholders who also have constructed their own representations.

From these individual representations, the question is how these representations can be integrated to form a collective representation of the territory. This process can be made in a deliberative manner. Before that, it is proposed to structure the debate by regrouping individuals models using analytical tools (classification, aggregation). Converging (collective reasons) and diverging elements of the urban complexity understanding are emphasized in the groups of models. The idea is thus to create a discussion-space for debates in order to find solutions.

On the basis of different representation-groups, indicators-systems can be proposed. Indicators are selected in order to translate on one hand common representation of the main phenomena identified, on the other hand of causal relationships that result in strong differences. These indicators can contribute to a partial solution of conflicts by adding another, more objective point of view in the territorial context. Indicators are developed using spatio-thematical operators of geographical information systems. A concept of interface is proposed so as to facilitate the communication of systems of geographical indicators.

In order to emphasize our approach, we have illustrated and applied the methodology of systemic urban-phenomena-modeling. We have conducted individual interviews with stakeholders who have participated in a diagnosis process in a neighborhood of Geneva and with stakeholders who are implied in suburban problematic in Québec. These discussions have shown the interest in our approach to help these stakeholders to formalize their representation of urban dynamics. In the same way, regrouping methods have proved their capability to reveal differentiated models of representation between groups of stakeholders.

The method described presents an interest in participative decision-making and creates an advantageous framework for the interaction between these stakeholders around the representation of urban reality. The indicators-system contributes to this process and connects the representation of the territory and different stakeholders' cognitive representations according to a dynamic learning process. From this more solid and objectified basis the development of a diagnosis can succeed and the decision-making process can continue towards more operational phases.

Table des matières

1. Introduction

1.1 Contexte et motivation de la recherche	1
1.2 Cadre et hypothèses de travail	2
1.3 Objectif et moyens	4
1.4 Méthode de recherche	4
1.5 Plan du rapport	5

Partie I : Concepts théoriques

2. Aide à la décision territoriale : importance du diagnostic

2.1 Processus de décision	7
2.1.1 Structuration des processus de décision	8
2.1.2 Démarche descendante vs ascendante	10
2.1.3 Niveaux d'objectifs et de décision	10
2.1.4 La décision n'est pas uniquement rationnelle	11
2.2. Diagnostic territorial participatif	11
2.2.1 Définitions	12
2.2.2 Structuration d'un processus de diagnostic	13
Conclusion et synthèse du chapitre	14

3. Indicateurs géographiques : en tant qu'outils d'information pertinents pour les diagnostics territoriaux

3.1 Contexte : indicateurs et développement durable	15
3.2 Concepts généraux des indicateurs	16
3.2.1 Définitions	16
3.2.2 Propriétés	17
3.3 Positionnement des indicateurs au sein du processus de décision	19
3.4 Elaboration d'ensembles d'indicateurs. Approches méthodologiques	21
3.4.1 Finalité et rôle des ensembles d'indicateurs	21
3.4.2 Définition d'un cadre conceptuel	21
3.4.3 Exemples de modèles conceptuels	22
3.5 Elaboration d'indicateurs géographiques	24
3.5.1 Dimension thématique	24
3.5.2 Dimension spatiale	25
3.6 Indicateurs synthétiques	25
3.6.1 De la nécessité de synthétiser	25
3.6.2 Méthodes de synthèse	26
Synthèse et conclusion du chapitre	28

4. Approche et modélisation systémique

4.1 Concepts généraux de l'approche systémique	31
4.1.1 Définition du concept de système et de l'approche systémique	32
4.1.2 Principales écoles de l'approche systémique	33
4.1.3 Concepts fondamentaux de l'approche systémique	33
4.2 Implications concrètes de l'approche systémique dans la modélisation de systèmes urbains et d'indicateurs	38
4.2.1 Système urbain	38

4.2.2 Systèmes d'indicateurs	39
4.3 Outils de modélisation systémique	40
4.3.1 Matrice structurale	41
4.3.2 Nature causale des relations	43
4.3.3 Organisation dynamique	51
Synthèse et conclusion du chapitre	53

5. Représentation de la complexité territoriale : approches cognitives, constructivistes et participatives

5.1 Modélisation cognitive du territoire	55
5.1.1 Non-neutralité du modèle systémique	55
5.1.2 Interaction Individu - Environnement	56
5.1.3 Approche constructiviste : reconstitution et reconstruction d'une réalité perçue complexe	57
5.1.4 Approche qualitative de la modélisation	58
5.1.5 Emergence du système d'information	58
5.2. Représentation concertée du territoire	60
5.2.1 La concertation en aménagement du territoire	60
5.2.2 Forces de différenciation	62
5.2.3 Forces d'intégration	65
5.3 Partage d'information	67
Synthèse et conclusion du chapitre	69

Partie II : développement méthodologique et cas d'études menés à Genève et Québec

6. Elaboration d'un système d'indicateurs dans le cadre d'un diagnostic de quartier à Genève : première approche méthodologique

6.1 Présentation de la démarche de diagnostic participatif	73
6.1.1 Motivations et déroulement de la démarche	73
6.1.2 Choix d'indicateurs	75
6.1.3 Elaboration des indicateurs par analyse spatiale	77
6.2 Application d'un cadre d'organisation systémique des indicateurs	81
6.2.1 Objectif de l'étude et choix des acteurs	81
6.2.2 Démarche d'entretien : construction des modèles systémiques individuels	82
6.2.3 Analyse systémique des modèles individuels	83
6.2.4 Représentation collective : éléments convergents et divergents	85
6.2.5 Limites de la modélisation structurelle	89
6.3 Enseignements méthodologiques	90
6.3.1 Apports de la démarche	90
6.3.2 Perspective	91
Synthèse du chapitre	93

7. Processus de représentation du système urbain : élaboration individuelle et collective d'un modèle systémique de phénomènes

7.1 Introduction	95
7.2 Démarche générale	96
7.3 Contexte général du développement méthodologique : problématique des banlieues de Québec	99
7.3.1 Québec	100
7.3.2 Duberger	103
7.3.3 Ensemble de phénomènes	104

7.3.4 Choix des acteurs	106
7.4 Conception individuelle d'un système de phénomènes	107
7.4.1 Démarche d'entretien	107
7.4.2 Modélisation conceptuelle de phénomènes	111
7.4.3 Analyse d'un modèle systémique de phénomènes	114
7.4.4 Evaluation de la méthode de conception	117
7.5 Représentation collective	119
7.5.1 Nécessité d'un regroupement pour simplifier le débat	119
7.5.2 Classification statistique des modèles conceptuels de phénomènes	120
7.5.3 Analyse de convergence et de divergence sur les conditions initiales	128
7.5.4 Agrégation des modèles conceptuels	132
7.5.5 Perspectives de validation	138
7.6 Analyse de correspondance entre le type d'acteur et le modèle systémique de phénomènes	139
Synthèse du chapitre	140
8. Modélisation d'un système d'indicateurs	
8.1 Définition d'un système d'indicateurs pertinent sur la base d'un modèle conceptuel de phénomènes	144
8.1.1 Sélection d'indicateurs pertinents	144
8.1.2 Elaboration d'un système d'indicateurs	149
8.2 Interface de communication des indicateurs	150
8.2.1 Concepts généraux sur les tableaux de bord	150
8.2.2 Proposition d'un concept de communication d'indicateurs géographiques	151
8.2.3 Evaluation des méthodes de communication	154
8.3 Intégration d'une double représentation systémique du territoire : cognitive et objectivée	155
Synthèse du chapitre	156
9. Synthèse méthodologique	157
10. Synthèse, perspectives et conclusion	
10.1 Synthèse	165
10.1.1 Synthèse théorique	165
10.1.2 Evaluation de la démarche méthodologique par rapport aux hypothèses	166
10.2 Perspectives	168
10.3.1 Perspectives méthodologiques	168
10.3.2 Perspectives d'application	170
Conclusion générale	173

Annexe I :	Approche Qualitative Simulation
Annexe II :	Superposition de tous les modèles individuels (Genève)
Annexe III :	Modèles conceptuels de phénomènes par acteur (Québec)
Annexe IV :	Modélisation dynamique des phénomènes et interface d'utilisation
Annexe V :	Concepts théoriques sur la classification statistique

Liste des figures

Figure 1.1 :	Démarche empirique d'aller-retour entre la théorie et la pratique	4
Figure 1.2 :	Articulation générale de la recherche	6
Figure 2.1 :	Processus d'intelligence	8
Figure 2.2 :	Connaissances et marge d'action dans le processus de décision	10
Figure 2.3 :	Processus de décision selon une rationalité partielle des acteurs	12
Figure 3.1 :	Organisation systémique de l'aide à la décision territoriale	22
Figure 3.2 :	Modèle MONET	25
Figure 3.3 :	Triangle d'agrégation	28
Figure 3.4 :	Exemple graphique de la forme vectorielle de l'Indice de Développement urbain	29
Figure 4.1 :	Exemple de l'évolution démographique combinant les rétroactions positives et négatives	37
Figure 4.2 :	Éléments de la modélisation systémique	43
Figure 4.3 :	Ensemble de processeurs représentés graphiquement et dans une matrice structurale correspondante	44
Figure 4.4 :	Causalité disjonctive	46
Figure 4.5 :	Interaction causale	47
Figure 4.6 :	Condition INUS	47
Figure 4.7 :	Corrélation partielle à trois variables	50
Figure 4.8 :	Niveaux d'incertitude de la causalité	51
Figure 5.1 :	Processus de reconstitution, reconstruction de la réalité perçue	61
Figure 6.1 :	Processus pyramidal	74
Figure 6.3 :	Habitants exposés à un niveau de bruit nocturne supérieur à 55 dB, à Saint-Jean et à l'échelle de la Ville de Genève	78
Figure 6.4 :	Fonction floue de la proximité	79
Figure 6.5 :	Niveau de desserte en transport public	80
Figure 6.6 :	Attractivité de l'espace public pour piétons	80
Figure 6.7 :	Superposition de quelques relations exprimées individuellement	83
Figure 6.8 :	Modèle de convergences	86
Figure 6.9 :	Modèle de divergence	87
Figure 7.1 :	Méta modèle donnant la structure générale de la démarche	97
Figure 7.2 :	Région et Ville de Québec	100
Figure 7.3 :	Exemple de feuillet des conditions initiales pour l'acteur U_1	108
Figure 7.4 :	Exemple de co-évolution entre deux phénomènes	109
Figure 7.5 :	Modèle de co-évolution pour le phénomène Trafic	110
Figure 7.6 :	Passage d'un modèle de co-évolutions par phénomène à un modèle conceptuel de phénomènes par acteur.	111

Figure 7.7 :	Exemple de correspondance des signes	112
Figure 7.8 :	Matrice structurale de l'acteur U_1	114
Figure 7.9 :	Mécanisme complexe, impliquant à la fois une rétroaction positive directe entre Emploi et Démographie et une rétroaction positive indirecte entre Emploi et Environnement	116
Figure 7.10:	Cadre de concertation autour d'un nombre limité de représentations collectives issues de rapprochement de modèles individuels	119
Figure 7.11 :	Fonctions de concordance et discordance	125
Figure 7.12 :	Résultat de la classification des modèles d'acteurs	126
Figure 7.13 :	Matrice structurale du groupe 1	133
Figure 7.14 :	Modèle causal de convergence du groupe 1	134
Figure 7.15:	Matrice structurale du groupe 2	134
Figure 7.16 :	Modèle causal de convergence du groupe 2	134
Figure 7.17 :	Matrice structurale du groupe 3	135
Figure 7.18 :	Modèle causal de convergence du groupe 3	135
Figure 8.1 :	Sélection de phénomènes à mesurer par des indicateurs	144
Figure 8.2 :	Elaboration d'un système d'indicateurs à partir du système de phénomènes	149
Figure 8.3 :	Règle d'agrégation thématique des indicateurs	150
Figure 8.5 :	Concept de Tableau de bord proposé par le bureau d'étude SiTES	151
Figure 8.6 :	Lien entre un modèle conceptuel d'indicateurs et une carte d'indicateur	152
Figure 8.7:	Détail de la fenêtre de navigation pour l'indicateur Charge de trafic	152
Figure 8.8 :	Exemple de navigation horizontale et verticale au sein d'un système d'indicateurs cartographiques	153
Figure 8.9 :	Co-évolutions entre les phénomènes Trafic, Bouchon, Retard des bus (TP)	155

Liste des tableaux

Tableau 4.1 :	Comparaison des approches analytiques et systémiques	34
Tableau 6.1 :	Enjeux représentés par un indicateur unique	75
Tableau 6.2 :	Enjeux représentés par un vecteur d'indicateurs	76
Tableau 6.3 :	Enjeux représentés par un indicateur agrégé	76
Tableau 6.6 :	Analogie médicale du syndrome	92
Tableau 7.1 :	Liste des thèmes, enjeux et phénomènes	105
Tableau 7.2 :	Classification des acteurs	106
Tableau 7.3 :	Langage symbolique vs langage de modélisation	113
Tableau 7.4 :	Détermination de l'amplitude d'un phénomène à partir des conditions initiales	113
Tableau 7.5 :	Valeurs de différences partielles pour le critère situation	121
Tableau 7.6 :	Valeurs de différences partielles pour le critère tendance	122
Tableau 7.7 :	Paramètres choisis pour l'analyse multicritère de ressemblance	125
Tableau 7.8 :	Variation de paramètres pour l'analyse de sensibilité	127
Tableau 7.9 :	Résultat de l'analyse de sensibilité	128
Tableau 7.10 :	Superposition des conditions initiales	130
Tableau 7.11 :	Amplitudes des phénomènes	130
Tableau 7.12 :	Phénomènes sur lesquels on observe, par groupe, une divergence forte portant sur la tendance souhaitée et/ou sur l'amplitude	131
Tableau 7.13 :	Phénomènes stratégiques structurés sur deux niveaux hiérarchiques	137
Tableau 7.14 :	Phénomènes sensibles structurés sur deux niveaux hiérarchiques	137
Tableau 8.1 :	Sélection des indicateurs sur certains éléments convergents et divergents des groupes de représentation	
Tableau 8.2 :	Proposition d'un ensemble d'indicateurs par groupe d'acteurs	148

« Le défi qui se présente à nous consiste à trouver une façon de transformer la complexité de notre pays [Inde] en l'une de ses plus grandes vertus. Nous devons continuer à défendre cette idée dans un monde qui tend de plus en plus à simplifier, à polariser et à réduire à des dénominateurs communs simplistes » (Sunil Khilnani)

Introduction

1.1 Contexte et motivation de la recherche

Les phénomènes politiques, économiques et sociaux ont des effets territoriaux, c'est-à-dire des répercussions importantes sur l'organisation du territoire et notamment sur la gestion des villes [Rumley, 2002]. Sans être exhaustif, ces phénomènes concernent aussi bien l'étalement des agglomérations, les pressions sur la qualité de l'environnement naturel et bâti, que l'accroissement des inégalités, l'accroissement de la demande en mobilité et en logement.

De même, la gestion urbaine implique des groupes d'acteurs ayant des intérêts et des aspirations contradictoires. Dans notre société marquée à tous les niveaux par la vitesse [Virilio, 1996], l'accélération des changements urbains rend difficile leur assimilation et leur appropriation par les groupes d'acteurs, ce qui entraîne une opposition quasi-systématique face aux projets urbains [Repetti, 2004]. Joerin et al. [2001a] ont d'ailleurs relevé une augmentation de la fréquence et de l'intensité des conflits liés au territoire dans le contexte de l'aménagement du territoire genevois. En effet, durant les années 90 à Genève, de grands projets d'aménagement, tels que les aménagements de la place des Nations et de la place Neuve [Söderström et al., 2001], ou encore la traversée de la Rade, ont été rejetés par référendum populaire. Différentes associations s'opposant aux concepteurs des projets initiés par l'Etat ont joué un rôle certain dans le refus de ces projets. Ces conflits s'expliquent par une mauvaise identification des enjeux centraux et des acteurs [ibid.], un certain déficit de motivation [Joerin et al., 2001a], et un conservatisme [Joerin, 1998] ; ce dernier se traduit généralement par une opposition à toute modification de l'utilisation du sol, en particulier dans le voisinage des personnes concernées (syndrome NIMBY¹). Les outils démocratiques usuels (oppositions, recours, référendums, initiatives), s'ils permettent à chaque citoyen d'exprimer ses positions, n'en sont pas moins sources de blocages pour l'administration [Horber-Papazian, 1992] ; ces derniers augmentent fortement la durée des procédures et leur coût.

Les évolutions divergentes et contradictoires des cadres de la vie sociale, de la vie économique et de la vie politique soulignent la complexité des dynamiques territoriales [Debarbieux et Vanier, 2002]. Cette complexité rend difficile la conduite et l'aboutissement de projets urbains dans un délai raisonnable. Par conséquent, une gestion à la fois systémique des problèmes, tenant compte des interdépendances entre les phénomènes, et prospective représente un défi considérable pour une bonne gouvernance des villes [Goux-Baudiment, 2000 ; Debarbieux et Vanier, 2002].

Avant de décider et d'agir, il est important d'établir une représentation de la réalité favorisant de multiples perceptions subjectives d'un même objet [De Sède et Moine, 2001], de bien

¹ Not In My BackYard

comprendre le jeu d'acteurs et d'identifier les enjeux ainsi que les stratégies qu'ils défendent. Pour cela, il s'agit de proposer des méthodologies et des outils novateurs permettant d'associer de multiples acteurs au processus décisionnel, sans pour autant paralyser ou freiner celui-ci [Goux-Baudiment, 2000].

Dans cette perspective, Thériault et Prélaz-Droux [2001] préconisent de mettre en œuvre des systèmes de support à l'aménagement du territoire afin de contribuer efficacement au déroulement des processus participatifs de décision, en utilisant le potentiel des instruments de traitement et de communication de l'information. L'apport des technologies de l'information, telles que les systèmes d'information géographique (SIG), dans le contexte de l'aménagement du territoire, contribue à mettre au service des acteurs un volume important de données et d'informations. Toutefois, celles-ci sont souvent peu organisées. Leur consultation permet rarement de développer une compréhension des composantes essentielles des phénomènes et de leur dynamique. Il manque par conséquent des outils de synthèse appropriés pour produire une vision globale et intersectorielle des phénomènes complexes [Goux-Baudiment, 2000] et pour rendre les informations intelligibles, accessibles et pertinentes par rapport aux enjeux décisionnels. De ce point de vue, les indicateurs géographiques, évalués par les outils SIG, permettent de répondre à ces besoins.

Notre recherche s'inscrit dans le cadre des processus participatifs de décision en aménagement du territoire, et en particulier de la ville. Concrètement, nous proposons de développer des approches méthodologiques et des outils qui aident les acteurs, dans une phase de diagnostic, à mieux comprendre et représenter les phénomènes urbains, et à identifier des indicateurs pertinents ; ceci en vue de préparer la concertation et de faciliter l'accord au niveau de la décision, ainsi que le suivi opérationnel.

En résumé, le contexte et les motivations de la recherche, présentés dans ce paragraphe introductif, sous-tendent les questionnements suivants : (i) comment expliciter les différentes représentations que se font les acteurs du système urbain, comment sur cette base, (ii) faire interagir les acteurs dans l'optique d'une représentation concertée, (iii) comment proposer des systèmes d'indicateurs pertinents par rapport aux finalités des acteurs, (iv) comment accroître en définitive l'efficacité sociale du diagnostic dans un contexte urbain complexe ?

1.2 Cadre et hypothèses de travail

Le contexte et les questionnements présentés ci-dessus nous conduisent à formuler des hypothèses, sur lesquels la présente recherche est construite.

Les hypothèses fondent une méthode ou tout au moins des éléments de méthode qui ne saurait en elle-même prouver ou valider ces hypothèses. Il s'agit plutôt d'accréditer par une approche théorique et empirique la pertinence de la méthode proposée et donc les hypothèses qui les sous-tendent.

Les hypothèses sont présentées ci-dessous (en italique) en référence à un cadre théorique, qui se réfère à la littérature et qui sera développé dans les chapitres correspondants du rapport.

Du processus cognitif de représentation de phénomènes complexes

La littérature suggère que l'étape de la **formulation du problème** (diagnostic) est essentielle pour la conduite d'un processus de décision dans le cadre d'un projet urbain. Dans un contexte conflictuel, si les acteurs sont intégrés dès la phase du diagnostic, cela favorise l'appropriation de la décision par les acteurs et fonde une base consolidée pour la gestion des conflits.

L'élaboration d'un diagnostic pose la question de comment se représenter et comprendre une problématique complexe liée au territoire. Nous proposons alors une démarche de **modélisation systémique** qui consiste à identifier des relations de nature causale entre les phénomènes réels.

*H₁ : Des relations causales sont perçues par tout acteur vivant ou agissant sur le territoire. L'exercice de modélisation aide les acteurs à **formaliser** leur **représentation** de la réalité urbaine complexe. Il leur permet d'exprimer les éléments significatifs à considérer dans un diagnostic.*

H₂ : En même temps, cet exercice renforce leur implication, en amont d'un processus de décision, dans un processus de diagnostic participatif.

De la représentation collective

Les **conflits** en aménagement du territoire sont en partie dus à des **divergences sur les représentations de la réalité** ; en particulier sur les interdépendances entre phénomènes qui sont connues de façon incomplète et incertaine. Chacun met en avant sa propre représentation pour défendre son point de vue et influencer un débat. Or les représentations ne sont pas toujours clairement exprimées. Le fait de les **explicitier** constitue une étape préalable importante, de même qu'un outil, pour mettre à plat les conflits et mieux les gérer. En respectant ainsi les positions de chacun, l'adhésion des acteurs dans un processus de décision est facilitée.

H₃ : Appliqués dans un cadre participatif, la démarche de modélisation systémique permet de faire émerger les éléments convergents et divergents en vue de définir un espace de discussion.

Du système d'indicateurs géographiques pertinents

L'évaluation du système urbain et la mesure de ses performances repose généralement sur des indicateurs. Ceux-ci sont choisis en fonction d'enjeux reconnus et défendus par les acteurs pour une problématique donnée. Or, les enjeux demeurent souvent implicites.

De plus, comme les phénomènes urbains sont interdépendants, les indicateurs qui les mesurent le seront aussi. Un système d'indicateurs géographiques interreliés rend compte, dans un diagnostic, du fonctionnement urbain. Il permet d'expliquer les causes et les conséquences d'une problématique et de cibler des interventions efficaces dans le système. En outre, les relations entre indicateurs introduisent une redondance d'information qui est cependant nécessaire pour lever les incertitudes et les divergences de point de vue sur le fonctionnement du système réel.

H₄ : Les éléments clairement convergents et divergents des représentations constituent ceux sur lesquels des indicateurs pertinents sont proposés.

Une structuration claire et solide de l'information est une première étape nécessaire à la bonne communication. Un ensemble de cartes, sans structure cohérente, aura peu d'impact sur le public

H₅ : La communication de systèmes d'indicateurs géographiques interdépendants, à travers une interface, facilite leur utilisation et leur appropriation par les acteurs.

1.3 Objectif et moyens

En réponse au cadre théorique et aux hypothèses présentés ci-dessus, l'objectif principal du travail de recherche est le suivant :

Proposer une méthode d'élaboration de systèmes d'indicateurs pertinents, basés sur des représentations individuelles ou collectives de la complexité urbaine, en vue de la formulation d'un diagnostic concerté.

Pour atteindre cet objectif, les moyens suivants seront mis en oeuvre :

1. Tirer parti des outils de modélisation systémique pour développer une **méthode de représentation des phénomènes complexes**, tels que perçus par les acteurs ; ceci, afin de les aider à construire progressivement leurs finalités et leurs motivations en amont d'un processus de décision, et de rendre intelligible, pour eux-mêmes et les autres, leur perception d'une réalité complexe.
2. Dans le cadre d'un processus concerté, proposer des **outils analytiques** pour faire émerger les éléments convergents et divergents de représentation dans le but de clarifier le débat.
3. A partir des représentations individuelles et collectives, guider l'élaboration de **systèmes d'indicateurs spatiaux pertinents** pour aider à **formuler un diagnostic**, tenant compte des interdépendances complexes entre phénomènes.
4. Enfin, la présente recherche tentera de montrer la pertinence de la démarche, à travers des **cas d'étude** menés à Genève et Québec.

1.4 Méthode de recherche

La méthode de recherche présentée dans ce mémoire de thèse est de nature **exploratoire** et **empirique**. Elle reflète les approches systémiques et constructivistes qui sont centrales dans le développement méthodologique proposé. Ce dernier est construit à partir de concepts théoriques tirés de la littérature et d'enseignements obtenus à partir de cas d'étude. Il apporte en retour une contribution au niveau théorique. Il émerge ainsi progressivement à travers des aller-retours entre la pratique et la théorie :

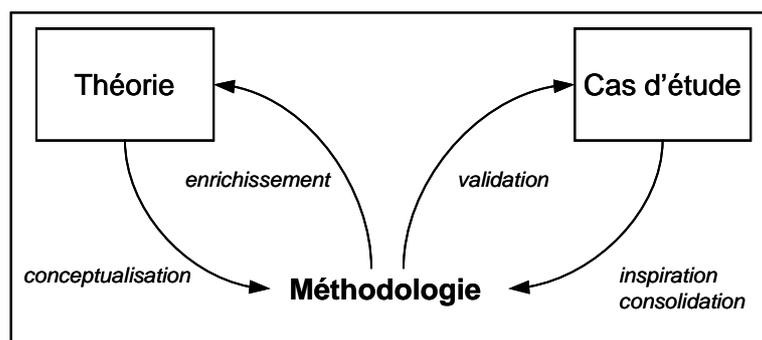


Figure 1.1 : Développement d'une méthodologie selon une démarche d'aller-retour entre la théorie et la pratique.

Le premier cas d'étude se situe dans le contexte d'un processus de diagnostic participatif de quartier à Genève. Ce processus a été réalisé avec les habitants du quartier, en partenariat entre l'Université de Genève et l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Une première méthode a été appliquée auprès d'acteurs ayant participé au diagnostic. Les enseignements de l'application ont permis de consolider la méthode et les outils utilisés. Ceux-ci ont été ensuite appliqués dans un cas plus général sur la problématique des banlieues à Québec, lors d'un

séjour à l'Université Laval. A nouveau, sur cette base, la méthodologie a pu être davantage consolidée.

En définitive, ces cas d'étude ont pour ambition d'appuyer les cadres théorique et méthodologique présentés dans le mémoire et d'accréditer leur pertinence par rapport aux hypothèses et objectifs de recherche.

1.5 Fil méthodologique et plan du rapport

Le plan du rapport est présenté sous la forme d'un fil conducteur illustré à travers la figure 1.2. Le rapport est structuré en deux parties. La partie I présente un certain nombre de concepts théoriques, concernant l'aide à la décision, les indicateurs, l'approche systémique et la représentation cognitive et participative du territoire. Ces concepts sont utilisés dans la partie II pour proposer une démarche méthodologique qui s'appuie sur des cas d'études.

La première partie situe tout d'abord la recherche dans le cadre de l'aide à la décision (**chapitre 2**). L'étape de l'intelligence (formulation du problème) est une étape essentielle du processus de décision pour construire les finalités et les motivations. Cette étape peut être mise en œuvre par un diagnostic dans le contexte territorial. Il associe généralement un bilan de l'état du système et une compréhension de son fonctionnement.

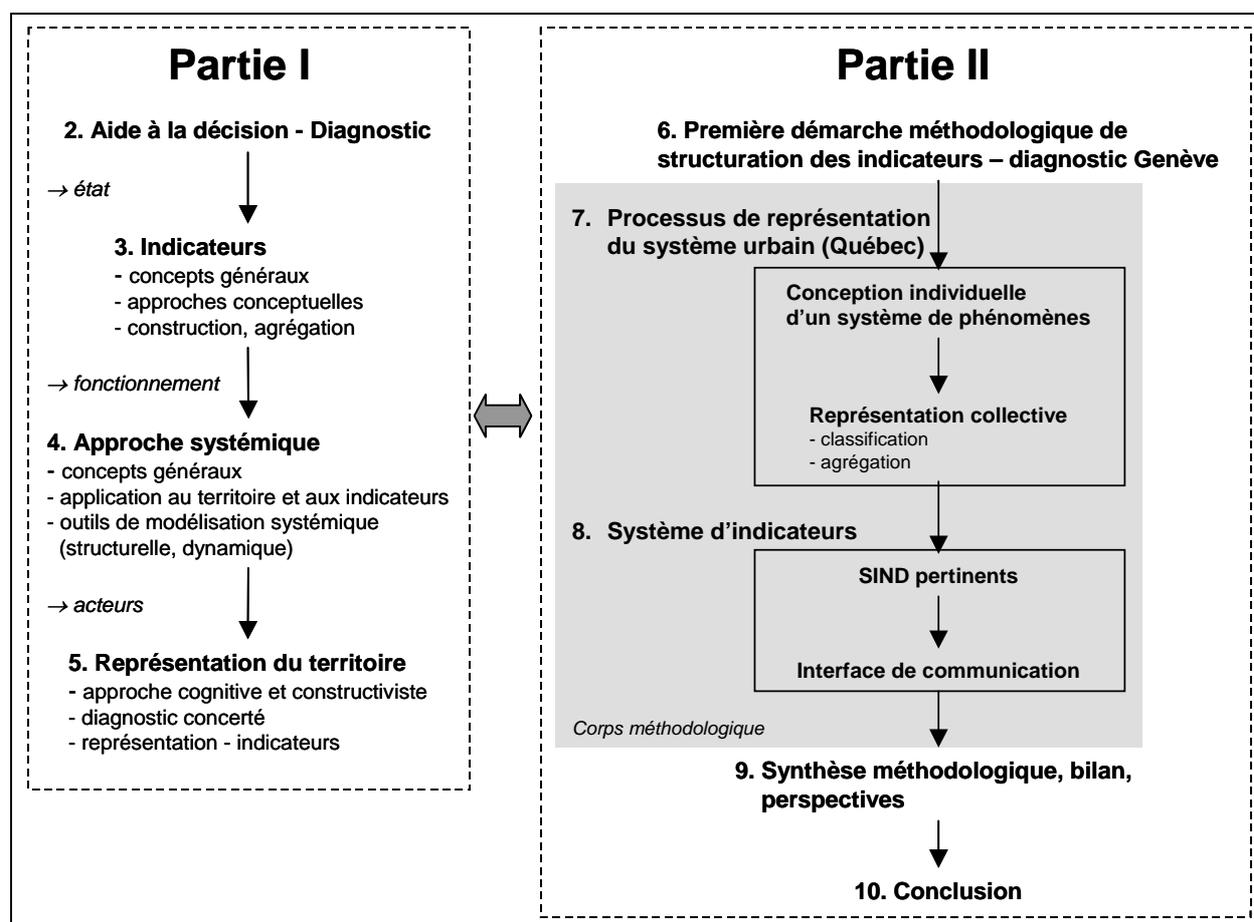


Figure 1.2 : Articulation générale de la recherche.

Le bilan est facilité par la mise à disposition d'informations, sous la forme d'indicateurs. Le **chapitre 3** présente tout d'abord une définition et un ensemble de propriétés qui permettent de distinguer les indicateurs d'autres types d'information. Il présente ensuite différentes

approches méthodologiques pour organiser les ensembles d'indicateurs. Il termine sur la dimension spatiale des indicateurs et les techniques d'agrégation.

En faisant un simple état des lieux, les indicateurs décrivent les objets spatiaux de façon indépendante. Cela revient à réduire le territoire, la ville à un ensemble d'éléments constitutifs. Or la ville est un système, qui plus est complexe ; et un ensemble d'indicateurs indépendants, juxtaposés n'aide pas à comprendre la structure et le fonctionnement du système territoire. Dans cette perspective, le **chapitre 4** présente les concepts généraux de l'approche systémique et de la complexité. Partant de cette approche, les indicateurs peuvent être présentés sous la forme d'un système d'indicateurs qui donne une image des phénomènes survenant sur le territoire et de leurs interactions. L'architecture d'un tel système se base sur les outils de modélisation systémique, structurelle et dynamique présentés en seconde partie du chapitre.

La modélisation systémique n'est pas neutre, mais elle traduit et formalise une représentation. De celle-ci émergent les finalités et les raisons que le modélisateur construit en interagissant avec son environnement (**chapitre 5**). Elle implique un acte constructiviste d'apprentissage qui active les structures cognitives de l'individu. Dans le contexte de l'aménagement du territoire, il n'y a en général pas un mais plusieurs acteurs. Ainsi, le chapitre souligne l'importance d'explicitier et communiquer au préalable les divergences de représentation comme base pour ensuite établir un diagnostic concerté, en tentant de rapprocher les représentations sous certaines conditions. Ce chapitre « charnière » constitue un aboutissement des chapitres théoriques précédents et fonde la partie méthodologique.

La deuxième partie du mémoire débute en exposant une première démarche méthodologique dans le cadre d'un diagnostic participatif réalisé à Genève (**chapitre 6**). Le chapitre présente tout d'abord une application d'opérateurs d'analyse spatiale pour construire des indicateurs, puis une démarche d'organisation systémique de ces indicateurs par des acteurs ayant participé au diagnostic. Celle-ci met en évidence l'importance de considérer au préalable la complexité du territoire à travers un système de phénomènes.

Sur la base de l'expérience précédente, le **chapitre 7** propose un processus de conception d'un modèle structurel de phénomènes interreliés. La méthodologie est en même temps appliquée et enrichie à partir d'entretiens individuels, menés auprès de plusieurs acteurs, qui sont impliqués dans la problématique des mutations des banlieues de Québec. Un ensemble d'outils analytiques est développé pour d'une part, regrouper les modèles individuels selon des critères de convergences d'autres part, faire ressortir les raisons individuelles et collectives des acteurs d'après les phénomènes critiques, de même que les divergences.

Le chapitre suivant (**chapitre 8**) propose de fixer un système d'indicateurs (SIND) pertinents sur les phénomènes à la fois jugés critiques et source de divergences entre les acteurs. Enfin, un concept d'interface est élaboré pour communiquer un système d'indicateurs géographiques aux acteurs et pour les aider ainsi à formuler un diagnostic.

La méthodologie présentée aux chapitres 7 et 8 est développée progressivement à travers les applications à Genève et Québec. Au **chapitre 9**, elle est synthétisée et mise en perspective par rapport à des applications réelles, dans l'optique d'un guide pour ses futurs utilisateurs.

Enfin, le **chapitre 10** présente une synthèse de la recherche et ses apports à la lumière des hypothèses. Il ouvre également des perspectives méthodologiques et des possibilités d'application dans d'autres contextes.

Aide à la décision territoriale. Importance du diagnostic

Notre recherche s'inscrit dans le contexte des processus de décision en aménagement du territoire. Il est donc opportun de préciser le concept de processus décisionnel en distinguant les différentes étapes qui constituent le processus (2.1). Ce chapitre portera son attention sur la formulation d'un problème décisionnel, qui est une étape essentielle du processus de décision. Cette étape est généralement mise en œuvre sous la forme d'une démarche de diagnostic qui constitue le cadre de la recherche (2.2).

2.1 Processus de décision

Le modèle analytique de la décision consiste souvent à réduire un problème décisionnel à la recherche d'un optimum selon un critère unique, tel que le coût monétaire [Le Moigne, 1990]. Cela renvoie à une rationalité **substantielle** de la décision qui consiste à « *atteindre certains buts donnés dans les limites imposées par les conditions et les contraintes données* » [Simon, 1976, cité par Torres, 2000, p. 6]. Cette approche de la décision ne permet pas aisément de rendre compte des processus de décision au sein des systèmes complexes impliquant plusieurs critères, car elle les réduit à leur plus simple expression [Schärli, 1985]. De plus, elle se focalise directement sur le résultat de la décision, c'est-à-dire sur le choix à entreprendre [Isla, 2000].

En situation complexe, les acteurs sont amenés à rechercher non pas une solution unique et optimale, mais une solution simplement satisfaisante [Torres, 2000 ; Major, 1999]. Cette recherche de satisfaction introduit une rationalité **procédurale** qui est « *le résultat de délibérations appropriées* » [Simon, 1976, cité par Torres, 2000, p. 7]. La délibération se définit comme un « *processus de formation collective de la volonté, ce moment qui précède le choix et dans lequel les individus s'interrogent sur les différentes solutions avant de se déterminer pour l'une d'entre elles* » [Manin, 1985, cité par Talpin, 2003]. Autrement dit, la décision n'est pas limitée à un simple choix, mais elle s'inscrit dans un processus à travers lequel elle est construite progressivement [Isla, 2000]. Dans cette optique, Simon a formulé deux hypothèses permettant la modélisation de la décision [Le Moigne, 1990] :

- (i) La décision est **Intelligence** (*problem setting process*) : processus de formulation - d'identification de problèmes, d'objectifs « *qui rendent intelligibles les descriptions d'une situation perçue complexe* » [p. 130].
- (ii) La décision est **Conception** (*problem solving process*) : élaboration de projets en vue d'atteindre les familles d'objectifs qui définissent la finalité du système.

2.1.1 Structuration du processus de décision : modèle de Simon

La conjonction de ces deux hypothèses autorise Simon [1960] à proposer un modèle de processus de décision composé de deux étapes principales.

Problem setting : construction des motivations

La première étapes est appelée *intelligence* ou *prise de conscience*. Durant cette phase, les acteurs formulent les besoins et les **enjeux**¹ [Pitteloud et al., 2003]. Ils reçoivent ou récoltent de l'information leur permettant de se convaincre que l'état du système ou son fonctionnement nécessite d'entreprendre un processus (de décision) visant une action (une intervention sur le système) [Joerin et al, 2004]. Cette nécessité résulte d'un décalage entre une *situation perçue* et une *situation projetée* ou voulue, soit, en d'autres termes, une dissonance cognitive [Le Moigne, 1990]. C'est une phase de « structuration » [Pictet, 1996] durant laquelle les acteurs construisent (ou non) leurs motivations pour une intervention sur le système afin de corriger les dysfonctionnements observés sur le système [Joerin et al, 2004].

Nous proposons d'illustrer ce processus d'intelligence de la façon suivante :

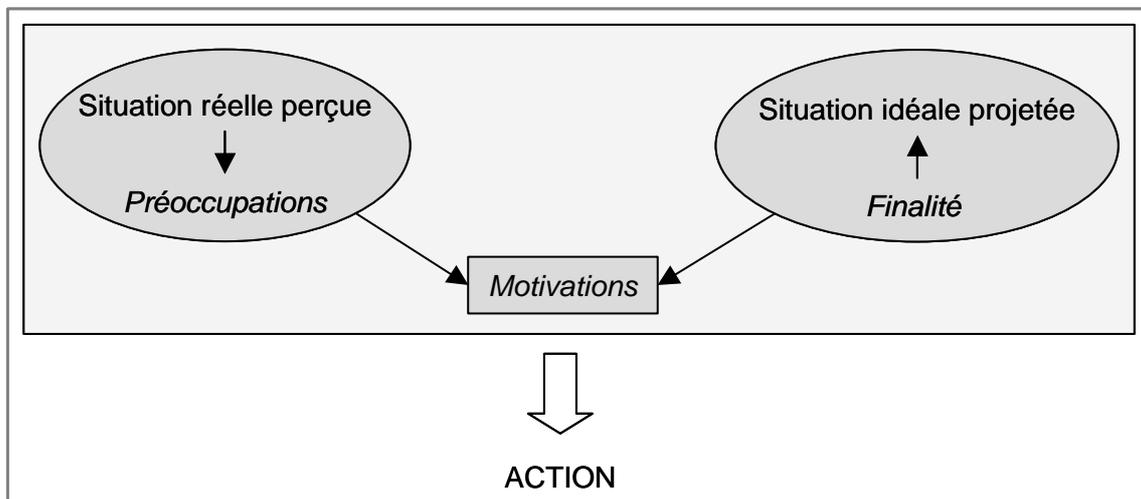


Figure 2.1 : Processus d'intelligence.

La situation réelle perçue est exprimée par les acteurs à travers un ensemble de préoccupations (ce qui ne va pas dans le système), tandis qu'une situation idéale est définie en fonction d'une finalité également propre à chaque acteur. Préoccupations et finalités ne sont pas toujours mises en évidence de façon explicite. La finalité est *une description générale de ce qui est attendu d'un système* » [Lapointe, 1998, p. 11]. Elle est « *en quelque sorte la raison d'être, [...] une idée fondamentale [...]. Elle s'énonce sur un plan conceptuel, non opérationnel [...]. Une finalité est toujours exprimée de manière verbale et symbolique, parce qu'elle a un caractère général et parce qu'elle doit faire sens pour tout un chacun* » [Maystre et Bollinger, 1999, p. 5]. Les enjeux défendus par les acteurs s'inscrivent en concordance par rapport à leurs finalités. C'est le décalage entre la situation perçue et la situation projetée qui définira l'intensité de la **motivation** en vue d'une action possible. Par conséquent, la

¹ Enjeu : « *ce que l'on peut gagner ou perdre* » [Le Nouveau Petit Robert, 1993]. Autrement dit, il s'agit d'un élément central sur lequel porte la décision, le débat. La formulation de l'enjeu diffère selon les approches. L'enjeu correspond tantôt à un thème central. C'est le cas par exemple de la *mobilité*, du *logement* dans la gestion d'une ville. D'autre part, il correspond à un objectif d'ordre général qui traduit une évolution, une tendance souhaitée pour une problématique donnée. Par exemple, « *promouvoir l'écomobilité* », « *augmenter l'offre en bas loyers* ». Cette forme, qui permet de préciser les motivations des acteurs, sera celle retenue dans la partie méthodologique.

motivation est en quelque sorte dynamique, elle induit une idée de mouvement, de tendance souhaitée vers une finalité donnée. Et, réciproquement, la finalité d'un individu est fondée sur ses motivations [Pesqueux, 2004].

Les problèmes ne sont pas donnés à priori mais sont construits [Le Moigne, 1990]. Ainsi, l'intelligence est le processus par lequel le problème décisionnel est construit. Autrement dit, il importe de ne pas seulement résoudre un problème présumé, mais avant tout de bien **formuler les problèmes** à résoudre.

Le processus d'intelligence, la construction des motivations, est sans doute la phase la plus importante du processus de décision [Pitteloud et al., 2003], notamment lorsque les problèmes à considérer sont multiples et complexes et perçus différemment par les acteurs impliqués dans la décision. Car, si les enjeux majeurs défendus par les acteurs ne sont pas clairement identifiés en amont, il sera probablement difficile en aval de proposer des solutions satisfaisantes [ibid.]. Joerin et al. [2001a ; 2004] ainsi que Söderström et al. [2001] ont relevé, à travers des études de cas à Genève, que plusieurs processus d'aménagement du territoire « court-circuitent » cette phase, pour concentrer l'analyse directement sur les solutions (*problem solving*).

En résumé, la phase d'intelligence est un processus quasi-rationnel à travers lequel l'acteur, en percevant certains dysfonctionnements, formule une « bonne raison » et des intentions qu'il cherchera à concrétiser en adoptant un comportement donné [Major, 1999]. Il exprime ses finalités qui se traduisent par un projet [Le Moigne, 1990], une ligne de conduite et se concrétisent par une stratégie de comportement [Major, 1999].

Problem solving : construction de la décision

Cette deuxième étape est constituée de trois phases. Durant la phase de *modélisation*, un ensemble de variantes est évalué sur un ensemble de critères [Joerin et al, 2004]. Ces critères, qualitatifs ou quantitatifs, donnent une indication sur les conséquences de chaque variante. Lors du *choix*, les variantes sont comparées entre elles par analyse multicritère, en considérant leur performance dans les différents critères [Joerin, 1998]. La dernière phase, (*analyse de détail et la mise œuvre*), revient sur les objectifs initiaux et évalue plus finement les caractéristiques et les conséquences de la variante privilégiée.

Niveau de connaissance et marge d'action

Le niveau de connaissance et la marge d'action évoluent tout au long du processus de décision [Flourentzou, 2002]. Au début de la phase d'intelligence, la marge d'action est maximale, tandis que les connaissances sont encore peu construites et formalisées. Au fur et à mesure du processus, de l'information et des modèles d'expert apportent de la connaissance et permet de cibler toujours plus le champ d'action (figure 2.2).

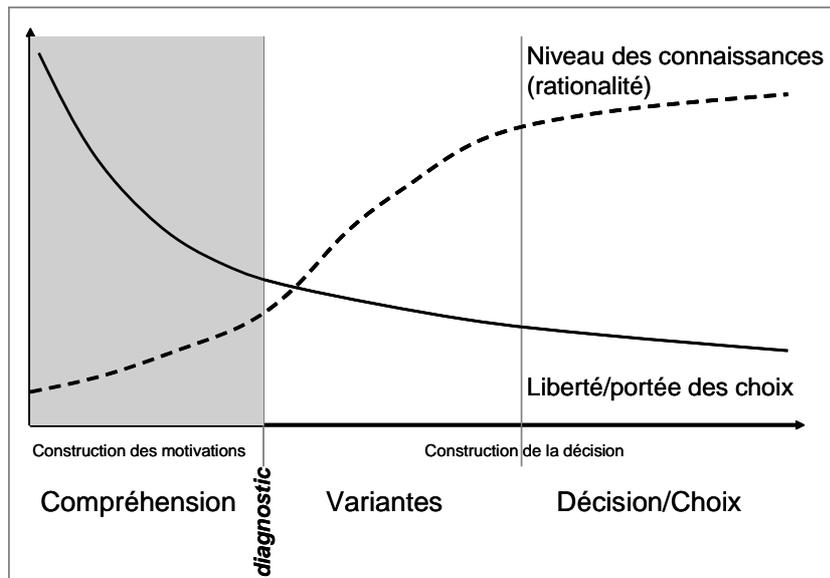


Figure 2.2 : Evolution des connaissances et de la marge d'action lors du processus de décision. Adapté de Flourentzou [2002].

2.1.2 Démarche descendante vs ascendante

La construction d'un système d'information pour soutenir le processus de décision s'inscrit dans une double démarche [Maystre et Bollinger, 1999]. La démarche **descendante** part du monde des décideurs qui se situe dans le domaine des évaluations ordinales (qualitatives). Du monde des décideurs, on descend jusqu'aux modèles descriptifs et prédictifs des spécialistes, qui organisent des informations uniquement pertinentes et significatives par rapport aux finalités identifiées et formulées dans le monde des décideurs. L'importance de la pertinence est soulignée par Le Moigne [1990, p. 67] en ces termes : « *Comment être certain que [les] données sont pertinentes si l'on ne connaît pas les projets que l'on propose à l'action ? La pertinence se définit par rapport à quelques finalités ; si les finalités ne sont pas identifiées, comment évaluer raisonnablement la pertinence ?* »

La démarche **ascendante** s'appuie sur des données quantitatives progressivement agrégées en indicateurs et critères jusqu'à un niveau global.

L'approche méthodologique présentée en deuxième partie du rapport s'articule autour de ces deux démarches : elle consiste d'une part à *sélectionner* des indicateurs pertinents par rapport aux enjeux des acteurs, d'autre part à proposer des méthodes pour agréger les données et *construire* ainsi ces indicateurs.

2.1.3 Niveaux d'objectifs et de décision

La définition d'objectifs cohérents est centrale dans le processus de décision. Il convient cependant de spécifier les différents niveaux d'objectifs.

En cheminant à travers le processus de décision, les **finalités** sont progressivement précisées en **buts**, puis en **objectifs** [Maystre et Bollinger, 1999 ; Lapointe, 1998]. Alors que les finalités se situent sur le plan stratégique [Major, 1999], le *but* est une énonciation plus concrète, car elle dit quelque chose de la manière de concrétiser la finalité. L'objectif s'énonce sur un plan opérationnel : c'est la mise en œuvre de quelque chose, avec ses références spatiales et temporelles. Finalités et buts sont d'ordre qualitatifs, alors que les objectifs sont généralement quantifiés sous la forme de normes à atteindre [Pesqueux, 2004]. Ces trois éléments constituent un ensemble d'objectifs (au sens général du terme)

hiérarchisés. Pesqueux désigne cet ensemble par le terme de *système de finalisation* étant donné l'importance de la mise en cohérence des différents objectifs.

En outre, les différents niveaux d'objectifs font souvent l'objet d'une confusion, étant donné qu'elles sont « coulissantes » [Maystre et Bollinger, 1999]. En effet, ce que certains désignent par finalité, n'est pas toujours *ultime* et correspond en fait à un moyen pour atteindre une finalité qui se situe à un niveau supérieur [Toynbee cité par Le Moigne, 1977]. Autrement dit, « chaque objectif d'un niveau donné apparaît comme un moyen pour atteindre une fin (objectif d'ordre supérieur). L'enchaînement des objectifs est donc une hiérarchisation de fins et de moyens » [Pesqueux, 2004].

Cette distinction est importante, car les acteurs peuvent être d'accord sur les moyens sans partager pour autant les points de vue sur les finalités ou objectifs d'un niveau supérieur. Cependant, cet accord est souvent suffisant pour résoudre une situation conflictuelle.

2.1.4 La décision n'est pas uniquement rationnelle

Le modèle originel de Simon est fondé sur l'**hypothèse d'un décideur rationnel**. Autrement dit, le décideur se concentre sur la récolte et l'analyse de l'**information** afin de cibler la variante la plus performante. Comme le relèvent Joerin et al. [2004], se référant à des travaux plus récents de Simon [1977], cette hypothèse de rationalité est limitée par les **aspects psychologiques** (affectifs ou émotionnels) et **sociaux** de la prise de décision. Les motivations et raisons pour agir sont établies en fonction de croyances, de normes et de valeurs qui se manifestent à travers les représentations qu'un acteur construit à partir d'une réalité perçue [Gauthier, 1997 cité par Major 1999].

Par ailleurs, à travers la délibération, les acteurs adaptent à tout moment du processus leur structure cognitive [Isla, 2000]. On leur reconnaît ainsi la **capacité de révision et d'apprentissage** qui ne fonctionne que si on leur accorde aussi la possibilité de traiter des symboles (de l'information) [Joerin et al., 2004]. En conséquence, le modèle de décision rationnel de Simon peut être enrichi et constituer un **modèle décisionnel constructiviste** qui s'articule autour des quatre phases décrites ci-dessus.

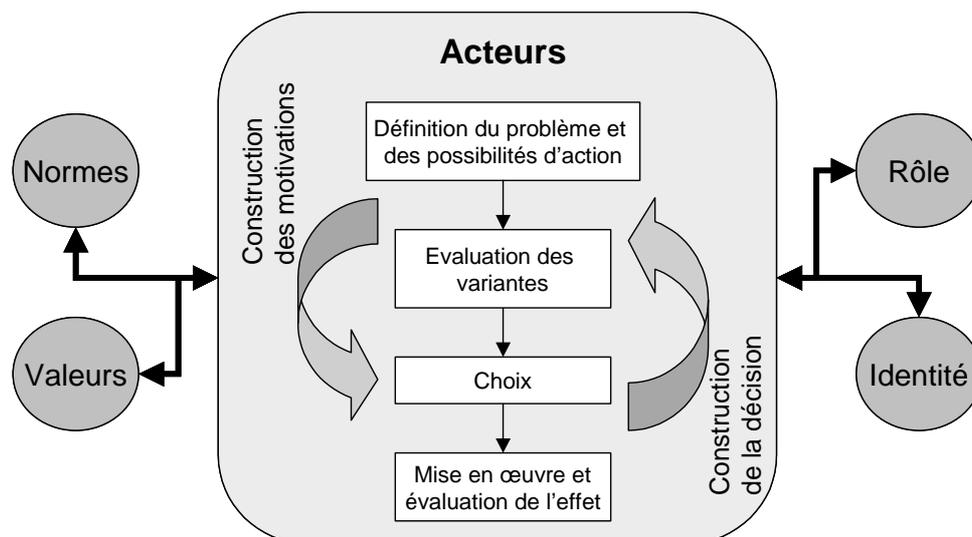


Figure 2.3 : Processus de décision selon une rationalité partielle des acteurs, tiré de Joerin et al. [2004].

2.2. Concept de diagnostic territorial

Les *systèmes d'aide au diagnostic* sont traditionnellement utilisés en médecine, économie ou ingénierie [Thériault et Prélaz-Droux, 2001], mais encore faiblement en aménagement du

territoire où le débat porte encore souvent directement sur les solutions (*problem solving*) [Joerin et al., 2001a]. Le diagnostic territorial se situe généralement au niveau d'applications pratiques et est peu théorisé. L'objectif de ce chapitre est de mieux formaliser ce concept.

2.2.1 Définitions

De façon générale, pour l'ensemble des activités professionnelles, le diagnostic est défini par Hoc et Amalberti [1994, p. 179] comme « *une activité de compréhension d'une situation, pertinente à une décision d'action* ». De ce point de vue, l'activité de diagnostic constitue une mise œuvre de la phase d'intelligence vue précédemment.

Dans le contexte territorial, l'importance de la relation entre le diagnostic et l'élaboration de stratégies en vue d'actions est soulevée par Rouxel et Rist [2000], qui définissent le diagnostic territorial comme un « *état des lieux s'inscrivant dans une démarche stratégique de développement du territoire ; le diagnostic n'est pas une monographie ou une simple description soit disant objective d'un territoire, il est le référentiel qui prépare le débat concernant un espace habité et doué d'une identité, aménagé et supportant des logiques de développement* ». En résumé, le diagnostic territorial est un préalable nécessaire autant qu'une composante déterminante des processus de décision dans le domaine de la gestion et de la planification du territoire [Roche et Hodel, 2004].

Diagnostic de situation par rapport au diagnostic de fonctionnement

Le diagnostic implique habituellement deux activités distinctes [Hoc et Amalberti, 1994]. Tout d'abord, l'**activité de classification ou d'identification** consiste à classer un phénomène observé dans une certaine catégorie, telle qu'une pathologie en médecine. Par exemple, au niveau territorial, un niveau de bruit routier de 70 dB mesuré dans une zone sensible est considéré comme très élevé. Des actions doivent donc être entreprises pour diminuer ce niveau.

La compréhension sous-jacente au diagnostic ne se limite pas à décrire l'état actuel d'une situation, mais le diagnostic prend souvent la forme d'un pronostic qui consiste, en médecine, à analyser les conséquences néfastes des maladies sur le patient. De ce point de vue, il présente un caractère à la fois dynamique et prospectif. Dans le contexte qui nous intéresse, un tel diagnostic permet d'acquérir des connaissances sur le **fonctionnement** du territoire dans toutes ses dimensions, de manière à en relever les atouts et les faiblesses [Roche et Hodel, 2004]. L'analyse du fonctionnement consiste à mesurer l'activité territoriale, c'est-à-dire comment le territoire est structuré et comment il se transforme et évolue, et quels sont les leviers de changement [Chételat, 2005]. Mais elle doit aussi expliquer les raisons et les conséquences d'un tel fonctionnement. Par exemple, une baisse du taux de vacances des appartements à Genève est due entre autres à des oppositions du voisinage sur la construction de nouveaux immeubles, ce qui a pour conséquence une augmentation du prix des loyers.

Alors que le *diagnostic de situation*, consiste à décrire et à interpréter les faits, le *diagnostic de fonctionnement* conduit à une représentation qui relie les faits entre eux ; ceci, grâce à une structure relationnelle qui donne du sens aux observations [Hoc et Amalberti, 1994]. Ce dernier aspect est sous-jacent à l'approche systémique qui sera abordée au chapitre 4.

Positionnement du diagnostic dans le planification territoriale

Il convient de distinguer deux grands types de diagnostic : ceux qui sont associés à un projet, en vue de leur réalisation et ceux qui sont a priori indépendants (au moment de leur réalisation) d'un projet.

Lorsque le diagnostic participe d'une démarche de **projet** territorial, deux cas de figure peuvent être distingués [Chételat 2005] :

- Le **diagnostic *ex post*** se situe en réaction à un projet. Il a pour objectif d'observer et de suivre sur un territoire un projet dont les conséquences sont peu connues et explicitées, et d'identifier les zones sensibles nécessitant des mesures. Le diagnostic permet alors de préparer et d'orienter des actions qui s'inscrivent dans un projet général et cohérent d'amélioration du territoire analysé [Chételat, 2005 ; ARPE, 1999].
- Le **diagnostic *ex ante*** intervient en amont du projet. Il vise à « *évaluer la faisabilité d'un projet planifié et à vérifier son ancrage dans la réalité locale* » [Chételat, 2005, p. 48]. Dans le domaine environnemental, il correspond aux études d'impact liées par exemple à la construction d'une autoroute. En aménagement du territoire, l'analyse, effectuée selon une vision prospective, considère les effets possibles de projets ou de mesures sur le territoire [Rumley, 2002].

La dynamique entre ces deux types est cyclique, car les projets génèrent un certain nombre de conséquences sur le territoire qui vont déterminer le contexte d'un futur projet.

Le diagnostic indépendant d'un projet se situe à un niveau plus général. Il vise à établir un **état des lieux** sur une portion d'un territoire et à définir sur celle-ci les principaux enjeux qui pourront éventuellement aboutir et se concrétiser ultérieurement par l'élaboration de projets. Le diagnostic réalisé dans un quartier à Genève, présenté au chapitre 6, s'inscrit dans ce type de démarche.

En définitive, ces deux types de diagnostic qui interviennent à différents moments sont complémentaires, car le même diagnostic réalisé au préalable pour décrire une situation générale, peut être utilisée ensuite pour des projets plus ciblés.

2.2.2 Structuration d'un processus de diagnostic

Selon Joerin et al. [2001a ; 2004] le diagnostic n'est pas simplement une étape ponctuelle du processus de décision, mais il constitue lui-même un processus. Par conséquent, sa structuration est une condition essentielle à son efficacité dans le processus décisionnel.

Tout projet de diagnostic répond à des objectifs d'évaluation qui doivent être clairement définis [Chételat, 2005]. Les motivations du diagnostic varient selon le cadre dans lequel il s'insère (processus de gestion de conflits territoriaux, planification directrice, suivi de l'évolution d'une ville, élaboration d'un projet territorial, etc.). Cependant, dans la plupart de ces situations, l'identification et la formulation du problème à résoudre est généralement à la base d'une démarche de diagnostic [Chételat, 2005].

Ainsi, en considérant certaines pratiques courantes, la structure du diagnostic territorial se résume essentiellement à cinq étapes [ARPE, 2002 ; Rouxel et Rist, 2000 ; Després et al., 2003 ; CERTU, 2003] :

1. **Cadrer l'analyse** : définir les motivations de l'étude (pourquoi veut-on entreprendre cette démarche ?), les objectifs d'évaluation (que veut-on évaluer ?) et les limites spatiales de l'étude. Par rapport aux objectifs d'évaluation, le diagnostic doit répondre à un *questionnement* préalable qui repose sur une grille d'analyse thématique (démographie, transport, habitat, environnement, etc.) [Rouxel et Rist, 2000]. L'enjeu principal d'un tel questionnement est la recherche d'une meilleure pertinence des projets territoriaux.

2. **Pré-diagnostic** : dresser un certain nombre de constats sur la situation actuelle d'un territoire et son évolution, analyser ses caractéristiques, ses points forts et ses faiblesses, par

rapport aux questionnements. Cette étape peut être réalisée aussi bien au moyen de la grille d'analyse thématique, que d'enquêtes diverses sur le terrain auprès d'acteurs dans le but de récolter des préoccupations locales.

3. Sur la base de l'enquête initiale, **formulation d'enjeux et d'objectifs d'aménagement** qui constituent des axes d'amélioration.

4. **Information** : recueil de données pertinentes et élaboration d'indicateurs pour effectuer une évaluation aussi complète que possible du territoire par rapport aux enjeux et répondre aux questions principales.

5. Clarification et **hiérarchisation des enjeux** dans le but de définir des stratégies et priorités. Comme le souligne Rumley [2002], l'aménagement du territoire souffre généralement d'imprécision dans l'identification et la hiérarchisation des objectifs.

Conclusion du chapitre

Ce chapitre s'est intéressé à distinguer les différentes étapes du processus de décision tel que proposé par Simon. Ce processus stipule que la décision n'est pas limitée à un simple choix mais elle est construite progressivement. Il comprend essentiellement deux phases : le *problem setting* (étape d'intelligence, c'est-à-dire de la formulation de la problématique et de la construction des motivations) et le *problem solving* (étapes de la comparaison des variantes de décision, du choix et d'une analyse rétrospective). Il n'est pas uniquement rationnel, mais il implique également un ensemble de valeurs, de normes chez un acteur, qui vont influencer la prise de décision. Cette dernière s'inscrit dans une démarche constructiviste d'apprentissage à travers l'interaction entre un acteur son environnement. L'approche constructiviste, qui est centrale dans la présente recherche, sera approfondie au chapitre 5.

Le chapitre a mis particulièrement en évidence l'importance de la formulation et de l'identification de la problématique décisionnelle (*problem setting*) qui est souvent « court-circuitées » dans les procédures actuelles d'aménagement. Il en résulte par conséquent une connaissance peu formalisée de la réalité complexe, et une identification insuffisante des finalités et des motivations. Dans ce contexte, un cadre méthodologique ainsi que des outils seront développés dans cette recherche pour faire émerger une prise de conscience et de connaissance, individuelle et collective, d'une problématique donnée ; ceci, dans une phase initiale du processus de décision lorsque la marge d'action est grande. A travers ce processus, les acteurs formulent des enjeux et des raisons. Ceux-ci se situent à un niveau général et qualitatif du système de finalisation. Ils sont cohérents par rapport aux finalités et en donnent une idée plus concrète.

La phase d'intelligence est concrètement mise en œuvre à travers un processus de diagnostic territorial, sur lequel se concentre l'objet de la thèse. Le diagnostic intègre une évaluation de l'état d'un système urbain et une compréhension de la structure et du fonctionnement de ce système.

L'enjeu du diagnostic territorial est bien résumé par ARPE [2002] : l'analyse du territoire doit être à la fois globale (en opposition à sectorielle), collective (en opposition à individuelle) et répondre aux préoccupations et priorités locales. Ce propos souligne l'importance de l'approche participative dans le diagnostic urbain qui sera développée au chapitre 5. Auparavant, on abordera, au chapitre suivant, la nécessité de produire des informations pertinentes par rapport aux finalités des acteurs, telles que les indicateurs pour évaluer l'état du système, puis l'importance de l'approche et de la modélisation systémique pour comprendre le fonctionnement du système (chapitre 4).

Indicateurs géographiques : En tant qu'outils d'information pertinents pour les diagnostics territoriaux

Au chapitre précédant, nous avons positionné notre recherche dans le cadre des diagnostics territoriaux et distingué les diagnostics de situation et de fonctionnement. Le premier (évaluation et suivi de l'état d'une entité territoriale) est facilité par la mise à disposition d'informations. Les indicateurs géographiques permettent de répondre aux besoins d'information pertinente, pour les enjeux territoriaux, synthétique et accessible à un large public.

3.1 Contexte : indicateurs et développement durable

Les indicateurs socio-économiques sont couramment utilisés depuis les années 70 dans la gestion politique et territoriale [Rotmans et de Vries, 1997] : taux de chômage, taux d'imposition, croissance démographique, PNB, etc. Même si par les moyens des médias ces indicateurs sont entrés dans le vocabulaire quasi quotidien du large public, ils représentent avant tout des outils de gestion réservés aux spécialistes. En effet, qui est capable d'expliquer la manière de calculer le PNB ou même sa signification concrète ? [Desthieux et Joerin, 2004].

L'émergence du concept de développement durable, au début des années 90, impose un changement majeur à la gestion territoriale : les projets ne sont plus seulement évalués selon leur efficacité propre, mais également en fonction de leur influence sur l'environnement, sur la société et sur les générations futures [Repetti et Desthieux, 2005]. Dans ce contexte, les indicateurs spécifiques, limités à une thématique donnée, ne sont plus suffisants. Leur rôle reste le même : aider les décideurs à percevoir l'état d'un système et son évolution. Mais aussi bien la perception du système que les groupes d'intérêts utilisant et fournissant de l'information ont été élargis.

De plus, si le développement durable a été un moteur de changement pour encourager une meilleure compréhension et gestion de la complexité, il s'agit aussi de pouvoir analyser les progrès vers la durabilité à l'aide d'un ensemble cohérent et pertinent d'indicateurs [Bell et Morse 2000 ; Spangenberg et al., 2002]. Ainsi, un grand nombre d'organismes gouvernementaux et non gouvernementaux ont participé à l'élaboration d'ensemble d'indicateurs, pour évaluer les performances en matière de développement durable à différentes échelles :

- (i) Internationale : par exemple les ensembles proposés par *UN-Habitat* [Repetti et Prélaz-Droux, 2003], et la *Commission du développement durable* des Nations Unies [United Nations, 1996] qui vise à associer 130 indicateurs aux différents chapitres de l'Agenda 21 ;

- (ii) Nationale : le projet *Monet* en Suisse [OFS et al., 2003] qui a proposé un système sélectionnant les indicateurs pertinents pour les objectifs du développement durable en Suisse.
- (iii) Locale : des ensembles d'indicateurs ont été élaborés dans le cadre des processus participatifs tels que *Sustainable Seattle* [1998] et *Norwich 21* [Bell et Morse, 2000].

L'émergence du concept de développement durable a donc redonné un nouvel élan à la production d'indicateurs, à tel point que les indicateurs sont souvent associés très étroitement à ce concept.

Le chapitre présente tout d'abord les concepts généraux sur l'indicateur (définitions, propriétés) (3.2). Il clarifie ensuite le positionnement des indicateurs dans le processus de décision (3.3). L'évaluation d'une situation réelle se base généralement sur un ensemble d'indicateurs. Ainsi, sont présentées quelques approches méthodologiques pour organiser et structurer ces ensembles en vue d'améliorer leur pertinence (3.4). L'élaboration des indicateurs géographiques recourt à plusieurs méthodes et d'outils, basés sur les SIG (3.5) et les techniques d'agrégations (3.6), présentés en fin de chapitre.

3.2 Concepts généraux des indicateurs

3.2.1 Définitions

Un indicateur est défini comme une interprétation empirique et indirecte de la réalité, mais non comme la réalité elle-même [OCDE 1997 ; Von Stokar et al. 2001 ; Merkle et Kaupenjohann, 2000]. Il est le résultat d'une sélection pertinente ou d'une agrégation de données. Cette réduction de l'information favorise une meilleure compréhension des phénomènes complexes et son utilisation par différents groupes de personnes ayant des préoccupations diverses.

Globalement les fonctions des indicateurs, proposées par différents auteurs, sont les suivantes [Both et al., 2003 ; OCDE 1997 ; Blanchet et November, 1998 ; Rotmans et de Vries, 1997 ; Gallopín, 1997]:

- **Descriptive** : décrire l'état d'un système, d'un phénomène, ou de sa dynamique en comparant sa situation à différents moments.
- **Explicative** : établir une compréhension des interrelations entre les phénomènes, en mesurant des corrélations entre les indicateurs. Cette fonction est au cœur de l'approche systémique développée au chapitre suivant.
- **Normative** : situer l'état d'un système par rapport à des finalités.
- **Simplification** de l'information pour réduire la complexité des phénomènes.
- **Communication** de l'information pertinente de façon à sensibiliser un large public.

La définition de la nature de l'indicateur fait l'objet d'un débat intense. Gallopín [1996] en a fait un inventaire. Selon les auteurs, un indicateur est tantôt un paramètre, une variable, une mesure, une valeur, une fraction, une information, un sous-indice, une quantité, un signe, un modèle empirique, ou encore un récepteur pour Merkle et Kaupenjohann [2000]. D'après Maby [2004], la nature étymologique d'un indicateur est « *d'indiquer* », de montrer, de

désigner des **phénomènes**¹ ayant une incidence sur un objet, un système donné, tel que le territoire dans le cas d'un indicateur géographique. Plus concrètement pour Gallopín, un indicateur est une variable qui représente un **attribut**, c'est-à-dire une caractéristique, une propriété, une qualité d'un phénomène associé à un objet. Cette représentation est abstraite car l'indicateur reflète plus ou moins directement l'attribut. En tant que variable, il apporte de l'information non seulement sur l'état mais aussi sur l'évolution temporelle et spatiale du phénomène. Par ailleurs, un indicateur se distingue des autres variables par son pragmatisme [Both et al., 2003] et sa pertinence relative aux différentes étapes d'un processus décision [Joerin et al., 2001a].

3.2.2 Propriétés

Quatre propriétés des indicateurs sont développées ci-dessous pour les distinguer d'autres types d'information.

Pertinence et sens et vis-à-vis d'une finalité d'évaluation

C'est en partant des finalités des décideurs que peuvent être proposés des indicateurs pertinents, selon le principe de l'approche descendante présentée au chapitre 2.1. En exprimant une finalité, il est possible de répondre à la question : *que veut-on évaluer ?* L'indicateur permet de se situer par rapport à cette finalité. Une modification de sa valeur doit pouvoir être interprétée en terme d'amélioration ou de détérioration. On cherchera alors à maximiser, stabiliser ou minimiser le phénomène représenté par l'indicateur de telle sorte que le système évolue vers la finalité souhaitée.

Le choix de la finalité, de même que celui du sens renvoie à une dimension subjective du décideur. Comme l'affirme Maby [2004, p. 34]., « *utiliser un indicateur consiste [...] nécessairement à interpréter ses résultats, si bien que les analyses tendancieuses donnent à l'indicateur une fonction idéologique certaine* ».

La finalité d'un système peut être décomposée en un ensemble d'objectifs (cf. chapitre 2.1), qui sont généralement traduits quantitativement par des normes ou des valeurs-cibles. Ces derniers font des indicateurs de performance un outil d'évaluation particulièrement pertinent des actions politiques. Toutefois, fixer des normes est délicat car elles reposent souvent sur des hypothèses d'expert et des négociations multi-intérêts. Ainsi, nous voyons émerger aujourd'hui des approches plus qualitatives reposant sur l'analyse de tendances qui peut se substituer à la recherche de normes [Blanchet et November, 1998 ; Merkle et Kaupenjohann, 2000]. Une telle approche vise à déterminer l'évolution souhaitable d'un indicateur du point de vue d'un objectif, à savoir s'il doit augmenter ou diminuer. Von Stockar et al. [2001] propose une approche mixte : normative lorsqu'il est possible de chiffrer les objectifs, uniquement tendancielle sinon.

Echelle de mesure

Le fait qu'un indicateur puisse indiquer un sens, implique qu'il soit mesuré sur deux types d'échelle : **ordinales** ou **cardinales**. L'échelle ordinale est basée sur une hiérarchie d'états qualitatifs [Spangenberg et al., 2002]. Tandis que l'échelle cardinale produit de l'information quantitative et permet de mesurer une distance à une valeur cible ou norme lorsqu'elle est

¹ Le phénomène est « *Tout ce qui se manifeste à la conscience, que ce soit par l'intermédiaire des sens ou non* » [Le Nouveau Petit Robert, 1993]. Ou encore « *Elément, fait ou événement du monde réel* » [Prélaz-Droux, 1995, citant USGS, 1992].

identifiée [ibid.]. Les indicateurs qui se réfèrent à cette valeur sont généralement appelés indicateurs de performance.

On pourrait se demander pourquoi l'échelle *nominale* n'est pas prise en compte dans la définition d'un indicateur. Parce qu'il est impossible dans une échelle nominale d'indiquer un sens par rapport à une finalité. Une information nominale n'apporte pas encore de pertinence politique et ne peut donc être considérée comme indicateur ; pour cela elle devrait être transformée. Prenons l'exemple d'une carte d'affectation de sol d'une commune (zone bâtie, forêt, zone agricole, etc.). L'information y est typiquement nominale. Cette carte devient un indicateur si on y projette une information pertinente par rapport à un objectif décisionnel. Par exemple à chacun des types d'affectation, on peut attribuer un objectif de protection contre les crues, sur une échelle ordinale. Cet objectif sera par exemple plus élevé pour une zone bâtie (habitée) que pour une zone agricole [Succetti, 2001].

Comparaison

Un indicateur, pour être désigné comme tel, doit aussi satisfaire au moins l'un des trois niveaux de comparaison suivants selon l'utilité attribuée à l'indicateur [Von Stokar et al. 2001 ; Joerin et al., 2005 ; Both et al., 2003]:

- Comparaison **temporelle** orientée vers le *monitoring* : suivi de l'évolution d'un territoire dans le temps, en comparant son état à différents moments. Les indicateurs donnent ainsi une série d'images actualisées du territoire. L'intervalle de temps pour effectuer les mesures dépend de la sensibilité des phénomènes observés et de l'échelon temporel associé : court terme, moyen terme, long terme.
- Comparaison relativement à un **objectif** orientée vers le *controlling* : évaluer la distance qui sépare les faits d'un état souhaité, défini par un ensemble cohérent d'objectifs généralement normés (ex. concentration maximale autorisée d'un polluant). Un indicateur, en tant que signal ou information, constitue alors un organe de contrôle ou de pilotage permettant d'évaluer si la situation évolue ou non en direction de l'objectif, et d'entreprendre des mesures si nécessaires.
- Comparaison **analogique** orientée vers le *benchmarking* : la signification d'un indicateur est souvent apportée en relativisant la situation observée d'une entité spatiale donnée à d'autres entités. Par exemple, la valeur de l'Indice de développement urbain [UN-Habitat, 2001] d'une ville a peu de signification s'il est considéré en tant que tel. En revanche, il en acquiert, si on situe la ville en question par rapport aux autres du point de vue de l'indicateur.

Représentativité par rapport au phénomène mesuré

Malgré la popularité croissante des indicateurs, de nombreuses contraintes entravent encore leur utilisation dans les institutions [Blanchet et November, 1998; Rechatin et Theys, 1997]. Les approches pour la constitution de systèmes indicateurs sont essentiellement méthodologiques et statistiques. Elles font face à des difficultés de nature opérationnelle et pratique, tel que le problème de la disponibilité des données.

Les indicateurs ne doivent pas être confondus avec les vraies mesures ou les statistiques. Comme l'affirme l'OCDE [1997] « *on tient compte de ce qui est aisément quantifiable, même si ces informations ne présentent pas d'intérêt pour le processus d'élaboration des politiques, tandis que l'on ignore souvent ce qui n'est pas mesurable, bien qu'il puisse s'agir d'informations pertinentes* ». C'est le cas souvent des indicateurs qualitatifs. Ceci est formulé

autrement par Meadows [1998, p. 2] : « *on mesure ce dont on se préoccupe, [...] on se préoccupe ce dont on mesure* ».

Ces biais sont connus sous le nom du syndrome du réverbère, très pertinemment illustré par Bernard Roy [1985] : « *Ceci peut être rapproché du comportement de cet homme qui, rentrant en pleine nuit après avoir fait la fête, cherche désespérément sa clef sous les réverbères successifs de l'avenue qui borde son appartement, non point parce qu'il a de bonnes raisons de croire qu'il l'a perdue au pied d'un réverbère, mais simplement parce que là il voit clair* ».

Du fait du manque de données, les indicateurs évaluent plus ou moins directement un phénomène ou un objet, ou plutôt un attribut du phénomène et ne sont par conséquent pas toujours pertinents. Il convient de rapprocher au mieux l'indicateur mesuré de l'objectif d'évaluation. Par exemple, l'émission de gaz à effet de serre d'un pays est approximée en utilisant le profil national industriel qui donne de l'information sur le type et le volume d'activités industrielles et estime ainsi un coefficient d'émission pour chaque type d'industrie [Gallopín, 1997].

3.3 Positionnement des indicateurs au sein du processus de décision

L'observation de phénomènes réels dans le cadre d'un diagnostic se base rarement sur un seul indicateur, mais plutôt sur plusieurs indicateurs, organisés dans des ensembles, étant donné que les problématiques étudiées sont généralement complexes et multidimensionnelles.

Les ensembles d'indicateurs constituent un cas particulier des systèmes d'information. Il convient tout d'abord de clarifier le concept de système d'information en se référant à la théorie de Le Moigne [1977 ; 1990] proposée dans le cadre d'organisations complexes, telles que les institutions, les entreprises ou encore notre société.

Les organisations simples se limitent généralement à deux systèmes : un *système de décision* (élaboration conceptuelle de stratégies, plans d'action, décision) et un *système opérant* (opérations tangibles). La variété du système opérant étant limitée à des tâches bien définies, le couplage entre les deux systèmes est direct et simple. C'est le cas d'un automate : « *le premier commande, le second obéit parfaitement et rend compte* » par des symboles jouant le rôle d'intermédiation.

La présence de groupes humains rend les organisations, telles que le territoire ou une entreprise, autrement plus complexes. Sa variété de comportements et d'actions étant elle aussi beaucoup plus grande, le système opérant reçoit et produit une très grande quantité d'informations que les acteurs humains ne peuvent assimiler dans sa totalité. Selon Simon, cité par Le Moigne [1990], améliorer les capacités de traitement de l'information est primordiale pour mieux organiser le système de décision.

Le couplage Décision – Opération est donc complexe et indirect. Il est alors nécessaire d'adjoindre un système intermédiaire permettant de traiter l'information. L'organisation complexe est représentée par le modèle canonique *Système opérant – Système d'information – Système de décision* (OID). La modélisation d'une telle organisation suppose une « *inséparabilité de l'action – tangible (opération) et l'information – symbole* » : le SD produit une information qui commande une action, l'action produit une information qui la représente.

Le SI a principalement trois fonctions :

- il **enregistre** les représentations – sous forme symbolique – des opérations du SO (comportement du système complexe) ;
- il les **mémorise** (stockage) ;
- il les rend disponibles de façon interactive (**communication**) du SD.

Une adaptation du modèle OID a été proposée pour l'organisation territoriale.

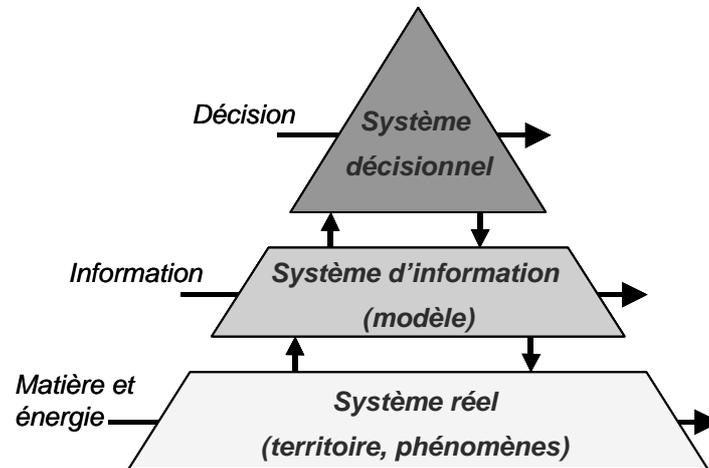


Figure 3.1 : Organisation systémique de l'aide à la décision territoriale.

Le premier système est formé par la représentation de la réalité, en l'occurrence le **territoire** et les phénomènes qui s'y déroulent. Il est traversé par des flux d'énergies et de matières. Ces flux sont constitués, par exemple, par l'électricité, l'eau, le trafic routier, les flux de personnes, etc. Pour décrire cette réalité, ainsi que pour suivre son évolution, de nombreuses données, résultant généralement de mesures, sont récoltées. Ces données sont stockées (mémorisées) et organisées au sein d'un **système d'information**. Ce système constitue une représentation, un modèle du territoire qui offre aux acteurs de l'aménagement du territoire une compréhension du système réel, actuel ou futur. Il ne constitue pas encore une aide à la décision. Le **système de décision** contient plusieurs sous-systèmes, entre autres [Le Moigne, 1990 ; Golay, 1992] : le sous-système de finalisation, chargé de déterminer les objectifs du système sur la base des problèmes complexes de la réalité (cf. *problem setting*, ch. 2.1), et le sous-système de décision-sélection chargé de comparer les variantes d'action pour en choisir une ou plusieurs qui seront activées sur le territoire (cf. *problem solving*, ch. 2.1).

Les systèmes d'information, en particulier géographique (SIG), lorsqu'il s'agit de décrire les phénomènes spatiaux, sont eux-mêmes constitués de plusieurs niveaux. En schématisant, au niveau inférieur, les bases de données géographiques (BDG), assurent l'interface avec le système réel. Tandis qu'au niveau supérieur, les données sont traitées par des opérateurs spatio-thématiques qui permettent de produire de l'information significative, voire des indicateurs selon les propriétés évoquées plus haut. Les indicateurs constituent alors une interface entre les systèmes d'information et de décision, en fournissant les éléments informationnels pertinents par rapport aux finalités définies au niveau du système de décision. Autrement dit, plus l'information est proche de l'opérationnel, plus elle est « neutre » et descriptive. Plus elle est proche de la décision, plus elle est finalisée et profilée vers une activité, un métier [Golay et al., 2003 ; Major et Golay, 2004 ; Mottier, 2001].

BDG et ensembles d'indicateurs se distinguent donc essentiellement par leur objectif d'utilisation. Les BDG sont principalement « orientés vers la **description**. La modélisation des bases de données fait référence à une désagrégation du territoire considéré comme un tout, pour en déterminer les entités constitutives ou unités d'observation sur lesquelles sont

rattachées les données, soit les observations et les expériences faites sur le territoire réel. Ces données constituent les attributs de ces entités. [L'ensemble d'indicateurs] est quant à lui plutôt orienté vers l'évaluation. Son élaboration appelle le développement de procédures d'agrégation des données [de la BDG] pour obtenir des indicateurs pertinents en vue d'un diagnostic ou de la fixation de priorités. L'ensemble d'indicateurs correspond également à une représentation du territoire. Nous sommes ainsi face à deux formes de représentation du même territoire qui se complètent et s'alimentent » Prélaz-Droux [2001, p. 33].

3.4 Elaboration d'ensembles d'indicateurs. Approches méthodologiques

3.4.1 Finalité et rôle des ensembles d'indicateurs

Avant d'élaborer un ensemble d'indicateurs, il convient de se poser la question non seulement sur la finalité d'évaluation, mais aussi sur celle de l'utilisation de l'ensemble, c'est-à-dire *pourquoi évalue-t-on ?* [Repetti et Desthieux, 2005]. Cette question renvoie aux différents rôles de l'indicateur. Pastille [2002], dans le cas des indicateurs de durabilité, distingue essentiellement deux types de rôle.

1. **Technique et gestion** : suivre les progrès vers des objectifs du développement durable (monitoring et controlling) ; évaluer et comparer les performances de différents systèmes ; informer les services administratifs dans leurs tâches de planification et décision.
2. **Communication publique et participation** : prise de conscience, éducation et communication avec le public ou des groupes sélectionnés ; encouragement à la participation publique et à l'engagement dans la société.

De façon plus générale, Van Kamp et al. [2003] distinguent l'utilisation des indicateurs dans un but d'une part scientifique, d'autre part politique.

Prétendre qu'un même ensemble d'indicateurs puisse satisfaire l'ensemble de ces besoins est totalement illusoire, comme l'affirmait Jacques Theys lors d'une conférence à l'Université de Lausanne (octobre 2004).

Par ailleurs, en fonction de ces besoins, des questions d'ordre méthodologique se posent concernant les critères et les bases théoriques sur lesquels les indicateurs sont choisis et la façon dont sont structurés les ensembles d'indicateurs. La section suivante aborde différentes approches méthodologiques.

3.4.2 Définition d'un cadre conceptuel

Conventionnellement, la construction d'un ensemble d'indicateurs repose sur une conception théorique, établie *a priori*, d'une problématique donnée, par exemple celle du développement durable. Plus précisément, il s'agit de concevoir un cadre théorique et conceptuel pour organiser des ensembles d'indicateurs. Lazarsfeld [1967, cité par Both et al., 2003] décompose le processus d'observation en trois étapes : (i) le concepteur esquisse une construction abstraite qui le conduit vers une représentation imagée, c'est-à-dire un concept ; (ii) il spécifie les composantes ou dimensions de ce concept ; (iii) il définit enfin le type de données ou d'informations à recueillir relatives à chacune des dimensions. Un modèle d'indicateurs émerge donc du lien entre un modèle conceptuel de la réalité et des indicateurs qui y sont projetés [Rotmans et de Vries, 1997]. Ce processus rejoint l'idée de démarche descendante introduite au chapitre 2.1.

Rechatin et Theys [1997] relèvent l'importance de se mettre d'accord au préalable sur une architecture cohérente, par rapport à des besoins particuliers, avant d'amorcer un processus de collecte et de traitement des données ; ceci, dans le but de fournir aux mains des politiciens un instrument pour choisir des indicateurs qui leur semblent pertinents.

En résumé, Gallopín [1997] soulève plusieurs avantages à utiliser des modèles conceptuels pour organiser et structurer les ensembles d'indicateurs :

- Guider le processus de récolte de l'ensemble des données et informations ;
- Constituer des outils de communication pour les décideurs en mettant en évidence les informations pertinentes ;
- Suggérer des regroupements (agrégation) logiques pour les ensembles d'information facilitant leur interprétation et leur intégration ;
- Identifier les problèmes importants pour lesquels de l'information pertinente manque.

3.4.3 Exemples de modèles conceptuels

Plusieurs cadres conceptuels ont été proposés, dans le contexte du développement durable. Nous mentionnons, de façon non exhaustive, deux grands types d'approche.

L'approche Pression – Etat – Réponse

Le modèle Pression – Etat – Réponse (PER) [OCDE, 1993 ; 1997], initialement développé pour le domaine de l'environnement, s'est fortement répandu durant les années 90 pour mettre en œuvre les indicateurs du développement durable. Il repose sur la notion de causalité [OCDE, 1997 ; Gallopín, 1997] : les productions et processus humains exercent des pressions sur l'environnement et modifient son état en utilisant les ressources et en créant toutes sortes de déchets. Les sociétés peuvent répondre à ces changements au moyen de politiques environnementales, économiques, réglementaires ou autres politiques sectorielles. Celles-ci forment un feedback par rapport aux productions et aux processus humains. Le modèle introduit donc trois types d'indicateurs : les indicateurs de pression exercés sur l'environnement (ex. émissions de CO₂), les indicateurs de condition environnementale (ex. concentration de CO₂ dans l'atmosphère), les indicateurs de réponse de la société (ex. subventions pour les transports publics).

En utilisant ce modèle, des organismes internationaux, tels que l'OCDE [1993] et la Commission du développement durable des Nations Unies [1996], ont dressé des listes de plusieurs dizaines d'indicateurs, pour **comparer**, sur une base commune, les pays par rapport à leur performance du développement durable. L'approche des Nations Unies propose une classification des indicateurs à deux entrées : thèmes issus de l'Agenda 21 et modèle Force motrice – Etat – Réponse. Le terme force motrice a semblé en effet plus pertinent pour qualifier les phénomènes influençant, non seulement l'état de l'environnement mais, plus globalement, l'état du développement durable [Gallopín, 1997 ; Blanchet et November, 1998]. Le modèle TARGET [Rotmans et de Vries, 1997] propose une variation de ce modèle en effectuant une structuration à deux niveaux : sur le plan horizontal les indicateurs sont répartis dans une structure Force motrice – Etat – Impact – Réponse, et sur le plan vertical, selon différents niveaux d'agrégation.

Le modèle PER et ses variantes ont pour principal inconvénient une certaine rigidité. Les critères de répartition des indicateurs dans les trois catégories du modèle ne sont pas clairement définis [Blanchet et Novembre, 1998]. En effet, certains indicateurs pourraient se retrouver dans plusieurs catégories à la fois. Cet exercice de répartition est d'autant plus difficile que le nombre d'indicateurs est élevé, ce qui est souvent le cas.

Le modèle Stock - flux

Ce type de modèle repose sur une vision intégrée du développement durable qui considère les composantes au travers de la notion de stock, et les relations entre ces composantes au travers de la notion de flux [Prélaz-Droux, 2001]. Il cherche à décrire les mécanismes et les processus causaux déterminants pour le développement durable [OFS et al., 2003]. Les indicateurs de stock évaluent l'état d'un objet à un moment donné, par exemple : la biomasse d'une forêt, la population d'une ville, la somme d'argent à la banque, quantité d'eau d'un lac. Ces valeurs représentent alors l'accumulation de l'histoire dans le système [Meadows, 1998]. Les indicateurs de flux, appelés aussi *leading indicators* en Anglais, sont les inputs ou outputs qui augmentent ou diminuent le stock, par exemple : coupe et croissance des arbres, naissance et mortalité d'une population. Les indicateurs de flux intègrent implicitement les indicateurs de pression et de réponse du modèle PER, tandis les indicateurs de stock correspondent aux indicateurs d'état [Meadows, 1998]. Le modèle Stock-Flux représente l'avantage d'être plus simple que le modèle PER en regroupant les indicateurs en deux catégories bien distinctes.

En Suisse, le projet MONET [OFS et al., 2003] utilise ce genre de modèle pour structurer un ensemble d'indicateurs ; ceci, dans l'optique d'évaluer la durabilité du pays. Ces indicateurs sont établis sur des postulats définis à partir du rapport Brundland. La classification des indicateurs repose sur une structure à deux dimensions : thèmes (quoi mesurer, en lien avec les postulats ?) et processus (comment mesurer ?). Ces derniers sont décrits par cinq types d'indicateurs combinant les types flux, stock et le rapport flux/stock :

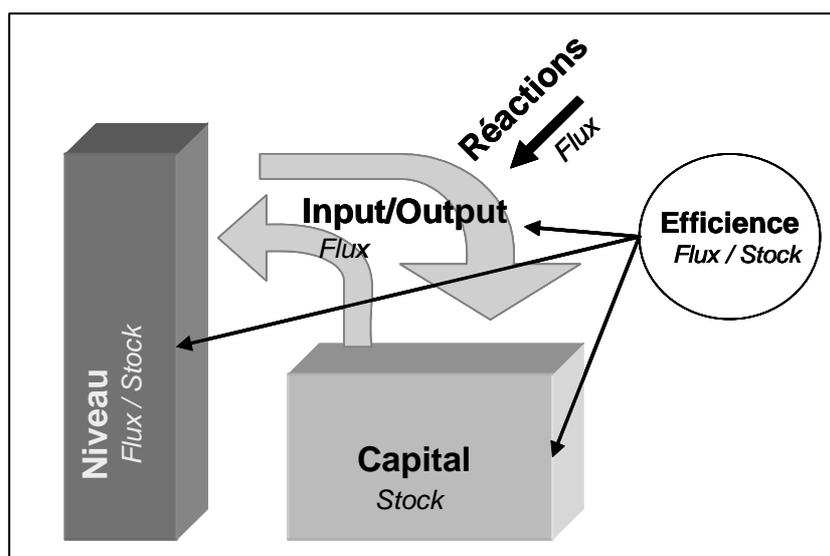


Figure 3.2 : Modèle MONET [OFS et al., 2003].

Cette structure est donc plus riche que le modèle qui consiste simplement à répartir les indicateurs dans des flux ou des stocks.

L'approche développée par l'IFEN [Rechatin et Theys, 1997] élabore une structure relativement similaire à celle de Monet et cependant plus complexe. Elle s'articule autour d'un module « pivot » qui décrit la manière dont la population et les activités transforment (flux) les ressources (nature, travail) en produits, services, revenus et sous-produits (déchets, pollutions,...). Elle s'intéresse à l'efficacité de ces transformations (flux) du point de vue du développement durable, et comment elles affectent le niveau des stocks. Les critères de pertinence proposés couvrent, entre-autres, l'adéquation avec les objectifs, la multi-dimensionnalité, la multi-temporalité, la diversité des échelles géographiques et la limite du nombre d'indicateurs.

Enfin, Huang et al. [1998] représentent le système urbain à travers un diagramme conceptuel. Ce dernier met en relation différentes catégories de stock (système urbain, système agricole, ressources en eau, etc.) et de flux (production urbaine, traitement de l'eau, recyclage des ressources, etc.), auxquelles sont associés des indicateurs.

3.5 Elaboration d'indicateurs géographiques

L'ancrage spatial du diagnostic territorial est fondamental pour orienter les différents projets d'aménagements [Chételat, 2005]. Cependant, bien que la plupart des diagnostics territoriaux utilisent l'information géographique, ils ne lui portent pas toujours une attention particulière, et ne lui attribuent pas explicitement un rôle [Joerin et al., 2005].

Beaucoup d'indicateurs proposés par les organismes qui visent à comparer les pays ou les régions s'appliquent difficilement à l'échelle locale telle que le quartier urbain. En particulier, ils ne prennent pas en compte les spécificités locales, culturelles et politiques. Une moyenne nationale ou régionale par exemple peut masquer de fortes disparités locales. De ce point de vue, les unités spatiales définies au niveau administratif (ex. limites cantonales, communales) ne sont pas toujours pertinentes pour un grand nombre d'indicateurs concernés, étant donné que les phénomènes naturels ou humains ne dépendent pas toujours de ces limites administratives [Rumley, 2002]. Il importe en conséquence de représenter l'hétérogénéité et la variabilité *spatiale* des phénomènes sur le territoire selon une échelle adaptée [Bell et Morse, 2000]. Grâce aux SIG qui facilitent le stockage et le traitement par analyse spatiale des données de base, il est possible de construire des indicateurs géographiques adaptés à ces besoins de représentation.

Selon Maby [2004] l'indicateur géographique désigne des phénomènes ayant une incidence sur le territoire. Il « *relie un objet spatial à un sujet observant l'espace* » [p. 20]. Cette relation à l'espace est plus ou moins directe, selon que les indicateurs revêtent d'une dimension thématique ou spatiale.

3.5.1 Dimension thématique

L'indicateur thématique sert d'outil de base à la géographie descriptive, à l'analyse statistique, à la cartographie thématique [Maby, 2004]. Il permet d'associer à un objet géographique un ou plusieurs attributs de phénomènes donnés. Par exemple, pour l'objet *tronçon routier*, on peut évaluer la densité d'éclairage, le niveau de trafic, la largeur des trottoirs, etc. Les valeurs des indicateurs peuvent être représentées dans des tableaux, mais aussi à travers des cartes thématiques qui permettent de visualiser les différences entre les entités géographiques du point de vue de ces valeurs.

Il est possible de traiter et de combiner les différentes couches d'indicateurs à travers des opérateurs d'analyse thématique proposés par les SIG. Voici quelques exemples utiles pour élaborer des indicateurs [Malcweski, 1999] :

- **Agrégation par superposition (overlay)** : sur des mêmes objets géographiques, cette opération consiste à générer une nouvelle couche d'attributs qui est fonction de deux ou plusieurs attributs selon les opérations arithmétiques usuelles (addition, soustraction, multiplication, division, moyenne). Au chapitre 6.1, sera présenté un indice d'*attractivité piétonne de l'espace public* obtenu par la superposition de cinq indicateurs sur les tronçons routiers.
- **(Re)classification** : cet opérateur permet de grouper des objets dans des classes définies par de nouvelles valeurs impliquant des opérations de comparaison, telles

qu'égal à, plus grand, plus petit que. Par exemple, on peut vouloir sélectionner des tronçons routiers, dont la valeur maximum de bruit est supérieure à 65 dB.

3.5.2 Dimension spatiale

L'indicateur spatial donne une information sur la position, la forme et l'organisation d'un objet dans l'espace [Maby, 2004]. On ne considère plus les relations entre attributs, mais celles entre position et attribut. L'indicateur constitue donc une variable dépendante de l'espace, décrite par la fonction suivante :

$$\text{Ind} = f(\text{espace}) \quad (\text{éq. 3.1})$$

La formulation mathématique de cette fonction spatiale implique de décrire l'espace en termes de valeurs qui sont soit absolues, en considérant une position exprimée en coordonnées : par exemple, la température est entre autres une fonction de la latitude ; soit relatives à un point d'origine comme la distance : par exemple, la densité bâtie est une fonction de la distance au centre ville.

Les SIG proposent un ensemble d'opérateurs d'analyse spatiale permettant de calculer des indicateurs spatiaux. Le mode de représentation *raster* est le mieux adapté pour le traitement de variables spatiales continues (température, pente, décibels, durées, etc.) [Joerin, 1998]. Parmi les nombreux opérateurs spatiaux, on en distingue notamment deux types [Joerin, 1998 ; Malcweski, 1999] :

- **Opérateurs d'analyse de distance** : pour calculer des distances horizontales telle que la proximité à vol d'oiseau ; pour rechercher des temps de parcours ou des tracés optimaux à moindre coût ; opérateurs d'interpolation spatiale telles que les fonctions basées sur les polygones de Thiessen.
- **Opérateurs de voisinage** : l'algorithme se base sur l'utilisation d'une fenêtre carrée (ex. fenêtre de 3 X 3 pixels) pour calculer par exemple la pente à partir de l'altitude, ou pour effectuer des interpolations à partir de valeurs connues.

En définitive, l'élaboration d'indicateurs géographiques est réalisée en combinant les opérateurs d'analyse spatiale et thématique.

3.6 Indicateurs synthétiques

3.6.1 De la nécessité de synthétiser

Les indicateurs ont, entre autres, pour fonction de produire et communiquer de l'information synthétique en agrégeant des données ou des indicateurs d'un niveau hiérarchique inférieur (figure 5.3). En effet, un indicateur synthétique est plus représentatif d'un phénomène global. De plus, la mise en relation de plusieurs indicateurs est complexe et peut être difficilement saisie par l'intelligence humaine. L'indicateur agrégé produit une vision simplifiée et une nouvelle signification qui est contenue partiellement dans chacun des sous-indicateurs.

La question de l'agrégation renvoie à celle du **nombre d'indicateurs** que doit contenir un ensemble d'indicateurs. De nombreuses approches proposent des ensembles contenant plusieurs dizaines voire même une centaine d'indicateurs, comme c'est le cas des Nations Unies [United Nations, 1996]. Un système d'information, ainsi détaillé, ne permet pas de produire une vue d'ensemble d'une situation donnée et va à l'encontre de l'objectif de simplification de l'information. A l'extrême opposé, un indicateur ou un indice ultra-agrégé est peu réaliste et perd de sa signification. Il s'agit en définitive d'établir un équilibre ou un

consensus entre un ensemble d'indicateurs qui permette d'appréhender la complexité des phénomènes et un ensemble qui produise une communication synthétique de l'information [Bell et Morse, 2000]. Un ensemble d'indicateurs devrait alors présenter une certaine souplesse et contenir plusieurs niveaux d'agrégation adaptés aux différents besoins d'utilisation.

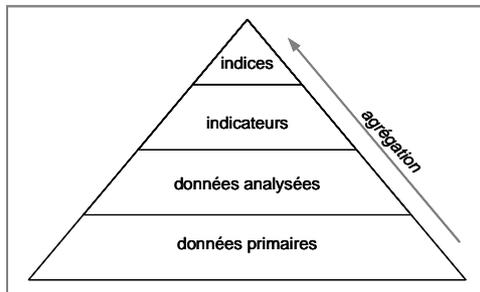


Figure 3.3: triangle d'agrégation, tiré de [Zaccai et Bauler, 2003].

Généralement dans la littérature, on désigne les indicateurs agrégés par le terme d'*indice*. Un indice est une valeur unique qui est une fonction simple de deux ou plusieurs variables [Ott, 1978, cité par Rotmans et de Vries, 1997]. Il est une valeur composite combinant plusieurs informations à un niveau élevé d'abstraction tout en cherchant à minimiser la perte d'information [ibid.]. Un indice se distingue donc des autres informations par son niveau d'agrégation dans une hiérarchie d'indicateurs [IISD, 2004 ; Zaccai et Bauler, 2003].

3.6.2 Méthodes de synthèse

La valeur d'un indicateur peut être obtenue directement par une donnée mesurée, par exemple le niveau de bruit, si celle-ci est jugée pertinente pour l'aide à la décision. Cependant dans la plupart des cas, les indicateurs sont dérivés de l'agrégation de données de base ou d'indicateurs de niveau inférieur [Gallopín, 1997].

Il existe différentes manières pour élaborer des indicateurs synthétiques.

1. Un indicateur synthétique peut être représenté par un **vecteur d'indicateurs** [Gallopín 1997] :

$$\text{Ind}_A = \langle \text{Ind}_B, \text{Ind}_C, \text{Ind}_D, \dots \rangle \quad (\text{équ. 3.2})$$

Ce vecteur constitue un profil d'une qualité donnée du territoire (p. ex qualité de l'environnement bâti) qui donne la possibilité d'apprécier séparément les différents aspects de cette qualité. Gallopín rappelle qu'un vecteur constitue une généralisation naturelle d'une variable à plusieurs dimensions. En outre, face à la forme vectorielle d'indicateurs, l'utilisateur rencontre parfois certaines difficultés à percevoir la situation globale de l'enjeu. Mais elle a l'avantage de respecter la représentation complexe du territoire. Cette forme d'agrégation peut être également utilisée lorsqu'une fonction d'agrégation n'est pas connue. UN-Habitat [2001] a utilisé le mode vectoriel pour communiquer les différentes composantes de l'*Indice de développement urbain* (IDU), en utilisant pour cela le support graphique de la « rosace » :

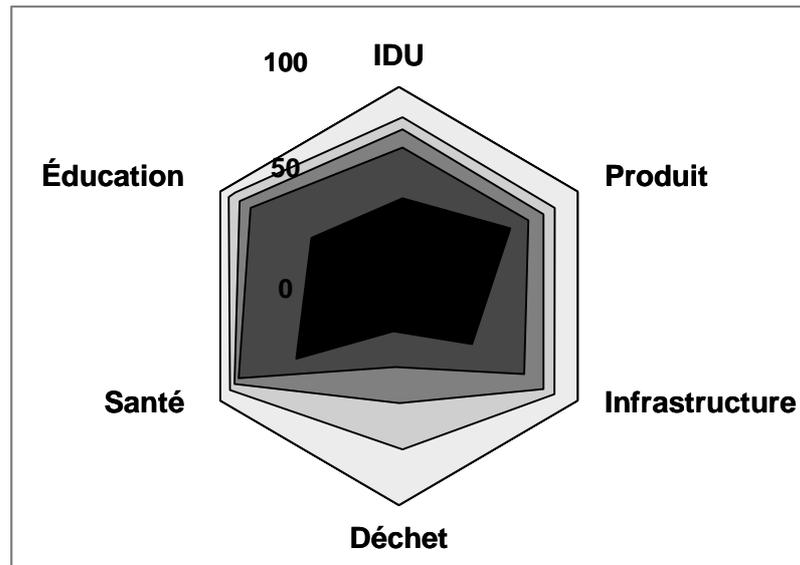


Figure 3.4 : Exemple graphique de la forme vectorielle de l'Indice de Développement urbain, tiré de UN-Habitat 2001].

Chacune des composantes de l'indice, de même que l'indice lui-même calculé par une moyenne des composantes (cf. point suivant), constitue un axe. Sur chacun des axes est reportée la valeur de la composante correspondante. Des valeurs seuil délimitent cinq classes ordinales permettant d'apprécier qualitativement l'indice. La performance d'un indicateur sera d'autant meilleure que sa valeur s'éloigne du centre de la rosace.

2. Un indicateur synthétique peut être représenté par une **agrégation** mathématique de composantes. Celui-ci renvoie au terme d'indice scalaire proposé par Gallopín [1997] :

$$\text{Ind}_A = f(\text{Ind}_B, \text{Ind}_C, \text{Ind}_D, \dots) \quad (\text{équ. 3.3})$$

Il existe une grande quantité de méthodes et d'approches pour agréger les indicateurs. Il est possible de se référer au domaine de l'analyse multicritère, qui distingue généralement deux types d'agrégation, pouvant s'appliquer aux indicateurs [Schärlig, 1985].

Les méthodes d'**agrégation complètes** regroupent les fonctions d'utilité les plus courantes, telles que l'addition, la moyenne, la multiplication et le ratio. Ces opérations introduisent souvent une pondération entre les critères/indicateurs. Leur succès est lié au fait de pouvoir produire facilement des valeurs uniques de synthèse. Ces méthodes autorisent une compensation complète entre les indicateurs. C'est-à-dire qu'une mauvaise performance dans un indicateur peut être compensée par une bonne performance dans un autre indicateur, ce qui revient à autoriser un certain taux de « substitution » entre les indicateurs [Both et al., 2003]. De ce point de vue, ces méthodes sont contestables notamment lorsqu'il s'agit d'évaluer la durabilité d'un système. En effet, le modèle additif autorise par exemple à échanger une certaine quantité de pollution contre une autre quantité de richesse pour une durabilité constante [ibid.]. On se demande jusqu'à quel point, dans la réalité, de tels échanges sont concevables et acceptables.

En reprenant l'exemple de l'indice de développement urbain, celui-ci, en plus d'être représenté sous une forme vectorielle, est obtenu par une moyenne de ses cinq sous-indices. Chacun d'eux est également calculé par une fonction agrégeant des indicateurs. Par exemple, le sous-indice Santé se calcule ainsi :

$$\text{Santé} = (\text{Espérance de vie} - 25) \times 50/60 + (32 - \text{Mortalité infantile}) \times 50/31.92 \quad (\text{équ. 3.3})$$

Une telle équation est très empirique et peu transparente. Il n'est pas précisé par exemple d'où vient la valeur '31.92' et ce qu'elle signifie.

Les méthodes d'**agrégation partielle**, telles que Electre [Roy, 1985] et Prométhée [Brans et Mareschal, 1990], procèdent à une comparaison des objets spatiaux, deux à deux, du point de vue de chaque indicateur séparément et calculent ainsi un indice de surclassement. Certaines d'entre elles limitent la compensation entre les critères (indicateurs) en introduisant un veto. Ce type d'approche est beaucoup moins répandu dans le domaine des indicateurs. Cependant, la méthode Electre TRI, qui consiste à répartir les objets spatiaux dans un certain nombre de classes ordinales, a été utilisée avec succès par Joerin et al. [2001b] pour calculer un indicateur complexe d'accessibilité aux lieux d'activités dans la ville de Québec. Cette méthode est également appliquée au chapitre 6.1 pour calculer l'indice d'*attractivité piétonne*.

Synthèse et conclusion du chapitre

En se référant aux nombreuses définitions de l'indicateur géographique, nous adoptons celle-ci : **les indicateurs géographiques mesurent des attributs de phénomènes ayant une incidence sur un objet du territoire, par rapport à une finalité donnée.**

Des propriétés ont été proposées pour distinguer un indicateur d'une information au sens général :

- L'indicateur doit être **pertinent** du point de vue d'une **finalité** d'évaluation et doit pouvoir indiquer une tendance du point de vue de cette dernière.
- Pour indiquer une tendance par rapport à la finalité, les indicateurs doivent être mesurés selon une **échelle ordinale** (qualitative) ou **cardinale** (quantitative).
- L'indicateur doit permettre au moins l'une des trois **comparaisons** : par rapport à un objectif normé ou tendanciel, entre différents lieux spatiaux, entre différentes périodes temporelles.
- Enfin, l'indicateur doit être suffisamment **représentatif du phénomène** mesuré, et la mesure doit par conséquent être relativement directe. Cela dépend de la disponibilité des données qui limite souvent la pertinence des indicateurs.

L'état et l'évolution d'un système urbain sont généralement évalués par une collection ou ensemble d'indicateurs. Ces ensembles se situent à l'interface entre le système d'information et le système de décision.

Il existe plusieurs approches méthodologiques pour élaborer les ensembles d'indicateurs qui répondent à des objectifs d'utilisation spécifiques. L'organisation d'un ensemble d'indicateurs est issue de la projection d'une liste d'indicateurs dans un cadre théorique qui se matérialise sous la forme d'un modèle conceptuel d'une réalité donnée. L'avantage de ce genre d'approche est de baser l'élaboration sur une structuration forte, facilitant l'identification, l'élaboration et la communication d'indicateurs pertinents. Cela rejoint l'objectif de la thèse qui est de proposer un système d'indicateurs reposant sur une compréhension préalable de la réalité. Cependant, dans les approches courantes, les modèles conceptuels ainsi que les choix des indicateurs sont imposés *a priori* par un expert. Mais nous verrons au chapitre 5, que ces modèles ne sont pas neutres et qu'il est opportun d'associer les acteurs à leur élaboration dans le contexte de processus participatifs.

Un indicateur géographique ou spatial permet de représenter l'hétérogénéité spatiale d'un phénomène sur un territoire, une ville à une échelle donnée. Cependant, le fait de représenter spatialement un indicateur ne signifie pas pour autant qu'il soit spatial au sens strict. Il s'agit

en effet de distinguer les indicateurs thématiques qui affichent sur une carte les valeurs ou les attributs associés à un type d'objet géographique et qui sont fonction de données ou d'autres indicateurs, des indicateurs spatiaux qui sont fonction de l'espace tel que la distance. Par conséquent, l'élaboration d'indicateurs dans un contexte géographique implique de combiner des opérateurs spatio-thématiques tels que ceux proposés par les SIG.

L'élaboration d'un indicateur peut soit se baser sur une sélection pertinente d'une donnée, soit sur une agrégation de données de base ou d'indicateurs de niveau inférieur afin de réduire la quantité d'information qui, trop importante, est difficilement assimilable pour le décideur.

Nous avons dans ce chapitre distingué plusieurs formes d'agrégation :

- mode vectoriel : représente les différentes facettes d'une réalité complexe ;
- mode scalaire ou agrégation (complète, partielle) : résultat dans la forme d'une valeur unique ;

Des applications des techniques d'analyse spatiale et d'agrégation pour élaborer des indicateurs seront présentées au chapitre 6.

Avant cela, nous verrons au chapitre suivant l'importance de représenter les relations causales entre indicateurs pour mieux comprendre le fonctionnement du système urbain dans un diagnostic. Cela nous amènera à passer de la notion d'ensemble à celui de système d'indicateurs.

Approche et modélisation systémique

Si le diagnostic territorial se limite à observer et à suivre l'état de la ville dans le temps, cela revient à considérer la ville comme une « boîte noire » dont on mesure, à l'aide d'indicateurs, quelques attributs indépendants. Or, le territoire, la ville est un système complexe. Comme le relève un ouvrage de l'OCDE [1997, p. 15], « *la persistance des problèmes urbains donne à penser que notre compréhension actuelle des villes est incomplète et inefficace* ». Par conséquent, la mise en œuvre d'actions efficaces implique au préalable de comprendre les mécanismes sous-jacents au système urbain, en particulier à travers les interdépendances entre les phénomènes et entre les indicateurs qui les mesurent. Cette compréhension est facilitée en recourant à l'approche systémique et à ses outils de modélisation.

Ce chapitre débute par une présentation des concepts de base de l'approche systémique (4.1). Puis il étudie l'intérêt de considérer le territoire et les ensembles d'indicateurs sous l'angle de cette approche (4.2). La construction de systèmes nécessite la mise en œuvre d'outils de modélisation systémique, aussi bien structurelle, basée sur les relations causales, que fonctionnelle (4.3).

4.1 Concepts généraux de l'approche systémique

4.1.1 Définition du concept de système et de l'approche systémique

A la base de l'approche systémique se situe la notion de **système**, notion vague et ambiguë pourtant utilisée aujourd'hui dans un nombre croissant de disciplines en raison de son pouvoir d'unification et intégrateur : une ville, une cellule, un organisme, mais aussi une voiture, un ordinateur, une entreprise sont des systèmes. De Rosnay [1975, p. 93] résume bien les nombreuses définitions existantes en affirmant que « *un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but* ». La notion d'ensemble peut parfois être interprétée de façon réductrice car elle ne représente qu'une collection d'éléments munis de caractéristiques propres et donc indépendantes [Allain, 2001]. Ainsi Bertalanffy [1973, p.53] va plus loin en affirmant qu'un système est « *un complexe d'éléments en interaction* ». Plus précisément, selon Le Moigne [1977, p. 37], un système (général) est « *un objet qui, dans son environnement, doté de finalité, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps sans qu'il perde pourtant son identité unique* ». Chacune des trois facultés de l'objet –, structure, activité, évolution – est caractérisée par une définition (i) ontologique (ou analytique) : ce que l'objet est ; (ii) fonctionnelle : ce que l'objet fait ; (iii) génétique (ou historique) : ce que l'objet devient [ibid.]. Il est important d'ajouter enfin que les systèmes n'existent pas dans la réalité mais il s'agit plutôt d'un construit théorique, d'une hypothèse [Lapointe, 1998].

L'**approche systémique** est l'application du concept de système à la définition et à la résolution de problèmes, ainsi qu'à la mise en œuvre de décisions et d'actions [Lapointe, 1998]. La définition suivante résume de façon exhaustive le concept : « *La systémique regroupe les démarches théoriques, méthodologiques et pratiques relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste et qui pose des problèmes de frontière, de relations internes et externes, de structure, de loi, ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation de totalité complexe* » [Revue Internationale de Systémique, 1987]. L'ensemble des concepts cités sera repris plus en détail plus loin.

De Rosnay [1975] symbolise l'approche systémique par l'idée du *macroscope* qui permet d'analyser l'infiniment complexe, en opposition avec le *microscope* (infiniment petit) et le *télescope* (infiniment grand).

Par ailleurs, selon Schwarz [1999], l'approche systémique se déploie en trois champs : (i) *contextualiser* (donner du sens) et exprimer la nature ontologique de l'objet, (ii) *comprendre* l'évolution et les mécanismes des systèmes, (iii) *agir* et évaluer l'incidence de l'approche systémique sur l'intervention dans les systèmes humains, sociaux et écologiques.

L'approche systémique est souvent définie en opposition à l'approche analytique classique comme le montre le tableau 4.1 [Lapointe, 1998 ; Rosnay, 1991]. Le Moigne [1977] propose, en réponse aux postulats épistémologiques de Descartes (évidence, réductionnisme, causalisme, exhaustivité), quatre préceptes de l'approche systémique : (i) « *convenir que tout objet se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur* » (pertinence ou prisme de perception) ; (ii) « *considérer l'objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et active au sein d'un plus grand tout* » (globalisme) ; (iii) « *interpréter l'objet non pas en lui-même, mais par son comportement vers une finalité donnée* » (téléologie) ; et (iv) « *convenir que toute représentation est simplificatrice* » (agrégativité). L'approche systémique, du point de vue épistémologique, vise non pas à rejeter en bloc l'approche scientifique traditionnelle mais plutôt à la révolutionner et à l'ouvrir sur un plus grand réalisme, sur la finalité et sur la dynamique complexe des systèmes.

Approche analytique	Approche systémique
ramener le système à ses éléments constitutifs les plus simples	considérer le système dans sa totalité, sa complexité et sa dynamique
vision statique (système simple)	vision dynamique (système complexe)
isoler : se concentrer sur les éléments	relier : se concentrer sur les interactions entre les éléments
étudier la nature des interactions	étudier les effets des interactions
décomposer et préciser les détails	s'appuyer sur la perception globale
validation expérimentale dans le cadre d'une théorie	comparaison du modèle et de la réalité
approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles	approche efficace lorsque les interactions sont non-linéaires ou circulaire et fortes
connaissance des détails, buts mal définis	connaissance des buts, détails flous
conduite disciplinaire	conduite interdisciplinaire

Tableau 4.1 : Comparaison des approches analytiques et systémiques [adapté de de Rosnay, 1975].

4.1.2 Principales écoles de l'approche systémique

L'approche systémique telle qu'utilisée aujourd'hui est née au cours des trente dernières années de la fécondation de plusieurs disciplines dont la biologie, la théorie de l'information, la cybernétique et la théorie des systèmes. Une certaine confusion règne encore entre ces différentes théories, leurs frontières n'étant pas toujours bien distinctes.

Globalement sans aller plus dans les détails, l'émergence, durant ces soixante dernières années, de l'approche peut être résumée selon les étapes suivantes.

La **cybernétique** marque une rupture avec le structuralisme en s'intéressant aux interactions entre les éléments et non pas seulement aux éléments eux-mêmes [Chantier Systémie, 1999]. La théorie de la cybernétique ou théorie du contrôle est proposée en 1948 par Wiener. Il propose une représentation des organismes vivants et des machines construites par l'homme et de leur fonctionnement mécanique en utilisant les concepts de [Schwarz, 1996] :

- *Boîte noire* qui permet d'ignorer le fonctionnement interne du système et de le considérer comme comportant des entrées et des sorties.
- *Boucle de rétroaction* ou feedback qui peut être négative (régulation) ou positive (amplification). L'attention est portée sur les mécanismes de régulation.

La finalité de la machine est de réaliser des opérations déterminées par avance. Ce concept de *finalité* émergé de la cybernétique est l'un des concepts majeurs de la systémique [Durand, 2002].

La cybernétique est associée à la **théorie de l'information et de la communication** développée par Shannon à la même époque. Cette théorie s'intéresse à la forme du message et l'efficacité de sa transmission qui dépend de deux facteurs : sa redondance propre et les bruits qui peuvent perturber la transmission [Durand, 2002]. Ainsi une communication est efficace, s'il y a un bon équilibre entre redondance et originalité de l'information et si le bruit est minimum.

La **Théorie Générale des Systèmes** [Bertalanffy, 1968] a été développée dès les années trente par von Bertalanffy. Le but de cette théorie était de dégager des principes explicatifs de l'univers considéré comme système à l'aide desquels on pourrait modéliser la réalité. Les interactions entre les composantes du système sont exprimées de façon mécaniste et mathématique par des équations différentielles. Cette théorie exprime trois concepts fondamentaux : (i) invariance des systèmes, (ii) totalité, (iii) systèmes ouverts.

La **deuxième systémique**, plus récente, se base sur la propriété des systèmes ouverts (échange de matière, d'énergie et d'information) [Le Moigne, 1977] et vise à étudier l'évolution dynamique des systèmes vers une finalité souhaitée selon un mécanisme d'auto-organisation [Schwarz, 1994].

4.1.3 Concepts fondamentaux de l'approche systémique

Les définitions données ci-dessus soulignent plusieurs concepts fondamentaux qu'il s'agit de développer et de clarifier. Ces concepts, à l'image de la systémique, se chevauchent et ont de fortes interactions.

Principe d'invariance des systèmes

Bertalanffy constate que, sous l'apparente diversité des phénomènes, il existe des traits communs, des régularités, des invariants que partagent un grand nombre de systèmes, qu'ils soient physiques, écologiques, sociaux ou cognitifs. Il convient alors de rechercher

l'*isomorphisme* des concepts, des lois et des modèles dans les différentes disciplines. Sur cette base, la systémique est d'essence non disciplinaire mais transdisciplinaire [Prélaz-Droux, 1995].

Relation et interaction

Le Moigne [1977] désigne le système général en tant que *processeur*. Celui-ci est identifiable dans ses processus, recevant de la part d'autres processeurs de l'environnement des *intrants* à l'instant t pour les restituer et émettre vers d'autres processeurs : les *extrants* au temps t . Ces flux vont augmenter ou diminuer dans le temps la capacité de réservoir (stock ou mémoire) du processeur. Ils sont de nature matérielle (énergie, matière) et/ou immatérielle (information, commande). Les flux IN – EX définissent alors les interrelations ou des connexions entre les processeurs. Les processeurs peuvent être décomposés en composantes, dites *processeurs élémentaires*.

Contrairement à ce qu'enseigne l'approche analytique, la relation entre deux éléments ou processeurs n'est pas seulement une simple action linéaire de A sur B ou inversement ; ce type de relation induit un comportement prévisible ou déterministe. Dans une situation complexe, la relation comporte souvent une double action de A sur B et de B sur A qui induit des comportements imprévisibles et inexplicables [Durand, 2002]. C'est l'interaction ou la relation circulaire [Bertalanffy, 1968]. L'interaction fait ressortir des liens de dépendances entre les éléments [Lapointe, 1998]. Elle peut être exprimée par l'intermédiaire de boucles de rétroaction appelées souvent aussi *feedbacks*¹, concept développé par la cybernétique. Ces boucles sont définies de la façon suivante [Bertalanffy, 1968] : une partie de l'*Extrant* d'un système est renvoyée à l'entrée comme information pour l'*Intrant*, ceci afin de diriger l'action du système vers un but déterminé. Ainsi l'information passe par un *centre de décision* qui évalue si une action de régulation doit être entreprise pour ramener le système vers son but.

Les rétroactions peuvent être de deux types [Von Bertalanffy 1968; Lévy, 1999] :

- *Rétroaction positive* : lorsque l'effet renforce la cause [Lévy, 1999]. C'est le propre des réactions en chaîne : « *le plus entraîne le plus* », ou « *le moins entraîne le moins* » [de Rosnay, 1975, p. 111]. Ce mécanisme donne lieu à une nouvelle organisation et une nouvelle stabilité du système [Lapointe, 1998]. A l'extrême, il peut mener à une extinction d'un système ou à une amplification. A titre d'exemples, on peut citer le cas de l'explosion démographique d'une ville due à une forte natalité, notamment dans les pays en voie de développement, comme l'illustre la figure 4.1.
- *Rétroaction négative* : lorsque l'effet diminue la cause [Lévy, 1999]. En cybernétique, cela revient à une convergence et une régulation du système vers sa finalité [De Rosnay, 1975]. On peut citer l'exemple courant du thermostat (régulation de la température d'une pièce). Chez les organismes vivants on appelle ce type de processus le principe d'homéostasie : processus par lesquels la situation matérielle et énergétique est maintenue constante de sorte à ce que le système survive [Bertalanffy, 1968]. Même si cet état stationnaire paraît statique en apparence, il s'agit bien d'un processus dynamique étant donné que les boucles de rétroaction maintiennent cet état [Durand, 2002]. En reprenant l'exemple de la figure ci-dessous, la mortalité est l'un des facteurs qui régule la population démographique.

¹ Le Moigne [1977 ; 1990] relève que le terme *feedback*, tel qu'utilisé en cybernétique, est trop restrictif, car il désigne des relations purement informationnelles, autrement dit des signaux. Il s'agit alors plutôt de *rétro-information*. Or les *feedbacks* peuvent aussi inclure des individus, des biens, des services et correspondent dans ce cas à du recyclage de matière ou d'énergie.

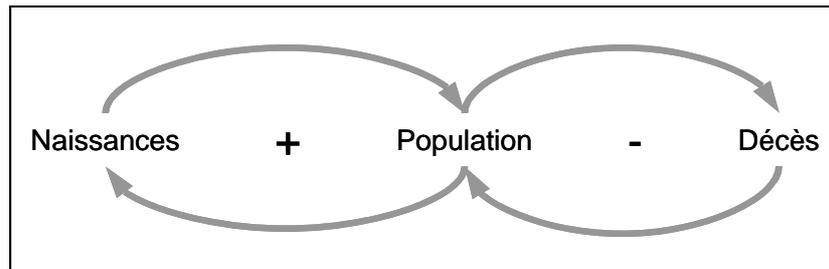


Figure 4.1 : Exemple de l'évolution démographique combinant les rétroactions positives et négatives. La Population est une variable de stock alors que Naissances et Décès sont des variables de flux.

Par ailleurs, il n'est pas exclu que les rétroactions puissent s'inverser dans le temps notamment, lorsque des interventions ou des politiques extérieures sont entreprises afin de corriger certaines tendances (voir plus loin le concept d'autonomie du système).

Totalité

Selon Bertalanffy [1968] les éléments d'un système en interaction dynamique constituent des ensembles ne pouvant être réduits à la somme des parties, ou bien encore « *un tout est plus que la somme de ses parties* ». Cela signifie qu'il est indispensable, pour connaître les propriétés du système de considérer les relations liant ses éléments. Sur la base de ce principe, on distingue les propriétés *sommatives* et *constitutives* des systèmes. Les propriétés sommatives du système correspondent à la somme des propriétés des différents éléments qui le constituent. Les propriétés constitutives intègrent les propriétés sommatives mais également celles qui résultent des relations liant les éléments. Le *tout*, synonyme aussi de *holisme*, fait apparaître des qualités émergentes que ne possédaient pas les parties. Le concept d'*émergence* a été notamment développé par Schwarz [1994] et adapté par Prélaz-Droux [1995] dans le cadre d'une formalisation du système général. Celle-ci considère la représentation du système en trois plans : les plans physique (composantes), logique (interactions) et holistique (unité indivisible). Le plan holistique émerge des interactions entre les composantes et constitue l'*identité* du système qui donne une signification à ces interactions.

Organisation

L'unité évoquée ci-dessus résulte d'une certaine forme d'organisation du système entre tous ses éléments, à la fois *structurelle* (représentable par un organigramme), *fonctionnelle* (représentable par un programme) [Loriaux, 1994 ; Durand, 2002].

L'**organisation structurelle** renvoie à une description ontologique du système, c'est-à-dire ce que le système *est* [Le Moigne, 1977]. Une description structurelle du système consiste à identifier et représenter clairement les éléments du système, leurs interrelations, les équations mathématiques qui définissent ces interrelations et la frontière qui sépare le système de son environnement.

L'**organisation fonctionnelle** décrit l'activité du système. Comme l'affirme Le Moigne [1977, p. 65], le processeur ne nous intéresse pas « *d'abord par ce qu'il est mais par ce qu'il fait et ce qu'il subit, donc par ce qu'il devient* ». Alors que l'organisation structurelle est statique, l'organisation fonctionnelle permet de décrire le processus *dynamique* du système, ce qui introduit la notion de temps. Ainsi, sur la base des interrelations entre les éléments, on modélisera et simulera les flux de matière, d'énergie ou d'information, les rétroactions possibles et les entrées et sorties qui matérialisent les rapports du système avec son environnement.

Complexité

La logique cartésienne, en réduisant les ensembles à ses parties, nous avait appris à simplifier tous les phénomènes en éliminant l'aléatoire et l'inconnu [Durand, 2002]. Cependant, la complexité est omniprésente à des degrés divers dans tous les systèmes. Ainsi, la pensée systémique aide à conserver et à mieux prendre en compte cette complexité, quitte à admettre qu'on ne puisse en saisir et en comprendre toute la richesse.

La complexité, c'est l'« *incapacité que l'on a de décrire tout le système et de discerner son comportement à partir de la connaissance des comportements de ses parties* » [Mélèze, 1972]. Elle est attribuable aux facteurs suivants [de Rosnay, 1975 p.104] : (i) grande variété des éléments d'un système, (ii) organisation de ces éléments en niveaux hiérarchiques et (iii) interactions non-linéaires et nombre de liaisons possibles. La complexité renvoie donc au degré d'organisation générale du système, aussi bien structurelle et fonctionnelle.

Le Moigne [1990] qui a consacré un ouvrage à la modélisation des systèmes complexes, met en évidence l'interaction comme support essentiel de la complexité. Selon lui, le **système complexe** est vu comme « *un enchevêtrement intelligible et finalisé d'actions interdépendantes* » [p. 24]. Il exprime ainsi deux perceptions antagonistes : un phénomène que l'on perçoit dans son **unité**, sa cohérence et dans ses **interactions** internes entre **composants** actifs dont il constitue la composante résultante.

Le système complexe contient les propriétés suivantes :

- Le système complexe est *irréductible* à un modèle fini explicatif (aussi compliqué qu'il soit). Paradoxalement, les systèmes complexes nous sont pourtant intelligibles.
- Le système complexe décrit des phénomènes *imprévisibles* et ne postule donc aucun déterminisme. En d'autres termes, on ne peut prévoir son comportement [Thibault, 2003].

La représentation de la complexité précède l'action. Ainsi, le système complexe est la représentation active sur laquelle on va raisonner pour anticiper les conséquences des projets d'actions à entreprendre dans la réalité ou le territoire [ibid.]. C'est le propre du processus de diagnostic territorial.

Toujours selon Le Moigne [1990], la complexité n'est pas la complication.

Un système *compliqué* : on peut le **simplifier** pour **découvrir** son intelligibilité (**explication**). Il est donc décomposable en éléments *simples*. Cette démarche se caractérise donc par une recherche d'exhaustivité.

En revanche, un système complexe : « *on doit le modéliser pour construire son intelligibilité (compréhension). Il est quasi-décomposable en éléments complexes. Ceci explique l'irréductibilité des systèmes complexes. Mais en simplifiant, en réduisant à un concept simplificateur, c'est-à-dire en mutilant, un système complexe, on détruit à priori son intelligibilité* ».

En conclusion, Le Moigne [1990, p. 20] invite « *la science à passer de l'étude des questions compliquées et donc simplifiable à l'étude des situations complexes et pourtant intelligibles* ».

Téléologie

La téléologie est « *l'étude des finalités d'un objet* » [Le Moigne, 1977, p. 32]. Ce principe va à l'inverse de celui de la causalité classique où la cause est analysée pour elle-même et non dans la perspective d'une finalité donnée. Autrement dit, le système est dépendant des conditions futures plutôt que des conditions passées (causes) [Bertalanffy, 1968 ; De Rosnay,

1975]. Cela constitue une importance particulière pour l'approche systémique, car la finalité indique un sens, une direction au système. En cybernétique, la finalité est constituée par un état stable vers lequel le système doit tendre par le biais de mécanismes rétroactifs de régulation.

La finalité peut provenir du système, d'autres systèmes ou de son environnement. Elle constitue un élément clé de l'identité du système. Elle va déterminer l'organisation structurelle et fonctionnelle du système. En outre, un système doit être suffisamment souple pour modifier ses finalités et, de ce fait, sa structure et ses processus [Lapointe, 1998].

Ouverture du système à son environnement

Le système est ouvert, fermé ou isolé selon le degré d'échange et d'interaction qu'il entretient avec son environnement [Major, 1999] :

- Un *système ouvert* est défini par sa capacité d'échanger de l'énergie, de la matière et de l'information avec son environnement. Ce dernier est constitué de l'ensemble des systèmes avec lesquels il entretient des relations actives. Les échanges représentent les entrées et les sorties du système. Ils ont lieu aux points d'interface qui définissent les frontières des systèmes.
- Le concept de *système fermé* a été introduit par la thermodynamie [Bertalanffy, 1968]. Le système fermé n'échange que de l'énergie, mais pas de matière, ce qui conduit à une augmentation de l'entropie du système. La cybernétique, fondée sur la rétroaction de l'information, constitue un cas particulier des systèmes fermés [Bertalanffy, 1968 p. 154]. Il n'échange que de l'information (ex. température dans le thermostat) de sorte à corriger à travers un signal l'évolution du système vers le but défini.
- Les *systèmes isolés* sont totalement autonomes et n'ont aucun échange de quelque sorte avec l'environnement.

Le concept de système fermé et isolé reste très théorique et restreint à des conditions expérimentales contrôlées en laboratoire. La plupart des systèmes réels (humains, organismes vivants) sont plus ou moins ouverts. Ils doivent garder cependant un certain degré de fermeture pour assurer le maintien de leur identité et éviter d'être dissous dans le milieu. Le Moigne [1977] parle alors de « système semi-isolé ».

Evolution

L'objet structuré évolue irréversiblement dans le temps. Selon Lévy [1999], le systémisme doit rentrer en phase avec l'historicité qui implique quatre composantes décisives : complexité, intentionnalité, accélération du mouvement, **irréversibilité cumulative**. Ce concept d'historicité, d'évolution ou de changement *irréversible* constitue le troisième aspect fondamental (après la structure et l'activité) de la définition du Système général selon Le Moigne [1977, p. 31] : « *les structures changent un instant lorsqu'elles fonctionnent, mais lorsque ce changement est si grand qu'il est nécessairement irréversible, un processus historique se développe, donnant naissance à une nouvelle structure* ». Selon lui, l'évolution d'un objet est définie par une collection d'états ou de « photographies » dans le temps. Lévy dénonce ce manque d'historicité propre à certaines approches systémiques, de deux manières : (i) la pertinence statique des systèmes autorégulés en cybernétique ; (ii) l'impuissance dynamique des approches qui ne peuvent expliquer comment une société est arrivée à un état et, par quels processus elle passera à un nouvel état. Autrement dit, une représentation de la complexité d'un système tel que le territoire invite à une lecture attentive « à ce qui, dans

l'avant, annonçait l'après, et ce qui, dans l'après, rappelle l'avant » [Debarbieux et Vanier, 2002, p. 14].

Ainsi, l'évolution et l'émergence d'un système doivent être associées à la rétroaction positive, c'est-à-dire la capacité qu'a un système d'accéder à de nouveaux points d'équilibre, et donc à une nouvelle identité et finalité [Lapointe, 1998]. Le changement correspond par conséquent à un phénomène de déstructuration ou rupture de l'organisation du système – restructuration (voir concept d'auto-organisation ci-dessous).

Cela fait apparaître deux logiques paradoxales entre une finalité de régulation exprimée par la cybernétique dans les systèmes machine et organismes biologiques et un changement souvent nécessaires dans les systèmes humains. Il convient cependant d'éclairer si ce changement est volontaire et maîtrisé (tel que préconisé par le principe du développement durable), ou involontaire et incontrôlé (ex. explosion démographique) auquel cas des mécanismes régulateurs sont nécessaires pour éviter que le système ne s'emballé et se détruise.

Autonomie et auto-organisation

L'évolution du système vers une nouvelle stabilité, un nouvel ordre, renvoie au principe d'*auto-organisation*. Celui-ci constitue l'achèvement de la systémique actuelle appelée aussi deuxième systémique. Il est une propriété des systèmes ouverts. C'est-à-dire que les systèmes prennent dans l'environnement ce qui il leur est nécessaire pour ensuite s'auto-produire et jouir d'une certaine autonomie [Durand, 2002].

Schwarz [1994] décrit de façon très claire le mécanisme d'auto-organisation selon une « spirale ». Lorsque des perturbations extérieures productrices de tensions se présentent, elles peuvent faire évoluer le système de trois manières : (i) la perturbation est infime et le système retourne vers son état initial ; (ii) la perturbation est trop importante et le système évolue vers la régression ou la destruction ; (iii) le système évolue vers un nouveau stade d'organisation et une nouvelle stabilité. Puis le cycle recommence.

4.2 Implications concrètes de l'approche systémique : systèmes urbains et systèmes d'indicateurs

4.2.1 Système urbain

L'approche systémique peut être appliquée à l'analyse de l'organisation et du fonctionnement des villes. Le terme de ville écosystémique est d'ailleurs couramment utilisé [Huang et al., 1998 ; Newman, 1999]. En effet, la ville peut être considérée comme un écosystème spatial complexe qui se développe aux moyens de métabolismes [De Rosnay, 1975]. Newman [1999] en propose un modèle appliqué aux systèmes humains et urbains : ceux-ci, à travers les activités économiques, culturelles et liées au transport, transforment les ressources (territoire, eau, nourriture, énergie, etc.), d'une part en gain sur le niveau de vie (emploi, éducation, logement, loisirs, etc.), d'autre part en déchets (effet de serre, bruit, polluants divers, etc.).

En résumé, ces mécanismes impliquent un très grand nombre d'interactions dynamiques entre des phénomènes vivants et non-vivants [Huang et al., 1998 ; Newman, 1999 ; De Sède et Moine, 2001]. Comme le relève Burgi-Diop [1997, p. 28], la ville est un moyen de « *réaliser la finalité des sociétés humaines, qui est de vivre et de maintenir leurs structures* ». Les hommes sont la cause des phénomènes qui se déroulent dans le milieu urbain, qui peuvent à leur tour avoir des effets sur les hommes.

L'ensemble de ces dynamiques nécessite de comprendre le fonctionnement des systèmes territoriaux étudiés, et l'impact de certaines actions en termes de gestion ou de planification [De Sède et Moine, 2001]. En effet, la ville voit coexister les deux formes de rétroactions positives et négatives [Burgi-Diop, 1997]. Mais quelle est la résultante de celles-ci ? Autrement dit, les villes actuelles d'une certaine taille évoluent-elles vers une désorganisation irréversible, prêtes à se désagréger, à travers l'exode rural et l'explosion démographique des villes particulièrement dans les pays en voie de développement, l'imperméabilisation des surfaces urbaines amplifiant le risque d'inondations, l'usage immodéré de l'automobile ? Ou connaissent-elles un développement équilibré et durable, viable pour l'ensemble de ses habitants, à travers le recyclage des déchets et de l'énergie, la régulation du trafic en rendant plus attractif la mobilité douce, etc. ?

Ces coexistences de rétroactions positives et négatives se produisent de manière plus générale à travers un processus perpétuel de *territorialisation – déterritorialisation – reterritorialisation* [Debarbieux et Vanier, 2002]. Ces trois phases ont d'ailleurs été relevées historiquement par Bassand [1997] dans le quartier des Grottes à Genève : la naissance du quartier (1840-1930), la phase de non-décision et de dégradation (1930-1968) et la phase de renaissance et de métropolisation (dès 1968).

Selon Rumley [2002], ces dynamiques territoriales ne sont pas assez pris en compte dans les processus d'aménagement du territoire, tant au niveau politique que technique. Pour remédier à cette lacune, il est alors nécessaire de développer une meilleure compréhension de ces dynamiques en proposant des systèmes d'information adaptés.

4.2.2 Systèmes d'indicateurs

L'usage d'un ensemble d'indicateurs serait grandement facilité, si on avait la certitude que les phénomènes et les indicateurs qui les mesurent sont absolument indépendants [Desthieux et Joerin, 2004]. Dans ce cas, on chercherait à décrire, à l'aide d'indicateurs, certaines caractéristiques d'un système considéré comme une 'boîte noire' ; ou bien même à extrapoler un unique indicateur en tant que représentatif de la performance d'un système. De cette manière, le gestionnaire pourrait planifier des actions visant à améliorer un secteur dont les indicateurs sont insatisfaisants, sans pour autant craindre que ces actions n'affaiblissent d'autres secteurs.

Ce genre d'attitude se produit notamment, lorsque des Etats cherchent à optimiser la gestion économique en maximisant le PIB, au détriment d'une justice sociale ou d'une qualité de l'environnement, etc. [Meadows, 1998]. Ou bien peut-on, selon les auteurs de l'initiative Sustainable Seattle [1998], prendre une bonne décision sur le futur d'un quartier sans tenir compte de la délinquance des mineurs ou de l'utilisation de l'automobile ?

D'autre part, Bell et Morse [2000] illustrent cette dérive à travers l'indice *Maximum Sustainable Yield* qui définit le quota maximum de pêche d'une espèce de poisson sans que la durabilité de celle-ci soit menacée. Beaucoup de biologistes proposent cet indicateur comme représentatif de la durabilité de l'activité de la pêche. Cet indice ne prend pas en compte des phénomènes naturels menaçant les espèces, tels que les compétitions entre espèces, les courants marins anormaux (El Niño) et des aspects socio-économiques, tels que les moyens de subsistance des pêcheurs. Ainsi, un indicateur peut présenter une bonne performance d'un certain point de vue de durabilité, mais les conséquences de cette performance peuvent être nuisibles sur d'autres secteurs. Il est évidemment impossible de tirer des conclusions sur le développement durable à partir d'un seul indicateur [Both et al., 2003]. Ce type d'approche est trop restrictif et ne favorise pas une vision interdisciplinaire et multisectorielle de la complexité.

L'utilisation d'indicateurs indépendants est donc réductrice et incompatible avec la réalité complexe du territoire. Elle ne permet pas d'en développer une intelligibilité. Par conséquent, si l'indépendance ne peut pas être garantie, l'alternative consiste à expliciter les relations entre indicateurs selon une approche systémique, dans le but de mieux comprendre la dynamique des processus territoriaux, de produire une meilleure représentation des interactions entre le système humain et le système naturel, de favoriser une réelle intégration entre les composantes du développement durable et de mieux cibler en définitive les décisions à la racine des problèmes [Van Kamp et al., 2003 ; Gallopín, 1997 ; Malkina-Pykh, 2002 ; Merkle et Kaupenjohann, 2000].

L'approche systémique présuppose ainsi **de passer de la notion d'ensemble à celui de système d'indicateurs, dans lequel sont traduites les interdépendances entre les phénomènes territoriaux**. L'indicateur, en tant que composante active au sein d'un système, s'apparente à un *processeur* élémentaire, ou à un processeur agrégeant des processeurs élémentaires, s'il s'agit d'un indicateur agrégé. Pour être plus strict, un indicateur, en tant qu'information, mesure les attributs d'un 'phénomène – processeur' agissant sur le territoire. Et les relations entre indicateurs représentent les échanges de matière, d'énergie et d'information qui se déroulent entre les phénomènes.

Les différentes approches méthodologiques d'organisation des indicateurs, présentées au chapitre précédent, structurent les indicateurs en les classant dans des catégories (pression – état – réponse, stock-flux). Le choix des indicateurs repose certes sur une représentation systémiques des phénomènes réels, qui sont au cœur de l'articulation entre ces catégories. Mais les relations se situent uniquement au niveau conceptuel et théorique. Les indicateurs sont simplement **juxtaposés** dans les différentes catégories dans le but de guider leur sélection. D'autres démarches proposent de rendre davantage explicites les relations entre indicateurs. C'est le cas notamment de l'initiative Sustainable Seattle [1998] qui énonce pour chaque indicateur les relations possibles avec d'autres indicateurs de la liste. Cependant, **la plupart des approches ne proposent pas des méthodes pour identifier et formaliser les relations causales entre indicateurs et analyser le modèle résultant** [Repetti et Desthieux, 2005].

Une telle formalisation implique de considérer un ensemble de relations entre les indicateurs en tant que modèle du système réel. Gallopín [1997] relève que ce modèle peut être simplement une image mentale de comment les indicateurs sont reliés, ou bien il peut être représenté formellement par des équations mathématiques tel que proposé par Malkina-Pykh [2002]. Les concepts de modélisation systémique sont présentés à la section suivante.

4.3 Outils de modélisation systémique

Le territoire, en tant que système complexe et lieu d'interactions, peut se laisser approcher par la modélisation systémique [Major, 1999]. Et le modèle systémique du territoire constitue un cadre conceptuel pour concevoir l'architecture d'un système d'indicateurs.

La modélisation des systèmes est l'outil d'analyse fondamental de l'approche systémique [Repetti, 2004]. Elle est un acte qui peut avoir différentes finalités [Allain, 2001] : mieux formuler, identifier et comprendre un problème complexe, étudier le fonctionnement dynamique d'un système pour le faire évoluer ou encore simuler une stratégie d'action. La modélisation rend donc intelligible une réalité, un phénomène perçu complexe [Le Moigne, 1990].

La modélisation définit l'organisation des principaux éléments du système à prendre en compte [Repetti, 2004]. Le système est borné par une *frontière* qui le sépare de son

environnement et qui autorise le passage de *flux* d'entrée et de sortie (énergie, information, matière) si le système est ouvert ou semi-ouvert (figure 4.2). Il est doté d'une *finalité* qui induit un ensemble d'activités et de *fonctions*. Le système peut être composé de *sous-systèmes* qui ont leurs propres finalités, structures et fonctions. La *structure* est constituée par les *composantes* et les *relations* entre ces composantes qui sont non seulement *linéaires* (au sens d'une chaîne de relations sans rétroaction), mais plus généralement *circulaires* ou *rétroactives* et multiples.

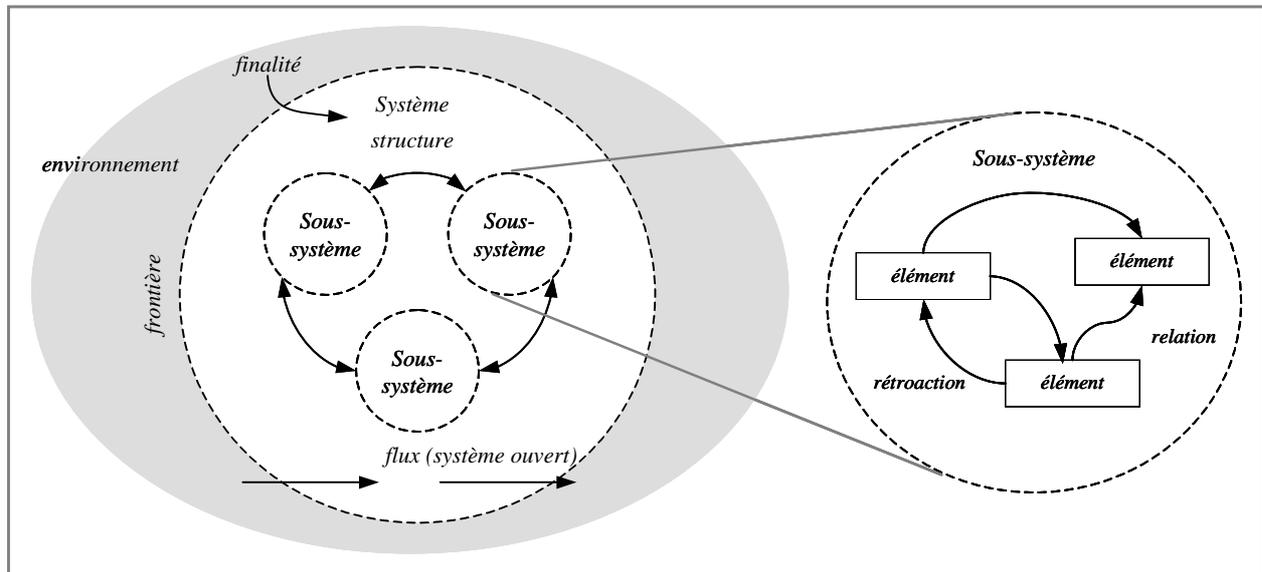


Figure 4.2 : Eléments de la modélisation systémique [adapté de Repetti, 2003].

Les deux sections suivantes aborderont la double organisation systémique :

- Structurelle (section 4.3.1 et 4.3.2) : qui consiste à représenter les composantes du systèmes, leurs interrelations, la nature causale de ces interrelations, et les sous-systèmes qui sont de différents niveaux hiérarchiques (agrégation).
- Dynamique (section 4.3.3) : qui consiste à étudier le comportement fonctionnel du système à travers ses interrelations.

4.3.1 Matrice structurale

Organisation en sous-systèmes

Durand [2002] distingue deux modalités d'organisation. La première désigne l'articulation de **modules ou sous-systèmes spécialisés** pour une action ou un thème donné. Ces modules sont connectés entre eux. Par exemple, une entreprise comprend les sous-systèmes de production, commercial, financier, etc.

L'autre modalité d'organisation est **hiérarchique**. Le niveau retenu comme objet d'étude, appelé *processeur*, correspond au niveau *descriptif* du système, qui est vu comme une « boîte noire » s'il n'est pas détaillé [Sauvant, 2003]. Lorsque l'on considère des niveaux organisationnels inférieurs, le processeur est décomposé en un réseau de *processeurs élémentaires*, on se place alors dans une attitude *explicative* [Le Moigne, 1977]. Au contraire, lorsqu'on se place à des niveaux plus élevés, c'est-à-dire plus englobant, on se situe dans une attitude synthétique ou agrégée. Ainsi le passage d'un niveau à un autre s'effectue par un changement d'échelle.

La structuration d'un système sur plusieurs niveaux de synthèse vise à renforcer l'utilité et la pertinence du système par rapport aux différents besoins. Il est en effet possible d'« établir a priori une correspondance entre les niveaux du système et les projets ou les intentions du système de modélisation » [Le Moigne, 1990, p. 54]. Ainsi à chaque niveau est posée la question de quels éléments sont indispensables à sa représentation [De Sède et Moine, 2001]. Dans le cas des systèmes d'indicateurs, on peut supposer qu'une décision stratégique nécessite des indicateurs synthétiques, tandis qu'une décision opérationnelle fait généralement appel à des indicateurs plus détaillés [Repetti et Desthieux, 2004].

Représentation du système : mode graphique et matricielle

Les éléments de l'organisation structurelle d'un système, à savoir les *sous-systèmes*, les *composantes* (indicateurs), les *interrelations* et les *frontières* peuvent être représentés conjointement dans ce que Le Moigne [1977 ; 1990] appelle la **matrice structurale**. La matrice structurale est un outil puissant de modélisation qui présente l'avantage d'être aisé à manipuler, de se prêter fort bien à la généralisation, la comparaison et l'informatisation [Le Moigne, 1977]. C'est pour ces raisons que la forme matricielle sera avantageusement utilisée au chapitre 7 pour le traitement statistique des systèmes.

Un réseau de N processeurs se représente aisément par une matrice carrée. Cette matrice est quasi-décomposable en sous-matrices, elles aussi carrées, jusqu'aux processeurs élémentaires qui constituent les composantes des sous-matrices. Les différents niveaux sont visibles sur l'exemple présenté à la figure 4.3. Le système analysé, que Le Moigne appelle Système général, constitue une sous-matrice M_1 bornée et semi-ouverte dans un environnement donné défini par M_2 . Le sous-système M_1 est constitué par les composantes ou processeurs élémentaires A, B et C. Tandis que l'environnement M_2 est constitué de composantes ou de sous-systèmes non détaillés (P_1, P_2, R_1, R_2). Ce sont des *processeurs frontières* qui font de M_1 un système ouvert.

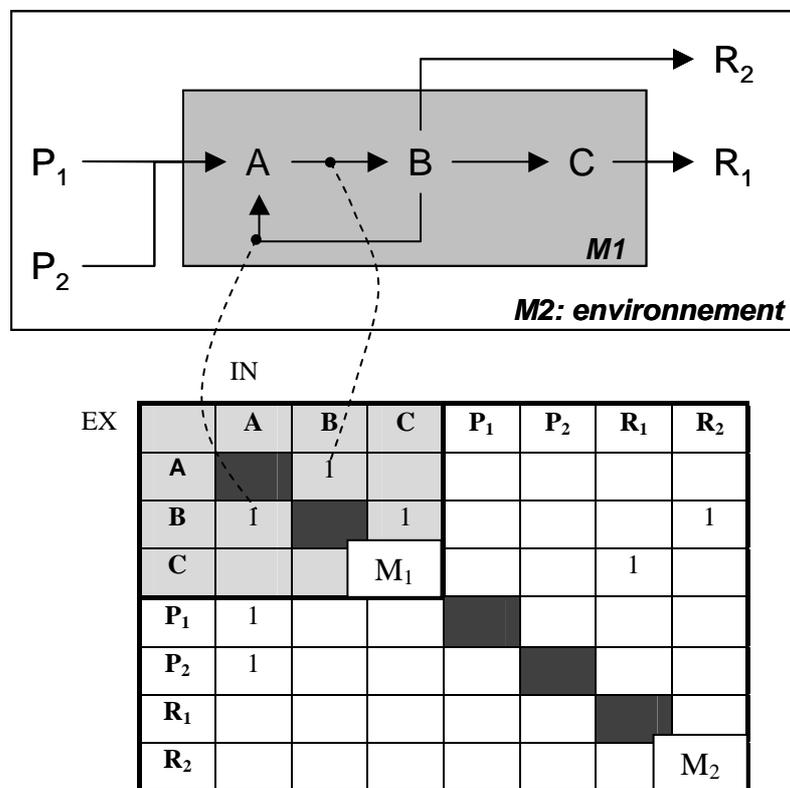


Figure 4.3 : Ensemble de processeurs représentés graphiquement et dans une matrice structurale correspondante. Adapté de Le Moigne [1977].

Les colonnes correspondent aux relations *intrantes* (IN), tandis que les lignes désignent les relations *extrantes* (EX). Les relations sont représentées dans le tableau par des valeurs non nulles (1). Lorsque de telles valeurs se situent de part et d'autre de la diagonale, elles indiquent une rétroaction, comme c'est le cas entre A et B.

On peut parler de relations d'agrégation entre les composantes de sous-systèmes de niveaux hiérarchiques différents, lorsqu'une composante est influencée par plusieurs autres composantes, ce qui équivaut à une cardinalité ($n, 1$). Ainsi, la relation d'agrégation est représentée par un alignement vertical de valeurs non nulles dans la matrice structurale. Par exemple, la composante A agrège les composantes P₁ et P₂

4.3.2 Nature causale des relations

L'approche systémique constitue un cadre de référence théorique permettant la structuration d'un système. Toutefois, elle ne propose pas de techniques pratiques et opérationnelles pour organiser le système et décrire les relations [Loriaux, 1994]. Ainsi, beaucoup de pratiques en systémique, notamment dans le domaine des **systèmes d'indicateurs**, se fondent sur des modèles de **causalité** permettant de mettre en évidence les interactions entre les éléments du système urbain et de comprendre son fonctionnement [Huang et al., 1998 ; Merkle et Kaupenjohann, 2000 ; Malkina-Pykh, 2002 ; Gallopin, 1997 ; Rotmans et de Vries, 1997]. Les modèles causaux sont aussi beaucoup utilisés en sciences naturelles et humaines, telles qu'en démographie pour expliquer et analyser certaines évolutions [Loriaux, 1994]. Mais comme on le verra, l'approche systémique admet et utilise le principe de causalité sous certaines conditions.

Comme l'affirment Rotmans et de Vries [1997, p. 20], « *les flux matériels [énergie, matière] dans le système environnemental – humain sont mieux compris en termes de chaînes d'interaction de causes et d'effets* ». Autrement dit, **un modèle causal constitue une abstraction, une représentation des flux réels**.

La causalité au sens strict, selon Franck [1994], désigne la relation de cause à effet qui peut exister entre deux événements. De même, Bellano [2003] définit la relation causale de la façon suivante : « *à partir de conditions particulières du milieu en un instant t, un événement intervenant sur ce milieu va provoquer des conséquences constatables* ». Ainsi, la relation causale représente une co-évolution : les flux entraînent une évolution sur deux processeurs, celui qui génère le flux et celui qui le reçoit.

Nous présentons dans cette section un certain nombre de concepts théoriques sur la causalité, qui seront utiles ensuite dans la partie méthodologique pour le développement de modèles de relations entre les phénomènes et entre les indicateurs.

Types de causalités

Il s'agit tout d'abord de distinguer les différentes formes de causalité. Wunsch (1988, rapporté par Franck [1994]) en propose une typologie.

i) Une seule et même cause produit toujours un seul et même effet

$$X_{t1} \rightarrow Y_{t2}$$

Ce graphe causal représente la forme : *à même cause, même effet*. Ce qui signifie que si X, alors Y et si non-X alors non-Y. Autrement dit : seule la cause X peut produire l'effet Y, et X suffit à produire l'effet Y. X est donc la cause **nécessaire** et **suffisante** de Y. De même, en considérant l'aspect temporel, la cause doit être antérieure à l'effet ($t_1 < t_2$), sans quoi, on ne dispose pas de critère satisfaisant pour différencier la cause de l'effet.

La chaîne causale

$$X_{t1} \rightarrow Y_{t2} \rightarrow Z_{t3}$$

Ceci représente une chaîne causale sans rétroaction. Mais il peut aussi exister des chaînes causales avec rétroaction :

$$X_{t1} \rightarrow Y_{t2} \rightarrow X_{t3}$$

S'il l'on ne souscrit pas au principe d'antériorité de la cause par rapport à l'effet, la rétroaction de l'effet sur la cause peut être tenue pour simultanée et s'écrit :

$$X \rightleftarrows Y$$

La causalité ne peut pas se réduire à l'acceptation : à même cause, même effet [Franck, 1994]. Mais il existe d'autres formes de relations causales plus complexes, telles que présentées dans la suite de la typologie de Wunsch.

ii) Plusieurs causes en disjonction

Ici la cause est **suffisante** mais **non-nécessaire** à la production de l'effet ; l'effet peut résulter d'autres causes. Et chacune de celles-ci suffit, à elle seule, à produire l'effet. Il s'agit donc d'une disjonction de causes suffisantes.

Wunsch signale deux cas de surdétermination qui peuvent se produire lorsqu'il y a plusieurs causes qui agissent en disjonction. Premièrement lorsque deux ou plusieurs causes capables de produire le même effet agissent simultanément, elles produiront alors le même effet, et non un effet redoublé (fig. 4.4a). Par exemple, l'une de ces causes, alcool, vitesse, état défectueux de la route, etc., est suffisante pour produire un accident de la route.

L'autre cas de surdétermination correspond au problème des risques concurrents. Il peut se présenter lorsque les différentes causes n'agissent pas simultanément (fig. 4.4b). Autrement dit, une des causes ne produit son effet que si l'autre n'a pas agi auparavant, quoique l'action de chacune soit indépendante de l'action de l'autre.

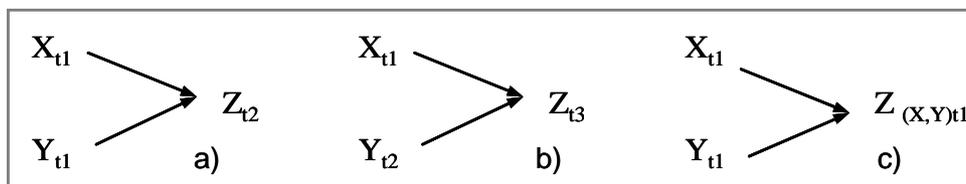


Figure 4.4 : Causalité disjonctive, adapté de Franck [1994].

Enfin nous proposons d'identifier une troisième forme disjonctive : chaque action (X, Y) produit son effet propre (Z_X , Z_Y), et l'effet résultant ($Z_{X,Y}$) correspond à la somme des effets des actions séparées (fig. 4.4c). Cette forme est largement utilisée dans les modèles statistiques additifs, telle que la régression, où l'on estime l'action propre de chaque cause sur l'effet indépendamment des autres causes, selon une fonction ajustée. Par exemple, Des Rosiers et al. [2002] ont analysé l'effet de plusieurs variables liées à la satisfaction des résidents (équipements, tranquillité, verdure, accessibilité, etc.) sur le prix du logement (Z).

La forme causale disjonctive, néglige tout effet de symbiose et surtout de synergie entre les variables causales, tel que présenté au point suivant.

iii) Plusieurs causes en conjonction

Selon Le Moigne [1990], la logique conjonctive permet le mieux de rendre compte des phénomènes que nous percevons complexes.

Ici la cause est **nécessaire** mais **non-suffisante** à la production de l'effet, ce qui signifie qu'il existe au moins un autre facteur B, tel que B joint à A soit une condition suffisante de Y :

$$(AB)_{t_1} \rightarrow Z_{t_2}$$

Par exemple, pour qu'une inondation Z ait lieu, il faut non seulement un événement pluvieux A d'une certaine ampleur, mais également un certain niveau de risque B du milieu récepteur, qui est généralement amplifié par les phénomènes anthropiques (par exemple, l'imperméabilisation des surfaces urbaines, digues de protection insuffisantes, etc.). Autre exemple, pour effectuer un transfert modal efficace en faveur des transports publics, il faut non seulement améliorer l'offre en infrastructure (nombre de lignes et fréquence de bus), mais appliquer aussi une politique tarifaire attractive des titres de transport. Ainsi A et B agissent en synergie pour produire l'effet Z.

Wunsch attire l'attention dans sa typologie, sur deux variantes de la conjonction causale : il s'agit d'une part de l'interaction, d'autre part de la condition INUS.

Deux ou plusieurs causes agissent en *interaction* si l'effet de leur action combinée est différent de la somme des effets de leurs actions propres ou encore si l'action de la cause A est modifiée par l'action de la cause B et réciproquement. Sur la figure 4.5, trois actions produisent l'effet escompté : les actions propres plus l'interaction entre ces actions.

Contrairement à la conjonction causale, où la cause est nécessaire mais cependant non suffisante à la production de son effet, les causes qui opèrent en interaction sont chacune suffisantes pour produire leur effet propre, mais non suffisantes, bien entendu, pour produire l'effet commun.

Ainsi, l'accessibilité en mobilité douce à un hôpital (Z), peut être obtenue en améliorant l'offre en transport public (A) ou en aménageant des pistes cyclables (B). La combinaison de ces deux facteurs améliore d'autant plus l'accessibilité.

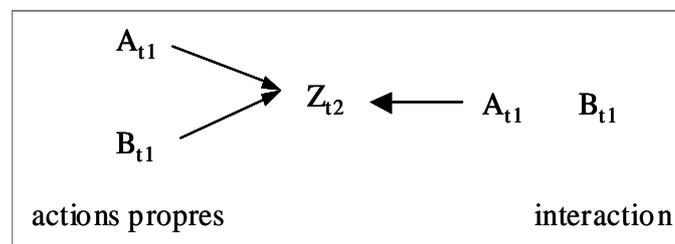


Figure 4.5 : Interaction causale, adapté de Franck [1994].

Quant à la condition INUS, elle combine la conjonction causale et la disjonction causale. INUS est une suite d'initiales en Anglais qui est définie ainsi [Franck, 1994, p. 17] : « *part non-suffisante mais nécessaire (conjonction) du facteur qui cause l'effet, ce facteur étant, quant à lui, non-nécessaire mais suffisant (disjonction) à la production de l'effet* ».

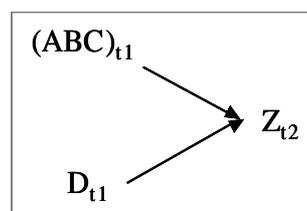


Figure 4.6 : Condition INUS, adapté de Franck [1994].

A, B et C désignent ici les conditions INUS. Ils agissent en conjonction et sont ensemble suffisants pour produire l'effet Z. Mais ce dernier peut être aussi obtenu à partir d'autres causes D (disjonction). Par exemple, la conjonction 'offre en transport public – tarifs

attractifs' est suffisante pour améliorer le transfert modal. Mais d'autres causes D, telle l'augmentation du prix de l'essence, peuvent favoriser ce transfert. De même (A, B) et D peuvent interagir et accélérer le transfert modale, complexifiant ainsi davantage le processus.

En conclusion de cette typologie, la causalité, dans sa forme linéaire certaine et unique (*à même cause, même effet, cf. point 1*) constitue l'un des préceptes essentiels de l'approche analytique (causalisme, cf. ch. 4.1.1); elle est considérée par les systémiciens comme réductrice et simplificatrice pour représenter les phénomènes complexes de la réalité [Le Moigne, 1977 ; De Rosnay, 1975]. En effet, dans un système ouvert, il n'y a pas de solution unique ou exclusive aux problèmes. Mais le système peut réaliser ses objectifs à partir de différents points de départ et par différents moyens (principe d'équifinalité) [Bertalanffy, 1968]. Par conséquent, la causalité rend mieux compte des systèmes réels si elle est circulaire (rétroaction) et multiple [De Rosnay, 1975], et si cette multiplicité est établie selon une pluralité causale disjonctive et conjonctive [Loriaux, 1994 ; Le Moigne, 1990].

Multiplicité des causes et clôture du système

Le nombre de variables intervenant dans l'explication de phénomènes précis est quasi-infini. Où s'arrêter dans l'exhaustivité ? Il est en effet difficile de rassembler un nombre élevé de facteurs dans un même système, sans quoi le système censé fournir un support explicatif devient rapidement trop compliqué [Loriaux, 1994]. Le Moigne [1990 p. 18] va dans le même sens en estimant qu'on ne peut pas toujours « *identifier de façon exhaustive les évidences objectives, indépendantes de l'observateur* », car elles impliquent de garantir la fermeture ou clôture du modèle. Cela induit une certitude que l'on n'oublie rien, ce qui est difficile dans un système compliqué, mais quasi-impossible dans un système complexe [ibid.] (cf. 4.1.2).

On parle d'*hypothèse forte de clôture* lorsque le système est hermétique [Loriaux, 1994] : toutes les variables sont connues ou explicites et la causalité entre ces variables est stricte. Hors des conditions contrôlées en laboratoire, cette hypothèse n'est généralement pas réaliste. Il faut admettre alors que les systèmes sont partiellement perméables et que les variables explicites peuvent subir des influences provenant des variables implicites ou non observées. On parle alors d'*hypothèse de clôture faible* ou imparfaite. Dans ce cas, il s'agit de limiter l'identification des composantes et relations du système à ce qui est le plus significatif et pertinent pour une problématique donnée.

Expressions de la causalité

Selon les connaissances que l'on a des phénomènes et selon l'utilisation que l'on veut faire de la causalité, il existe différentes manières d'exprimer les relations de causalité.

Approche mathématique

Mathématiquement, on dit qu'il existe une relation entre deux caractères quantitatifs X et Y si l'attribution des modalités de X et Y ne se fait pas au hasard, c'est-à-dire que si les valeurs de X dépendent des valeurs de Y ou, à l'inverse, si les valeurs de Y dépendent des valeurs de X [Grasland, 2001]. Dans le dernier cas, cela signifie que la connaissance de X permet de prédire les valeurs de Y, selon une fonction *f* telle que :

$$Y = f(X) \quad (\text{équ. 4.1})$$

Lorsque les valeurs quantitatives de X sont connues, on peut exprimer une telle fonction par une équation. Par exemple, la dépendance entre la *Santé* et l'*Espérance de vie* ainsi que la *Mortalité infantile* est calculée par l'équation 3.3 (cf. 3.6.2).

La mise en équation des relations causales est à la base de la modélisation dynamique qui sera introduite à la section suivante (4.3.3).

Approches statistiques

Pour savoir s'il existe une relation entre deux caractères quantitatifs et continus X et Y, on établit généralement un **diagramme de corrélation**, c'est-à-dire un diagramme représentant les points de coordonnées (X_i, Y_i) .

Les modèles de corrélation ne nous disent pas pourquoi certaines variables sont corrélées [Rutherford, 1997 p. 54]. Ainsi, l'utilisation de la corrélation dans l'analyse causale présente certaines limites qu'il s'agit de prendre en compte, pour éviter d'établir des concepts erronés.

Tout d'abord, une absence de corrélation linéaire, telle que décrite ci-dessus, ne signifie pas une absence de relation [Grasland, 2001]. En effet, une relation entre deux variables d'un ordre non-linéaire (monotone ou non-monotone) pourrait exister [Groupe Chadule, 1994].

Analyse de corrélation

L'ensemble des points (X_i, Y_i) constitue un *nuage de points* dont la forme permet de caractériser la relation à l'aide de trois critères [Grasland, 2001] :

- L'*intensité* de la relation : la relation est forte si le nuage de point prend la forme d'une ligne ou d'une courbe dont les points s'écartent peu.
- La *forme* de la relation : on distingue les relations linéaires et non-linéaires. La relation non-linéaire peut être monotone ou non-monotone.
- Le *sens* de la relation : une relation monotone est positive si les deux caractères varient dans le même sens, négative, s'ils varient dans le sens opposé.

Les **coefficients de corrélation** permettent de donner une mesure synthétique de l'intensité et du sens de la relation entre deux caractères lorsque cette relation est monotone. Le coefficient de corrélation de *Pearson* permet d'analyser les relations *linéaires*, tandis que le coefficient de corrélation de *Spearman* concerne les relations *non-linéaires* monotones.

Le coefficient de Pearson est habituellement celui qui est le plus utilisé. Ce coefficient r est calculé par la covariance entre X et Y et normalisée par le produit des écarts-types respectifs. Il varie entre -1 et $+1$. Son interprétation est la suivante :

- si r est proche de 0, il n'y a pas de relation linéaire entre X et Y.
- si r est proche de -1 , il existe une forte relation linéaire négative entre X et Y.
- si r est proche de $+1$, il existe une forte relation linéaire positive entre X et Y.

De plus, la corrélation statistique représente a priori une relation de concomitance, c'est-à-dire une évolution parallèle de deux phénomènes. En conséquence, une corrélation très intense proche de $|1|$, ne garantit pas automatiquement la présence d'une relation de causalité, c'est-à-dire une relation de dépendance qui n'est pas liée à une simple coïncidence ou au hasard (la réciproque est fautive : une relation causal implique nécessairement une corrélation). La transformation d'une corrélation entre une relation de causalité implique l'hypothèse d'une clôture stricte ou forte [Loriaux, 1994]. Or, les causes sont généralement multiples et font intervenir des variables implicites. La non prise en compte de ces facteurs multiples explique souvent la confusion que l'on fait entre corrélation et causalité. Par conséquent, une corrélation limitée à une analyse bivariée entre deux variables ne peut être que partielle. Il convient alors d'identifier la variable tierce implicite ou cachée qui permet d'expliquer la corrélation.

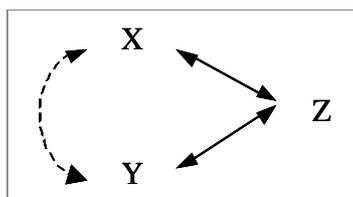


Figure 4.7 : Corrélation partielle à trois variables [adapté de Benavent, 2001].

Dans le schéma ci-dessus, seul Z est une cause de X et Y, alors qu'entre ces deux variables on n'enregistre aucune relation causale. Néanmoins, il pourra s'avérer qu'une forte corrélation se manifeste entre ces deux variables. A l'aide de la **corrélation statistique partielle** ou corrigée, il est possible neutraliser l'effet de Z pour extraire la corrélation nette après élimination de l'influence perturbatrice de Z. Dans le cas présenté ici, le résultat devrait être nul. La corrélation partielle pour trois variables est exprimée par la formule [Groupe Chadule, 1994] :

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (\text{équ. 4.2})$$

Où $r_{xy,z}$: corrélation nette entre x et y après neutralisation de l'effet z

r_{xy}, r_{xz}, r_{yz} : corrélation partielle entre x-y, x-z, y-z

La corrélation partielle peut être illustrée au niveau spatial à travers la notion d'**erreur écologique**. Selon Grasland [1994 ; 2001], l'erreur écologique « *consiste à penser que la présence de deux phénomènes au même endroit (écosystème) implique l'existence d'une relation causale entre ces deux phénomènes* ». Cette erreur est très bien illustrée à travers une étude menée, par Grasland, sur les étrangers et la criminalité dans une collectivité. Sur un plan sociologique, au niveau des individus, l'étude a montré que le taux de criminalité est plus élevé chez les autochtones que chez les étrangers. Pourtant, celle menée au niveau des quartiers, sur un plan géographique, montre une corrélation parfaite entre la proportion des étrangers des quartiers et leur taux de criminalité. Ainsi, en confrontant ces deux études, la présence d'une corrélation au niveau des lieux signifie simplement que là où il y a beaucoup d'étrangers, il y a aussi beaucoup de criminels, mais elle ne prouve pas que les étrangers soient la cause de la criminalité. En prolongeant les conclusions de cette étude, cette corrélation pourrait être expliquée par exemple par une variable tierce, celle du niveau de vie (revenu). Et il se trouve que non seulement les étrangers (X) mais aussi les délinquants (Y) ont un faible revenu (Z), d'où une relation apparente entre ces deux variables.

Par ailleurs, la corrélation, étant réciproque entre deux variables, ne permet pas de déterminer la direction de la relation, c'est-à-dire de distinguer la cause de l'effet. Par exemple, des chercheurs du CHUV constatent que les jeunes grands consommateurs de substances du genre tabac, cannabis, alcool sont aussi des jeunes à problèmes sociaux, psychologiques, scolaires ou familiaux². Mais la question de savoir où est la cause ou l'effet, si les problèmes personnels mènent à la consommation de substances ou le contraire, dépasse les limites de l'étude. Les chercheurs ne peuvent y répondre avec certitude et admettent simplement qu'il y a une interaction. En termes systémiques, on supposerait la présence typique d'une rétroaction positive, c'est-à-dire que les deux facteurs, consommation de substances et problèmes sociaux, s'amplifient l'une et l'autre.

² Le Courrier, novembre 2003

En définitive, l'analyse statistique à travers la corrélation, est une méthode exploratoire descriptive qui permet de *détecter* ou *observer* une relation causale éventuelle, mais elle ne permet en aucun cas de la démontrer. Elle doit inciter à construire un système causal rendant compte de la corrélation observée, ce qui implique un jeu de mesures très complet.

Causalité et incertitude

Les différentes formes de causalité qui ont été passées en revue peuvent se résumer de façon très schématique en trois niveaux d'incertitude (figure 4.8).

Causalité **logique** ou « évidente » : elle s'applique au principe de causalité efficiente, suffisante et nécessaire (à un effet, une cause). Par exemple, une augmentation du trafic sur un tronçon routier donné augmente forcément le niveau de bruit. Cette causalité est donc indiscutable et on pourrait ajouter triviale. Ces événements appartiennent, selon Raynaud [2003], au monde de la réalité du premier niveau, c'est-à-dire des phénomènes physiques et observables.

Causalité **observée (vérifiée statistiquement)** : cette causalité, bien qu'appartenant au monde des phénomènes observables, est moins certaine et immédiate que la première, car elle fait face à des phénomènes multiples. Elle constitue encore une hypothèse qui est vérifiée plus ou moins partiellement par des observations statistiques. Une interview³ de Rajendra Pachauri spécialiste du climat à l'ONU, relève en particulier deux niveaux de certitude : « *Vous devez [...] considérer deux niveaux de causalité. Premièrement, nous savons qu'il existe un lien entre la concentration des gaz à effet de serre, en particulier le CO2, et le problème des changements climatiques à l'échelle planétaire. Ce lien est l'objet d'un consensus scientifique. Deuxièmement, nous avons de plus en plus d'éléments pour établir un lien entre l'effet de serre et le temps extrême en Europe et dans d'autres pays du monde. Nous avons ici un certain nombre d'indices à charge pour dire que ces situations extrêmes ne sont pas dues à une variation naturelle du climat, mais qu'elles ont plutôt une origine humaine. Disons qu'il s'agit en l'espèce d'une forte suspicion, à défaut d'avoir une certitude scientifique* ». Malgré ces incertitudes, le spécialiste ajoute : « *Mais, ne serait-ce qu'en vertu du principe de **précaution**, vous ne pouvez attendre qu'un désastre arrive pour prendre des mesures concrètes* ».

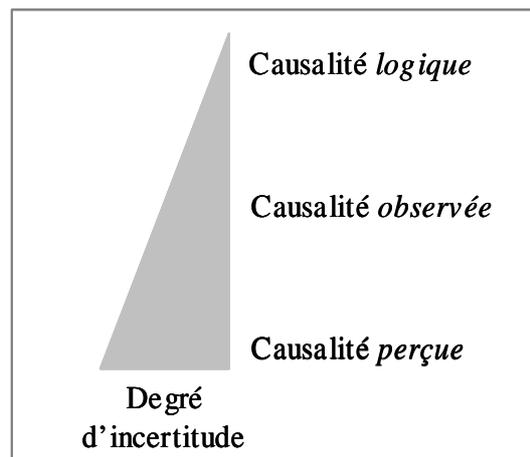


Figure 4.8 : Niveaux d'incertitude de la causalité.

Causalité **perçue** : elle est issue d'associations et de relations construites au niveau mental. Elle n'a pas toujours de fondement logique et scientifique et n'est pas toujours vérifiable. On

³ Le Temps, 13 août 2003

peut citer l'exemple de la relation entre le nombre d'étrangers dans un quartier et le nombre de délits. Ce type de causalité est difficilement exprimable quantitativement.

Ces différentes formes de causalité peuvent s'emboîter : une causalité logique est observable (de façon immédiate) et perçue. Cependant, pas toutes les causalités observables ou prouvées sont perçues en tant que telles par les acteurs du territoire. Certaines perceptions même vont à l'encontre d'expertises. C'est le cas encore de l'exemple du racisme : bien que des expertises démontrent la non causalité entre le nombre d'étrangers et la criminalité, cela n'empêche pas certaines personnes de percevoir cette causalité quand même. Ainsi on peut supposer que des expertises si elles sont bien communiquées peuvent contribuer au processus d'apprentissage et faire évoluer les opinions. Enfin, la causalité semble d'autant plus incertaine qu'elle décrit des problématiques complexes dont les connaissances sont incomplètes.

Du modèle causal au modèle systémique

Dans cette section, nous avons montré l'intérêt de la modélisation causale pour décrire les relations entre les composantes d'un système. Le **modèle causal** fournit en effet un canevas structurel rigoureux et solide permettant d'expliquer certains mécanismes. Il n'identifie pas seulement les causes, mais il explique aussi pourquoi une cause est celle d'un phénomène [Franck, 1994].

En outre, les modèles causaux classiques sont plutôt proches des méthodes analytiques, en ce sens qu'ils reposent sur l'observation et l'expérimentation pour valider ou dériver une théorie donnée [de Rosnay, 1975]. Ils utilisent pour cela les outils statistiques (analyse de régression, de corrélation) qui sont des méthodes exploratoires permettant d'émettre des hypothèses sur les relations possibles entre variables. Cependant, ces outils ne permettent pas toujours d'affirmer avec certitude que les relations sont d'ordre causal. La structure des modèles causaux est souvent rigide, détaillée, anti-évolutive et donc réversible, centrée sur la nature des interactions plutôt que sur leurs effets vers une finalité donnée [Bertalanffy, 1968]. La cause est alors analysée pour elle-même. En ce sens, selon de Rosnay, l'explication causale se base sur une évolution *divergente* des phénomènes en remontant aux origines passées des causes. Le modèle reproduit alors les conditions qui y ont été incorporées [Loriaux, 1994]. Par exemple, on analyse *rétrospectivement* les raisons du vieillissement en Europe (comment on y est arrivé), en identifiant notamment deux causes : la baisse de natalité et la longévité des adultes [ibid.].

L'**approche systémique** admet et utilise le principe de causalité. Elle est rendue opérationnelle en recourant aux mêmes outils : statistiques, pour comprendre la structure d'un système, modélisation mathématique pour comprendre le fonctionnement d'un système. Cependant, le cadre référentiel est différent, sur un plan épistémologique et philosophique (cf. ch. 4.1.1).

Tout d'abord, la systémique s'intéresse à mieux rendre compte de la globalité et de la complexité réelle, en privilégiant, pour cela, certaines formes de la causalité, notamment la causalité circulaire (rétroaction) et multiple (disjonctive et conjonctive). L'approche systémique affirme que certaines relations n'ont pas toujours lieu, étant soumises à des conditions probabilistes ou d'une autre nature [Loriaux, 1994]. L'effet peut apparaître avant sa cause par les mécanismes de rétroaction [ibid.]. Elle ne cherche pas à représenter la totalité des relations et composantes (exhaustivité), mais ceux qui sont les plus significatifs pour la compréhension des phénomènes étudiés (pertinence).

De plus, elle ne vise pas à valider une théorie selon une approche expérimentale, mais à valider les faits par la comparaison du fonctionnement du modèle avec l'évolution réelle ou perçue du système vers une finalité donnée [Loriaux, 1994 ; Rosnay, 1975]. Ainsi,

l'explication ou plutôt l'implication finale repose sur une évolution *convergente* vers une finalité. En reprenant les exemples donnés plus haut, la question se pose de comment arriver à améliorer l'accessibilité en mobilité douce autour d'un hôpital, comment encourager le transfert modal. D'une analyse rétrospective, on passe ainsi à une analyse **prospective**, c'est-à-dire une analyse de la dynamique évolutive d'un système. Par rapport à ces finalités, il existe plusieurs futurs envisageables ou plusieurs chemins pour les atteindre, qu'il s'agit d'identifier en sélectionnant les phénomènes et indicateurs ainsi que les mécanismes (relations) sur lesquels agir [Goux-Beaudiment, 2000 ; Bertalanffy, 1968].

Enfin, l'approche systémique s'intéresse à refléter la perception des différents acteurs sur le système qu'ils étudient ou observent. De ce point de vue, elle n'est pas uniquement axée sur l'observation expérimentale mais sur les techniques d'apprentissage et d'éducation qui visent au décloisonnement des connaissances et par conséquent à l'interdisciplinarité [Loriaux, 1994].

En définitive, l'approche systémique intègre les approches statistiques et causales, mais dans l'optique d'une représentation globale et complexe de réalité. Un ensemble de phénomènes organisé de façon systémique vise à prendre en compte les mécanismes causaux des phénomènes aussi bien observés statistiquement que perçus en regard d'une finalité donnée.

4.3.3 Organisation dynamique

Nécessité d'une approche qualitative

Le chapitre précédent s'est intéressé à étudier l'organisation structurelle d'un système, à savoir ses composantes, ses relations causales et agrégative et leur nature. L'approche systémique implique de ne pas seulement lister et identifier les relations [Petschel et al., 1999] mais, par le biais des relations, de nous intéresser aux fonctions et aux transformations des systèmes vers une finalité donnée, pour répondre en définitive à la question : *qu'est-ce que font les objets ?* [Pornon, 1997]. Cette analyse est à la base des modèles de simulation et de prédiction.

Les modèles de simulation reposent généralement sur des équations différentielles qui décrivent certains aspects du monde réel [Kuipers, 1994]. Une équation différentielle consiste à représenter la structure d'un système en sélectionnant certaines variables continues qui caractérisent l'état du système, et certaines contraintes mathématiques sur les valeurs que les variables peuvent prendre. Ces équations permettent de prédire le comportement du système dans le temps à partir d'un état initial donné ; par exemple, la position d'un objet à un temps t se déplaçant dans l'espace :

$$x(t) = -1/2at^2 + v_0t + x_0 \quad (\text{équ. 4.3})$$

L'utilisation de tels modèles quantitatifs est souvent limitée, étant donné un certain nombre de contraintes [Kuipers, 1994] : (i) connaître les fonctions reliant deux variables, (ii) connaître les valeurs numériques que prennent les variables, (iii) déterminer et connaître les conditions initiales.

Or les individus, quelque soit leur niveau d'expertise, ont une **connaissance incomplète** d'un système complexe [ibid.]. En effet, personne ne peut comprendre jusque dans les moindres détails comment les mécanismes fonctionnent réellement. Un système complexe est difficilement prévisible étant donné les nombreuses rétroactions et sa clôture (exhaustivité) ne peut être garantie [Le Moigne, 1990]. Le fait de ramener l'étude de phénomènes à des fonctions mathématiques exactes est quelque peu réducteur de la complexité [Petschel et al.,

1999]. Enfin, la connaissance est d'autant plus incomplète et peu formalisée dans la phase d'intelligence du processus de décision qui nous intéresse (chapitre 2.2).

L'approche qualitative permet de distinguer ce qui est important et ce qui fait qualitativement la différence avec le reste [Kuipers, 1994]. A une phase initiale d'un problème décisionnel, il n'est pas toujours utile d'avoir des informations quantitatives. On aimerait juste connaître les grandes tendances, savoir si tel phénomène augmente ou diminue, peu importe de combien ; ceci, en vue d'orienter les stratégies. Une analyse qualitative permet d'identifier au préalable les éléments importants et pertinents à inclure dans le modèle et qui pourront être quantifiés lors de l'établissement ultérieur du modèle numérique, en aval du problème décisionnel lors de l'étude comparative des variantes.

Approche Qualitative Simulation (QSIM)

La modélisation qualitative, domaine de l'intelligence artificielle, est développée par de nombreuses approches. Parmi les plus courantes, on peut citer les algorithmes Qualitative Simulation (QSIM) proposé par Kuipers [1994] et Qualitative Process Theory de Forbus [1984]. Dans la présente recherche nous avons porté notre attention sur l'approche QSIM qui est relativement simple à mettre en œuvre.

Les algorithmes QSIM se basent sur des **équations différentielles qualitatives**, ou *qualitative differential equations* (QDE) en Anglais. Les QDE visent à décrire qualitativement le comportement de fonctions continues définies par les équations différentielles quantitatives, dites *ordinary differential equations* (ODE). Les QDE constituent donc des *abstractions* des ODE. Ils indiquent des changements *discrets* sur des points isolés appelés *valeurs seuils*. En définitive, les QDE constituent un cadre symbolique et algébrique permettant de raisonner avec plusieurs représentations de connaissances quantitatives incomplètes.

L'approche QSIM est présentée en détail à l'Annexe I. Nous relèverons ici uniquement les principales caractéristiques qui nous intéressent :

- Discrétisation d'une variable continue définie dans un **espace de quantité**. Ce dernier est constitué d'un ensemble de **valeurs seuils** pouvant être interprétées en terme symbolique ou linguistique. Ce sont des valeurs ordinales (qualitatives) critiques indiquant des changements importants du comportement du système sur un espace temporel également discrétisé.
- Les variables sont mises en relation à travers des **équations de contrainte**, dont les fonctions sont connues (additions, multiplication, etc.) ou inconnues. Dans la plupart des situations, les fonctions des relations complexes sont rarement connues et déterminées et peuvent être approchées par une dérivée positive ou négative qui indique la direction d'une évolution.
- La **simulation qualitative** consiste à prévoir le comportement qualitatif du système à chaque temps t_i et intervalle de temps (t_i, t_{i+1}) . Elle repose sur des transitions de valeurs seuil entre les variables par l'intermédiaire des équations de contraintes (relations).
- Le **domaine des signes** $\{+, 0, -\}$ est très important en modélisation qualitative. Car, à défaut d'information sur les valeurs numériques, les signes décrivant un état ou une tendance (dérivée) sont les seules informations disponibles. Ils permettent de distinguer ce qui est certain de ce qui est ambiguë.
- Enfin, les résultats de la simulation qualitative constituent les **premiers éléments d'information décisionnelle**. En effet, la simulation met en évidence les différents

mécanismes à mettre en œuvre pour obtenir un résultat en accord avec une finalité donnée.

Synthèse et conclusion du chapitre

L'approche systémique a provoqué un changement considérable dans le monde scientifique jusqu'alors fortement empreint de la pensée cartésienne analytique. Nous avons pu distinguer deux phases importantes et complémentaires de la systémique. La première systémique, directement issue de la cybernétique, cherche à étudier les mécanismes régulateurs des systèmes fermés (qui échangent seulement de l'énergie et de l'information) selon un formalisme mathématique et mécaniste. La deuxième systémique se base sur la propriété des systèmes ouverts (échange de matière, d'énergie et d'information) et vise à étudier l'évolution dynamique des systèmes vers une finalité souhaitée selon un mécanisme d'auto-organisation. Elle met ainsi en évidence le rôle des rétroactions positives, pour autant qu'elles soient maîtrisées et non destructrices du système.

L'approche systémique aide à mieux représenter la complexité d'un système, quitte à admettre qu'on ne puisse en saisir et comprendre toute la richesse. Du fait du principe d'invariance et de sa nature interdisciplinaire, la pensée systémique s'applique à tous les systèmes, notamment la ville. En effet, les systèmes urbains sont caractérisés par des interdépendances complexes entre des phénomènes tant physiques que sociaux. Des indicateurs juxtaposés dans des listes, à base conceptuelle ou non, peinent à donner une image de ces interdépendances. La prise en compte de ces dernières aide à comprendre la dynamique complexe des processus qui se déroulent sur le territoire. Des ensembles d'indicateurs, il s'agit alors de passer à des systèmes d'indicateurs interreliés. Les indicateurs représentent les phénomènes – processeurs de la réalité, et les relations entre indicateurs représentent les flux de matière, d'énergie entre ces processeurs.

Tant les représentations conceptuelles des phénomènes urbains que les indicateurs qui les évaluent doivent faire l'objet d'une modélisation systémique. En effet, la modélisation facilite la mise en œuvre concrète et opérationnelle de l'approche systémique, et contribue de ce fait à rendre intelligible la complexité du système urbain. Cette modélisation implique une double organisation des éléments d'un système, à la fois structurelle et dynamique.

L'**organisation structurelle** d'un système implique deux dimensions : verticale entre des sous-systèmes pouvant être de différents niveaux hiérarchiques ou d'agrégation, horizontale entre les composantes (phénomènes, indicateurs) d'un même sous-système. L'organisation d'un système peut être formalisée à l'aide d'une matrice structurale qui présente les interrelations entre les composantes et les sous-systèmes.

Les flux réels peuvent être représentés dans des modèles causaux. La causalité est généralement abordée par les instruments statistiques qui la mesurent à l'aide notamment de la régression et de la corrélation. Ce sont cependant des outils descriptifs et exploratoires qui présentent certaines incertitudes concernant la limite du système et la nature quantitative des variables. L'approche systémique de la complexité, s'intéresse à une causalité, non pas seulement unique et linéaire, mais multiple, circulaire (rétroaction) et ouverte sur les finalités projetées sur les systèmes (prospective).

La compréhension du fonctionnement urbain ne doit cependant pas se limiter à la dimension structurelle, mais elle implique également de représenter la dynamique des interactions entre phénomènes réels et entre les indicateurs. La **modélisation dynamique** a été brièvement abordée dans ce chapitre. L'intérêt a été porté en particulier sur l'approche qualitative,

particulièrement adaptée en situation complexe où les paramètres et les fonctions sont connues de façon incomplète.

La modélisation systémique cherche à intégrer l'observateur dans le système qu'il conçoit, en l'aidant à identifier les composantes et relations les plus pertinentes à représenter par rapport à une finalité donnée. Cela introduit la notion de non-neutralité du modèle systémique qui sera développée au chapitre suivant. Nous aborderons dans ce chapitre la modélisation cognitive du système urbain par les acteurs, et les implications de cette modélisation dans un processus de représentation collective du système.

L'organisation structurelle sera au centre de la modélisation conceptuelle du système urbain présentée aux chapitres méthodologiques 6 et 7 ; elle donne déjà une bonne idée de comment les acteurs se représentent, à travers les relations causales, les dynamiques et flux potentiels qui se déroulent entre les phénomènes urbains. Afin d'enrichir la représentation, nous utiliserons, au chapitre 7, certains concepts développés dans le domaine de la simulation qualitative pour mieux caractériser les relations entre les phénomènes et formaliser la représentation du système, selon le point de vue d'acteurs interrogés.

Représentation de la complexité territoriale : approches cognitives, constructivistes et participatives

Au chapitre précédent, nous avons relevé l'importance d'une modélisation systémique des indicateurs, en vue d'un diagnostic non seulement de situation mais aussi de fonctionnement. Cependant, le rôle et la place du modélisateur n'ont pas été spécifiés dans la conception d'un modèle. En effet, l'approche systémique postule que l'acte de modéliser n'est pas neutre. Mais cet acte formalise une représentation que l'observateur se construit à partir de ses perceptions de son environnement. Cela est central dans la phase d'intelligence, où il s'agit bien comprendre la problématique avant de décider. Ainsi, la première partie de ce chapitre s'intéressera à comprendre comment un individu se représente son environnement et le rend intelligible pour lui-même, et comment émerge un système d'information à partir de sa représentation cognitive.

Lorsque plusieurs acteurs sont impliqués dans un processus, un même système est représenté différemment par ces acteurs. Ces différences de représentation sont parfois sources de conflits. Par conséquent, la deuxième partie posera, comme condition préalable au diagnostic participatif, que chaque acteur puisse expliciter sa représentation et la rendre intelligible pour les autres. A travers un processus de délibération, il est possible ensuite d'identifier des éléments communs et divergents de représentation, définissant un espace de discussion. Dans ce dernier, des indicateurs pertinents peuvent être proposés.

5.1 Modélisation cognitive du territoire

5.1.1 Non-neutralité du modèle systémique

Comme l'affirme Le Moigne [1990, p. 65], « *la modélisation systémique postule que de l'acte de modéliser n'est pas neutre* ». Mais cet acte implique une activité cognitive structurante, à travers laquelle l'individu organise les phénomènes perçus dans son environnement ayant une signification pour son activité mentale [Flourentzou, 2001]. En ce sens, la **modélisation cognitive** consiste à formaliser, « *à donner une représentation simplifiée d'un système réel en ne retenant que les éléments et les interactions les plus significatifs du système* » [Durand, 2002, p. 59]. Ces interactions sont généralement perçues en termes de causalité, comme l'affirme en d'autres termes Bellano [2003, p. 14] : « *dans nos sociétés occidentales, le système qui régit la pensée c'est-à-dire le système qui produit du sens est de type causal* ».

Vouloir donner une représentation du territoire, c'est se heurter au problème de l'**objectivité** scientifique et du rôle du modélisateur-observateur [Prélaz-Droux, 1995]. En effet, comme l'affirme Flourentzou [2001], se référant à Piaget, le modèle n'est pas une vérité objective qui

existe indépendamment du sujet mais un « *outil opérationnel faisant partie du sujet, qui rend une explication, une **action** ou une justification possibles* ».

Cette définition souligne que la représentation d'un phénomène réel n'est pas disjoignable de l'**action** modélisateur [Le Moigne, 1990]. Et l'intention donne du sens à l'action [Major et Golay, 2004]. Autrement dit, l'acquisition d'une connaissance fait l'objet d'une intentionnalité de la part du sujet face à un problème à résoudre [Mucchielli et al., 1997, cités par Pornon, 1997]. L'idéal de la modélisation n'est donc plus l'objectivité, telle que préconisée par la modélisation analytique, mais la **projectivité** ou la **finalité** du modèle, c'est-à-dire la capacité d'explicitier des projets de modélisation. « *C'est par rapport à quelques finalités explicitables que notre intelligence perceptive (et plus généralement : cognitive) s'exerce* » [Le Moigne, 1977, p. 13], et que sont retenus les phénomènes les plus significatifs et pertinents du modèle, ainsi que leurs interactions.

En définitive, un modèle formel ou conscient de représentation doit répondre à trois questions [Prélaz-Droux, 1995] : **pourquoi** représenter (finalité), **quoi** représenter (critères de sélection des phénomènes et des interactions significatifs) et **comment** représenter (formalisme).

5.1.2 Interaction Individu - Environnement

L'activité de représentation s'inscrit dans une interaction permanente entre l'observateur (sujet) et son environnement (objet) et les phénomènes qu'il perçoit et conçoit [Le Moigne, 1990]. Ceci est souligné par Pornon [1997, p. 36], citant Mucchielli et al. [1997] : « [...] *dans le paradigme compréhensif, les fondements du discours scientifique ne prennent pas en compte les objets extérieurs indépendants du sujet percevant mais bien les perceptions, les sensations, les impressions de ce dernier à l'égard du monde extérieur.* » Autrement dit, « *en réintroduisant délibérément le sujet dans le monde des objets, [l'approche systémique] accepte un univers perçu et vécu sous ses deux aspects à la fois : subjectif et objectif* » [De Rosnay, 1975, p. 252].

Cette interaction est particulièrement soulevée par la deuxième cybernétique [Bell et Morse, 2000 ; Schwarz, 1996]. Domaine des sciences cognitives et neurologiques, elle s'intéresse à comprendre comment un individu construit sa propre vision d'un système environnant, c'est-à-dire comment il acquiert les mécanismes de représentation des interactions qui relient son action à l'environnement. Alors que la première cybernétique est celle des systèmes *observés*, où l'observateur (expert) est extérieur au système, la deuxième cybernétique est celle des systèmes *observant*, où l'observateur est inclus dans le système qu'il modélise. Cette construction d'une représentation individuelle renvoie au concept d'*autopoïèse* développé par Maturana et Valera en 1972 initialement pour les systèmes organiques mais pouvant s'appliquer aussi aux systèmes neurologiques [Bell et Morse, 2000 ; Arnellos et al., 2004]. L'autopoïèse représente la capacité d'un système à *s'auto-produire* en déterminant de façon interne ses relations avec l'objet environnant. Appliqué aux systèmes humains, un individu s'auto-produit sa propre représentation à partir de ses perceptions de son environnement, sur lesquelles reposent ses expériences.

A travers ce processus, l'individu s'approprie alors cet environnement. Dans le contexte qui nous intéresse, le **territoire** correspond à un espace géographique « *approprié, avec un sentiment ou conscience de son appropriation* ». Ce processus d'appropriation est réalisé à travers la **territorialité** [Raffestin, 1992]. Celle-ci résulte d'un ensemble de relations que tisse l'acteur avec le territoire. Elle est donc définie comme « *le vécu de la relation de l'acteur avec le territoire par l'intermédiaire des objets qu'il repère* » [Major et Golay, 2004, p. 7]. De ce point de vue, Debarbieux et Vanier [2002] soulignent l'enjeu tant cognitif de la

représentation, qui consiste à rendre intelligibles nos propres territorialités, que prospectif, qui est de projeter sur le territoire nos idéaux, nos projets, nos finalités.

5.1.3 Approche constructiviste : reconstitution et reconstruction d'un objet perçu complexe

A travers le processus de représentation, l'individu construit une nouvelle compréhension des phénomènes. De ce point de vue, l'approche systémique est associée très étroitement aux paradigmes compréhensif et constructiviste [Pornon, 1997].

L'épistémologie constructiviste de Piaget [cité par Flourentzou, 2001, p. 13] postule que « rien n'est donné au départ, sinon quelques points de départ sur lesquels s'appuie le reste. Les structures ne sont ni données d'avance, ni dans l'esprit humain, ni dans le monde tel que nous le percevons ou l'organisons ». En d'autres termes, « Tout est construit » [Bachelard, cité par Le Moigne, 1990, p. 23]. C'est donc sur la base de ces « quelques points de départ » que l'on construit ou plutôt, selon Flourentzou [2001, p. 13], que l'on « **re-construit** » pour faire émerger de nouveaux construits. Ainsi, les finalités et motivations pré-existent en nous de façon intuitive. Les construire signifie les formaliser et les rendre intelligibles pour pouvoir les communiquer. Par opposition, l'approche positiviste, le positif désignant le réel, postule que les données du problème sont fournies par le problème réel que rencontre l'observateur : il ne les construit pas, il les reçoit [Le Moigne, 1990].

La représentation cognitive d'un objet ou système environnant correspond à ce que Henrique [cité par Flourentzou, 2001] appelle le processus de **reconstitution** de l'objet. Ce processus s'inscrit au cœur de l'interaction entre le sujet et l'objet. Le mécanisme est le suivant. L'interaction avec l'objet perturbe l'équilibre du sujet. A travers cette déstabilisation, l'individu développe une capacité de distanciation par rapport à une première idée immédiate de l'objet, c'est-à-dire les *a priori*. Ses structures cognitives existantes lui rendent compte alors d'une éventuelle insuffisance de ses raisons et de ses connaissances [ibid.]. Le sujet subit une phase de régression pendant laquelle il va remettre en cause des savoirs qu'il pensait solidement acquis et stables [Vulgum, 2002]. Cette activité de reconstitution permet à l'individu de saisir une signification de l'objet (par rapport aux idées premières) [Flourentzou, 2001]. Cette signification devient une **raison**, si l'individu fonde sur celle-ci des motivations et des préférences en vue d'une éventuelle action sur son environnement. Les raisons formalisent ce qui est important à considérer, selon le point de vue de l'individu, dans le système environnant par rapport à une problématique donnée, telle que celle de la qualité de vie [Van Kamp et al., 2003]. Elles correspondent aux **enjeux** qu'il défend dans un processus de décision et s'inscrivent en cohérence avec ses **finalités** (qui se situent à un niveau d'objectif supérieur, cf. ch. 2.1).

Les raisons émergées du processus de reconstitution ou de représentation fondent un processus de **reconstruction** cognitive de l'objet, qui est facilité par la mise à disposition de nouvelles connaissances sur l'objet [Flourentzou, 2001]. Celles-ci proviennent aussi bien des autres acteurs, de leurs représentations, que des informations mesurées sur le territoire mises à sa disposition. A travers cette acquisition de connaissances, les raisons de l'individu évoluent vers des nouvelles, c'est-à-dire, qu'elles peuvent être renforcées, modifiées ou abandonnées.

En résumé, l'interaction sujet-objet induit un processus d'apprentissage qui, selon Piaget [1975], est le résultat d'un jeu de déséquilibre ou reconstitution/rééquilibrage ou reconstruction cognitive. Comme l'affirme Hameline [1977], « *apprendre, c'est au moins autant perdre des idées qu'on se faisait qu'en acquérir de nouvelles* ». Deux éléments contribuent à ce jeu [Vulgum, 2002 ; Le Moigne, 1990] :

- l'**assimilation** qui permet au sujet d'intégrer les données du milieu aux connaissances antérieures.
- l'**accommodation** : le problème résiste au sujet qui devra modifier ses structures logiques pour le résoudre, autrement dit, il devra transformer ses connaissances sous la pression du milieu.

La représentation territoriale n'est donc pas figée, mais elle est en permanence reconstituée et reconstruite, en procédant par accommodation et assimilation. A travers la reconstitution et la reconstruction de l'objet territorial, ce sont les significations et raisons qui sont elles-mêmes reconstituées et reconstruites, sur la base desquelles l'individu fonde ses préférences et la décision. De ce point de vue, la phase d'intelligence, mise en œuvre par le diagnostic, correspond à un processus d'apprentissage de systèmes complexes [Roche et Hodel, 2004].

Le Moigne [1990] précise que la complexité n'est peut-être pas une propriété naturelle des phénomènes, mais qu'elle est « *la connaissance que nous construisons de cette réalité* » [p. 73]. Par conséquent, Le Moigne n'utilise pas le terme de phénomènes complexes, mais de **phénomènes perçus complexes**. Cela est important de préciser car souvent « *la décision est fonction, non de la réalité, mais de l'idée qu'on s'en fait* » [Brunet, 1974, cité par Prélaz-Droux, 1995].

En conclusion, la modélisation systémique formalise une représentation d'un objet ou système perçu complexe et la rend ainsi plus intelligible.

5.1.4 Approche qualitative de la modélisation

Le positionnement de notre recherche dans le paradigme constructiviste nous conduit vers une approche qualitative de la modélisation [Pornon, 1997], introduite au chapitre 4.3, pour les raisons suivantes. La modélisation qualitative semble être plus adaptée (i) pour prendre en compte la connaissance incomplète des phénomènes (cf. ch. 4.3.3) [Kuipers, 1994] ; (ii) par ce qu'elle aide les individus à exprimer plus facilement leurs perceptions qui peuvent être, selon Flourentzou [2001], plus facilement ordonnées que quantifiées ; (ii) parce qu'elle favorise la communication entre experts et non experts pour lesquels les modèles mathématiques quantitatifs sont souvent trop difficiles à comprendre [Lundell, 1996] ; autrement dit, l'approche qualitative est plus proche des gens et de leurs problèmes [Pornon, 1997] ; (iii) parce qu'en définitive, elle permet d'identifier au préalable les éléments importants et pertinents à inclure dans le modèle (phénomènes) et qui pourront être quantifiés lors de l'établissement ultérieur du modèle numérique (indicateurs).

5.1.5 Emergence du système d'information

L'interaction entre un individu et son environnement ainsi que les processus de représentation qui en résultent, peuvent conduire à l'émergence d'un modèle ou d'un système d'information. L'élaboration de ce système implique un croisement entre deux sources d'information [Joerin et al., 2005] : on distingue les *perceptions* qu'ont les acteurs des phénomènes urbains et les *données statistiques*, qui mesurent ces phénomènes. De ce point de vue, Both et al. [2003] distinguent l'approche par les acteurs et l'approche par les structures physiques.

Par exemple, les données statistiques provenant des recensements de la population constituent une information produite par les experts et les services administratifs. D'une manière similaire, les habitants fournissent de l'information factuelle lorsqu'ils mentionnent, par exemple, la présence ou le délabrement d'une infrastructure. Les mêmes faits liés à un phénomène territorial font donc aussi bien l'objet d'une mesure que d'une perception et d'un jugement.

Cependant, les informations mesurées par des instruments externes à l'individu [Meadows, 1998] sont généralement plus valorisées dans les processus d'aménagement du territoire [Joerin et al., 2005]. Ils inspirent davantage confiance dans le monde scientifique [Meadows, 1998]. Tandis que les perceptions et les représentations des acteurs sont moins valorisées étant diffuses et difficiles à collecter. Pourtant, elles participent à la connaissance d'un objet ou d'un phénomène et complètent et affinent la représentation scientifique en apportant un regard différent [Maby, 2003]. En effet, l'expert ne possède jamais tous les éléments nécessaires à une bonne compréhension du fonctionnement du territoire [Chételat, 2005].

Dans le contexte systémique et constructiviste qui nous intéresse, les sources (information mesurée et perception) d'information ne sont pas indépendantes. Car, **l'information géographique (représentations spatiales externes) traduit les valeurs et les perceptions (représentations spatiales internes) d'un ou plusieurs individus** [Roche et Hodel, 2004]. Autrement dit, « *c'est l'identification des perceptions des acteurs et la traduction des préférences en critères d'appréciation qui déterminera quelles données sont nécessaires et comment les organiser entre elles* » [Chételat, 2005, p. 202]. De même, la démarche de Représentation systémique du territoire proposée par Prélaz-Droux [1995] vise à instaurer un cadre de référence qui détermine les phénomènes du territoire pertinents à considérer en vue de l'élaboration de modèles de données. Ces derniers sont donc des constructions qui n'existent pas en dehors de l'interaction entre le concepteur et les réalités empiriques [Both et al., 2003]. En conséquence, l'indicateur ne rapporte pas le réel tel qu'il est, mais le réel représenté [Maby, 2003 ; Both et al, 2003].

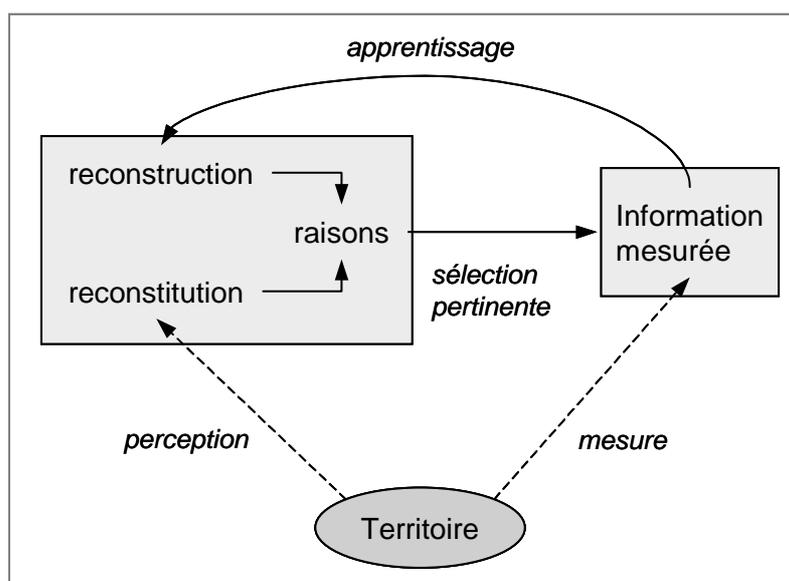


Figure 5.1 : Processus de reconstitution, reconstruction de l'objet territorial perçu.

Si le choix des informations mesurées est pertinent par rapport aux représentations (reconstitutions) et raisons d'un individu, en retour, en interprétant ces informations, l'individu développe une nouvelle connaissance de l'objet territorial (apprentissage), selon un processus de reconstruction [Flourentzou, 2001]. Les informations fournissent un éclairage du contexte territorial [Chételat, 2005] et permettent de valider les représentations [Van Kamp et al., 2003]. Elles donnent à l'individu des raisons pour effectuer un jugement sur l'objet territorial. Ce jugement lui permet de formuler un diagnostic, s'il l'on se situe en amont d'un processus de décision, ou de préférer une action plutôt qu'une autre, si l'on se situe dans une phase aval de résolution de problème.

La figure 5.1 résume ces processus : en interagissant avec l'objet territorial qu'il perçoit, l'individu le reconstitue et fonde sur cet objet des significations et des raisons ; autrement dit, les aspects importants à considérer dans le système. Il est possible ensuite de sélectionner des informations mesurées, pertinentes par rapport à ses raisons. L'information communiquée à l'individu lui permet d'apprendre sur son environnement, de le reconstruire et de fonder de nouvelles raisons. Ce processus est central dans le développement méthodologique présenté en deuxième partie du rapport.

5.2. Représentation concertée du territoire

Dans le contexte de l'aménagement du territoire, il n'y a en général pas un mais plusieurs acteurs. Lorsque les rapports entre acteurs sont de nature conflictuelle, il s'agit de proposer des processus de décision qui permettent aux acteurs de discuter, non seulement au niveau de la résolution du problème, mais, au préalable, lors de la représentation du système urbain, c'est-à-dire lors du diagnostic.

5.2.1 La concertation en aménagement du territoire

Le processus décisionnel est rendu difficile par le fait que plusieurs groupes d'acteurs avec des valeurs et préférences différentes sont concernés. Par conséquent, leurs rapports sont souvent de nature conflictuelle [Joerin et al., 2001a].

Concertation territoriale

Afin de débloquer ces situations conflictuelles liées à l'aménagement du territoire, des processus participatifs et concertés de décision sont mis en place. On tente ainsi d'intégrer très tôt dans le processus les acteurs (propriétaires, riverains, personnes concernées) habituellement exclus du processus de décision, au lieu de les retrouver en fin de parcours dans les procédures d'opposition [Horber-Parazian, 1992].

Selon Major [1999, p. 37], « *la concertation territoriale a pour objectif de régler les conflits liés à la gestion du territoire. Elle opère par la recherche d'un consensus sur les actions à entreprendre et sur leur coordination éventuelle* ». De même, elle cherche à établir une meilleure adéquation entre ces actions et les réalités complexes de la ville [Repetti, 2004, p. 12]. Pour cela, elle doit se donner les meilleurs moyens de la représentation, à travers la modélisation systémique, et de permettre à chaque acteur d'exprimer sa vision du territoire et celle des objets qui lui semblent représentatifs [Major et Golay, 2004]. Dans le même sens, Bergmann [1992] souligne l'importance de bien **préparer** la concertation, en clarifiant très tôt dans le processus les positions des acteurs, les intérêts et les enjeux qu'ils défendent.

La concertation territoriale s'appuie essentiellement sur trois pôles [Major et Golay, 2004] :

- La reconnaissance du **statut et du rôle des intervenants** qui confirme le pouvoir d'influence de ces acteurs sur les décisions territoriales et leur crédibilité. En effet, l'un des enjeux de la concertation territoriale pour tout acteur est d'affirmer sa **légitimité et son identité** par sa participation au processus de définition du projet territorial. De plus, pour affirmer sa position, l'acteur doit se distinguer par un discours dont le principe clé est **d'argumenter**.
- La définition d'un **projet commun** comportant des *objectifs explicites*.
- La possibilité de se référer à des **concepts communs** ou à des outils de traitement de l'information permettant de *représenter son argumentation*.

Clarification terminologique sur la participation

Les terminologies liées au processus participatif font souvent l'objet d'une certaine confusion. Kingstone et Carver [1998] proposent une échelle de participation définie globalement par deux niveaux. A un bas niveau, se situent l'**information** et la **consultation**. Cette dernière consiste à soumettre différentes propositions à un public concerné et à recueillir ses réactions, pour éventuellement modifier le projet [Mettan, 1992]. A un niveau élevé, la **concertation** implique la possibilité d'influencer ou de collaborer à la prise de décision [ibid.]. Si la collaboration est totale, on se situe alors dans le cas d'une co-décision. Lorsque les acteurs ont des intérêts contradictoires et conflictuels, ce qui est souvent le cas, on parle plutôt de **négociation**. Celle-ci consiste à rechercher un accord entre les partenaires, qui peut se présenter sous trois formes possibles [Simos, 1991 ; Bergmann, 1992] :

- *Concession* : logique d'affrontement, synonyme de « je gagne et tu perds ».
- *Consensus* : logique d'entente, où les deux parties gagnent en même temps ; autrement dit, il s'agit de la meilleure solution de son point de vue et de celui des autres.
- *Compromis* : se situe entre la concession et le consensus ; les deux parties gagnent et perdent partiellement ; il s'agit d'une solution minimale, d'équilibre qui satisfait l'ensemble des acteurs.

Dans la pratique, Bergmann [1992] relève qu'on aboutit plus souvent à un compromis qu'à un consensus, car il est rare qu'une situation révèle une position claire et bien définie.

Dans la suite du mémoire, nous utiliserons plutôt le terme de **concertation territoriale** au sens général, qui recouvre les deux acceptations concertation et négociation. La **délibération**, présentée plus loin, s'inscrit dans ces démarches. Elle met l'accent sur l'évolution des représentations individuelles à travers l'échange, le dialogue.

La concertation territoriale est construite autour de deux forces complémentaires proposées par Lawrence et Lorsch [1989, cités par Pornon, 1997 et Major, 1999] dans le monde de l'entreprise, mais qui s'appliquent également à la concertation territoriale [Major, 1999].

A travers le mode de **différenciation**, l'acteur s'affirme dans son individualité, son identité [Major, 1999]. Il construit sa représentation et son appropriation du territoire selon le processus de reconstitution développé précédemment (chapitre 5.1), et exprime sa propre signification du territoire ou territorialité et donc ses propres raisons. Il se caractérise en tant qu'acteur par le fait qu'il est porteur d'une stratégie propre [Pornon, 1997, p. 17]. Dans un processus impliquant plusieurs acteurs, le mode de différenciation provient des **différences de structures cognitives entre les acteurs** et de leurs représentations du territoire qui en résultent. Cette différenciation peut être par conséquent **source de conflits** dans l'interprétation de faits géographiques.

Le mode d'**intégration** s'inscrit dans une phase de reconstruction collective. Il vise à promouvoir une coordination entre ces différentes individualités, en favorisant un échange, un dialogue entre les acteurs (apprentissage collectif), et à rapprocher les points de vue sur les enjeux de la concertation ; ceci dans l'optique d'un compromis, voire d'un consensus au niveau des solutions.

En résumé, la force de différenciation permet aux individus d'exprimer leurs positions, selon une logique de confrontation, tandis que la force d'intégration tente de les rapprocher, selon une logique de concertation.

Diagnostic participatif

Comme le relève Horber-Papazian [1992], les projets d'aménagement sont souvent rejetés par manque de *reconnaissance* du problème à traiter. Il est alors nécessaire d'instaurer un processus concerté dès la phase de diagnostic. Cela a été avancé par Joerin et al. [2001a ; 2004a], qui ont constaté, à travers des études de cas sur des projets d'aménagement à Genève, que les conflits les moins intenses (ou les plus facilement résolus) ont été observés lorsque le niveau de participation était élevé dès la phase de définition du problème. Il est en effet « *plus facile de s'entendre sur les problèmes à traiter que sur les solutions à promouvoir* » [Jeannot, 2003, p. 16]. Une concertation établie dès la phase de diagnostic favorise une plus grande **appropriation** des projets territoriaux par les acteurs locaux [Rouxel et Rist, 2000].

Le diagnostic participatif constitue une base privilégiée de rencontre et de discussion [Chételat, 2005]. Concrètement, il vise à rechercher des points d'accord entre les partenaires, sur la définition d'un problème, et à faire émerger (reconstruire) une conscience partagée du problème à résoudre. Il s'agit pour cela de bien comprendre le cadre social et organisationnel et les systèmes d'acteurs, notamment leurs stratégies et leurs enjeux [Repetti et Prélaz-Droux 2003], dans lesquels le diagnostic prend place.

Comme nous l'avons vu à la section précédente, les modèles systémiques d'information, tels que les systèmes d'indicateurs reposent sur les représentations cognitives (internes) [Roche et Hodel, 2004]. Par conséquent, dans une dynamique multiacteurs, un rapprochement des représentations cognitives individuelles par des mécanismes d'intégration est un préalable nécessaire à l'élaboration d'un système d'indicateurs sur lequel les acteurs s'appuient pour formuler un diagnostic concerté. Mais auparavant, il importe de pouvoir d'abord expliciter et confronter ces représentations individuelles selon des mécanismes de différenciation.

5.2.2 Forces de différenciation

Divergences de représentation

Comme il a été dit à la section 4.3.3, la connaissance des phénomènes complexes est incomplète. C'est pourquoi, les modèles systémiques produiront toujours un effort incomplet pour décrire et représenter ces phénomènes. Il est donc impossible de postuler un modèle unique [Loriaux, 1994].

Il existe potentiellement au moins autant de représentations possibles qu'il y a d'observateurs [Prélaz-Droux, 1995]. **Un même phénomène peut être représenté par des construits différents** chez chacun des acteurs et un même événement donne souvent lieu à des comportements forts variés [ibid.]. Chaque acteur, chaque discipline, élabore sa propre image mentale et donc son propre « filtre perceptif », selon ses valeurs [ibid.]. De même, chaque type d'expert (sociologue, psychologue, ingénieur, etc.) aura son propre modèle, qui reflète une théorie, une représentation d'un phénomène [Loriaux, 1994], qui flatte en quelque sorte une certaine **idéologie** [Le Moigne, 1990], liée à un métier [Major, 1999] ou à des orientations politiques, etc.

On rejoint ainsi le problème de la clôture du système dans le cadre des modèles causaux [Loriaux, 1994]. En effet, comme l'exhaustivité est quasiment impossible à atteindre, tout modèle, qu'il soit formel ou cognitif, fait l'objet de choix et est donc partiel ; il révèle des biais par rapport à des hypothèses et à des visions du monde, qui se traduisent par des choix [King et Kraemer, 1993] : quelles variables inclure/exclure, quels poids leur donner, etc. ?

Du fait de leur partialité, King et Kraemer [1993], relèvent que les modèles constituent des « armes » politiques, au sein de débat, pour défendre et légitimer des arguments et consolider

des positions. Raynaud [2003] dénonce cette déviance dans le cas de certains discours politiques qui abusent du principe de causalité, en se servant d'une concomitance entre deux événements pour en conclure à un rapport de cause à effet et exprimer parfois des idées erronées (cf. erreur écologique, ch. 4.3.2).

Les divergences de représentation et leur instrumentalisation peuvent être illustrées, au niveau politique, à travers les débats qui ont eu lieu dans le cadre du référendum populaire en Suisse du 8 février 2004 sur le contre projet Avanti. La motivation de ce projet est énoncée ainsi par la Confédération : « *Achèvement des routes nationales et élimination des principaux goulets d'étranglement tout en apportant une solution aux problèmes du trafic routier et ferroviaire dans les agglomérations*¹ ». D'après la Confédération, les réseaux routiers des principales agglomérations du pays, déjà surchargés, seront probablement paralysés d'ici 2020, étant donné, selon elle, l'augmentation de la population et des activités économiques. Elle propose de remédier à ce problème, selon une approche globale de la mobilité, en développant à la fois le réseau routier et les transports publics.

Pour les promoteurs du projet (essentiellement les milieux économiques), le développement du réseau routier (élargissements, routes de contournement) aux abords des agglomérations devrait éliminer les bouchons polluants et fluidiser le trafic, permettre aux bus de circuler plus librement dans les centres urbains, et améliorer la sécurité routière². Or, selon les opposants (essentiellement les milieux écologistes), plus de route encourage l'utilisation de l'automobile, l'élargissement des autoroutes (construction d'une troisième voie) ne fait que déplacer le bouchon aux sorties (principe de l'entonnoir) et n'améliore pas la sécurité qui est uniquement déterminée par le comportement des individus³.

Autre exemple, dans le cadre d'une représentation collective de la qualité du cadre de vie dans un collectivité, Torres [2000] relève que tel groupe d'acteurs, exposés aux risques environnementaux, privilégiera la dimension de protection face à ces risques, tandis qu'un autre groupe moins exposé mettra en avant d'autres critères tels que l'esthétique ou le confort. Les acteurs n'accorderont donc pas la même importance aux différentes dimensions du cadre de vie.

Les divergences de représentation sont sources de conflits

Les divergences entre les représentations systémiques du territoire mettent en évidence des stratégies ou raisons individuelles contradictoires, qui conduisent souvent à des **conflits** entre les différents types d'acteurs impliqués dans les processus d'aménagement du territoire [Pornon, 1997]. Pornon précise que les conflits ne sont pas toujours actifs (affrontement direct), mais aussi parfois latents. Concrètement, les divergences de point de vue génèrent les types conflits suivants : (i) conflits d'intérêts, (ii) conflits d'incompréhension (ou cognitifs), (iii) conflits de valeur, (iv) conflits d'objectifs. Malczewski [1999], distinguent plus globalement les **conflits sur les faits** et les **conflits d'intérêt ou de valeur**. Dans l'exemple ci-dessus, très schématiquement, les écologistes souhaitent répartir les ressources financières de la Confédération en faveur des transports publics dans les agglomérations, tandis que les pro-automobiles souhaitent attribuer ces ressources au développement des infrastructures routières (conflits sur les valeurs). Un élargissement des autoroutes contribue pour les pro-automobiles à fluidiser le trafic tandis que, pour les écologistes, cette même action amplifie la formation de bouchons (conflits sur les faits).

1 Votation populaire du 8 février 2004, explication du Conseil fédéral

2 Le Temps, 26.01.2004

3 www.avanti-non.ch

Rôle des modèles d'information dans la résolution des conflits

Comme les modèles en général, les modèles d'information, tels que les SIG, ne se révèlent guère être des instruments fédérateurs [Major et Golay, 2004 ; King et Kraemer, 1993]. Leur instrumentalisation dans le débat par les parties est due au fait qu'ils ne peuvent résoudre tous les types de conflits. Comme le relève Malczewski [1999], si certains auteurs considèrent que des modèles tels que les SIG minimisent les conflits par une amélioration de l'accès à l'information, d'autres pensent au contraire que cette amélioration de la qualité et de la disponibilité de l'information favorise les conflits, en donnant la possibilité à un plus grand nombre d'acteurs de défendre leurs intérêts. Les SIG contribuent à la mise en évidence *des faits* et peuvent de cette façon faciliter la résolution de ce premier type de conflits, lorsque les faits constituent une préoccupation dans le débat [King et Kraemer, 1993]. Les cartes produites par ces outils permettent de représenter « *ce qui est indiscutable* » [Debarbieux, 2002, p.169]. En revanche, les cartes sont un médiocre outil de représentation de « ce qui est mon point de vue » [ibid.] et donc, elles ne contribuent pas à résoudre les conflits de valeurs. En effet, en se référant au problème évoqué de la divergence des représentations, l'interprétation des faits représentés sur les cartes peut être différente selon les groupes d'acteurs et leur système de valeurs [Malczewski, 1999].

Nécessité de clarifier le débat

Dans un processus de concertation, les conflits sont d'autant plus difficiles à gérer que les représentations cognitives demeurent souvent intuitives et ne sont pas clairement exprimées. Il convient alors de proposer des techniques pour aider les acteurs à formaliser leur représentation de la complexité territoriale. Parmi celles-ci, on peut citer les *schématisations graphiques de type planaire faites de mémoire*, couramment appelées aussi « cartes mentales » [Debarbieux, 2002]. Ce genre de modèle permet aux acteurs de rendre **intelligible la représentation de leur territorialité et de la communiquer**, en la mettant en relation avec la perception des autres acteurs, ce qui contribue au processus de concertation.

Le modèle contribue à créer un dialogue ouvert entre les différents intérêts, permettant de **clarifier le choix et la question du débat**, c'est-à-dire les éléments à négocier et les enjeux du débat [King et Kraemer, 1993]. Cette clarification met en évidence les points d'accord et de désaccord. Lors d'une conversation privée, F. Flourentzou confiait, en se basant sur ses expériences de processus participatif de décision, que les désaccords entre les acteurs, dont les positions idéologiques sont a priori très divergentes, sont souvent moins nombreux qu'on peut le croire.

En formalisant et en partageant des connaissances, les acteurs s'affirment dans leur rôle et leur identité [Major, 1999]. Ils développent, selon Bourdieu cité par Talpin [2003], une **compétence politique**. En effet, comme le relève Lévy [1999, p. 76], « *les acteurs sont dotés de compétences linguistiques, argumentaires et même stratégiques* », ce qui détermine leur pouvoir d'influence dans le débat. Et c'est cette capacité d'argumenter dans un débat, qui donne au modèle sa légitimité et son acceptabilité sociale et politique [Golay et Nyerges, 1995].

En conclusion, en formalisant les points de vue, les modèles systémiques, qui donnent une représentation de phénomènes perçus complexes, permettent de gérer les conflits de façon constructive, et de les transformer en moteurs du processus [Pornon, 1997], en ressources du processus plutôt que d'y faire obstacle [Braillard, 2000].

Pour cela, il faut, d'après King et Kraemer [1993], éviter l'affirmation naïve : la **vérité** va triompher dans le débat, ou chaque modèle contient la vérité. Au contraire, un modèle peut

donner une réponse vraie dans un cas, et fausse dans un autre. Les tâches du concepteur de modèles sont donc les suivantes :

1. Eviter la fausse croyance que son **modèle amène les réponses aux politiques**. Il permet au contraire d'affiner les résultats d'un certain point de vue.
2. Reconnaître les **biais** (représentations individuelles) comme essentiels dans le débat politique public ; encourager le développement de modèles qui intègrent de multiples perspectives.
3. Soutenir l'accès à la modélisation par toutes les parties dans le débat.

Les propos tenus dans cette section ne visent pas à dénigrer les compétences des experts, ni de dénier des 'vérités' scientifiques pertinents notamment pour le diagnostic et l'aide à la décision. Mais il s'agit de reconnaître que, dans un processus participatif, les experts sont des acteurs parmi d'autres. Ils construisent eux aussi leurs propres représentations cognitives et points de vue idéologiques pour les traduire ensuite dans des modèles formels.

5.2.3 Forces d'intégration

La mise en œuvre de forces d'intégration passe par une résolution des conflits dus aux divergences de représentation [Pornon, 1997]. Elle nécessite au préalable de clarifier la question du débat, comme exposé ci-dessus. Cependant, si l'on en reste à une simple clarification, il est sans doute difficile d'établir une coordination efficace autour d'un projet commun [Major et Golay, 2004]. Le mode d'intégration vise alors à rapprocher les modèles cognitifs des acteurs [ibid.] pour aboutir à un **référentiel commun** à l'ensemble des partenaires [Pornon, 1997]. Un tel rapprochement facilite le processus de décision : il constitue une base pour faire émerger ultérieurement des solutions consensuelles ou à tout le moins acceptables [Jankowski et al., 1997].

Rapprochement des représentations

Un rapprochement des modèles cognitifs n'implique pas pour autant que les acteurs se mettent d'accord sur un seul et unique modèle du territoire, sur lequel tout le monde serait d'accord, même si on peut supposer intuitivement que la solution sera d'autant plus facilement consensuelle que les représentations sont convergentes au départ. Mais il importe avant tout que les acteurs puissent **se mettre d'accord sur les enjeux centraux** de la décision [Pitteloud et al., 2003], qui émergent des représentations. Un rapprochement *partiel* sur ces aspects est donc suffisant et nécessaire à ce stade initial de la décision.

Il peut être effectué dans le cadre d'un processus de **délibération**, dont l'intérêt a déjà été relevé au chapitre 2.1 pour structurer un processus de décision. La délibération n'est rien d'autre que la formation discursive, via la confrontation des arguments, de la volonté ou des raisons individuelles [Talpin, 2003].

A travers la délibération, la confrontation des représentations individuelles favorise leur **évolution** vers des raisons, des enjeux partagés. La délibération se situe dans le paradigme constructiviste. Elle ne permet pas seulement une clarification du débat, mais aussi un processus de **reconstruction collective** (cf. 5.1), dans lequel chacun apprend des modèles des autres et reconstruit son propre modèle. De ce point de vue, elle rejette la conception de préférences figées de la démocratie agrégative et affirme que, non seulement les préférences et les opinions des individus évoluent par la discussion, mais leur identité change elle aussi [Talpin, 2003]. Cela renvoie à la conception communicationnelle de la politique : « *transformer les contenus communiqués et ceux qui les communiquent* » [ibid.]. Une nouvelle identité émerge d'un processus de communication entre les acteurs qui à la fois

constituent le système et sont construits par le système. Le groupe d'acteurs s'autoréférence et se construit une identité qui le distingue de son environnement [Bell et Morse, 2000]. Flourentzou [2001] va dans le même sens en constatant que généralement, les membres d'un jury d'un concours d'architecture évoluent entre le début et la fin du processus. Nous l'avons observé nous même à travers une étude de cas menée sur le Goulet de Chêne-Bourg [Joerin et al., 2000 ; 2001a] : un représentant d'une association d'habitants, participant au jury d'un concours dans le cadre de la construction d'un nouveau complexe, s'est petit à petit distancié en soutenant un projet contre l'avis de l'association. La difficulté se situe dans la capacité du représentant à faire également évoluer les opinions des autres membres du groupe qui n'ont pas été impliqués dans la délibération.

Concepts communs et ambiguïtés

Le rapprochement dans un processus délibératif est envisageable s'il est possible d'identifier des éléments communs de représentation sur lesquels il peut être effectué.

C'est notamment le but de l'analyse lexicale effectuée par Major [1999] en déterminant d'une part les éléments de vocabulaire spécifiques à chaque acteur du territoire, d'autre part les éléments de vocabulaire commun. Une représentation sociale commune nécessite de se mettre d'accord sur la signification des choses dont on parle et en particulier les éléments de vocabulaire [Major, 1999]. Elle s'apparente à la mise en œuvre d'un langage interdisciplinaire permettant aux acteurs de différentes disciplines de **communiquer** et de **partager** leurs résultats avec ceux des autres [Prélaç-Droux, 1995]. C'est le sens de la Représentation systémique du territoire qui établit une plate forme d'échange entre différents modèles d'explication du réel [ibid.].

King et Kraemer [1993] vont dans le même sens en affirmant qu'en mettant en commun et en confrontant les représentations des différents acteurs, le modèle devient en quelque sorte une *Pierre de Rosette*. Il est alors possible de parler un langage commun pour débattre des hypothèses critiques (les points de divergences), de focaliser sur ce qui donne du sens ou pas, de négocier et de poser en définitive les règles de base communes pour débattre. Autrement dit, l'élaboration collective d'un modèle met en évidence des « **objets pivots** » (boundary objects) [Harvey et Chrisman, 1998], c'est-à-dire des concepts communs, qui intègrent des gens de différentes perspectives sociales. Sur la base des concepts communs, une intercompréhension s'établit entre les acteurs. [Torres, 2000].

Cependant, l'existence d'éléments communs, acceptés par le groupe ne veut pas dire que les acteurs soient en tout point d'accord, c'est-à-dire qu'il existe une représentation unique de l'objet concerné. Bien au contraire, l'identification des éléments communs n'empêchent pas que des **désaccords**, des ambiguïtés, des incertitudes inhérentes au fonctionnement même de la concertation subsistent [Major et Golay, 2004].

En outre, comme le disait F. Flourentzou [conversation privée], il convient de d'abord commencer par relever ce qui est convergent, et ne pas aborder les points de désaccord tout de suite, mais les garder pour la fin. Car les acteurs, en échangeant, en évoluant (reconstruction), certains points de désaccord finissent souvent par s'estomper.

Etablissement d'un espace de discussion

Les éléments communs et divergents des représentations définissent un **espace de discussion**. Ce dernier constitue un cadre, une marge de manœuvre, c'est-à-dire une limite où l'on accepte d'aller [Bellenger, 1992]. Il s'agit donc d'un espace de communication, dans lequel se nouent les enjeux, que se définissent la légitimité et la crédibilité des acteurs, mais aussi leur identité et qu'est exprimé leur vision du monde [Major et Golay, 2004].

L'étendue de l'espace commun est élargie en **complexifiant** la représentation, c'est-à-dire en considérant un problème sous une dimension multiple [Le Moigne, 1990]. La prise en compte de la complexité permet d'incorporer différents systèmes de valeurs [Torres, 2000]. En effet, la complexité donne un plus grand degré de liberté, elle permet de maintenir un certain niveau d'incertitude, d'ambiguïté entre les représentations [Major et Golay, 2004].

En reprenant l'exemple de la qualité du cadre de vie donné plus haut, où il s'agit de se mettre d'accord sur une représentation commune, les deux groupes d'acteurs (exposés et non exposés) peuvent convenir que les aspects 'protection de l'environnement' et 'esthétique' sont les plus importants à considérer. De ce point de vue, Torres [2000] relève que l'espace commun est un 'agencement composite' qui consiste souvent à intégrer différentes préférences, plutôt que de se mettre d'accord sur une seule. Flourentzou [conversation privée] va dans le même sens : lors du choix des enjeux de décision, les acteurs se préoccupent plus de voir figurer leurs enjeux que de refuser ceux des autres.

L'espace de discussion permet de maintenir un équilibre entre les forces de différenciation et d'intégration. Cet équilibre est nécessaire pour établir la conjonction ou le rapprochement des différences sans pour autant les neutraliser [Bellenger, 1992]. L'explicitation des éléments communs et la complexification du problème favorisent à la fois la recherche ultérieure d'un compromis dans les solutions et l'affirmation de l'identité des individus [Major, 1999].

La définition d'un espace commun au niveau des représentations cognitives apporte en définitive une contribution à la préparation d'une concertation autour des solutions et de la recherche d'un compromis, voire d'un consensus. Le compromis a lieu lorsqu'il n'y a pas de concordance possible sur les optimums individuels de chaque acteur. Il résulte donc d'un abandon d'une recherche d'optimum, au profit d'une satisfaction générale (cf. approche procédurale, ch. 2.1) [Torres, 2000]. Il est établi si, par rapport aux enjeux du débat, les points d'accord ou éléments communs sont plus importants que les désaccords, et que ceux-ci ne touchent pas à l'essentiel des acteurs, c'est-à-dire les éléments non négociables. Autrement dit, chacun doit renoncer à son optimal dans les limites de l'acceptable pour lui-même [Bergmann, 1992].

Sur la base d'un espace qui intègre à la fois des éléments communs de représentations et des éléments divergents, mais acceptables, il est possible de définir un système d'indicateurs et de formuler un diagnostic concerté. En effet, comme l'affirme Bellenger [1992], l'espace commun permet de délimiter le champ de connaissance à acquérir. Ceci est l'objet de la prochaine section.

5.3 Partage d'information en vue de produire des indicateurs

Si traditionnellement les SIG ne permettent pas de gérer les conflits sur les valeurs, c'est probablement parce que les acteurs ne sont pas intégrés dans la modélisation du système [Malczewski, 1999] ; c'est-à-dire que leurs perceptions et leurs préférences ne sont pas prises en compte dans le choix d'informations pertinentes, et que le croisement *perceptions – informations mesurées* a lieu a posteriori, une fois que le SIG a été élaboré.

Ce problème se pose pour les modèles conceptuels qui sont élaborés pour guider la sélection des indicateurs (chapitre 3.4). Ces modèles traduisent les représentations des experts. Ils reposent sur des objectifs globaux du développement durable, définis à un niveau technique et théorique, et produits sans liens concrets avec les territoires et les acteurs locaux [Torres, 2000 ; Pastille, 2002]. De ce point de vue, ils se situent dans une rationalité substantielle [Torres, 2000].

D'un niveau *non spatial – global – théorique*, il s'agit de passer à un niveau *spatial – local – spécifique* et donc à une rationalité procédurale ou délibérative [Torres, 2000], qui est plus adaptée au contexte de diagnostic territorial ; ceci, lorsque l'aménagement fait l'objet d'un débat public et qu'il s'agit d'associer les acteurs à la production d'information [Debarbieux, 2002].

Dans plusieurs démarches locales participatives, parmi lesquelles celles présentées plus loin, le choix et l'élaboration d'indicateurs fait l'objet d'un processus de délibération. Dans ce contexte, un ensemble d'indicateurs n'est pas définitif ou figé, mais sa composition évolue au cours de la discussion entre les acteurs [Pastille, 2002]. Le choix des indicateurs est intégré au discours des acteurs, à travers lequel ils négocient leur identité, leur crédibilité et leur signification du développement durable [ibid.], du territoire. Les indicateurs constituent des constructions sociales dans lesquelles les problèmes sont posés, les objectifs sont définis et mesurés [ibid.]

Les ensembles d'indicateurs sont alors le résultat d'une co-construction orientée sur les besoins et les stratégies propres des acteurs. Autrement dit, ils intègrent les représentations et les raisons individuelles et collectives d'un groupe d'acteurs. De cette façon, on fait « *une plus large part au subjectif, au ressenti, aux représentations de la réalité* » [Goux-Baudiment, 2000, p. 20]. L'enjeu de l'information géographique ne se situe donc pas tant dans l'efficacité technologique, mais surtout dans l'**efficacité sociale de l'information** [Roche et Hodel, 2004].

Les indicateurs élaborés à partir des représentations des acteurs contribuent au partage et au croisement d'information entre les différents acteurs qui les produisent. Les producteurs de données mesurées, généralement les institutions, amènent une crédibilité scientifique au processus, tandis que les autres, généralement les citoyens, amènent une légitimité sociale et politique [Meadows, 1998]. En conséquence, les indicateurs constituent un instrument de médiation entre les différents types d'acteurs : communiqués sur un support cartographique, ils contribuent à mettre en commun les représentations individuelles et institutionnelles [Debarbieux, 2002].

Mais en retour, les indicateurs contribuent à un processus de reconstruction collective, d'apprentissage en apportant un nouvel éclairage sur le système urbain, selon le même mécanisme que présenté à la figure 5.1. Dans le même sens, Pornon [1997] relève que les SIG donnent les moyens aux acteurs de confronter de façon constructive leurs perceptions du territoire, en apportant les arguments nécessaires à étayer leur position et à les faire évoluer. En intégrant différents types de connaissances, d'informations et d'acteurs, le diagnostic territorial permet de développer une représentation spatiale qui s'inscrit en cohérence avec le mode de fonctionnement cognitif des acteurs et leurs représentations du contexte territorial [Roche et Hodel, 2004].

En définitive, le processus social de construction de l'information favorise les conditions d'une concertation entre les acteurs, en les faisant interagir et échanger en amont d'un processus de décision, ce qui est un résultat beaucoup plus important que l'information et le résultat du diagnostic eux-mêmes [Roche et Hodel, 2004].

Exemples

Parmi les démarches participatives d'élaboration d'ensembles d'indicateurs, on peut tout d'abord citer le processus Sustainable Seattle [1998] qui a lieu périodiquement (1993, 1995, 1998). Lors de l'édition 1998, 250 citoyens ont participé à l'élaboration de 40 indicateurs répartis dans les thèmes suivants : environnement, ressources utilisées par la population,

économie, jeunesse et éducation, santé et société. En comparant la situation mesurée par rapport à celle des autres éditions, il est possible d'évaluer le progrès ou non vers la durabilité.

Le projet PASTILLE [2002] réunit quatre villes européennes de taille variée (Lyon, Vienne, Winterthur, Southwark). L'objectif est de produire dans chacune des villes des indicateurs de durabilité, selon des méthodes participatives impliquant tant les chercheurs que les acteurs politiques des municipalités.

Dans ces exemples, les indicateurs sont simplement répartis dans différents thèmes, mais ne sont pas organisés dans des modèles systémiques qui permettraient de mieux comprendre et de représenter le fonctionnement urbain. Par conséquent, il nous semble important que les acteurs puissent non seulement participer au choix des indicateurs, mais aussi à l'élaboration d'un cadre conceptuel qui reflète leurs représentations du fonctionnement urbain ; ceci en identifiant les relations causales entre les indicateurs. L'organisation systémique et participative des indicateurs sera au cœur de la méthodologie proposée dans la deuxième partie du mémoire.

Synthèse et conclusion du chapitre

La modélisation systémique de phénomènes urbains, d'indicateurs, donne ou traduit une représentation d'une réalité perçue complexe. De ce point de vue, elle n'est pas neutre, ni objective, mais projective ou intentionnelle vis à vis d'une finalité souhaitée.

L'activité de modélisation part d'une interaction permanente entre un individu et son environnement. A travers cette interaction, l'individu acquiert une nouvelle connaissance, une nouvelle compréhension de son environnement, selon une dynamique de reconstitution/reconstruction. L'acte de représentation correspond à un processus de reconstitution de l'objet réel, qui permet à l'individu de saisir une signification de l'objet et de fonder des raisons, des motivations en vue d'une action. Les indicateurs sont choisis et élaborés par rapport à la représentation. En retour, l'individu en interprétant ces indicateurs développe une nouvelle connaissance de l'objet territorial et reconstruit sa représentation et ses raisons. Les indicateurs lui permettent de fonder un jugement sur l'objet et de formuler un diagnostic.

Les processus d'aménagement du territoire impliquent plusieurs acteurs, dont les intérêts sont généralement divergents. Le processus de concertation s'établit sur un équilibre entre deux forces a priori contradictoires :

- **Force de différenciation** : chaque individu s'affirme par rapport à ses intentions et objectifs. Chacun produit son propre modèle cognitif, ou s'identifie à un modèle existant et s'en sert dans le débat pour s'affirmer et faire valoir son point de vue. Etant donné la connaissance incomplète d'un système complexe, tout modèle construit n'est qu'une représentation partielle de cette réalité. Les divergences de représentation sont sources de conflit. Il s'agit alors de permettre à chaque acteur d'exprimer sa représentation pour clarifier les enjeux du débat.
- **Force d'intégration** : consiste à intégrer et rapprocher les différentes représentations. En délibérant, c'est-à-dire en interagissant, les acteurs apprennent à partir des représentations formulées par les autres acteurs et voient leur propre représentation évoluer selon un mécanisme de reconstruction collective. A travers l'échange, il est possible d'identifier des éléments communs et divergents sur lesquels un espace de communication est créé.

Sur la base des éléments communs et divergents, il est possible de construire un système d'indicateurs commun aux acteurs. Les indicateurs favorisent un apprentissage, en mettant à disposition de nouvelles informations, et une évolution des représentations, en apportant un éclairage sur les éléments divergents. Les acteurs peuvent alors formuler un diagnostic et fonder des raisons, des enjeux communs en vue d'une action.

En résumé, en représentant un objet, l'acteur le reconstitue. En échangeant avec les autres et en acquérant de l'information, les acteurs reconstruisent leurs représentations et les rapprochent.

En général, les représentations des acteurs apparaissent dans la forme d'un discours et sont peu formalisées. Par conséquent, nous proposerons dans la deuxième partie du mémoire des outils systémiques pour aider les acteurs à :

- reconstituer une réalité perçue, c'est-à-dire à formaliser et à structurer leur représentation de cette réalité ;
- identifier les éléments communs et divergents dans l'optique d'une reconstruction collective ;
- identifier les indicateurs pertinents par rapport à ces éléments et à les organiser dans un modèle systémique en vue d'un diagnostic qui rende compte de leur compréhension du fonctionnement urbain.

Ces outils s'inscrivent dans une phase préparatoire de la concertation autour des solutions (*problem solving*), en vue de trouver un accord dans la forme d'un compromis (si l'accord est partiel) ou d'un consensus (si l'accord est total).

Deuxième partie

-

Développement méthodologique et cas d'études menés à Genève et Québec

Elaboration d'un système d'indicateurs dans le cadre d'un diagnostic participatif de quartier à Genève

Ce chapitre propose une méthodologie de construction d'un système d'indicateurs dans le cadre d'un diagnostic, réalisé avec un groupe d'habitants, dans le quartier de Saint-Jean à Genève. Le chapitre met en perspective deux démarches qui s'articulent de la façon suivante. Il présente tout d'abord le contexte du diagnostic, la structure de base de l'ensemble d'indicateurs, et montre le potentiel qu'offrent les outils d'analyse spatiale pour construire des indicateurs (6.1). Les propos de cette section sont tirés en grande partie des articles de Joerin et al. [2004 ; 2005] et Nembrini et al. [2004]. Ensuite, une première démarche méthodologique de modélisation systémique, que nous qualifions de « proto-méthodologie », est appliquée rétroactivement à l'ensemble d'indicateurs proposé au préalable dans le cadre du diagnostic (6.2).

Dans les deux cas, la démarche ne se fonde pas sur une vérité énoncée par un expert¹, mais adopte un point de vue participatif en cherchant à intégrer les différentes perceptions, de façon à la fois individuelle et collective, dans la définition et l'organisation des indicateurs.

De cette approche empirique et exploratoire émergent, à chaque étape, des enseignements relatifs aux hypothèses posées au chapitre 1. Ils permettront de développer et de consolider progressivement la méthodologie dans les chapitres suivants (7 et 8).

6.1 Présentation de la démarche de diagnostic participatif

6.1.1 Motivations et déroulement de la démarche

Contexte de l'application

Le quartier de Saint-Jean (20'000 habitants), situé dans la Ville de Genève, a été choisi pour cette expérience, principalement en raison d'une dynamique participative forte et continue depuis plusieurs années. Cette dynamique se matérialise notamment par l'organisation presque mensuelle de *Forums* des habitants, durant lesquels les habitants discutent des questions relatives au quartier. Ces *Forums* ont lieu à la Maison de Quartier (ou centre de loisirs). Le comité de citoyens qui organise ces événements, coordonne aussi plusieurs groupes de travail où des habitants s'impliquent sur plusieurs dossiers d'aménagement.

¹ Dans le cadre d'un processus participatif qui rassemble différents types d'acteurs, les experts sont des acteurs parmi d'autres et devraient bien sûr trouver leur place (cf. 5.2.2).

Le processus s'est déroulé de septembre à décembre 2002 et s'est achevé par une présentation lors d'un *Forum* consacré à la communication de la démarche et ses résultats. Il a été réalisé sur la propre initiative du groupe recherche CITYCOOP², dont fait partie l'auteur, et n'a donc pas fait l'objet d'un mandat des autorités publiques.

Processus de diagnostic

La démarche de diagnostic menée à Saint-Jean est présentée ici succinctement, l'objectif étant de poser le cadre dans lequel intervient l'élaboration d'un système d'indicateurs.

Centré sur le niveau local, ce diagnostic a pour objectif de dresser un bilan de l'état du quartier urbain concernant la question de la **qualité du cadre vie**, qui implique des aspects liés à la mobilité, à la vie sociale et aux différentes infrastructures associées. Il aboutit à la formulation d'enjeux prioritaires, en vue d'actions concrètes touchant la vie du quartier. Le diagnostic de quartier donne la possibilité aux habitants de réagir face aux projets touchant leur territoire, afin de s'assurer que leur effet vont dans le sens des priorités mises en évidence. Il permet aussi aux habitants d'agir en proposant des actions à mettre en oeuvre.

Concrètement, le processus consiste à accompagner un groupe d'habitants dans l'identification et le choix des enjeux prioritaires. Ce groupe, le Groupe Diagnostic, s'est formé spontanément suite à une invitation lancée lors d'un *Forum* tenu au mois de juin 2002. Il est composé d'une douzaine d'habitants qui ont participé à toutes les étapes du processus jusqu'à l'élaboration du diagnostic. Le groupe de chercheurs pilote le déroulement du processus et effectue les tâches de récolte et de traitement de l'information. Il constitue un relais entre le Groupe Diagnostic et les habitants du quartier. En effet, chaque étape est précédée ou suivie d'une récolte d'opinion auprès d'une partie de la population. Le résultat de ces consultations alimente la réflexion du Groupe Diagnostic et les guide dans la formulation d'opinions³.

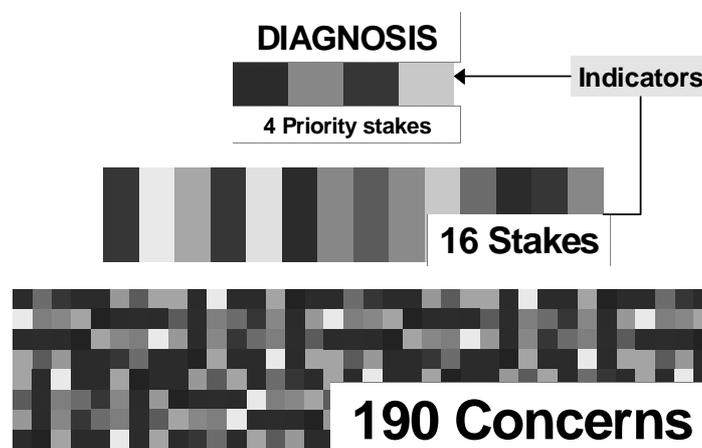


Figure 6.1 : Processus pyramidal, tiré de [Joerin et al., 2004]

² Le projet de recherche CITYCOOP (Concept and InnovaTive sYstems for COOperative Planning), est la contribution suisse à l'action européenne COST-C9 (Process to reach urban quality). Fruit d'une collaboration entre l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, l'Université de Genève et l'Etat de Genève, cette recherche vise à développer de nouveaux instruments d'aide à la décision pour la planification urbaine dans une approche multisectorielle et concertée, selon les optiques du développement durable.

³ Il convient de noter que le diagnostic réalisé à St-Jean relève d'un engagement volontaire des citoyens. La faisabilité d'une telle démarche dans un contexte institutionnel et légitimé par des processus démocratiques usuels n'a pas été testé.

Le processus de diagnostic est organisé en quatre étapes durant lequel l'information a été progressivement synthétisée selon une structure pyramidale (figure 1). Les nombreuses **préoccupations** émises par une partie de la population ont été regroupées en thèmes et **enjeux**. Par enjeu, nous entendons un objectif d'ordre général qui traduit une évolution, une tendance souhaitée pour une problématique donnée. A l'aide d'**indicateurs** spatiaux, des habitants interrogés dans le quartier ont ensuite été en mesure d'observer et d'évaluer ces enjeux sur le territoire. Le résultat de ce travail a finalement permis de déterminer des **enjeux prioritaires** qui constituent le diagnostic du quartier. Cet exercice de synthèse, nécessaire au choix des priorités, est la contribution la plus fondamentale du travail réalisé par le groupe diagnostic. En définitive, les enjeux prioritaires qui ressortent du diagnostic permettent, d'une part, de prendre en compte les attentes de la population et, d'autre part, de définir des lignes directrices sur lesquelles des actions concrètes seront entreprises.

6.1.2 Choix des indicateurs

Le diagnostic participatif met l'accent sur la valorisation des informations disponibles. Il est conçu comme un processus cognitif alimenté par des échanges d'information provenant de différentes sources. Une vingtaine d'indicateurs ont été utilisés comme support à ces croisements d'information.

Pour chaque enjeu, un ou plusieurs indicateurs géographiques considérés comme suffisamment représentatifs et pertinents sont proposés par le groupe de recherche (Citycoop). La relation entre l'enjeu et le ou les indicateurs est dans la plupart des cas indirecte et partielle, l'enjeu pouvant difficilement être apprécié de façon exhaustive. Trois situations peuvent alors être se présenter.

Dans la première situation, l'enjeu est évalué par un **indicateur unique** qui est jugé significatif par rapport à l'enjeu. La plupart des indicateurs du diagnostic de quartier se situent dans cette catégorie (tableau 6.1).

Enjeux	Indicateurs
Réguler l'utilisation des parkings (publics et privés)	Densité de stationnements par habitant (adulte)
Diminuer le trafic de transit	Charge de trafic (Nombre moyen de véhicule par jour)
Étendre les animations à d'autres secteurs du quartier	Niveau de proximité aux activités
Spécialiser les petits commerces	Niveau de proximité aux petits commerces
Stabiliser - ou même augmenter - l'offre de bas loyers	Proportion de bas loyer
Améliorer le respect des équipements et la sécurité dans les espaces publics	Délinquance (densité de petits et moyens délits)

Tableau 6.1 : *Enjeux représentés par un indicateur unique*

Dans la seconde situation, l'enjeu est représenté et évalué par un **vecteur d'indicateurs** (cf. ch. 3.6) :

$$\text{Enjeu} = \langle \text{Ind}_A, \text{Ind}_B, \text{Ind}_C, \dots \rangle$$

Ce vecteur constitue en quelque sorte un profil qui permet d'apprécier séparément les différents aspects de l'enjeu (tableau 6.2).

Enjeux	Indicateurs
Améliorer la sécurité piétonne	Largeur de trottoir
	Equipements de sécurité à proximité des écoles
Développer les infrastructures sociales	Nombre de places potentiellement disponibles dans les crèches par habitant
	Niveau de proximité aux lieux de rencontre (cafés, restaurants, bibliothèque, etc.)
Améliorer l'attractivité de l'espace public	Niveau de proximité aux espaces verts
	Densité des équipements de l'espace public (WC)
Accroître et diversifier l'offre des transports publics	Niveau de desserte en transport public (Proximité aux arrêts de bus)
	Densité de couloir réservé au transport public (TP)

Tableau 6.2 : Enjeux représentés par un vecteur d'indicateurs

Finale­ment, dans la troisième situation, l'enjeu peut être représenté par un **indicateur agrégé**. Celui-ci renvoie au terme de valeur scalaire :

$$\text{Ind}_{\text{enjeu}} = f(\text{Ind}_A, \text{Ind}_B, \text{Ind}_C, \dots)$$

Ces indicateurs, que l'on peut aussi appeler composites ou complexes, sont représentés avec leurs composantes dans le tableau 6.3.

Enjeu	Indicateur agrégé	Indicateurs élémentaires
Réduire la vitesse	Habitants exposés au bruit	Densité d'habitants
		Niveau de bruit lié au trafic routier
Mieux répartir l'espace de circulation des piétons et cyclistes	Distribution de l'espace public (en faveur de l'écomobilité)	Densité de couloir réservé au transport public
		Largeur de trottoir
		Installations pour les vélos (parking, piste cyclable)

Tableau 6.3 : Enjeux représentés par un indicateur agrégé

En définitive, loin de s'exclure, ces différents modes de représentations sont tout à fait complémentaires et tous furent utilisés pour s'adapter aux difficultés liées au manque ou à l'excès d'information disponible. Ainsi, l'enjeu « *Améliorer l'attractivité (sécurité, plaisir) en déplacement piéton-cycliste* » est représenté par un vecteur de deux indicateurs, dont l'un est un indicateur agrégé (tableau 6.4).

Enjeu	Indicateurs agrégés ⁴	Indicateurs élémentaires
Améliorer l'attractivité (sécurité plaisir) en déplacement piéton-cycliste		Aménagements pour « 2 Roues »
	Attractivité piétonne de l'espace public	Surface de trottoir Densité de d'éclairage public (points lumineux) Attractivité des rues (vitrines restaurants, commerces) Densité de bancs publics Charge de trafic

Tableau 6.4 : Enjeu représenté par un indicateur vectoriel dont l'un est un indicateur agrégé

En consultant les cartes d'indicateur, les habitants interrogés peuvent comparer la situation entre les différents lieux de leur quartier et avec celle d'autres quartiers de Genève. Ils peuvent ainsi observer et évaluer l'importance relative de chaque enjeu sur leur quartier et déterminer les enjeux prioritaires qui finalisent le processus de diagnostic.

Les enjeux prioritaires et, dans une moindre mesure, importants sont les suivants :

Enjeux prioritaires	Enjeux importants
<ul style="list-style-type: none"> - Développer les <i>infrastructures sociales</i> et améliorer la communication entre associations - Réguler l'usage des <i>parkings</i> (publics et privés) - Gérer la <i>circulation</i> motorisée en réduisant notamment le transit et la vitesse - Stabiliser ou augmenter l'offre en <i>bas loyers</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Accroître et diversifier l'offre en <i>transport public</i> - Améliorer la <i>sécurité piétonne</i>, notamment autour des écoles - Améliorer l'attractivité de l'<i>espace public</i>

Tableau 6.5 : Enjeux prioritaires et importants. Ces enjeux sont le résultat d'une reformulation et, pour certains, d'un regroupement des enjeux initiaux

6.1.3 Elaboration des indicateurs par analyse spatiale

Certains indicateurs sont élaborés directement par la représentation d'une donnée pertinente, toutefois, la plupart d'entre eux nécessitent des procédures d'analyse réalisées par la combinaison d'opérateurs spatio-thématiques. L'objectif n'est pas de présenter toutes les cartes d'indicateurs, mais les types de procédure utilisés, illustrés de façon systématique par une carte d'indicateur.

Habitants exposés au bruit

Cet indicateur met en relation deux types d'information : le *Nombre d'habitants* et le *Niveau de bruit lié au trafic routier* durant la nuit. Le fait de combiner ces informations produit un indicateur plus significatif et pertinent que si l'on considère seulement le niveau de bruit. En effet, un niveau de bruit élevé dans une zone fortement habitée ne représente pas le même degré de préoccupation qu'un niveau identique dans une zone inhabitée.

La construction de cet indicateur procède à un contrôle spatial en se basant sur une grille de mailles régulières, de résolution de 50 x 50 mètres, sur laquelle on considère la variation des attributs thématiques qui nous intéressent.

⁴ Les formules et méthodes d'agrégation ne sont pas significatives pour la thèse, et ne sont pas détaillées ici. Un exemple est donné au paragraphe 6.1.3 ; on se référera au rapport [Joerin et al., 2003] et aux publications [Joerin et al., 2005 ; Nembrini et al., 2005] pour les autres.

Sur chacune des surfaces délimitées par les mailles on applique successivement deux règles de calcul [Chrisman, 1997] :

- Valeurs extrêmes : à chaque maille, on affecte la valeur de bruit maximale. Puis, on ne conserve que les mailles pour lesquelles, la valeur maximale de bruit dépasse le seuil de 55 dBA jugé critique durant la nuit.
- Valeurs totales : sur chacune des mailles sélectionnées, on additionne le nombre d'habitants.

Le résultat de la densité d'habitants affectés par des valeurs critiques de bruit est ensuite représenté sous forme de carte thématique (figure 6.3).

Chacun des indicateurs est représenté sur deux échelles différentes : l'échelle locale du quartier et l'échelle régionale d'une partie du canton de Genève. Cette mise en perspective des deux échelles permet d'apprécier la situation d'un indicateur à Saint-Jean relativement à celle de la région et des quartiers comparatifs (Carouge et Eaux-Vives). La comparaison peut être formalisée à travers des valeurs moyennes de l'indicateur pour chacune des entités spatiales. Sur la légende de droite, la première colonne désigne le nombre moyen d'habitants par maille dont le bruit est supérieur à 55 dB. La deuxième colonne donne une valeur relative en [%] par rapport à la région.

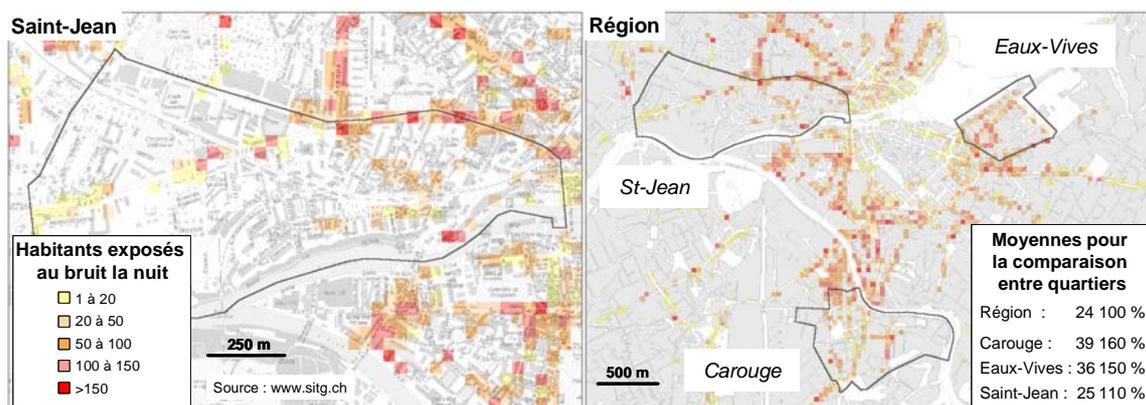


Figure 6.3 : Habitants exposés à un niveau de bruit nocturne supérieur à 55 dB, à Saint-Jean et à l'échelle de la Ville de Genève. Tiré de Joerin et al. [2003]

Niveau de proximité

Plusieurs enjeux portent sur le niveau de développement de biens et de services dans le voisinage des habitations, afin de promouvoir une bonne qualité de vie. Il s'agit par exemple, des infrastructures sociales (crèches et lieux de rencontres), des petits commerces ou des lieux proposant des activités de loisirs. En se référant aux tableaux exposés précédemment sur la relation entre enjeux et indicateurs, ces enjeux sont représentés par un indicateur unique, tel qu'un niveau de proximité (petits commerces) ou par un vecteur d'indicateurs combinant un niveau de proximité (espaces verts) avec des densités d'infrastructure (toilettes).

Les indicateurs exprimant des niveaux de proximité se basent sur une évaluation de l'accessibilité aux services ou lieux d'intérêts, à pied, depuis chaque adresse civile. Ces indicateurs considèrent généralement un temps et/ou une distance (anisotropique) de parcours. Le niveau de proximité, qui considère les distances à vol d'oiseau (distance isotropique), est jugé assez représentatif de l'accès piéton aux services. Cependant, une telle distance ne donne qu'une information partielle sur le niveau d'accès, puisque les cheminements ne sont pas toujours directs étant donné la présence d'obstacles. Dans le cas où ceux-ci sont dus aux

bâtiments, ce qui est généralement le cas en milieu urbain, la distance à vol d'oiseau diffère peu du parcours réel, la mesure est alors jugée acceptable. En revanche, des obstacles, tels que des cours d'eau, constituent des biais importants d'autant plus dans des zones éloignées des ponts. Ce cas se présente à Saint-Jean vu qu'il est bordé au sud par un fleuve, le Rhône. Le niveau de proximité le long de la rive doit être par conséquent considéré avec prudence. Ce biais doit être pris en compte pour des indicateurs évaluant la proximité de services se trouvant au-delà des limites du quartier.

Le niveau de proximité d'un ensemble de points (adresses d'origine) vers un ensemble de destinations, tel que des services (figure 6.4), peut être évalué en considérant des fonctions floues de proximité [Joerin et al., 2001b]. Le niveau de proximité d'une destination, qui se situe dans un intervalle de 0 à 1 est défini par une fonction floue (μ_j) de la distance (d_j) bornée par deux seuils : le seuil S_1 en dessous duquel une destination est considérée comme proche (niveau = 1) et le seuil S_2 au-delà duquel une destination est considérée comme éloignée (niveau = 0) (figure 6.4). Le niveau de proximité global du lieu d'origine est calculé par une somme pondérée des niveaux de proximité des destinations, en prenant en compte leur importance relative, appelée opportunité (k_j):

$$P_{O_i} = \sum_j \mu_j k_j \quad (\text{équ. 6.1})$$

Le niveau de proximité au point d'origine est interprété comme le nombre moyen de services (si tous les $k_j = 1$), ou la quantité moyenne d'une caractéristique d'un service (si $k_j \neq 1$) à proximité d'une adresse dans un intervalle de seuils donné.

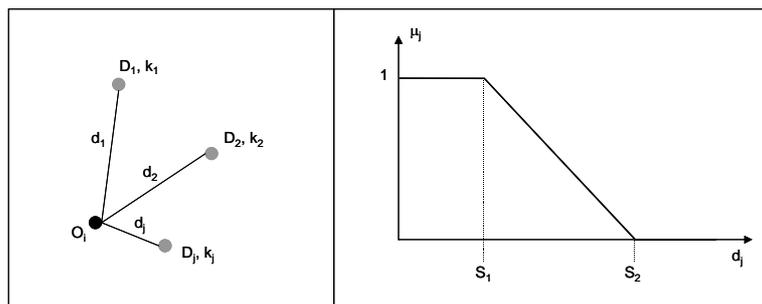


Figure 6.4 : Fonction floue de la proximité, tiré de Joerin et al [2005]

A titre d'exemple, l'indicateur *Niveau de desserte en transport public* (figure 6.5) est mesuré par la proximité aux arrêts de bus avec, comme niveau d'opportunité (k_j), le nombre de lignes de bus et leur fréquence de passage. Les indicateurs utilisant ce type de méthode sont représentés en effectuant une interpolation⁵ des valeurs de proximité aux adresses, ce qui permet de présenter l'information de façon continue.

⁵ Cette interpolation, à vocation purement graphique n'a pas fait l'objet d'une analyse rigoureuse. La fonction 'Grid' offerte par le logiciel Mapinfo (version 6.5) a été utilisée.

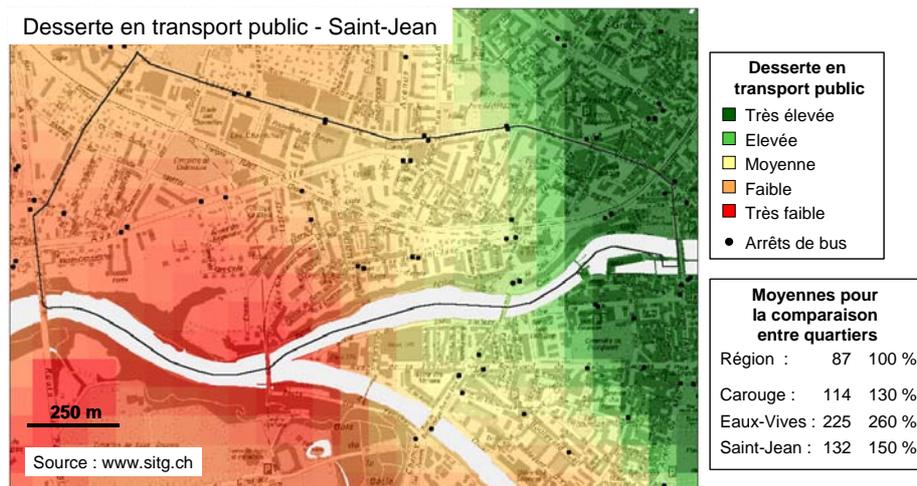


Figure 6.5: Niveau de desserte en transport public, tiré de Joerin et al [2005]

Agrégation d'indicateurs par analyse multicritère : exemple de l'Attractivité piétonne de l'espace public

L'indicateur *Attractivité piétonne de l'espace public* est une composante d'un vecteur d'indicateurs représentant l'enjeu *Améliorer l'attractivité en déplacement piéton-cycliste*. La signification de cet indicateur renvoie à plusieurs aspects représentés par des sous-indicateurs: *Proportion de surface de trottoir*, *Charge de trafic*, *Densité d'éclairage public*, *Densité de bancs publics*, et *Attractivité des rues* liée à la présence de vitrines de commerces. Chacun de ces sous-indicateurs est ramené sur une même unité spatiale de référence, à savoir le tronçon de chaussée public sur lequel les cheminements piétonniers ont lieu.

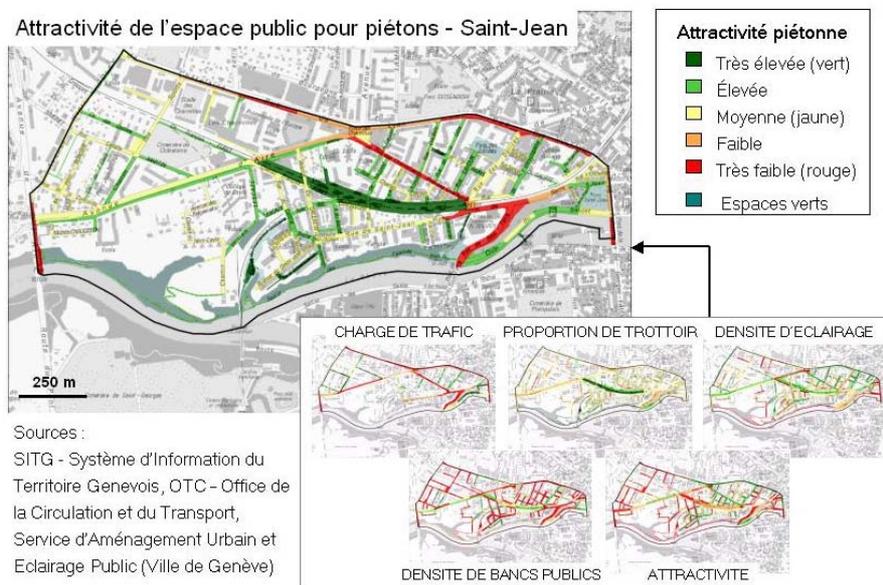


Figure 6.6 : Attractivité de l'espace public pour piétons, tiré de Joerin et al [2005]

Les sous-indicateurs sont agrégés en utilisant la méthode multicritère d'agrégation partielle Electre TRI [Roy, 1985]⁶. Le résultat produit est une classification ordinale des tronçons, ce qui est plus significatif qu'une valeur numérique de synthèse difficile à interpréter.

6.2 Application d'un cadre d'organisation systémique des indicateurs

L'utilisation des indicateurs dans le diagnostic de Saint-Jean s'est limitée à l'observation et à la comparaison, pour donner une vision globale du quartier par rapport aux enjeux. Elle ne s'est toutefois pas reposée au préalable sur une compréhension de la complexité urbaine. En effet, lors de cette phase expérimentale, les indicateurs ont été présentés selon une organisation structurée en thèmes et enjeux sans exprimer leurs interrelations causales. Cette forme de structuration ne permet pas de préciser sur quels phénomènes il faudrait agir pour améliorer la qualité du cadre de vie à Saint-Jean.

Par conséquent, un système d'indicateurs interdépendants est plus représentatif de la réalité complexe. Il importe de représenter des relations entre indicateurs pour favoriser une meilleure compréhension et représentation du système urbain, de ses tendances contradictoires et de son évolution potentielle. Par exemple, la diminution du niveau de bruit routier implique d'agir sur d'autres facteurs tels que le trafic, les aménagements routier (revêtement des routes, parois anti-bruit) ou les aménagements à domicile (double vitrage). Autre exemple, les petits commerces souffrent d'une certaine concurrence avec les supermarchés situés en périphérie des centres urbains. Une manière de rendre plus attractifs les commerces serait de rendre attractif leur accès, en aménageant des zones piétonnes et des pistes cyclables. Les activités d'achat seraient alors associées à un certain niveau d'agrément de déplacement, et se distinguent du caractère fonctionnel des supermarchés. L'exemple sur le bruit est simple et rationnellement admis par tout le monde, car il traduit des phénomènes causaux immédiats et directs (cf. niveaux d'incertitude, ch. 4.3.2). Tandis que le deuxième exemple pose un certain nombre d'hypothèses sur le comportement des consommateurs, et traduit par conséquent un point de vue du modélisateur, ce qui rappelle l'idée de non neutralité du modèle exposée au chapitre précédent.

Ainsi, l'organisation des indicateurs dans un système présente une double utilité. Elle reflète plus fidèlement le fonctionnement du système urbain. Dans le cadre de la présente démarche qui réunit plusieurs acteurs, elle apporte un éclairage supplémentaire sur les points de vue défendus par les acteurs, en les associant à l'organisation du système, par rapport au simple fait de recueillir des préoccupations indépendantes et ponctuelles. En élargissant ainsi le débat à des perceptions plus complexes de la réalité, ouvertes non seulement sur les composantes mais aussi les relations causales, l'espace de discussion est lui-même élargi.

6.2.1 Objectif de l'étude et choix des acteurs

L'objectif de cette étude qui intervient dans le prolongement du diagnostic de quartier, est de tester la faisabilité d'une première démarche méthodologique. Celle-ci consiste à organiser les indicateurs présentés ci-dessus dans un modèle systémique. Plus précisément, il s'agit d'aider les participants à la démarche à identifier des relations de causalité entre les indicateurs et à modéliser de cette façon leur représentation du système urbain.

⁶ Les différents paramètres retenus pour l'agrégation peuvent être trouvés dans Joerin et al. [2005].

La démarche est structurée en deux étapes. La première est consacrée à l'élaboration de modèles systémiques individuels à travers des entretiens structurés (6.2.2) La deuxième fait ressortir, par une analyse de synthèse, les éléments communs et divergents des modèles (6.2.4).

Six personnes ayant été impliquées dans le processus de diagnostic ont été interrogées et invitées à exprimer leur perception de la dynamique du quartier en élaborant un modèle systémique des indicateurs. La démarche a tout d'abord été testée auprès de trois chercheurs universitaires du projet Citycoop, pour l'appliquer ensuite à trois habitants du quartier de Saint-Jean, membres du groupe diagnostic. Le nombre de personnes interrogées est suffisant au stade d'une recherche empirique d'émergence. Le but n'est en effet pas d'obtenir une représentativité statistique des différentes perceptions.

6.2.2 Démarche d'entretien : construction des modèles systémiques individuels

Les indicateurs sont présentés aux acteurs selon la classification présentée dans la partie contextuelle du chapitre : thèmes, indicateurs agrégés, indicateurs de base. Si ce n'est que certains indicateurs, comme la *Mixité sociale*, les *Parkings sauvages*, le *Tapage nocturne* et la *Largeur de route* ont été rajoutés, car ils sont représentatifs des enjeux exprimés lors du diagnostic et contribuent à améliorer la compréhension du système (figure 6.7).

La démarche d'entretien, entre la personne d'étude et chacun des six acteurs, est structurée selon les étapes suivantes :

- Choix d'une *tendance souhaitée* de l'indicateur en lien avec les enjeux établis lors du diagnostic, c'est-à-dire si l'indicateur doit être minimisé, maximisé, stabilisé ou la personne n'a pas d'avis sur la tendance. Cela rejoint l'une de propriétés de l'indicateur vue au chapitre 3.2.2.
- Identification des *relations* perçues par la personne entre des paires d'indicateurs.
- Définition d'une *direction* de la relation (sens de la flèche), la relation entre deux indicateurs pouvant être linéaire ou circulaire (rétroaction).
- Définition de la *nature* de la relation : concordante, discordante. La relation est définie concordante lorsque l'augmentation de la quantité ou qualité d'un indicateur conduit à l'augmentation d'un autre indicateur (fonction monotone croissante), discordante lorsque l'augmentation d'un indicateur conduit à la diminution d'un autre indicateur (fonction monotone décroissante).
- *Crédibilité* de la relation : forte (F) si la personne exprime la relation avec conviction, faible (f) si la personne semble hésiter, mais désire quand même exprimer cette relation.
- Possibilité d'ajouter un *nouvel indicateur* à l'ensemble qui aiderait à mieux mettre en évidence certaines dynamiques du système.
- *Validation* des modèles proposés précédemment par les autres personnes. Concrètement, cette démarche consiste à valider ou invalider chacune des relations d'un modèle précédent. Elle permet ainsi à la personne interrogée de se situer par rapport à l'avis exprimé par d'autres personnes.

Le temps d'entretien n'était pas limité et durait généralement de une à deux heures. Les relations ont été dessinées par les acteurs sur papier. Cette forme a l'avantage d'impliquer

directement les acteurs dans la conception du modèle et de favoriser l'expression spontanée d'opinions, sans une distance due à un quelconque support technique.

6.2.3 Analyse systémique des modèles individuels

L'objectif de ce paragraphe est d'analyser les représentations systémiques des acteurs, afin de mettre en évidence leur compréhension de la complexité urbaine. Il serait sans doute inutile et fastidieux d'analyser en détail chacun des six modèles. C'est pourquoi, nous avons sélectionné plusieurs relations exprimées individuellement par différentes personnes pour illustrer cette compréhension. Ces relations sont superposées sur la figure suivante (les numéros des relations sont reportés dans le texte) :

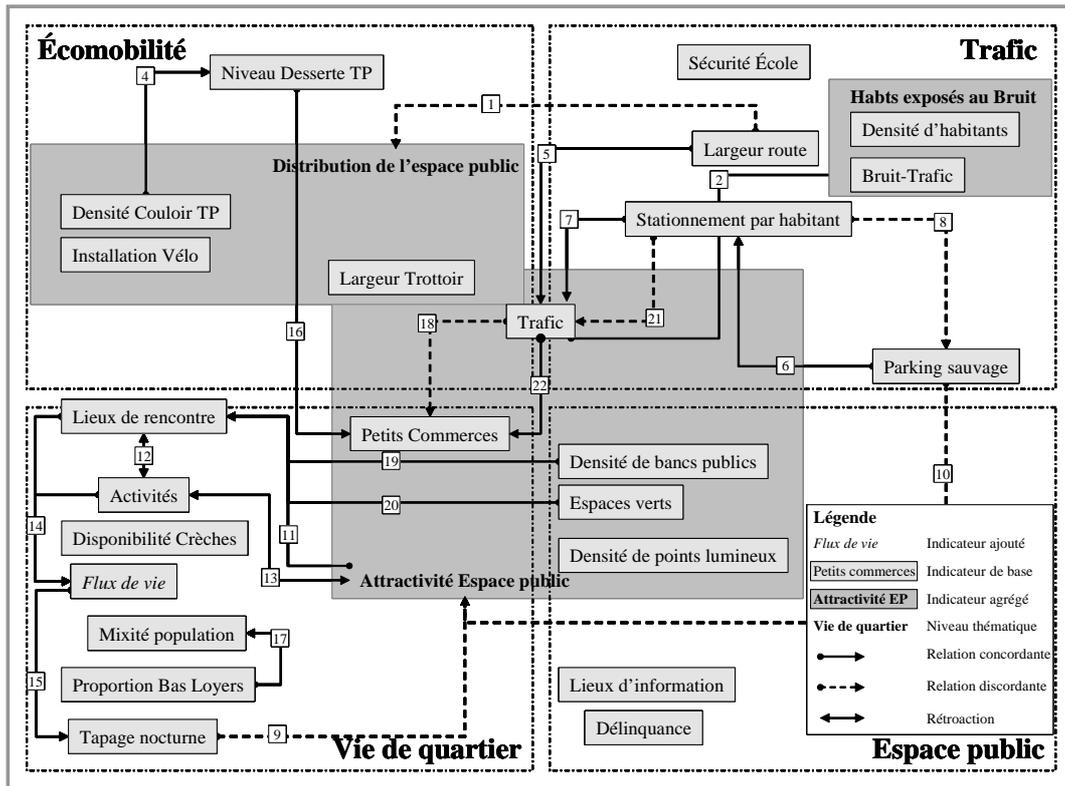


Figure 6.7 : Superposition de quelques relations exprimées individuellement

Relations entre indicateurs de base et indicateurs agrégés

Comme on le voit sur la figure 6.7, les relations identifiées par les membres du Groupe diagnostic ne se situent pas seulement entre les indicateurs d'un même niveau d'agrégation, mais également entre les indicateurs agrégés et les indicateurs de base, par exemple entre *Largeur de route* et *Distribution de l'espace public*¹. Cela a deux significations possibles. (i) Pour l'acteur, cette relation implique que la *Largeur de route* est également reliée à chacune des composantes (*Densité de couloir TP*, *Installation pour vélos*, *Largeur de trottoir*). Il serait redondant dans ce cas de représenter à la fois les relations avec les composantes et celle avec l'indicateur agrégé. (ii) L'acteur perçoit une relation avec l'indicateur agrégé, mais ne peut affirmer l'existence d'une telle relation avec chacune des composantes. Dans ce cas, l'indicateur agrégé est perçu comme un tout indécomposable, ou une boîte noire.

Relations stratégiques par rapport aux relations de fonctionnement

A plusieurs reprises, les acteurs ont exprimé des relations dans le sens d'une intervention souhaitée sur le système urbain, par exemple la relation *Desserte en transport public* → *Densité de couloirs TP*. Cette relation ne signifie non pas que si la desserte augmente, la densité de couloir va augmenter, mais qu'il faut augmenter la densité pour améliorer la desserte ; et donc si la densité augmente, il en va de même pour la desserte. Cela exprime donc indirectement une perception du fonctionnement du système, qu'il s'agit de rendre explicite. Nous étions d'ailleurs confrontés au même type de problème lors de la collecte des préoccupations. Beaucoup d'habitants les exprimaient directement en terme d'action, *ce qu'il faudrait faire*, au lieu de *ce qui pose problème*. Or dans une phase d'intelligence, il importe de d'abord formuler un problème avant d'envisager des solutions possibles. Par conséquent, afin d'élaborer des modèles systémiques cohérents en terme de représentation du fonctionnement urbain, nous avons transformé les discours stratégiques des acteurs de la façon suivante :

Desserte TP → *Densité couloirs TP* (stratégie) => *Densité couloirs TP* → *Desserte TP* (fonctionnement)

En outre, dans une phase aval du processus décision, une manière de tenir compte des attentes des habitants, sera d'intégrer de telles relations stratégiques dans le choix que formulera le décideur politique.

Les relations expriment des comportements

Le fonctionnement du système n'est pas uniquement causé par des lois et contraintes naturelles ou déterministes, comme par exemple l'augmentation du trafic de transit dans un quartier qui génère automatiquement plus de bruit. Mais le système s'auto-organise en fonction des finalités des acteurs, qui sont inclus dans le système. Ces finalités déterminent les comportements des acteurs.

Les **comportements** doivent être mis en relation avec les choix que font les individus, avec les réactions d'encouragement ou de découragement face à une situation donnée. Leurs effets peuvent être aussi bien mesurés directement au niveau des phénomènes (indicateur de taux d'utilisation des transports publics) ou à travers des relations. Par exemple, un bon niveau de desserte en transport public peut encourager les personnes à moins utiliser leur automobile. Un tel comportement n'est pas automatique mais résulte d'un choix qui peut être plus ou moins contraint ou encouragé à travers des interventions. Un autre exemple plus détaillé, proposé par un membre du groupe diagnostic, illustre bien les différents comportements possibles dans un contexte plus général : "diminution des places de parkings (*Stationnement par habitant*) - comportement (en l'occurrence: la voiture est de moins en moins adaptée à de courts trajets urbains) - diminution de la fréquence d'utilisation de la voiture (*Charge de trafic*⁷) - augmentation de la mobilité douce, etc. Mais aussi: "diminution des places de parking - comportement (autre version: la Ville est mal gérée par des « anti-bagnoles », il faut montrer notre opposition) - augmentation du *Parking sauvage*⁸ - diminution de l'*Attractivité piétonne de l'espace public*¹⁰ - conflits entre automobilistes et non-automobilistes - diminution du lien social (*Proximité aux lieux de rencontre*¹¹) - etc. Ce genre de contradiction est souvent tacite dans l'esprit des gens. L'intérêt de la démarche d'organisation systémique est justement de pouvoir l'exprimer et de mettre à plat les conflits potentiels dans un débat.

Ces différents types d'interaction se distinguent aussi par l'échelle de temps. La plupart des relations dites automatiques sont souvent instantanées, tandis que les relations liées à des comportements prennent généralement plus de temps et sont soumis à certaines conditions de nature probabiliste.

Rétroactions

Plusieurs mécanismes rétroactifs généralement positifs ont été proposés :

- *Proximité aux activités* ↔ *Proximité aux lieux de rencontre*¹² : les activités constituent des lieux de rencontres et ces dernières favorisent l'implantation de nouvelles activités.
- *Proximité aux activités* ↔ *Attractivité piétonne de l'espace public*¹³ : la présence d'activités rend plus attractifs les espaces publics, ce qui favorise l'implantation de nouvelles activités.

Un autre mécanisme intéressant met en évidence qu'une cause jugée positive peut avoir des répercussions négatives et se retourner contre la cause première. Ainsi, selon un acteur, une meilleure *Attractivité piétonne de l'espace publique* génère plus d'activités¹³ et de rencontres¹¹ qui, à leur tour, améliorent la vie de quartier et créent donc un certain lien social (*Flux de vie*¹⁴, indicateur proposé par l'habitant). Le revers de la médaille est que ce flux de vie va générer plus de *Tapage nocturne*¹⁵ (par exemple à proximité des bars), ce qui va détériorer en définitive, selon lui, l'attractivité de l'espace public⁹.

Contradictions

Les modèles peuvent faire apparaître certaines aspirations contradictoires entre des tendances désirées et le fonctionnement perçu du système. Par exemple, un acteur souhaite simultanément maximiser le *Stationnement par habitant* et minimiser la *Charge de trafic*⁷. Mais en même temps, la relation qu'il identifie entre ces deux indicateurs, signifie qu'une augmentation de la disponibilité de parking encourage les gens à davantage utiliser leur véhicule.

6.2.4 Représentation collective : éléments convergents et divergents

Afin de mettre en œuvre les forces d'intégration dans l'optique d'une représentation collective du territoire, il convient de souligner les éléments convergents (communs) et divergents des différentes représentations individuelles.

Le rapprochement pourrait être réalisé en permettant aux participants d'échanger sur leur représentation individuelle, selon l'approche délibérative. Cependant, nous proposons de fournir une aide au processus en utilisant quelques outils simples d'analyse, qui consistent à intégrer les modèles individuels au sein de deux modèles faisant ressortir les positions communes et divergentes. Il s'agit d'une première étape en vue d'une délibération ultérieure entre les participants.

Modèle de convergences

La superposition de toutes les relations exprimées est très difficile de lecture et d'interprétation comme on le constate à l'Annexe II. Il paraît alors nécessaire d'effectuer une synthèse de ces représentations en mettant en évidence les convergences de point de vue sur les relations exprimées par les différentes personnes (figure 6.8).

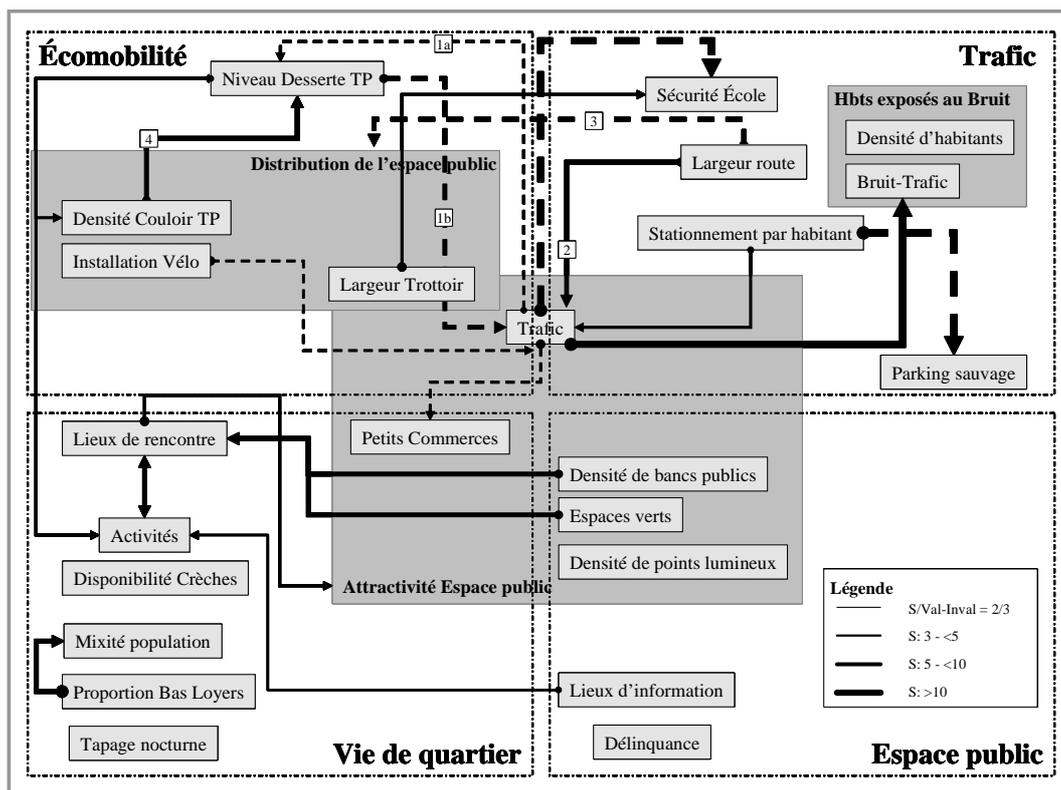


Figure 6.8 : Modèle de convergences

Le modèle de convergences est obtenu en se basant sur un indice d'occurrence O de chaque relation qui est égal à la somme pondérée ΣP (nombre d'occurrence de la relation, chaque relation étant multiplié par 1 si la crédibilité est faible, 2 si elle forte). Un seuil de coupe doit être défini de façon à obtenir un modèle qui soit à la fois suffisamment représentatif de la richesse des modèles exprimés et sans être trop chargé pour l'interprétation visuelle. Or un seuil de coupe défini par $\Sigma P = 2$ produit un modèle encore trop chargé en nombre de relations, et un seuil de coupe égal à 3 réduit considérablement la complexité du modèle. Dans cet exemple, ce seuil devrait se situer dans un intervalle entre 2 et 3, ce qui n'est pas possible puisque la somme pondérée est un nombre entier.

Afin d'affiner la définition du seuil, nous nous référons aux validations et invalidations des relations, exprimées par les acteurs, sur les modèles construits antérieurement par d'autres. Par conséquent, pour garantir un niveau de synthèse équilibré de la représentation, le seuil repose non seulement sur la somme pondérée des relations, mais il tient également compte du bilan du nombre de validations et d'invalidations de la façon suivante :

$$O = \Sigma P = 2 \text{ et } \Sigma \text{Val} - \Sigma \text{Inval} = 3^7$$

En résumé, seules les relations ayant une somme pondérée supérieure à 2, fortement validées et peu contestées lors des validations, ont été retenues dans l'optique d'une représentation convergente. Autrement dit, ce seuil permet de retenir, dans le modèle de convergence, les relations significatives pour l'ensemble du groupe.

En outre, les validations et invalidations doivent être prises en compte avec prudence, car elles constituent des informations incomplètes. En effet, le modèle proposé par une personne

⁷ On peut considérer qu'une validation/invalidation a un poids (crédibilité) unitaire sur la relation. En effet, une relation non identifiée par une personne mais seulement validée après coup par elle, ne semble pas constituer une évidence pour cette personne.

n'a pas pu être validé par celles ayant été interrogées antérieurement. Une validation de l'ensemble des modèles devrait être effectuée dans la perspective d'une deuxième rencontre.

Dans le modèle de convergences résultant, l'importance des relations conservées est mise en évidence par l'épaisseur de trait en fonction uniquement de la valeur de la somme pondérée (O).

Modèle de divergences

Les relations divergentes sont celles qui ont été de façon significative contestées ou invalidées par les acteurs

Une relation est contestée si, pour une relation, la somme des invalidations est plus grande que la somme des validations, soit : $\Sigma Val - \Sigma Inval \leq 0$.

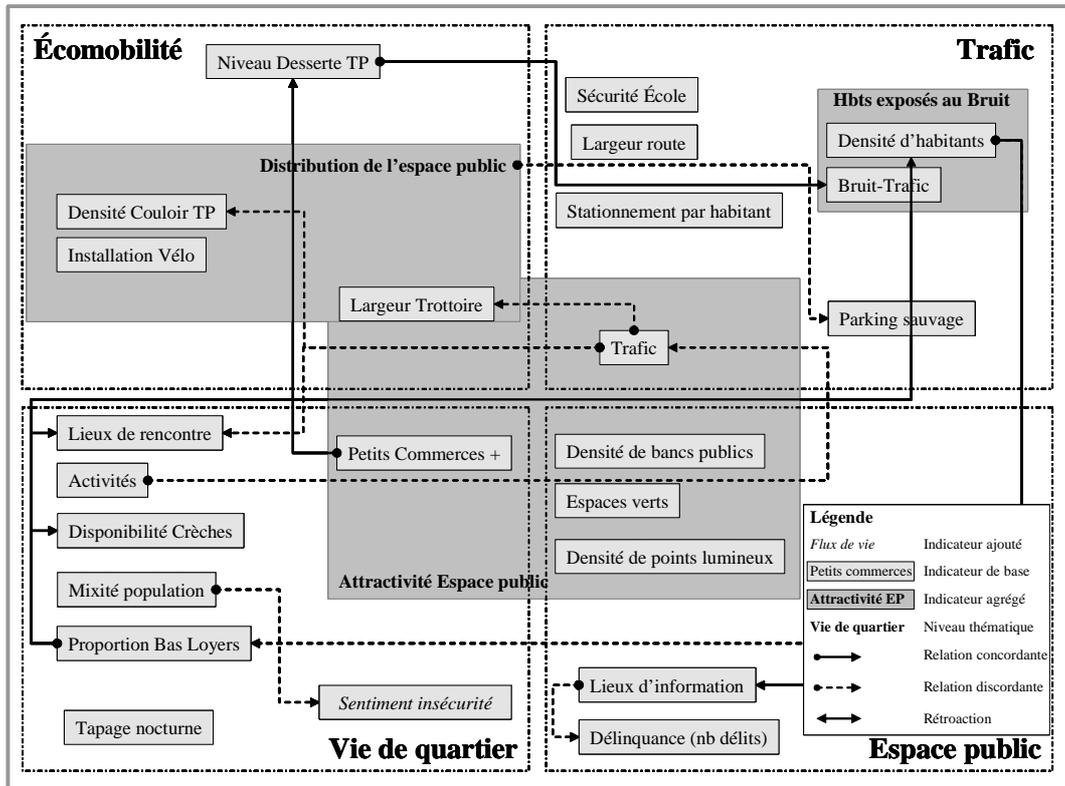


Figure 6.9 : Modèle de divergence

Analyse globale de la représentation collective

Éléments convergents

Globalement, le modèle de convergence (figure 6.8), en l'interprétant qualitativement et visuellement, confirme en partie les enjeux prioritaires formulés lors du diagnostic, en particulier concernant le trafic, la vie sociale, le parking et les transports publics. On observe en effet deux pôles thématiques opposés liés au trafic et à la vie de quartier. Au vu du nombre important de relations générées, l'indicateur *Charge de trafic* paraît constituer de façon significative un levier stratégique sur lequel des actions pourraient être entreprises pour améliorer la qualité de vie dans le quartier. En interprétant le modèle global, il semblerait que les personnes interrogées souhaitent diminuer la *Charge de trafic* puisqu'elles considèrent qu'il est source de nuisances (insécurité, bruit, parkings sauvages), et qu'il constitue un obstacle aux modes de transport écomobiles. D'un autre côté, elles désirent voir augmenter

l'Attractivité piétonne de l'espace public en améliorant les conditions du transport écomobile, rendant l'espace public plus attractif et contribuant indirectement à améliorer la vie social du quartier (lieux de rencontre privilégiés).

La finalité de la *qualité de vie* apparaît plus clairement à la lecture du modèle, alors qu'elle était encore implicite au début du processus. Cette finalité traduit dynamiquement l'intention de davantage développer des liaisons sociales en rendant plus attractif l'espace public, ce qui implique de favoriser l'écomobilité et de réduire l'impact des automobiles. De plus, elle exprime une convergence de points de vue sur le plan idéologique : écomobilité et vie sociale actives dans le quartier.

Par ailleurs, le modèle global fait émerger une relation **rétroactive** *Charge de trafic* <-> *Desserte en transport public*¹ (numérotation figure 6.8) intéressante à analyser. Cette relation peut être représentée ainsi directement. Mais elle fait en réalité intervenir d'autres relations : une augmentation du nombre de véhicules nécessite plus d'espace disponible (*Largeur de la route*²) au détriment de la *Densité de couloir TP* (à travers sa relation avec la *Distribution de l'espace public*³), ce qui se traduira par une moins bonne *Desserte en transport public*⁴ (à travers *Densité de couloir TP*). Soit dit en passant, ceci peut avoir des conséquences sur la vie de quartier en rendant moins accessibles les lieux de rencontre et les activités. Ces mécanismes perçus par les acteurs mettent en évidence les méfaits indirects du trafic. La diminution du niveau de desserte aura pour conséquence d'encourager les gens à utiliser davantage leur véhicule ou à en acheter (*Charge de trafic*¹). Au delà d'un point critique, une telle rétroaction **positive** peut s'inverser et devenir **négative** ou régulante. En effet, en étendant l'analyse à la dimension spatiale, l'augmentation de l'utilisation des véhicules individuels conduit à la formation d'embouteillages. En conséquence, les autorités peuvent décider d'améliorer la desserte en transport public en construisant de nouveaux couloirs et en encourageant les gens à moins utiliser leur véhicule. Il est intéressant de constater que la mise en rapport des modèles individuels fait apparaître ce mécanisme complexe, qu'aucun acteur n'a exprimé en tant que tel.

Eléments divergents

Globalement, les divergences sur les relations sont peu nombreuses, ce qui traduit une certaine homogénéité de point de vue dans le groupe.

Il convient de distinguer essentiellement deux raisons à la contestation des relations :

- **Incompréhension** : lors de la validation, les acteurs ne comprenaient pas (en se référant à leur discours accompagnant la démarche) la signification de certaines relations exprimées par d'autres ; par exemple, pourquoi une augmentation de la *Densité d'habitants* fait-elle augmenter aussi les *Lieux d'informations*, ou bien si ce dernier augmente, pourquoi la *Délinquance* diminue-t-elle ? La résolution de ce type de conflit passe donc par une clarification du message.
- Un désaccord d'ordre **politique** se manifeste sur d'autres relations. Par exemple, tous les acteurs ne semblent pas partager le point de vue qu'une augmentation de la *Mixité sociale* augmente le *Sentiment d'insécurité chez les habitants*.

D'autres contradictions et divergences apparaissent sur la direction des relations. C'est le cas en particulier pour deux relations où, pour une même cause, deux effets opposés sont perçus. Premièrement, la relation entre *Charge de trafic* et *Stationnement par habitant* : la relation est tantôt perçue concordante⁷ (figure 6.7), plus de places de parking disponibles génère un « appel d'air » et donc plus de trafic ; tantôt discordante²¹, moins de place disponible fait tourner les véhicules dans le quartier à la recherche d'une place. Le désaccord concerne en fait deux phénomènes différents.

Deuxièmement, la relation entre *Charge de trafic* et *Proximité aux petits commerces*: la plupart des acteurs interrogés estiment qu'une diminution de la charge de trafic favorise l'attractivité des petits commerces¹⁸ (discordant) plus facilement accessibles par des moyens de transport écomobile, tandis qu'une personne estime au contraire qu'une diminution du trafic peut porter atteinte aux chiffres d'affaire des commerces (concordant). Dans ce cas, il y a désaccord sur un même phénomène.

6.2.5 Limites de la modélisation structurelle

La démarche de modélisation systémique structurelle, développée dans cette première approche méthodologique, présente plusieurs limites significatives, en particulier concernant trois aspects.

Multiplicité des causes

Le formalisme causal utilisé pour la représentation conceptuelle ne spécifie pas la nature des relations, à savoir si elles agissent en disjonction, conjonction ou interaction (chapitre 3.2). La nature *disjonctive* (cause suffisante mais non nécessaire) semblait être celle exprimée le plus spontanément par les acteurs, car ils formulaient généralement les relations indépendamment des unes des autres. Certaines exceptions sont à relever. Un acteur faisait remarquer que certaines relations ne se produisent pas nécessairement, car un certain nombre de conditions est nécessaire. Par exemple, pour qu'un banc public constitue un lieu de rencontre il faut du temps et de la régularité. Ainsi, dans certains cas, le discours des acteurs complète la démarche et enrichit le modèle par l'expression de conditions liées aux causalités *conjonctives* (nécessaires mais non suffisantes). On suppose par ailleurs, que beaucoup de relations agissent en *interaction*, c'est-à-dire qu'un effet sera amplifié s'il est produit par plusieurs causes en même temps. Par exemple, la mixité de la population dans le quartier est d'autant plus accentuée que les bas loyers et la population étrangère augmentent jusqu'à un certain seuil donné (cf. Linéarité).

Limites spatiales du système et échelle

Les relations exprimées entre les indicateurs devraient dépendre des limites du système prédéfini, en l'occurrence l'échelle spatiale qui, dans notre cas, se limite au quartier de Saint-Jean. De ce point de vue, la relation *Desserte en transport public* → *Proximité aux petits commerces*¹⁶ est peu pertinente, car il est peu probable que des individus aillent faire les courses en bus dans un quartier relativement restreint. En revanche, cette relation a plus de sens, s'il s'agit d'aller au centre ville, ce qui implique un changement d'échelle. Par ailleurs, les tendances peuvent s'inverser en passant d'une échelle à une autre. Une personne a exprimé que si les activités et la disponibilité en places de crèche augmentent dans le quartier, cela a pour conséquence de diminuer le trafic. Cela est sans doute vrai si l'on considère les habitants du quartier. Cependant, le quartier rendu plus attractif pourrait voir augmenter le trafic provenant d'autres quartiers et l'effet voulu serait alors inversé.

Globalement ces problèmes de limite reviennent à distinguer trois échelles interdépendantes : l'individu, le voisinage ou le quartier et ce qui est extérieur au voisinage (la ville, les autres quartiers). Les contradictions mentionnées à la section 6.2.3 désignent des conflits entre des désirs individuels et leurs conséquences sur le quartier. Tandis que l'exemple de la crèche donné ici, renvoie à des conflits du type NIMBY, entre les aspirations du quartier et celles de la ville. Les habitants souhaitent rendre le quartier attractif pour eux-mêmes, tout en voulant préserver une certaine tranquillité (en l'occurrence ne pas attirer du trafic venant de

l'extérieur). On retrouve également ce problème dans le cadre du logement, où les habitants d'une commune s'opposent au projet de l'Etat de construire des logements sociaux dans la commune.

Linéarité

Certaines relations ne sont pas toujours linéaires croissantes, telle que la relation *Proportion de bas loyer* → *Mixité sociale*¹⁷ : dans un quartier assez aisé, la construction de nouveaux logements subventionnés attire des populations ayant un revenu faible et contribue à augmenter la mixité sociale. Cependant, cette tendance n'est pas illimitée. La mixité sociale peut décroître et le processus s'inverser (la relation concordante devient discordante), si le nombre de logements subventionnés dépasse un seuil donné, ce qui se traduit par un revenu moyen faible de la population. Ce type de relation, à défaut d'être indéfiniment croissant, correspond à une fonction de type non linéaire ou polynomial. En modélisation qualitative (cf. ch. 4.3.3), un tel processus se traduit généralement par l'introduction de plusieurs seuils ordinaux qui enrichissent l'analyse, strictement binaire, considérée dans cette application.

6.3 Enseignements méthodologiques

Cette section fait tout d'abord la synthèse des apports de la démarche. Elle identifie ensuite un certain nombre d'éléments à améliorer et consolider pour la suite de la recherche.

6.3.1 Apports de la démarche

Le développement d'un système d'indicateurs présentés dans ce chapitre a permis d'accréditer plusieurs concepts méthodologiques.

Tout d'abord, le processus de diagnostic réalisé préalablement avait déjà permis de tester l'intérêt des **opérateurs d'analyse spatio-thématique** des SIG pour élaborer et agréger les indicateurs. Ces indicateurs ont reçu globalement un accueil favorable de la part des personnes qui les ont consultés [cf. Joerin et al., 2005].

La démarche de diagnostic relève typiquement d'une approche procédurale (cf. chapitre 5.3), car la définition des indicateurs est basée sur les préoccupations d'acteurs. Il manque cependant une structuration forte de l'ensemble d'indicateurs. En effet, les indicateurs ont été présentés de façon juxtaposée indépendamment des uns des autres, ce qui limite le diagnostic à une analyse de la qualité du cadre de vie. Dans la deuxième partie du chapitre, la richesse des relations causales (multiples, indirectes et circulaires) et la facilité avec laquelle les acteurs les ont exprimées, a montré que la méthodologie d'organisation systémique des indicateurs aide les acteurs à formaliser leur **compréhension de la complexité** urbaine ; cela permet d'enrichir *a posteriori* le diagnostic initial de situation en l'ouvrant sur le fonctionnement potentiel du système.

L'élaboration du modèle de relations convergentes, met en évidence des **indicateurs stratégiques** (indicateurs générant plusieurs relations, tels que la *Charge de trafic*). En effet, le **nombre de relations** associé à un indicateur souligne son importance en tant que 'nœud' du système, et celle de l'enjeu correspondant. Il apporte des éléments de réponse à la question : quelles sont les facteurs qui déterminent la qualité du cadre de vie et quels sont les effets [Van Kamp et al., 2003] ?

On peut alors supposer qu'aux indicateurs stratégiques se rattachent les **raisons** explicatives des acteurs (cf. ch. 5.1)⁸. Cette hypothèse est en partie validée par le fait que les indicateurs stratégiques confirment en grande partie les enjeux prioritaires et importants définis lors du diagnostic⁹. Les raisons donnent une idée plus précise de la finalité du système Saint-Jean, exprimée par les participants à la démarche, qui est globalement de promouvoir la qualité de vie. Cette finalité, qui préexiste chez chacun des acteurs, émerge plus clairement à travers l'organisation systémique de l'ensemble d'indicateurs.

En plus de faire ressortir les raisons, le système d'indicateurs permet, dans une perspective décisionnelle, de représenter les cheminements causaux préférentiels par rapport aux indicateurs stratégiques, sur lesquels il faudrait agir en priorité, selon les acteurs, pour atteindre la finalité.

Etant donné son potentiel, l'analyse du nombre de relations associées aux composantes du système sera centrale au prochain chapitre pour faire ressortir les enjeux importants défendus par les acteurs.

Enfin, la démarche a proposé une grille d'analyse permettant d'identifier trois éléments contradictoires ou divergents : sur le plan individuel, (i) contradiction entre la tendance souhaitée d'un indicateur et la direction de la relation, au niveau collectif, (ii) relations contestées ou invalidées, (iii) divergence sur la direction d'une même relation (concordante pour les uns, discordantes pour les autres). Comme on a pu le voir, ces contradictions renvoient aussi à des problèmes d'échelle spatiale.

6.3.2 Perspectives

Nous exposons dans cette section les directions à suivre dans les deux prochains chapitres pour consolider cette première démarche méthodologique.

Changement de paradigme

Le système relationnel d'indicateurs a été produit *a posteriori*, après que le processus participatif de diagnostic ait été réalisé et que les indicateurs aient été choisis et évalués. L'ensemble initial d'indicateurs n'a donc pas été défini selon une démarche d'organisation systémique telle que proposée dans ce travail de thèse. Il n'est pas certain que tous les indicateurs soient pertinents à prendre en considération. Par exemple, on se demande, si lorsque les acteurs perçoivent peu ou pas de relations sur un indicateur, celui-ci n'a pas une importance moindre pour les acteurs ; et rétroactivement, s'il était pertinent d'évaluer cet indicateur.

Nous avons vu dans la partie théorique, qu'il convient de cibler les mesures, la collecte des données en fonction des finalités, des raisons des acteurs (cf. approche descendante ch. 2.1). De plus, le choix des indicateurs doit se baser sur un modèle conceptuel de la réalité (3.4), qui traduit justement les représentations du concepteur (5.1). Enfin, les indicateurs mesurent des attributs de phénomènes réels associés à des objets spatiaux (3.1), et leur mise en relation causale donne une représentation des flux de matière et d'énergie qui ont lieu dans la réalité entre les phénomènes (4.2.2).

⁸ Voir hypothèse n°1 (ch. 1) : « [L'exercice de modélisation] permet d'exprimer les éléments significatifs à considérer dans un diagnostic.

⁹ Cet élément de validation doit toutefois être considéré avec prudence, car les acteurs ayant participé aux deux démarches (diagnostic et organisation systémique) ont pu être influencés par les résultats du diagnostic (enjeux prioritaires et importants).

Ces notions théoriques soulignent l'intérêt d'aborder, dans un premier temps, le système urbain de façon plus générale à travers un **modèle conceptuel de phénomènes**, ceci afin de guider la sélection et l'agrégation des données et indicateurs et, en définitive, d'élaborer un système d'indicateurs pertinents par rapport à des phénomènes mis en évidence dans le système.

On retrouve d'ailleurs ces différents niveaux d'abstraction en utilisant l'analogie des termes médicaux. Un système de phénomènes revient en quelque sorte à décrire un **syndrome** qui se situe à un niveau hiérarchique élevé. Les syndromes sont des macro-phénomènes, des groupes de problèmes complexes qui se produisent dans différents contextes [Repetti, 2004]. Ils nécessitent de développer une meilleure connaissance des mécanismes causaux en considérant un ensemble de *symptômes* interreliés, qui correspondent aux *phénomènes*. Aux symptômes, sont généralement associés des *indicateurs* qui donnent une « image clinique » de l'intensité des symptômes [Lüdeke et Petschel, 1997]. L'analogie du syndrome est d'ailleurs utilisée dans plusieurs domaines, notamment en gestion urbaine, telle que l'*étalement urbain* (urban sprawl) qui se définit comme la « *destruction du paysage par les infrastructures urbaines planifiées* » [Repetti, 2004, p.32]. Les équivalences entre les termes médicaux et les termes que nous employons illustrés par des exemples, sont résumées ci-dessous.

Concept/termes médicaux	Termes utilisés dans la thèse	Exemples du domaine urbain
Syndrome	Système de phénomènes, ou Macro-phénomène	Etalement urbain
Symptômes	Phénomènes	Déboisement
Image clinique d'un symptôme	Indicateurs	Nombre d'arbres arrachés/ha

Tableau 6.6 : Analogie médicale du syndrome

Dans l'optique d'une approche procédurale, qui est pertinente pour le diagnostic concerté, l'élaboration du modèle conceptuel de la réalité, à savoir un système de phénomènes, n'est pas seulement le fruit d'une expertise. Mais il s'agit d'associer l'ensemble des acteurs (dont font partie les experts) à cette élaboration ; ceci, afin de formaliser leur représentation de la réalité urbaine. Des outils seront proposés au chapitre suivant pour effectuer cette reconstitution.

L'interprétation des modèles de phénomènes facilite l'identification des significations, des raisons individuelles et collectives des acteurs (éléments communs et divergents) sur lesquelles sont choisis les indicateurs. Le système d'indicateurs obtenu est en accord avec la compréhension que se construisent les acteurs du fonctionnement urbain.

En définitive, ces propos introduisent, pour la suite, un **changement de paradigme** par rapport au présent chapitre : l'essentiel de la démarche ne porte pas sur les indicateurs en tant que tels, mais comment on y arrive et comment on les choisit en se fondant sur les représentations et les raisons des acteurs. Autrement dit, la modélisation systémique n'est pas abordée directement en termes de mesure, mais d'abord en terme de phénomènes significatifs à intégrer dans un système en vue d'une mesure.

Démarche et outils de modélisation

Dans la procédure d'organisation systémique des indicateurs, il est demandé aux acteurs de représenter leurs perceptions directement sous la forme de relations concordantes ou discordantes. Cette procédure pose deux types de problèmes :

- Sur un plan **cognitif**, les notions de concordance et discordance sont relativement peu intuitives. Il s'agirait de passer au préalable par l'intermédiaire d'un langage imagé, symbolique, plus proche des perceptions des acteurs.
- Sur un plan de **modélisation**, les fonctions de concordance et discordance, de type binaire (soit on augmente, soit on diminue), apportent peu de nuance à la représentation. De plus, elles ne permettent pas de prendre en compte des non linéarités telles que exposées ci-dessus. Pour cela, nous tirerons parti de la modélisation qualitative, introduite au chapitre 4.3, qui propose d'associer aux variables un ensemble de valeurs – seuils ordinales.

La structuration d'un ensemble d'indicateurs représentés sur deux niveaux d'agrégation est difficilement accessible. Une **agrégation a posteriori** sur la base des modèles exprimés par les acteurs serait plus adéquate.

La représentation uniquement sous la forme d'un graphe causal a donné lieu à une interprétation essentiellement qualitative des modèles. Ce mode exclusif de représentation est limité pour deux raisons et risque de l'être davantage avec l'augmentation du nombre d'acteurs. Premièrement, le nombre important de relations rend difficile leur arrangement visuel. Deuxièmement, elle ne permet pas d'effectuer des calculs analytiques systématiques. C'est pourquoi, il s'agira de **consolider les outils d'analyse** en recourant à la **matrice structurale** (cf. ch. 4.3.2). Celle-ci sera d'une grande utilité pour faciliter une analyse formelle des modèles.

Enfin, il sera opportun de **cadrer** davantage la démarche par rapport à la durée d'entretien (deux entretiens ont duré en particulier plus de deux heures) ; ceci, afin de se limiter à ce qui est le plus pertinent pour la personne interrogée et de ne pas viser une représentation exhaustive qui n'est pas nécessaire.

Nécessité d'un processus plus complet

Les personnes interrogées présentent une certaine **homogénéité d'intérêts**. Globalement, selon elles, la qualité de vie du quartier est essentiellement déterminée par l'amélioration des conditions de l'écomobilité et par une vie sociale dynamique ; cela avait déjà été relevé lors de la phase initiale du diagnostic et confirmé ensuite par notre analyse. De plus, peu de relations ont été beaucoup contestées. Cela s'explique par le fait que tous les acteurs ont été impliqués dans la même démarche, et leur position de même que leurs opinions ont pu évoluer au cours du processus. L'évolution des opinions vers des représentations communes, dans un processus délibératif, a été exposée au chapitre théorique précédent (5.2). Le modèle pourrait sans doute être enrichi en interrogeant des personnes ayant d'autres intérêts et idéologies, par exemple les « pro-automobiles ». Dans ce cas, plusieurs groupes de modèles devraient être considérés. Ainsi, dans la démarche présentée au chapitre 7, l'échantillon d'acteurs sera plus important et davantage diversifié.

Le modèle de convergence constitue une sorte de **supra-modèle** qui permet de faire émerger des phénomènes qui n'ont pas été exprimés formellement et individuellement. L'avantage de ce modèle est de représenter des mécanismes intéressants, telle que la rétroaction *Charge de trafic* ↔ *Desserte en transport public* analysée plus haut, qu'aucun individu n'a identifiés. Cependant, il faut s'assurer que les acteurs adhèrent à ce modèle.

Par conséquent, dans une démarche future, il serait nécessaire de réunir les acteurs, et les faire discuter autour de l'élaboration du modèle systémique, notamment sur les aspects suivants : validation des relations, clarification des relations qui suscitent un débat, interprétation du modèle collectif.

La démarche d'analyse ne vise pas à se substituer à la délibération, mais à l'accompagner en fournissant les **quelques points de départ**¹⁰ nécessaires à la construction concertée d'indicateurs et à la formulation d'un diagnostic. De ce point de vue, les éléments communs et divergents qui ressortent de l'analyse devraient aider les acteurs à discuter et à se positionner dans le débat. La méthode et les outils présentés au chapitre 7 se situent dans cette optique.

Synthèse du chapitre

Ce chapitre a présenté une démarche d'organisation systémique d'un ensemble d'indicateurs qui est issu d'un processus de diagnostic participatif réalisé dans un quartier à Genève. Ce processus a permis d'élaborer et de représenter spatialement des indicateurs structurés sur deux niveaux d'agrégation. La démarche d'organisation systémique d'indicateur a été réalisée rétrospectivement par quelques personnes ayant participé au diagnostic. Une analyse à la fois des modèles d'indicateurs individuels et de la représentation collective a été développée, afin de relever les éléments significatifs, convergents et divergents des représentations.

La méthodologie présentée dans les chapitres suivants sera consolidée en considérant les éléments suivants : (i) élaborer au préalable un cadre conceptuel de la réalité sous la forme d'un système de phénomènes interdépendant pour guider ensuite la sélection d'indicateurs pertinents, (ii), proposer une démarche de conception de ce système en utilisant un langage symbolique, (iii) faciliter l'analyse formelle des représentations à travers le calcul matriciel et, (iv) diversifier les profils d'acteur pour mettre en évidence les différents types de comportement et de représentation.

¹⁰ Ces points de départ sont nécessaires à une démarche constructiviste, si l'on se réfère à la définition donnée au chapitre 5.1 : « rien n'est donné au départ, sinon quelques points de départ sur lesquels s'appuie le reste ».

Processus de représentation du système urbain

Élaboration individuelle et collective
d'un modèle systémique de
phénomènes

7.1 Introduction

Acquis

A cours des précédents chapitres, nous avons souligné l'intérêt de prendre en considération les représentations que se construisent les acteurs du système urbain, afin de refléter plus fidèlement la réalité complexe et d'élargir le champ de discussion au sein d'un diagnostic participatif.

Au chapitre 6, nous avons proposé une démarche aidant les acteurs à formaliser une représentation du fonctionnement urbain, en termes de relations causales entre des indicateurs. Appliquée dans le cadre d'un processus de diagnostic de quartier, il a été possible d'obtenir des représentations riches et variées, faisant émerger les concepts communs et divergents. Le chapitre a conclu sur la nécessité d'élaborer au préalable un modèle conceptuel de la réalité, dans la forme d'un système de phénomènes interdépendants, sur la base duquel doit être ensuite proposé un système d'indicateurs pertinent pour acteurs.

Objectifs

Reprenant les objectifs posés au chapitre 1, l'objectif global du chapitre est de **proposer une démarche solide de modélisation conceptuelle de phénomènes** sur les plans individuel et collectif. Cela implique de mettre en œuvre les moyens suivants :

- Au niveau individuel, il s'agit de faciliter la *reconstitution* de la réalité urbaine (cf. ch. 5.1). Pour cela, une **procédure d'interrogation** et une **interface** de saisie des réponses sont testées auprès d'acteurs.
- Au niveau collectif, nous proposons des méthodes de **classification** statistique des modèles individuels et de **regroupement** dans le but d'accompagner un processus de *reconstruction* collective.
- Nous proposons une **grille d'analyse** des modèles individuels et de groupe, reposant sur le calcul matriciel, pour faire ressortir les phénomènes critiques (stratégiques ou sensibles). A ces derniers, nous rattachons les raisons des acteurs, pour lesquelles des indicateurs pertinents seront adoptés au chapitre 8.

Le présent chapitre 7 repose donc sur une théorisation mathématique et logique de la première démarche réalisée à Genève. Elle vise à proposer un cadre d'analyse plus systématique afin de renforcer son utilité à travers des applications à d'autres contextes.

Méthode

La démarche méthodologique présentée dans ce chapitre a été appliquée et consolidée à travers une expérience menée à Québec auprès d'une quinzaine d'acteurs, sur la problématique des banlieues. Cette application servira à illustrer au fur et à mesure les étapes et caractéristiques de la démarche proposée. Une synthèse méthodologique présentée au chapitre 9 permettra de resserrer le propos et de généraliser la méthodologie sous la forme d'un guide en vue d'une application dans des démarches participatives réelles.

Le chapitre commence par exposer la démarche méthodologique générale adoptée, sous la forme d'un méta-modèle. Il présente ensuite le contexte de Québec dans lequel a été développée et appliquée la méthodologie (7.3). Ensuite sont proposées les méthodes de conception individuelle d'un modèle de phénomènes (7.4), les méthodes de classification (7.5) et de regroupement (7.6) des modèles, permettant une représentation collective.

7.2 Démarche générale

La décision prise dans le cadre d'un projet territorial répond aux finalités et motivations formalisées lors du processus d'intelligence (chapitre 2.1). Les raisons, qui émergent d'un processus de reconstitution et reconstruction de la réalité perçue (chapitre 5.1), servent de base à une définition des finalités. L'approche constructiviste stipule que le processus de conception d'un modèle part des projets du modélisateur. [Le Moigne, 1990 p. 54]. Ainsi, les raisons individuelles sont les *points de départ* en vue de l'élaboration d'un système d'indicateur pertinent et utile au processus de décision. Or comme les raisons individuelles sont souvent peu formalisées et explicites, il convient de proposer des étapes préliminaires à la démarche pour permettre aux acteurs, dans un contexte participatif, de les exprimer. C'est l'un des objectifs du système de représentation des phénomènes complexes proposé dans ce chapitre. L'élaboration de systèmes d'indicateurs doit alors passer au préalable par une appréhension du système territoire dans toute sa complexité [De Sède et Moine, 2000 p. 345].

Dans le cadre du diagnostic de quartier à Genève (chapitre 6), nous avons proposé un processus qui part des préoccupations d'habitants d'un quartier, lesquelles sont reformulées en enjeux. Par rapport à ces enjeux un ensemble d'indicateurs spatiaux évalués est défini afin d'aider ensuite à identifier des enjeux prioritaires. Les enjeux correspondent aux raisons des acteurs qui sont reconstruites tout au long du processus. En définitive, les raisons sont définies pas à pas à travers une série d'itérations entre les enjeux de départ et les représentations de la réalité complexe que se construit l'acteur [Major, 1999].

Afin de mieux comprendre l'articulation des différentes parties de la démarche, nous présentons la démarche méthodologique générale dans la forme d'un **méta modèle**. Ce dernier est constitué de trois niveaux, chacun reposant sur le Réel (figure 7.1) : (i) le contexte territorial dans lequel se place l'activité de modélisation, (ii) la modélisation des phénomènes perçus complexes du territoire, (iii) la modélisation d'un système d'indicateurs pertinents. L'importance d'ancrer le processus de modélisation dans un contexte est notamment relevée dans le cadre des travaux d'Ocelli [2002 ;2004]. En effet, selon cet auteur, l'activité de modélisation nécessite d'articuler les *processus d'abstraction* propres à cette activité (internal loop) et l'*environnement externe* (external loop), c'est-à-dire le contexte dans lequel elle se place.

La démarche présentée à travers le méta-modèle est constituée essentiellement de quatre étapes articulées selon un processus itératif. Les sections, dans lesquelles seront développées certaines étapes sont, indiquées en marge.

i) Connaissance initiale de la problématique

Le processus de modélisation cognitive s'établit sur une connaissance et une prise de conscience préalables à la problématique considérée. Celles-ci peuvent être abordées à travers un système de connaissance de la réalité qui considère d'une part des éléments factuels, c'est-à-dire les informations diverses issues de base de données, d'études, de rapports, de la littérature, etc. ; d'autre part, la prise de conscience de la problématique peut être abordée au niveau cognitif par un ensemble de perceptions et de préoccupations, qui sont relevées à travers des enquêtes auprès d'acteurs impliqués dans la démarche. Cette dernière possibilité avait été privilégiée lors de la phase initiale du diagnostic de quartier à Genève. Cependant, les deux sources de connaissance sont tout à fait complémentaires et nécessaires.

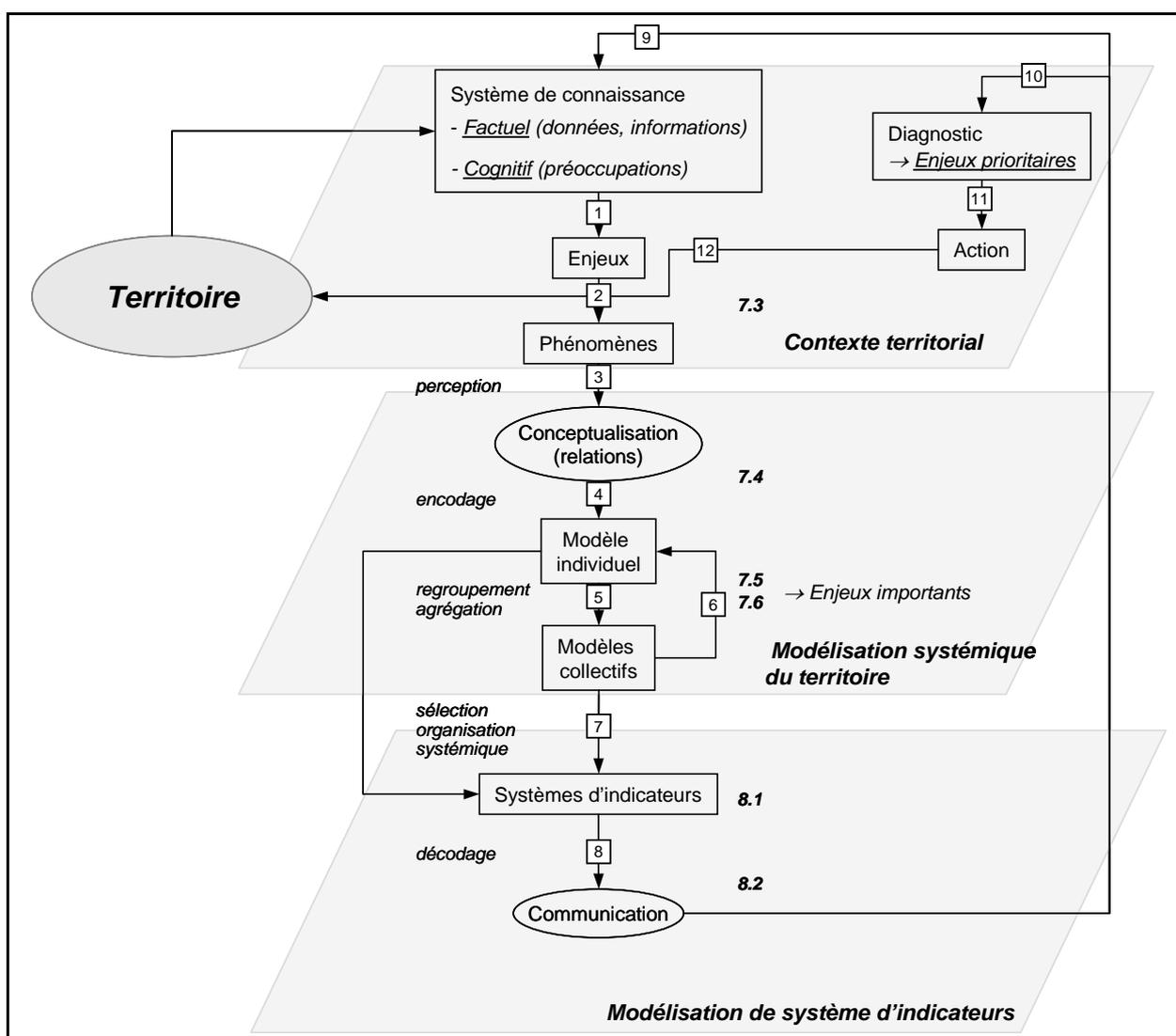


Figure 7.1 : Méta modèle donnant la structure générale de la démarche méthodologique.

A partir de cette connaissance initiale, un premier ensemble d'enjeux¹ est proposé, de même qu'un ensemble de phénomènes² associés à ces enjeux (les indices renvoient aux numéros associés aux flèches sur la figure). Il s'agit d'une première étape de la reconstitution territoriale.

ii) Modélisation de la réalité territoriale perçue complexe (chapitre 7)

Une **interface de conception** d'un système de phénomènes permet de structurer et de guider un entretien entre une personne d'étude et un acteur territorial. Durant l'entretien, l'acteur organise un ensemble de phénomènes en identifiant les relations qu'il perçoit entre les phénomènes³. A travers cet exercice, il exprime et construit progressivement sa représentation de la dynamique complexe d'un quartier urbain dans lequel il vit ou agit, et il peut alors davantage saisir et comprendre cette complexité et se la représenter formellement. En d'autres termes, la démarche de conception aide l'acteur à formuler sa représentation du système urbain sur une base à la fois dialectique (discours, discussion avec la personne d'étude) et didactique (apprentissage sur la complexité).

Sur la base des résultats de la conception, est élaboré un **modèle conceptuel de phénomènes**⁴ ; c'est-à-dire un modèle rendant compte de la structure du système, qui définit formellement les relations causales entre phénomènes ; ceci, à travers un processus d'« encodage » [Ocelli, 2002] qui traduit mathématiquement les résultats de l'entretien. Le modèle obtenu exprime la représentation systémique du territoire urbain et de sa complexité d'après le point de vue de l'acteur, et donne une idée plus concrète de ses raisons. Ces dernières soulignent l'importance de certains enjeux proposés au départ.

La mise en commun des modèles individuels permet d'identifier les différentes positions et opinions des acteurs sur la complexité des phénomènes urbains considérés. Si le nombre d'acteurs est important, afin de mieux structurer le débat, il est opportun de former des groupes de modèles d'après leur ressemblance sur le contenu. Ces **regroupements**⁵ peuvent soit s'effectuer en laissant les acteurs discuter et interagir à travers un processus de communication, soit être facilités par la mise à disposition d'outils analytiques tels que la classification statistique des modèles. Pour chaque groupe d'acteurs, un modèle agrégé mettant en évidence les convergences (raisons communes) des modèles individuels est élaboré. Cela n'exclut pas pour autant que des divergences subsistent, la méthode ne prétendant pas construire une représentation unique.

Dans le cadre d'une rencontre entre les acteurs et d'une confrontation de leurs modèles, il est possible d'envisager une évolution des opinions et un rapprochement des modèles ou de groupes de modèles⁶. Cependant le but premier de la démarche est relever les différentes opinions ou groupes d'opinions et de formaliser ainsi le processus collectif d'intelligence.

iii) Modélisation d'un système d'indicateurs géographiques (chapitre 8)

La démarche de conception d'un modèle de phénomènes présente plusieurs utilités et applications. Parmi celles-ci, la possibilité d'élaborer un **système d'indicateurs géographiques** est développée dans la thèse. Les modèles de phénomènes sont fortement idéologiques et pas toujours réalistes, étant donné qu'ils sont basés non pas sur des informations vérifiées et mesurées mais, au stade de la démarche, sur des perceptions. Par conséquent, l'utilité des indicateurs est double :

- Représenter spatialement les phénomènes mis en évidence dans les systèmes à travers des cartes d'indicateurs interreliées ;
- Apporter un éclairage plus « objective » sur certains mécanismes complexes de sorte à confirmer ou infirmer certaines positions, notamment lorsqu'elles sont divergentes

Concrètement, un système d'indicateurs⁷ est défini sur les modèles de phénomènes et en particulier sur les phénomènes qui sont globalement convergents, c'est-à-dire partagés par l'ensemble des acteurs, mais sur ceux aussi qui présentent des divergences importantes entre les acteurs. Une fois les indicateurs évalués spatialement, on peut envisager de les

communiquer au groupe d'acteurs à travers une **interface de communication**⁸ (« décodage »). Cette interface permet de « naviguer » au sein du système d'indicateurs, à travers les relations ayant été identifiées entre les phénomènes.

iv) Implication du système d'indicateurs : évolution des représentations et formulation d'un diagnostic

Le système d'indicateurs communiqué à travers une interface a différentes implications sur le plan contextuel.

La représentation du territoire à travers les indicateurs contribue à faire évoluer le système initial de connaissances⁹, en enrichissant et mettant à jour la base d'informations factuelles et en faisant évoluer les perceptions sur le territoire selon un **processus de reconstruction**. L'utilisation des indicateurs au sein du groupe d'acteurs permet de faire ressortir les **enjeux prioritaires**¹⁰ et de formuler un **diagnostic**, selon le processus réalisé à Genève (cf. ch. 6.1). Ces enjeux prioritaires constituent une base sur laquelle sont définies des stratégies et de scénarios¹¹. Les actions entreprises vont modifier ensuite la réalité, bouclant ainsi le processus global¹².

Globalement, la démarche fait émerger une **hiérarchie de trois niveaux d'enjeux** : enjeux de *base* issus d'une première analyse contextuelle, les enjeux *importants* issus des raisons qui émergent des modèles de phénomène, enjeux *prioritaires* formulés lors du diagnostic.

La méthode proposée à travers le méta modèle ne prétend pas être une démarche complète de diagnostic. Mais il s'agit d'une aide au diagnostic qui vise à s'insérer dans des contextes plus larges, telles que celles proposées dans les perspectives d'utilisation au chapitre 10.

Rôle de la personne d'étude

La personne d'étude (en l'occurrence l'auteur de ce rapport) accompagne le processus de construction de représentations de la complexité et d'informations géographiques dans son ensemble : il fournit les outils (interface de conception, modélisation conceptuelle), dans le cadre de l'expérience menée à Québec il effectue le choix d'enjeux et de phénomènes de départ, il mène les entretiens, il analyse les représentations individuelles et groupées, il propose enfin un système d'indicateurs géographiques issus des représentations cognitives. Il assume en ce sens le rôle de *médiateur humain*, selon les termes employés par Roche et Hodel [2004], en traduisant les représentations des acteurs en information géographique et en facilitant l'appropriation de cette information par les utilisateurs.

7.3 Contexte général du développement méthodologique : problématique des banlieues de Québec

Le but de cette section est de présenter la problématique territoriale (1^{er} niveau, figure 7.1), dans lequel s'insère le processus de modélisation cognitive (2^{ème} niveau). Contrairement à l'application de Saint-Jean exposée au chapitre précédent, le cas présenté ici ne se situe pas dans le cadre d'un diagnostic participatif où des préoccupations et enjeux ont été définis auparavant par des habitants. Une analyse préliminaire de la problématique est posée en se référant à la littérature, afin d'identifier un premier ensemble d'enjeux territoriaux sur la base desquels seront définis et organisés des phénomènes au sein d'un système.

La démarche présentée dans ce chapitre a été réalisée lors d'un séjour à l'Université Laval à Québec, d'octobre à décembre 2003.

7.3.1 Québec

La plupart des informations présentées ci-dessous sont tirées du document *Vision stratégique de développement* mis à notre disposition par la Communauté métropolitaine de Québec [2003]. Un éclairage plus théorique est apporté par l'ouvrage intitulé *La banlieue revisitée* [ed. Fortin et al., 2002], à la rédaction de laquelle plusieurs chercheurs de l'Université Laval ont participé.

Situation géographique et administrative

Situé le long du fleuve Saint-Laurent, la ville de Québec, capitale de la province de même nom, est un carrefour tant maritime que routier entre le nord et le sud de la province. Lors d'un processus de fusion en 2002, des municipalités ont été intégrées en tant qu'arrondissement dans les limites de la ville (figure 7.2). En conséquence, la ville de Québec s'étend sur un large espace et totalise une population de 500'000 habitants (2001). Le bassin d'influence de la ville (mobilité, emploi, loisir, etc.) s'étend bien au-delà de ses limites. Ce bassin est défini d'une part par la Région métropolitaine de recensement de Québec (RMRQ). Les RMR sont des territoires délimités en vue d'établir des statistiques canadiennes et de comparer les RMR entre elles. D'autre part, l'agglomération de Québec est gérée administrativement par la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) dont les limites correspondent à peu de choses près à celles de la RMRQ.

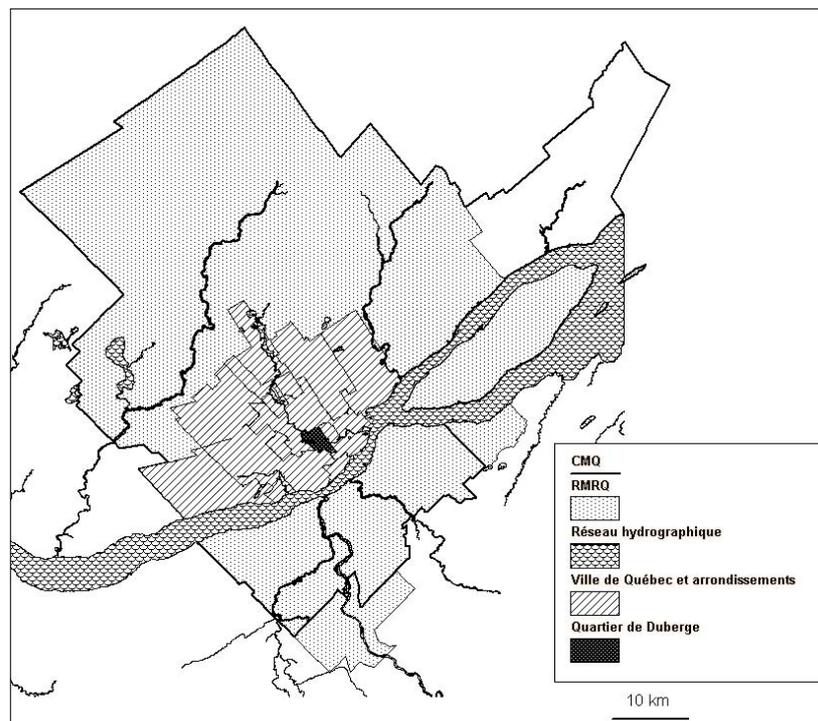


Figure 7.2: Région et Ville de Québec.

Profil socio-économique de la RMRQ et de la Ville de Québec

La conjoncture économique de la région métropolitaine des dernières années est relativement favorable (progression moyenne annuelle du PIB de 2.6% entre 1987 et 2002). Cependant cette progression tend à se ralentir ces dernières années. Le chômage est en légère baisse et s'établit à 7.3% pour la ville, ce qui correspond à la moyenne nationale.

Si globalement les revenus par habitants sont en progression, **la situation socioéconomique des ménages** est préoccupante. En effet, le revenu médian par ménage est très inférieur

comparativement aux autres RMR de même taille. Le taux de scolarisation est très bon en ce qui concerne le diplôme d'études secondaires. Paradoxalement, le taux de diplômes universitaires est en diminution, étant donné un fort exode des jeunes diplômés.

La **situation démographique** est elle aussi assez préoccupante. La Ville connaît un ralentissement important de la croissance de la population : (3% entre 1991 et 1996, contre seulement 0.5% entre 1996 et 2001). Ce ralentissement est dû d'une part, à une forte dénatalité d'autre part, à un taux d'**immigration** largement inférieur (les immigrés représentent 3% de la population en 2001) à celui d'autres villes canadiennes comme Montréal et Toronto. Ce faible taux s'explique par des moyens de rétention des immigrés inefficaces en particulier concernant l'accès à l'emploi. En conséquence, le **vieillessement** de la population est très important. Parallèlement à un ralentissement de la croissance démographique, le nombre de ménages est en très forte augmentation étant donné **l'éclatement des noyaux familiaux**, ce qui exerce une forte pression sur la **demande en logements**. On trouve ainsi de plus en plus des personnes vivant seules, en particulier les retraités et des familles monoparentales. Ces catégories de personnes connaissent souvent une situation socioéconomique délicate.

Problématique des banlieues

Dans l'effervescence de l'après-guerre et du baby-boom des années 50 et 60, les banlieues de Québec, comme ailleurs en Amérique du Nord, connaissent une rapide expansion à travers un nouveau mode d'habitat : le bungalow [Fortin, 2002a]. Cette expansion entraîne de nombreuses transformations tant au niveau urbain que dans les modes de vie, en particulier le développement du réseau autoroutier et de la **forte croissance de l'utilisation de l'automobile**. Dans les années 70, les banlieues dites de la première couronne, progressivement saturées, se densifient ou s'agrandissent en annexant des terrains, pour former les banlieues de la deuxième et troisième couronne. Ce processus permet à Gérald Fortin [1981, cité par Fortin, 2002a, p. 49] d'affirmer que « *l'agglomération de Québec présente un modèle de développement urbain qui, tout en étant basé sur le modèle nord-américain général, possède une caractéristique particulière : la densification des banlieues immédiates* ». Dans les années 90, les banlieues de la première couronne édifiées dans années 50 et 60 connaissent un vieillissement de leurs infrastructures et de leur population qui commence à décroître. Par ailleurs, le sentiment d'appartenance identitaire est très fort chez les habitants de la banlieue première couronne.

Mobilité

La Ville de Québec n'est pas une simple juxtaposition de territoires autour d'un centre, mais un ensemble de polarités fonctionnelles très proches des réseaux d'échange qui s'affranchissent de plus en plus des contraintes liées à l'espace grâce aux moyens de transport et de communication [Fortin, 2002b]. L'amélioration de l'efficacité du transport individuel permet une extension des activités au-delà du centre ville. Ainsi, on est loin du cliché mouvement pendulaire banlieue – centre ville [ibid.]. Vu le réseau routier très performant, le nombre de véhicules et des déplacements locaux augmentent sans cesse (+8.6% entre 1996 et 2001) et la **part modale de l'autobus par rapport à l'automobile subit un effritement constant** [CMQ, 2003]. Les jeunes, les aînés et les ménages ayant un faible revenu et tributaires des transports en commun ont une mobilité réduite dans les banlieues et sont victimes d'isolement. Des efforts ont été entrepris récemment par la Ville en créant des lignes directes Métrobus à fréquence horaire élevée, mais ces efforts semblent encore insuffisants vue la demande. Enfin, sur le plan environnemental, les autoroutes génèrent souvent un

niveau de bruit incompatible avec la plupart des fonctions urbaines situées à leur immédiate proximité.

Dynamique du territoire : d'une déconcentration à un recentrement

Entre 1940 et 2001, la superficie urbaine a plus que triplé sur la RMRQ [CMQ, 2003]. La population n'augmentant pas dans de telles proportions, la densité a diminué de moitié entre 1971 et 2001 (de 530 à 217 hab/km²), ce qui indique bien un fort étalement à travers un phénomène de déconcentration de la population vers la périphérie due tant à la déconcentration de celle-ci qu'à la migration des emplois se localisant toujours plus loin du centre. Durant les années 1990, la part de construction des logements de type unifamilial (59%) a été supérieure à celle de la construction des logements multiples (appartements, condominiums). Globalement, le choix d'occupation du territoire a en définitive favorisé le **développement d'une trame résidentielle de faible densité, discontinue et étalée**. Cette déconcentration se traduit par une augmentation de la distance entre le lieu de résidence et le centre de l'agglomération. (de 7.5 km à 8.6km entre 1976 et 2001), augmentation qui tend à se stabiliser ces dernières années étant donné que le nombre de logements construits durant la décennie est en nette diminution. La mise en place d'infrastructures routières ou autoroutières efficaces génère un cercle vicieux contribuant à accentuer la dispersion des fonctions urbaines, telles que les services et les centres commerciaux dont la recherche d'une accessibilité est axée sur l'automobile. Ainsi, les six grandes surfaces commerciales responsables de plus de 70% des déplacements pour le 'magasinage', sont toutes situées à proximité immédiate des voies autoroutières ou des routes principales importantes, selon le critère d'une accessibilité rapide et efficace. Cela entraîne un **dépérissement des secteurs commerciaux traditionnels**, et une congestion routière importante aux abords des centres commerciaux.

La dynamique de déconcentration et d'étalement a atteint son point le plus élevé et est probablement en train de s'inverser, selon le point de vue d'un expert, Paul Villeneuve, interrogé dans le quotidien *Le Soleil* (éditions du 3.2.03). En effet, la population de Québec est en phase de vieillissement, ce qui a des effets sur l'organisation géographique des activités au sein de l'agglomération.

D'après lui, depuis les années 1980 déjà, l'étalement urbain connaît un **ralentissement**. Cela se reflète par une augmentation de la distance moyenne centre – résidence de moindre ampleur dans les années 80 (7.9 %) par rapport aux années 70 (18.7%). Le **resserrement du tissu urbain** de Québec est donc déjà amorcé, et essentiellement deux facteurs laissent penser qu'il se poursuivra :

- La taille des ménages continue à diminuer ; leur nombre augmente plus vite que le nombre des personnes, ce qui est l'origine de la crise de logement actuelle. Les petits ménages, ayant un faible revenu et ne possédant pas toujours une voiture, se localisent généralement à proximité du centre et de ses services.
- Avec la maturation démographique, l'âge des personnes augmente. Or les personnes âgées ont également tendance à se localiser plus près du centre dans des appartements ou condominiums.

Ces différentes dynamiques territoriales exposées ici, sont très riches et complexes. Elles introduisent de fortes interdépendances entre la qualité de vie, le vieillissement et les formes d'aménagement du territoire. Elles sont perçues par les acteurs impliqués de plus ou moins près dans ces dynamiques et seront formalisées à travers la démarche de modélisation systémique présentée dans ce chapitre.

7.3.2 Duberger

Bien que les problématiques énoncées ci-dessous soient généralisables à l'ensemble de la banlieue de Québec, celle-ci est loin d'être homogène, chaque quartier ayant ses spécificités locales. Certaines dynamiques territoriales risquent d'être perçues différemment selon les quartiers. Il est donc judicieux de considérer une **unité spatiale cohérente**, telle que le quartier de banlieue proche, pour la démarche méthodologique présentée dans ce chapitre. Le quartier Duberger a été choisi d'une part, parce qu'il est représentatif de la problématique des mutations des banlieues de la première couronne d'autre part, les nombreuses études universitaires menées sur ce quartier ont facilité l'acquisition d'informations et la prise de contact avec les acteurs locaux.

Duberger fait partie de l'arrondissement Les Rivières. Il est entrecoupé par des barrières physiques (boulevards et rivières) qui créent des limites entre certaines parties du quartier. Duberger est essentiellement scindé en deux, *Duberger Centre* et le secteur Est, séparés par l'autoroute du Vallon. Ces limites forment des enclaves résidentielles qui ont des effets sur la qualité de vie des citoyens. Le quartier est lui-même loin d'être homogène, si l'on considère la population et le niveau socioéconomique qui est nettement plus défavorisé dans le premier secteur que dans le deuxième où habitent essentiellement des retraités et des fonctionnaires. On peut ajouter un troisième secteur au sud, la zone industrielle, séparée du reste du quartier par la rivière Saint-Charles.

Les informations statistiques suivantes sont tirées d'une étude récente menée sur les quartiers Duberger et des Saules [Brouillette, 2003]. En 2001, la population totale de Duberger s'élevait à 10'150 habitants.

Le quartier suit les mêmes tendances démographiques (vieillesse, décroissance de la population, augmentation des ménages monoparentaux) que le reste de la ville, tandis que sa situation socioéconomique est plus précaire : le revenu annuel moyen par ménage est inférieur à celui de Québec, de même que la proportion de diplômés universitaires (18% contre 25%). Enfin, le taux des locataires est plus élevé que celui des propriétaires.

Par ailleurs, Duberger accueille une communauté d'immigrés d'origine africaine, venu pour la plupart à Québec pour les études universitaires. Ils habitent essentiellement la zone défavorisée du secteur Centre où ils peuvent trouver appui auprès d'un organisme communautaire.

Face à ces informations quantitatives, il est intéressant de prendre également en compte la perception des habitants interrogés dans le cadre de l'étude mentionnée ci-dessus et de la consultation autour du Plan directeur de quartier [Arrondissement des Rivières, Conseil de quartier Duberges – Les Saules, 2003]. Dans les deux cas, on retrouve globalement les mêmes préoccupations. La majorité des personnes interrogées considèrent Duberger comme un quartier paisible, sécuritaire, où il fait bon de vivre. La présence de rivières en particulier la rivière Saint-Charles présente un certain attrait paysager. Les bordures des rivières méritent toutefois une conservation et mise en valeur des espaces naturels en augmentant la surface de verdure. Une autre qualité est liée à la centralité du quartier par rapport au réseau routier. Les commerces qui s'établissent pour la plupart le long des axes principaux (bvd Hamel, Père-Lelièvre) sont facilement accessibles à la population qui possède une voiture. Certains habitants souhaitent plus de verdure aux abords des axes. De plus, le réseau routier occasionne des **barrières difficilement franchissables pour les piétons et nécessite des aménagements de sécurité**. Le morcellement du territoire a pour conséquence de diviser le quartier en secteurs de classes sociales homogènes : revenus élevés et maisons unifamiliales dans un secteur, revenus bas et logements délabrés et vieillissant dans un autre. On note une

insuffisance des logements sociaux et des logements adaptés pour les aînés. Les gros commerces se concentrant le long des axes, il manque des petits de commerces de proximité. La diversité des services est jugée satisfaisante notamment au niveau des écoles. Cependant, il manque des services pour des personnes défavorisées ou nécessitant une certaine assistance, de même que des informations sur d'autres services : crèches pour les familles monoparentales, service de transport public pour les aînés, écoles spécialisées pour l'accueil des immigrants, etc. Enfin, le quartier est bien desservi en transport en commun, mais la fréquence est encore trop faible.

En conclusion, parmi les différents enjeux urbains développés ci-dessus à Québec et en particulier à Duberger, il nous apparaît que ceux concernant les conditions sociales, la démographie et le transport écomobile (en particulier les cheminements piétons) sont prépondérants.

7.3.3 Ensemble de phénomènes

A partir de la problématique urbaine de l'évolution des banlieues développée ci-dessus, nous proposons un ensemble d'enjeux structurés en quatre thèmes, de même qu'une liste de phénomènes associés à ces enjeux (tableau 7.1). Le fait que le choix de l'ensemble d'enjeux et de phénomènes ait été effectué par nous-mêmes sera discuté plus loin à la section 7.4.4.

La formulation terminologique proposée pour les phénomènes est relativement neutre par rapport à la tendance (p. ex. *Evolution démographique*) et même parfois 'statique' (p. ex. *Environnement*), alors que les phénomènes désignent généralement des processus. Ceux-ci seront révélés plus explicitement à la section suivante, lorsque l'on considérera l'évolution potentielle des phénomènes (p. ex. amélioration ou détérioration de la qualité de l'Environnement).

Le tableau présente une structure quelque peu rigide, car certains phénomènes pourraient se retrouver dans plusieurs enjeux et thèmes. Par exemple, l'enjeu *favoriser le maintien des aînés et l'insertion des jeunes* peut être décrit par les phénomènes liés à la mobilité douce (*Desserte en transport public, Aménagement piéton*) et aux *Logements collectifs*. La conception d'un modèle systémique de phénomènes par les acteurs permettra, dans la section suivante, de dépasser ce premier niveau d'organisation en favorisant une meilleure compréhension du système urbain, de ses tendances contradictoires et de son évolution potentielle.

Enfin, les phénomènes couvrent la problématique générale au sens large. Ils ne sont pas d'égale importance. En analysant le modèle systémique proposé par un acteur, il sera possible de hiérarchiser les phénomènes et les enjeux ; ceci afin d'identifier les raisons à considérer dans l'élaboration de systèmes d'indicateurs.

Thème	Enjeux	Phénomènes	Définition/Commentaires
Socio-démographie	Promouvoir une mixité sociale	Mixité sociale	Diversification sociale de la population en un même lieu géographique sur plusieurs aspects (âge, revenu, emploi, logement, etc.)
		Niveau de vie	Niveau de vie sur le plan matériel (revenus)
		Scolarisation	Qualification globale des habitants
		Criminalité	Incivilités de toute sorte
	Favoriser l'accès pour les femmes au marché de l'emploi	Féminisation du travail	Facilité d'accès des femmes au monde du travail
	Retenir les aînés en favorisant une structure les maintenant dans le quartier	Accessibilité des services de santé	Possibilité offerte aux habitants de se rendre facilement à ce type de service (pharmacie, centre de soin, etc.)
		Viellissement de la population	Augmentation de l'âge moyen
	Attirer les jeunes et de nouvelles populations	Exode des jeunes	Emigration des jeunes vers d'autres villes plus attractives (emploi, étude)
		Immigration	Installation d'une nouvelle population venant de l'extérieur
		Evolution démographique	Croissance/décroissance de la population
Equipements, infrastructures	Favoriser une centralité : équipements et services de proximité, emplois	Accessibilité des services locaux	Possibilité offerte aux habitants de se rendre facilement à ce type de service (petits commerces)
		Emploi	Activité de la population
	Permettre un bon accès aux services régionaux	Accessibilité des services régionaux	Possibilité offerte aux habitants de se rendre facilement à ce type de service (grands centres commerciaux)
		Accessibilité du réseau autoroutier	Possibilité offerte aux habitants d'accéder au réseau autoroutier
Logement	- Densifier les banlieues de la première couronne - Répondre à la demande en logements sociaux ;	Disponibilité des logements individuels	Logement du type bungalow, unifamilial ¹ ,
		Disponibilité des logements collectifs	Triplex, condominium ²
		Densification urbaine	Constructions au sein de noyaux urbains existants
		Étalement urbain	Construction en périphérie des centres
Mobilité	Diversifier les modes de transport, en rendant plus attractif les transports en commun et les déplacements piétons	Aménagements piéton	Perméabilité du cheminement piéton
		Desserte transport public	Niveau de service offert
		Trafic de transit	Automobiles circulant à travers le quartier
Environnement	Promouvoir une bonne qualité de l'environnement	Environnement	Qualité, tranquillité du cadre de vie
		Nuisances	Bruit et pollution lié au trafic

Tableau 7.1 : Liste des thèmes, enjeux et phénomènes.

¹ Unifamilial : maison de taille et style modeste, par rapport au bungalow

² Triplex : superposition de deux ou trois appartements (un par étage), généralement modeste.
Condominium : immeuble en copropriété

7.3.4 Choix des acteurs

La démarche de l'organisation systémique d'un ensemble de phénomènes a été testée individuellement auprès de 16 acteurs impliqués de plus ou moins près dans la problématique des banlieues et en particulier dans celle du quartier Duberger. Afin de mieux rendre compte de la diversité des représentations possibles, la taille de l'échantillon d'acteurs a été augmentée par rapport à Genève. De plus, les acteurs ont été choisis de façon à former *a priori* quatre groupes qui se distinguent par leur rôle, leur statut, leur niveau de responsabilité et de connaissance dans les processus des transformations des banlieues.

UNIVERSITAIRES	Professeurs		U ₁ U ₂ U ₃ U ₄
	Étudiants		U ₅ U ₆ U ₇
ADMINISTRATION	Aménagement du territoire		A ₈ A ₉
	Développement économique		A ₁₀ A ₁₁
POLITIQUE			A ₁₂
HABITANTS	Immigrés	Association	H ₁₃ H ₁₄
		Habitants	H ₁₅
	Natif de Québec	Association	H ₁₆

Tableau 7.2 : Classification des acteurs.

Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessus, ces groupes se subdivisent en sous-groupes. Dans le groupe Universitaire (Université Laval), on distingue les professeurs et les étudiants. Les membres de ce groupe se situent tous dans une thématique proche de l'aménagement du territoire (aménagement, urbanisme, architecture, sociologie urbaine). Ils développent une connaissance théorique des processus urbains.

Les groupes Administration et Politique représentent les acteurs qui élaborent et prennent des décisions sur le territoire. Dans le groupe Administration, on distingue les acteurs selon leur domaine thématique (territoire et économie).

Le groupe des habitants de Duberger est davantage subdivisé. Ce groupe est constitué de quatre d'immigrés africains et d'une personne native de Québec. De même, parmi ces habitants, nous distinguons ceux qui sont engagés dans une association ou non. Les habitants ont une connaissance de la problématique en lien avec leur vécu, leur expérience quotidienne sur le terrain.

En outre, cette répartition des acteurs dans les différents groupes et sous-groupes n'est pas exclusive. En effet, il existe certains recouvrements. Par exemple, deux habitants immigrés sont en même temps étudiants à l'université Laval ; toutefois dans d'autres domaines que celui du groupe universitaire considéré ici.

Le groupe Politique et le sous-groupe 'Habitant natif de Québec' sont certes sous-représentés. Cependant, l'objectif est avant tout de diversifier l'échantillon d'acteurs, tandis que la

proportion de chaque groupe, qui dépendait notamment de la disponibilité des acteurs, est sans importance pour la démarche.

7.4 Conception individuelle d'un système de phénomènes

La représentation de la réalité perçue complexe est souvent peu formalisée. L'exercice de modélisation systémique aide un individu à interagir avec la réalité urbaine qu'il doit reconstituer pour la comprendre et la rendre intelligible, non seulement pour lui-même, mais aussi pour les autres dans un processus de délibération et d'apprentissage collectif. Cet exercice aide l'individu à formuler ses raisons et ses motivations en vue d'une action sur la réalité urbaine. Il constitue de ce point de vue un moyen pour renforcer son implication dans un processus participatif de décision (cf. hypothèse 1, ch. 1.2).

L'objectif de cette section est de tester une démarche d'entretien et une interface de saisie de réponses. Ces dernières traduisent des perceptions sur la base desquelles, un modèle systémique représentant les relations causales entre les phénomènes est construit. Enfin, une démarche d'analyse, reposant sur le calcul matriciel, est proposée pour aider à l'interprétation d'un modèle et faire ressortir les phénomènes critiques du système aux yeux de chaque acteur.

7.4.1 Démarche d'entretien

Un prototype d'interface est développé à l'aide du logiciel Excel. Le but de cette interface est de soutenir la construction du système de phénomènes dans le cadre d'un entretien avec un acteur. La durée de l'entretien est limitée à une heure. En effet, à travers ce processus, on ne vise pas l'exhaustivité, tant par les composantes (phénomènes) que par les relations, car la complexité est élevée et donc impossible à enfermer totalement. On cherchera plutôt à rendre intelligible et explicite ce qui est pertinent et significatif pour la personne interrogée en laissant de côté les aspects secondaires. Ce sont ces éléments pertinents qui nous intéressent, car ils sont porteurs des raisons.

La démarche d'entretien et de conception est structurée en deux étapes. Toutefois cette structure n'est ni rigide, ni linéaire. A tout moment de l'entretien, il doit être possible à la personne de revenir sur les étapes précédentes. De cette manière, l'individu construit progressivement et itérativement le système de phénomènes.

L'interface de conception est implantée et communiquée selon un **langage symbolique**, défini dans un espace de qualité, plus accessible cognitivement et se rapprochant davantage des perceptions des acteurs. En effet, les acteurs transforment les objets territoriaux en symboles pour construire leur représentation [Major, 1999].

L'interface met en œuvre un certains concepts de la modélisation qualitative (chapitre 4.3), notamment la définition de seuils ordinaux, la transition d'un seuil à l'autre et les opérations sur les signes.

Première étape : identification des conditions initiales du modèle

L'interface est constituée d'un ensemble de feuillets Excel, ce qui revient à décomposer la problématique analysée. Pour le premier feuillet, il est demandé à la personne de définir les conditions initiales de chaque phénomène. Celles-ci intègrent tout d'abord les **tendances souhaitées** par la personne, qui expriment dans quelle direction elle souhaite voir évoluer un phénomène du point de vue de ses finalités ; c'est-à-dire, si elle souhaite « maximiser », « stabiliser », ou « minimiser » le phénomène. Ces trois tendances sont exprimées symboliquement par l'ensemble :

{↑, ↔, ↓}

D'autre part, l'appréciation de la **situation initiale** ou actuelle, telle que perçue pour chaque phénomène, est définie par un ensemble de *valeurs – seuils* ordinales. En effet, à ce stade du processus de diagnostic, les phénomènes ne sont pas encore quantifiés. De plus les perceptions des acteurs sont plus facilement ordonnées que quantifiées (cf. ch. 5.1).

Afin de rendre l'interface généralisable et systématique, de même que facilement accessible aux acteurs, un seul ensemble de trois¹ valeurs, commun à tous les phénomènes, est choisi. Ces valeurs sont les suivantes :

{bon, moyen, mauvais}, représenté symboliquement par {vert, jaune, rouge}

En d'autres termes, il est demandé à la personne si elle perçoit la situation actuelle du phénomène comme bonne, mauvaise ou, moyenne.



Figure 7.3 : Exemple de feuillet des conditions initiales pour l'acteur U_1 .

A titre d'exemple, la figure 7.3 présente le feuillet des conditions initiales données par l'acteur universitaire U_1 . Les traitillés correspondent au découpage thématique tel que proposé au tableau 7.1. A noter que dans cet exemple, les phénomènes *Niveau de vie*, *Scolarisation* et *Exode des jeunes* ne sont pas jugés intéressants à prendre en compte par la personne interrogée, puisqu'elle ne les pas considérés dans la définition des conditions initiales.

¹ Une dimension plus grande de l'ensemble n'est pas nécessaire, car il n'est pas sûr que les acteurs perçoivent plus de nuances dans l'appréciation des phénomènes, et cela compliquerait considérablement la conception.

Les deux conditions initiales ne sont pas indépendantes. Mais, la signification des valeurs – seuils doit être mise en rapport avec la tendance souhaitée. Par exemple, l'acteur U_I souhaite minimiser le phénomène *Trafic*. Et il perçoit qu'il y a *trop* de trafic sur certains tronçons routiers du quartier Duberger. Il juge alors la situation *mauvaise*, du point de vue de ce phénomène. En outre, une ambiguïté peut apparaître lorsque la tendance choisie est « stabiliser ». Quelle signification donner à une situation initiale vis-à-vis de cette tendance ? On peut supposer que la signification est croissante comme pour la tendance « maximiser », en considérant par exemple, pour l'acteur U_I , une affirmation du type : « il y a une grande *Densification* urbaine à Duberger, ce qui est positif, mais il n'en faut pas plus ». Ce genre de situation illustre que les tendances exprimées peuvent être conditionnées à certaines limites voulues par l'acteur et peuvent donc s'inverser au-delà d'un certain seuil. Par exemple si la densité augmente encore, l'acteur pourrait alors vouloir minimiser ce phénomène.

La tendance souhaitée exprime une *valeur*, une préférence de la part de la personne. Tandis que la situation initiale reflète une perception sur un *fait* réel par rapport à un phénomène donné. Cela signifie que la personne a une connaissance vécue ou perçue pré-établie du territoire dans lequel elle est vit ou agit. Si ce n'est pas le cas, la personne peut ne pas prendre position sur un phénomène particulier (par exemple *Niveau de vie*, *Scolarisation* et *Exode des jeunes* sur la figure 7.3). Par conséquent, ce dernier n'est peut-être pas considéré, par la personne, comme pertinent à représenter dans le système. En effet, on peut supposer qu'un manque de connaissance marque d'une certaine manière un manque d'intérêt, une absence de préoccupation. De même, un phénomène pour lequel l'individu n'a pas, *a priori*, de préférence particulière concernant la tendance, ne sera sans doute pas pertinent à retenir dans le système. En définitive, l'identification des conditions initiales permet d'effectuer un premier tri sur l'ensemble des phénomènes en vue de l'établissement ultérieur d'un système d'indicateurs. Toutefois, les raisons d'une prise de position ou non sur un phénomène doivent être interprétées avec prudence, car elles pourraient évoluer et être reconstruite au cours du processus, notamment lorsque les acteurs partagent leur représentation.

Deuxième étape : modèle de co-évolutions par phénomène

A partir de la situation initiale, il est demandé à la personne ce qui se passe si un phénomène s'*améliore*, c'est-à-dire évolue vers l'état « bon », ou se *détériore*, c'est-à-dire évolue vers l'état « mauvais ». Une évolution peut être induite par des changements d'un état qualitatif d'un ou plusieurs phénomènes du système et peut à son tour produire des changements sur d'autres phénomènes. De telles co-évolutions mettent en évidence des relations causales qui ne sont pas encore représentées explicitement à ce stade de la conception. On considère donc chaque phénomène comme source potentielle de co-évolutions multiples. Cela revient à poser la question à la personne : si un phénomène change d'état et s'améliore ou se détériore, d'autres phénomènes vont-ils aussi changer d'état ? Lesquels ? Dans quelle direction (amélioration ou détérioration) ? Et de quelle intensité (d'un état ou de deux états) ? Ce regard « centripète » (relations de cardinalité $1, n$, ou one-to-many), semble mieux correspondre aux intuitions des acteurs qu'un regard « centrifuge ». La figure suivante donne un exemple de cette co-évolution. L'amélioration d'un état ($R \rightarrow J$) sur le phénomène *Aménagement piéton* cause l'amélioration d'un état sur le phénomène *Services locaux* ($R \rightarrow J$).

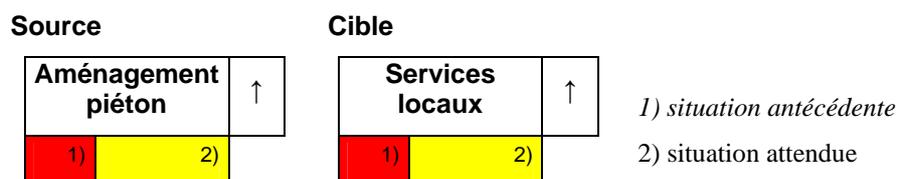


Figure 7.4 : Exemple de co-évolution entre deux phénomènes.

Le résultat de la phase de conception est un ensemble de modèles partiels de co-évolutions (feuillet), un pour chaque phénomène générant, selon l'acteur, une ou plusieurs co-évolutions sur les autres phénomènes. La figure 7.5 montre à titre d'exemple, parmi l'ensemble de feuillets proposé par l'acteur U_1 , celui correspondant au phénomène *Trafic*. Une amélioration de ce phénomène entraîne des améliorations de Aménagement piéton, Transport public, Nuisances et Environnement. Les autres phénomènes n'évoluent pas. La figure illustre que la conception du modèle de phénomène résulte d'un ensemble de feuillets, un pour chaque phénomène générant des relations.



Figure 7.5 : Modèle de co-évolution pour le phénomène *Trafic*.

Il est demandé à la personne interrogée d'évaluer la **crédibilité** de chaque co-évolution qu'il a exprimée, c'est-à-dire de nuancer ou pondérer son choix. En effet, l'identification d'une co-évolution peut faire l'objet d'une plus ou moins grande conviction. Cela se traduit par une forte (1) ou une faible (0.5) crédibilité à la co-évolution. Afin de ne pas alourdir l'entretien, par défaut, les co-évolutions ont une crédibilité forte, car on part du principe que celles exprimées reflètent une motivation profonde. Toutefois, si la personne semble hésiter, il lui est proposé de nuancer la crédibilité.

Lorsqu'un phénomène a évolué vers l'état « moyen », il n'a pas encore atteint la limite du système défini par les états « mauvais » et « bon ». On peut donc supposer la possibilité d'une seconde évolution. Le premier changement aura-t-il encore lieu ? Se produira-t-il dans la même direction ? D'autres changements apparaissent-ils ? Cela revient à poser la question de la linéarité des interactions entre les phénomènes. Ainsi, dans la proposition de U_1 , *Immigration*, qui évolue dans un premier temps de Rouge à Jaune, puis de Jaune à Vert. L'acteur interrogé note en effet une inversion de tendance possible : la *Mixité sociale* s'améliore dans la première phase, et se détériore dans la deuxième s'il y a trop d'immigrants.

Déroulement des entretiens menés à Québec

Lors des entretiens menés auprès des 16 acteurs, la définition des conditions initiales (tendance et situation initiale des phénomènes) prenait généralement une part importante du temps d'entretien. Il fallait en effet, pour chaque acteur, prendre connaissance de chaque

phénomène individuellement. La phase d'identification des relations se faisait ensuite de façon relativement spontanée et était assez brève chez certains acteurs, vu qu'il s'agissait de relever uniquement ce qui est plus pertinent et non pas de proposer un modèle exhaustif.

Les co-évolutions n'étaient pas toujours exprimées de façon explicite par l'acteur, mais elles émergeaient parfois implicitement au cours de la discussion, notamment lors de la phase des conditions initiales qui étaient souvent formulées en relation avec les autres phénomènes. Par exemple, un acteur affirmait qu'il faut à Duberger maximiser les grands centres commerciaux (phénomène *Services régionaux*) de façon à générer beaucoup d'emplois.

7.4.2 Modélisation conceptuelle de phénomènes

D'un modèle de co-évolutions à un modèle conceptuel

A la fin de la deuxième étape, le système de phénomènes n'est pas encore complètement modélisé. La démarche de conception du système de phénomène est à ce stade séquentielle et encore non totalement intégrative : chaque phénomène est considéré à tour de rôle comme source potentielle de relations qui ne sont pas encore formalisées, c'est-à-dire représentées graphiquement. Le résultat de la discussion se présente comme un ensemble de modèles de co-évolutions (figure 7.5), un pour chaque phénomène ayant été considéré par la personne interrogée. Un tel résultat n'est donc pas directement exploitable, car il produit une vision quelque peu décomposée et désagrégée de la problématique analysée.

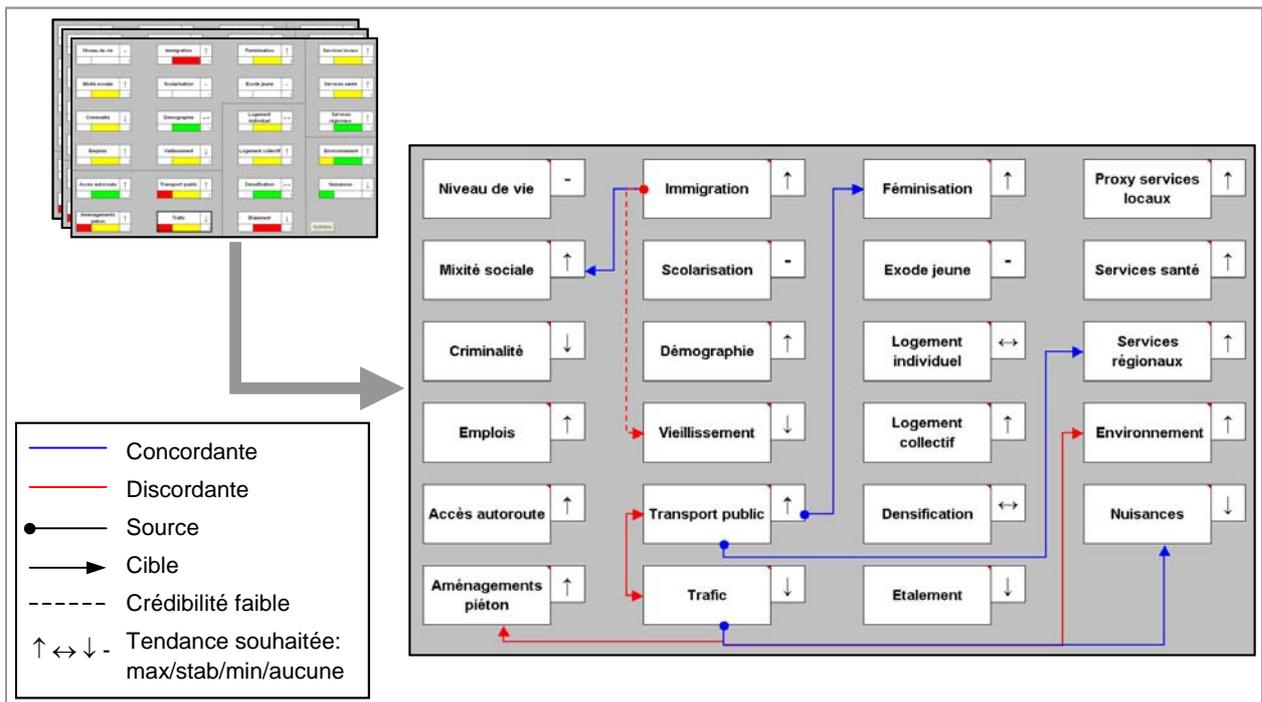


Figure 7.6: Passage d'un modèle de co-évolutions par phénomène à un modèle conceptuel de phénomènes par acteur. Exemple du modèle construit par l'acteur U_1 .

Par conséquent, ces modèles partiels sont intégrés, par la personne d'étude, dans un système global représentant l'ensemble des relations exprimées par chaque acteur. Le système global, à l'exemple de celui présenté à la figure 7.6, formalise la représentation que l'acteur s'est construit du système complexe et des relations entre les phénomènes. Il révèle des relations multiples, et dans certains cas, des rétroactions et des aspirations contradictoires. Les phénomènes ne sont plus uniquement sources de relations, mais eux-mêmes sont influencés

par d'autres phénomènes. On obtient ainsi un ensemble de relations de cardinalité $n-n$ (many-to-many).

Concrètement, le modèle conceptuel est élaboré pas à pas, avec l'interface, en activant dans chaque modèle partiel de co-évolutions un bouton – macro « synthèse » (cf. figure 7.5) qui transforme formellement les co-évolutions en relations causales et qui reporte celles-ci dans le modèle global. Les relations sont définies concordantes (représenté symboliquement par des flèches bleues) lorsque l'augmentation de la quantité d'un phénomène conduit à l'augmentation d'un autre phénomène ; discordante (flèches rouges) lorsque l'augmentation d'un phénomène conduit à la diminution d'un autre phénomène.

Algébriquement la transformation des co-évolutions en relations causales et la détermination de leur sens (concordant ou discordant) revient à poser les opérations suivantes sur les signes.

(i) Soit deux phénomènes **Ph1** et **Ph2** fonctions du temps définis par les tuples :

$$Ph_1(t_i) = \langle T_1, St_i \rangle$$

$$Ph_2(t_i) = \langle T_2, St_i \rangle$$

Où $T = \{\uparrow, \leftrightarrow, \downarrow\}$: tendance souhaitée

$St_i = \{\text{Bon, Moyen, Mauvais}\}$: situation du phénomène à un temps t_i

(ii) Soit $T' = [+]$, si $T = \{\uparrow, \leftrightarrow\}$, et $T' = [-]$, si $T = \{\downarrow\}$

(iii) Considérant une co-évolution entre les phénomènes Ph1 et Ph2 :

$$E_1 \rightarrow E_2$$

Où $E = [+]$, si *Amélioration*, c'est-à-dire si l'une des transitions suivantes se produit :

$St_i \rightarrow St_{i+1}$: Moyen \rightarrow Bon, ou Mauvais \rightarrow Moyen, ou Mauvais \rightarrow Bon

$E = [-]$, si *Détérioration*, c'est-à-dire si :

$St_i \rightarrow St_{i+1}$: Bon \rightarrow Moyen, ou Moyen \rightarrow Mauvais, ou Bon \rightarrow Mauvais

(iv) Le sens de la relation entre les phénomènes est défini alors selon la condition suivante :

Si $E_1 * T'_1 = E_2 * T'_2$

Alors $Ph_2(t) = f(d Ph_1/dt) \Rightarrow$ relation **concordante** entre Ph1 et Ph2

Sinon $Ph_2(t) = f(- d Ph_1/dt) \Rightarrow$ relation **discordante** entre Ph1 et Ph2 (équ. 7.1)

La relation présentée ci-dessous illustre cette opération :

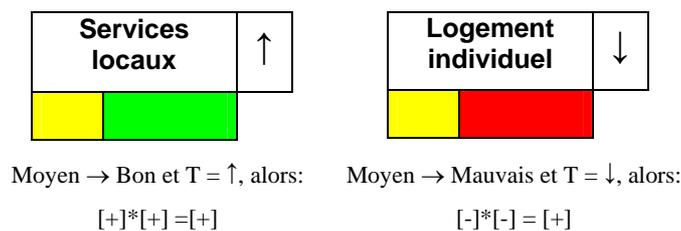


Figure 7.7 : Exemple de correspondance des signes.

Dans cet exemple, la relation entre les deux phénomènes est **concordante** puisque les signes du produit Tendance x Evolution sont équivalents.

D'un espace de qualité à un espace de quantité

Les opérations algébriques (*encodage*), présentées ci-dessus, réalisées pour passer d'un modèle de co-évolutions à un modèle conceptuel, consistent à traduire le langage défini dans un *espace de qualité* (utilisé lors de l'entretien avec les acteurs) en un langage défini dans un

espace de quantité (tableau 7.3). Ce dernier est un concept central dans la modélisation qualitative (cf. ch. 4.3.3 et Annexe I).

Les deux espaces se situent tout deux dans une échelle ordinale. Cependant, le langage défini dans l'espace de qualité est ambigu en vue d'une modélisation du système. En effet, les seuils « mauvais » et « bon » ne donnent pas d'indication sur l'**amplitude** ou la quantité du phénomène (sous-jacente à la notion de concordance et discordance et de donc de causalité). Ils expriment une quantité tantôt élevée, tantôt faible selon que les tendances sont « maximiser » ou « minimiser ». Pour des raisons similaires, une « amélioration » et une « détérioration » peuvent signifier aussi bien une « augmentation » ou une « diminution ».

	Espace de qualité	Espace de quantité
Seuils, état	bon (vert), moyen (jaune), mauvais (rouge)	Beaucoup, moyen, peu
Evolution, transition	améliorer, détériorer	augmenter, diminuer concordant, discordant

Tableau 7.3 : Espace de qualité vs espace de quantité.

En reprenant l'exemple présenté ci-dessus (figure 7.7), les deux phénomènes évoluent de « moyen » à « beaucoup ». Autrement dit, leur quantité respective augmente et par conséquent, la relation est concordante.

La correspondance entre les seuils ou états définis dans les deux espaces est détaillée dans le tableau 7.4. La mise en commun de la tendance souhaitée avec la situation initiale permet de déterminer l'amplitude ou la quantité du phénomène telle que perçue par l'acteur.

	Espace de qualité	Espace de quantité
Seuils, état	<bon ; ↑>	beaucoup
	<bon ; ↔>¹	
	<mauvais ; ↓>	
	<moyen ; ↑>	moyen
	<moyen ; ↔>	
	<moyen ; ↓>	
	<mauvais ; ↑>	peu
	<mauvais ; ↔>	
	<bon ; ↓>	

Tableau 7.4 : Détermination de l'amplitude d'un phénomène à partir des conditions initiales.

Toutes les situations présentées ci-dessus sont possibles en théorie. D'un point de vue rationnel, certaines situations sont plus envisageables (mises en évidence en gras) que d'autres. En effet, lorsqu'une situation est jugée bonne, il semble raisonnable de la maintenir ou stabiliser, ou lorsqu'une situation est mauvaise, il faudrait en principe essayer de la faire évoluer.

Matrice structurale

Le modèle conceptuel ou systémique proposé par un acteur peut être représenté de façon complémentaire par une matrice structurale, dont l'intérêt est de pouvoir effectuer une analyse

¹ La règle de correspondance <bon ; ↔> = « beaucoup » ne s'applique sans doute pas aux phénomènes ayant une connotation négative, tels que la *Criminalité* et les *Nuisances*. Si une telle condition initiale est proposée par un acteur pour l'un ou l'autre de ces phénomènes, il importe de lui demander de spécifier son point de vue. Mais on peut penser que selon l'acceptation commune, cette condition signifie que le phénomène est de faible amplitude et qu'il faut le stabiliser ainsi. Dans ce cas, comme les règles de modélisation des relations, présentées à l'équation 7.1, ne prennent pas en compte de telles exceptions, il convient, avec l'accord de l'acteur, de modifier la tendance souhaitée du phénomène et de la minimiser pour être cohérent.

statistique des modèles et réaliser des regroupements en vue d'une représentation collective (cf. section 7.5). Par exemple, au modèle de la figure 7.6, correspond la matrice structurale donnée à la figure 7.8.

Mathématiquement, la matrice structurale est définie de la façon suivante.

Nous considérons un ensemble de Phénomènes : $Ph_k, k = 1, \dots, K$.

La matrice structurale¹ S phénomène \times phénomène est de dimension $K \times 2K$. Le '2K' s'explique par un dédoublement des colonnes de la matrice, afin de distinguer si la relation est concordante ou discordante.

Les valeurs des éléments s_{ij} de la matrice S sont définies ainsi :

$$S : s_{ij} = \{0, 0.5, 1\}, \quad i : 1, \dots, K, \quad j : 1, \dots, 2K$$

Où 0 : absence de relation entre Ph_i et Ph_j

0.5 : présence de relation de crédibilité *faible* entre Ph_i et $Ph_j, i \neq j$

1 : présence de relation de crédibilité *forte* entre Ph_i et $Ph_j, i \neq j$

Afin d'améliorer la visibilité de la représentation et pour faire le lien avec le schéma causal, les relations concordantes sont symboliquement signalées en bleu et les relations discordantes par une couleur rouge.

U _i	Niv	Empl	Scol	Mix	Vieillis	Im	ExJ	Crim	Démo	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Dens	Etat	Sloc	Ssant	Srég	Env	Nuis	S _k		
Niv																										
Empl																										
Scol																										
Mix																										
Vieil																										
Im																										1.5
ExJ																										
Crim																										
Démo																										
Fém																										
Aut																										
Traf																										4
TP																										3
Piét																										
L. indiv.																										
L. coll.																										
Dens																										
Etat																										
Sloc																										
Sant																										
Srég																										
Env																										
Nuis																										
S _k					1	0.5					1		1	1	1							1	1	1		

Légende

		Relation	
		Concordante	Discordante
Crédibilité	1		
	0.5		

Figure 7.8 : Matrice structurale de l'acteur U₁.

¹ Rappel mathématique, la notation en gras se rapporte à la forme matricielle, par opposition à la forme scalaire.

7.4.3 Analyse d'un modèle systémique de phénomènes

Ce paragraphe propose une démarche d'analyse d'un modèle exprimé par un acteur en se basant sur le modèle relationnel et la matrice structurale associée. Cette analyse vise à caractériser les éléments de la compréhension du système telle qu'exprimée par l'acteur. Cela est réalisé à travers deux démarches d'analyse complémentaires : l'analyse globale statistique d'un modèle met en évidence les raisons d'un acteur et l'analyse détaillée qualitative fait ressortir des mécanismes causaux significatifs dans la représentation systémique.

Analyse globale: émergence des raisons

Les phénomènes ne doivent pas être considérés indépendamment les uns des autres. Il convient d'analyser la **place et le rôle** de chaque phénomène dans les cheminements causaux du système. Autrement dit, les phénomènes ne sont pas tous d'égale importance, mais certains se démarquent des autres, par rapport à leur positionnement dans le système. L'avantage de considérer un système de phénomènes interreliés est de pouvoir identifier les phénomènes et les relations critiques du système [Malkina-Pykh, 2002 ; Meadows, 1998]. Nous mettons en évidence ces phénomènes critiques par le nombre de relations qu'ils génèrent ou reçoivent. De ce point de vue, l'interprétation d'un modèle consiste à distinguer deux types de phénomènes.

Phénomènes stratégiques ou leviers d'actions

Ce sont les phénomènes qui génèrent un nombre important de relations. Cet aspect exprime des axes stratégiques. Dans une phase d'action, en aval du processus de décision, il faudrait intervenir en priorité, selon les acteurs, sur de tels leviers d'action [Meadows, 1998] pour faire évoluer globalement le système vers les finalités.

Mathématiquement, l'importance stratégique d'un phénomène k est mise en évidence par le nombre total des relations partantes, c'est-à-dire la somme des colonnes de la matrice structurale :

$$s_{k.} = \sum_{j=1}^{2K} s_{kj} \quad (\text{équ. 7.2})$$

Où $s_{k.}$: somme des colonnes de la matrice S pour un phénomène k

Nous convenons que les phénomènes stratégiques correspondent à un groupe réduit de phénomènes dont la somme des colonnes de la matrice est significativement plus grande que celle des autres phénomènes. Autrement dit, il doit avoir un saut quantitatif entre la somme du phénomène situé en dernière position du groupe stratégique et celle du premier phénomène appartenant au groupe des phénomènes non sélectionnés.

Pour l'acteur U_1 (tableau 7.5), seul trois phénomènes génèrent des relations, et la somme de leur colonne n'est pas significativement différente. Ils peuvent être considérés tous trois comme phénomènes stratégiques. Autrement dit, il faudrait agir en priorité, selon l'acteur, sur les phénomènes suivants pour faire évoluer le système dans la bonne direction par rapport à ses finalités (parmi lesquelles, celle de promouvoir l'écomobilité) :

- Le *Trafic* (4 relations partantes) constitue un frein à l'écomobilité et une source de nuisances pour l'environnement.
- Les *Transports publics* (3) sont un moyen d'émancipation pour la femme n'ayant pas de voiture, ils facilitent les accès aux services, et contribuent rétroactivement à réduire l'usage de la voiture.

Phénomènes sensibles

Ce sont les phénomènes qui reçoivent beaucoup de relations, c'est-à-dire qu'ils sont très influencés par d'autres phénomènes. Ce sont des phénomènes dits d'effet qui reflètent les conséquences d'interventions ou d'actions et sont donc significatifs du fonctionnement du système [Merkle et Kaupenjohann, 2000].

Mathématiquement, la sensibilité d'un phénomène k est mise en évidence par le nombre total des relations arrivantes, c'est-à-dire la somme des lignes de la matrice structurale :

$$s_{.k} = \sum_{i=1}^K s_{ik} \quad (\text{équ. 7.3})$$

Où $s_{.k}$: somme des lignes de la matrice S pour un phénomène k

Nous convenons également que le groupe de phénomènes sensibles est constitué de phénomènes ayant une somme des lignes significative.

Dans l'exemple considéré, aucun phénomène ne se démarque des autres sur cet aspect, car les phénomènes reçoivent au maximum une seule relation et ne peuvent être significativement considérés comme sensibles.

En conclusion de cette analyse statistique globale, les relations causales permettent de hiérarchiser les phénomènes, par rapport au nombre de relations qu'ils génèrent ou reçoivent. Les phénomènes critiques révèlent les éléments importants à considérer, pour les acteurs qui les expriment, dans un diagnostic. Ils fondent ainsi les **raisons** et les enjeux défendus par les acteurs. En effet, pour faire évoluer le système urbain vers les finalités souhaitées, il faudrait agir, selon eux, sur ces nœuds directement (phénomènes stratégiques) ou indirectement par l'intermédiaire d'autres phénomènes (phénomènes sensibles).

Analyse détaillée du modèle

Afin d'enrichir la méthode d'analyse, il est opportun de l'ouvrir à des modèles proposés par d'autres acteurs. L'objectif n'est pas d'effectuer une analyse approfondie des seize modèles proposés, mais de relever certains mécanismes représentatifs de la compréhension individuelle de la réalité urbaine, comme cela avait été effectué pour le précédent cas à Genève. L'ensemble des modèles proposés par les seize acteurs se trouve à l'Annexe III.

Tout, d'abord le modèle peut laisser apparaître des **aspirations contradictoires** entre des tendances désirées et le fonctionnement du système qui émerge de la modélisation globale. Par exemple, l'acteur U_7 souhaite en même temps maximiser les *Services locaux* et minimiser le *Logement individuel* pour densifier le quartier. Cependant, en analysant la relation entre les deux phénomènes, il perçoit un mécanisme possible de « gentrification » : une amélioration des conditions environnantes (telles que l'aménagement de nouveaux commerces) peut augmenter la demande en logement individuel et donc leur prix, ce qui se traduit par une relation concordante [Des Rosiers et al., 2002]. Cela illustre qu'il peut être judicieux d'optimiser la situation du point de vue d'un phénomène, mais ses conséquences sur les autres éléments du système peuvent être nuisibles. Autre exemple, l'acteur A_8 souhaite d'une part maximiser l'*Immigration*, d'autre part minimiser la *Criminalité*. La relation perçue entre ces deux phénomènes est pourtant concordante : une augmentation de l'*Immigration* risque, selon lui, d'augmenter la *Criminalité*. En mettant en relation leurs aspirations, l'exercice de modélisation permet de faire prendre conscience aux individus de certaines contradictions, sur lesquelles il s'agit d'établir un compromis. Ainsi, dans la perspective d'une deuxième rencontre, l'acteur U_7 , en prenant connaissance de son modèle, peut réaliser qu'il faut

développer les services locaux jusqu'à un certain niveau, afin de ne pas encourager la construction d'un trop grand nombre de logements individuels.

L'analyse systémique s'intéresse aussi à mettre en évidence les **rétroactions** négatives ou positives perçues par un individu. Ces rétroactions peuvent être soit *directes* comme c'est le cas de la relation *Trafic* ↔ *TP* proposée par l'acteur U_1 , ou encore celle *Emploi* ↔ *Services locaux* : plus d'emplois dans le quartier favorise l'implantation de nouveaux services car il y a un potentiel de clients plus important, et ces services créent en même temps des emplois. Ou bien, les rétroactions sont parfois *indirectes*, faisant intervenir des mécanismes plus complexes, par exemple celui proposé par l'acteur A_9 :



Figure 7.9 : Mécanisme complexe, impliquant à la fois une rétroaction positive directe entre *Emploi* et *Démographie* et une rétroaction positive indirecte entre *Emploi* et *Environnement*.

Selon l'acteur, une amélioration des conditions de l'Emploi contribue à une croissance Démographique (en attirant des nouvelles populations), à attirer en conséquence des Services locaux et à améliorer la qualité de l'Environnement (indirectement en créant des cheminements « verts » pour accéder aux services), ce qui favorise en définitive l'implantation de nouveaux Emplois.

Il convient de préciser que ce mécanisme n'a pas été proposé directement par l'acteur. Mais c'est la superposition des feuillets individuels qui a permis de faire émerger explicitement ce mécanisme, a priori intuitif.

7.4.4 Evaluation de la méthode de conception

Apports

(i) Par rapport à Genève, **les outils de modélisation ont été renforcés**. La question de l'existence des relations n'est pas posée directement, mais la démarche de conception est progressive, dans une optique constructiviste. L'acteur pose d'abord des conditions initiales sur chacun des phénomènes. Ces derniers sont considérés à tour de rôle comme sources potentielles d'évolutions sur les autres phénomènes. L'intégration de l'ensemble des informations apportées par l'acteur permet en définitive de faire émerger un modèle systémique de phénomènes interreliés.

Dans cette interface, l'utilisation de seuils ordinaux présente l'avantage d'enrichir et nuancer la description des relations, contrairement aux relations binaires concordantes ou discordantes directement exprimées par les acteurs à Saint-Jean. De telles relations qui expriment l'idée d'augmentation ou diminution semblent en effet moins intuitives que la notion d'amélioration ou détérioration, plus proche des perceptions des gens.

Par ailleurs, le recours au support informatique facilite la représentation symbolique et permet d'automatiser certaines procédures, telles que les transitions d'état et l'élaboration du modèle causal. Cette interface a pu être utilisée facilement par certaines personnes. Mais pour d'autres, peu familiarisées avec l'informatique, l'ordinateur constituait une barrière technologique. De ce point de vue, les entretiens ont souligné l'importance de la personne d'étude qui apporte une richesse d'interaction qu'aucun système informatique n'est capable de produire [Roche et Hodel, 2004].

(ii) La forme graphique du modèle causal constitue un support pour **communiquer** la représentation que se construit un acteur de la réalité urbaine perçue et l'échanger avec les

autres, dans le cadre d'un processus de concertation. En outre, lorsque le modèle contient beaucoup de relations, son interprétation est difficile, comme on peut le constater sur certains modèles individuels présentés à l'Annexe III (p. ex. le modèle de l'acteur A₉). La forme matricielle permet alors de donner une vision globale, en représentant les principaux axes liés aux phénomènes qui génèrent ou reçoivent beaucoup de relations.

Limites

(i) Le **choix des enjeux et des phénomènes** de départ, autrement dit le choix du contenu de la problématique, est central dans un processus de décision et de planification. En effet, il détermine et conditionne fortement les modèles de représentation et les décisions qui en découlent. Ce choix, dans le cadre de l'étude menée à Québec, a été réalisé par la personne d'étude elle-même, d'après une analyse de la littérature sur les problématiques des banlieues. Cela est contestable, car des phénomènes jugés centraux ou critiques par les acteurs et qui sont porteurs d'enjeux, peuvent être occultés n'étant pas inclus dans l'ensemble de départ.

Par conséquent, dans l'optique d'une démarche réellement participative, il conviendrait d'impliquer les acteurs dès la phase du choix des phénomènes de base, afin que les modèles conceptuels de phénomènes ensuite construits reflètent plus fidèlement leurs représentations du système urbain. Les enjeux et phénomènes peuvent être dérivés des préoccupations, telles que celles récoltées dans la démarche de diagnostic à Genève (ch. 6.1). Une telle démarche participative sur cette étape, de même que sur les suivantes n'a pas pu être mise en œuvre à Québec étant donné le temps et les moyens limités. Enfin, dans une perspective constructiviste, la possibilité pourrait être donnée aux acteurs, durant les entretiens, d'ajouter de nouveaux phénomènes.

(ii) L'approche constructiviste implique aussi un **apprentissage** sur la complexité (capacité de distanciation) qui prend du temps. Un seul entretien d'une heure avec les acteurs ne suffit pas pour mettre en œuvre un tel processus. Une ou plusieurs rencontres supplémentaires avec chacun des acteurs seraient sans doute nécessaires pour leur permettre de prendre connaissance du modèle qu'ils ont exprimé et de modifier éventuellement leurs opinions (raisons).

(iii) Les mécanismes qui se déroulent sur les phénomènes ont été généralisés sur l'ensemble de Duberger, alors que ce quartier est hétérogène. Il se distingue en effet par les secteurs Est et Centre, zones aisées, respectivement défavorisées. De ce point de vue, l'ensemble des acteurs interrogés ont plutôt considéré un sous-système spatial, celui du secteur Centre, plus représentatif des problématiques du quartier. Par conséquent, l'**unité spatiale** retenue pour l'étude, celle de Duberger, ne semble pas être reconnue par les acteurs. Cela montre une fois de plus qu'un critère strictement administratif (celui du quartier) n'est pas suffisant pour définir une unité spatiale cohérente.

(iv) Comme le relève Flourentzou [2001], **les termes attribués aux seuils** ont plus d'importance que l'on pense sur le plan cognitif. Car la signification du terme a une influence sur l'attitude de l'acteur lors de l'entretien. Le terme « incertain » est plus approprié que « moyen », car il permet de relever l'insuffisance des raisons pour classer un phénomène, soit dans le « bon », soit dans le « mauvais ». D'ailleurs, lorsque les acteurs indiquaient une situation « moyenne » pour un phénomène donné, ils révélaient, plus ou moins explicitement à travers leur discours, qu'ils n'avaient pas une réelle idée de la situation. « Incertain » reflète donc plus ce comportement. Par ailleurs, les termes « favorable » et « défavorable » [Flourentzou, 2003], par rapport à « bon » et « mauvais », permettent d'établir un lien plus direct avec les tendances souhaitées.

En définitive, dans la synthèse méthodologique (ch. 9), nous proposerons l'ensemble suivant pour décrire la situation d'un phénomène :

{favorable, incertain, défavorable}

(v) Enfin, la **modélisation conceptuelle** (relation concordante/discordante) est une **abstraction** utile pour intégrer les modèles partiels (feuilletés). Cependant, elle suppose que les relations soient invariantes et aient lieu dans n'importe quelle condition. Elle ne permet pas de prendre en compte toute la richesse de l'information exprimée lors de la conception par un acteur, notamment les mécanismes non linéaires du système, tels que l'intensité des relations (un changement de deux états pour un état) et l'inversion de tendance (une relation peut être concordante ou discordante seulement dans un intervalle de temps donné, mais non indéfiniment).

Par exemple, des acteurs ont perçu une inversion de tendance possible par rapport à certaines relations, comme pour la *Mixité* et *Immigration* dans le système proposé par U_1 . De même, selon l'acteur U_5 , les *Aménagements piétons* permettent de contrebalancer le *Trafic* jusqu'à un certain point. En effet, un centre piétonnier peut devenir très attractif, notamment s'il y a des commerces et attirer des personnes provenant en voiture d'autres quartiers. Cela met en évidence, qu'à travers certaines mesures dans un système donné, l'on peut déplacer le problème en dehors des limites du système.

Malgré les limites liées à la perte de richesse d'informations sur la complexité de la réalité (cette perte étant le propre de tout modèle), l'accent est mis dans la présente recherche sur la modélisation structurelle causale. Celle-ci constitue en effet, un support très utile pour formaliser une représentation du fonctionnement potentiel du système urbain, selon le point de vue d'un acteur, identifier ses raisons et motivations dans le processus de décision, et les communiquer aux autres acteurs.

A titre exploratoire, une représentation du fonctionnement dynamique du système urbain est modélisée, en Annexe IV, en utilisant l'approche QSIM introduite au chapitre 4.3.3. Le modèle qualitatif dynamique présente l'avantage de valoriser l'ensemble des informations apportées par les acteurs lors de la démarche de conception et de rendre compte davantage de leurs visions prospectives du territoire. Le modèle se base pour cela sur trois *inputs* : conditions initiales, transitions d'état entre phénomène, relations causales concordantes ou discordantes. Un concept d'interface est proposé pour communiquer les résultats de la modélisation, dans l'optique de permettre aux acteurs d'échanger leurs visions. Cependant la démarche est, au stade de la recherche, relativement complexe et il subsiste encore beaucoup d'incertitude sur son utilisabilité dans les processus participatifs.

7.5 Représentation collective

7.5.1 Nécessité d'un regroupement pour simplifier le débat

Le processus de concertation résulte d'une double dynamique de différenciation et d'intégration vue en théorique (au chapitre 5.2). La diversité des modèles de représentation élaborés à travers les démarches d'entretien individuel exprime le premier type de dynamique. Les forces d'intégration impliquent de pouvoir rapprocher les représentations, les compréhensions de la réalité complexe. Comme il a été vu au chapitre 5, un rapprochement est envisageable s'il est possible d'identifier des espaces communs, en l'occurrence les raisons ou enjeux, sur lesquels il peut être effectué.

Cette identification pourrait être réalisée à travers un processus de délibération, dans lequel les acteurs échangent leurs points de vue, en communiquant leur modèle systémique de

phénomènes, pour faire émerger ensuite des mécanismes causaux sur lesquels ils sont d'accord. Cela est facilement envisageable dans un petit groupe d'acteurs, tel que celui présenté dans l'expérience de Genève. Or dans un processus qui intègre un nombre important d'acteurs (ce qui est déjà le cas à Québec avec 16 acteurs) dont les profils sont variés, il est sans doute difficile d'identifier *a priori* des éléments communs à l'ensemble des acteurs. Nous proposons alors de clarifier et simplifier le débat en identifiant au préalable un nombre limité de groupes d'affinités ou de modèles. On suppose ainsi que le débat sera facilité s'il est établi autour de ces groupes, plutôt que de confronter chacun des modèles individuels. De cette façon, la discussion est structurée en deux étapes : à l'intérieur des groupes, puis entre les groupes (figure 7.10).

Comment établir des groupes d'acteurs sur la base de leur modèle de représentation ? A nouveau, on peut envisager un processus de délibération, où au fil de la discussion, émergent des alliances, des affinités. Mais nous proposons au préalable de faciliter ce regroupement en effectuant une classification des modèles (section 7.5.2) à l'aide d'outils statistiques. Puis, nous faisons ressortir par groupe de modèles les éléments convergents et divergents aussi bien sur les conditions initiales des phénomènes (7.5.3) que sur les relations des modèles conceptuels. Ces éléments permettent d'une part de caractériser les différents types de modèle par groupe, d'autre part de délimiter un espace de discussion dans lequel seront définis des indicateurs pertinents en vue d'un diagnostic (chapitre 8).

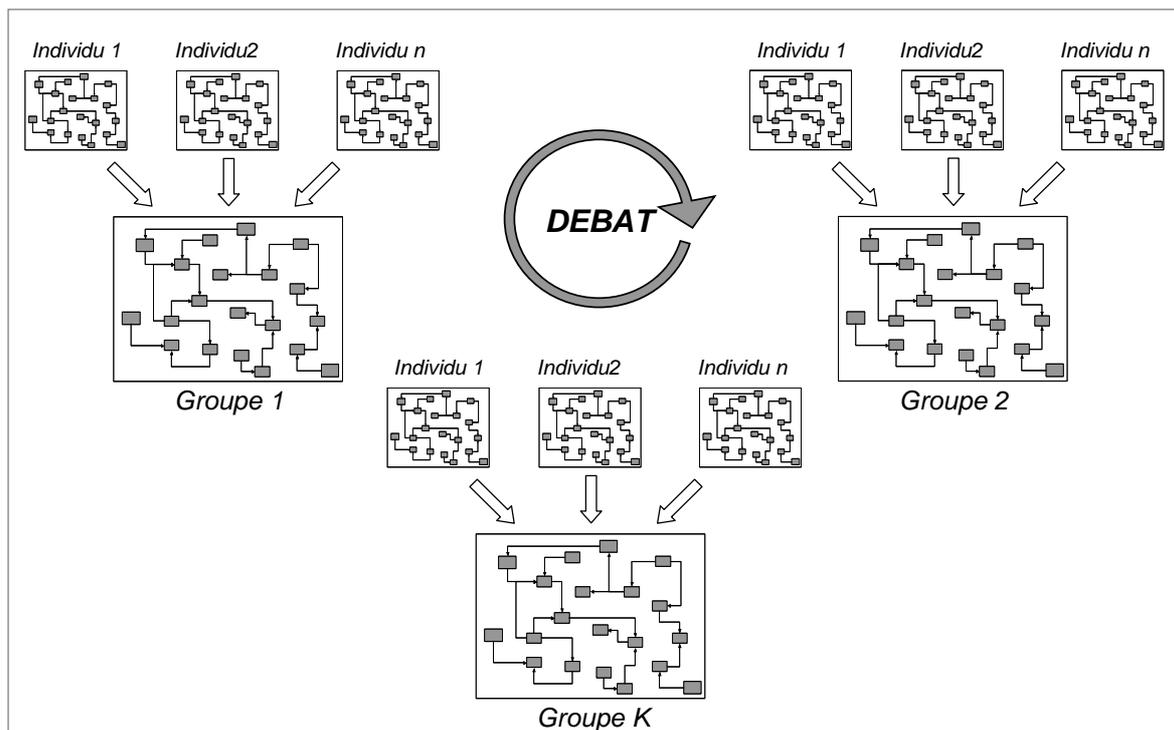


Figure 7.10: Cadre de concertation autour d'un nombre limité de représentations collectives issues de rapprochement de modèles individuels.

En définitive, le recours à des outils analytiques ne vise pas à se substituer au débat, mais plutôt à l'accompagner et à le soutenir, à fonder un processus de reconstruction collective en fournissant des éléments de départ à la discussion.

7.5.2 Classification statistique des modèles conceptuels de phénomènes

La classification statistique des modèles de phénomènes, construits par les acteurs, consiste à créer des groupes dans lesquels la dissemblance entre les modèles est globalement minimale

du point de vue d'un ensemble de critères. Les concepts théoriques de la classification statistique sont présentés à l'Annexe V.

Choix des critères

Les critères reprennent les éléments de contenu des modèles de représentation. Ils couvrent aussi bien les aspects liés aux phénomènes (conditions initiales) que les relations causales. Les critères ainsi que les questionnements qu'ils impliquent sont les suivants :

1. Situation initiale : les acteurs perçoivent-ils la situation des phénomènes de la même manière ?
2. Tendance souhaitée : ont-ils les mêmes intentions par rapport aux phénomènes ?
3. Relations partantes : sont-ils d'accord sur les mêmes phénomènes stratégiques ?
4. Relations arrivantes : sont-ils d'accord sur les mêmes phénomènes sensibles ?
5. Occurrence des relations : sont-ils d'accord sur les mêmes relations ?

Elaboration d'une matrice de dissimilarité

Les dissemblances ou dissimilarités entre les modèles sont synthétisées dans une matrice symétrique *modèle x modèle*, à partir de laquelle est effectuée la classification.

L'élaboration de la matrice de dissimilarité repose sur trois ensembles :

- Phénomènes : Ph_k , $k = 1, \dots, K$
- Critères : C_l , $l = 1, \dots, L$
- Modèles : M_m , $m = 1, \dots, M$

Elle est réalisée à travers deux étapes distinctes : une matrice de dissimilarité (appelée différence globale) est calculée séparément pour chacun des 5 critères C_l présentés ci-dessus, puis les matrices sont agrégées selon une procédure multicritère.

Dans le cas de Québec, Ph_k sont les 23 phénomènes présentés en début de chapitre et M_m sont les 16 modèles conceptuels de phénomènes proposés par les 16 acteurs.

Matrices de différences partielles et globales pour chaque critère

Pour les quatre premiers critères, la procédure de construction d'une matrice de différence globale est la suivante (la procédure utilisée pour le cinquième critère sera détaillée plus loin) :

- la **matrice de départ**, pour un critère l ($1, \dots, 4$), est une matrice *modèle x phénomène*.
- Sur chaque phénomène k d'un critère l , calcul des **différences partielles P** entre les valeurs d'un modèle A et d'un modèle B :

$$P_{A-B,k} = |M_A - M_B|_k, \text{ où } A \neq B \text{ et } A, B : 1, \dots, M \quad (\text{éq. 7.4})$$

Le résultat est constitué d'un ensemble de matrices symétriques *modèle x modèle*, pour chaque phénomène.

- Sur chaque critère l , calcul des **différences globales G** obtenue en additionnant les valeurs de différence partielle sur les phénomènes k :

$$g_{A-B,l} = \left[\sum_{k=1}^K p_{A-B,k} \right]_l, \text{ où } A \neq B \text{ et } A, B : 1, \dots, M \quad (\text{éq.7.5a})$$

Au niveau matriciel : $\mathbf{G}_l = (\sum_k \mathbf{P})_l$ (éq. 7.5b)

L'élaboration d'une matrice de différence globale est détaillée ci-après pour chaque critère.

i) Situation initiale

Rappelons que la situation initiale (telle que perçue à l'état actuel) est définie par trois états possibles : *mauvais*, *moyen*, *bon*. Une quatrième possibilité consiste à ne pas prendre position (*aucun*). Pour chaque phénomène, la valeur de différence partielle entre deux modèles, sur une échelle entre 0 et 1, est établie par la matrice suivante :

		Modèle B				
		Phénomène k	mauvais	moyen	bon	aucun
Modèle A	mauvais		0	0.5	1	0.75
	moyen		0.5	0	0.5	0.5
	bon		1	0.5	0	0.25
	aucun		0.75	0.5	0.25	0

Tableau 7.5 : Valeurs de différences partielles pour le critère situation initiale.

Pour deux états identiques, la différence partielle entre les acteurs est évidemment nulle et la similarité donc maximale. A l'inverse, la différence entre *mauvais* et *bon* est maximale et donc égale à 1. Entre ces deux extrêmes, les différences *moyen* – *mauvais* et *moyen* – *bon* sont semblables sur le plan ordinal (0.5). En outre, il est plus difficile d'établir une valeur pour les différences entre *aucun* état et les autres états. Cela revient à se poser la question de ce que veut signifier un individu, en ne se prononçant pas sur un phénomène donné. Face à cette incertitude, nous pouvons nous référer l'expérience menée à Québec. En effet, en observant le comportement des personnes interrogées, celles-ci semblaient souvent hésiter entre l'état *bon* ou ne rien proposer. En d'autres termes, le fait de ne pas prendre position sur un phénomène semble indiquer que la situation, du point de vue du phénomène, n'est pas importante à considérer ou peu préoccupante, ce qui revient à dire que la situation est plutôt favorable. A l'inverse, si la différence entre *aucun* et *bon* est faible (0.25), alors la différence avec *mauvais* devrait être assez importante (0.75), avec toutefois un niveau d'incertitude élevé. En revanche, il est difficile de statuer sur une valeur pour la différence avec *moyen*. Une valeur neutre (0.5) est alors choisie par défaut.

La différence globale entre deux modèles A et B est ensuite calculée en additionnant ces valeurs partielles sur l'ensemble des phénomènes, selon l'équation 7.5, pour obtenir enfin une seule matrice globale pour le critère considéré.

ii) Tendance

Quatre possibilités se présentent : *maximiser*, *minimiser*, *stabiliser*, ne rien mettre (*aucune* tendance). La matrice de différences partielles est présentée au tableau 7.6. Le choix des valeurs est établi selon le même raisonnement que pour le critère précédent. L'incertitude est élevée pour la différence entre la tendance *aucune* et les autres. En se référant à l'expérience de Québec, le fait de ne pas prendre position semble relativement équivalent à affirmer que la situation du point de vue du phénomène ne nécessite pas un changement particulier. De ce point de vue, la différence entre *aucune* et *stabiliser* peu être considérée comme étant faible

(0.25). A l'opposé, les différences avec *minimiser* et *maximiser* peuvent être considérées comme plus importantes (0.75).

		Modèle B			
Modèle A	Phénomène k	minimiser	stabiliser	maximiser	aucune
	minimiser	0	0.5	1	0.75
	stabiliser	0.5	0	0.5	0.25
	maximiser	1	0.5	0	0.75
	aucune	0.75	0.25	0.75	0

Tableau 7.6 : Valeurs de différences partielles pour le critère tendance.

iii) Relations partantes (leviers d'action)

Pour chaque modèle d'un acteur et chaque phénomène, on calcule la somme des relations partantes du phénomène *k*, c'est-à-dire la somme des colonnes *j* de la matrice structurale *phénomène x phénomène*. Puis cette somme est divisée par le nombre total de relations (R) exprimées par l'acteur. En effet, si deux modèles expriment la même somme de relations partantes sur un même phénomène, mais se différencient par R, cette somme sera plus significative pour le modèle dont R est plus faible. Ainsi, cette normalisation permet de comparer les modèles sur des bases communes.

La différence partielle *p* entre A et B pour chaque phénomène est le résultat d'une soustraction en valeur absolue des sommes relatives. En considérant l'ensemble de ces étapes et en se référant aux équations 7.4 et 7.5a, nous proposons de calculer la différence globale *g* pour le critère considéré et les *k* phénomènes, ainsi :

$$g_{A-B,l=3} = \sum_{k=1}^K \left| \left[\frac{S_{k\cdot}}{R} \right]_A - \left[\frac{S_{k\cdot}}{R} \right]_B \right|_{l=3} \quad (\text{équ. 7.6})$$

Où $g_{A-B,l=3}$: différence globale entre le modèle A et B pour le critère *Relations partantes* (l=3)

$S_{k\cdot}$: somme des colonnes de la matrice structurale pour un phénomène *k* (cf. équation 7.2)

R : somme des lignes et des colonnes de la matrice : $R = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{2K} s_{ij}$ (équ. 7.7)

iv) Relations arrivantes (points sensibles)

Ce critère se calcule exactement de la même manière que le critère précédent, si ce n'est qu'on considère la somme des relations arrivantes, c'est-à-dire la somme des lignes *i* de la matrice :

$$g_{A-B,l=4} = \sum_{k=1}^K \left| \left[\frac{S_{\cdot k}}{R} \right]_A - \left[\frac{S_{\cdot k}}{R} \right]_B \right|_{l=4} \quad (\text{équ. 7.8})$$

Où $g_{A-B,l=4}$: différence globale entre le modèle A et B pour le critère *Relations arrivantes* (l=4)

$s_{\cdot k}$: somme des lignes de la matrice structurale pour un phénomène *k* (cf. équation 7.3)

v) Nombre de relations identiques

Ce critère évalue le nombre de relations identiques exprimées par deux acteurs. Pour que deux relations soient jugées identiques, elles doivent à la fois relier la même paire de phénomènes, dans la même direction (sens de la flèche) et dans le même sens (concordant, discordant). Le calcul de ce phénomène nécessite de distinguer plusieurs étapes :

1. Chaque modèle de phénomènes interreliés exprimé par un acteur est formalisé et représenté à l'aide de la matrice structurale \mathbf{S} du système.
2. On vérifie uniquement si les relations sont identiques entre deux modèles, sans considérer le degré de crédibilité des relations. Ainsi, pour ce critère, les matrices structurales sont binaires : $s_{ij} = \{0, 1\}$.
3. Constitution de paires de modèles A-B. Pour M (=16) modèles, il y a M(M-1)/2 paires possibles, soit 120 dans notre cas. Pour chaque paire, on fait la somme des matrices structurales :

$$\mathbf{S}_{A-B} = \mathbf{S}_A + \mathbf{S}_B \quad (\text{éq. 7.9})$$

4. Les éléments s_{ij} de \mathbf{S}_{A-B} sont égaux à 2 s'il y a des relations identiques entre A et B, à 1 ou 0 sinon. Il convient de conserver la forme binaire de la matrice et de mettre en évidence les croisements non nuls en la transformant avec la condition suivante :

$$\text{Si } s_{ij} = 2, \text{ Alors } s_{ij}' = 1, \text{ Sinon } s_{ij}' = 0$$

On obtient alors la matrice transformée, binaire : \mathbf{S}_{A-B}'

5. On évalue le taux de relations identiques i en additionnant les éléments de s_{ij}' et en divisant la somme par le nombre total de relations exprimées par A et B :

$$i_{A-B} = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{2K} s_{ij,A-B}'}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{2K} s_{ij,A} + \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{2K} s_{ij,B}} \quad (\text{éq. 7.10})$$

La division par le nombre total de relations exprimées est effectuée pour les mêmes raisons évoquées que pour les deux critères précédents. En effet, la probabilité de relations identiques sera d'autant plus faible que le nombre total de relations est faible.

On obtient alors la matrice globale de relation identique pour ce critère :

$$\mathbf{I} : i_{A-B}, A \neq B, A, B: 1, \dots, M$$

Contrairement à la matrice \mathbf{G} pour les autres critères, \mathbf{I} est une matrice de *similarité*.

Élaboration d'une matrice globale de dissimilarité par agrégation multicritère

Il convient à présent d'agréger les 5 matrices globales de chaque critère (quatre matrices de distance et une matrice de similarité) pour obtenir une matrice globale de dissimilarité.

Il existe plusieurs techniques d'agrégation. La plus courante serait la moyenne, qui présente plusieurs inconvénients notamment le problème d'une compensation non contrôlée et l'exigence d'une échelle de valeur unique.

En conséquence, nous proposons d'utiliser les techniques Electre d'agrégation partielle et en particulier la *fonction de ressemblance* développée par Slowinski et al. [1994, cité par Joerin 1998] :

$$R_{A-B} = IC_{O_{A-B}} \prod_{l \in F} \frac{1 - ID_{A-B,l}}{1 - Co_{A-B}} \quad [\text{Slowinski et al., 1994}] \quad (\text{éq. 7.11})$$

Où R_{A-B} : Degré de ressemblance, compris entre 0 et 1, entre les modèles des acteurs A et B

$IC_{O_{A-B}}$: Indice de concordance globale pour l'ensemble des critères

$ID_{A-B,l}$: Indice de discordance pour le critère l

F: Sous-ensemble de la famille des critères, pour lesquels l'indice de discordance est supérieur à l'indice de concordance globale.

La concordance mesure les arguments en faveur de la ressemblance entre deux modèles comparés, alors que la discordance mesure les arguments qui s'y opposent [Joerin, 1998].

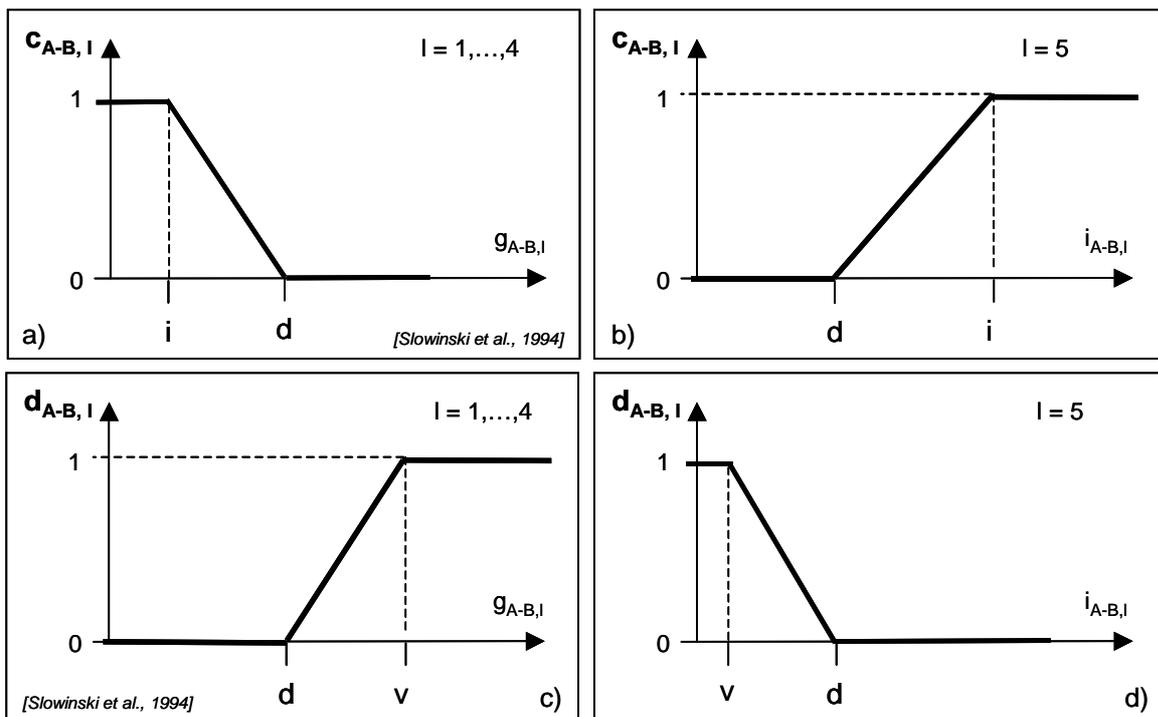
L'indice de concordance globale est défini ainsi :

$$ICo_{A-B} = \frac{\sum_{l=1}^L c_l \cdot P_l}{\sum_{l=1}^L P_l} \quad [\text{Slowinski et al., 1994}] \quad (\text{éq. 7.12})$$

Où $\{c_1, c_2, \dots, c_l\}$: concordance partielle pour chaque critère et P_l : poids du critère l

La matrice de *concordance* partielle pour chaque critère est construite à partir de la matrice de différence globale (critère 1 à 4) ou de similarité (critère 5) ; ceci, en transformant les valeurs selon une fonction *floue* bornée entre 0 et 1 et définie par un seuil d'indifférence i et un seuil de différence stricte d .

Les **fonctions de concordance** pour les critères respectifs sont données ci-dessous et représentées aux figures 7.11a et 7.11b :



Où c_{A-B} : valeur de concordance partielle entre A et B
 d_{A-B} : valeur de discordance partielle entre A et B
 g_{A-B} : différence globale entre A et B pour un critère $l = 1, \dots,$
 i_{A-B} : taux de relations identiques entre A et B pour le critère $l = 5$
 i, d, v : indice d'indifférence, indice de différence stricte, veto

Figure 7.11 : Fonctions de concordance et discordance.

La matrice de *discordance* se calcule de façon similaire en considérant une fonction de discordance définie par l'indice de différence stricte d et le seuil de veto v (figures 7.11c et d).

Dans le cadre de l'expérience menée à Québec, les paramètres choisis pour chaque critère sont représentés au tableau suivant :

	Etat	Tendance	Levier action	Pt sensible	Occurrence
Min	4.5	2	0	4.83	0
Max	12.5	10.75	5.17	14.48	0.21
Poids (P)	1	1	1	1	1
Indifférence (i)	4.8	2.5	0.7	5	0.2
Diff. stricte (d)	10	8	4	12	0
Veto (v)	14	11	6	15	-0.01

Tableau 7.7 : Paramètres choisis pour l'analyse multicritère de ressemblance.

Les valeurs d'indifférence (*i*), de différence stricte (*d*) et de veto (*v*) s'appuient sur une distribution des valeurs des matrices globales de chaque critère. Le poids est choisi initialement identique pour tous les critères. Les paramètres *i-d-v* du critère *Occurrence* évoluent dans le sens décroissant par rapport aux paramètres des autres critères, étant donné qu'il correspond à une matrice de similarité. Dans ce jeu initial de paramètre, l'effet du veto est limité pour tous les critères, car ses valeurs se situent au-delà des maximums. Il sera proposé plus loin une analyse de sensibilité de ces paramètres.

$R_{A,B}$ est une valeur de similarité ou de ressemblance entre les modèles A et B. Par conséquent, pour transformer cette valeur en une valeur globale *D* de dissimilarité, il s'agit d'appliquer l'opération suivante :

$$D_{A,B} = 1 - R_{A,B} \quad (\text{equ. 7.15})$$

La matrice **D**, qui évalue la dissimilarité globale entre chaque paire de modèles, est donnée en Annexe V (section C).

Classification hiérarchique ascendante

La classification s'effectue sur la base de la matrice **D** de dissimilarité issue de l'agrégation multicritère, en utilisant le logiciel SPLUS® (Annexe V).

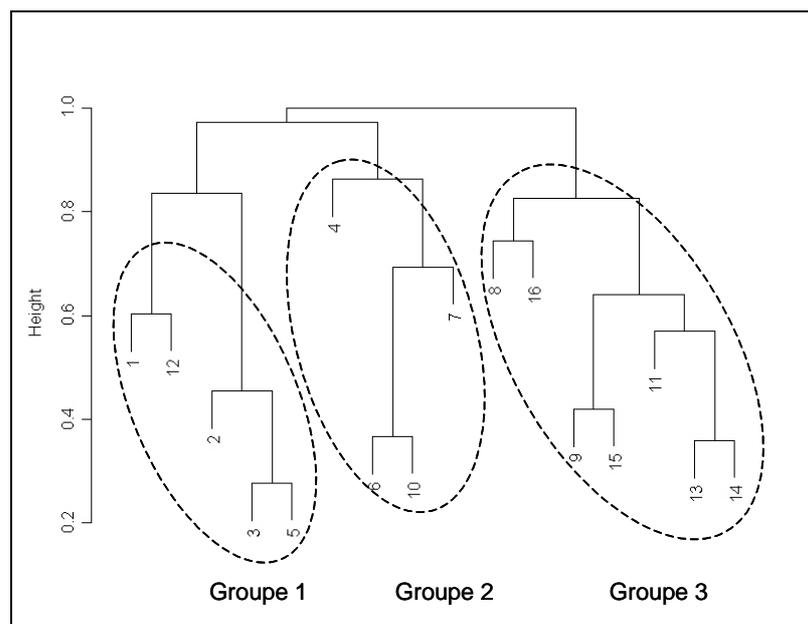


Figure 7.12 : Résultat de la classification des modèles d'acteurs.

Le résultat de la classification pour le jeu de paramètres donné ci-dessus, en utilisant comme critère d'agrégation la distance moyenne, est présenté à la figure 7.12.

Le terme « height » sur la figure correspond à l'*indice de niveau* permettant de mesurer et de représenter l'importance de la différence (dissemblance) entre les deux classes que l'on regroupe [Sanders, 1990]. Il est défini par la distance entre les deux classes formant un nœud. Par exemple, l'indice de niveau maximal du groupe 2, défini par le nœud entre l'acteur 4 et les autres membres, est égal à 0.83. Généralement, un groupe ne peut être établi de façon pertinente sur la base d'un indice de niveau trop élevé.

La figure permet d'identifier essentiellement trois groupes principaux (qui agrègent eux-mêmes des sous-groupes). La tolérance sur l'indice de niveau maximum déterminant la formation d'un groupe principal est élevée pour éviter la formation d'un trop grand nombre de groupes. Par conséquent, la classification à ce stade est relativement grossière.

Analyse de sensibilité

L'objectif de l'analyse de sensibilité est d'observer l'influence de la modification des nombreux paramètres qui ont été fixés pour la classification [Joerin, 1998]. Il est en effet utile de savoir quels paramètres ont le plus d'influence sur le résultat et quelle est la stabilité du résultat. En faisant varier les paramètres, il sera possible, en définitive, d'établir avec plus de certitude une classification des modèles.

	Etat	Tendance	Levier action	Pt sensible	Occurrence
Min	4.5	2	0	4.83	0
Max	12.5	10.75	5.17	14.48	0.21
P ₁	1	1	1	1	1
P ₂	1	1	2	1	2
I ₁	4.8	2.5	0.7	5	0.2
I ₂	4	1.8	0	4.2	0.3
D ₁	10	8	4	12	0
D ₂	9	7	3.5	10	0.01
V ₁	14	11	6	15	-0.01
V ₂	12	10	5	14	-0.001

Tableau 7.8 : variation de paramètres pour l'analyse de sensibilité.

Nous proposons trois éléments de variation par rapport aux paramètres indiqués dans le tableau 7.7 :

- Indices d'Indifférence (i) et de Différence stricte (d) plus sévère (plus près de 0)
- Veto (v) plus sévère, se situant en dessous des valeurs maximales
- Poids supérieur sur les critères *Levier d'action* et *Occurrence*, en supposant qu'ils sont probablement plus déterminants dans la caractérisation des modèles.

Cela correspond, dans le tableau 7.8, aux paramètres d'indice (2) en comparaison avec les paramètres initiaux (1).

En faisant varier tour à tour les différents paramètres (P, V et conjointement I et D), on obtient 8 résultats de classification possibles (tableau 7.9).

Variante	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
P ₁ V ₁ I-D ₁ ^a	U ₁ -U ₂ -U ₃ -U ₅ -A ₁₂	U ₄ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	
	0.84	0.86	0.83	
P ₁ V ₁ I-D ₂	U ₁ -U ₂ -U ₃ -U ₅ -A ₁₂	U ₄ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	
	0.97	0.98	0.97	
P ₁ V ₂ I-D ₁	U ₁ -U ₂ -U ₃ -U ₅ -A ₁₂	U ₄ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	
	0.89	0.91	0.88	
P ₁ V ₂ I-D ₂	U ₁ -U ₄	U ₂ -U ₃ -U ₅	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -A ₁₂ -H ₁₃ - H ₁₄ -H ₁₅ -H ₁₆	U ₆ -U ₇ -A ₁₀
	0.97	0.78	0.96	0.87
P ₂ V ₁ I-D ₁	U ₁ -U ₄ -A ₁₂	U ₂ -U ₃ -U ₅ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	
	0.93	0.86	0.82	
P ₂ V ₁ I-D ₂	U ₁ -U ₂ -U ₃ -U ₅ -A ₁₂	U ₄ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	
	0.96	0.98	0.96	
P ₂ V ₂ I-D ₁	U ₁ -A ₁₂	U ₂ -U ₃ -U ₅ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	U ₄
	0.59	0.92	0.70	-
P ₂ V ₂ I-D ₂	U ₁ -A ₁₂	U ₂ -U ₃ -U ₅ -U ₆ -U ₇ -A ₁₀	A ₈ -A ₉ -A ₁₁ -H ₁₃ -H ₁₄ - H ₁₅ -H ₁₆	U ₄
	0.79	0.86	0.91	-

Tableau 7.9 : Résultat de l'analyse de sensibilité.

^aClassification correspondant aux paramètres initiaux

Pour chacun des groupes est représentée dans la ligne inférieure l'indice de niveau maximum.

Les remarques peuvent être formulées sur cette analyse de sensibilité :

- Le Poids semble être le paramètre le plus sensible. En outre, le Poids 2 donne des résultats peu satisfaisants, étant donné que les individus sont répartis de façon peu équilibrée entre les groupes (P₂ V₁ I-D₁ : trois individus dans le groupe 1, contre sept dans le groupe 3).
- La variation des seuils I-D-V ne change pas sensiblement le résultat. Cependant, des seuils plus sévères rendent la formation de groupes plus difficile, ce qui se traduit par une augmentation de l'indice de niveau maximal pour un même groupe. A tel point, qu'une combinaison de I-D-V sévères provoque un éclatement des groupes pour former quatre groupes.
- Les modèles des individus U₄, A₈ et H₁₆, sont les plus marginaux. Dans toutes les situations, ils sont intégrés aux groupes principaux tardivement avec un indice de niveau élevé. Par ailleurs, l'individu U₄ est fortement « baladeur » parmi les différentes classifications, c'est-à-dire le moins stable. Une telle classification permet d'identifier les acteurs qui auront sans doute plus de difficulté à adopter une position commune avec les autres membres du groupe auxquels ils sont rattachés faiblement.

Globalement, l'analyse de sensibilité montre que le processus de classification est relativement peu sensible, étant donné que la variation du résultat est de faible ampleur, particulièrement pour le groupe 3 qui est très stable. En définitive, la classification obtenue avec le premier jeu de paramètres est relativement stable, car elle se reproduit à quatre reprises parmi les huit résultats. Cette classification sera donc celle retenue par la suite.

7.5.3 Analyse de convergence et de divergence sur les conditions initiales

Pour rappel, la condition initiale d'un phénomène est un ensemble de deux valeurs : tendance souhaitée et situation initiale. Bien que ces deux aspects aient constitué des critères de ressemblance dans la classification des modèles d'acteurs, des divergences peuvent subsister entre les acteurs du groupe. On cherchera alors à déterminer quels sont les phénomènes pour lesquels les acteurs d'un groupe sont globalement d'accord et lesquels suscitent des divergences. L'analyse de divergence sera centrale dans cette section, car elle permet de mettre en évidence les éléments (phénomènes) sur lesquels une discussion est nécessaire et des indicateurs peuvent être proposés pour soutenir et gérer la discussion.

Analyse des divergences

L'analyse de divergence porte sur les deux ensembles de valeurs suivants :

- Sur la **tendance souhaitée** définie par l'ensemble $\{\downarrow, \leftrightarrow, \uparrow, -\}$. La divergence est faible si certains acteurs d'un groupe souhaitent « stabiliser » un phénomène, tandis que d'autres souhaitent le « maximiser » ou « minimiser ». Elle est forte si la discussion porte sur le fait de « minimiser » ou de « maximiser » le phénomène, ce qui traduit des objectifs difficilement compatibles. Ces types de divergence traduisent des conflits sur les préférences des acteurs.
- Sur l'**amplitude** du phénomène qui est obtenu par le croisement de la tendance souhaitée et de la situation initiale¹ et définie par l'ensemble {Beaucoup, Moyen, Faible} (cf. tableau 7.4). La divergence est faible, si l'hésitation dans un groupe se situe entre « moyen » et « peu/beaucoup », et forte si l'hésitation se situe entre « peu » et « beaucoup ». Ces types de divergence traduisent des conflits sur la perception des faits réels.

La divergence pour un phénomène sera d'autant plus forte qu'elle porte sur les deux cas de figure à la fois.

Application dans le cadre de Québec

Le tableau 7.10 présente les conditions initiales superposées de chaque acteur. Les amplitudes individuelles des phénomènes sont représentées au tableau 7.11. Une analyse de convergence/divergence est proposée à l'intérieur des groupes, puis entre les groupes, en interprétant qualitativement les deux tableaux. Les phénomènes qui suscitent de fortes divergences par groupe sont reportés dans le tableau 7.12.

¹ Il ne serait pas opportun d'effectuer une analyse sur les situations initiales seules, car deux acteurs peuvent être d'accord sur une même situation initiale, mais pour des tendances souhaitées différentes. Par exemple, deux acteurs percevant la même situation d'un phénomène comme *mauvaise*, n'auront pas pour autant une position commune, si le premier veut maximiser le phénomène et le second le minimiser.

	Groupe 1					Groupe 2				Groupe 3						
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₅	A ₁₂	U ₄	U ₆	U ₇	A ₁₀	A ₈	A ₉	A ₁₁	H ₁₃	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆
Niveau de vie	-	↔	-	-	↑	↔	↑	↔	↔	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Mixité	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↔	↑
Criminalité	↓	-	↓	↓	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Emplois	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Autoroute	↑	↓	↓	↓	↔	↔	↔	↔	↔	↓	↔	↔	↓	↔	↔	↔
Piéton	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↔	↔
Immigration	↑	-	↑	↑	↑	↑	↔	↓	↔	↑	↑	↑	↔	↔	↑	↑
Scolarisation	-	↑	↑	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↑	-	↑	↓	↑	↑
Démographie	↔	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↔	↑	↑	↔	↑	↔	↑	↑	↑
Vieillis.	↓	-	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
TP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↔
Trafic	↓	↔	↓	↓	↓	↔	-	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↓	↔	↓
Féminisation	↑	-	↑	↑	↑	↔	↑	↑	↑	-	↔	-	↑	-	↑	↔
Exode jeune	-	-	↓	↓	↓	-	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	↓
Log. indiv.	↔	-	↓	↔	↑	↔	↔	↓	-	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑
Log. collectif	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Densification	↔	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↑	-	↑	↑	-	↔	-	↑	↑
Etagement	↓	-	-	↓	↓	↓	-	-	-	-	↔	-	↔	↓	↑	↓
S. locaux	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↔	↔	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↔
S. santé	↑	↑	↑	↑	-	↔	↑	↑	↔	-	↑	-	↑	↑	↔	↔
S. reg	↑	↔	-	↔	↔	↔	↔	↔	↑	↔	↑	-	↑	↑	↑	↔
Environnement	↑	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↑	↔
Nuisances	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	↓	-	↓	↑	↓	↑

Tableau 7.10: Superposition des conditions initiales.

	Groupe 1					Groupe 2				Groupe 3						
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₅	A ₁₂	U ₄	U ₆	U ₇	A ₁₀	A ₈	A ₉	A ₁₁	H ₁₃	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆
Niveau de vie	-	3	-	-	2	2	2	2	3	-	2	2	1	1	2	1
Mixité	2	2	2	1	3	1	1	2	2	1	1	-	2	2	3	2
Criminalité	2	-	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1	1	1	2	1
Emplois	2	2	2	2	1	3	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2
Autoroute	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Piéton	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	-	2	2	3	3
Immigration	1	-	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2
Scolarisation	-	2	2	1	2	2	1	1	2	2	3	-	2	3	2	2
Démographie	3	3	2	2	2	3	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2
Vieillis.	2	-	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	3	1	2	2
TP	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	3
Trafic	3	2	3	3	3	2	-	3	2	3	2	3	3	2	2	2
Féminisation	2	-	2	1	1	3	2	2	2	-	3	-	1	-	1	3
Exode jeune	-	-	2	2	3	-	2	2	2	3	3	3	2	3	-	3
Log. indiv.	2	-	2	2	2	3	3	3	-	3	3	2	2	2	1	1
Log. collectif	2	1	1	1	2	3	2	2	-	2	2	2	3	1	1	1
Densification	3	1	2	1	1	3	1	2	-	1	2	-	3	-	2	3
Etagement	3	-	-	3	3	3	-	-	-	-	3	-	3	2	2	2
S. locaux	2	2	1	1	1	3	3	3	2	1	2	2	1	3	3	3
S. santé	2	2	2	1	-	3	3	2	3	-	2	-	2	3	3	3
S. reg	3	3	-	3	3	3	3	3	1	2	2	-	2	2	2	3
Environnement	2	3	2	1	2	3	3	2	3	2	2	2	3	2	3	3
Nuisances	1	1	2	3	3	1	2	2	2	-	2	-	3	2	1	2

Tableau 7.11: Amplitudes des phénomènes.

{1,2,3} = {peu, moyen, beaucoup}

Groupe 1

Mise à part pour les *Logements individuels*, il n’y a pas de cas d’ambiguïté totale. On peut percevoir une convergence de points de vue très nette sur les deux conditions initiales à la fois, en ce qui concerne le fait d’augmenter l’écomobilité (*Piéton, Transport commun*), l’*Immigration* et de diminuer le *Trafic*, la situation de ces phénomènes étant globalement jugée préoccupante (mauvaise). De même, ce groupe manifeste clairement la volonté d’augmenter la disponibilité en *Emploi* à Duberger et de diminuer le *Vieillessement de la population*, la situation de ces phénomènes étant jugée plutôt d’un niveau moyen. Selon un degré de convergence moindre, les acteurs du groupe souhaitent augmenter la disponibilité en *Logement collectif*, l’accès aux services de *Locaux* et de *Santé*, tandis que celui des *Services régionaux* sont jugés satisfaisants. Les cas de divergence, qui portent essentiellement sur l’appréciation de l’amplitude, sont au nombre de 5 et donc relativement limités, comme on peut le voir tableau 7.12.

Groupe 2

L’ambiguïté au sein de ce groupe est globalement faible. Ce groupe manifeste une préoccupation marquée concernant les *Aménagements pour piéton*, la *Mixité* et la *Scolarisation* dont la situation est jugée mauvaise voire moyenne. Les acteurs désirent tous préserver l’accessibilité aux *Autoroutes* qui est jugée excellente, ce qui ne les empêche pas, paradoxalement, de souhaiter une amélioration de l’écomobilité (*Piéton, Transport public*). Par ailleurs, l’accès aux *Services locaux* et *régionaux*, de même que la qualité de l’*Environnement* sont jugés globalement bons. Comme pour le groupe 1, les cas de divergences sont peu nombreux (5).

Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3	
Tendance	Amplitude	Tendance	Amplitude	Tendance	Amplitude
Autoroute	Environnement Nuisances Densification Mixité sociale	Immigration Vieillessement	Emploi Densification Services régionaux	Scolarisation Log. individuel Etalement Nuisances	Mixité sociale Log. individuel Piéton Nuisance Vieillessement Transport pub. Féminisation Log. collectif Densité Services locaux

Tableau 7.12 : Phénomènes sur lesquels on observe, par groupe, une divergence forte portant sur la tendance souhaitée et/ou sur l’amplitude.

Groupe 3

Dans ce groupe, les ambiguïtés sont beaucoup plus nombreuses (12). Elles sont dues à certaines divergences qui peuvent être observées entre le sous-groupe des acteurs institutionnels et le sous-groupe des habitants. En effet, les acteurs institutionnels jugent préoccupante la situation des *Piétons* et des *Services locaux*, contrairement aux habitants qui semblent plutôt satisfaits. En revanche, les habitants sont beaucoup plus demandeurs en matière de *Niveau de vie*, d’*Emploi*, et de *Logements* en particulier sociaux (collectif). De même la préoccupation d’augmenter l’*Immigration* est plus marquée chez les acteurs institutionnels du groupe, tandis que les habitants, si l’on se réfère à leur discours, estiment qu’il est peu opportun d’accueillir de nouveaux immigrants, vu qu’il est difficile de les intégrer.

En résumé, ce groupe est moins homogène que les autres sur les conditions initiales ; cela s'explique par un grand nombre d'acteurs (7), et par le fait que le sous-groupe des habitants semble se distinguer quelque peu des autres acteurs. Par conséquent, dans une phase itérative, ce groupe pourrait être subdivisé en deux groupes davantage homogènes.

Analyse globale des groupes

Bien que les divergences entre les groupes soient assez importantes, certaines convergences partielles peuvent être relevées. Globalement, à quelques exceptions près, tout le monde est d'avis que la *Criminalité* est faible, que l'*Accès aux autoroutes* est très élevé (même s'il y a des divergences sur le fait d'être favorable ou défavorable à ces accès), les *Services régionaux* sont très accessibles (en voiture), dans une moindre mesure, l'*Immigration*, les *Aménagements piéton* et les *Transports publics* sont faibles et doivent être augmentés.

Par ailleurs, il est intéressant de s'arrêter sur l'ambivalence concernant l'*Accès aux autoroutes* qui se produit à l'intérieur des groupes 1 et 3. Cette ambivalence est d'autant plus compréhensible, qu'à la fois il est considéré comme un point fort de l'agglomération de Québec, et en même temps une préoccupation, car il favorise un usage immodéré de l'automobile et provoque de nombreuses nuisances. Autrement dit, il est intéressant de constater que pour un même constat sur une situation donnée (il y a beaucoup d'accès d'autoroute), le jugement de valeur peut être différent (je suis défavorable/favorable à ce qu'il y ait beaucoup d'accès).

Enfin, les divergences sur les phénomènes ne sont pas uniquement liées aux différents points de vue des acteurs, mais aussi à la signification des phénomènes qui peut être interprétée différemment par certains acteurs ou jugée abstraite et trop générale par d'autres étant donné qu'aucune représentation cartographique d'indicateurs n'est pour le moment associée aux phénomènes. C'est le cas du terme *Féminisation* jugé trop vague par les acteurs, et sur lequel le taux d'abstention est élevé. Les habitants estiment que le phénomène *Immigration* devrait désigner avant tout l'intégration des nouveaux arrivants et non pas la quantité de nouveaux arrivants. De même, l'acteur A₈ parlait de perméabilité et de mixité de l'*Emploi* entre les « cols bleus » (classe ouvrière) et les « cols blancs » (ceux travaillant dans les administrations). Le concept de *Logements collectifs et individuels* génère aussi certaines confusions. Certaines personnes (surtout les habitants) voyaient un caractère plus social en groupant les logements collectifs (condominiums) et individuels en tant que logements pour les personnes aisées, à l'opposé des appartements locatifs et sociaux. Enfin, beaucoup d'acteurs ont une connaissance partielle de la problématique de Duberger. En conséquence, ces acteurs construisent leur représentation sur la base de connaissances générales et d'*a priori* sur les banlieues de Québec, et non spécifiquement sur Duberger.

En résumé, cette analyse a permis d'identifier les phénomènes par rapport auxquels les acteurs d'un groupe sont d'accord ou en désaccord sur les préférences (exprimées par les tendances souhaitées) et sur les perceptions de l'amplitude, dans l'optique de clarifier le débat. Les éléments divergents soulignent particulièrement les aspects sur lesquels les acteurs doivent fournir un effort de discussion et de négociation.

7.5.4 Agrégation des modèles conceptuels

L'objet de cette section est de caractériser les groupes d'intérêts, de sensibilités, d'identifier les enjeux (raisons) communs. Pour cela, il est nécessaire d'établir un modèle collectif faisant ressortir les éléments communs de représentation entre les acteurs d'un groupe, mais également les éléments divergents, en vue de créer un espace de discussion. En définitive, il

s'agit de vérifier si la méthode de classification vue précédemment (7.4) permet de déterminer des groupes bien différenciés et d'analyser en quoi ils se différencient.

Calcul de la matrice agrégée

A partir de la classification des acteurs et de leur modèle dans des groupes, nous établissons un modèle global par groupe en agrégeant les modèles conceptuels de phénomènes par acteur.

La création de groupe d'acteurs et de leur modèle revient à considérer un sous ensemble de N modèles :

$$M_n \subset M_m, n : 1, \dots, N \text{ et } m : 1, \dots, M$$

L'agrégation des modèles conceptuels est réalisée en additionnant les matrices structurales des n individus faisant partie du groupe. Les composantes (indice d'occurrence) de la matrice de synthèse \mathbf{O} sont obtenues en sommant les valeurs (relations) des matrices individuelles et en divisant cette somme par le nombre total de relations exprimées par les modèles du groupe. Cette normalisation est effectuée pour les mêmes raisons avancées lors de la classification multicritère (cf. critères 3, 4 et 5). De plus, elle permet d'établir une échelle commune entre les groupes, à savoir le pourcentage, et favorise donc une comparaison.

$$o_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N s_{ij,n}}{\sum_{n=1}^N R_n} * 100 \quad (\text{équ. 7.20})$$

Où o_{ij} : indice d'occurrence [%], qui exprime l'importance relative de la relation

$s_{ij,n}$: composante (relation) d'une matrice structurale d'un acteur n . Prise en compte de la crédibilité, soit $s_{ij} = \{0, 0.5, 1\}$

R_n : nombre total de relations exprimées par les N acteurs d'un groupe

La matrice agrégée constitue non seulement une superposition des relations des modèles individuels, mais ses valeurs permettent également d'évaluer l'importance de convergence de points de vue au sein du groupe sur chacune des relations.

La matrice peut être ensuite soit représentée en tant que telle, soit sous la forme d'un graphe causal. Les matrices structurales agrégées par groupe sont données et les graphes causaux correspondant sont données ci-dessous. Sur le plan informatique, les flèches de relation causale sont générées automatiquement à partir de la matrice structurale en actionnant un bouton macro programmé pour chaque phénomène.

Groupe 1	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieillis	Im	ExJ	Crim	Démo	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Dens	Etal	Sloc	Ssant	Srég	Env	Nuis	S _k	
Niv																								0	
Empl									1.5	1.5								1.5	1.5					6	
Scol																								0	
Mix																								0	
Vieil																								0	
Im				2.9	2.2										1.5	1.5								8	
ExJ																								0	
Crim																								0	
Démo																								0	
Fém																								0	
Aut																								0	
Traf												1.5	1.5										1.5	1.5	6
TP				1.5		2.9				2.9	4.4	4.4	1.5	1.5	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	1.5	1.5	38	
Piét		0.7		4.4						1.5	2.2	2.9	4.4	1.5	1.5	0.7	0.7	1	4.4	0.7	2.9	2.9	0	22	
L. indiv.																								0	
L. coll.																	1.5							1	
Dens													1.5	1.5				1.5	1.5					6	
Etal																								0	
Sloc		0	1.5		0.7		1.5											1.5					1.5	7	
Sant																								0	
Srég																								0	
Env					1.5		1.5								1.5	1.5								6	
Nuis																								0	
S _k	0	2	0	10	4	0	6	0	1	6	0	7	6	7	7	7	6	7	10	1	3	3	3	3	

Figure 7.13 : Matrice structurale du groupe 1.

Légende

Relations	Phénomènes
$O_{ij} < 2$	Ph. stratégique de niveau I
$O_{ij} : 2 - 3$	Ph. stratégique de niveau II
$O_{ij} : >3$	Ph. sensible de niveau I
	Ph. sensible de niveau II

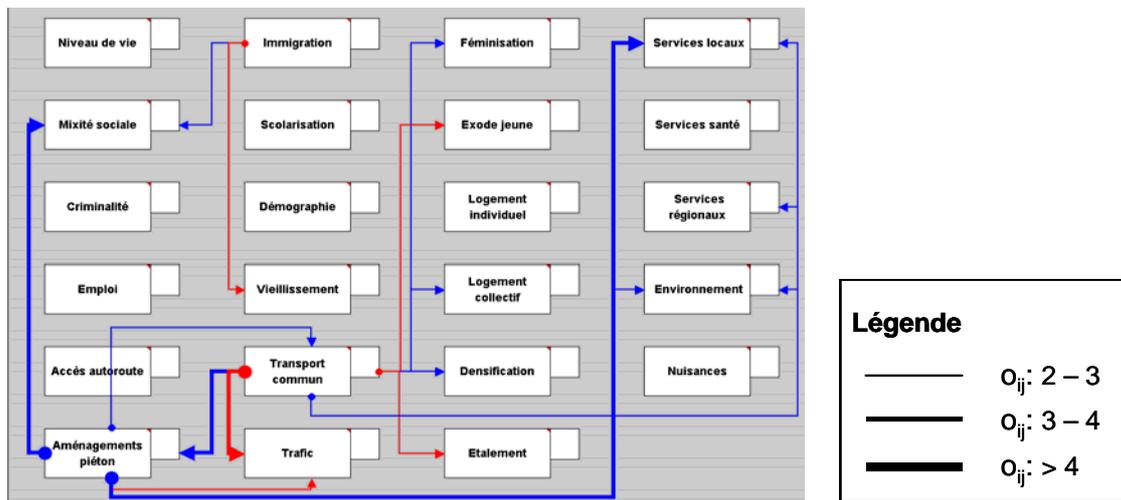


Figure 7.14 : Modèle causal de convergence du groupe 1.

Groupe 2	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieillis	Im	ExJ	Crim	Démo	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Dens	Etal	Sloc	Ssant	Srég	Env	Nuis	S _k	
Niv						1.6	1.6								1.6	0.8								6	
Empl	1.6					1.6			0.8	1.6									1.6					7	
Scol	6.7	1.6		3.3			0.8	1.6		1.6					2.4	0.8	1.6					1.6		24	
Mix															1.6	1.6	1.6	1.6		1.6					8
Vieillis																					1.6				3
Im			1.6	1.6					1.6																5
ExJ																									0
Crim																									0
Démo																									0
Fém																									0
Aut		1.6										1.6	1.6									1.6			7
Traf														1.6											2
TP		3.3		3.3	1.6		0.8		1.6	3						1.6	1.6		3.3	1.6					22
Piét		2.4		1.6															1.6			1.6	1.6		9
L. indiv.																									0
L. coll.																									0
Dens																									0
Etal																									0
Sloc		0.8										1.6			0.8	1.6		1.6							7
Ssant																									0
Srég		0.8																							1
Env																									0
Nuis																									0
S _k	7	11	2	10	2	3	5	2	6	7	0	3	2	2	7	8	7	2	8	3	2	3	2		

Figure 7.15: Matrice structurale du groupe 2.

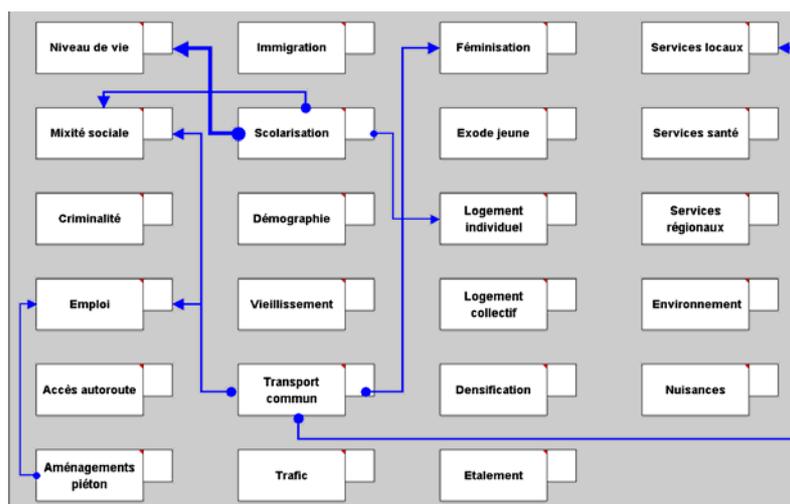


Figure 7.16 : Modèle causal de convergence du groupe 2.

Groupe 3	Niv	Emp	Scol	Mix	Viellis	Im	ExJ	Crim	Démo	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Dens	Etal	Sloc	Ssant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv				0.8		1.6		2.0 0.4				1.6 0.8	0.8		3.2 0.8 0.8			0.8	1.6	0.8		0.8		17
Empl	0.8 4.0		0.8 1.6	1.6 1.2		3.2 3.2		0.8	2.4	1.6		2.4	1.2		3.2	2.8								31
Scol								0.4	2.4															3
Mix									0.8															1
Viellis									0.8															1
Im				1.6 1.6		1.6		0.4																5
ExJ		0.4	0.8	0.8																				2
Crim																								0
Démo		0.8		1.6				0.8					1.6		1.6	1.6	1.6 0.8		1.6	0.8				13
Fém																								0
Aut													0.8											1
Traf												0.8						0.8				0.8	2.4	5
TP													0.8									0.8		1
Piét													0.8									1.6		3
L. indiv.													0.4					0.8						1
L. coll.		0.8	0.8	1.6 1.6		1.6 0.8		0.8					1.2											9
Dens																		0.8						1
Etal																								1
Sloc																						1.6		2
Ssant																								0
Srég																								0
Env		0.8		0.8		0.8	0.8						0.8	0.8										5
Nuis																								0
S _k	5	2	4	7	7	6	6	7	6	2	0	4	8	2	8	7	2	4	3	2	0	6	2	

Figure 7.17 : Matrice structurale du groupe 3.

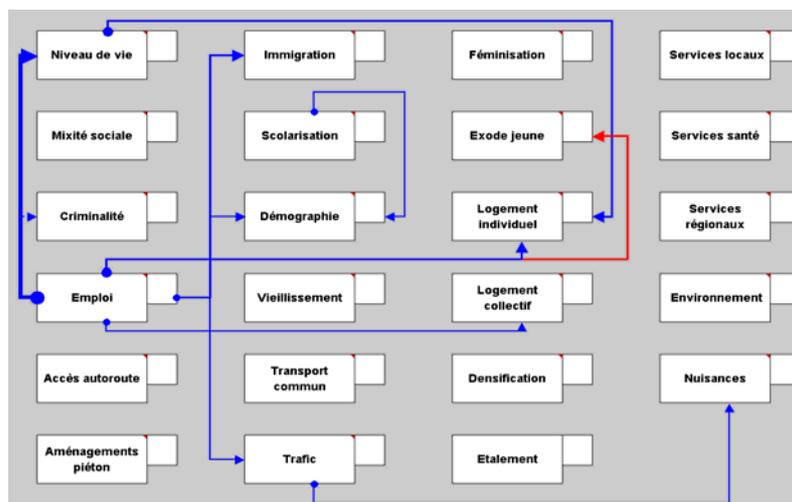


Figure 7.18 : Modèle causal de convergence du groupe 3.

De ce qui suit, nous cherchons à caractériser les modèles des différents groupes d'acteurs et à analyser comment ils comprennent et se représentent le système urbain. L'analyse fait ressortir d'une part les relations critiques du système, d'autre part les phénomènes ayant, du fait de ces relations, un positionnement central dans le système.

Analyse de convergence et de divergence sur les relations

Convergence

Les relations ayant un indice d'occurrence significatif traduisent, parmi les acteurs d'un groupe, un point de vue convergent sur la compréhension du système urbain. Elles sont visuellement mises en évidence par une gradation de couleur dans la matrice ou d'épaisseur de trait dans la forme graphique.

Afin de faciliter la communication du graphe causal, il est opportun de ne pas représenter les relations ayant un faible indice, notamment celles qui ont été exprimées par une seule personne. En effet, la forme graphique devient très chargée et quasiment illisible si le nombre d'acteur et de relations exprimées est important. De ce point de vue, l'avantage de la forme

matricielle est de pouvoir représenter l'ensemble des relations, sans perte d'information, tout en facilitant une vision synthétique.

Comme au chapitre 6, nous définissons un seuil de coupe sc en dessous duquel, les relations sont éliminées de la représentation synthétique :

$$o_{ij} \geq sc$$

Dans les trois groupes, nous choisissons ce seuil égal à 2, pour lequel la relation a été exprimée par au moins deux personnes.

La convergence de point de vue sur les relations est d'autant plus forte qu'elles ont été proposées par la majorité des acteurs du groupe. Dans le groupe 1, quatre relations ($o_{ij} = 4.4$) ont été proposées par l'équivalent de 3 personnes sur 5. Elles sont générées par les phénomènes *Transport public* et *Aménagement piéton*. Dans le groupe 2, une seule relation ($o_{ij} = 5.9$), générée par *Scolarisation*, représente l'équivalent de 3.5/4 personnes. Dans le groupe 3, quatre relations, l'une représentant l'équivalent de 5/7 personnes ($o_{ij} = 4$), les autres 4/7 personnes ($o_{ij} = 3.2$), sont générées par *Niveau de vie* et *Emploi*.

Divergence

Dans une dynamique multi-acteurs, des divergences sur une relation entre deux phénomènes peuvent apparaître. Autrement dit, le sens d'une même relation peut être vu comme concordante par certaines personnes et discordante par d'autres, c'est-à-dire qu'en superposant les modèles, les valeurs de degré d'occurrence o_{ij} (discordance) et $o_{i,j+1}$ (concordance) sont simultanément non nulles. Cette situation a été observée dans la démarche de diagnostic à Genève (ch. 6.2.4), où certaines personnes interrogées pensent qu'une augmentation du trafic automobile au centre ville est favorable aux petits commerces (relation concordante), alors que d'autre, estiment, qu'au contraire, le trafic automobile nuit aux petits commerces (relation discordante), plus facilement accessibles à travers des zones piétonnes.

Dans le cas d'étude de Québec, on peut relever quelques rares cas de divergence sur les relations à l'intérieur des groupes lorsqu'en superposant les matrices individuelles, une même relation reliant deux phénomènes donnent lieu à la fois à une concordance et à une discordance. Ceci se produit à une reprise pour les groupes 1 et 2 et à quatre reprises pour le groupe 3 :

- Groupe 1 : *Transport public* – *Logement individuel* ($o_{ij}^{disc} = 1.5$; $o_{ij}^{conc} = 1.5$),
- Groupe 2 : *Scolarisation* – *Exode des jeunes* (0.8 ; 1.6)
- Groupe 3 : *Emploi* – *Niveau de vie* (0.8 ; 4), *Emploi* – *Scolarisation* (0.8 ; 1.6), *Niveau de vie* – *Criminalité* (2 ; 0.4) et *Niveau de vie* – *Logement collectif* (0.8 ; 0.8).

Emergence des raisons communes

Comme pour les modèles individuels (cf. 7.4.3), l'importance des phénomènes est mise en évidence à travers le nombre de relations qu'ils génèrent (phénomènes stratégiques) ou qu'ils reçoivent (phénomènes sensibles) au sein d'un modèle de synthèse. Les convergences de point de vue sur ces phénomènes critiques traduisent des bases pour établir les raisons communes et des enjeux d'un groupe d'acteurs.

Phénomènes stratégiques (Leviers d'action)

Les *leviers d'action* ou phénomènes stratégiques correspondent aux phénomènes dont la somme des *colonnes* est significativement plus grande que celle des autres phénomènes. Afin de nuancer l'interprétation, nous distinguons deux niveaux hiérarchiques : le premier où

l'aspect stratégique des phénomènes est prépondérant, le deuxième où cet aspect est important, mais dans une moindre mesure. Pour chacun des groupes, ces deux niveaux de phénomènes sont représentés dans le tableau suivant.

Niveau	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3	
I	Transport public	38.2	Scolarisation	24.4	Emploi	30.8
	Aménagement piéton	22.1	Transport public	22.0	Niveau de vie	16.8
II	Immigration	8.1	Aménagement piéton	8.9	Démographie	12.8
			Mixité	8.1	Logement collectif	9.2

Tableau 7.13 : Phénomènes stratégiques structurés sur deux niveaux hiérarchiques. Chiffres en [%].

On peut constater que le nombre de phénomènes stratégiques par groupe est relativement faible, ce qui traduit des intentions et des motivations très marquées. Dans les groupes 1 et 3, *Transport public*, respectivement *Emploi* se démarquent encore plus nettement des autres phénomènes. Les phénomènes stratégiques sont particulièrement bien différenciés entre le groupe 3 et les deux autres groupes : le groupe 1 se préoccupe d'avantage de promouvoir l'écomobilité dans le quartier, le groupe 2 relève également l'importance de l'écomobilité mais également celle d'augmenter le niveau de scolarité, le groupe 3 souhaite avant tout d'améliorer les conditions de l'emploi et des revenus (niveau de vie). Ces phénomènes ressortent clairement sur les matrices structurales, où ils se traduisent par des axes de valeurs non nulles.

Phénomènes sensibles

Les *phénomènes sensibles* correspondent aux phénomènes dont la somme des *lignes* est significative. Comme pour les phénomènes stratégiques, les phénomènes sensibles sont aussi structurés sur deux niveaux hiérarchiques.

Niveau	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3	
I	Services locaux	10.3	Emploi	10.6	Transport public	8.4
	Mixité	9.6	Mixité	9.8	Logement individuel	8.0
	Environnement	8.8				
II	Aménagement piéton	7.4	Logement collectif	8.1	Mixité	7.2
	Trafic	6.6	Services locaux	8.1	Criminalité	7.2
	Logement individuel	6.6	Niveau de vie	7.3	Logement collectif	6.8
	Logement collectif	6.6	Logement individuel	6.5	Vieillesse	6.8
	Étalement urbain	6.6	Densité	6.5	Immigration	6.4
			Féminisation	6.5	Exode des jeunes	6.4

Tableau 7.14 : Phénomènes sensibles structurés sur deux niveaux hiérarchiques. Chiffres en [%].

Dans les trois cas, contrairement aux phénomènes stratégiques, les groupes de phénomènes sensibles sont beaucoup plus dispersés et peu de phénomènes se distinguent des autres, beaucoup ayant plus ou moins le même score. Pour les groupes respectifs, *Services locaux*, *Environnement* et *Mixité*, *Emploi* et *Mixité*, *Transport public* et *Logement individuel*, se démarquent légèrement des autres phénomènes.

La mise en relation des phénomènes stratégiques et sensibles fait ressortir les principaux axes causaux présentés plus haut dans l'analyse sur les relations. Il est alors possible d'interpréter les modèles de la façon suivante :

- Groupe 1 : pour ce groupe, l'*Ecomobilité* (piéton, bus) constitue le principal levier d'action. En le promouvant, cela favorise la *Mixité*, l'accès aux *Services locaux*, la

qualité de l'*Environnement*, et dans une moindre mesure, une plus grande *Densification* et corollairement une demande accrue en *Logements collectifs*.

- Groupe 2 : la *Mixité* sociale bénéficie d'une augmentation du taux de personnes hautement scolarisées (*Scolarisation*) et des conditions de *Transport public* (favorisant la rencontre entre les gens). L'*Emploi* est également rendu plus attractif en améliorant l'écomobilité. Celle-ci a également des effets bénéfiques sur la *Féminisation* (en permettant aux femmes n'ayant pas de voiture de se déplacer) et l'accès aux *Services locaux*. Un taux de scolarisation plus élevé augmente le *Niveau de vie* et une meilleure possibilité d'acheter des *Logements individuels*.
- Groupe 3 : une augmentation de l'*Emploi* génère un certain nombre de bénéfices sur le *Niveau de vie*, la possibilité d'acheter des *Logements collectifs* et *individuels*, sur l'*Immigration* (conditions favorables d'accueil) et l'*Exode des jeunes* (rétention). De même, le fait d'augmenter le *Niveau de vie* contribue à baisser la *Criminalité*. Cette mise en évidence de la *Criminalité* est quelque peu surprenante étant donné qu'il ne constitue pas un sujet préoccupant à Duberger et de manière générale à Québec. Cela illustre que, parfois, les perceptions diffèrent des faits observés par les statistiques.

En considérant ces cheminements causaux préférentiels liés à des phénomènes stratégiques et sensibles, le regroupement des modèles permet de faire ressortir les éléments significatifs des représentations collectives et donc les raisons qui sont bien différenciés entre les groupes. Ces raisons, en quelque sorte interdépendantes, constituent des fondements pour la formulation d'un diagnostic et l'élaboration ultérieure de scénarios de décision.

Définition d'un espace commun entre les groupes d'acteurs

En vue d'une concertation entre les groupes d'acteurs, il importe de définir un espace commun de discussion entre ces groupes, en considérant deux aspects.

Première, plutôt que d'exprimer des oppositions, les modèles de groupes révèlent en grande partie des sensibilités et des intérêts différents. Leur mise en commun passe alors par un *agencement composite* de ces différents intérêts (cf. ch. 5.2.3, p. 69). Comme il a été dit au chapitre 5.2, la délibération entre les acteurs est d'autant plus efficace si les intérêts de chacun sont pris en compte.

Deuxièmement, bien que les modèles des trois groupes soient globalement différenciés, il apparaît quelques phénomènes critiques communs entre les groupes :

- phénomènes stratégiques, *Transport public* et *Aménagement piéton* (groupes 1 et 2),
- phénomènes sensibles, *Mixité* et *Logement individuel* et *collectif* (dans les trois groupes), *Services locaux* (groupes 1 et 2).

Ces phénomènes ouvrent la possibilité de trouver ultérieurement un accord sur les solutions de décision.

7.5.5 Perspectives de validation

Comme cela avait été dit en conclusion du chapitre 6 (6.3), paradoxalement, le modèle synthétique d'un groupe d'individus traduit une représentation *supra-individuelle* qui n'est, en tant que telle, exprimée par personne, mais qui peut être considérée comme socialement admise au sein du groupe.

Pour vérifier cela, la formation de groupes de modèles par des méthodes analytiques exposées ci-dessus devrait être complétée par une validation et une délibération entre les acteurs formant le groupe, lors de rencontres successives dans le cadre d'un processus de

concertation. Il serait intéressant d'évaluer dans quelle mesure le modèle agrégé constitue un support de discussion, d'apprentissage collectif et de rapprochement de points de vue.

Concrètement, comme effectué partiellement à Genève (lors des rencontres individuelles), chaque acteur d'un groupe valide ou invalide chacune des relations du modèle synthétique. Une validation a une valeur de $+1$, tandis qu'une invalidation, une valeur négative de -1 . La formule calculant le degré d'occurrence est enrichie de la façon suivante par rapport à l'équation 7.20 :

Soit O et P , tel que $O + P \leq N^l$,

$$o_{ij}' = \sum_{n=1}^N s_{ij,n} + \sum_{n=1}^O Va_{ij} + \sum_{n=1}^P Inva_{ij} \quad (\text{éq. 21})$$

Où o_{ij}' : indice d'occurrence (non normé) d'une relation, modifié après validations et invalidations

$s_{ij,n}$: composante d'une matrice structurale d'acteur n

Va_{ij} , $Inva_{ij}$: validations et invalidations d'une relation s_{ij}

En plus de considérer les divergences sur la direction des relations apportée par la superposition des matrices, il est possible d'établir une matrice de divergences représentant les relations fortement invalidées (bilan validation – invalidation négatif).

En définitive, le modèle d'un groupe matérialise et formalise un espace de discussion constitué par les éléments convergents et divergents de représentation.

7.6 Analyse de correspondance entre le type d'acteur et le modèle systémique de phénomènes

L'interprétation des groupes de modèle, à la section précédente, fait apparaître des valeurs, des croyances, des choix idéologiques, relativement homogènes à l'intérieur des groupes. En effet, pour un groupe, l'enjeu principal dans le quartier est le développement de moyens de transport écomobiles, pour un autre, l'amélioration des conditions socio-économiques des habitants.

Nous nous demandons alors comment un acteur se représente la complexité des phénomènes et établit un modèle systémique et, s'il y a une relation entre une représentation d'un groupe et les acteurs qui l'ont exprimée. Quatre situations peuvent être envisagées :

1. Tous les acteurs produisent un modèle semblable, quel que soit leur profil ;
2. Chaque acteur produit son propre modèle ;
3. La construction d'un modèle est aléatoire, indépendant de l'acteur ; autrement dit, il n'y a aucun lien entre le modèle et le type d'acteur ;
4. Entre ces situations extrêmes, il existe un lien entre le modèle et le profil d'acteur.

Nous cherchons à accréditer, empiriquement sur la base de notre expérience, si la quatrième situation peut être observée ; ceci, afin d'apporter un **éclaircissement** complémentaire qui donne un sens au regroupement des modèles présents. Cela laisse supposer que les membres d'une même classe d'acteurs perçoivent la réalité selon un filtre de perception partiellement commun, et par conséquent se construisent une représentation elle aussi relativement commune. En d'autres termes, l'hypothèse est faite que **différents types d'acteurs peuvent**

¹ $\leq N$, car la prise de position sur une relation est facultative

être associés à différents types de représentations systémiques. Cette multiperception thématique en fonction des individus est d'ailleurs relevée par De Sède et Moine [2001, p. 348], selon lesquels « *un terrain de sport ne sera pas perçu et décrit de la même manière par un usager que par un gestionnaire, ce dernier étant préoccupé par des problématiques de coût d'entretien* ». Dans cet exemple, les axes ou phénomènes stratégiques seront donc différents entre ces deux types d'acteur. De même, Occelli [2004] affirme que le profil d'un acteur va déterminer sa manière de construire sa propre vision du monde, d'extraire des informations pertinentes de l'environnement et d'entreprendre une certaine stratégie de comportement dans l'espace.

Analyse sur le cas de Québec

En début de chapitre, nous avons choisi les acteurs interrogés représentatifs de groupes (Universitaire, Administration, Politique et Habitant) et sous-groupes. Ceux-ci traduisent différents niveaux de connaissance, théorique (expertise) ou basée sur le vécu, de responsabilité, d'implication dans la problématique des banlieues de Québec, en particulier celle de Duberger.

Concrètement, l'analyse de correspondance revient à discerner des relations entre les groupes prédéfinis d'acteurs et les groupes de modèles obtenus à partir de la classification des modèles individuels (figure 7.12). Quatre correspondances peuvent particulièrement être identifiées :

- Les individus U_1, U_2, U_3 et A_{12} forment clairement le même groupe dans les deux classifications. Dans une moindre mesure, on pourrait y intégrer l'individu U_4 , étant donné que dans la classification des modèles, il y a une jointure, certes faible (niveau proche de 1), entre les deux premiers groupes. On peut alors supposer un lien entre le statut d'*enseignant universitaire* (il faut préciser que A_{12} l'était dans le passé) et le modèle de représentation de la complexité urbaine.
- Une autre correspondance peut être facilement établie entre le profil des *habitants* ($H_{13}-H_{14}-H_{15}-H_{16}$) et leur modèle de représentation. La correspondance est d'autant plus nette pour les trois immigrés ($H_{13-14-15}$), qui font partie d'une même sous-filiation.
- Les trois acteurs *institutionnels* A_8, A_9 et A_{11} appartiennent au même groupe de modèle.
- Les deux *étudiants universitaires* U_5 et U_6 sont intégrés dans les mêmes groupes, ainsi que l'étudiant U_7 si l'on considère la faible jointure entre les deux premiers groupes de modèles.

En définitive, seul l'acteur A_{10} ne fait l'objet d'aucune correspondance entre les deux classifications.

La taille de l'échantillon d'acteurs est certes trop faible pour tirer des généralités sur ces relations. De même, les points de vue idéologiques et les raisons ne sont pas uniquement déterminés par les groupes d'acteurs définis dans notre étude. Par conséquent, il conviendrait de caractériser davantage les profils d'acteur en tenant compte, par exemple, de l'appartenance politique, de certains choix de vie liés aux modes de transport et d'habitation. Sans aller aussi loin, cela dépassant l'objet de notre recherche, nous avons pu tout de même esquisser et observer, sans totalement les expliquer, certaines correspondances qui donnent un sens au regroupement.

Synthèse du chapitre

Nous avons proposé dans ce chapitre une interface de conception d'un système de phénomènes sur un support informatique, qui aide un acteur du territoire à formaliser sa reconstitution de la complexité des phénomènes sur une base à la fois dialectique (discours, discussion) et didactique (apprentissage sur la complexité). Le résultat de la conception produit un modèle conceptuel de phénomènes qui exprime les raisons ou les enjeux de l'acteur sur le système et qui contribue de ce point de vue à renforcer la phase d'intelligence du processus de décision.

La construction du modèle systémique de phénomènes a été appliquée individuellement auprès de 16 acteurs, universitaires, administratifs et résidentiels sur la problématique des banlieues à Québec, en particulier celle de Duberger. Les modèles ont été intégrés dans trois groupes selon des critères de ressemblance dans le but de simplifier le débat. L'analyse globale des groupes de modèles a permis d'identifier d'une part des raisons communes bien différenciées, qui émergent de phénomènes ayant un rôle central dans le système de relations causales ; d'autre part des divergences de point de vue sur les conditions initiales des phénomènes (tendance et amplitude) et sur le sens des relations (concordant/discordant).

Ces éléments nous ont permis de définir une base pour établir un espace de discussion dans lequel nous proposerons, au chapitre suivant, une sélection d'indicateurs pertinents.

Modélisation et communication d'un système d'indicateurs géographiques

Dans le chapitre théorique sur les systèmes d'indicateurs, nous avons relevé l'importance du lien entre un ensemble d'indicateurs et un modèle conceptuel. Parmi ces modèles conceptuels, nous avons pu distinguer notamment les approches Pression-Etat-Réponse et Stock-Flux (chapitre 3). L'organisation d'un ensemble d'indicateurs sur la base d'un modèle conceptuel offre un guide non seulement pour la sélection mais aussi pour l'agrégation d'indicateurs [Malkina-Pykh, 2002 ; Meadows, 1998]. Pour rappel, Gallopín [1997] a énoncé entre autres trois raisons d'organiser les indicateurs :

- Identifier les problèmes importants pour lesquelles de l'information pertinente manque.
- Sur ces problèmes importants, guider le processus de récolte de l'ensemble des données et des informations ;
- Suggérer des regroupements (agrégation) logiques pour les ensembles d'information facilitant leur interprétation et leur intégration ;

Nous avons montré, dans les chapitres précédents, l'importance (i) de l'approche systémique pour mieux comprendre les fonctionnements complexes du système urbain, (ii) de se baser sur les représentations que se font les acteurs de la réalité (qui traduisent leurs raisons et leurs motivations), afin d'améliorer la pertinence des systèmes d'information et ultérieurement de la décision, et (iii) de fonder la construction des indicateurs sur des modèles conceptuels théoriques. Le modèle conceptuel de phénomènes interreliés, construit par un ou plusieurs acteurs, permet d'intégrer ces trois conditions. Par conséquent, nous jugeons opportun d'élaborer un système d'indicateurs sur la base d'un tel modèle. Concernant la troisième condition, le modèle de phénomènes se distingue des modèles conceptuels vus précédemment, tels que les approches de Pression-Etat-Réponse et Stock-Flux ; ceci, par le fait qu'il n'est pas imposé a priori par un expert selon une approche substantive, mais qu'il est construit progressivement par les acteurs impliqués dans un processus (approche procédurale).

La première partie du chapitre propose de sélectionner des indicateurs sur les éléments convergents et divergents des représentations collectives, tout en tenant compte aussi du problème de la redondance d'information. Les indicateurs sélectionnés sont ensuite organisés dans un modèle systémique qui repose sur les relations identifiées entre les phénomènes. Dans la deuxième section, un concept d'interface est proposé pour communiquer un système d'indicateur aux acteurs participant à une démarche. Le chapitre conclut sur le rôle du système d'indicateurs, issu des représentations des acteurs, dans le croisement des différentes sources d'information.

8.1 Définition d'un système d'indicateurs pertinents sur la base d'un modèle conceptuel de phénomènes

8.1.1 Sélection d'indicateurs pertinents

Dans les étapes précédentes, toutes les relations entre les phénomènes ont été prises en compte, même celles qui pourraient être infirmées par des expertises. Dans une phase où il s'agit de représenter les perceptions sur le fonctionnement du système et d'explicitier les raisons et les motivations des acteurs, ces relations sont importantes à prendre en compte, car elles vont être utilisées par les acteurs qui les ont exprimées pour argumenter et prendre position. A partir d'un modèle collectif de représentation, il s'agit de redimensionner le système de phénomènes en vue de l'élaboration d'un système d'indicateurs utile à un diagnostic concerté ; c'est-à-dire qui prend en compte les enjeux de l'ensemble des acteurs.

En se basant sur les représentations des acteurs, on évite de devoir évaluer un trop grand nombre d'indicateurs qui ne sont pas tous utiles et pertinents à considérer dans un diagnostic (cf. ch. 2.2). Ainsi, l'élaboration d'un modèle opérationnel implique de fixer des indicateurs sur un nombre limité de phénomènes critiques du point de vue des acteurs :

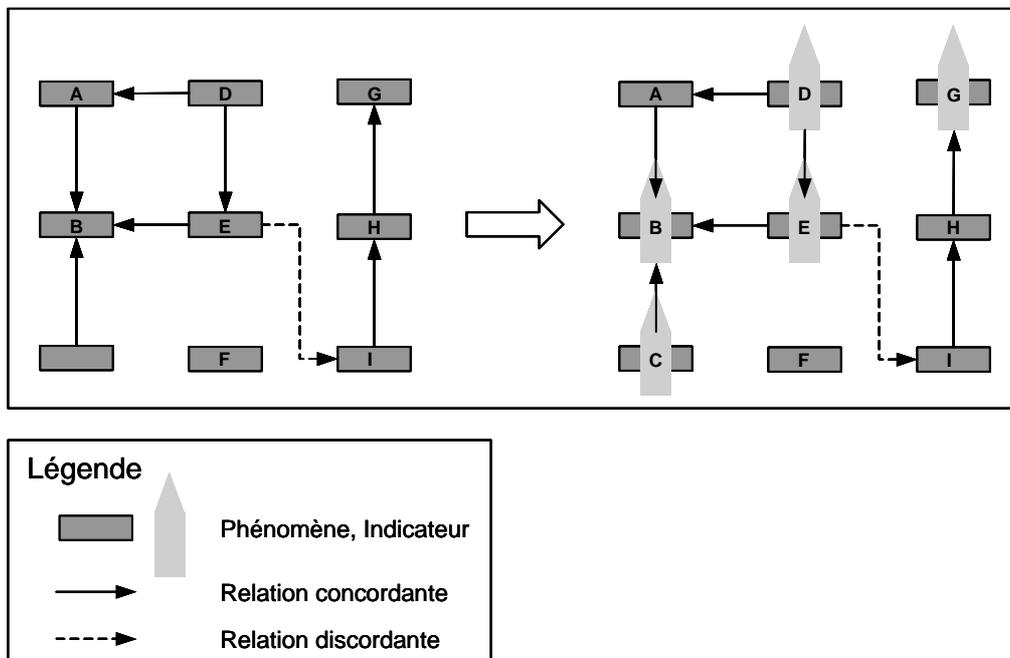


Figure 8.1 : Sélection de phénomènes à mesurer par des indicateurs.

La proposition de systèmes d'indicateurs pour Duberger implique de considérer trois conditions : convergence, divergence, redondance. Pour les deux premières conditions, le choix des indicateurs est synthétisé au tableau 8.1.

Convergence sur les phénomènes critiques

Dans le chapitre précédent, les relations causales nous ont permis de hiérarchiser l'importance des phénomènes. Nous proposons de mesurer en priorité les phénomènes pour lesquels les acteurs sont globalement d'accord sur le fait qu'ils sont stratégiques ou sensibles :

- Les indicateurs fixés sur les phénomènes stratégiques (tableau 7.13, ch. 7.5.2) peuvent être désignés par le terme d'*indicateurs stratégiques* ;

- On fixe sur les phénomènes sensibles (tableau 7.14) des *indicateurs d'effet*, dont la mesure, dans une phase de monitoring, permet de vérifier si les indicateurs stratégiques produisent bien les effets voulus ou attendus. Ces indicateurs correspondent en quelque sorte à des récepteurs [Merkle et Kaupenjohann, 2000].

La prise en compte des intentions et des raisons des acteurs, qui émergent de ces phénomènes critiques, contribue à mettre en œuvre une modélisation projective du système d'indicateurs.

A noter que dans le tableau ci-dessous, le croisement divergence – phénomène critique est un ensemble vide (symbolisé par une case grisée), car l'analyse a permis de faire uniquement ressortir un agencement composite de phénomènes critiques et non pas des oppositions ou divergences sur ceux-ci.

		Convergence	Divergence
Conditions initiales	Tendances		
	Amplitude		X
Modèles relationnels	Phénomènes critiques (enjeux)	X	
	Relations		X

Tableau 8.1 : Sélection des indicateurs sur certains éléments convergents et divergents des groupes de représentation, parmi ceux analysés au chapitre 7 (X = sélection d'indicateurs).

Divergences

Il importe de mesurer les phénomènes, dont la perception de l'amplitude ou la mise en relation suscite des divergences, même si ces phénomènes n'expriment pas les raisons des acteurs. Ces divergences révèlent des conflits d'interprétation sur les faits réels. Les indicateurs apportent alors un éclairage plus objectif sur les faits correspondants et, confrontés aux représentations des acteurs, ils peuvent contribuer à les faire évoluer et éventuellement converger.

Sur l'amplitude (tendance + état) des phénomènes

L'amplitude d'un même phénomène sur le territoire peut être perçue différemment selon les acteurs. Ainsi un même niveau de bruit peut être ressenti de façon différente. Les fortes divergences sur l'amplitude ont été mises en évidence au chapitre 7.5.1, en particulier au tableau 7.12 (deuxième colonne de chaque groupe).

Sur les relations

Des phénomènes pour lesquels les relations suscitent des divergences concernant leur sens (concordant/discordant), ont été donnés à la section 7.5.2. En reprenant l'exemple de la divergence sur la relation *attractivité des petits commerces – charge de trafic*, donnée au chapitre 6, une enquête sur le chiffre d'affaire des commerces situés dans des zones piétonnes, contribuerait à éclairer le débat.

Redondance

Lors de la conception du modèle de phénomènes, on se préoccupe peu du problème de la redondance. Au contraire à ce stade, il s'agit avant tout de rendre compte de la complexité qui témoigne d'un enchevêtrement d'interrelations entre phénomènes. Ces chevauchements entre phénomènes se traduisent en terme de mesure par des corrélations statistiques exprimant des parts d'information commune. Ainsi, il apparaît une contradiction entre une volonté de représenter spatialement la complexité urbaine, à travers un système d'indicateurs interreliés,

tout en minimisant le nombre d'indicateurs et donc la redondance d'information. Or les interrelations entre indicateurs sont porteuses de redondances plus ou moins fortes.

Un *premier tri* qualitatif peut être mené par la personne d'étude sur l'ensemble de phénomènes sélectionnés. Ce tri consiste à éliminer les phénomènes dont l'hypothèse de redondance avec un autre phénomène paraît évidente ou certaine. Une fois les indicateurs évalués, il est possible ensuite d'effectuer un *deuxième tri* en mesurant les relations par des corrélations, pour autant que les indicateurs soient mesurés sur une échelle quantitative. Ces corrélations doivent être interprétées avec prudence, car elles ne signifient pas automatiquement une relation de causalité (cf. 4.3.2). Il est donc nécessaire d'analyser si une relation n'est pas déterminée par une variable tierce implicite. Par ailleurs, il est tout à fait possible que ces mesures ne confirment pas des relations de causalités perçues ayant une crédibilité importante. En effet une perception apprécie difficilement l'échelle quantitative [Flourentzou, 2001]. Autrement dit, les acteurs peuvent percevoir des relations d'une grande intensité, alors que des mesures mettent en évidence des corrélations faible.

Concrètement, en se référant aux concepts théoriques développés dans la première partie du mémoire, nous proposons de distinguer deux situations, en vue d'éliminer des phénomènes de la sélection initiale sur la base de la redondance.

Proxy (cf. ch. 3.2)

Un phénomène *A* est de manière évidente représentatif d'un autre phénomène *B*. Il s'agit alors d'une relation de cardinalité *1-1*. Pour cela, il faut qu'il y ait une certaine proximité thématique. Cette relation de proxy peut être soit identifiée qualitativement sur la base du modèle causal, dans ce cas, l'indicateur mesurant le phénomène *A* donne indirectement une image de l'autre ; soit formalisée mathématiquement selon une fonction du type : $ind_A = f(ind_B)$. Ainsi, connaissant les fonctions qui lient les indicateurs entre eux, il n'est possible de mesurer qu'un nombre limité d'indicateurs. Parmi les phénomènes significatifs, on déterminera les indicateurs qui doivent être *mesurés* et ceux qui peuvent être *dérivés* à partir d'un indicateur mesuré, pour reprendre les termes utilisés par Pouliot [2001] dans le cadre de l'acquisition des données.

A titre d'exemple, nous pouvons analyser qualitativement la relation proposée à Québec, *Emploi* → *Niveau de vie* :

- 2 causes interreliées (*Emploi* en amont)
- *Niveau de vie* produit les mêmes effets qu'*Emploi*
- Deux phénomènes proches thématiquement

La redondance paraît évidente entre ces deux phénomènes. En effet, l'*Emploi* seul pourrait être mesuré et représenter le phénomène *Niveau de vie*. Cela est cependant très schématique et la réalité est plus complexe. En effet, *Emploi* est une condition suffisante mais non nécessaire (disjonction) du *Niveau de vie*. De plus, on suppose que l'effet peut être inversé selon que les emplois produisent des situations précaires et donc de faibles revenus. L'indicateur défini sur l'*Emploi* devra être précisé en mesurant dans le quartier une certaine quantité d'emplois qui assurent un revenu minimum.

Agrégation

Un phénomène *A* semble être représentatif de plusieurs autres phénomènes *B*, *C*,... de l'ensemble (relation de cardinalité *1-n*). Pour cela, il faut considérer trois conditions :

- (i) Des relations causales ont été identifiées entre le phénomène *A* et les phénomènes *B*, *C*,..., ce qui correspond à un alignement de valeurs non nulles dans la matrice structurale (cf. ch. 4.3.1).
- (ii) Le phénomène *A* doit être interrelié aux phénomènes *B*, *C*,... par des relations allant toutes dans le même sens (soit concordantes, soit discordantes) [Bell et Morse, 2000], afin de garantir une cohérence de l'indicateur.
- (iii) Enfin, une agrégation répond à un choix du concepteur, en fonction de ce qu'il veut représenter et communiquer.

La fonction d'agrégation peut être soit du type scalaire (ch. 3.6) : $ind_A = f(ind_B, ind_C, \dots)$, ou vectoriel lorsque la fonction mathématique n'est pas connue : $ind_A = \langle ind_B, ind_C, \dots \rangle$. En définitive, le phénomène *A* ne sera pas éliminé de la sélection, mais l'indicateur correspondant sera dérivé en agrégeant les indicateurs mesurant les phénomènes *B*, *C*,... Il sera intégré dans un sous-système de niveau hiérarchique supérieur.

Le phénomène *Mixité* permet d'illustrer ces propos. Dans le modèle synthétique du groupe d'acteurs 3 ce phénomène est influencé par *Immigration* et *Revenu* :

$$(Immigration, Niveau de vie) \rightarrow Mixité$$

Par conséquent, *Mixité* peut constituer un indicateur agrégé de ces deux phénomènes choisis comme indicateur. En l'occurrence, *Mixité* agrégera *Emploi*, puisque celui-ci a été jugé, ci-dessus, représentatif du *Niveau de vie*.

En résumé, les indicateurs issus de représentations multiacteurs traduiront premièrement les convergences sur les phénomènes dont le positionnement est central dans le système (ces phénomènes constituent ainsi des raisons collectives des acteurs); deuxièmement, les relations pour lesquelles de fortes divergences existent (enjeux politiques). Enfin, le nombre d'indicateurs sera réduit au minimum sur la base de l'hypothèse de redondance lorsqu'elle peut être établie de façon certaine, tout en autorisant des chevauchements nécessaires à la représentation systémique du territoire.

L'approche analytique et exploratoire présentée dans ce chapitre, pour trier les phénomènes, n'est qu'un support pour effectuer une première proposition d'un ensemble d'indicateurs pertinents. Elle n'exclut pas que d'autres phénomènes à mesurer puissent émerger au cours d'une discussion entre les acteurs.

En fonction des trois conditions analysées, il est possible de proposer une liste d'indicateurs par groupe d'acteurs (tableau 8.2). La formulation d'un indicateur est plus précise que celle du phénomène correspondant, car l'indicateur est orienté sur une mesure opérationnelle d'un attribut du phénomène.

Afin de ne pas trop alourdir la présentation et d'éviter des répétitions, les indicateurs ne sont représentés qu'une seule fois pour chaque groupe, même s'ils appartiennent à plusieurs catégories (stratégique, effet, divergence). Dans cette proposition, les deux niveaux hiérarchiques des phénomènes critiques (tableau 7.22 et 7.23) sont sélectionnés.

Les groupes contiennent respectivement 11, 11 et 14 indicateurs, ce qui représente des ensembles de taille réduite par rapport au nombre total de phénomènes (22). Le groupe 3 contient un ensemble d'indicateurs de dimension plus grande, étant donné que les divergences sur l'amplitude et sur les relations sont plus nombreuses.

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3	
	Phénomène	Indicateur	Phénomène	Indicateur	Phénomène	Indicateur
Indicateurs stratégiques	Transport public	Fréquence des bus	Scolarisation	Taux de scolarisation	*Emploi	Taux d'activité
	Aménagement piéton	Densité de cheminements piétonniers	Aménagement piéton	Densité de cheminements piétonniers	Démographie	Croissance démographique/an
	Immigration	Taux annuel d'immigration	Transport public	Fréquence des bus	Logement collectif	Offre/demande en logement collectif
Indicateurs d'effets	Mixité sociale	Indice de diversité	Mixité sociale	Indice de diversité	Mixité sociale	Indice de diversité
	Services locaux	Proximité aux services locaux	Services locaux	Proximité aux services locaux	Immigration	Taux annuel d'immigration
	Environnement	Qualité de l'environnement	Emploi	Taux d'activité	Exode des jeunes	Nombre de départ/an
	Logement individuel	Offre/demande en logement individuel.	Logement individuel	Offre/demande en logement individuel	Logement individuel	Offre/demande en logement individuel
	Trafic	Nbre de véhicule par min	Féminisation	Taux activité des femmes		
	Etalement urbain	Distance centre - périphérie	Niveau de vie	Revenu moyen par habitant		
Divergences	Nuisances	Niveau de bruit	Services régionaux	Proximité aux services régionaux	Nuisances	Niveau de bruit
	Densification	Indice d'occupation du sol	Densification	Indice d'occupation du sol	Aménagement piéton Vieillessement Transport public Féminisation Services locaux Densification	Densité de cheminements piétonniers Age moyen Proximité aux arrêts de bus Taux activité des femmes Proximité aux services locaux Indice d'occupation du sol

Tableau 8.2 : Proposition d'un ensemble d'indicateurs par groupe d'acteurs. Distinction de trois types d'indicateurs : indicateurs stratégiques, indicateurs d'effet (sensibles), indicateurs liés à des divergences sur l'amplitude des phénomènes et les relations (concordante/discordante) entre phénomènes.

*Emploi représente en même temps Niveau de vie, étant donné qu'il a été jugé redondant de mesurer à la fois les deux phénomènes.

**Mixité sociale se situe à un niveau d'agrégation supérieur. Elle agrège Taux d'activité et Taux d'immigration.

Considérant ces ensembles d'indicateurs différenciés par groupe, l'étape suivante serait de définir un ensemble global qui intègre les représentations des trois groupes, dans l'optique d'un diagnostic participatif. Pour cela, cet ensemble peut reposer sur les raisons communes entre les groupes, identifiées au chapitre précédent (7.5.5) et également identifiables dans le

tableau ci-dessus. De même, il peut contenir des indicateurs qui apportent un éclairage sur les divergences entre les groupes.

8.1.2 Elaboration d'un système d'indicateurs

Les indicateurs présentés dans le tableau ci-dessus sont simplement juxtaposés sous forme de liste. Il convient alors de les organiser de façon systémique. Sur la base d'un modèle conceptuel de phénomènes, il est possible de dériver un modèle conceptuel d'indicateurs qui implique une structure horizontale et hiérarchique. Les relations causales entre indicateurs reposent sur celles identifiées entre les phénomènes. Ce passage d'un modèle à l'autre est illustré à travers la figure suivante :

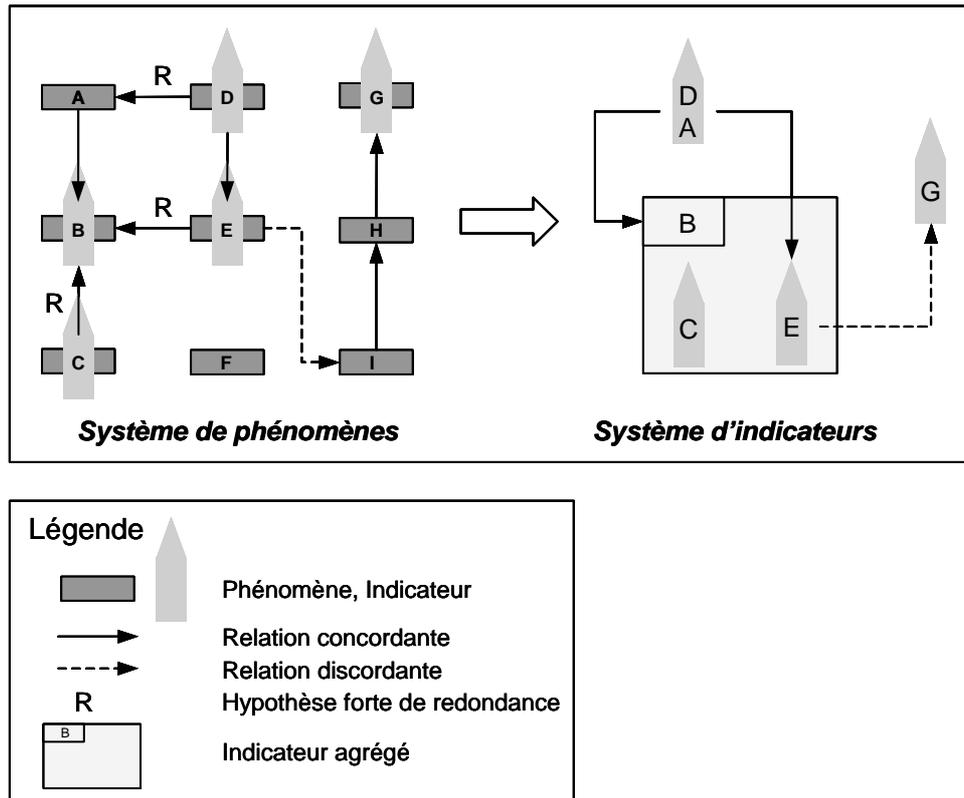


Figure 8.2 : Elaboration d'un système d'indicateurs à partir du système de phénomènes. Dans cet exemple, seuls les phénomènes B, C, D, E, G ont été retenus pour être mesurés par des indicateurs.

La figure met en évidence trois éléments :

1. Dans le cas d'une redondance entre deux phénomènes (D et A), si l'un est mesuré, l'indicateur résultant peut être considéré comme représentatif des deux à la fois.
2. Les relations sont reportées entre des indicateurs qui sont indirectement reliés par l'intermédiaire de phénomènes ne faisant pas l'objet de mesures. Par ailleurs, si les deux indicateurs sont reliés par des relations indirectes concordantes et discordantes, la règle de multiplication des signes (signe [-] pour discordant, [+] pour concordant) s'applique pour déterminer le sens de la relation résultante. Par exemple, le signe de la relation entre les indicateurs E et G est : $[-] * [+] * [+] = [-]$, donc discordant.
3. Les indicateurs (B) agrégeant d'autres indicateurs (C, D), sur la base de relations redondantes, constituent un niveau hiérarchique supérieur.

Organisation verticale d'un système d'indicateurs

Conceptuellement, il paraît difficile de déterminer de façon absolue le niveau d'agrégation d'un indicateur. En revanche, ce niveau peut être défini de façon relative par rapport aux autres indicateurs. En adaptant le modèle de Strahler [1957] développé pour les flux hydrologiques, nous proposons la règle d'agrégation suivante : toute rencontre de deux ou de plusieurs indicateurs, ayant des niveaux d'agrégation égaux ou différents (i, j, \dots, m), justifie un niveau supérieur (n) d'agrégation. On peut résumer ce principe, illustré sur la figure 8.3, par la formule suivante :

$$n = \max(i, j, \dots, m) + 1 \quad (\text{éq. 8.1})$$

Cette proposition de structuration présente l'avantage de n'être pas strictement hiérarchique. En effet, en se référant à la figure 8.3, le niveau 3 par exemple n'est pas seulement déterminé par des indicateurs du niveau 2, mais aussi directement par ceux du niveau 1.

Le nombre de niveaux d'agrégation est défini selon les objectifs d'utilisation de l'ensemble d'indicateurs. Chaque niveau doit, en principe, être homogène, même s'il peut exister des relations causales entre les indicateurs de différents niveaux. Théoriquement le plus élevé correspond à un index trans-thématique, même si un indicateur très agrégé reste peu significatif pour exprimer la complexité du système étant donné une perte d'information. Le niveau le moins agrégé correspond à des objectifs spécifiques et contient généralement le plus grand nombre d'indicateurs. L'ensemble devrait, en principe, conserver la cohérence des relations à chaque niveau d'agrégation.

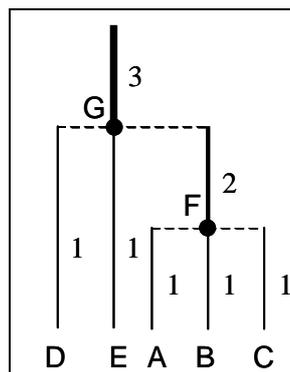


Figure 8.3 : Règle d'agrégation thématique des indicateurs (les lettres en majuscule désignent les indicateurs).

8.2 Interface de communication des indicateurs

Une fois les indicateurs géographiques sélectionnés et organisés dans un modèle systémique, il convient d'évaluer les indicateurs en utilisant, entre autres, des outils d'analyse spatiale, tels que ceux présentés au chapitre 6.1. La question se pose de comment organiser et communiquer les indicateurs cartographiés, de telle façon à faciliter leur appropriation et utilisation par les acteurs dans une démarche participative (cf. hypothèse 5, ch. 1.2). Nous proposons dans cette section un concept d'interface de communication d'un système d'indicateurs. Nous nous référerons au préalable à des exemples d'interface, appelés aussi tableau de bord, observatoire ou encore moniteur.

8.2.1 Concepts généraux sur les tableaux de bord

La communication d'indicateurs géographiques s'effectue généralement par l'intermédiaire d'interfaces de type **tableau de bord**. Ce dernier « est un instrument de structuration et de communication d'un ensemble d'indicateurs. Intégré à des bases de données ou SIG, il

propose une image synthétique et communicative du territoire, favorisant la formulation d'un diagnostic » [Repetti, 2004, p. 46].

Le concept de tableau de bord est déjà bien développé dans le domaine de l'économie et il se fait de plus en plus émergeant dans les secteurs de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Il s'inscrit généralement dans un processus de monitoring, de suivi temporel des indicateurs, de pilotage. Dans ce chapitre, nous ne portons pas notre attention sur le suivi temporel des indicateurs (cet aspect sera abordé dans les perspectives), mais avant tout sur la manière de les structurer dans une interface de communication.

En effet, l'interactivité d'une information géographique, lorsqu'elle est communiquée à un groupe d'acteurs ou plus largement via des interfaces telles qu'Internet, est conditionnée en particulier par la structuration de l'information, car un ensemble de cartes, sans structure cohérente, aura peu d'impact sur le public [Nembrini et Joerin, 2002]. Les tableaux de bord d'indicateurs se distinguent donc par leur mode d'organisation des indicateurs.

Les approches actuelles gèrent souvent des ensembles de cartes d'indicateurs structurées *thématiquement* et *hiérarchiquement* sur plusieurs niveaux d'agrégation. Par exemple, le concept de tableau de bord proposé par le bureau d'étude SITE est présenté par la figure 8.5.

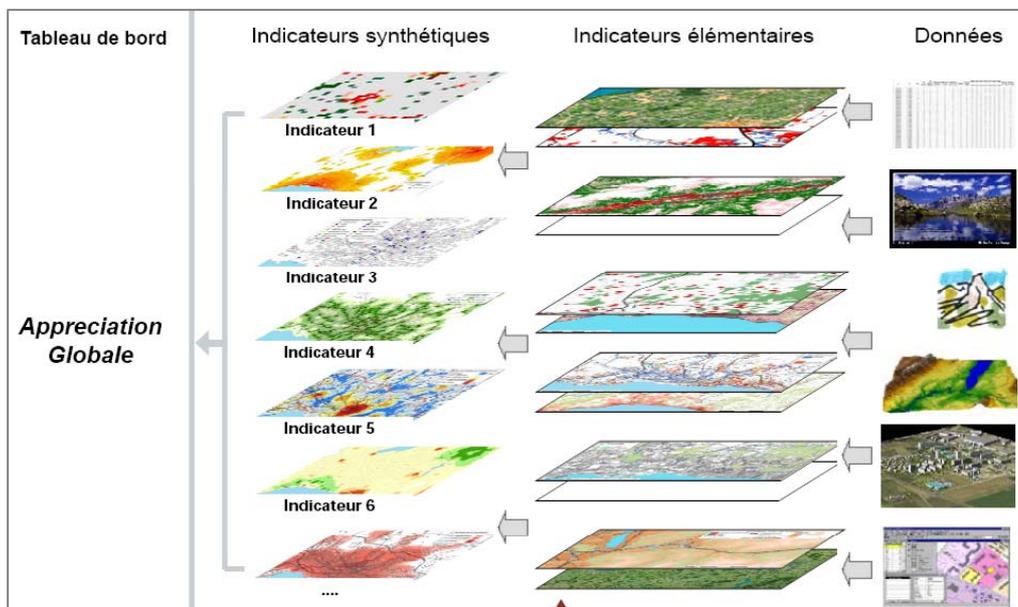


Figure 8.5 : Concept de Tableau de bord proposé par le bureau d'étude SiTES.

Les données à référence spatiale sont tout d'abord transformées en indicateurs élémentaires. Ceux-ci sont ensuite agrégés, dans des indicateurs synthétiques en utilisant notamment les fonctions d'overlay.

8.2.2 Proposition d'un concept de communication d'indicateurs géographiques

Comme nous l'avons vu à travers les deux exemples, la structure de l'interface renvoie à celle de l'ensemble d'indicateurs.

A ces types de structure hiérarchique, nous proposons d'ajouter une dimension *horizontale* en se référant aux indicateurs et aux modèles causaux proposés par les groupes d'acteurs dans le cadre du diagnostic de Saint-Jean (chapitre 6). Nous envisageons deux possibilités de communication qui, au stade de la recherche, se situent au niveau des idées en vue d'une implémentation future dans des outils opérationnels.

Association des cartes d'indicateurs à un modèle conceptuel

Premièrement, les cartes d'indicateurs peuvent être associées à un modèle conceptuel d'indicateurs structurés sur plusieurs niveaux d'agrégation. Ainsi, l'interface communique d'une part le modèle conceptuel d'indicateurs ; d'autre part en cliquant sur un indicateur du modèle, il est possible d'afficher, par un lien hypertexte, la carte correspondante :

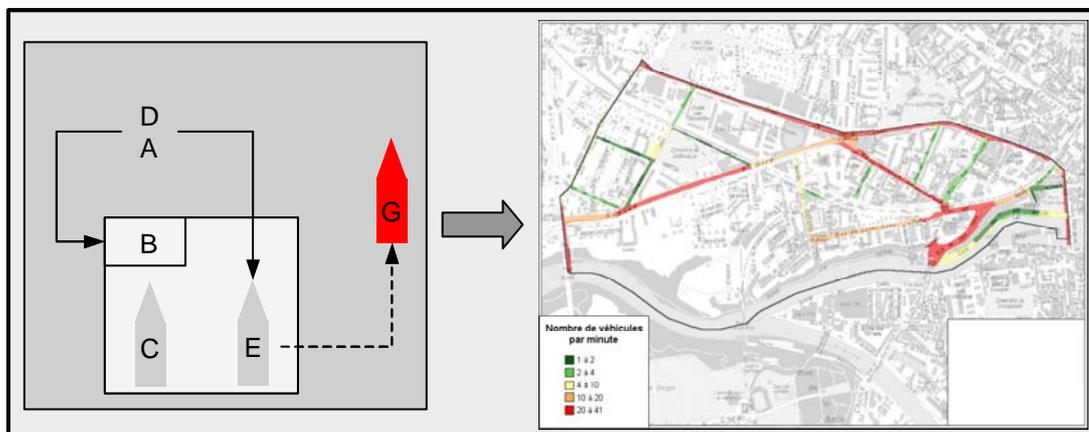


Figure 8.6 : Lien entre un modèle conceptuel d'indicateurs et une carte d'indicateur.

Cette possibilité a l'avantage d'être simple. Cependant, les relations entre les indicateurs spatiaux sont implicites, car il faut systématiquement revenir au modèle conceptuel.

Navigation au sein d'un système de cartes d'indicateurs

Nous proposons un mode de communication plus dynamique en donnant la possibilité de naviguer dans le système d'indicateurs ; ceci, en passant d'une carte à l'autre, aussi bien horizontalement que verticalement (agrégation) par le biais des relations causales.

Ce type d'interface est communiqué selon un langage défini dans un espace qualité (cf. 7.4.2, p. 113). La dynamique des relations, à savoir les règles de transition d'état, entre indicateurs se base sur les mêmes règles que celles définies entre les phénomènes, lors de la phase de conception (cf. 7.4.1).

La navigation dans le système d'indicateurs est mise en œuvre par l'intermédiaire d'une fenêtre de navigation associée à chaque indicateur géographique. Voici ci-dessous un démonstrateur de cette fenêtre associée à la carte de l'indicateur *Charge de Trafic* :

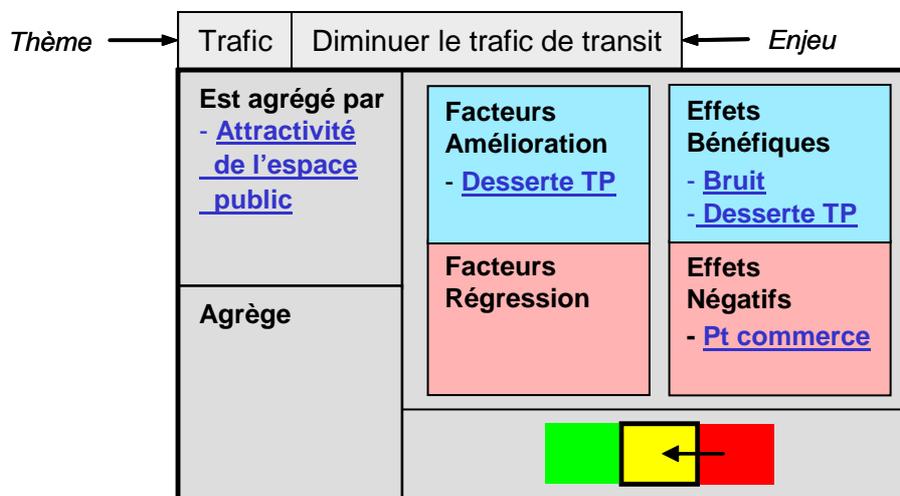


Figure 8.7: Détail de la fenêtre de navigation pour l'indicateur Charge de trafic. Exemple d'une amélioration d'une situation mauvaise (rouge) à une situation moyenne (jaune).

Les libellés au-dessus de la fenêtre désignent l'appartenance thématique de l'indicateur (Trafic) et l'enjeu qu'il évalue (Diminuer le trafic de transit). La fenêtre contient principalement deux parties. La **partie de droite** concerne les relations horizontales. Dans l'exemple, on considère l'amélioration de *Charge de trafic* d'un état « mauvais » (rouge) à un état « moyen » (jaune). Cette amélioration est permise par des facteurs d'amélioration, tels que celle concernant la *Desserte en transport public*. De même, elle produit d'une part des effets bénéfiques sur le *Bruit*, et sur la *Desserte en TP*. Ainsi, *Charge de trafic* et *Desserte TP* sont à la fois causes et effets, leur relation étant rétroactive. D'autre, part, *Charge de trafic* produit des effets négatifs, par exemple sur la densité de *Petits commerces* : plusieurs commerçants jugent qu'une baisse du trafic au centre ville est nuisible pour leurs affaires, ce qui n'est pas forcément l'avis de tous comme nous l'avons déjà vu.

La **partie de gauche** concerne les relations verticales d'agrégation. L'indicateur *Charge de trafic* constitue une composante de l'indicateur *Attractivité de l'espace public* (cf. 6.1.3). En revanche, *Trafic* est un indicateur de premier ordre et n'agrège aucun autre.

La navigation dans le système de cartes s'effectue en cliquant, dans la fenêtre, sur les liens hypertextes qui renvoient aux différents indicateurs. La figure 8.8 montre un exemple de navigation depuis la carte de l'indicateur *Charge de trafic*. Au niveau horizontal, on clique sur l'indicateur *Bruit* et la carte correspondante est activée¹⁾. La fenêtre associée à cette carte, indique que le *Bruit* s'améliore (évolution de rouge à jaune) et que la *Charge de trafic* constitue un facteur de cette amélioration.

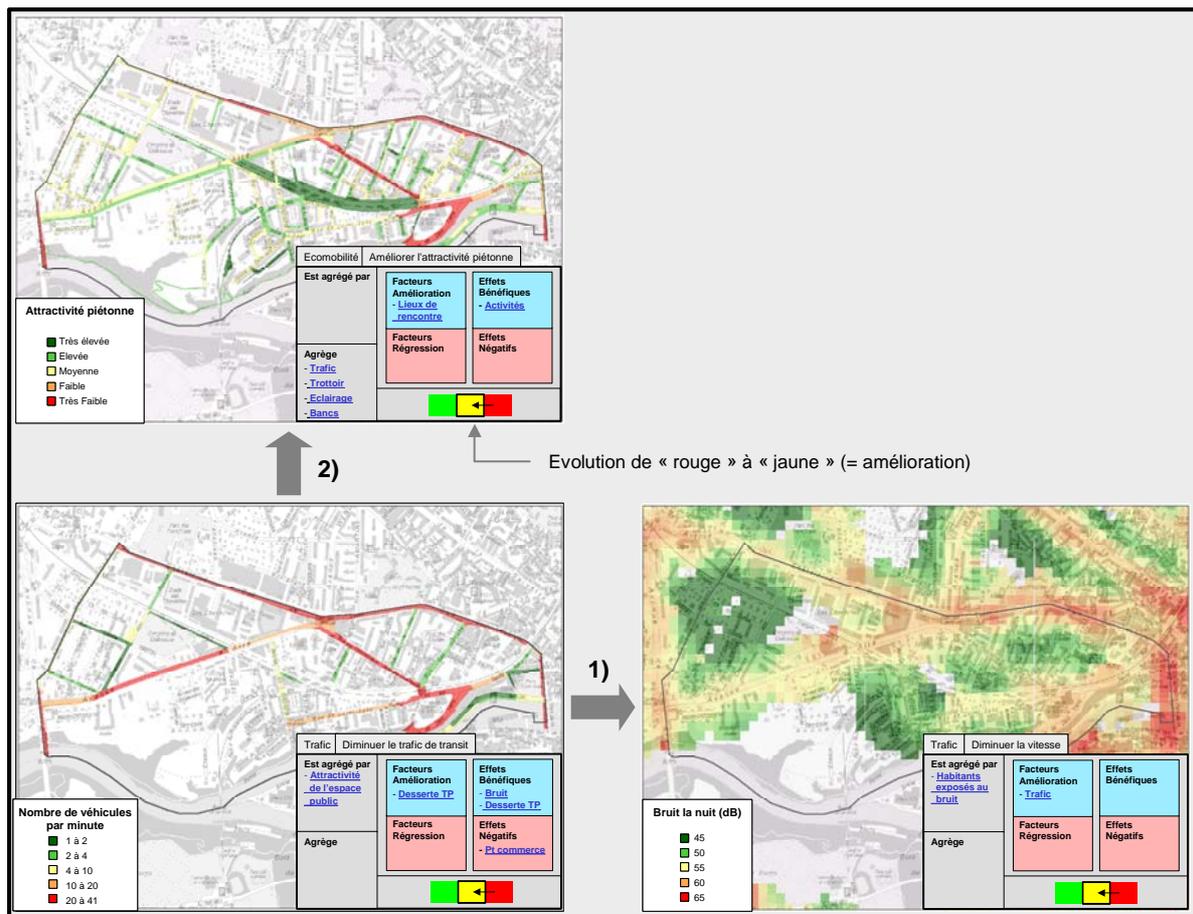


Figure 8.8 : Exemple de navigation horizontale et verticale au sein d'un système d'indicateurs cartographiques

Au niveau vertical, une amélioration de *Charge de Trafic* de rouge à jaune, contribue à une amélioration similaire de *Attractivité piétonne*²⁾, ce qui a des effets bénéfiques sur l'indicateur

Activités (loisirs). Par ailleurs, dans la fenêtre de l'indicateur agrégé sont affichés ses composantes, et il est possible de cliquer sur l'une d'elles selon les intérêts.

Diagnostic

La consultation des indicateurs est effectuée en naviguant dans le système d'indicateurs à travers leurs relations qui sont formalisées selon une dynamique qualitative. Ainsi la consultation est double : interprétation de chaque carte d'indicateur et relativisation de cette interprétation en considérant les relations entre indicateurs. Ce mode d'organisation des indicateurs devrait aider les acteurs à **formuler un diagnostic** qui rende compte d'un bilan de la situation du système urbain et d'une compréhension de son fonctionnement potentiel, tel que représentés par les acteurs. En se référant à la démarche réalisée à Genève, le résultat du diagnostic est constitué par des enjeux prioritaires. Autrement dit, ce sont les raisons des acteurs, émergées d'un processus de reconstitution/reconstruction, qui fondent la phase de résolution de problème.

8.2.3 Evaluation des méthodes de communication

Apports

Les deux formes d'interface, loin de s'exclure, sont complémentaires. La forme conceptuelle donne une vision globale de la structure du système d'indicateurs, tandis que la deuxième permet de relier les cartes d'indicateurs de façon dynamique.

La forme conceptuelle est certainement la plus facile à mettre en œuvre. Cependant, l'aspect relationnel entre les indicateurs est moins direct. La mise en relation des indicateurs passe par un modèle causal exprimé en terme de concordance/discordance. Comme déjà dit, ce type de relation est cognitivement moins accessible aux acteurs, lorsqu'il s'agit de communiquer le système.

La forme dynamique constitue une plus-value par rapport au fait de consulter un ensemble d'indicateurs indépendants (du moins sans que les relations soit explicitées). Au lieu de présenter à des acteurs les indicateurs les uns après les autres, dans un ordre plus ou moins aléatoire, ou implicitement dans un ordre d'intérêt, il est proposé de communiquer les indicateurs en naviguant dans le système selon les relations d'amélioration ou de détérioration. Ainsi chaque indicateur est situé relativement par rapport aux autres, en représentant à la fois les causes et les effets de l'évolution de l'indicateur. Cette manière de communiquer reflète plus fidèlement les représentations des acteurs exprimées lors de la conception du modèle de phénomènes. En définitive, le diagnostic ne se fonde pas sur une représentation isolée des indicateurs, mais sur leur importance relative par rapport aux autres.

Limites de la forme dynamique

(i) Sur un aspect opérationnel, un problème se pose lorsqu'une relation entre deux indicateurs intègre plusieurs relations représentées avec des transitions d'état différentes entre des phénomènes intermédiaires non mesurés, par exemple entre les indicateurs *E* et *G* de la figure 8.2 (où les phénomènes *H* et *I* ne sont pas mesurés). Afin d'adopter une règle de transition unique pour la relation résultante, nous appliquons la règle de **transitivité**. Pour illustrer ce principe, nous prenons l'exemple d'une chaîne causale simple qui considère trois phénomènes :

Trafic → Embouteillage → Retard des bus

Une augmentation du *Trafic* sur le réseau routier entraîne une augmentation des *Bouchons* (concordance), ce qui peut provoquer des *Retards* sur le réseau du transport public (concordance).

Ce modèle causal est issu des trois co-évolutions suivantes qui pourraient être identifiées par un ou plusieurs acteurs :

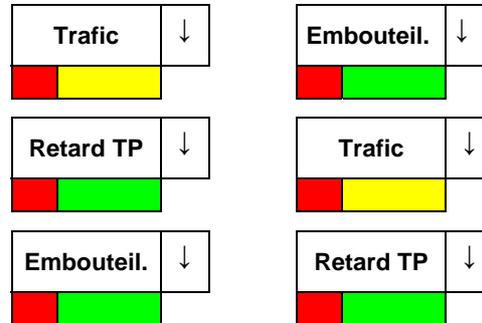


Figure 8.9 : Co-évolutions entre les phénomènes *Trafic*, *Bouchon*, *Retard des bus (TP)*.

On choisit de mesurer, par des indicateurs, *Trafic* et *Retard TP*, mais pas *Bouchon*. Quelle est alors la règle de transition pour la relation *Trafic* → *Retard* ? En considérant les co-évolutions présentées à la figure 8.9, nous appliquons la règle de transitivité de la façon suivante :

Si *Trafic* R→J alors *Embouteillage* R→V,
 Si *Embouteillage* R→V alors *Retard* R→V
 Par conséquent, si *Trafic* R→J, alors *Retard* R→V

(ii) Les transitions d'état renvoient à la conception individuelle des modèles de phénomènes. Le problème se pose lorsqu'il s'agit de communiquer le système d'indicateurs issus d'un modèle agrégé d'un groupe d'acteurs. L'agrégation des modèles (ch. 7.5) a consisté à relever les convergences sur les conditions initiales et les relations. Or une même relation concordante ou discordante identifiée entre deux acteurs n'est pas forcément issue d'une même transition d'état. Par exemple, les deux cas de figure :

$$\text{Ph}_1 (\uparrow) V \rightarrow J \Rightarrow \text{Ph}_2 (\uparrow) V \rightarrow J$$

$$\text{Ph}_1 (\uparrow) J \rightarrow R \Rightarrow \text{Ph}_2 (\uparrow) J \rightarrow R$$

donnent la même relation causale, à savoir une relation concordante.

Par conséquent pour pouvoir établir une interface de communication commune aux acteurs d'un groupe, les acteurs doivent se mettre d'accord non seulement sur les tendances souhaitées des phénomènes et leurs interrelations, mais aussi spécifiquement sur les mêmes transitions d'état

8.3 Intégration d'une double représentation systémique du territoire : cognitive et mesurée

Le système d'indicateurs représentés spatialement et communiqué selon l'interface présenté ci-dessus permet de formaliser une représentation systémique du territoire. Cette représentation est le résultat d'une mise en rapport :

- des représentations cognitives des acteurs qui sont formalisées par des modèles conceptuels de phénomènes ; cela renvoie à l'idée de représentation interne proposée par Roche et Hodel [2004] (cf. ch. 5.1).

- d'informations mesurées de sources officielles dont le choix pertinent est conditionné par les raisons des acteurs. Ce sont les représentations externes [ibid.].

Ce croisement rejoint les propos avancés au chapitre 5.1 : une image perçue a une composante qui vient du milieu (territoire) qu'on peut appeler **mesure** ou évaluation (indicateurs), et une composante qui vient du sujet, appelée **jugement** (représentation cognitive) [Flourentzou, 2001]. Une telle interaction présente les opportunités suivantes :

- Elle devrait faciliter l'appropriation de l'information géographique par les acteurs, car le choix d'indicateurs pertinents répond aux raisons des acteurs qui sont issues des représentations cognitives elles-mêmes.
- La confrontation des représentations cognitives à celles apportées par les indicateurs devrait contribuer itérativement à enrichir et faire évoluer ou consolider les représentations cognitives selon une **dynamique d'apprentissage** [Joerin et al., 2005], de reconstruction collective (cf. 5.1 et 5.3). Les indicateurs permettent de renforcer la cohésion des acteurs autour de projets communs [Repetti, 2004].
- L'évolution des opinions devrait permettre de préciser davantage les enjeux prioritaires en vue d'une action sur un espace donné et de formuler ainsi un **diagnostic** sur cet espace.

Synthèse du chapitre

Dans ce chapitre nous avons proposé une méthode de sélection d'indicateurs sur la base des phénomènes mis en évidence dans le système (raisons) et ceux qui suscitent des divergences de points de vue parmi les acteurs d'un groupe. En apportant un éclairage du contexte territorial, les indicateurs contribuent à faire évoluer les représentations et les raisons.

Afin de refléter les représentations des acteurs, nous avons organisé les indicateurs sélectionnés dans un modèle systémique utilisant les mêmes relations causales identifiées entre les phénomènes. Un concept d'interface de communication reposant sur cette organisation a été proposé. Il permet de passer d'une carte d'un indicateur à l'autre aussi bien horizontalement, à travers les relations causales, que verticalement, à travers les relations d'agrégation.

Synthèse méthodologique

Dans les chapitres de 6 à 8, la méthodologie a été illustrée avec les applications réalisées à Genève et Québec ; ceci, afin de faciliter au lecteur la compréhension de la démarche et de refléter le processus d'émergence dans laquelle se situe la présente recherche.

L'objectif de ce chapitre est de resserrer et de généraliser le propos en présentant une synthèse qui peut servir de guide pour d'éventuelles applications de la démarche dans différents contextes.

Cette synthèse présente non seulement succinctement la totalité des étapes proposées dans le mémoire. Mais elle propose également d'insérer ces étapes dans une démarche participative réelle, telle que celle du diagnostic de quartier réalisé à Genève, en soulignant les dimensions constructivistes et délibératives.

Si l'application de la démarche est détaillée dans ce chapitre à travers l'exemple du diagnostic de quartier, elle peut concerner également d'autres contextes (participatifs ou non, orientés vers les indicateurs ou non) (cf. ch. 10.3.2), selon lesquelles les étapes ne seront pas forcément toutes utiles.

1. Choix des acteurs

Objectif

Réunir les acteurs concernés par la problématique.

Démarche

Le choix des acteurs n'est pas totalement libre. Car il est plus ou moins imposé par les partenaires associés à un projet, par les personnes participant volontairement à la démarche ou par les personnes disponibles.

Dans le cadre d'un diagnostic urbain, tel que celui réalisé à Saint-Jean (Genève), nous visons une **représentativité qualitative** constituée de deux niveaux de participation, dans le but d'établir « *une meilleure correspondance entre les opinions défendues par les habitants impliqués ou actifs et celles de la population en général qu'ils souhaitent représenter* » [Joerin et al. 2004] :

- Groupe de travail, appelé **Groupe diagnostic** (GD), composé si possible de 15 à 20 habitants pour pouvoir former des groupes suffisamment différenciés. Ce groupe accompagne la démarche dans son ensemble.
- Une partie de la **population** (environ 50 à 70) interrogée dans différents lieux du quartier.

Le processus est « piloté » par une ou plusieurs **personnes d'étude** (groupe de recherche).

2. Connaissance initiale de la problématique

Objectif

Etablir une première compréhension de la problématique territoriale dans laquelle s'insère le diagnostic et en particulier la démarche de modélisation des phénomènes et des indicateurs. Autrement dit, cette mise en pertinence constitue le point de départ de la démarche constructiviste.

Démarche

Le processus s'inscrit dans une approche constructiviste, car elle se base sur des opinions encore peu formalisées au début du processus et explicitées progressivement au cours des différentes étapes.

- i. **GD₁** : Première séance de travail avec le *groupe diagnostic*, durant laquelle sont récoltées les **préoccupations** du groupe : « Qu'est-ce qui ne va pas dans le quartier ? ».
- ii. Ces préoccupations sont validées et complétées par des *habitants* rencontrés dans différents lieux du quartier. Elles sont regroupées ensuite dans des thèmes.

La connaissance préliminaire du contexte est acquise de façon complémentaire, à travers : des expertises, rapports, études, collectés par le *groupe de recherche*, dans lesquels figurent notamment un certain nombre de données statistiques et d'indicateurs existants (option uniquement suivie à Québec).

- iii. **GD₂** : le *groupe diagnostic* analyse les préoccupations et autres sources d'informations, et se met d'accord sur un premier ensemble d'**enjeux de base** (évolutions souhaitées par rapport à la problématique) auquel est associée une liste de **phénomènes** (composantes du système urbain).

=> **Résultat** : ensemble d'enjeux de base et de phénomènes urbains qui seront organisés dans un système par un ou plusieurs acteurs.

3. Elaboration d'un modèle de la réalité perçue complexe

Objectif

Aider un acteur à construire sa représentation de la complexité sur la base de ses perceptions en organisant un ensemble de phénomènes urbains sur un niveau à la fois dialectique (discours, discussion) et didactique (apprentissage). Cette démarche constitue un moyen pour impliquer l'acteur dans un processus décisionnel dès la phase de diagnostic.

Démarche

La démarche de modélisation comprend deux phases.

Entretien et conception

La démarche de conception d'un modèle a lieu dans le cadre d'un entretien entre chaque *membre du groupe diagnostic* et la *personne d'étude*. La durée doit être relativement courte (max. 1 heure) afin de faire ressortir uniquement les éléments pertinents de la représentation.

Une **interface informatique de conception** permet de guider l'entretien et de saisir facilement les réponses, selon un langage symbolique et qualitatif. La conception se déroule en deux étapes.

1^{er} étape : identification des conditions initiales

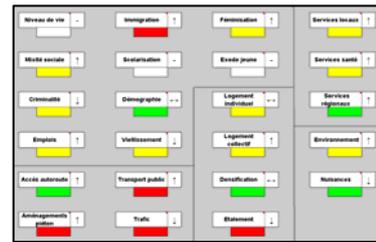
L'acteur peut cibler cette identification sur les phénomènes suscitant un intérêt.

Les conditions initiales (CI) sont définies par un tuple de deux valeurs ordinales :

CI = < Tendence, Situation initiale >

avec : Tendence = {maximiser, stabiliser, minimiser, aucune}

Situation initiale = {favorable, incertaine, défavorable, aucune}



La mise en rapport de la situation avec la tendance permet de déterminer comment la personne perçoit l'**amplitude** du phénomène.

Par ailleurs, au cours de l'entretien, l'acteur peut proposer d'ajouter à l'ensemble de départ de **nouveaux phénomènes** qui lui semblent important de considérer.

=> **Résultat** : un feuillet représentant l'ensemble des conditions initiales pour les phénomènes ayant été considérés par l'acteur.

2^{ème} étape : identification des co-évolutions entre les phénomènes

Chaque phénomène est source potentielle de co-évolutions sur d'autres phénomènes.

La question suivante est posée : si un phénomène change d'état et s'améliore ou se détériore, d'autres phénomènes vont-ils aussi changer d'état ? Lesquels ? Dans quelle direction (amélioration ou détérioration) ? Et de quelle intensité (d'un état ou de deux états) ?

L'acteur sélectionne les phénomènes pour lesquels il perçoit de telles co-évolutions. Chacun de ces phénomènes fait l'objet d'un modèle séparé sur lequel sont représentées les co-évolutions entre le phénomène source et les phénomènes cibles.

=> **Résultat** : un ensemble modèles de co-évolutions par phénomène

Modélisation conceptuelle

Sur la base des résultats de l'entretien, la *personne d'étude* intègre les modèles partiels de co-évolutions dans un modèle conceptuel global. Ce modèle représente les **relations causales** entre phénomènes en termes de concordance et discordance.

Ces relations sont obtenues en interprétant la signification d'une évolution d'un phénomène vis-à-vis de sa tendance. En effet, une évolution « améliorer » pourra signifier une augmentation ou une diminution du phénomène, selon que la tendance du phénomène est « maximiser » ou « minimiser ».

Le modèle de phénomène peut être communiqué soit dans la forme d'un **graphe causal**, soit dans la forme **matricielle phénomènes x phénomènes**. Les lignes de la matrice représentent les phénomènes sources et les colonnes, les phénomènes cibles. Une valeur de 1 dans la matrice indique la présence d'une relation, une valeur de 0, une absence de relation. Les colonnes sont dédoublées selon que la relation est concordante ou discordante.

=> **Résultat** : un modèle conceptuel de phénomènes par acteur, représentant des relations causales concordantes ou discordantes, communiqué dans une forme graphique ou matricielle.

A partir des étapes suivantes, la structure est de façon générale la suivante : la *personne d'étude* ou le groupe de recherche effectue un certain nombre de propositions et d'analyse

afin d'accompagner le débat. Ces éléments sont ensuite systématiquement soumis à discussion et validation auprès des *membres du GD*. Les résultats de la discussion donnent lieu à une itération de l'étape et/ou servent de base à l'étape suivante.

4. Grille d'analyse d'un modèle et validation

Objectif

Faire ressortir les éléments de compréhension de la réalité complexe par un membre du groupe diagnostic, et mettre ainsi en évidence sa position qu'il défend dans un processus concerté.

Démarche

Grille d'analyse

L'analyse de contenu du modèle met en évidence les phénomènes critiques et, de façon plus détaillée, certaines relations. L'analyse est effectuée par la *personne d'étude* en recourant au calcul matriciel.

Les **phénomènes critiques** sont ceux dont le positionnement et le rôle sont centraux dans le système par rapport au nombre de relations qu'ils génèrent ou reçoivent. Ainsi, on distingue les :

- Phénomènes **stratégiques** : ce sont les phénomènes qui *génèrent* un nombre significatif de relations ; ils sont obtenus en sommant les *colonnes* de la matrice structurale.
- Phénomènes **sensibles** : ce sont les phénomènes qui *reçoivent* un nombre significatif de relations ; ils sont obtenus par la somme des *lignes* de la matrice structurale.

Dans les deux cas, le nombre significatif de relations est apprécié de façon relative entre chaque phénomène.

=> **Résultats** : sélection de phénomènes critiques (stratégiques ou prioritaires) sur lesquels émergent les **raisons** de l'acteur ; ceux-ci soulignent l'importance de certains **enjeux** parmi ceux proposés au départ (étape 2).

L'**analyse détaillée** consiste à relever un certain nombre de mécanismes causaux qui présente un intérêt dans la compréhension du système, notamment :

- Les **rétroactions** positives et négatives, soulignées par l'approche systémique et qui manifestent clairement la perception de relations complexes.
- Les **aspirations contradictoires**, c'est-à-dire, des incompatibilités entre des tendances souhaitées et des évolutions perçues entre les phénomènes.

Validation et communication

Une **rencontre supplémentaire** avec chacun des acteurs est organisée pour leur permettre de prendre connaissance du modèle qu'ils ont exprimé (apprentissage), de valider le modèle et de modifier éventuellement leurs opinions (raisons).

=> **Résultats** : nouveau modèle conceptuel de phénomène après validation.

GD₃ : communication et prise de connaissance des modèles de phénomènes proposés par chacun des membres du groupe diagnostic.

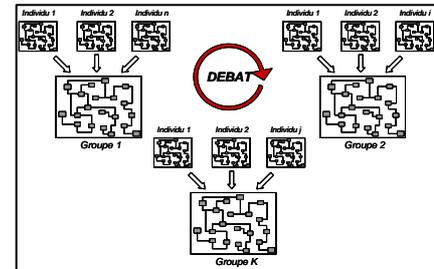
5. Représentations collectives

Objectif

Clarifier et simplifier le débat en identifiant un nombre limité de groupes d'affinités ou de modèles. Au sein de chaque groupe, élaborer une représentation collective, mettant en évidence les éléments convergents et divergents de la représentation.

Démarche

Nous proposons, au préalable à une discussion entre acteurs, de faciliter le regroupement en recourant à des outils mathématiques mis en œuvre par le *groupe de recherche* : classification statistique des modèles pour la création des groupes et calcul matriciel pour l'agrégation des modèles par groupe.



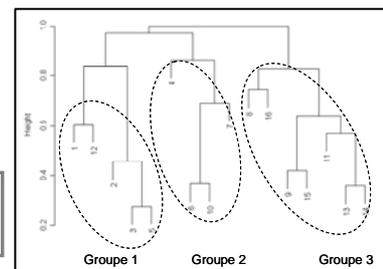
Classification statistique des modèles

La classification consiste à créer des groupes de modèles, à l'intérieur desquels la dissemblance est minimale du point de vue de critères. Ceux-ci se rapportent aux éléments de contenu des modèles suivants :

1. Situation initiale : les acteurs perçoivent-ils la situation des phénomènes de la même manière ?
2. Tendance : ont-ils les mêmes intentions par rapport aux phénomènes ?
3. Relations partantes : sont-ils d'accord sur les mêmes phénomènes stratégiques ?
4. Relations arrivantes : sont-ils d'accord sur les mêmes phénomènes sensibles ?
5. Occurrence des relations : sont-ils d'accord sur les mêmes relations ?

La procédure de classification consiste à élaborer pour chaque critère une matrice de dissemblance partielle *acteurs X acteurs*. Les matrices partielles sont ensuite agrégées dans une matrice globale, en utilisant une fonction de ressemblance.

=> **Résultat** : groupes de modèles à l'intérieur desquels la dissemblance est minimale par rapport à leur contenu.

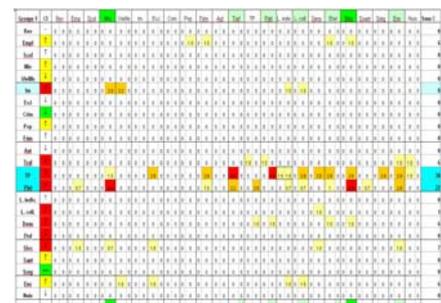


Modèles par groupe

La création de groupes de modèles ressemblants facilite l'émergence de représentations collectives à l'intérieur de ces groupes. Elles expriment d'une part des convergences de point de vue sur tous les éléments du contenu des modèles, à savoir les conditions initiales des phénomènes et leurs interrelations, d'autre part des divergences.

L'analyse de convergence et divergence sur les **conditions initiales** porte sur la tendance des phénomènes ainsi que sur l'amplitude.

Le **modèle relationnel** par groupe est obtenu en additionnant les matrices des modèles individuels. Chaque valeur de la matrice correspond à un degré d'occurrence pour une relation donnée (nombre de personnes ayant exprimé cette relation). L'analyse porte sur :



- Les **relations**. L'analyse de convergence relève les relations dont le degré d'occurrence est significatif. L'analyse de divergence s'intéresse à souligner les relations entre deux phénomènes, perçues par les uns concordantes, par les autres discordantes.
- Les **phénomènes critiques**, c'est-à-dire les phénomènes stratégiques (addition des colonnes) et sensibles (addition des lignes) qui font émerger les **raisons collectives** du groupe.

=> **Résultat** : modèles de phénomènes par groupe, mettant en évidence les éléments convergents et divergents des représentations individuelles.

Délibération et validation

GD₄ : Il s'agit de vérifier si les acteurs **adhèrent** au modèle de groupe issu de l'analyse. Au sein de chaque groupe, les acteurs valident ou invalident chacune des caractéristiques du modèle de groupe (conditions initiales, relations, phénomènes critiques). A travers la délibération, les positions des acteurs convergent ou non vers le modèle proposé. Ils peuvent argumenter en s'appuyant sur leur propre modèle individuel. En cas de fortes divergences entre les membres d'un groupe, il est possible d'envisager un redimensionnement des groupes (retour au début de 5).

=> **Résultat** : modèles par groupe validés, éventuellement formation de nouveaux groupes.

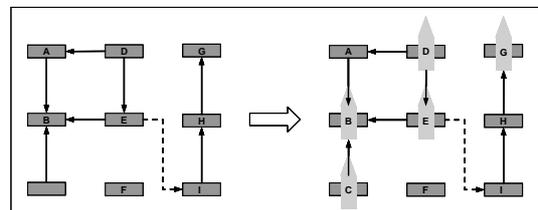
6. Proposition d'un système d'indicateurs pertinent

Objectif

Elaborer un système d'indicateurs géographiques en accord avec les représentations de la réalité complexe construites par les acteurs. Apporter un éclairage du contexte territorial plus objectif par rapport aux perceptions des acteurs.

Démarche

Dans le cas d'une démarche collective, où plusieurs groupes de représentations ont été proposés, un système d'indicateurs par groupe est élaboré, afin de respecter les positions de chaque groupe. La démarche suit les trois étapes suivantes.



Sélection des phénomènes à mesurer

Il s'agit de fixer des indicateurs sur les phénomènes qui respectent l'une ou l'autre des conditions suivantes :

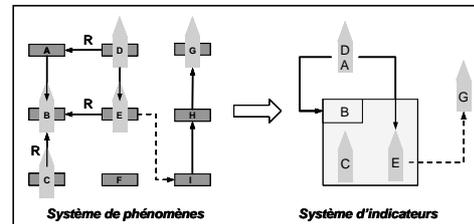
- **Convergences** : raisons qui portent sur les phénomènes ayant une importance significative pour les acteurs, à savoir les phénomènes critiques (stratégiques et sensibles).
- **Divergences** : phénomènes suscitant un débat sur leur amplitude et sur leur interrelation (concordant ou discordant). Les indicateurs, apportant un éclairage plus objectif sur les faits réels, contribuent à mieux gérer le débat.
- **Non-redondance** : certaines interrelations expriment une redondance avec une relativement grande certitude. Dans ce cas, il n'est pas opportun de mesurer les deux phénomènes à la fois.

=> **Résultat** : sélection d'indicateurs par groupe à partir d'un ensemble limité de phénomènes

Elaboration d'un système d'indicateurs géographiques

L'élaboration d'un système d'indicateurs implique, au niveau **conceptuel**, une dimension horizontale et verticale.

- Au niveau horizontal, les relations ayant été identifiées entre les phénomènes sont reportées sur les indicateurs.
- Au niveau vertical, sur la base des relations jugées redondantes, des indicateurs agrégés peuvent être proposés et constituer ainsi un niveau hiérarchique supérieur.



=> **Résultat** : modèle conceptuel d'indicateurs interreliés.

GD₅ : les acteurs valident la sélection des phénomènes à mesurer, les systèmes d'indicateurs des groupes respectifs et se mettent d'accord sur un système pour le groupe diagnostique, quitte à conserver les divergences si elles subsistent. En reprenant l'exemple de la divergence sur le sens de la relation entre *Petits commerces* et *Trafic* (pour les uns concordant, pour les autres discordant), dans le système final, le *Trafic* génère des effets à la fois bénéfiques et négatifs sur les *Petits commerces*.

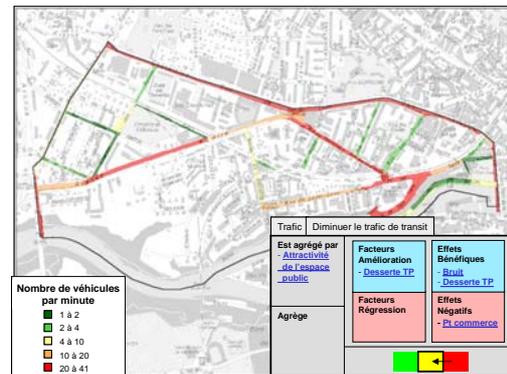
=> **Résultat** : proposition d'un système d'indicateurs pour le groupe diagnostique qui superpose les éléments convergents et divergents des différents groupes (agencement composite).

Communication et utilisation du système d'indicateurs

Une fois les indicateurs sélectionnés et organisés dans un système, ils sont construits et représentés **spatialement**, par la personne d'étude, en utilisant les opérateurs spatio-thématiques des SIG.

Un **prototype d'interface** est proposé pour communiquer le système d'indicateurs géographiques et faciliter son utilisation par les acteurs. Deux modes de communication complémentaires sont proposés :

- Associer les cartes d'indicateurs au modèle conceptuel : en cliquant sur un indicateur du modèle, la carte correspondante est affichée.
- Associer les cartes d'indicateurs à un modèle dynamique : naviguer dans le système d'indicateurs à travers les relations entre phénomènes.



=> **Résultat** : interface de communication d'indicateurs spatiaux.

GD₆ : présentation de l'interface au GD. Utilisation, discussion et validation.

=> **Résultat** : interface de communication validé.

7. Formulation du diagnostic

Objectif

Formuler un diagnostic sur le quartier qui émane non seulement du groupe diagnostic mais qui prenne aussi en compte l'avis de la population.

Démarche

Le système d'indicateurs est consulté par les *habitants* rencontrés dans le quartier, en leur donnant la possibilité de naviguer au sein du système à travers l'interface. Leurs opinions sur les indicateurs sont récoltées à travers des questions¹ qui visent à évaluer l'importance relative des enjeux. De même, les habitants peuvent se prononcer sur les relations causales et prendre position sur celles suscitant des divergences au sein du GD. Des experts scientifiques peuvent également être consultés pour résoudre certaines ambiguïtés en apportant des connaissances supplémentaires.

GD₇ : formulation du diagnostic en s'appuyant sur les opinions récoltées auprès des habitants. Le diagnostic aboutit alors à l'identification d'**enjeux prioritaires** issus d'un processus constructiviste : d'un système de phénomènes, à un système d'indicateurs qui permettent de progressivement hiérarchiser les enjeux.

=> **Résultat** : ensemble d'enjeux prioritaires qui constituent le résultat du diagnostic.

Conclusion

La démarche méthodologique proposée dans la présente recherche se décompose en un ensemble de modules qui peuvent être adaptés ou même ne pas avoir lieu selon les besoins et le contexte d'une application donnée, dans l'optique d'une flexibilité de la méthode.

Par exemple, la représentation de la complexité peut être directement construite et discutée en groupe, court-circuitant ainsi la démarche de représentation individuelle. De même, le regroupement peut être réalisé à travers une discussion entre les acteurs sur la base de leur modèle individuel uniquement, sans recourir aux outils d'analyse de classification et d'agrégation. Enfin, un accord peut être établi au niveau du modèle collectif de phénomènes, en superposant les phénomènes et relations critiques et en conservant les éléments divergents.

¹ Ce questionnaire est présenté en détail dans Joerin et al. [2005].

Synthèse, perspectives et conclusion

Dans ce chapitre, nous commençons par résumer l'ensemble des acquis de la recherche. Tout d'abord, nous rappelons les principaux enseignements théoriques qui ont motivé notre démarche méthodologique. Cette dernière est résumée et évaluée à la lumière des hypothèses de travail posées dans le premier chapitre. Nous proposons ensuite un ensemble de perspectives de développement et de concrétisation de notre démarche dans différents contextes. Le chapitre se termine par une conclusion générale.

10.1 Synthèse

10.1.1 Synthèse théorique

La présente recherche s'est fixée pour objectif de développer une méthode d'élaboration de systèmes d'indicateurs pertinents, en vue de renforcer les diagnostics territoriaux (*problem setting*), dans le cadre des processus participatifs de décision sur le territoire ; ceci en se basant sur les représentations cognitives que se construisent les acteurs de la complexité urbaine.

Le processus de diagnostic s'insère dans la phase d'intelligence d'un processus décisionnel (ch. 2). Celle-ci consiste à comprendre et représenter un problème complexe et à identifier les enjeux en amont de la décision. Le diagnostic intègre une évaluation de l'état d'un système urbain et une compréhension de la structure et du fonctionnement de ce système.

Le diagnostic d'état, décrivant la situation d'un territoire donné, s'appuie sur un ensemble d'indicateurs géographiques (ch. 3). Un indicateur mesure un attribut d'un phénomène associé à un objet. Communiqué sur un support cartographique, il permet de représenter l'hétérogénéité spatiale des phénomènes sur le territoire. L'organisation des ensembles d'indicateurs est généralement issue de la projection d'une liste d'indicateurs dans un cadre théorique, qui se matérialise sous la forme d'un modèle conceptuel d'une réalité donnée.

Afin d'intégrer dans le diagnostic une compréhension et une représentation du fonctionnement urbain, il convient d'organiser les indicateurs dans des modèles systémiques. La modélisation du système urbain et des indicateurs implique une double organisation :

- Structurelle : qui consiste à représenter les composantes du système, leurs interrelations, et les sous-systèmes qui sont de différents niveaux hiérarchiques ou d'agrégation. Cette organisation à la fois horizontale et verticale peut être représentée par une matrice structurale.
- Dynamique : qui consiste à étudier le comportement fonctionnel du système à travers ses interrelations. La connaissance de la complexité étant incomplète, nous proposons d'utiliser une approche qualitative causale qui permette de représenter les changements significatifs.

L'approche systémique stipule que la modélisation n'est pas neutre, mais elle formalise une représentation cognitive, c'est-à-dire une reconstitution de la réalité qu'un individu établit en interagissant avec elle. Cette interaction fait émerger les raisons qui fondent les enjeux de décision. C'est sur ces raisons que sont élaborés les modèles d'information, d'indicateurs. Ces derniers en apportant un éclairage sur le contexte territorial, contribuent à faire évoluer les raisons et donc à les reconstruire. Lorsque plusieurs acteurs sont impliqués dans un processus, les divergences de représentation sont souvent sources de conflits. Un processus de concertation vise à gérer et régler ces conflits en s'articulant autour des forces de différenciation et d'intégration. À travers les premières, les acteurs communiquent et confrontent dans un débat leurs représentations individuelles. Tandis que l'intégration vise à rapprocher et faire évoluer les représentations autour d'un espace commun de discussion, qui comprend des éléments communs et des éléments divergents de représentation. C'est dans cet espace que peut être ensuite établi un accord sur les solutions de décision.

Les raisons collectives fondent l'élaboration participative d'ensembles d'indicateurs. Or dans les approches courantes, les indicateurs sont juxtaposés dans des ensembles qui ne reposent pas sur une structuration forte. Ce constat nous a motivé à proposer une démarche d'organisation d'indicateurs qui repose sur un modèle systémique de phénomènes réels construit par les acteurs.

10.1.2 Evaluation de la démarche méthodologique par rapport aux hypothèses

Cette section présente les principales réalisations et contributions de la démarche méthodologique par rapport aux hypothèses de travail formulées au chapitre 1.

Formaliser une représentation de la réalité perçue complexe

*H₁ : Des relations causales sont perçues intuitivement par tout acteur vivant ou agissant sur le territoire. L'exercice de modélisation aide les acteurs à **formaliser** leur **représentation** de la réalité urbaine complexe. Il leur permet d'exprimer les éléments significatifs à considérer dans un diagnostic.*

Afin d'accréditer la première hypothèse, nous avons élaboré et utilisé une démarche d'entretien qui aide un acteur à identifier progressivement des relations causales entre les phénomènes urbains.

La richesse des relations causales et la facilité avec laquelle elles ont été exprimées montrent que les acteurs perçoivent effectivement la dynamique des phénomènes réels à travers de telles relations.

L'utilisation des relations causales s'est avérée particulièrement pertinente pour hiérarchiser les phénomènes par rapport à leur positionnement au sein du cheminement causal d'un modèle proposé par un acteur. L'analyse a permis en effet de faire ressortir très clairement, sur l'ensemble des modèles, les phénomènes critiques, en particulier ceux stratégiques.

Nous avons convenu, que sur ces phénomènes critiques, se rattachent les *raisons* que l'acteur met *en jeu* dans un processus de décision et dont l'identification est centrale au stade du diagnostic. Ces raisons devraient cependant être confirmées par les acteurs, pour accréditer que la méthode aide les acteurs à formaliser leurs raisons, en construisant une vision globale et systémique de la réalité urbaine.

Renforcer l'implication des acteurs dans un processus participatif

H₂: En même temps, cet exercice renforce leur implication, en amont d'un processus de décision, dans un processus de diagnostic participatif.

Cette hypothèse n'a pas été vérifiée formellement dans notre recherche, étant donné que les entretiens se sont déroulés individuellement en marge de processus participatifs. Toutefois, l'intérêt et l'enthousiasme que la démarche a suscité auprès de certains acteurs interrogés à Genève et Québec souligne le potentiel de la méthode pour inciter les acteurs à s'impliquer dans une démarche participative. Dans un autre contexte, certains habitants ayant participé au diagnostic de quartier réalisé à Genève (cf. ch. 6.1), avaient relevé que l'un des succès de la démarche était d'avoir reconnu « *à chaque citoyen la capacité de donner un avis pertinent sur les buts que doit poursuivre une politique d'aménagement* » [un membre du Groupe diagnostic, cité dans Joerin et al., 2004].

Représentation collective

H₃: Appliqué dans un cadre participatif, la démarche de modélisation systémique permet de faire émerger les éléments convergents et divergents en vue de définir un espace de discussion.

Cette hypothèse concerne les situations où plusieurs acteurs sont impliqués dans un processus. En outre, dans un contexte où le nombre d'acteurs est important, les profils sont variés et les visions du fonctionnement du système urbain sont *a priori* différentes, nous avons soulevé l'intérêt de pouvoir mieux structurer le débat en identifiant des groupes de modèles (acteurs) homogènes, soit des groupes d'affinités. Pour cela, nous avons fourni des outils d'analyse et de comparaison multicritère, peu sensibles à la variation de paramètres, qui permettent d'effectuer de tels regroupements.

L'analyse des modèles de groupe révèle qu'ils sont cohérents et sensés, ce qui constitue un élément important de validation de la démarche. Il a été possible d'identifier par groupe des convergences sur certaines relations et sur les phénomènes critiques, de même que les éléments divergents de représentation sur lesquels des négociations pourront être entreprises.

En définitive, notre démarche fournit une méthode et des outils pour construire et utiliser des modèles. Elle contribue à préparer la concertation sur les solutions de décision en structurant le processus et en ouvrant un espace de discussion entre les groupes.

Il resterait à vérifier que les acteurs adhèrent et s'identifient au groupe dans lequel ils ont été classés, et que la structuration du processus de concertation facilite son déroulement, par rapport à une confrontation directe des acteurs.

Système d'indicateurs

H₄: Les éléments clairement convergents et divergents des représentations constituent ceux sur lesquels des indicateurs pertinents sont proposés.

En théorie, l'utilité et la pertinence des indicateurs sont définies par rapport aux finalités et aux raisons des acteurs. De ce point de vue, nous avons pu identifier des phénomènes, sur lesquels se rattachent les raisons communes des groupes (éléments convergents). Ces phénomènes constituent des repères collectivement reconnus par les acteurs et il est dès lors pertinent de les représenter par des indicateurs.

De même, l'approche constructiviste montre que des informations externes à un individu peuvent faire évoluer sa représentation de la réalité. Ainsi, la méthode d'analyse a permis de

relever les points de désaccord sur les relations et sur les phénomènes, pour lesquels des indicateurs peuvent contribuer à clarifier les faits.

En résumé, la démarche a montré son intérêt pour traduire les enjeux des acteurs et les divergences dans un système cohérent d'indicateurs qui sert de base au diagnostic.

Interface de communication

H₅ : La communication de systèmes d'indicateurs géographiques interdépendants, à travers une interface, facilite leur utilisation et leur appropriation par les acteurs.

Nous avons élaboré un concept d'interface de communication des indicateurs géographiques. Il s'agit d'une démarche exploratoire qui n'a pas pu être testée auprès d'acteurs. Cependant, si l'on se réfère à l'expérience du diagnostic de St-Jean, la plupart des habitants interrogés se sont appropriés relativement facilement l'information géographique qui leur était communiquée à travers une interface ; sur cette base, ils ont pu formuler leurs enjeux prioritaires.

En outre, notre interface apporte une plus-value dans la structuration des indicateurs au sein d'un système qui est cohérent avec les représentations des acteurs, c'est-à-dire avec leurs modèles conceptuels de phénomènes. Dans la perspective d'une mise en œuvre, cette interface vise à développer chez l'individu une attitude réflexive qui lui permette de relativiser ses propres représentations du système urbain.

10.3 Perspectives

10.3.1 Perspectives méthodologiques

La démarche empirique adoptée et la difficulté de s'insérer dans des processus réels à des stades initiaux de la recherche n'ont pas permis un choix optimal des cas d'études ni de finaliser la validation des propositions émises. Les enseignements issus de la présente recherche laissent entrevoir les éléments qu'il s'agirait de valider *in vivo* afin de consolider la méthodologie.

Perspectives de validation dans un processus de concertation

La démarche méthodologique de représentation systémique et d'élaboration de système d'indicateurs, soutenue dans la présente thèse, a été appliquée à travers des entretiens individuels, en marge de processus de concertation réels. Nous avons accredité ci-dessus l'intérêt potentiel des outils de conception et d'analyse pour de tels processus. Cependant, afin de montrer, de façon plus complète, la pertinence de la démarche, il conviendrait de valider les résultats des analyses en les confrontant eux-mêmes aux acteurs, lors de rencontres supplémentaires.

Tout d'abord, une deuxième rencontre entre la personne d'étude et chacun des acteurs permettrait de communiquer leur modèle causal de phénomènes issu de la démarche conception, et de valider si les phénomènes critiques correspondent bien à leurs raisons, leurs enjeux. Il serait également intéressant de constater si l'acteur, en prenant connaissance de son modèle, développe une nouvelle conscience de la complexité de son quartier et fait évoluer ses raisons selon un mécanisme de reconstruction. Cette évolution ne serait sans doute pas immédiate, mais nécessiterait un certain temps d'adaptation.

Il serait ensuite très utile de réunir ensemble les acteurs de chaque groupe et de constater s'ils adhèrent et s'identifient au groupe ; en particulier, s'ils sont d'accord avec les enjeux qui émergent des phénomènes critiques du groupe après analyse. Le niveau d'adhésion peut être

également évalué en permettant aux acteurs de valider ou d'invalider le contenu du modèle synthétique, tel que proposé à la fin du chapitre 7. Les éléments fortement invalidés révèlent ceux à discuter. Si l'adhésion est partielle, elle peut être renforcée à travers la discussion entre les acteurs, en s'appuyant sur le modèle synthétique, de même que sur leur propre modèle. Il est ensuite possible que, suite à la délibération, de nouvelles raisons émergent et fassent l'objet d'un accord.

Il serait également intéressant de vérifier si le regroupement des modèles individuels facilite le déroulement du processus, en le comparant avec une situation sans regroupement où l'ensemble des acteurs discute uniquement à partir de leur modèle individuel.

Enfin, les indicateurs ont été proposés sur la base des phénomènes critiques. Il s'agit alors de vérifier si :

- les acteurs adhèrent à cette sélection,
- les phénomènes non considérés ne devraient pas faire également l'objet d'une mesure selon leur point de vue,
- les indicateurs mesurés sur les éléments divergents du modèle facilitent le débat, en apportant un éclairage « objectif »,
- les formes conceptuelles et dynamiques de l'interface proposé sont adaptées pour communiquer le système d'indicateurs et facilitent la formulation d'un diagnostic.

Perspectives techniques

Afin d'accompagner les processus de représentation, nous pouvons aussi envisager des perspectives sur le développement d'un outil opérationnel.

L'approche méthodologique proposée dans la recherche s'est appuyée sur une interface de conception élaborée sur MS-Excel où certaines procédures sont automatisées à travers quelques macros ; de même, elle a proposé un démonstrateur d'interface de communication des indicateurs géographiques. La démarche présente l'intérêt d'être systématique en proposant des étapes bien définies et formalisées mathématiquement. Par conséquent, elle pourrait être facilement implantée informatiquement, de façon à proposer un outil opérationnel pour accompagner les processus participatifs, tels que ceux introduits dans la section suivante.

L'outil pourrait être élaboré sur un support d'interface graphique (du type MS-Visual Basic), en considérant les modules suivants :

- Interface de conception du système de phénomènes utilisé par l'acteur interrogé. Toutes les informations peuvent être ensuite stockées dans une base de données, où les tables correspondent aux matrices structurales.
- Dans la base de données, module de calcul qui contient plusieurs sous-modules : modèle causal (concordance/discordance), classification des modèles, agrégation des modèles, analyse des modèles (phénomènes critiques).
- Module de validation par les acteurs d'un modèle de phénomènes.
- Module dynamique calculant et représentant pour un modèle, la dynamique les relations entre phénomènes, selon l'approche QSIM (ch. 4.3, Annexe IV).
- Module de tableau de bord permettant d'afficher des cartes d'indicateurs, de suivre l'évolution des indicateurs et de naviguer au sein du système par le biais des relations causales. Ce module peut être utilisé lors de la consultation des indicateurs par les

acteurs qui peuvent exprimer leur opinion à travers un questionnaire électronique, selon le mode utilisé à Genève.

10.3.2 Perspectives d'application

Nous voyons essentiellement quatre types de processus qui pourraient bénéficier de notre méthodologie. Il s'agit de spécifier les conditions de son application, en précisant ce qu'il faut faire concrètement pour rendre l'outil pertinent.

Diagnostic de quartier

Tout d'abord, notre méthode peut être utilisée pour enrichir le processus de diagnostic participatif réalisé à Genève. Par rapport à la démarche initiale, les principales contributions sont d'une part de sélectionner les indicateurs, non pas directement sur la base d'enjeux reformulant les préoccupations des acteurs ; car celles-ci traduisent les perceptions immédiates, les *a priori* (cf. ch. 5.1) ; mais sur une représentation systémique qui permet aux individus de reconstituer la réalité et de fonder des raisons. Celles-ci révèlent les enjeux majeurs que les acteurs défendent dans le processus. D'autre part, les indicateurs sont organisés et communiqués dans un modèle systémique qui rend compte non seulement de la situation du quartier, mais aussi de son fonctionnement, tel que représenté cognitivement par les acteurs. Des éléments de réflexion sur l'insertion de notre méthodologie dans un diagnostic de quartier ont été détaillés au chapitre 9.

Projet territorial concret

Alors que le diagnostic réalisé à Genève, consiste à décrire la problématique générale d'un quartier, la démarche peut également être utilisée sur un projet concret, par exemple la construction d'une école, d'un hôpital, d'une route de contournement, etc. Ce genre de projet implique généralement plusieurs acteurs représentant les milieux publics (Etat), et privés (promoteurs du projet, associations) et donc des intérêts divergents. L'avantage d'un cadre plus ciblé, par rapport à un diagnostic général, est de produire des modèles systémiques moins compliqués, le nombre de phénomènes et de relations étant plus limité. En ce sens, la démarche est plus facile à gérer.

L'outil présenté dans ce mémoire peut être utilisé par le modérateur des réunions du projet pour soutenir la discussion, en permettant aux acteurs d'exprimer leurs représentations de la problématique et leurs enjeux. Il est alors possible de voir sur quelles bases (indicateurs, critères) évaluer le projet et ses conséquences sur le territoire. Autrement dit, le système d'indicateurs contribue à orienter l'élaboration de scénarios tenant compte de la dynamique du système urbain, et à aider à prendre une décision en toute connaissance de conséquences [Le Moigne, 1990].

La méthode s'applique aussi pour des cadres plus restreints au sens de la participation et pas forcément conflictuels, par exemple dans un groupe de travail lié à un projet, réunissant quelques acteurs d'une administration de l'Etat. Dans ce cas, il est sans doute plus facile d'obtenir une seule représentation commune aux experts du groupe. Il s'agit alors d'un outil de travail qui les aide à formaliser une représentation de la problématique et à générer des idées, des variantes de solution.

Résolution de problème

Nous formulons quelques perspectives sur les phases avales du processus décisionnel (*problem solving*, cf. chapitre 2), notamment dans le cadre d'un projet concret, tel que décrit ci-dessus.

La démarche proposée dans la thèse peut apporter essentiellement deux contributions.

Tout d'abord elle aide à identifier une **famille de critères** de décision. Celle-ci est cohérente si elle respecte trois conditions, telles que rappelées par Maystre et Bollinger [1999] :

- exhaustivité : tous les aspects importants du problème sont traités ;
- non redondance : aucun aspect n'est pris en compte deux fois ;
- cohérence : entre l'information par critère et l'information globale.

Les relations causales permettent de hiérarchiser les phénomènes et de révéler ainsi les éléments significatifs du système selon le point de vue des acteurs. Il est alors possible de traduire ces phénomènes en critères qui respectent l'exigence d'exhaustivité. De même, dans le modèle causal, les relations perçues par la majorité des acteurs donnent une indication sur des redondances possibles et permettent de réduire la famille de critères, de façon à satisfaire la deuxième exigence. Enfin, concernant la cohérence, une tendance souhaitée est clairement indiquée par les acteurs sur les phénomènes. Cette tendance, reportée sur le critère, permet de spécifier dans quel sens (concordant ou discordant) doit évoluer le critère, pour que globalement le résultat final (issu de l'agrégation multicritère) soit amélioré.

Par ailleurs, parmi les phénomènes sélectionnés comme importants ou critiques par rapport à leur nombre de relations, certains apparaissent encore plus prépondérants que d'autres. Cela donne une idée du **poids** à attribuer aux critères correspondants, selon le point de vue des acteurs. La définition du poids des critères est généralement un exercice difficile et fait l'objet de négociations intenses. Notre outil peut alors apporter une contribution facilitant cette démarche.

Deuxièmement, notre démarche aide à identifier des **groupes d'affinités** dans le processus décisionnel. Nous pourrions en effet envisager de constituer des groupes décisionnels sur la base des groupes formés à travers le processus de représentation de la complexité. Ces groupes réfléchiraient sur la définition des critères, sur la base des enjeux prioritaires, des variantes et des différents paramètres dans l'optique d'une analyse multicritère (poids, seuils).

A chaque étape de décision, la concertation s'établit sur deux niveaux :

A l'intérieur d'un groupe afin d'élaborer une position commune ; à ce niveau la négociation devrait être facilitée car les représentations cognitives, construites par les acteurs, sont proches. Ils devraient alors s'identifier au groupe et rechercher une certaine cohésion.

Entre les groupes : la négociation devrait être plus délicate. Il serait sans doute plus réaliste de procéder à une analyse multicritère par groupe et de mettre ensuite en évidence, les convergences et les divergences sur les résultats de la décision. Malgré les différences de représentations entre les groupes, il est tout à fait possible que des solutions communes apparaissent au final et qu'un consensus puisse être établi.

Une telle structuration se produit notamment au niveau politique : avant de se prononcer sur un projet de loi ou de votation, les partis se mettent d'abord d'accord entre eux, puis le débat s'établit entre les partis.

Monitoring du territoire, développement durable

Le monitoring implique d'élaborer un système d'indicateurs en vue de suivre l'évolution d'une entité territoriale par rapport à des objectifs donnés. C'est le cas des observatoires du développement durable réalisés à différentes échelles, tel que celui du projet MONET en Suisse ou le projet Sustainable Seattle à une échelle plus locale. Dans le premier cas, le processus participatif se situe à un niveau institutionnel entre les différents départements de

l'Etat fédéral, dans le deuxième cas, le processus implique les citoyens de la ville dans la sélection des indicateurs. Le résultat de la concertation, ou l'accord, se matérialise par un système d'indicateurs commun à un groupe d'acteurs.

L'application de notre démarche dans ce contexte permet d'aider les acteurs à concevoir un modèle conceptuel (systémique) du développement durable et à identifier les enjeux de durabilité sur lesquels des indicateurs pertinents sont choisis pour constituer le système de monitoring. Ce procédé vise ainsi à renforcer l'acceptabilité sociale des indicateurs.

Il est intéressant d'utiliser le concept d'interface, introduit au chapitre 8, pour élaborer un tableau de bord. Celui-ci permet de communiquer l'évolution spatio-temporelle des indicateurs, s'ils sont mis à jour, et d'évaluer si les objectifs de durabilité sont atteints. Dans une optique prospective, il est également possible de simuler les conséquences de l'évolution des indicateurs, aussi bien sur un plan spatial que temporel, grâce aux règles de transition d'état définies sur les relations entre les indicateurs.

Par ailleurs, le système de monitoring pourrait être utilisé pour assurer la cohérence entre les différentes stratégies et projets territoriaux, notamment dans le cadre de l'élaboration de plans directeurs. En effet, en Suisse, les cantons sont tenus de répondre aux objectifs du développement durable définis au niveau national. Ainsi, il s'agit de lier les projets territoriaux à des indicateurs pour évaluer leur durabilité. Le modèle systémique d'indicateurs permet de mettre en relations les différentes stratégies et d'étudier les impacts réciproques, de relever certaines incompatibilités entre les projets qui sont généralement sectoriels. Par exemple, un projet de développement d'un réseau routier peut contribuer à optimiser des indicateurs économiques tels que le revenu des communes concernées par le projet, mais en même temps il peut porter atteinte à des indicateurs environnementaux, tels que les émissions polluantes ; ces évolutions contradictoires, telles que soulevée par la mise en relation des indicateurs, montrent que le projet n'est pas durable.

10.4 Conclusion générale

Nous avons développé des méthodes et des outils pour accompagner les processus de décision dans le cadre du diagnostic qui vise à comprendre la problématique complexe d'un quartier et à mettre en évidence les enjeux en vue d'actions futures. La démarche intervient en amont d'un processus de décision, où les connaissances sont peu formalisées et la marge d'action est grande. Lorsque plusieurs acteurs sont impliqués dans un processus, nous avons montré l'importance de les associer dès le diagnostic, pour faciliter l'appropriation des actions entreprises.

Dans ce contexte, notre méthodologie a « oscillé », tout au long de la recherche, entre deux utilités. L'objectif premier est de dériver des systèmes d'indicateurs pertinents à partir des finalités et des représentations des acteurs, en vue de les aider à formuler un diagnostic. Cependant, plus que le résultat du processus (indicateurs, diagnostic), la méthode constitue un moyen pour faire émerger les *raisons* et les attentes des acteurs, les *impliquer* en amont d'une décision et les faire *interagir*, et renforcer en définitive les processus participatifs de décision.

En outre, la recherche n'a pas cherché à mettre en avant la participation publique comme une nécessité absolue dans toutes les situations. Mais, elle a visé à proposer des méthodes pour l'accompagner lorsqu'un tel processus a lieu et est jugé approprié ; ceci, notamment dans des contextes où les multiples représentations du système urbain suscitent des conflits. L'approche développée s'inscrit ainsi dans une alternative au mode démocratique usuel de votation, en cherchant à prendre en compte les avis tôt dans le processus, au lieu de devoir trancher en dernier recours des situations de blocage.

De même, la démarche ne vise pas à remettre en cause le rôle des experts et des décideurs politiques. Mais elle permet de soulever les attentes des citoyens que les experts et les décideurs sont invités à prendre en compte dans une phase plus opérationnelle de la planification.

Par ailleurs, l'option a été prise d'effectuer au préalable, lors du diagnostic, un rapprochement *partiel* sur les représentations et les principaux enjeux de la décision, pour préparer et faciliter l'accord autour de la décision (choix) entre les différents partenaires, dans la forme d'un compromis ou d'un consensus. Néanmoins, l'étape du processus de décision dans laquelle intervient l'accord et son intensité (partiel ou complet) demeurent des questions ouvertes. Dans ce dernier chapitre, nous avons entrevu des perspectives d'utilisation de la méthode dans différents contextes qui permettront d'éclairer ces questions.

Comme nous l'avons exposé, ces contextes sont multiples. La méthode a été utilisée dans un cadre précis, celui du diagnostic participatif. Mais elle peut contribuer à établir un système de monitoring par rapport aux objectifs du développement durable, elle peut intervenir dans une phase de modélisation de la décision pour définir une famille cohérente de critères, ou encore aider les membres d'un groupe de travail à esquisser les axes d'un projet ; tout ceci, dans le cadre de processus participatifs, conflictuels ou non.

- Allain J.-C., 2001, *Approche systémique : questions d'environnement. Notes de cours*, IUFM de Bourgogne, Dijon.
- Arnellos A., Spyrou T. et Darzentas J., 2004, Dynamic interactions in artificial environments: causal and non-causal aspects for the emergence of meanings. In: Callaos N. et al. (Editors), *The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, July 18-21, 2004, Orlando, Florida, USA.
- ARPE, 1999, *Développement Durable en Midi-Pyrénées. Programmation pilote au titre des fonds structurels*, rapport.
- Bassand M., 1997, *Métropolisation et inégalités sociales*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Bell S. et Morse S., 2000, *Sustainability Indicators : Measuring the Immeasurable*, Earthscan, London.
- Bellano D., 2003, *La Genèse des relations causales*, Actes du Colloque International de Gestion Mentale, Paris.
- Bellenger L., 1992, *Peut-on se former à la négociation ?*, In : *La négociation. Son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement*, Ruegg J., Mettan N. et Vodoz L. (eds.), PPUR, Lausanne.
- Benavent C., 2001, *Analyse bivariée*, <http://christophe.benavent.free.fr/cours/stat/Correla.PDF>.
- Bergmann A., 1992, *Négociation comme instrument de management dans l'entreprise*, In : *La négociation. Son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement*, Ruegg J., Mettan N. et Vodoz L. (eds.), PPUR, Lausanne.
- Blanchet C. et November A., 1998, *Indicateurs du Développement Durable Appliqués à l'Aménagement du Territoire*, Publication du CUEH et de l'IUED, Genève.
- Both J.F., Da Cunha A. et Mager C., 2003, *Evaluation du territoire, développement durable et indicateurs: un pragmatisme raisonné*, In : *Développement durable et aménagement du territoire*, Da Cunha A. et Ruegg J. (eds.), PPUR, Lausanne.
- Brans J. P. et Mareschal B., 1990, *The PROMETHEE methods for MCDM; the PROMCALC, GAIA and BANKADVISER software*. In: Bana e Costa C.A. (ed.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer, Germany, 216-252.
- Brouillette A., 2003, *Portrait de quartiers Duberger/Les Saules*, étude coordonnée par la CDEC de Québec.
- Burgi-Diop A., 1997, *Traité Amusant d'Ecologie Urbaine*, Jouvence, Genève.
- Chantier Systémie, 1999, *Repérage des différents courants de la systémie, 3^e cycle "systèmes d'apprentissage et d'évaluation"*, <http://lambesc.educaix.com/cirade/grea/travaux/chantiers/syscourant.htm>.
- Chételat J., 2005, *Eléments méthodologiques de diagnostic paysager utilisant les systèmes d'information géographique*, Thèse EPFL n°2961, Lausanne.
- Communauté métropolitaine de Québec, 2003, *Vision stratégique de développement. Etat de situation et tendances*, Rapport préliminaire.
- Conseil de quartier Duberger – Les Saules, 2003, *Plan directeur de quartier Duberger. Validation des résultats*, 12.11.2003.
- Daris A., 2002, *Mobilité et vie sociale: entre le quartier et l'ailleurs*. In : A. Fortin, C., Després et G. Vachon (eds.), *La banlieue revisitée*, Éditions Nota Bene, Québec, p. 181-212.

- Debarbieux B. et Vanier M., 2002, *Les représentations à l'épreuve de la complexité territoriale : une actualité ? une prospective ?*, In : *Ces territoires qui se dessinent*, Debarbieux B. et Vanier M. (eds.), éditions de l'Aube Datar.
- Debarbieux B., 2002, *Figures (géo)graphiques et prospectives. Les cartes, schémas et modèles au service du projet et de la prospective territoriale*, In : *Ces territoires qui se dessinent*, Debarbieux B. et Vanier M. (eds.), éditions de l'Aube Datar.
- Des Rosiers F., Thériault M., Kestens Y. et Villeneuve P.-Y., 2002, *Landscaping and House Values: an Empirical Investigation*, *Journal of Real Estate Research*, Special Issue 23(1/2), p. 139-161.
- De Rosnay J., 1975, *Le microscope: vers une vision globale*, Seuil, Paris.
- De Sède M. H. et Moine A., 2001, *Systémique et bases de données territoriales*, *Revue Internationale de Géomatique*, 11 (3-4) : 333-358.
- Després C., Brais N. et Avellan S., 2003, *Collaborative planning for retrofitting suburbs : Transdisciplinarity and intersubjectivity in action*, *Futures*, 36 (4) : 471-486.
- Desthieux G., Joerin F. et Prélaz-Droux R., 2002, *Systemic approach for the development of an urban indicators system in a decision making process*. In: F. Khosrowshahi (ed.), 3rd International Conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering DMinUCE-2002, London.
- Desthieux G. and Joerin F., 2004, *Systemic approach for the development of a system of indicators in urban management processes*, *Studies in regional and urban planning*, 10 : 35-50.
- Durand D., 2002, *La systémique*, Que Sais-Je, PUF, Paris, 1979, 9ème édition.
- Emery Y., 1996, *Origine, spécificités, évolutions du management public*. In : Decoutère S., Ruegg J. et Joye D. (éds.), *Le management territorial - Pour une prise en compte des territoires dans la nouvelle gestion publique*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Flourentzou F., 2001, *Aide constructiviste à la décision. Contribution à l'Architecture et au Développement Durable*, Thèse n° 2418, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Flourentzou F., 2002, *Etat de Vaud Projet A1, Evaluation globale des besoins et des choix initiaux*, Présentation powerpoint dans le cadre du Master A+DD (10.10.2002).
- Flourentzou, 2003, *Méthode Hermione, Mode d'emploi*, Estia, Lausanne.
- Forbus K., 1984, *Qualitative process theory*, *Artificial Intelligence*, 24 : 85-168.
- Forbus K. and Gentner D., 1986, *Causal reasoning about quantities*. Proceedings of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Amherst, Mass.
- Fortin A., 2002a, *La banlieue en trois temps*. In : A. Fortin, C. Després et G. Vachon (eds.), *La banlieue revisitée*, Éditions Nota Bene, Québec, p. 49-72.
- Fortin A., 2002b, *La banlieue en trois temps*. In : A. Fortin, C. Després et G. Vachon (eds.), *La banlieue revisitée*, Éditions Nota Bene, Québec, p. 49-72.
- Franck R., 1994, *Introduction générale*. In : Franck R. (ed.), *Faut-il chercher aux causes une raison? L'explication causale dans les sciences humaines*, Publication de l'Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques, Lyon, p. 1-18.
- Gallopín, G.C., 1997, *Indicators and their use: information for decision-making*. In: B. Moldan and S. Billharz (eds.), *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*, SCOPE 58, John Wiley & Sons, Chichester, p.13-27.

- Golay F., 1992, *Modélisation des systèmes d'information à référence spatiale et de leurs domaines d'utilisation spécialisés : aspects méthodologiques, organisationnels et technologiques*, Thèse N°1080, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Golay F. et Nyerges T. L., 1995, *Understanding Collaborative Use of GIS through Social Cognition: "Do You See what I See ?"*. In: Nyerges T. L., Mark D. M., Laurini R. et Egenhofer M. J. (eds.), *Cognitive Aspects of Human-Computer Interaction for Geographic Information Systems*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Golay F., Pointet A., Moreni C., Riedo M., Giger C. et Najar C., 2003, *Réseaux de (géo)services. Vers une architecture ouverte de services*, *Revue internationale de géomatique*, 13 (3) : 361-374.
- Goux-Baudiment F., 2000, *Donner du futur aux territoires*, Certu, Lyon.
- Grasland C., 1994, *L'erreur écologique en géographie*, Feuilles de Géographie n°1, vol. I.
- Grasland C., 2001, *Corrélation, Association spatiale, et causalité*, <http://www.grasland.cicrp.jussieu.fr/grasland/agreg/module3/>
- Groupe Chadule, 1994, *Initiation aux méthodes statistiques en géographie*, 3^e édition, Masson géographie, Paris.
- Harvey F. et Chrisman N., 1998, *Boundary objects and the social construction of GIS technology*, *Environment and Planning A*, 30 (9) : 1683-1694.
- Hameline D. et Dardelin M.J., 1977, *La liberté d'apprendre : situation II : rétrospective sur un enseignement non-directif*, Les Ed. ouvrières, Paris.
- Hoc J.M. et Amalberti R., 1994, *Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques*, *Psychologie Française*, 39 (2) : 177-192.
- Horber-Parazian K., 1992, *Mise en oeuvre de politiques à incidences spatiales: une entreprise difficile*, In : *La négociation. Son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement*, Ruegg J., Mettan N. et Vodoz L. (eds.), PPUR, Lausanne.
- Huang S.-L., Wong J.-H. and Chen T.-C., 1998, *A framework of indicator system for measuring Taipei's urban sustainability*, *Landscape and Urban Planning*, 42 : 15-27.
- IISD, 2004, <http://www.iisd.org/measure/>
- Isla A, 2000, *From procedural to complex rationality relations: observed system and observing system*, *European Journal of Economic and Social system*, 14 (4) : 347-363.
- Jankowski P., Nyerges T. L., Smith A., Moore T. J. et Horvath E., 1997, *Spatial Group Choice: a Spatial Decision Support Tool for Collaborative Spatial Decision Making*, *International Journal of Geographical Information Systems*, 11 (6) : 577-602.
- Jeannot G., 2003, *Diagnostics territoriaux en DDE*. In : Bion J. Y. (Eds), *Le diagnostic territorial : un outil de l'action publique*, CERTU, cahier n° 4, p. 15-22.
- Joerin F., 1998, *Décider sur le territoire; proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère*, Thèse no 1755, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Joerin F., Desthieux G., Nembrini A. et Rey M. C., 2000, *Participation et information dans les processus d'aménagement du territoire. Etudes de cas*, Rapport, Centre Universitaire d'Ecologie Humaine, Université de Genève.
- Joerin F., Rey M. C., Nembrini A. et Desthieux G., 2001a, *Information et participation pour l'aménagement du territoire*, *Revue Internationale de Géomatique*, 11(3-4): 309-332.

- Joerin F., Thériault M., Villeneuve P. et Bégin F., 2001b, *Une procédure multicritère pour évaluer l'accessibilité aux lieux d'activité*, Revue internationale de géomatique, 11 (1) : 69-104.
- Joerin F., Nembrini A., Desthieux G., Mouquin S. et Billeau S., 2003, *Information et participation à l'aménagement du territoire: une expérience de diagnostic de quartier*, rapport final, Centre Universitaire d'Ecologie Humaine, Université de Genève.
- Joerin F., Desthieux G., Nembrini A. et Billeau S., 2004, *Collaborative diagnosis for urban planning: proposition for a cognitive process based on geographical information*, article soumis à Environment & Planning B .
- Joerin F., Nembrini A., Billeau S. et Desthieux G., 2005, *Indicateurs spatialisés : un instrument de participation en aménagement du territoire*, Revue internationale de géomatique, 15 (1) : 33-61.
- King J. L. et Kraemer K. L., 1993, *Models, Facts, and the Policy Process: The Political Ecology of Estimated Truth, Environmental Modeling with GIS*, In: M. F. Goodchild, B. O. Parks, L. T. Steyaert (eds.), Oxford University Press, p. 353-360.
- Kingston R. and Carver S., 1998, *Accessing GIS over the Web: An Aid to Public Participation in Environmental Decision-Making*. Proceedings of GISRUUK'98, Edinburgh, Scotland.
- Kholi F.C., Narayyan R. et Neethi S., 2004, *Information systems modeling: a system approach*. In: Callaos N. et al. (Editors), The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, July 18-21, 2004, Orlando, Florida, USA.
- Kuipers B., 1994, *Qualitative Reasoning: Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge*, Cambridge, MA, MIT Press
- Lapointe J., 2002, *L'approche systémique et la technologie de l'éducation*, Publication interne, Université Laval, Québec.
- Le Moigne J.-L., 1977, *Théorie du Système Général, Théorie de la Modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Le Moigne J.-L., 1990, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris.
- Lévy J., 1999, *Le Tournant Géographique. Penser l'Espace pour lire le Monde*, Bélin, Paris.
- Loriaux M., 1994, Des causes aux systèmes : la causalité en question. In : Franck R. (ed.), *Faut-il chercher aux causes une raison? L'explication causale dans les sciences humaines*, Publication de l'Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques, Lyon, p. 41-86.
- Lüdeke M.K.B. et Petschel-Held G., 1997, *Syndromes of global change: an information structure for sustainable development*. In: B. Moldan and S. Billharz (eds.). *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*, SCOPE 58, John Wiley & Sons, Chichester, p.96-98.
- Lundell M., 1996, *Qualitative Modelling and Simulation of Spatially Distributed Parameter Systems*, Thèse N°1522, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Maby J., 2004, *Approche conceptuelle et pratique des indicateurs en géographie*. In : Maby J. (Editors). *Objets et indicateurs géographiques*. Collection Actes Avignon n°5.
- Malczewski J., *GIS and Multicriteria decision analysis*, Toronto, Johns Wiley & Sons, 1999.
- Major W., 1999, *Approche de la concertation territoriale par l'analyse systémique et l'analyse lexicale du discours des acteurs. Perspectives d'application aux systèmes d'information géographique*, Thèse N° 2003, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Major W. et Golay F., 2004, *SIG, cognition et métiers*. In : S. Roche et C. Caron (eds.), *Aspects organisationnels des SIG*, Hermès, Paris.

- Malkina-Pykh I., 2002, *Intergrated assessment models and response function models: pros and cons for sustainable development indices design*, Ecological Indicators, 2 : 93-108.
- Marc E. et Picard D., 2000, *L'école de Palo Alto*, Paris, RETZ.
- Maystre L. Y. et Bollinger D., 1999, *Aide à la Négociation Multicritère*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Meadows D., 1998, *Indicators and Information Systems for Sustainable Development*, A report to the Balaton Group, The Sustainability Institute.
- Mélèze J., 1972, *L'analyse modulaire des systèmes de gestion*, A.M.S., Editions hommes et techniques, Puteaux, France.
- Merkle A. et Kaupenjohann M., 2000, *Derivation of ecosystemic effet indicators – method*, Ecological Modelling 130 : 39-46.
- Mettan N., 1992, *Place de la négociation dans le processus d'aménagement du territoire et protection de l'environnement*, In : *La négociation. Son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement*, Ruegg J., Mettan N. et Vodoz L. (eds.), PPUR, Lausanne.
- OFS, ARE et Buwal, 2003, *Monitoring du développement durable. MONET. Rapport final. Méthodes et résultats*, Neuchâtel.
- Mottier V., 2001, *Processus métiers et composants logiciels pour la gestion intégrée des eaux en milieu urbain*, Thèse no 2334, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Nembrini A. et Joerin F., 2002, *Proposition for a participative GIS leading to a concerted diagnostic, application at the neighbourhood scale*, Proceeding of UDMS'02, 23rd Urban Data Management Symposium, Prague, Czech Republic, 1-4 october 2002, p. III.41 to III.52, Urban Data Management Society.
- Nembrini A., Billeau S., Desthieux G. et Joerin F., 2005, *GIS and participatory diagnosis in urban planning: a case study in Geneva*. In: Campagna M. (ed.), *GIS for Sustainable Development*, Taylor & Francis, London, p. 451-465.
- Newman P., 1999, *Sustainability and cities: extending the metabolism model*, Landscape and Urban planning, 44 : 219-226.
- OECD, 1993, *OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews*, OECD Publication, Paris.
- OCDE, 1997, *Mieux comprendre nos villes. Le rôle des indicateurs urbains*, Collection Développement territorial. OCDE, Paris.
- Occelli S., 2002, *Facing urban complexity: towards cognitive modelling. Part 1: modelling as a cognitive mediator*. In: The XII European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, St-Valéry-en-Caux, 7-11 September, 2001 (aussi publié sur www.cybergeofr, 2002).
- Occelli S., 2004, *A perspective on MAS approach in urban modelling*. In: Callaos N. et al. (Editors), The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, July 18-21, 2004, Orlando, Florida, USA.
- OFS et OFEFP, 1999, *Le développement durable en Suisse. Eléments pour un système d'indicateurs*, cahier n°2 Espace et environnement, Neuchâtel.
- Pastille, 2002, *Indicators into action: local sustainability indicators sets and their context*, Final report.
- Pesqueux Y., 2004, *Introduction à l'approche systémique*, Notes de cours.

- Petschel-Held G., Block, A., Cassel-Gintz M., Kropp, J., Lüdecke M.K.B., Moldenhauer O., Reusswig F. et Schellnhuber H.-J., 1999, *Syndromes of global change - a qualitative modelling approach to assist global environmental management*, Environmental Modeling and Assessment, 4: 295-314.
- Piaget J., 1975, *L'équilibration des structures cognitives*, Que sais-je ?, PUF, Paris.
- Pictet J., 1996, *Dépasser l'évaluation environnementale, Procédure d'étude et insertion dans la décision globale*, Collection Meta, Presses Polytechnique et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Pilletoud J.-V., Perrette E., Gay J.-B., Merz C. et Flourentzou F., 2003, *Projet Albatros, définition des objectifs, évaluation globale des projets*.
- Pornon H., 1997, *Géomatique et organisations, contradictions et intégration des projets d'acteurs*, Thèse N°1684, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Prescott-Allen R., 1995, *Barometer of Sustainability: A Method of Assessing Progress toward Sustainable Societies*, UICN Publication, Gland.
- Prélaz-Droux R., 1995, *Système d'Information et Gestion du Territoire*, Meta, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Prélaz-Droux R., *Planification territoriale, Notes de cours*, 2001.
- Raffestin C., 1992, *Propriété, espace et territoire*, In : *La négociation. Son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement*, Ruegg J., Mettan N. et Vodoz L. (eds.), PPUR, Lausanne.
- Ramadier T., 2002, *Centralité et banlieue depuis le quartier Duberger*. In : Fortin A., Després C. et Vachon G. (eds.), *La banlieue revisitée*, Éditions Nota Bene, Québec, p. 213-232.
- Raynaud P., 2003, *Le principe de non-sincérité*, <http://raynaud.userworld.com/principe.htm>.
- Rechatin C. et Theys J., 1997, *Indicateurs de Développement Durable : Bilan des Travaux Étrangers et Éléments de Réflexion*, Notes de Méthode, 8, Publication de l'Institut Français de l'Environnement, Orléans.
- Repetti, A. et Prélaz-Droux, R., 2003, *An urban monitor as support for a participative management of developing cities*, Habitat International, 27 : 653-667.
- Repetti A., 2004, *Un concept de monitoring participatif au service des villes en développement. Approche méthodologique et réalisation d'un observatoire urbain*, Thèse N°2903, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Repetti A. et Desthieux G., 2005, *A relational indicator set model for urban land-use planning and management: Methodological approach and application in two case studies*, Landscape and Urban Planning, sous presse.
- Revue Internationale de Systémique, 1987, 1 (1).
- Richmond B., 2001, *An introduction to systems thinking*, Stella software, High Performance Systems, Inc., The systems thinking companytm, Hanover.
- Roche S. et Hodel T., 2004, *L'information géographique peut-elle améliorer l'efficacité des diagnostics de territoire ?*, Revue Internationale de Géomatique, 14(1) : 9-34.
- Rotmans J. and de Vries B., 1997, *Perspectives on Global Change: The TARGET Approach*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Rouxel F. et Rist D., 2000, *Le développement durable. Approche dans les diagnostics territoriaux*, Collections du CERTU, dossier n° 105.
- Roy B., 1985, *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, Paris.

- Rumley P. A., 2002, *L'aménagement du territoire entre changement et continuité*, DISP N°148, p. 19-23
- Rutherford I., 1997, *Use of models to link indicators of sustainable development*. In: B. Moldan and S. Billharz (eds.), *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*, SCOPE 58, John Wiley & Sons, Chichester, p.54-62.
- Sanders L., 1990, *L'analyse des données appliquées à la géographie*, Alidade, RECLUS.
- Sauvant D., 2003, *Principes généraux de la modélisation systémique*, Département des sciences animales de l'Institut national agronomique Paris-Grignon, <http://www.inapg.inra.fr/dsa/cours/systemique/systemique.pdf>
- Schwarz E., 1994, *A metamodel to interpret the emergence, evolution and functioning of viable natural systems*, In: *Cybernetics and Systems*. Trappl Vienna, p. 1579-1586.
- Schwarz E., 1996, *Toward a holistic cybernetics. From science through epistemology to being*, Published in *Cybernetics and Human Knowing*, Alborg, 1996.
- Schwarz E., 1999, *Une introduction à l'approche systémique*, <http://gerard.metrailler.net/documents/etudes/systemique/systemique.pdf>
- Simos J., 1991, *Evaluer l'impact sur l'environnement. Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation*, PPUR, Lausanne.
- Sites, 2003, *Indicateurs pour la lecture systémique du territoire*.
- Söderström O., Manzoni B. et Oguey S., 2001, *Lendemain d'échecs. Conduite de projets et aménagement d'espace publics à Genève*, DISP N°145, p. 19-28.
- Spangenberg J. H., Pfahl S. et Deller K., 2002, *Toward indicators for institutional sustainability: lessons from an analysis of Agenda 21*, *Ecological Indicators*, 2: 61-77.
- Succetti F., 2001, *Analyse de la vulnérabilité de la plaine du Vedeggio en relation avec le développement territorial de la région de Lugano. Apport des systèmes d'information géographique*, journées de l'ASPAN, novembre 2001.
- Sugihara K., Hiroaki I. et Tanaka H., 2004, *Rule extraction based on rough sets in group decision making problems*. In: Callaos N. et al. (Editors), *The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, July 18-21, 2004, Orlando, Florida, USA.
- Sustainable Seattle, 1998, *Indicators of Sustainable Community, A report to Citizens on long-term trends cultural, economic, and environmental health for Seattle/King County*, Seattle.
- Talpin J., 2003, *Elitisme et délibération dans la pensée politique de Pierre Bourdieu*, <http://sens-public.ens-lsh.fr>.
- Thériault M. et Prélaz-Droux R., 2001, *Utilisation des SIG en aménagement du territoire*, *Revue Internationale de Géomatique*, 11(3-4): 303-308.
- Thibault S., 2003, *Complexité*. In : Lévy J. et Lussault M. (eds.), *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris.
- Torres E., 2000, *Approches territoriales du développement durable*, *Revue Développement durable et Territoires*, www.revue-ddt.org.
- UN-Habitat, 2001, *The State of the World's Cities*, UN-Habitat Publications, Nairobi.
- United Nations, 1996, *Indicators of Sustainable Development : Framework and Methodologies*, United Nations Publications, New York.

- Vachon G. et Després C., 2002, *Réaménager le territoire des banlieues: propositions urbaines et architecturales*. In :. Fortin A., Després C. et Vachon G. (eds.), *La banlieue revisitée*, Éditions Nota Bene, Québec, p. 259-286.
- Virilio Paul, 1996, *Cybermonde, la politique du pire*, Textuel, Paris.
- Virtuel Président, 2004, *La pensée systémique*, <http://www.membres.lycos.fr/virtuelpresident/systemique.htm>
- Von Bertalanffy, L., 1968, *General System Theory*, George Braziller, New York.
- Von Stokar T., Frick R. et al., 2001, *Planification Directrice Cantonale et Développement Durable*, Publication interne, Office du Développement Territorial, Berne.
- Von Stockar et al., 2000, *Planification directrice cantonale durable, synthèse*, Publication interne, Office Fédéral de l'Aménagement du Territoire, Berne.
- Vulgum, 2002, *Une autre théorie de l'apprentissage : l'approche constructiviste*, http://vulgum.org/libre/article.php?id_article=135.
- Wunsch G., 1994, *L'analyse causale en démographie*. In : Franck R. (ed.), *Faut-il chercher aux causes une raison? L'explication causale dans les sciences humaines*, Publication de l'Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques, Lyon, p. 24-40.
- Zaccai E. et Bauler T., 2003, *Indicateurs de développement durable*. In : Dictionnaire du Développement Durable Belge. Institut pour un Développement Durable – SSTC.

Approche QSIM

L'annexe I commence par aborder les principes théoriques et mathématiques de la modélisation qualitative selon l'approche QSIM, à savoir les éléments constituant le modèle, le domaine des signes, et le processus de simulation. Dans la deuxième partie, est présenté un exemple qui permet d'illustrer les principes théoriques.

A) Représentation du modèle qualitatif

Les algorithmes QSIM (Qualitative Simulation) se basent sur des **équations différentielles qualitatives**, ou *qualitative differential equations* (QDE) en Anglais. Les QDE visent à décrire qualitativement le comportement de fonctions continues définies par les équations différentielles quantitatives, dites *ordinary differential equations* (ODE). Les QDE constituent donc des *abstractions* des ODE. Ils indiquent des changements *discrets* sur des points isolés appelés valeurs seuils. En définitive, les QDE constituent un cadre symbolique et algébrique permettant de raisonner avec plusieurs représentations de connaissance quantitative incomplète.

Les notions présentées ci-dessous sont pour la plupart tirées de Kuipers [1994].

Eléments du modèle qualitatif

Formellement, un QDE est un tuple de quatre éléments $\langle V, Q, C, T \rangle$, *Variables, Espace de Quantité, Contraintes, Transitions*, décrits ci-dessous.

Variables (V)

Les entités du système sont des variables dont les valeurs peuvent changer dans un même contexte [Lundell, 1996 p.35]. Une variable qualitative est une fonction $f(t)$ raisonnable du temps, continu sur un intervalle donné $[a, b]$ et continûment dérivable sur $[a, b]$.

Espaces de quantité (Q)

Le domaine d'une variable est défini par un **espace de quantité** (quantity spaces) qui est constitué d'un ensemble totalement ordonné de symboles appelés **valeurs seuil** (*landmark values*). Ces valeurs seuils peuvent être représentées par des expressions linguistiques [Petschel et al., 1999]. Ce sont des valeurs qualitatives critiques indiquant des changements importants du comportement du système. Ainsi une fonction définie sur $[a, b]$ contient un ensemble fini de seuils temporels (*landmark time-points*) :

$$a = t_0 < t_1 < \dots < t_n = b,$$

et de valeurs seuils :

$$l_1 < l_2 < \dots < l_k$$

En résumé, une variable qualitative et son espace de quantité définissent un ensemble fini de distinctions significatives pour décrire les valeurs d'une fonction continue $f(t)$ définie sur $[a, b]$.

Valeurs qualitatives

La valeur d'une variable qualitative, en rapport avec l'espace de quantité, est représentée par la paire **<qmag, qdir>** [Lundell, 1996, p. 43] :

Qmag : valeur seuil de l'espace de quantité ou intervalle ouvert entre deux seuils

$$qmag = \begin{matrix} l_j & \text{si } f(t) = l_j \\ (l_j, l_{j+1}) & \text{si } f(t) \in (l_j, l_{j+1}) \end{matrix}$$

Qdir : direction de la dérivée de la variable : augmentant, stable, diminuant.

$$qdir = \begin{matrix} aug & \text{si } f'(t) > 0 \\ stb & \text{si } f'(t) = 0 \\ dim & \text{si } f'(t) < 0 \end{matrix}$$

Par exemple, soit la fonction x(t) qui prend les valeurs dans l'espace de quantité suivante :

$$x : -inf \dots 0 \dots A \dots B \dots inf$$

Si x débute sur un équilibre en A et évolue vers un nouvel équilibre en B, cette séquence de valeurs qualitatives peut être décrite ainsi :

$$x(t) : \begin{matrix} t_0 & (t_0, t_1) & t_1 \\ & (t_0, t_1) & \end{matrix} \\ \langle A, stb \rangle \rightarrow \langle (A, B), aug \rangle \rightarrow \langle B, stb \rangle$$

Interactions entre variables : contraintes qualitatives (C)

Les interactions entre les variables sont exprimées par des **contraintes qualitatives** qui lient les variables entre elles. On distingue deux groupes de contraintes :

(i) Les relations mathématiques familières, lorsque la nature de la relation est connue.

Les équivalences représentent d'un côté le langage utilisé par l'algorithme de QSIM, de l'autre la notation en équations simultanées usuelles :

$$\begin{matrix} (\text{add } x \text{ y } z) & \equiv & x(t) + y(t) = z(t) \\ (\text{mult } x \text{ y } z) & \equiv & x(t) * y(t) = z(t) \\ (\text{minus } x \text{ y}) & \equiv & y(t) = -x(t) \\ (\text{d/dt } x \text{ y}) & \equiv & dx(t)/dt = y(t) \\ (\text{constant } x) & \equiv & dx(t)/dt = 0 \end{matrix}$$

(ii) Les contraintes fonctionnelles

Elle exprime une connaissance incomplète et qualitative sur la relation fonctionnelle. On distingue les fonctions monotoniques :

$$\text{croissante } M^+ : y(t) = f(x(t)), f \subset M^+$$

$$\text{décroissante } M^- : y(t) = -f(x(t)), f \subset M^-$$

$M^{+/-}$ est l'ensemble des fonctions raisonnables $f : [a, b] \rightarrow R^*$ tel que $f' > 0 / < 0$ sur (a, b)

Les QDE décrivent les mêmes mécanismes que les ODE, mais de façon plus « faible », dans le sens que tout comportement qui satisfait les ODE, doit satisfaire les QDE, mais la réciproque est fautive.

Valeurs correspondantes

Les valeurs correspondantes sont des tuples (pairs ou triplés généralement) de valeurs seuil que les variables peuvent prendre dans certaines contraintes au même moment. Dans le cas

d'une fonction monotonique non complètement définie telle que M^+ ou M^- , une paire de valeurs correspondantes (p, q) produit une contrainte mutuelle sur les valeurs possibles de p et q , relativement à la fonction monotonique. Par exemple, la contrainte $niveau = M^+(quantité)$ dans un modèle de réservoir intègre la géométrie incomplètement connue du récipient. Cette contrainte avec les valeurs correspondantes peut être écrite ainsi :

$$\langle (M^+ \text{ quantité niveau}), (0 \ 0), (\text{plein haut}) (\text{inf inf}) \rangle$$

Ces valeurs correspondantes signifient que $quantité = 0$ ssi $niveau = 0$, $quantité = \text{plein}$ ssi $niveau = \text{haut}$, $quantité = \text{inf}$ ssi $niveau = \text{inf}$.

Transitions (T)

Le problème de la transition est à considérer lorsque le modèle atteint les limites du domaine défini. C'est le cas par exemple du débordement d'un réservoir. Il convient dans ce cas de proposer des contraintes additionnelles pour passer d'un modèle à un autre.

Domaine des signes

Le domaine des signes est très important en modélisation qualitative. Car, à défaut d'information sur les valeurs numériques, les signes décrivant un état ou une tendance sont les seules informations à disposition.

Zéro (0) représente la valeur seuil prototype divisant les nombres positifs (+) des nombres négatifs (-) dans l'ensemble des nombres réels. Cet ensemble de valeurs qualitatives est appelé domaine des signes [Kuipers, 1994] :

$$S = \{+, 0, -\}$$

En exprimant l'ignorance du signe d'une quantité, on obtient l'ensemble étendu :

$$S' = \{+, 0, -, ?\}$$

En général, on utilise la notation suivante pour désigner le signe d'une valeur :

$$[-], [0], [+], [?]$$

Opérations qualitatives sur les signes : addition et multiplication

Les opérations qualitatives sur les signes peuvent être deux types : addition ou multiplication. L'ensemble des résultats possible des opérations dans le domaine S est se présente ainsi :

add	[+]	[0]	[-]	mult	[+]	[0]	[-]
[+]	[+]	[+]	[-]/[0]/[-]	[+]	[+]	[0]	[-]
[0]	[+]	[0]	[-]	[0]	[0]	[0]	[0]
[-]	[-]/[0]/[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[0]	[+]

Tableau I.1 : Opérations sur les signes dans le domaine S .

Simulation qualitative

La simulation qualitative consiste à prévoir le comportement qualitatif du système. Ce comportement est une séquence d'états qualitatifs, où chaque état est le successeur immédiat d'un état précédent.

La simulation débute en posant un nombre minimal de conditions initiales sur certaines variables. Ces conditions sont ensuite propagées sur les autres variables à l'aide des contraintes et valeurs correspondantes pour définir ainsi l'état au temps t_0 .

Il convient ensuite de prévoir le comportement du système et donc les valeurs des variables aux temps t_i ou aux intervalles de temps (t_i, t_{i+1}) . Cela s'effectue à l'aide d'algorithmes de propagation (C-filter) qui consiste à générer tous les tuples d'état qualitatif possibles pour autant qu'ils respectent les règles de succession et les contraintes posées au départ. La procédure est répétée à partir de chaque état jugé consistant.

Les règles de successions sont définies par un inventaire de successeurs immédiats possibles à partir d'un état qualitatif donné. Une partie de ces successeurs est représentée dans le tableau ci-dessous à titre d'exemple. Pour l'inventaire complet, se référer à Kuipers [1994, p. 100]. Le tableau distingue deux types de successeur : point (valeur seuil) \rightarrow intervalle et vice-versa.

P-successeurs : point \rightarrow intervalle		I-successeurs : intervalle \rightarrow point	
$VQ(v, t_i) \Rightarrow VQ(v, t_i, t_{i+1})$		$VQ(v, t_i, t_{i+1}) \Rightarrow VQ(v, t_i)$	
$\langle l_j, stb \rangle$	$\langle l_j, stb \rangle$	$\langle l_j, stb \rangle$	$\langle l_j, stb \rangle$
$\langle l_j, stb \rangle$	$\langle (l_j, l_{j+1}), aug \rangle$	$\langle (l_j, l_{j+1}), aug \rangle$	$\langle l_{j+1}, stb \rangle$
$\langle l_j, dim \rangle$	$\langle (l_{j-1}, l_j), dim \rangle$	$\langle (l_j, l_{j+1}), dim \rangle$	$\langle l_{j+1}, stb \rangle$
$\langle (l_j, l_{j+1}), aug \rangle$	$\langle (l_j, l_{j+1}), aug \rangle$	$\langle (l_j, l_{j+1}), dim \rangle$	$\langle l_{j+1}, dim \rangle$

Tableau I.2 : Règles de succession.

La procédure est répétée à partir de chaque état tant que les états générés sont consistants. Le comportement du système ainsi généré peut être synthétisé par un graphe représentant le cheminement des solutions possibles, avec comme racine l'état initial :

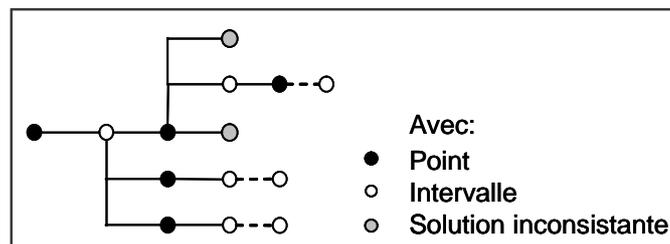


Figure I.2 : Graphe des solutions possibles de simulation qualitative.

B) Exemple d'applications : Syndrome du Sahel

Ce paragraphe présente un exemple de modélisation qualitative avec l'outil QSIM pour construire des systèmes d'indicateurs dynamiques. Cet exemple est tiré d'un article de Petschel et al. [1999].

L'analogie médicale du syndrome est de plus en plus utilisée dans la recherche sur les changements globaux. Dans ce contexte, un *syndrome* est défini comme un modèle d'interactions homme – environnement. Ces interactions se traduisent par des nuisances aussi bien pour l'homme que pour son environnement naturel ou construit. A titre d'exemple, on peut citer les syndromes du Sahel, qu'on détaillera ci-après, de la mer Aral, des Favelas, de l'Exode rural, etc. [Lüdeke et Petschel, 1997]. Ces syndromes concernent toutes les disciplines. Par ailleurs, même si certains syndromes, par leur appellation, sont reliés à des lieux spécifiques (Aral, Sahel), ils constituent avant tout des modèles types qui peuvent se reproduire dans de nombreuses régions du monde présentant les mêmes conditions de risque et d'exposition.

Le syndrome du Sahel est représenté par les auteurs comme un enchevêtrement extrêmement complexe de symptômes. Ce syndrome peut être ramené de manière globale à un mécanisme central impliquant trois symptômes :

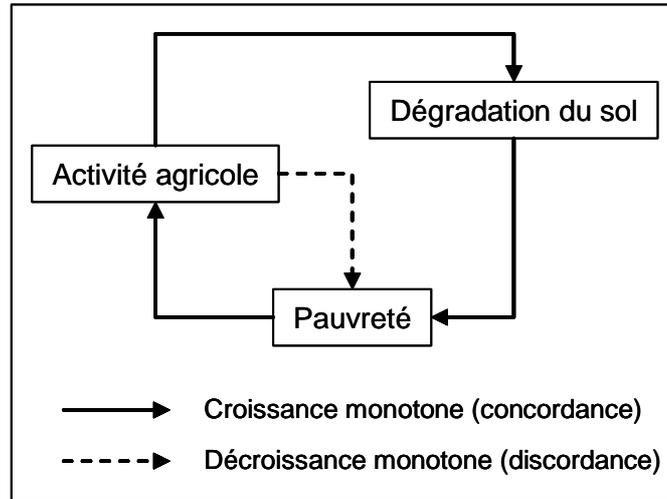


Figure I.2 : Syndrome du Sahel.

Une augmentation de la pauvreté entraîne une augmentation de l'intensité de l'activité agricole qui accélère le processus d'érosion des sols (rétroaction positive). L'érosion provoque une perte de la fertilité des sols qui a pour conséquence une amplification de la pauvreté. Celle-ci est en même temps contrebalancée par l'augmentation de la productivité agricole (rétroaction négative).

Ces interactions peuvent être formulées mathématiquement par les équations :

$$\frac{dA}{dt} = f_1(P) \quad \frac{dS}{dt} = f_2(A) \quad P = f_3(A, \int S dt)$$

Les fonctions 1 et 2 indiquent que les variations de P et A sont dues à une *variation* de l'intensité sur A, respectivement sur S, d'où l'expression de la dérivée. Dans la fonction 3, P est fonction d'une part de A, d'autre part de la *quantité* de sol dégradée d'où l'expression de l'*intégrale*.

Sur la base de ces équations, une possibilité est de proposer des équations différentielles ordinaires (ODE) pour calculer notamment l'intensité du syndrome dans un intervalle de temps donné (entre 1980 et 1990 par exemple). Ce genre de formulation mathématique se limite à analyser en détail et à reproduire le passé, au moins tel que représenté par les données. Les auteurs proposent ainsi de réaliser une modélisation dynamique qualitative du syndrome dans le but d'évaluer de façon prospective les options d'une gestion environnementale globale.

Les symptômes sont définis par des variables qualitatives, chacune étant délimitée dans un espace de quantités :

- | | |
|--------------------|--|
| A : 0 < ms < total | ms : activité agricole maximale durable; total : niveau maximal possible |
| S : 0 < out | out: valeur maximale possible pour laquelle le modèle est valide |
| P : 0 < ex < out | ex : pauvreté importante |
| R : 0 < out | |

Une quatrième variable auxiliaire est introduite, celle du rendement (R).

Les équations de contraintes avec les valeurs correspondantes sont établies sur la base des équations présentées ci-dessus :

$$\frac{dA}{dt} = M^+(P; (0, ex))$$

$$\frac{dS}{dt} = M^+(A; (mout, 0), (0, ms), (out, total))$$

$$R = mult(M^-(S; (0, out), (out, 0)); A) \quad P = M^-(R)$$

La simulation QSIM est réalisée à partir de deux situations initiales possibles :

$$I_1 = \langle A_0, S_0, P_0 \rangle = [\langle (0, ms), aug \rangle, \langle 0, out \rangle, dim \rangle, \langle (ex, out), dim \rangle]$$

$$I_2 = [\langle (ms, tot), dim \rangle, \langle 0, out \rangle, aug \rangle, \langle (0, ex), aug \rangle]$$

Ces conditions initiales génèrent une vingtaine de solutions possibles regroupées en cinq types :

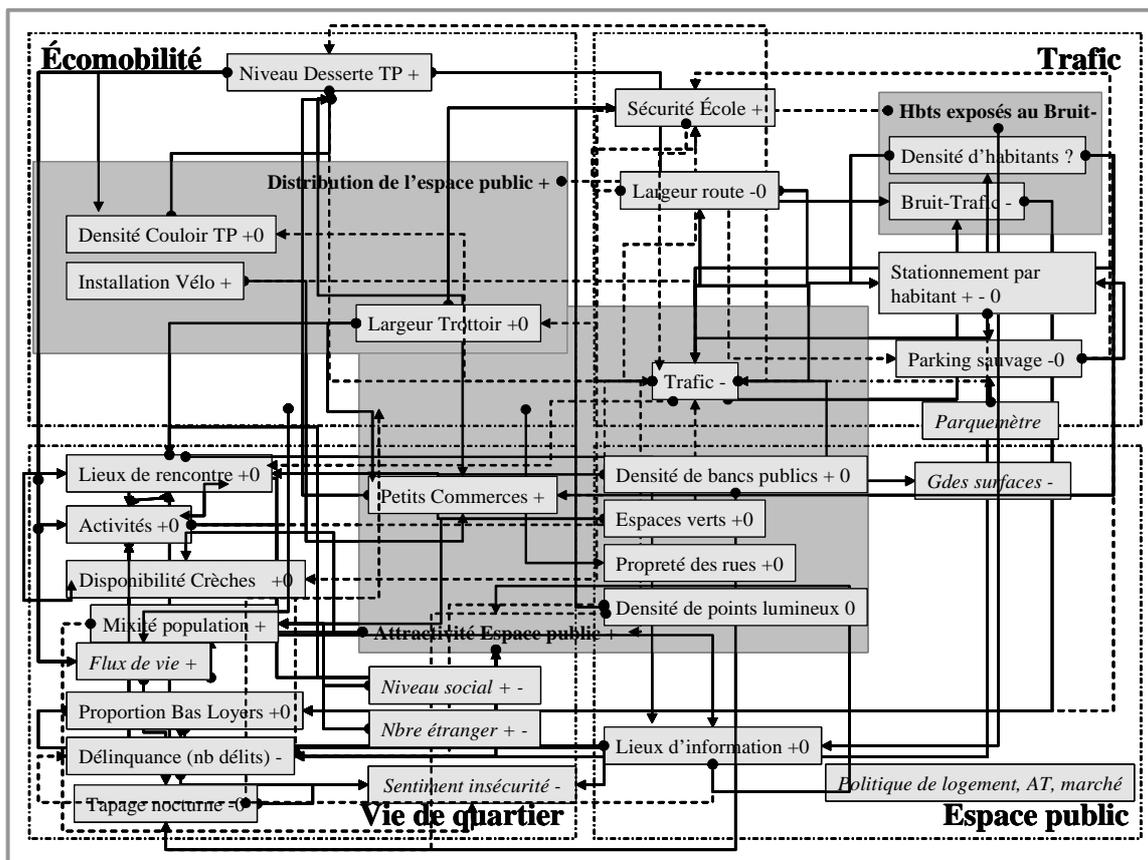
- Solutions avec les sols qui se régénèrent complètement.
- Solutions stationnaires produites par un équilibre entre la pauvreté et l'activité agricole.
- Solutions avec une dégradation rapide du sol.
- Résultats présentant le modèle du syndrome sous un aspect positif (activité agricole équilibrée, pauvreté faible, sol régénéré), sans pour autant être causés par une intervention extérieure, mais par des conditions locales favorables.
- Solutions les plus problématiques où le cercle vicieux est très actif (prépondérance des rétroactions positives).

Ces différentes solutions montrent où il faut intervenir dans le système pour corriger les dysfonctionnements. Ces interventions sont de deux types : (i) combattre la pauvreté (améliorer la santé publique, réforme des prix agricoles, etc.), (ii) atténuation des impacts agricoles sur les sols (agroforesterie, formation des agriculteurs, etc.).

Superposition de tous les modèles individuels

Les modèles construits par les six acteurs, dans le cadre du diagnostic à Genève, sont superposés sur la figure ci-dessous. Les éléments suivants sont représentés : relations (concordantes ou discordantes), tendances souhaitées des indicateurs et les indicateurs ajoutés par les acteurs.

Le lecteur est invité non pas à interpréter ce modèle, mais à constater visuellement la diversité des relations exprimées et la nécessité d'une représentation davantage synthétique pour identifier les éléments convergents.



Légende	
<i>Flux de vie</i>	Indicateur ajouté
Petits commerces	Indicateur de base
Attractivité EP	Indicateur agrégé
Vie de quartier	Niveau thématique
●——→	Relation concordante
●---→	Relation discordante
+/-/0	Tendance souhaitée: max./min./stab.

Modèles conceptuels de phénomènes par acteur : matrices structurales et graphes causaux

Légendes des symboles utilisés

Matrice structurale

		Relation	
		Concordante	Discordante
Crédibilité	1		
	0.5		

Situation initiale

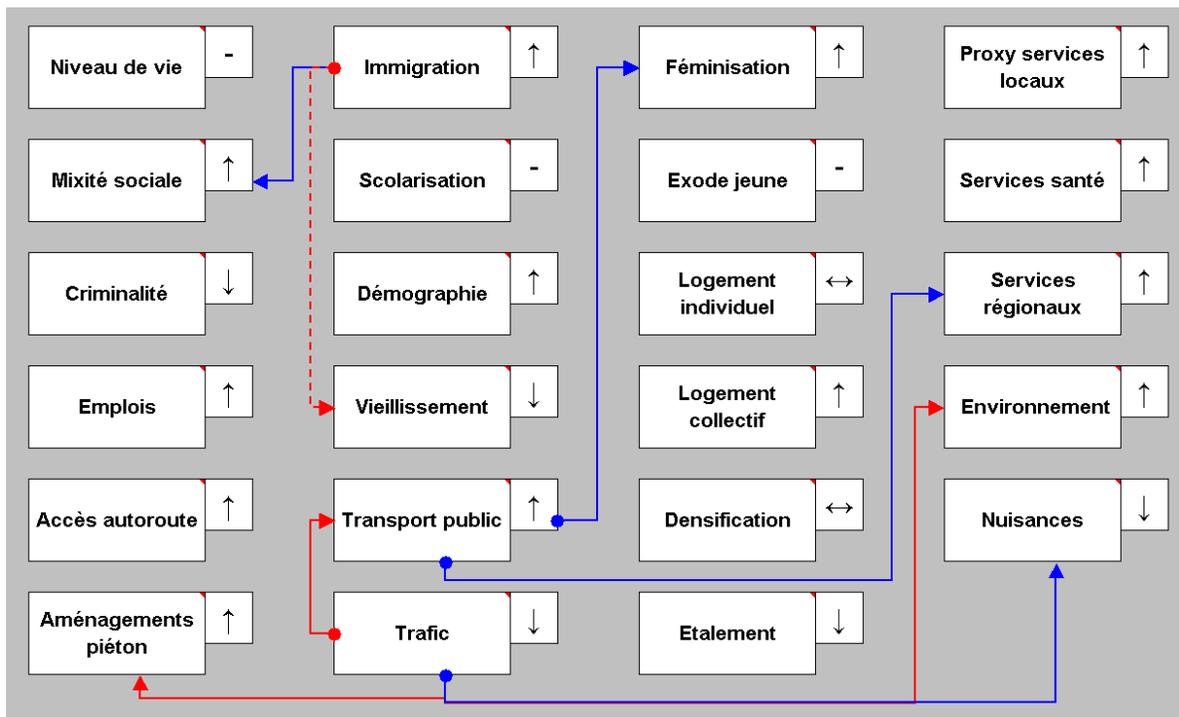
	Bonne
	Moyenne
	Mauvaise
-	Aucune

Graphe causal

	Concordante
	Discordante
	Source
	Cible
	Crédibilité faible
	Tendance souhaitée: max/stab/min/aucune

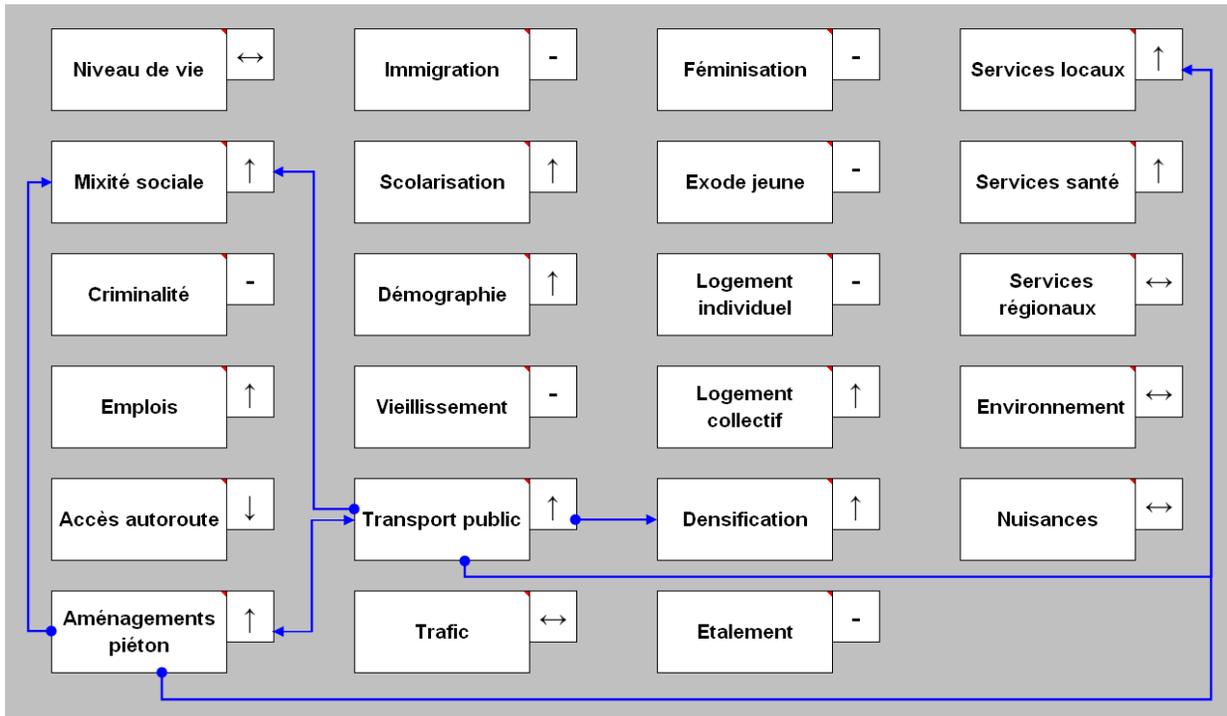
Modèle de l'acteur U₁

U ₁	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	-																								
Empl	↑																								
Scol	-																								
Mix	↑																								
Vieil	↓																								
Im	↑						■																		1.5
ExJ	-																								
Crim	↓																								
Dém	↔																								
Fém	↑																								
Aut	↑																								
Traf	↓																								4
TP	↑																								3
Piét	↑																								
L. indiv.	↔																								
L. coll.	↑																								
Dens	↔																								
Etal	↓																								
Sloc	↑																								
Sant	↑																								
Srég	↑																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k					1	0.5					1		1	1	1							1	1	1	



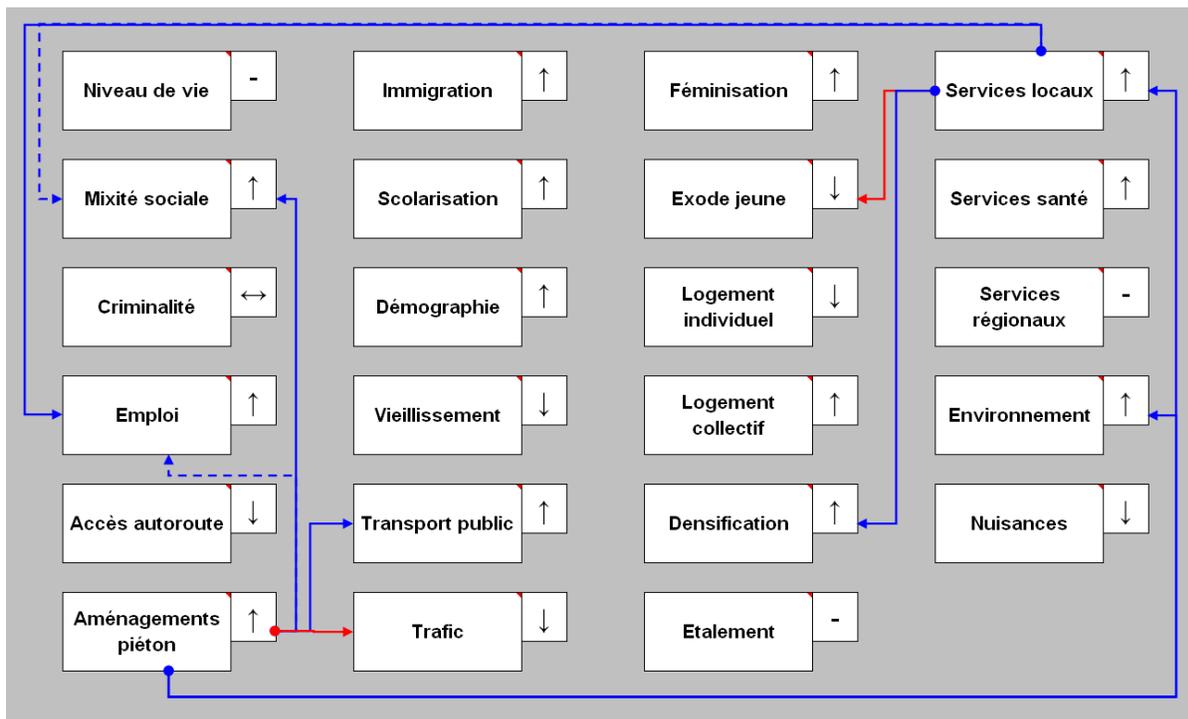
Modèle de l'acteur U₂

U ₂	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↔																								
Empl	↑																								
Scol	↑																								
Mix	↑																								
Vieil	-																								
Im	-																								
ExJ	-																								
Crim	-																								
Dém	↑																								
Fém	-																								
Aut	↓																								
Traf	↔																								
TP	↑																								4
Piét	↑																								3
L. indiv.	-																								
L. coll.	↑																								
Dens	↑																								
Etal	-																								
Sloc	↑																								
Sant	↑																								
Srég	↔																								
Env	↔																								
Nuis	↓																								
S _k					2									1	1			1		2					



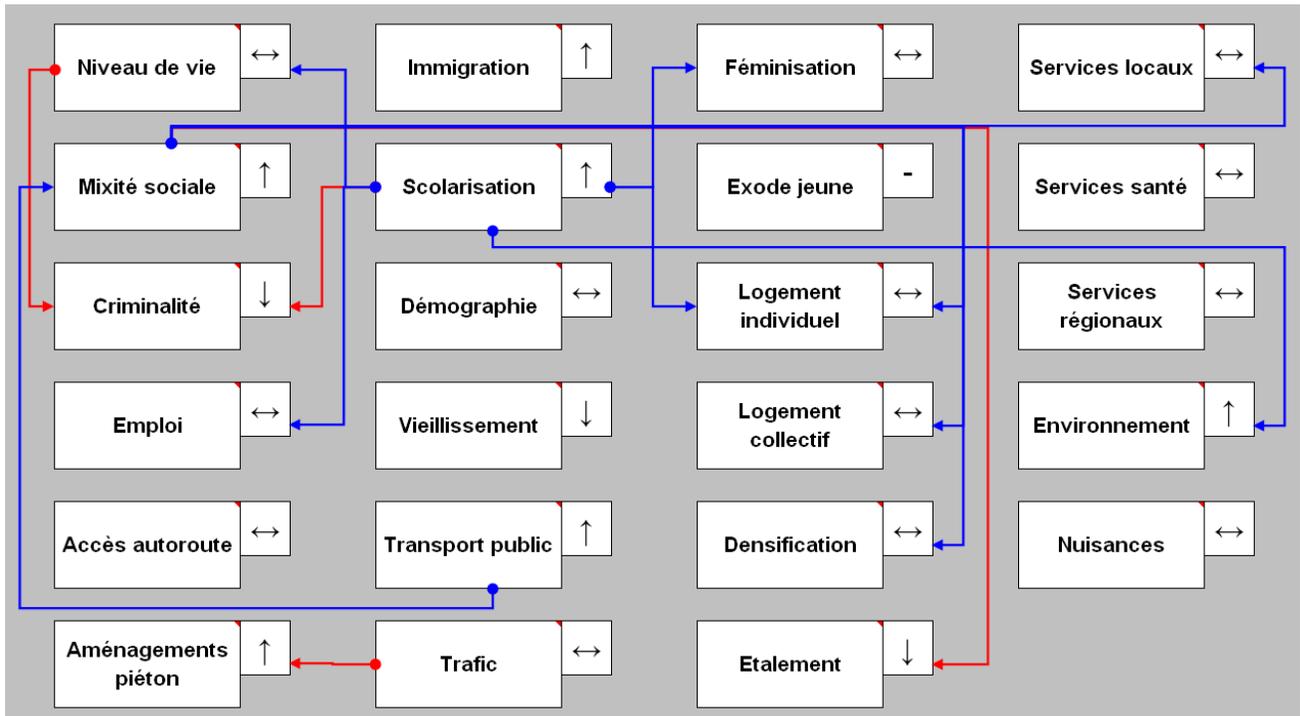
Modèle de l'acteur U₃

U ₃	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	-																								
Empl	↑																								
Scol	↑																								
Mix	↑																								
Vieil	↓																								
Im	↑																								
ExJ	↓																								
Crim	↓																								
Dém	↑																								
Fém	↑																								
Aut	↓																								
Traf	↓																								
TP	↑																								
Piét	↑																								
L. indiv.	↓																								
L. coll.	↑																								
Dens	↑																								
Etal	-																								
Sloc	↑																								
Sant	↑																								
Srég	-																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k			1.5		1.5			1					1	1					1	1			1		



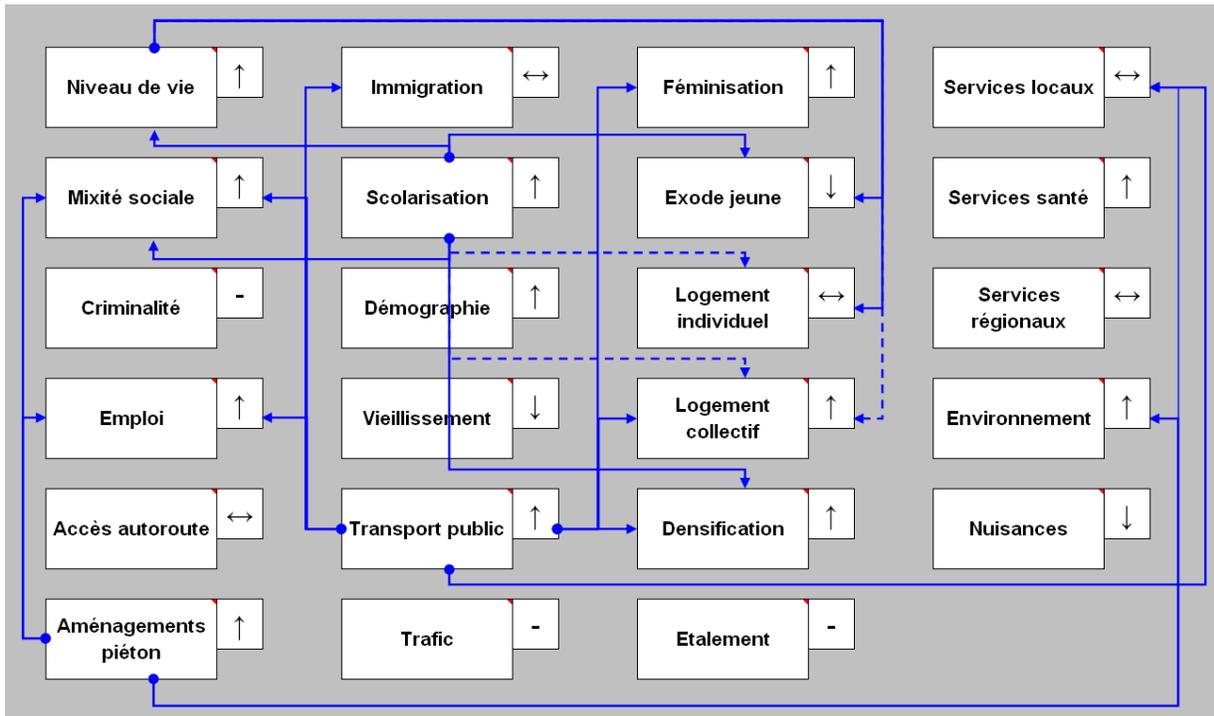
Modèle de l'acteur U₄

U ₄	CI	Niv	Empl	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↔																								
Empl	↔		■																					■	1
Scol	↑		■	■					■		■						■	■		■				■	6
Mix	↑								■										■	■	■	■			5
Vieil	↓																								
Im	↑																								
ExJ	-																								
Crim	↓																								
Dém	↔																								
Fém	↔																								
Aut	↔																								
Traf	↔														■										1
TP	↑				■																				1
Piét	↑																								
L. indiv.	↔																								
L. coll.	↔																								
Dens	↔																								
Etal	↓																								
Sloc	↔																								
Sant	↔																								
Srég	↔																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k		2	1		1				1		1				1	2	1	1	1	1			1		



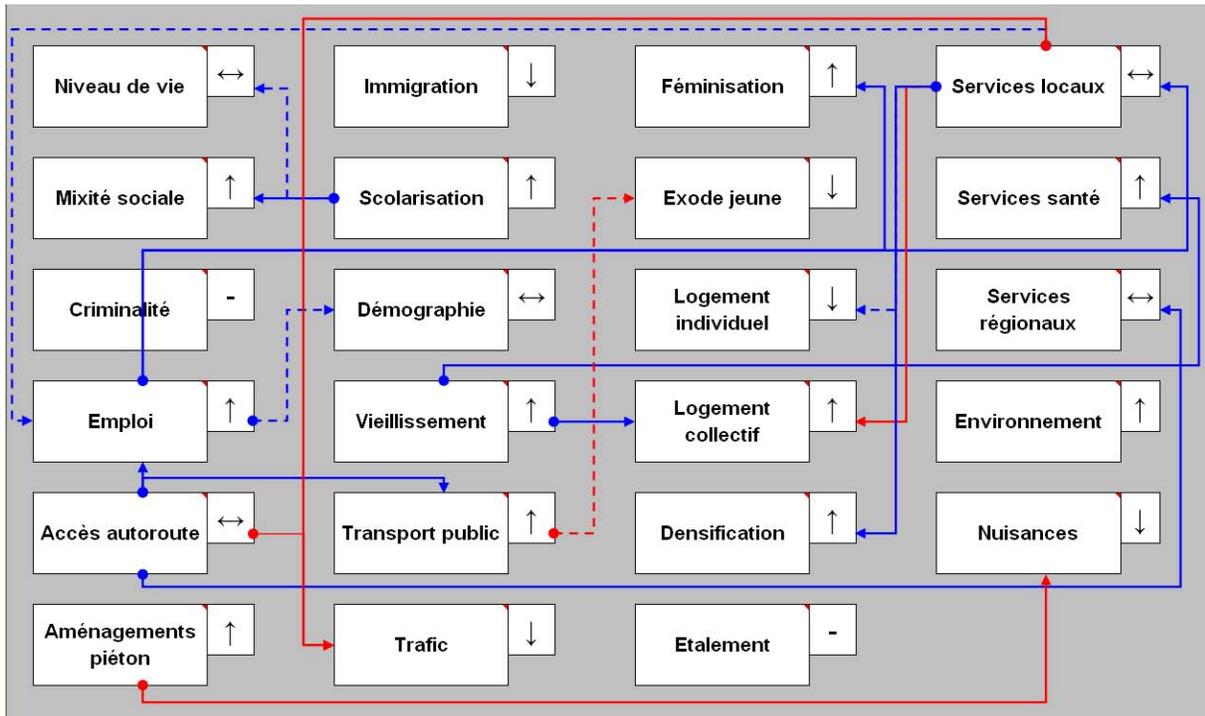
Modèle de l'acteur U₆

U ₆	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑							■								■	■								2.5
Empl	↑																								
Scol	↑	■			■			■								■	■		■						5
Mix	↑																								
Vieil	↓																								
Im	↔																								
ExJ	↓																								
Crim	-																								
Dém	↑																								
Fém	↑																								
Aut	↔																								
Traf	-																								
TP	↑		■		■	■					■														7
Piét	↑		■		■	■																	■		4
L. indiv.	↔																								
L. coll.	↑																								
Dens	↑																								
Etal	-																								
Sloc	↔																								
Sant	↑																								
Srég	↔																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k		1	2		3			2			1					1.5	2	2		2			1		



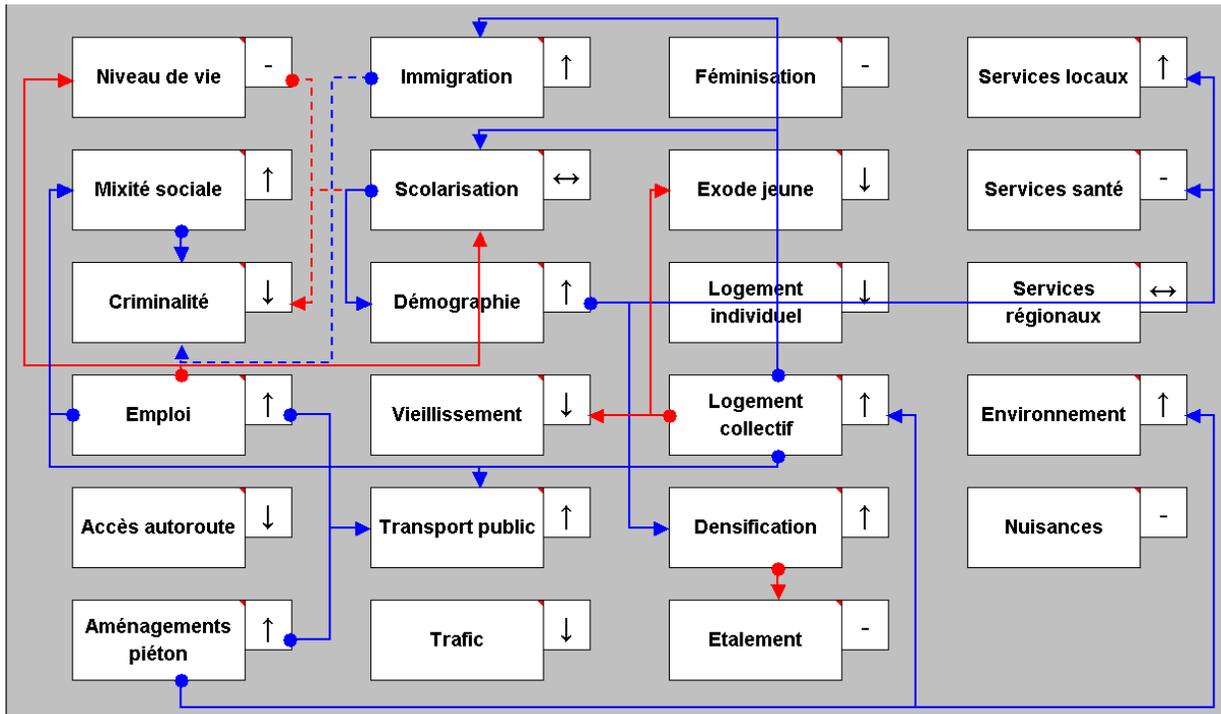
Modèle de l'acteur U₇

U ₇	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↔																								
Empl	↑																								2.5
Scol	↑																								1.5
Mix	↑																								
Vieil	↑																								
Im	↓																								
ExJ	↓																								
Crim	-																								
Dém	↔																								
Fém	↑																								
Aut	↔																								
Traf	↓																								
TP	↑																								
Piét	↑																								
L. indiv.	↓																								
L. coll.	↑																								
Dens	↑																								
Etal	-																								
Sloc	↔																								
Sant	↑																								
Srég	↔																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k		0.5	1.5		1			0.5		0.5	1		2	1		0.5	2	1		1	1	1	1	1	



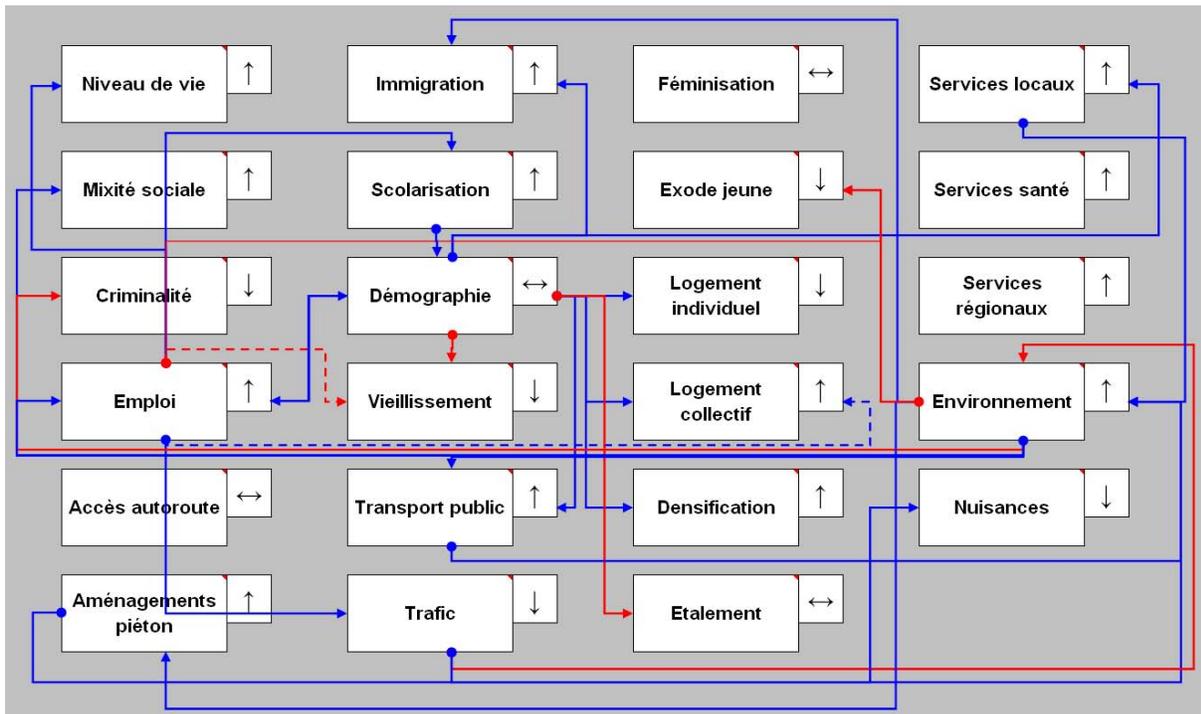
Modèle de l'acteur A₈

A ₈	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k	
Niv	-																								0.5	
Empl	↑	■		■	■										■											4
Scol	↔								■		■															1.5
Mix	↑									■																1
Vieil	↓																									
Im	↑																									0.5
ExJ	↓																									
Crim	↓																									
Dém	↑																			■	■	■				3
Fém	-																									
Aut	↓																									
Traf	↓																									
TP	↑																									
Piét	↑														■									■		3
L. indiv.	↓																									
L. coll.	↑			■	■	■	■	■							■											6
Dens	↑																				■					1
Etal	-																									
Sloc	↑																									
Sant	-																									
Srég	↔																									
Env	↑																									
Nuis	-																									
S _k		1		2	2	1	1	1	2.5	1					3			1	1	1	1	1		1		



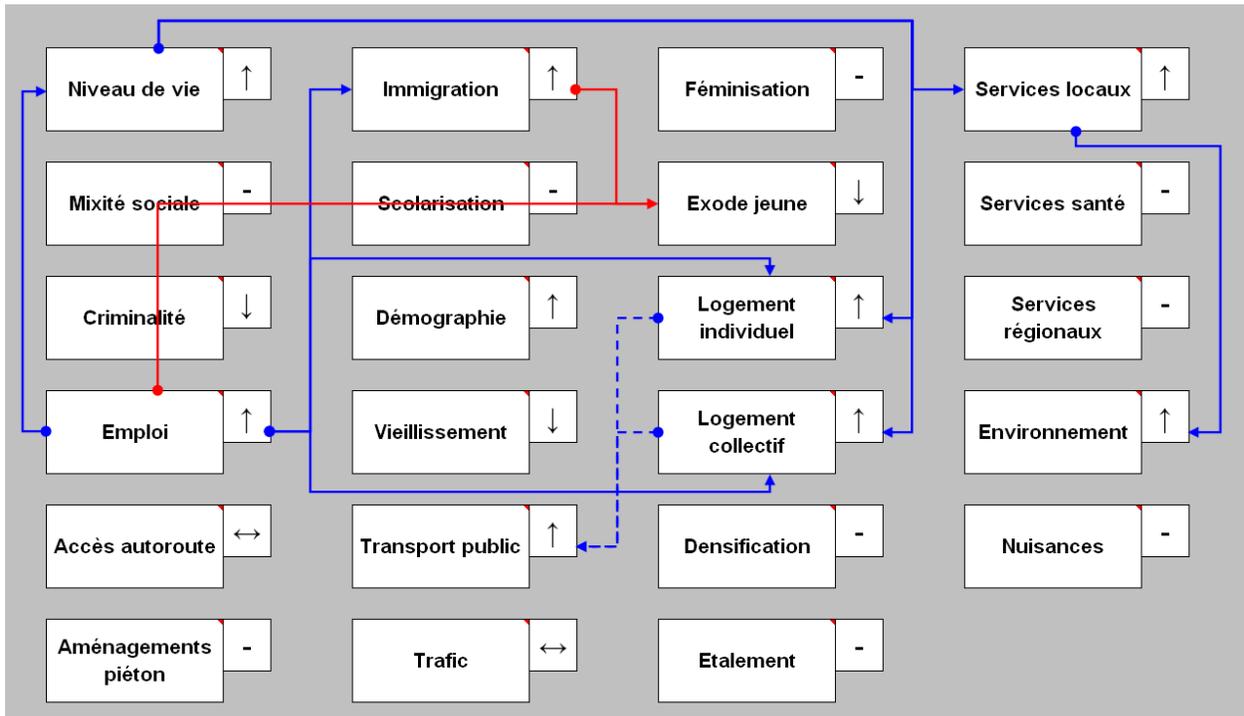
Modèle de l'acteur A₉

A ₉	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑																								
Empl	↑	■		■		■		■			■		■												6
Scol	↑										■														1
Mix	↑																								
Vieil	↓																								
Im	↑																								
ExJ	↓																								
Crim	↓																								
Dém	↔		■			■								■		■	■	■	■	■	■				8
Fém	↔																								
Aut	↔																								
Traf	↓																						■	■	2
TP	↑																						■		1
Piét	↑																						■		1
L. indiv.	↓																								
L. coll.	↑																								
Dens	↑																								
Etal	↔																								
Sloc	↑																						■		1
Sant	↑																								
Srég	↑																								
Env	↑		■		■			■	■					■	■										6
Nuis	↓																								
S _k		1	2	1	1	1.5		2	1	2			1	2	1	1	1.5		1	1	1		4	1	



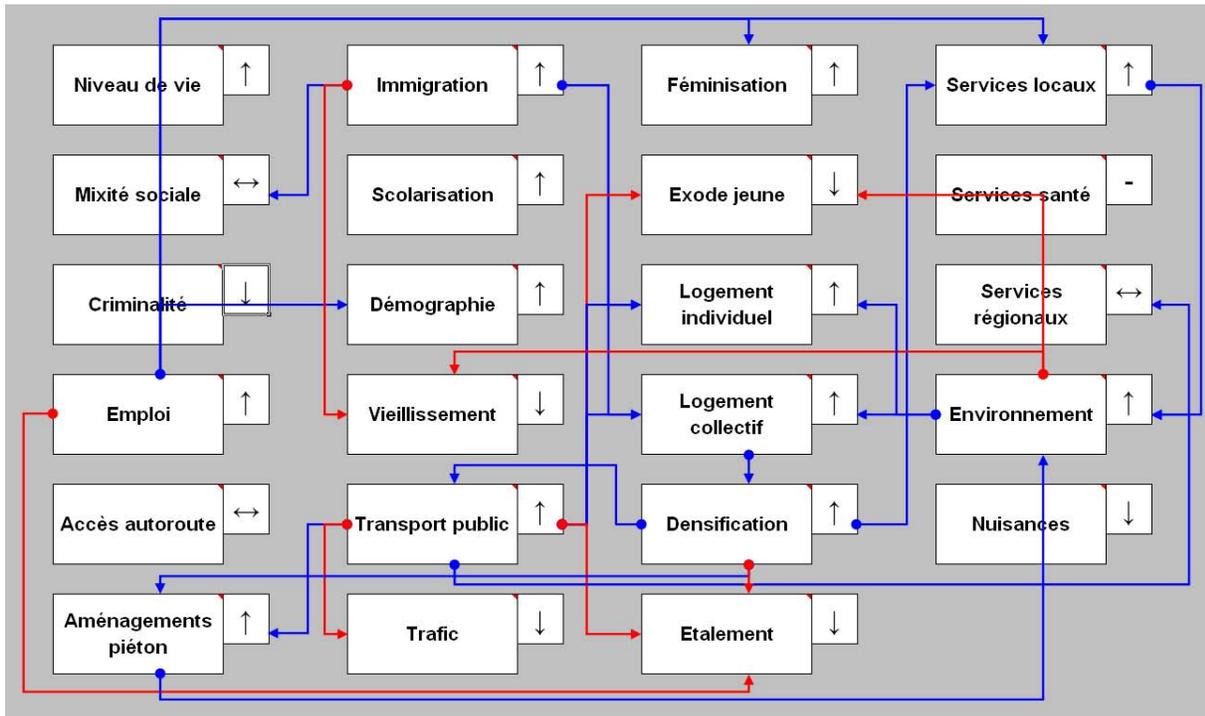
Modèle de l'acteur A₁₁

A ₁₁	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑																								3
Empl	↑	■					■	■									■	■		■					5
Scol	-																								
Mix	-																								
Vieil	↓																								
Im	↑							■																	1
ExJ	↓																								
Crim	↓																								
Dém	↑																								
Fém	-																								
Aut	↔																								
Traf	↔																								
TP	↑																								
Piét	-																								
L. indiv.	↑																								0.5
L. coll.	↑																								0.5
Dens	-																								
Etal	-																								
Sloc	↑																						■		1
Sant	-																								
Srég	-																								
Env	↑																								
Nuis	-																								
S _k		1					1	2						1		2	2			1			1		



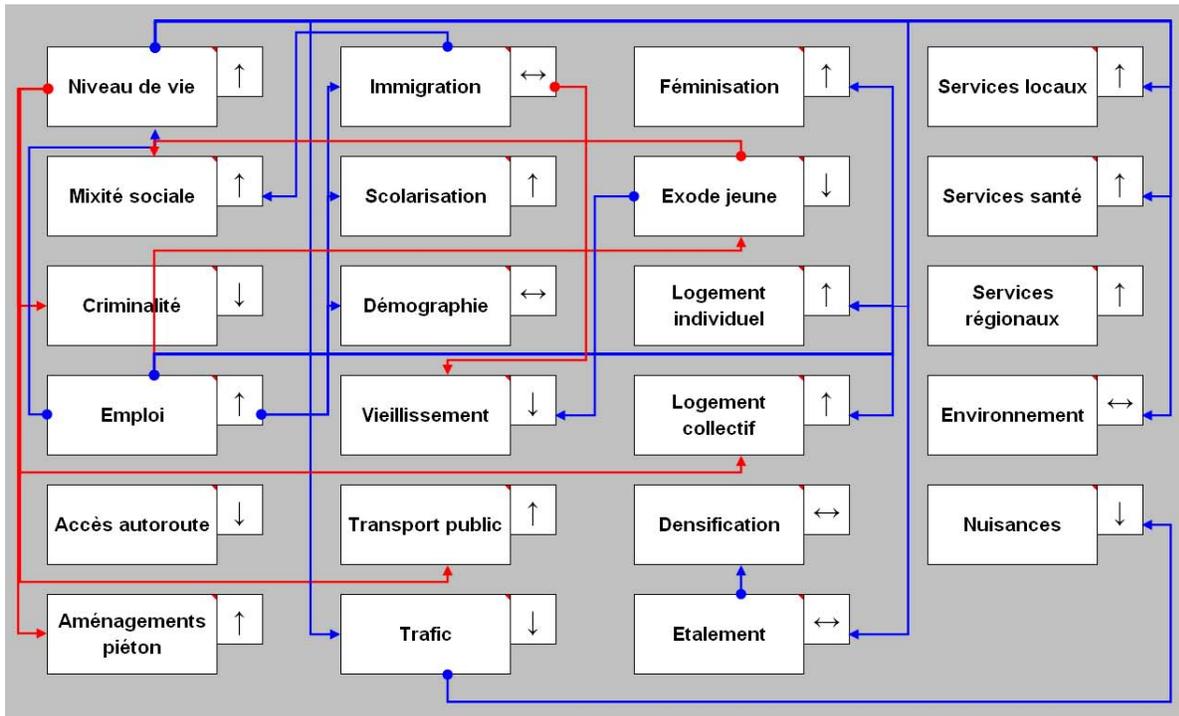
Modèle de l'acteur P₁₂

P ₁₂	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑																								
Empl	↑										■	■								■	■				4
Scol	↑																								
Mix	↔																								
Vieil	↓																								
Im	↑						■	■																	4
ExJ	↓																								
Crim	↓																								
Dém	↑																								
Fém	↑																								
Aut	↔																								
Traf	↓																								
TP	↑								■					■									■	■	8
Piét	↑														■	■	■							■	1
L. indiv.	↑																								
L. coll.	↑																								1
Dens	↑														■	■				■	■				4
Etal	↓																								
Sloc	↑																							■	1
Sant	-																								
Srég	↔																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k					1	2		2		1	1		1	1	2	3	3	1	3	1		1	3		



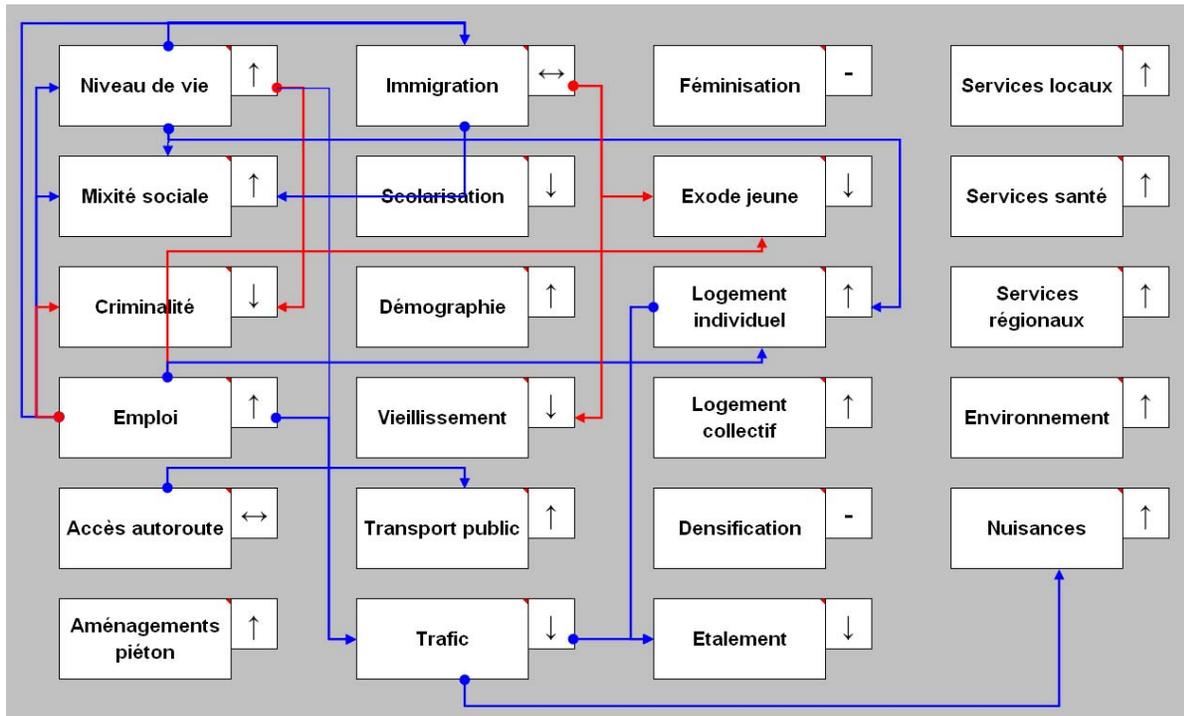
Modèle de l'acteur H₁₃

H ₁₃	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑																								10
Empl	↑	■																							8
Scol	↑			■																					
Mix	↑																								
Vieil	↓																								
Im	↔																								2
ExJ	↓																								2
Crim	↓																								
Dém	↔																								
Fém	↑																								
Aut	↓																								
Traf	↓																								1
TP	↑																								
Piét	↑																								
L. indiv.	↑																								
L. coll.	↑																								
Dens	↔																								
Etal	↔																								1
Sloc	↑																								
Sant	↑																								
Srég	↑																								
Env	↔																								
Nuis	↓																								
S _k		1		1	2	2	1	1	1	1	1		1	1		2	2	1	1	1	1		1	1	



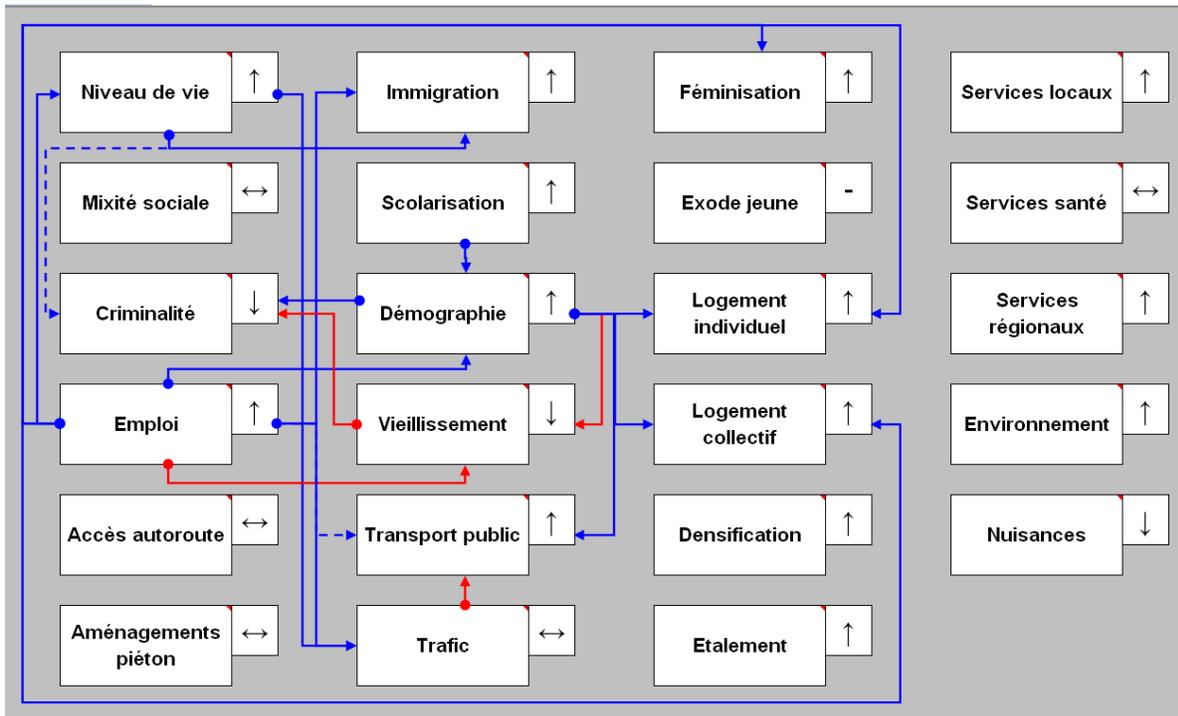
Modèle de l'acteur H₁₄

H ₁₄	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑				█		█		█							█									4
Empl	↑	█			█		█	█	█				█												7
Scol	↓																								
Mix	↑																								
Vieil	↓																								
Im	↔				█	█		█																	3
ExJ	↓																								
Crim	↓																								
Dém	↑																								
Fém	-																								
Aut	↔													█											1
Traf	↓																			█				█	2
TP	↑																								
Piét	↑																								
L. indiv.	↑																			█					1
L. coll.	↑																								
Dens	-																								
Etal	↓																								
Sloc	↑																								
Sant	↑																								
Srég	↑																								
Env	↑																								
Nuis	↑																								
S _k		1			3	1	2	2	2				1	1		2			2					1	



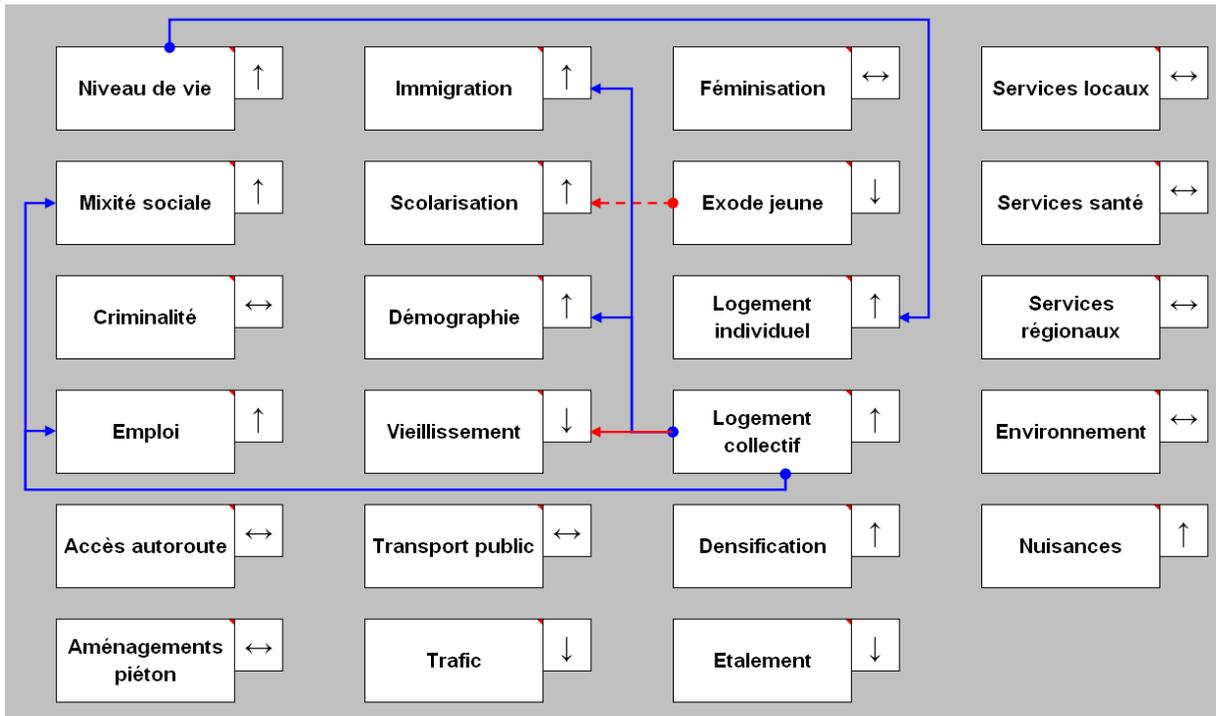
Modèle de l'acteur H₁₅

H ₁₅	CI	Niv	Emp	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k
Niv	↑						■		■				■												2.5
Empl	↑	■				■	■				■		■	■		■	■								8.5
Scol	↑										■														1
Mix	↔																								
Vieil	↓																								1
Im	↑																								
ExJ	-																								
Crim	↓																								
Dém	↑					■				■															5
Fém	↑																								
Aut	↔																								
Traf	↔													■											1
TP	↑																								
Piét	↔																								
L. indiv.	↑																								
L. coll.	↑																								
Dens	↑																								
Etal	↑																								
Sloc	↑																								
Sant	↔																								
Srég	↑																								
Env	↑																								
Nuis	↓																								
S _k		1				2	2		2.5	2	1		2	2.5		2	2								



Modèle de l'acteur H₁₆

H ₁₆	CI	Niv	Empl	Scol	Mix	Vieil	Im	ExJ	Crim	Dém	Fém	Aut	Traf	TP	Piét	L. indiv.	L. coll.	Den	Etal	Sloc	Sant	Srég	Env	Nuis	S _k	
Niv	↑																								1	
Empl	↑																									
Scol	↑																									
Mix	↑																									
Vieil	↓																									
Im	↑																									
ExJ	↓																									0.5
Crim	↓																									
Dém	↑																									
Fém	↔																									
Aut	↔																									
Traf	↓																									
TP	↔																									
Piét	↔																									
L. indiv.	↑																									
L. coll.	↑																									5
Dens	↑																									
Etal	↓																									
Sloc	↔																									
Sant	↔																									
Srég	↔																									
Env	↔																									
Nuis	↑																									
S _k			1	0.5	1	1	1			1						1										



Modélisation dynamique des phénomènes et interface d'utilisation

Cette annexe présente une démarche exploratoire de simulation qualitative sur la base de modèles de phénomènes proposés par les acteurs, en vue de mettre en évidence les visions prospectives des acteurs. Elle propose ensuite une interface dans la perspective de communiquer ces visions et de les échanger.

A) D'un modèle structurel à un modèle dynamique

Pour rappel, le modèle conceptuel ou structurel de phénomène représente les relations causales entre phénomènes en terme de concordance et de discordance. Il est obtenu par une intégration de modèles de co-évolutions par phénomène. Ces co-évolutions sont exprimées par les acteurs, lors des entretiens, sous la forme de transitions d'état ordinal dans un intervalle de temps (t_i, t_{i+1}).

Une telle vision conceptuelle est statique, car elle suppose une linéarité des relations et n'exprime par réellement le fonctionnement dynamique du système tel que représenté par les acteurs. Ce fonctionnement peut être modélisé dynamiquement en utilisant l'approche QSIM (chapitre 4.3.3 et Annexe I), qui permet de prendre en compte l'ensemble de l'information issue de la conception et de la modélisation.

Les modèles de co-évolution et le modèle conceptuel de phénomènes constituent les éléments de base ou les inputs permettant de réaliser cette simulation qualitative du système de phénomène. On distingue en particulier trois inputs :

- Les *conditions initiales* de chaque phénomène correspondant à l'appréciation de la situation actuelle par les acteurs. Cette appréciation est donnée par l'une des trois valeurs seuil de l'espace de quantité choisi.
- Les correspondances entre états lors des co-évolutions des phénomènes qui permettent d'exprimer les *valeurs correspondantes* dans une équation de contrainte. Celle-ci met en relation un phénomène avec un autre.
- Le modèle global synthétique qui permet de distinguer les relations exprimant une dérivée positive (concordantes) et une dérivée négative (discordantes), dans le cas d'une *fonction de contrainte* indéterminée (exprimée par M^+ ou M^-).

Cette démarche de représentation dynamique s'inscrit également dans une dualité de langages mathématique et symbolique. Les résultats de la conception font l'objet d'un traitement mathématique avec l'approche QSIM (*encodage*). Les résultats de la simulation sont ensuite communiqués selon un langage symbolique (*décodage*), à travers une interface présentée à la section C).

B) Modélisation dynamique

La démarche complète est illustrée en utilisant un exemple simple.

On considère un système restreint de quatre phénomènes : Trafic, Bouchon (Embouteillage), Retard de transport public (TP), Couloir TP.

Soit les conditions initiales proposées par un ou plusieurs acteurs :

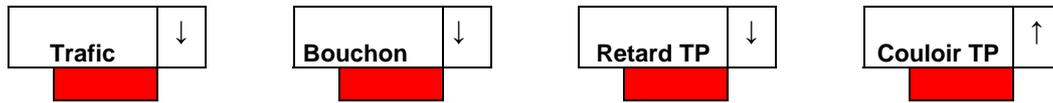


Figure IV.1 : Conditions initiales.

Les co-évolutions sont identifiées de la façon suivante :

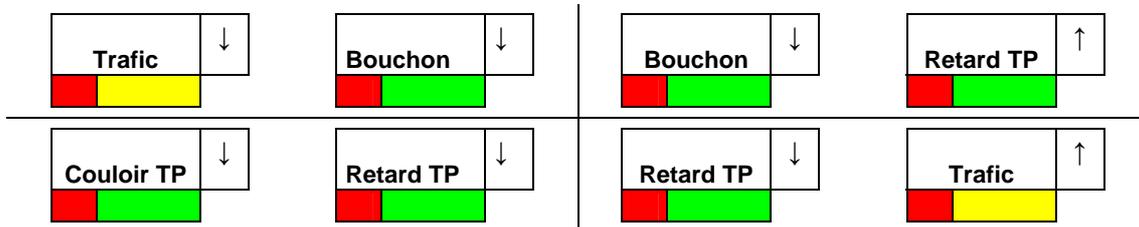


Figure IV.2 : Co-évolutions.

Dans cette proposition, les relations Trafic – Bouchon et Retard – Trafic sont non-linéaires : un changement d'un état produit un changement de deux états.

A partir de ces co-évolutions, il est possible de construire le modèle conceptuel de phénomènes exprimant les relations causales :

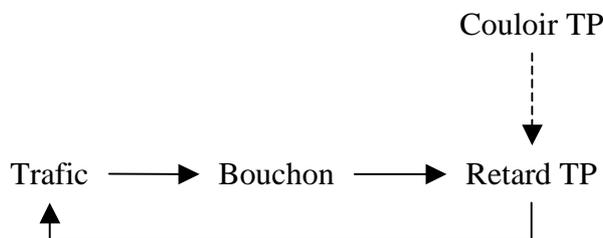


Figure IV.3 : Graphe causal

Ce schéma s'interprète ainsi : une augmentation du *Trafic* sur le réseau routier entraîne une augmentation des *Bouchons*, ce qui provoque des *Retards* sur le réseau du transport public (concordance). Une intervention telle que l'aménagement des *Couloirs* réservés aux bus diminue ces retards (discordance), ce qui rend plus attractifs les transports publics et peut encourager rétroactivement les gens à moins utiliser leur automobile.

Espace de quantité

Comme l'indique ce titre, l'espace de quantité induit une notion de quantité. De ce point de vue, les valeurs seuils symboliques utilisées lors de la phase de conception sont quelque peu ambiguës. En effet, les seuils « mauvais » et « bon » expriment une quantité tantôt élevée, tantôt faible selon que les tendances sont « maximiser » ou « minimiser » (cf. ch. 7.4.2). Par conséquent, pour les besoins de la simulation qualitative, ces valeurs seuils sont traduites en valeurs mathématiques, ce qui implique une intervention de l'expert en concertation avec les autres acteurs.

Les espaces de quantité choisis pour chaque phénomène figurent dans le tableau suivant :

	Mauvais		Moyen		Bon	Tendance
Trafic	T_{bloquage}	>	T_{max}	>	0	↓
Bouchon	∞	>	B_{moy}	>	0	↓
Retard	∞	>	R_{moy}	>	0	↓
Couloir	0	<	C_{moy}	<	C_{max}	↑

Tableau IV.1 : Transformation des valeurs symboliques.

On peut observer une inversion du sens croissant, par rapport aux seuils « bon, moyen, mauvais », entre *Couloir TP* qui est à maximiser et les autres phénomènes qui sont à minimiser. Les valeurs associées au Trafic sont exprimées de façon assez précise et significative. Tandis que les valeurs des autres phénomènes sont exprimées en des termes plus généraux (0, ∞).

Contraintes et valeurs correspondantes

Les fonctions de chacune des relations ne sont pas connues complètement. La seule information est produite par le signe de leur dérivée. Ces fonctions sont alors du type monotone croissante ou décroissante :

$$\begin{aligned} \text{Bouchon} &= M^+(\text{Trafic}) && (0, T_{\text{max}}) && (\infty, T_{\text{bloquage}}) \\ \text{Retard} &= M^-(M^-(\text{Bouchon}), M^+(\text{Couloir})) && (\infty, \infty, 0) && (0, \infty, C_{\text{max}}) && (0, 0, 0) \\ \text{Trafic} &= M^-(\text{Retard}) && (T_{\text{max}}, 0) \end{aligned}$$

Sur la base des ces équations de contraintes et des valeurs correspondantes, il est possible d'interpréter le système de phénomènes de la manière suivante : jusqu'à une valeur de *Trafic* T_{max} , le *Bouchon* est nul et la fluidité maximale. Si le *Trafic* atteint une valeur T_{bloquage} , la circulation automobile est totalement bloquée, ce qui provoque un *Bouchon* et un *Retard* quasi infinis. En outre, une densité maximale de *Couloirs TP* exprimée par C_{max} permet de rendre le *Retard des TP* quasi-indépendant du *Trafic*.

Sur cette base, il est possible de débiter la simulation qualitative.

Simulation qualitative

On propose de partir d'une situation de trafic bloqué. Des interventions ciblées sont réalisées de façon à corriger cette situation, telles que l'augmentation de la densité de couloirs réservés aux bus, afin de rendre le réseau de transport public plus indépendant des bouchons.

Cette impulsion de départ se traduit par les deux solutions initiales suivantes, qui sont ensuite propagées sur l'ensemble du système à travers les équations de contrainte vues ci-dessus.

Condition initiale :	Propagation à T_0 :
Trafic = $\langle T_{\text{bloquage}}, \text{stb} \rangle$	Trafic = $\langle T_{\text{bloquage}}, \text{stb} \rangle$
Couloir = $\langle 0, \text{aug} \rangle$	Bouchon = $\langle \infty, \text{stb} \rangle$
	Retard TP = $\langle \infty, \text{stb} \rangle$
	Couloir = $\langle 0, \text{aug} \rangle$

Où dim, stb, aug (diminue, stabilisé, augmente) désignent les tendances de évolution d'un phénomène à un temps t_i ou un intervalle de temps (t_i, t_{i+1}) .

Les résultats de la simulation qualitative sont présentés dans le tableau suivant :

	T_0	(T_0, T_1)	T_1	(T_1, T_0)	T_2
Trafic	$\langle T_{\text{bloquage}}, \text{stb} \rangle$	$\langle (T_{\text{max}}, T_{\text{bloquage}}), \text{dim} \rangle$	$\langle (T_{\text{max}}, T_{\text{bloquage}}), \text{dim} \rangle$	$\langle (T_{\text{max}}, T_{\text{bloquage}}), \text{dim} \rangle$	$\langle T_{\text{max}}, \text{stb} \rangle$
Bouchon	$\langle \infty, \text{stb} \rangle$	$\langle (B_{\text{moy}}, \infty), \text{dim} \rangle$	$\langle B_{\text{moy}}, \text{dim} \rangle$	$\langle (0, B_{\text{moy}}), \text{dim} \rangle$	$\langle 0, \text{stb} \rangle$
Retard	$\langle \infty, \text{stb} \rangle$	$\langle (R_{\text{moy}}, \infty), \text{dim} \rangle$	$\langle R_{\text{moy}}, \text{dim} \rangle$	$\langle (0, R_{\text{moy}}), \text{dim} \rangle$	$\langle 0, \text{stb} \rangle$
Couloir	$\langle 0, \text{aug} \rangle$	$\langle (0, C_{\text{moy}}), \text{aug} \rangle$	$\langle C_{\text{moy}}, \text{aug} \rangle$	$\langle (C_{\text{moy}}, C_{\text{max}}), \text{aug} \rangle$	$\langle C_{\text{max}}, \text{stb} \rangle$

Tableau IV.2 : Solutions de la modélisation qualitative.

Cette solution représente une solution parmi plusieurs possibles si l'on se réfère aux règles de succession énoncées en Annexe I. Dans cet exemple, la situation se stabilise à T_2 , lorsque la densité de *Couloir* est maximale, et le *Trafic* ramené à un niveau fluide.

C) Interface d'utilisation

Les résultats possibles de la simulation présentés dans le tableau ci-dessus sont difficilement communicables à un large public. Sur la base des contraintes et des valeurs correspondantes, il convient d'élaborer une interface permettant de communiquer, selon un langage à nouveau symbolique (processus de *décodage*), la représentation dynamique du système de phénomènes (figure IV.4).

Celle-ci doit permettre à l'utilisateur de « naviguer » dans le système par le biais des interrelations entre phénomènes et d'évaluer qualitativement les conséquences potentielles de l'évolution de certains phénomènes sur le système. Cette interface ne constitue pas encore une aide à l'action en tant qu'outil de planification (qui intervient en aval du processus, mais il vise plutôt à stimuler les échanges de points de vue entre acteurs ou groupes d'acteurs à travers une représentation dynamique.

Les seuils sont ainsi à nouveau exprimés dans des ordres de couleurs. De même, l'évolution du système est déterminée par une « amélioration » ou une « détérioration ». Les états transitoires dans un intervalle de temps (par exemple $(T_{\text{max}}, T_{\text{bloquage}})$) sont représentés par des seuils intermédiaires, tels que l'orange ou le vert clair. Afin de simplifier l'exemple, l'évolution du système est uniquement due à une intervention sur le phénomène *Couloir TP*, représentée par un bouton d'action. Cette intervention n'a lieu que dans un seul sens : *améliorer*. On peut en effet difficilement envisager une intervention supprimant les couloirs de bus. Par ailleurs, elle se manifeste uniquement aux temps ponctuels T_i , l'évolution aux intervalles de temps (T_i, T_{i+1}) étant simplement une transition entre deux états ponctuels.

Le processus présenté à la figure IV.4 est le suivant. Au temps T_0 (initial), afin de débloquent la situation, des *Couloirs TP* sont aménagés, ce qui fait évoluer la situation de ce phénomène d'un état mauvais à un état moyen. Cette intervention est représentée par l'action sur un bouton « jaune » et permet d'initier un processus relationnel sur les autres phénomènes. Au temps T_2 , une deuxième intervention est menée pour augmenter encore les *Couloirs TP* et faire évoluer sa situation vers un niveau « bon ». Les transitions d'état de chaque phénomène reprennent celles identifiées par un acteur ou groupe d'acteurs lors de la conception du modèle de phénomènes.

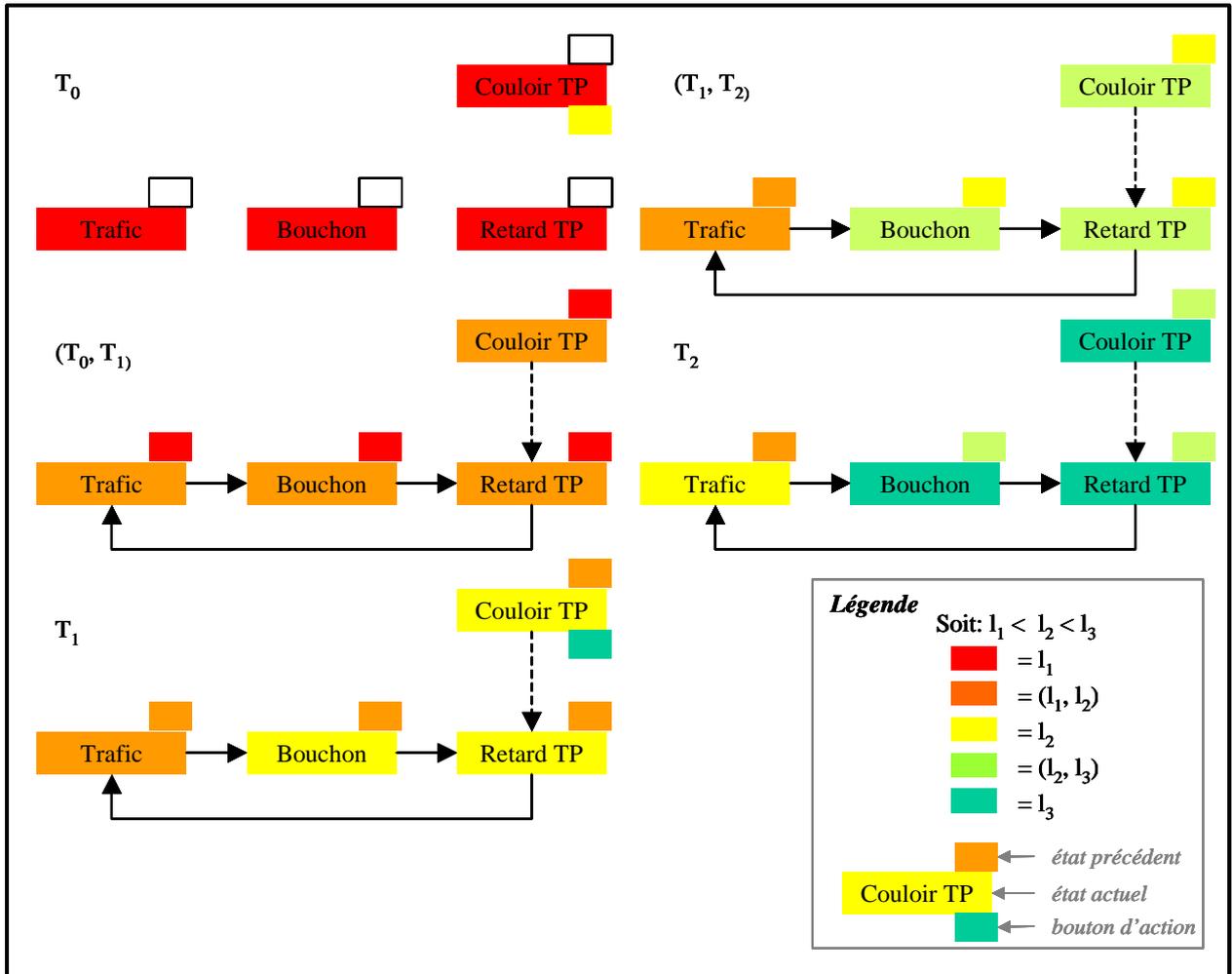


Figure IV.4: Interface d'utilisation.

Le modèle dynamique permet d'enrichir la représentation conceptuelle en représentant les évolutions telles qu'identifiées par les acteurs. Cependant, la représentation dynamique dans sa forme non spatiale est sans doute trop complexe et abstraite pour communiquer le modèle synthétique, même si le langage adopté est symbolique. Par conséquent, au chapitre 8, une interface communiquant les indicateurs géographiques associés aux phénomènes sera développée selon le même principe que celui présenté ici.

Concepts théoriques sur la classification statistique

Il existe de nombreuses méthodes possibles de classification statistique. Béguin [1979] en fait un inventaire exhaustif. Les méthodes les plus répandues sont les méthodes hiérarchiques qui conviennent à toute partition impliquant l'idée d'emboîtement des individus.

On distingue la procédure hiérarchique divisive ou *descendante* qui découpe un ensemble d'individus en sous-ensembles plus nombreux à chaque étape, jusqu'à aboutir aux N individus élémentaires. A l'inverse, la procédure hiérarchique agrégative ou *ascendante* regroupe les individus en classe de moins en moins nombreuses jusqu'à obtenir un seul groupe formé de l'ensemble des individus. Ce dernier type d'approche est la plus couramment utilisée et sera celle retenue dans notre contexte. Elle évite en effet selon Béguin (p. 222) l'inconvénient des procédures divisives de tolérer que des individus peu similaires à d'autres (sans que cette dissimilarité soit suffisante pour créer immédiatement un groupe séparé) aient une forte influence sur les divisions qui s'opèrent.

A) Procédure hiérarchique ascendante

Le schéma général de la procédure ascendante hiérarchique se présente comme suit :

- disposer d'une **matrice de dissimilarité D** *individus x individus*, dont les éléments D_{ij} expriment les distances entre individus, du point de vue de un ou plusieurs facteurs ;
- grouper les deux individus les plus similaires selon D_{ij} et un critère d'agrégation donné (cf. point suivant) ;
- dans la matrice de similarité, éliminer les lignes et les colonnes i et j et les remplacer par une ligne et colonne exprimant les similarités $D_{(ij)k}$ du groupe ij avec les autres individus k .
- répéter les 2 étapes précédentes jusqu'à obtenir un seul groupe final.

B) Critère d'agrégation

Il existe une multitude de possibilités de déterminer une distance entre deux classes sur la base de la dissimilarité. Ces procédés se distinguent par leurs **critères d'agrégation** dont voici quelques exemples [Béguin, 1979; Sanders, 1990] :

Le plus proche voisin : la distance entre 2 classes (c_1, c_2) est définie comme la plus petite distance entre 2 individus (i, j), un de chaque classe.

$$d(c_1, c_2) = \text{Min} \{d(i, j); i \in c_1, j \in c_2\}$$

Cette méthode est extrêmement simple, elle permet de détecter n'importe quelle structure de données. Cependant, elle présente l'inconvénient de favoriser des *effets de chaîne*, c'est-à-dire la formation de classes très allongées, puisqu'il suffit de la proximité d'un unique individu d'une classe pour rendre cette classe proche d'une autre. Par conséquent, cette méthode ne sera pas retenue par la suite.

Le diamètre maximum : la distance entre deux classes est définie comme la plus grande distance entre deux individus, un de chaque classe.

$$d(c_1, c_2) = \text{Max} \{d(i, j); i \in c_1, j \in c_2\}$$

Ce critère consiste donc à minimiser le plus grand écart entre deux classes et conduit à des groupes plus compacts que le précédent, c'est-à-dire de forme sphérique et non pas allongée.

La distance moyenne : la dissimilarité entre 2 classes est la moyenne des dissimilarités entre les paires des individus qui les composent, un de chaque groupe :

$$d(c_1, c_2) = \frac{\sum \{d(i, j); i \in c_1, i \in c_2\}}{n_1 \cdot n_2}$$

où n_1 et n_2 représentent les nombres d'éléments respectifs des classes c_1 et c_2

Par ce qu'elle tient compte de l'ensemble des individus de chaque classe, la méthode de la moyenne revêt une signification plus complète que les deux précédentes : les catégories typologiques sont représentées par toutes leurs composantes sans en privilégier aucune. En outre, la moyenne tend à favoriser la constitution de groupes de forme sphériques et n'est donc pas neutre de ce point de vue.

Il existe encore la méthode du *centroïde*, qui consiste à définir la distance entre 2 classes comme la distance entre leurs centroïdes. Cette méthode donne souvent des résultats voisins de ceux de la moyenne avec toutefois quelques légers effets de chaînage.

C) Cas d'étude de Québec : Matrice de dissimilarité D

	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	P ₁₂	H ₁₃	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆
U ₁	0.00															
U ₂	0.69	0.00														
U ₃	0.69	0.37	0.00													
U ₄	0.77	0.75	0.95	0.00												
U ₅	0.59	0.46	0.28	0.92	0.00											
U ₆	0.97	0.38	0.50	0.54	0.45	0.00										
U ₇	0.91	0.81	0.44	0.86	0.68	0.45	0.00									
A ₈	0.99	0.82	0.62	0.93	0.75	0.83	0.81	0.00								
A ₉	0.82	0.84	0.61	0.76	0.81	0.81	0.57	0.49	0.00							
A ₁₀	0.87	0.72	0.72	0.78	0.84	0.37	0.69	0.82	0.79	0.00						
A ₁₁	0.96	0.91	0.80	0.87	0.97	0.71	0.99	0.77	0.63	0.90	0.00					
P ₁₂	0.60	0.84	0.64	0.89	0.32	0.66	0.68	0.72	0.54	0.80	0.62	0.00				
H ₁₃	0.81	0.95	0.75	0.90	0.72	0.80	0.76	0.71	0.51	0.81	0.57	0.60	0.00			
H ₁₄	0.83	0.96	0.95	0.88	0.95	0.83	0.88	0.76	0.64	0.80	0.39	0.77	0.36	0.00		
H ₁₅	0.89	0.96	0.98	0.80	0.99	0.90	0.88	0.80	0.42	0.88	0.50	0.75	0.54	0.50	0.00	
H ₁₆	1.00	0.86	0.93	0.87	0.99	0.74	0.91	0.74	0.70	0.85	0.74	0.86	0.83	0.60	0.65	0.00

La matrice D issue de l'agrégation sur les cinq critères est une matrice symétrique. Seule la diagonale inférieure est suffisante pour effectuer la classification.

D) Classification à l'aide du logiciel SPLUS®

La classification ascendante hiérarchique peut être réalisée notamment à l'aide du logiciel SPLUS®.

En outre, SPLUS, ne part pas d'une matrice de dissimilarité, mais d'une matrice *individus x critères* (dans notre cas, les individus sont les 16 modèles et les critères sont les cinq proposés dans notre analyse). Le logiciel calcule ensuite lui-même la matrice de dissimilarité et sur cette base il effectue ensuite la classification.

La procédure de classification avec une matrice de dissimilarité spécifique, non calculée par le logiciel, telle que la nôtre (**D**), ne peut être effectuée avec l'interface utilisateur courante, mais à travers une fenêtre de commande en entrant les lignes de code suivantes :

```
v2 <- D[lower.tri(D,F)]
class(v2) <- "dissimilarity"
attr(v2,"Metric") <- "euclidean"
attr(v2,"Size") <- dim(D)[[1]]
m2.ag <- agnes(v2, diss = T, metric = "euclidean", stand = F, method ="complete")
plot( m2.ag )
```


Gilles Desthieux

Adresse : LASIG – ENAC – EPFL, Station 18, CH 1015 Lausanne

Franco-suisse

Tél. Prof.: +41 21 6935784

Né le 11.03.1976

E-mail: gilles.desthieux@epfl.ch

Marié, 1 enfant

Expériences professionnelles

Depuis 2005 : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Post-doctorant au Laboratoire de systèmes d'information géographique (LASIG)

- Développement d'un outil opérationnel de diagnostic urbain, application dans des mandats d'aménagement du territoire en collaboration avec une entreprise privée

2000 - 2005 : EPFL, Lausanne

Assistant au laboratoire d'Hydrologie et aménagements (HYDRAM), puis en 2002, au LASIG.

- Organisation et encadrement de cours 1^{er} et 2^{ème} cycle, chargé d'enseignement dans diverses formations postgrades, gestion du site web de l'Hydrum, supervision de travaux d'étudiants

2000 - 2004 : EPFL, Lausanne et Université de Genève

Membre d'un **projet de recherche** interdisciplinaire

Objectif : développer des **instruments d'aide à la décision** pour la planification urbaine dans une approche interdisciplinaire et concertée

Formation

2005 : EPFL, Lausanne

Docteur ès Sciences, Section des Sciences et ingénierie de l'environnement.

Titre de la thèse : Approche systémique et participative du diagnostic urbain. Processus de représentation cognitive du système urbain en vue de l'élaboration d'indicateurs géographiques.

- Séjour doctoral de trois mois (2003) à l'Université Laval (**Canada**)

2000 : EPFL, Lausanne

Ingénieur diplômé, Section **Génie Rural** avec orientation en **environnement**

Titre du mémoire : Conception d'un système d'information géographique pour la gestion durable des ressources naturelles et l'aménagement périurbain de la ville de Thiès (**Sénégal**).

2000 : Catania (I), Université d'été en aide multicritère à la décision

1998 : EPFL, Lausanne

Deux mois de **stage** en **Tunisie**. Elaboration d'un SIG dans le cadre de la création de pôles énergétiques de développement, intégrant les ressources agricoles et hydriques, à Gabès.

1991 – 1995 : Collège de Candolle (Genève), certificat de maturité latine (mention bien)

Connaissances informatiques

Environnement : Windows, Unix, Macintosh
Bureautique : MS Office, Internet (Dreamweaver, Fireworks)
Géomatique : Manifold, Mapinfo, Idrisi, Arcview 3.3, Microstation, Erdas
Base de données : MS Access, MySQL/PHP
Programmation : Visual Basic, Map Basic, JavaScript
Simulation : Stella, Hec-ras
Statistiques : SPLUS, SPSS

Langues

Français : Langue maternelle
Anglais : Bon niveau oral et écrit, **Cambridge Certificates in English : First** (2001)
Allemand : Niveau de maturité
Espagnol : Connaissances orales et écrites moyennes
Italien : Connaissances orales moyennes, écrites de base
Arabe : Rudiments oral et écrit

Expériences personnelles

Vie associative :

Voyages d'étude, EPFL : organisateur (Syrie et Liban, 1999) et responsable (Sénégal, 2001)

Moniteur adjoint de peinture et de sculpture dans un centre de loisirs auprès d'enfants âgés de 5 à 12 ans (1989 – 1995)

Loisirs : **Aviron** (club universitaire de Lausanne, participation à des championnats et internationaux), **guitare** (groupe de musique), **chant** (chœur sud américain), **lectures géopolitiques**

Liste des publications

Livres, chapitres de livres et ouvrages collectifs

Nembrini A., Billeau S., Desthieux G. et Joerin F., 2005, *GIS and participatory diagnosis in urban planning: a case study in Geneva*. In: Campagna M. (ed.), *GIS for Sustainable Development*, Taylor & Francis, London, p. 451-465.

Articles dans des revues avec comité de lecture

Desthieux G. and Joerin F., 2004, *Systemic approach for the development of a system of indicators in urban management processes*, *Studies in regional and urban planning*, 10 : 35-50.

Joerin, F., Rey M. C., Nembrini A. et Desthieux G., 2001, *Information et participation pour l'aménagement du territoire*, *Revue Internationale de Géomatique*, 11(3-4): 309-332.

Joerin F., Nembrini A., Billeau S. et Desthieux G., 2005, *Indicateurs spatialisés : un instrument de participation en aménagement du territoire*, *Revue internationale de géomatique*, 15 (1) : 33-61.

Joerin F., Desthieux G., Nembrini A. et Billeau S., 2005, *Collaborative diagnosis for urban planning: proposition for a learning process based on geographical information*, article soumis au *Journal of Planning Education and Research*.

Repetti, A. et Desthieux, G., 2005, *A relational indicator set model for urban land-use planning and management: Methodological approach and application in two case studies*, *Landscape and Urban Planning*, sous presse.

Actes de colloques avec comité de lecture

Desthieux G., Joerin F. et Golay F., *Représentation systémique et cognitive des processus urbains. Approche méthodologique dans le cadre de la problématique des banlieues à Québec*. In « Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance », colloque de l'Observatoire universitaire de la Ville et du Développement durable, 21 – 23 septembre 2005, Université de Lausanne.

Desthieux G., Joerin F. et Golay F., *Systemic modeling tool of indicators. Application to urban diagnosis*. In: Callaos et al. (ed), *8th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2004)*, Orlando, USA, July 18-21 2004.

Desthieux G., Joerin F. et Prélaz-Droux R., *Systemic approach for the development of an urban indicators system in a decision making process*. In: F. Khosrowshahi (ed.), *3rd International Conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering DMinUCE-2002*, London.

Joerin F., Lebreton M. et Desthieux G., *Des systèmes d'indicateurs pour aider les acteurs à manipuler la complexité territoriale*. In « Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance », colloque de l'Observatoire universitaire de la Ville et du Développement durable, 21 – 23 septembre 2005, Université de Lausanne.

Joerin F. et Desthieux G., *Concevoir des systèmes d'indicateurs pour aider au diagnostic territorial*. In Congrès international urbistique, « Les nouvelles tendances du développement urbain intégré », 23 - 26 mai 2005, Montréal, Canada.

Rapports

Joerin F., Rey M. C., Desthieux G. et Nembrini A., 2000, *Participation et information dans les processus d'aménagement du territoire. Etudes de cas*, Rapport, Centre Universitaire d'Ecologie Humaine, Université de Genève.

Joerin F., Nembrini A., Desthieux G., Mouquin S. et Billeau S., 2003, *Quel Saint-Jean demain ? Un bilan aujourd'hui, rapport final*, Genève, Centre Universitaire d'Ecologie Humaine, Université de Genève.